



Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Novi Sad, Srbija



**32. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA SRBIJE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**32nd CONFERENCE ON PRODUCTION
ENGINEERING OF SERBIA
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**



**ZBORNIK RADOVA
*PROCEEDINGS***

Novi Sad, 18. - 20. septembar 2008.

**ZBORNİK RADOVA 32. SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA SRBIJE,
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM
Novi Sad, 2008.**

**PROCEEDINGS OF THE 32nd CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING OF
SERBIA WITH FOREIGN PARTICIPANTS
Novi Sad, 2008.**

**Izdavač: FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA,
Trg Dositeja Obradovića 6.,
21000 NOVI SAD,
SRBIJA**

**Publisher: FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES,
Trg Dositeja Obradovića 6.,
21000 NOVI SAD,
SERBIA**

Organizovanje naučno-stručnog skupa odobrilo je Nastavno-naučno veće Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na 14. sednici 26.11.2007. godine

Organization of scientific conference was approved by Education-scientific Council of Faculty of Technical Sciences in Novi Sad, at 14th meseting held on November 26th 2007.

Za izdavača:

Prof. dr Ilija ČOSIĆ, dekan Fakulteta

For publisher:

*Glavni i odgovorni urednik:
Editor:*

Prof. dr Milan ZELJKOVIĆ, dipl. ing.

*Recenzentski tim:
Reviewers team:*

Dr Ratko GATALO, red. prof.
Dr Dragoje MILIKIĆ, red. prof.
Dr Damir KAKAŠ, red. prof.
Dr Janko HODOLIĆ, red. prof.
Dr Velimir TODIĆ, red. prof.
Dr Dragiša VILOTIĆ, red. prof.
Dr Bogdan SOVILJ, red. prof.
Dr Pavel KOVAČ, red. prof.
Dr Bela SABO, red. prof.
Dr Ljubomir BOROJEV, red. prof.
Dr Milan ZELJKOVIĆ, red. prof.
Dr Katarina GERIĆ, vanr. prof.
Dr Marin GOSTIMIROVIĆ, vanr. prof.

*Tehnička obrada i dizajn:
Technical treatment and design:*

Dr Slobodan Tabaković, dipl. ing.
Mr Mijodrag Milošević, dipl. ing.
Dejan Movrin, dipl. ing.

*Rukopis predat u štampu:
Manuscript submitted for publication:
Izdanje:
Printing:
Tiraž:
Circulation:*

08.09.2008. godine
September 08.2008.
prvo
1st
200 primeraka
200 copies

*CIP klasifikacija:
CIP classification:*

*Štampa: FTN, Grafički centar GRID, Novi Sad
Printed by: FTN, Grafic center GRID, Novi Sad*

ISBN: 978-86-7892-131-5

CIP-Katalogizacija u publikaciji
Библиотека Матице српске, Нови Сад
621.7/.9(082)
621.7/.9: 669 (082)
681.5 (082)
005.6 (082)
004.896 (082)
Саветовање производног машинства Србије са међународним учешћем (32; 2008 ;
Нови Сад)
Zbornik radova = Proceedings: 32. savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije sa
međunarodnim učešćem= 32 nd Conference of Production Engineering of Serbia with
Foreign Participants : Novi Sad, 18-20. septembar 2008.; [organizator] Fakultet tehničkih
nauka, Departman za proizvodno mašinstvo; [urednik Milan Zeljković]. – Fakultet tehničkih
nauka: Novi Sad, 2008 (Novi Sad : GRID). IX, 662, [8] str. :ilustr. ; 24 cm
Radovi na srp i eng. jeziku.-Tekst cir. i lat.-Deo teksta uporedno na srp. i engl. jeziku.-
Tiraž 200.-Napomene uz tekst.-Bibliografija uz svaki rad. Summaries.
ISBN 978-86-7892-131-5 (broš.)
a) Proizvodno mašinstvo-Zbornici b) Metali-Obrada-Zbornici c) Системи
аутоматског управљања-Zbornici d) Управљање квалитетом-Zbornici
COBISS.SR-ID 233730055

*Izdavanje Zbornika radova, organizovanje i održavanje 32. Savetovanja proizvodnog mašinstva Srbije pomogao je pokrovitelj Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine
Financing of the Proceedings was sponsored by the Ministry of science and Technological Development of the Republic of Serbia and aided by the Provincial Secretariat for Science and Technological Development of AP Vojvodina*

**XXXII SAVETOVANJE
PROIZVODNOG MAŠINSTVA**
sa međunarodnim učešćem
Novi Sad, Srbija, 18.-20.09.2008.



**32nd CONFERENCE
ON PRODUCTION ENGINEERING**
with foreign participants
Novi Sad, Serbia, 18.-20.09.2008

NOSIOCI ORGANIZACIJE:
ORGANIZING INSTITUTIONS:

Zajednica naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva Srbije

- Mašinski fakultet, Beograd
- Mašinski fakultet, Niš
- Mašinski fakultet, Kragujevac
- Fakultet tehničkih nauka - Departman za proizvodno mašinstvo, Novi Sad
- Fakultet tehničkih nauka - Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Novi Sad
- Tehnički fakultet, Čačak
- Mašinski fakultet, Kraljevo
- LOLA Institut, Beograd
- Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

ORGANIZATOR:
ORGANIZERS:

UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
DEPARTMAN ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO
Trg Dositeja Obradovića 6,
21000 Novi Sad
Tel. +381 (21) 485-2320; Fax. +381 (21) 454-495
web: <http://ipm.ftn.ns.ac.yu>
email: spms08@uns.ns.ac.yu

MESTO ODRŽAVANJA:
SYMPOSIUM VENUE:

Novi Sad,
Hotel "NORCEV" Iriški Venac, Fruška gora
18. - 20. septembar 2008.



NAUČNI ODBOR – SCIENTIFIC COMMITTEE

- | | |
|---|--|
| 1. Prof. dr Dragoje MILIKIĆ, FTN, N. Sad, predsednik, SRB | 24. Prof. dr Miodrag MANIĆ, MF, Niš, SRB |
| 2. Prof. dr Sergei ALEXANDROV, RA of S, Moscow, RUS | 25. Prof. dr Velibor MARINKOVIĆ, MF, Niš, SRB |
| 3. Prof. dr Miroslav BADIDA, ME, Košice, SK | 26. Prof. dr Ostoja MILETIĆ, MF, Banja Luka, RS, BIH |
| 4. Prof. dr Pavao BOJANIĆ, MF, Beograd, SRB | 27. Prof. dr Dragan MILUTINOVIĆ, MF, Beograd, SRB |
| 5. Prof. dr Ljubomir BOROJEV, FTN, N. Sad, SRB | 28. Prof. dr Bogdan NEDIĆ, MF, Kragujevac, SRB |
| 6. Prof. dr Alan BRAMLEY, University Bath, UK | 29. Prof. dr Herbert OSANNA, TU, Wien, A |
| 7. Prof. dr Aleksandar BUKVIĆ, MF, I. Sarajevo, RS, BIH | 30. Prof. dr Zoran PANDILOV, MF, Skoplje, MK |
| 8. Prof. dr Miodrag BULATOVIĆ, MF, Podgorica, MNE | 31. Prof. dr Miroslav PLANČAK, FTN, N. Sad, SRB |
| 9. Prof. dr Ilija ČOSIĆ, FTN, N. Sad, SRB | 32. Prof. dr Snežana RADONJIĆ, TF, Čačak, SRB |
| 10. Prof. dr Cristian DOICIN, TU, Bucharest, RO | 33. Prof. dr Bela SABO, FTN, N. Sad, SRB |
| 11. Prof. dr Katarina GERIĆ, FTN, N. Sad, SRB | 34. Prof. dr Mirko SOKOVIĆ, FS, Ljubljana, SLO |
| 12. Prof. dr Marin GOSTIMIROVIĆ, FTN, Novi Sad, SRB | 35. Prof. dr Bogdan SOVILJ, FTN, N. Sad, SRB |
| 13. Dr Peter HARTLEY, University Birmingham, UK | 36. Prof. dr Milentije STEFANOVIĆ, MF, Kragujevac, SRB |
| 14. Dr Thomas HIMMER, Fraunhofer Institut, Dresden, D | 37. Prof. dr Branko ŠKORIĆ, FTN, N. Sad, SRB |
| 15. Prof. dr Janko HODOLIĆ, FTN, N. Sad, SRB | 38. Dr Ľubomír ŠOOŠ, MF, Bratislava, Slovakia, SK |
| 16. Prof. dr Ratomir JEČMENICA, TF, Čačak, SRB | 39. Prof. dr Ljubodrag TANOVIĆ, MF, Beograd, SRB |
| 17. Prof. dr Klaus KABITZSCH, TU, Dresden, D | 40. Prof. dr Tomislav TODIĆ, FTN, K. Mitrovica, SRB |
| 18. Prof. dr Damir KAKAŠ, FTN, N. Sad, SRB | 41. Prof. dr Velimir TODIĆ, FTN, N. Sad, SRB |
| 19. Prof. dr Pavel KOVAČ, FTN, N. Sad, SRB | 42. Prof. dr Dragiša VILOTIĆ, FTN, N. Sad, SRB |
| 20. Prof. dr Karl KUZMAN, FS, Ljubljana, SLO | 43. Prof. dr Frank VOLLERTSEN, BIAS, Bremen, D |
| 21. Dr Vladimir KVRGIĆ, LOLA Institut, Beograd, SRB | 44. Prof. dr Miomir VUKIČEVIĆ, MF, Kraljevo, SRB |
| 22. Prof. dr Ljubomir LUKIĆ, MF, Kraljevo, SRB | 45. Prof. dr Milan ZELJKOVIĆ, FTN, N. Sad, SRB |
| 23. Prof. dr Vidosav MAJSTOROVIĆ, MF, Beograd, SRB | |

**POČASNI ODBOR
HONORARY COMMITTEE**

1. Prof. dr Ratko GATALO, FTN, Novi Sad, predsednik
2. Mr Dragan BANJAC, FTN, Novi Sad
3. Dipl. ing. Mile BENEDETIĆ, LOLA Institut, Beograd
4. Prof. dr Branislav DEVEDŽIĆ, MF, Kragujevac
5. Prof. dr Dragan DOMAZET, MF, Niš
6. Prof. dr Branko IVKOVIĆ, MF, Kragujevac
7. Prof. dr Milenko JOVIČIĆ, MF, Beograd
8. Prof. dr Milisav KALAJDŽIĆ, MF, Beograd
9. Prof. dr Vučko MEČANIN, MF, Kraljevo
10. Prof. dr Vladimir MILAČIĆ, MF, Beograd
11. Prof. dr Mihajlo MILOJEVIĆ, MF, Kraljevo
12. Prof. dr Predrag POPOVIĆ, MF, Niš
13. Prof. dr Jožef REKECKI, FTN, Novi Sad
14. Prof. dr Sava SEKULIĆ, FTN, Novi Sad
15. Prof. dr Joko STANIĆ, MF, Beograd
16. Prof. dr Vojislav STOILJKOVIĆ, MF, Niš
17. Prof. dr Sreten UROŠEVIĆ, TF, Čačak
18. Prof. dr Svetislav ZARIĆ, MF, Beograd
19. Prof. dr Dragutin ZELENKOVIĆ, FTN, Novi Sad

**ORGANIZACIONI ODBOR
ORGANISATIONAL COMMITTEE**

1. Dr Milan ZELJKOVIĆ, red. prof., predsednik
2. Dr Slobodan TABAKOVIĆ, asistent, sekretar
3. Dr Dragiša VILOTIĆ, red. prof.
4. Dr Katarina GERIĆ, vanr. prof.
5. Dr Marin GOSTIMIROVIĆ, vanr. prof.
6. Dr Miodrag STEVIĆ, docent
7. Dr Milenko SEKULIĆ, docent
8. Mr Jovica DAKIĆ, asistent
9. Mr Mladomir MILUTINOVIĆ, asistent
10. Mr Đorđe VUKELIĆ, asistent
11. Dipl. ing. Lazar KOVAČEVIĆ, istraživač pripravnik



ORGANIZATORI SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA
JUGOSLAVIJE / SRBIJE I CRNE GORE / SRBIJE 1965 - 2008.
*ORGANIZER OF CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING OF
JUGOSLAVIA / SERBIA AND MONTENEGRO / SERBIA 1965 - 2008.*

I	Beograd	Mašinski fakultet	1965.
II	Zagreb	Fakultet za strojarstvo i brodogradnju	1966.
III	Ljubljana	Fakultet za strojništvo	1967.
IV	Sarajevo	Mašinski fakultet	1968.
V	Kragujevac	Mašinski fakultet	1969.
VI	Opatija	Fakultet za strojarstvo i brodogradnju Zagreb	1970.
VII	Novi Sad	Mašinski fakultet	1971.
VIII	Ljubljana	Fakultet za strojništvo	1973.
IX	Niš	Mašinski fakultet	1974.
X	Beograd	Mašinski fakultet	1975.
XI	Ohrid	Mašinski fakultet Skoplje	1977.
XII	Maribor	Visoka tehnička škola	1978.
XIII	Banja Luka	Mašinski fakultet	1979.
XIV	Čačak	Pedagoško - tehnički fakultet	1980.
XV	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	1981.
XVI	Mostar	Mašinski fakultet	1982.
XVII	Budva	Mašinski fakultet Podgorica	1983.
XVIII	Niš	Mašinski fakultet	1984.
XIX	Kragujevac	Mašinski fakultet	1985.
XX	Beograd	Mašinski fakultet	1986.
XXI	Opatija	Tehnički fakultet Rijeka	1987.
XXII	Ohrid	Mašinski fakultet Skoplje	1989.
XXIII	Zagreb	(nije održano)	1991.
XXIV	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	1992.
XXV	Beograd	Mašinski fakultet	1994.
XXVI	Podgorica	Mašinski fakultet	1996.
XXVII	Niš	Mašinski fakultet	1998.
XXVIII	Kraljevo	Mašinski fakultet	2000.
XXIX	Beograd	LOLA Institut	2002.
XXX	Čačak	Tehnički fakultet i Viša tehnička škola	2005.
XXXI	Kragujevac	Mašinski fakultet	2006.
XXXII	Novi Sad	Fakultet tehničkih nauka	
		-Departman za proizvodno mašinstvo	2008

DOSADAŠNJI DOBITNICI POVELJE I PLAKETE
"Prof. dr Pavle Stanković"

za 1983. godinu

Prof. dr Rudolf Zdenković, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
Prof. dr Vladimir Šolaja, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Julije Kimer, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1984. godinu

Prof. dr Janez Peklenik, dipl. ing., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
Prof. dr Binko Musafija, dipl. ing., Mašinski fakultet, Sarajevo

za 1985. godinu

Prof. dr Predrag Popović, dipl. ing., Mašinski fakultet, Niš
Prof. dr Vladimir Milačić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd

za 1986. godinu

Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing., Mašinski fakultet, Kragujevac
Prof. dr Strezo Trajkovski, dipl. ing., Mašinski fakultet, Skoplje

za 1987. godinu

Prof. dr Svetislav Zarić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Josip Hribar, dipl. ing., Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb

za 1988. godinu

Prof. dr Branislav Devedić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Kragujevac
Prof. dr Elso Kuljanić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Rijeka
Prof. dr Zoran Seljak, dipl. ing., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

za 1992. godinu

Prof. dr Jožef Rekecki, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Joko Stanić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Vlado Vujović, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1994. godinu

Mile Benedetić, dipl. ing., LOLA Institut, Beograd
Prof. dr Vuko Domazetović, dipl. ing., Mašinski fakultet, Podgorica
Prof. dr Milenko Jovičić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd

za 1996. godinu

Prof. dr Milisav Kalajdžić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd
Prof. dr Dragutin Zelenović, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 1998. godinu

Prof. dr Ratko Gatalo, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Vučko Mečanin, dipl. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo

za 2000. godinu

Prof. dr Mihailo Milojević, dipl. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo
Prof. dr Dragoje Milikić, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 2002. godinu

Prof. dr Vojislav Stojiljković, dipl. ing., Mašinski fakultet, Niš
Prof. dr Ilija Čosić, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

za 2005. godinu

Prof. dr Dragan Domazet, dipl. ing., Mašinski fakultet, Niš
Prof. dr Pavao Bojanić, dipl. ing., Mašinski fakultet, Beograd

za 2006. godinu

Prof. dr Miroslav Plančak, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
Prof. dr Ratomir Ječmenica, dipl. ing., Tehnički fakultet, Čačak



Prof. dr MIROSLAV PLANČAK, dipl. inž.

Miroslav Plančak je rođen 24.11.1945. u Kuli. Osnovnu školu je završio u Đurđevu pored Novog Sada a Gimnaziju u Novom Sadu 1964 godine. Mašinski Fakultet u Novom Sadu upisao je 1964 godine a završio ga 1969 godine.

Od 1970. do 75. radio je u Duesseldorfu (Nemačka) u firmi "Schloemann GmbH" na mestu inženjera u razvoju, na projektovanju valjaoničkih stanova, makaza kao i adjustažnih uređaja za valjaonice.

Godine 1975. se vraća u Novi Sad na Mašinski Fakultet na mesto asistenta na predmetima iz oblasti tehnologije plastičnog deformisanja. Istovremeno upisuje i magistarske studije na mašinskom fakultetu u Novom Sadu koje završava 1979. Tema magistarskog rada je: „Uticaj trenja na naponsko deformaciono stanje u procesima zapreminskog deformisanja“. Iste godine započinje doktorske studije na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu koje uspešno završava nakon pet godina kasnije, 1984. godine. Naziv doktorske disertacije je: „Prilog istraživanju naponsko deformacionog stanja u procesima hladnog istiskivanja“.

U zvanje docenta izabran je 1985. godine, u zvanje vanrednog profesora 1989. a u zvanje redovnog profesora 1995. godine. Profesor Plančak drži nastavu na dodiplomskim, post diplomskim i doktorskim studijama na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, Tuzli i Banja Luci iz predmeta: Teorija Plastičnosti, Tehnologija plastičnog deformisanja, Alati i mašine za plastično deformisanje, Napredne tehnologije oblikovanja, Rapid Prototyping i Rapid Tooling. Težište profesionalnog interesovanja profesora Plančaka je oblast naprednih tehnologija u okviru proizvodnog mašinstva, posebno tehnologija plastičnog deformisanja. Šef je katedre za oblikovanje metala i inženjerstvo površina na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Godine 2008. godine Profesor Plančak je izabran za gostujućeg profesora na međunarodnom Master programu (Erasmus Mundus) iz oblasti proizvodnog mašinstva koji se realizuje u Portugalu (Univerzitet Aveiro), Nemačkoj (Univerzitet Hamburg) i Danskoj (Univerzitet Aalborg).

U periodu od 1980. do danas profesor Plančak je više od godine proveo u inostranim istraživačkim laboratorijama i na inostranim univerzitetima na: University Birmingham, University Bath (UK), RIKEN Institute Tokyo (Japan), University Paderborn, University Bremen (Nemačka). Bio je u kraćim radnim posetama na dvadesetak inostranih Univerziteta i istraživačkih Instituta na četiri kontinenta. Govori engleski, nemački, rusinski (maternji jezik) a služi se slovačkim i ruskim jezikom. Član i jedini predstavnik naše zemlje u Naučnom Odboru evropske naučne asocijacije za oblikovanje materijala sa sedištem u Parizu (Scientific Committee of European Scientific Association for Material Forming - ESAFORM).

Koristio je sledeće inostrane stipendije:

- DFG (German Research Society)
- IMG (Individual Mobility Grant-Tempus)
- DAAD (German Academic Exchange Program)

Glavni je urednik časopisa:

- Journal for Technology of Plasticity,

Član je izdavačkih odbora časopisa:

- Metallurgy and new material research
- Acta Mechanica Slovaca
- Journal of Mechanical Engineering (Strojniski vestnik)
- Annals of the University Vahabia

Recenzent je za sledeće naučne časopise:

- Computational Materials Science – Elsevier
- Journal of Material Processing Technology- Elsevier
- Journal of Mechanical Engineering (Strojniski vestnik)
- Int. J. Of Microstructure and Materials Properties

Recenzent je evropskih projekata TEMPUS.

Napisao je šest knjiga iz oblasti proizvodnog mašinstva. Objavio je preko 85 radova u nacionalnim i internacionalnim časopisima a preko 95 radova je izložio na nacionalnim i internacionalnim konferencijama. Redovni je učesnik svetskih konferencija iz oblasti proizvodnog mašinstva (ICTP, Metal Forming, ESAFORM...).

Od 2004. godine Prorektor je za nastavu Univerziteta u Novom Sadu.

Učestvovao je u radu na većem broju internacionalnih istraživačkih projekata kao što su: FP6, Ceepus, Tempus, bilateralni, regionalni, WUS, DFG i dr.

Od strane Ministarstva za obrazovanje Republike Srbije Profesor Plančak je imenovan za koordinатора srpskog tima eksperata za visoko školstvo Republike Srbije. Intenzivno se bavi reformom visokoskolskog obrazovanja, posebno u tehničkim strukama.



Prof. dr RATOMIR M. JEČMENICA, dipl.inž.

Prof. dr Ratomir M. Ječmenica je rođen 1944. godine u Slatini kod Čačka. Srednju tehničku školu mašinskog smera, završio je 1964. u Čačku. Mašinski fakultet pripremno-proizvodnog smera završio je u Beogradu 1969/70.

Magistrirao je na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, na proizvodnom smeru, grupa za Tribologiju, 1980. godine, odbranom magistarskog rada pod nazivom „Tribološki procesi na zavojnim burgijama u funkciji tehnologije izrade“.

Na Tehničkom fakultetu u Čačku 1986. godine odbranio je doktorsku disertaciju pod nazivom „Prilog razvoju modela za tehno ekonomske analize efektivnosti proizvodno tehnoloških sistema mašinogradnje“.

Prof. dr Ratomir M. Ječmenica je obavio više specijalizacija i studijskih boravaka na renomiranim fakultetima i institutima u zemlji i inostranstvu: Fakultet tehničkih nauka Novi Sad Institut za industrijske sisteme, Institut IAMA – Beograd, Institut za tehnologiju Politehnika Krakov, Institut Mostankin Moskva, LGTU Lenjingrad, Institut za tehnologiju Sofija, Tehnički fakultet Prag, Visoka tehnička škola Bratislava, Tehnički institut Drezden Nemačka, Ahen, Nemačka.

Kao inženjer radi u EI Niš i FRA Čačak na poslovima konstruktora i tehnologa alata, šefa konstrukcionog i tehnološkog biroa i direktora fabrike.

Od 1973. godine radi kao asistent, predavač i profesor za Mašinsku obradu, Alate i pribore i Projektovanje tehnoloških postupaka. Od 1977/1978. radi na Pedagoško-tehničkom fakultetu (danas Tehnički fakultet) u Čačku kao saradnik, docent, vanredni i redovni profesor na predmetima: Mašinska obrada, Mašine alatke, Alati i pribori, Projektovanje proizvodnih procesa, Proizvodni sistemi i procesi, Tehno-ekonomske analize procesa i sistema. Danas drži Informacione sisteme i Tehno-ekonomske analize.

Prof. dr Ratomir Ječmenica ima zvanje Eksperta za mašinsko inženjerstvo od 1993/94. godine.

Ovlašćeni – licencirani je projektant za oblast procesnog i mašinskog inženjerstva.

Obavljao je funkcije šefa odseka, šefa katedre, direktora Instituta, prodekana za nauku i dekana Fakulteta.

Član je u mnogim stručnim i naučnim organizacijama proizvodnog mašinstva, kako u zemlji tako i u inostranstvu (YUTRIB, BALKANTRIB, EUOTRIB, Proizvodno mašinstvo Jugoslavije). Bio je recenzent većeg broja naučno istraživačkih projekata, udžbenika i monografija.

Rukovodio je ili učestvovao u poslednjih 36 godina na preko 100 naučnih i inovacionih projekata republičkog, saveznog i međunarodnog značaja, koje je sufinansirala privreda ili resorna ministarstva Srbije i Jugoslavije.

Autor je 4 naučne monografije, 5 udžbenika i 408 naučna i stručna rada objavljena na domaćim i međunarodnim konferencijama i naučnim časopisima u zemlji i inostranstvu (Engleska, Kanada, Poljska, Tajvan, Nemačka, Italija, Japan, Čehoslovačka, Grčka, SAD, Rusija, Austrija, Mađarska,...).

Više od 25 godina prof. dr Ratomir Ječmenice je rukovodilac Laboratorije za proizvodne tehnologije na Tehničkom fakultetu u Čačku.

Nesumnjivi doprinos razvoju proizvodnog mašinstva prof. dr Ratomir Ječmenica obeležio je kroz definisanje i primenu proizvodnih tehnika i tehnologija kojima se oblast proizvodnog mašinstva podigla na kvalitativno viši nivo, nivo koji je prisutan u svetskim tokovima.

U svom tridesetšestogodišnjem radu na fakultetu, prof. dr Ratomir Ječmenica je aktivno učestvovao na kreiranju profila i razvoja Tehničkog fakulteta u Čačku, a posebno Katedre za proizvodno mašinstvo. Učestvovao je u organizaciji Savetovanja proizvodnog mašinstva čiji je nosilac bio Tehnički fakultet u Čačku (1980. i 2005.godine) i u njima je davao značajan prilog sagledavanju, analizi i rešavanju širokog spektra problema koji su u osnovi vezani za proizvodno mašinstvo sa aspekta primene proizvodnih tehnologija.

Bio je predsednik naučnog i programskog odbora 30. Savetovanja proizvodnog mašinstva koje je održano u organizaciji Tehničkog fakulteta u Čačku.



ZAHVALNICA

Organizovanje 32. Savetovanja proizvodnog mašinstva Srbije, sa međunarodnim učešćem, omogućeno je zahvaljujući razumevanju i finansijskoj pomoći sledećih donatora:

- **FKL "a.d.**, Fabrika kotrljajućih ležaja i kardana, 21234 Temerin, Industrijska zona bb, Generalni sponzor
- **"ČELIK" a.d.**, 21234 Bački Jarak, Novosadska bb
- **"NEOBUS" a.d.**, 21000 Novi Sad, Privrednikova 20
- **"TEHNOREMONT" d.o.o.**, 21235 Temerin
- **„EUROCOM“ d.o.o.**, 11000 Beograd, Lomina 31
- **„GRADITELJ NS“** 21000 Novi Sad, Rumenačka
- **„GRAĐEVINAC“** 21234 Bački Jarak,
- **„INTRAPROFIL“ d.o.o.** –Smederevo,
- **„KM MONT“ d.o.o.**, 21132 Petrovaradin, R. Končara br. 1
- **„LASCO“**, predstavništvo **„VISN“**, 18000 Niš, ulica Sremska broj 8.
- **„METALS BANKA**, 21000 Novi Sad, Stražilovska 2
- **„MMP Metal“**, 21400 Bačka Palanka, ulica, Kralja Petra I 89
- **„MOTINS“**, 21000 Novi Sad, Put Novosadskog partizanskog odreda 6
- **„SIMOD“ d.o.o.**, 34000 Kragujevac, P. Jankovića 32,
- **„TeamCAD“ d.o.o.**, Bulevar Mihajla Pupina 10z/VP51, 11070 Novi Beograd,
- **„TRANŠPED“**, 21000 Novi Sad, Branimira Ćosića
- **„VOS-SYSTEM“ d.o.o.** Proizvodnja ventilacione opreme i obrada metala, 21230 Žabalj, Čuruška 3

PREDGOVOR

32. Savetovanje, odnosno naučno-stručni skup iz proizvodnog mašinstva, kao i drugi skupovi i konferencije sa tradicijom, svojim redovnim održavanjem doprinose kontinuitetu primene rezultata nauke i struke u industriji prerade metala u našoj zemlji, bez obzira na teškoće u kojima se ona trenutno nalazi.

Prvo Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije održano je u Beogradu 1965. godine, i to na inicijativu prof. dr Vladimira Šolaje, kada je i formirana Zajednica naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, koju su sačinjavali mašinski fakulteti i istraživački instituti iz skoro svih republičkih centara tadašnje države. Zajednica naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva je, u novim okolnostima, obnovljena 1994. godine i Izvršni odbor ove Zajednice je poverio organizaciju 32. savetovanja Departmanu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

Organizator savetovanja, Departman za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, je ambiciozno pristupio organizovanju ovog savetovanja postavljajući tri cilja: (1) da se definiše i uspostavi trenutno stanje istraživanja u oblasti proizvodnog mašinstva u domaćim uslovima, (2) da se, kroz radove po pozivu, sagledaju svetska dostignuća i rezultati u ovoj oblasti i (3) da se ukaže na značaj obrazovanja u području proizvodnog mašinstva u skladu sa novim principima obrazovanja u našoj zemlji.

Na Savetovanju će biti izloženo 146 radova autora iz Srbije i inostranstva (Engleska, Nemačka, Rusija, Poljska, Češka, Ukrajina, Slovačka, Rumunija, Slovenija, Bosna i Hercegovina, Hrvatska, Makedonija). Aktivnosti na Savetovanju će se realizovati kroz sedam sekcija, koje obuhvataju sledeće tematske oblasti: Tehnologije i postupci obrade rezanjem, Nekonvencionalne tehnologije i postupci, Alati za obradu rezanjem; Tehnologije i postupci plastičnog deformisanja; Materijali, tehnologije, inženjerstvo površina i tribologija; Mašine alatke, obradni i fleksibilni tehnološki sistemi, Automatizacija, robotizacija i mehatronika; Upravljanje proizvodnim sistemima, Metrologija, kvalitet i menadžment kvalitetom; CAx tehnologije (CAD/CAPP/CAM/CAE sistemi) i CIM sistemi, Veštačka inteligencija u proizvodnom mašinstvu; Proizvodno mašinstvo – stanje i trendovi, Obrazovanje u oblasti proizvodnog mašinstva, revitalizacija, reinženjering i održavanje.

Savetovanje proizvodnog mašinstva, kao najznačajniji naučno-stručni skup iz ovog područja u našoj zemlji, ima za cilj okupljanje i razmenu iskustava istraživača sa fakulteta, instituta i stručnjaka iz industrije, što će imati značajan doprinos ponovnom oživljavanju industrije prerade metala na ovim prostorima.

U ime Organizacionog odbora Savetovanja i Izvršnog odbora Zajednice zahvaljujemo svim domaćim i stranim autorima, članovima recenzetskog tima, kao i institucijama i pojedincima, koji su doprineli kvalitetnoj realizaciji programa Savetovanja.

*Novi Sad,
18. 09. 2008. god.*

*Predsednik organizacionog odbora 32. SPMS
Prof. dr Milan ZELJKOVIĆ*

*Predsednik Zajednice PMS
Prof. dr Velimir TODIĆ*

FOREWORD

The 32nd Scientific conference on production engineering, like some other gatherings and conferences with tradition, contributes to continuous implementation of scientific results and professional know-how within domestic metalworking industry, regardless of present difficulties.

The first Scientific conference on production engineering of Yugoslavia was held in Belgrade, in 1965, initiated by Prof. Vladimir Šolaja. This also marked the forming of the Association of scientific and research institutions in production engineering, which included faculties of mechanical engineering and research institutes of almost all major cities of the former federation. The association of scientific and research institutions in production engineering was reinstated, under new circumstances, in 1994, so the Executive Board of the Association delegated the organization of this year's 32nd Conference to the Department of Production Engineering of the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad.

The organizer of this Conference, the Department of Production Engineering of the faculty of Technical Sciences, has ambitiously approached the task of organizing this Conference, setting three primary goals: (1) to define state-of-the-art of domestic research in production engineering, (2) to review global achievements and results in this area, thanks to invited papers (3) to focus on the importance of education in production engineering in lieu with the novel principles of education in our country.

On this Conference, 146 papers shall be presented by authors from Serbia and other countries (UK, Germany, Russia, Poland, Czech Republic, Ukraine, Slovak Republic, Romania, Slovenia, BiH, Croatia and Macedonia) The conference shall be realized through seven sections which comprize the following topics: Metal cutting technologies and methods, Non-conventional machining technologies and methods, Cutting tools, Plastic forming technologies and methods, Materials, technologies, surface engineering and tribology, Machine tools, Flexible Manufacturing Systems, Automation, robots and mechatronics, Control of manufacturing systems, Metrology, quality and quality management, CAx technologies (CAD/CAPP/CAM/CAE systems) and CIM systems, Artificial intelligence in production engineering, Production engineering - state-of-the-art and trends, Education in production engineering, Revitalization, re-engineering and maintenance.

Scientific conference on production engineering, as the most prominent scientific and professional gathering of its kind in our country, sets its primary goal on exchange of know-how between researchers from faculties and institutes and industry experts, which will considerably contribute to revival of the domestic metalworking industry.

On behalf of the Organizational Committee of the Conference and the Executive Board of the Association we would like to extend our gratitude to all domestic and foreign contributors and editors, as well as institutions and individuals who contributed to successful realization of this conference.

*Novi Sad,
September 18, 2008*

*President, Org. Cttee 32nd SPMS
Prof. dr Milan ZELJKOVIĆ*

*President, PMS Association
Prof. dr Velimir TODIĆ*

Sadržaj Contents

UVODNI RADOVI / PLENNARY PRESENTATIONS:

Milačić, R. V. INDUSTRIJSKA ORGANIZACIJA EKONOMIJE DRŽAVE - Nova paradigma održivog razvoja -	1
Ćosić, I., Tekić, Ž. PROMENAMA KA DRUŠTVU ZNANJA	21

SEKCIJA A / SECTION A:

<i>Rad po pozivu / Invited Paper:</i> Milikić, D., Kovač, P., Gostimirović, M., Sekulić, M. INOVATIVNE METODE U ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI TEHNOLOGIJE OBRADRE REZANJEM	25
<i>Rad po pozivu / Invited Paper:</i> Himmer, T., Lütke, M., Morgenthal, L., Beyer, E., Bratt, C. REMOTE CUTTING WITH HIGH BRIGHTNESS LASERS	35
Baralić, J., Radonjić, S., Nedić, B. UTICAJ HABANJA CEVI ZA USMERAVANJE ABRAZIVNOG VODENOG MLAZA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE	39
Beju, L. D. HOLDER SYSTEMS FOR CUTTING TOOLS – A GENERALIZED APPROACH	43
Gostimirović, M. OPTIMALNO UPRAVLJANJE TOPLOTNIM STANJEM OBRADNOG PROCESA	49
Gostimirović, M., Milikić, D., Kovač, P., Sekulić, M., Savković, B. UVOĐENJE OBRADRE VODENIM MLAZOM U SAVREMENU INDUSTRIJSKU PROIZVODNJU	51
Holešovský, F., Novák, M., Zelenková, J. BEHAVIOUR OF GROUND SURFACES UNDER LOAD	55
Jevtić, M., Sunarić, D., Stojnić, N. NOVA ORIGINALNA ELHIM TEHNOLOGIJA	59
Kovač, P., Šidanin, L., Savković, B., Wannasin, J., Rajnović, D. UPOREDNO ISTRAŽIVANJE PROCESA NASTAJANJA STRUGOTINE PRI OBRADI LEGURE NA BAZI ALUMINIJUMA	65
Kuzinovski, M., Trajčevski, N., Cichosz, P. AUTOMATION OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PHYSICAL PHENOMENA IN CUTTING PROCESS BY MACHINING WITH TURNING	69

Pejić, V., Mišić, B. SAVREMENE METODE U OPTIMIZACIJI OBRADNIH PROCESA	73
Pejović, B., Mičić, V., Todić, T., Todić, A. NEKE MOGUĆNOSTI PRIMENE LANGRANŽEOVIH POLINOMA KOD EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA FUNKCIJA HABANJA ALATA	77
Polajnar, D., Polajnar, J., Lukić, Lj. ODABIR PARAMETARA REZANJA U MULTIAGENTSKOM KOOPERATIVNOM PLANIRANJU OBRADE.....	81
Radonjić, S., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I. ANALIZA LEĐNOG STRUGANJA ZUBA ODVALNIH GLODALA KLASIČNIM POSTUPKOM	85
Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M., Kovač, P. MONITORING SILA REZANJA PRI BUŠENJU	89
Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M. TEKUĆI TRENDovi U PROIZVODNJI ALATA ZA PLASTIKU	93
Sekulić, S. ZAVISNOST VREMENA BEZOTKAZNOG RADA REZNOG ALATA OD REŽIMA RADA PRI STRUGANJU	97
Seucek, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I. MATEMATIČKO MODELOVANJE PODSTRUGANOG GLODALA ZA OBRADU OŽLJEBLJENJA VRATILA KAO OSNOVA ZA CAD i CAM	101
Seucek, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I. OPTIMIZACIJA REZNE GEOMETRIJE I PARAMETARA OŠTRENJA BURGije	105
Sovilj, B., Đurica, M., Pilka, M., Radonjić, S., Jaščur, M. ANALIZA SAVREMENIH ALATA ZA OBRADU REZANJEM.....	109
Tanikić, D., Stević, Z., Manić, M., Devedžić, G. UPRAVLJANJE PARAMETRIMA PROCESA REZANJA POMOĆU SISTEMA ZASNOVANIH NA VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI	113
Vrač, D., Šidanin, L., Milikić, D. UTICAJ REŽIMA REZANJA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE HONOVANJEM	117

SEKCIJA B / SECTION B:

Rad po pozivu / Invited Paper:

Bramley, A. N.

SOME ASPECTS OF FORGING MODELING.....	121
---------------------------------------	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Zverev, M., Walther, R., Vollertsen, F.

EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF PROCESS LIMITING MECHANISMS IN LASER BASED FREE FORM HEADING	125
--	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Kuzman, K., Pepelnjak, T., Petek, A.

COMMENTS ON TECHNOLOGY SELECTION FOR SMALL BATCH SHEET METALFORMING OPERATIONS	129
---	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Vilotić, D., Plančak, M.

PRIKAZ SAVREMENIH MAŠINA U TEHNOLOGIJAMA ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA.....	135
---	-----

Adamović, D., Stefanović, M., Davinić, A., Nedić, B. PROMENA TEMPERATURE U ZONI KONTAKTA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA	149
Babić, Ž., Aleksandrović, S., Stefanović, M., Šljivić, M. ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA OBRADIVOSTI „TAILORED” LIMOVA	153
Bozalo, G., Vilotić, D., Plančak, M., Stefanović, M. PARAMETRI PROFILISANJA PRI VIŠEFAZONOM OBLIKOVANJU U-PROFILA POMOĆU VALJAKA	157
Jelača, R., Vilotić, D., Plančak, M. ANALIZA SABIJANJA VALJKA POMOĆU KALUPA SA DVOSTRUKIM KANALIMA	161
Krašnik, M., Vilotić, D., Plančak, M., Stefanović, M. UTICAJ GEOMETRIJE ALATA I GEOMETRIJE PRIPREMKA NA DEFORMABILNOST MATERIJALA U PROCESIMA HLADNOG SABIJANJA VALJKA	165
Lasco Umformtechnik GmbH, Germany NEW MACHINE CONCEPT FOR PRE-FORMING BY ROLLS	169
Marković, S. RAZVOJ OBLIKA MAŠINSKIH PROIZVODA U ZAVISNOSTI OD TEHNOLOGIJE IZRADE	175
Miletić, O., Todić, M. UTICAJ TRIBOLOŠKIH EFEKATA KONTAKTNIH POVRŠINA NA FENOMEN OJAČAVANJA	179
Movrin, D., Vilotić, M., Plančak, M. INKREMENTALNO DEFORMISANJE LIMA	183
Plančak, M., Vilotić, D., Movrin, D., Milutinović, M., Lužanin, O., Skakun, P. NEKI ASPEKTI SAVREMENIH TRENDOVA U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE KOVANJA	187
Šljivić, M., Nunić, Z., Radonjić, R. IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOŠKE VARIJANTE KOMBINOVANOG OBLIKOVANJA IZRADAKA IZ TRAKE	191
Trbojević, I., Vilotić D., Lužanin, O., Movrin, D. RAZMATRANJE MOGUĆNOSTI AUTOMATIZACIJE U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE KOVANJA	195
Vilotić, M., Plančak, M., Gerić, K., Movrin, D. EKSPERIMENTALNA ANALIZA TVRDOĆE MATERIJALA PRI VIŠEFAZONOM ROTACIONOM IZVLAČENJU CILINDRIČNOG OBRADKA	199
Wohlmuth, M., Schafstall, H. PRODUCTION ENGINEERING AT THE CROSSROADS – PROCESS SIMULATION IN METAL FORMING WILL BE KEY IN THE GLOBAL COMPETITION	203

SEKCIJA C / SECTION C:

Rad po pozivu / Invited Paper:

Kakaš, D., Škorić, B. NANOTEHNOLOGIJE I MAŠINSTVO – JUČE, DANAS I SUTRA	207
Baloš, S., Šidanin, L., Gerić, K. UTICAJ MIKROTALASNOG ZRAČENJA NA SAVOJNU ČVRSTOĆU AUTOPOLIMERIZUJUĆEG PMMA BIOPOLIMERA	217
Budai, Z., Nádházi, L., Tiba, Zs. STRUCTURAL TEST OF ADHESIVE BONDING APPLIED IN FIXING FLAT CABLE	221

Čukić, R., Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N. TEHNO-EKONOMSKA OPRAVDANOST REPARATURNOG I PROIZVODNOG NAVARIVANJA DELOVA VELIKE MASE	225
Erić, O., Rajnović, D., Šidanin, L., Brdarić, T. ODREĐIVANJE OPSEGA PROCESIRANJA LEGIRANOG CuNiMo ADI MATERIJALA	231
Глушкова, Д. Б., Тарабанова, В. П., Черняева, А. В. УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ.....	235
Јањуш, З., Илић, П. ПРОМЕНА ЖИЛАВОСТИ РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕРМОПЛАСТА	237
Ješić, D. MJERENJE MEĐUSLOJNE ČVRSTOĆE POLIESTERSKIH LAMINATA	239
Jovanović, D., Nedić, B., Tadić, B. TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KERAMIČKIH DVOSLOJNIH PREVLAKA	241
Kakaš, D., Kovačević, L., Terek, P. PRIMENA RAČUNARSKIH SIMULACIJA ZA POBOLJŠANJE TEHNOLOGIJE KOKILNOG LIVENJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA.....	245
Којућ, Д., Матија, Ј., Петров, Ј., Коруга, Ђ. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОВРШИНА ПРЕ И ПОСЛЕ ЗАВРШНИХ ОБРАДА ПОМОЋУ МИКРОСКОПИЈЕ АТОМСКИХ СИЛА (АТОМІС FORCE MICROSCOPY - AFM) И МИКРОСКОПИЈЕ МАГНЕТНИХ СИЛА (MAGNETIC FORCE MICROSCOPY – MFM)	249
Kosec, B., Brezigar, M., Kosec G., Soković, M. CASE OF HEAT TREATMENT OF STEEL FORGINGS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY	255
Kovač, P., Radonjić, S. TEHNOLOGIJA RECIKLAŽE PET AMBALAŽE	259
Kuśmierczak, S., Náprstková, N., Holec, M. GLUING ROUTINES FOR WINDOWS OF RAIL VEHICLES	263
Lazić, V., Jovanović, M., Čukić, R., Nedeljković, B., Vulović R. REPARATURNO ZAVARIVANJE PRELOMLJENE OSOVINE MOTALICE	267
Lazić, V., Vuković, M., Jovanović, M., Aleksandrović, S., Živković, M. DEFINISANJE PARAMETARA TAČKASTOG ZAVARIVANJA PRI IZRADI ODGOVORNIH SKLOPOVA AUTOMOBILA.....	271
Мартынчук, В. П., Полонский, Л. Г. ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМЫ НАКОНЕЧНИКОВ ИНДЕНТОРОВ ДЛЯ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ	277
Milosavljević, A., Petronić, S. UTICAJ PROCESA PUZANJA NA MIKROSTRUKTURU TERMOPOSTOJANIH LEGURA NIKLA	281
Mitrović, S., Babić, M., Živić, F., Bobić, I. NANOTRIBOLOŠKA ISPITIVANJA KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA-27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA Al ₂ O ₃	285
Мошенко, В. И. , Тарабанова, В. П. , Черняева, А. В. ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ НА ЖАРОПРОЧНЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ ТУРБИН.....	289
Nedić, B., Vesić, N. UTICAJ TEHNOLOŠKIH PARAMETARA IZRADA NA KOLORIMETRIJSKE KARAKTERISTIKE.....	293
Rajnović, D., Erić, O., Šidanin, L. PRELAZNA TEMPERATURA NODULARNOG LIVA I ADI MATERIJALA.....	297

Temeljkovski, D., Rančić, B., Nusev, S., Stojadinović, G. PRIKAZ APARATA ZA ELEKTROKONTAKTNO ZAVARIVANJE BAKARNIH PROVODNIKA ZA KOLEKTOR ELEKTROMOTORA	301
Velemir, S., Vilotić, D., Plančak, M., Skakun, P., Milutinović, M. HLADNO OBLIKOVANJE PLASTIKE	305
Živić, F., Mitrović, M., Babić, M. ULOGA NANOTRIBOMETRIJE U SAVREMENIM TRIBOLOŠKIM ISPITIVANJIMA.....	309

SEKCIJA D / SECTION D:

Rad po pozivu / Invited Paper:

Gatalo, R., Zeljković, M., Borojev, Lj., Tabaković, S. RAZVOJ FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA ZA OBRADU SKIDANJEM MATERIJALA	313
---	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Stankovski, S., Ostojić, G. INDUSTRIJSKE KOMUNIKACIJE: STANJE I TRENDVI.....	333
--	-----

Anghel, C. V., Visan, A., Suciu, L. COMPUTER AIDED DESIGN OF AN AUTOMATIZED INSTALLATION COMPENSATOR.....	337
---	-----

Antić, A., Petrović, P., Zeljković, M. DINAMIKA OBRADNOG SISTEMA I NJENE IMPLIKACIJE NA INDIREKTNO PREPOZNAVANJE STANJA REZNOG ALATA.....	341
--	-----

Babić, A., Pršić, D., Pljakić, M., Ilić, N. JEDAN PRISTUP MODELOVANJA DODATNE OSE MAŠINA ALATKI.....	347
--	-----

Dimić, Z., Živanović, S., Kvirgić, V. KONFIGURISANJE EMC2 ZA PROGRAMIRANJE I SIMULACIJU VIŠEOSNIH MAŠINA ALATKI U PYTHON VIRTUELNOG GRAFIČKOM OKRUŽENJU.....	353
---	-----

Đapić, M., Zeljković, V., Vojinović, M. "CE" OZNAČAVANJE MAŠINA ALATKI - Rezultati projekta TD-7082B -	357
--	-----

Đurić, R., Zeljković, M., Živković, A., Tabaković, S. UTICAJ POJEDINIY PARAMETARA NA DINAMIČKO PONAŠANJE SKLOPA GLAVNOG VRETENA	361
--	-----

Marković, S., Veličković D. MONTAŽA, DEMONTAŽA I POPRAVKA LOPATIČNOG SKLOPA PARNE TURBINE K300-240.....	365
---	-----

Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Dimić Z. MULTIFUNKCIONALNI REKONFIGURABILNI OBRADNI SISTEM NA BAZI ROBOTA	369
--	-----

Nedić, B., Janković, M. MONTAŽA AUTOMOBILA ZASTAVA 10 - PRIMER USPEŠNE PROIZVODNJE AUTOMOBILA.....	373
--	-----

Nedić, B., Kaplarević, M. FLEKSIBILNI MONTAŽNI PRIBORI ZA IZRADU DELOVA SLOŽENIH PROSTORNIY FORMI TEHNOLOGIJAMA SPAJANJA.....	377
--	-----

Pavićević, Ž., Kvirgić, V., Dimić, Z., Trgovčević, S. ANALIZA STANJA I TRENDOVA RAZVOJA VERTIKALNIY PETOOSNIY OBRADNIY CENTARA U SVETU	381
---	-----

Pejović, B., Mičić, V., Cvetković, S., Ćirković, B. ANALIZA UTICAJA KINEMATSKE ŠEME PRENOSNIKA MAŠINE ALATKE SA ASPEKTA ELASTIČNIY DEFORMACIJA GLAVNOG VRETENA I TAČNOSTI OBRADY	385
---	-----

Petrić, M., Gatalo, R., Zeljković, M. RAZVOJ PROGRAMSKIH REŠENJA ZA BRUŠENJE SLOŽENIH KONTURA NA BRUSILICAMA ZA RAVNO BRUŠENJE.....	389
Šooš, L. CRITERIA FOR SELECTION OF BEARINGS ARRANGEMENTS	395
Tabaković S., Zeljković, M., Gatalo, R. AUTOMATIZACIJA PROCESA PROJEKTOVANJA NA PRIMERU MAŠINA ALATKI NA BAZI PARALELNIH MEHANIZAMA.....	401
Владић, Ј., Токић, Р., Живанић, Д., Гајић, А. МОДЕЛОВАЊЕ И АНАЛИЗА ЕЛЕМЕНАТА СКЛОПА ЗА ФОРМИРАЊЕ АМБАЛАЖЕ НА МАШИНИ ЗА ПАКОВАЊЕ.....	405
Živković, A., Zeljković, M., Borojev, Lj. UTICAJ TOPLOTNOG PREDNAPREZANJA LEŽIŠTA NA KRUTOST SKLOPA GLAVNOG VRETENA....	409
SEKCIJA E / SECTION E:	
<i>Rad po pozivu / Invited Paper:</i>	
Majstorović, V. MENADŽMENT KVALITETOM U SVETU I KOD NAS – SLIČNOSTI I RAZLIKE	413
Brzaković, R., Marjanović, Z. PRIMENA SOFTVERA GPSS NA UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM	419
Đapić, M., Lukić, Lj. INTEGRISANI POSLOVNI PROCESI - KLJUČ INTEGRACIJE SISTEMA MENADŽMENTA	423
Hodolić, J., Stević, M., Matin, I., Vukelić, Đ., Budak, I., Bešić, I., Adamczak, S. PROJEKAT "ETIQUUM"- OSNOVA ZA POBOLJŠANJE POSTOJEĆEG SISTEMA KONTINUALNE EDUKACIJE IZ PODRUČJA METROLOGIJE, KVALITETA I STANDARDIZACIJE	427
Kostić, R., Marić, V. MENADŽMENT KVALITETOM U PROJEKTIMA.....	431
Majstorović, V. MANUFACTURE AS PRODUCTION ENGINEERING STRATEGIC RESEARCH AGENDA IN SERBIA	437
Milunović, S., Ječmenica, R., Čurčić, S. PRILOG ANALIZI TROŠKOVA KVALITETA PROJEKATA U INDUSTRIJI.....	441
Milunović, S., Ječmenica, R. MOGUĆNOSTI PRIMENE POJEDINIH METODA U ANALIZI TROŠKOVA INDUSTRIJSKE PROIZVODNJE	445
Pamer, F., Terek, J. PRIMENA PDA-KOMPJUTERA ZA PRAĆENJE PROIZVODNJE U TERMOMETALU ADA	449
Pavićević, Ž., Vuković, Đ., Mićunović, J., Hamzić, D. UNAPREĐENJE INTERNE KOMUNIKACIJE U CILJU POBOLJŠANJA PROCESA UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM	453
Pavićević, Ž., Mićunović, J., Hamzić D. STRATEGIJSKI PRISTUP UPRAVLJANJU PROIZVODNIM SISTEMIMA	457
Šebo, D., Jurčišin, R. ALGORITHM OF SIMULATION AND OPTIMALIZATION OF CONVENTIONAL MECHANICAL PRODUCTION	461

Šebo, D., Jurčičin, R. SIMULATION ALGORITHM OF MANAGING OF STOCKS IN DEPENDENCE ON MECHANICAL PRODUCTION DEMAND	465
Simonović, S. TEORETSKI PRINCIPI FILOZOFIJE KVALITETA EVROPSKE UNIJE.....	469
Skoko, D., Crnojević, C., Ristivojević, M. PRIMENA PNEUMATSKE METROLOGIJE U KONTROLI MAŠINSKIH DELOVA	473
Stević, M., Hodolić, J., Pavlov, A. IZBOR NAJPOVOLJNIJEG MERNOG MESTA KOD NUMERIČKI UPRAVLJANIH MERNIH MAŠINA	477
Tomov, M., Kuzinovski, M., Cichosz, P. UTICAJ VELIČINE SEMPLIRAKOG RASTOJANJA NA VREDNOSTIMA PARAMETARA PROFILA HRAPAVOSTI	481
Tomov, M., Kuzinovski, M., Cichosz, P. UTICAJ VELIČINE UKUPNE MERNE DUŽINE NA REZULTATE MJERENJA HRAPAVOSTI POVRŠINE	485
Vukas, S., Grozdanić, B. PRIMENA TQM PRISTUPA U ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIM ISPITIVANJIMA MENJAČKIH PRENOSNIKA TRAKTORA	489

SEKCIJA F / SECTION F:

Rad po pozivu / Invited Paper:

Doicin, C. V. METHOD AND CASE STUDY ON COMPUTER AIDED DESIGN OF GROUPS OF PIECES	493
Antić, R. POBOLJŠANJE TEHNOLOGIČNOSTI MAŠINSKIH DELOVA POMOĆU FUZZY CAPP SISTEMA.....	497
Babić, A., Petrović, A., Ilić, N., Pršić, D. INTEGRACIJA CAD/CAM U PROJEKTOVANJU PUTNIH GLODAČKIH GLAVA	501
Bojanić, P. INTEGRACIJA INŽENJERSTVA NA BAZI PRIMENE KOMPJUTERA NA VOKSELSKOJ PLATFORMI INTERNOG MODELA OBJEKTA.....	505
Borojević, S., Jovišević, V., Vukelić, Đ. RAZVOJ PODSISTEMA ZA IZBOR KOMONENTI MODULARNIH PRIBORA.....	509
Budak, I., Soković, M., Hodolić, J., Kopač, J. RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA PRE-PROCESIRANJE TAČAKA NA BAZI FUZZY LOGIKE U REVERZIBILNOM INŽENJERSKOM MODELIRANJU	513
Čvokić, A., Sovilj, B., Radonjić, S., Sovilj-Nikić, I., Milenković, Đ. AUTOMATIZACIJA ODREĐIVANJA KINEMATSKIH PARAMETARA ALATA ZA OBRADU REZANJEM	517
Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R. RAČUNARSKO MODELIRANJE PONAŠANJA TELA PROTEZE ZGLOBA KUKA	521
Hodolić, J., Bešić, I., Vukelić Đ., Budak, I., Kuric, I. SAVREMENI PRILAZI U PROGRAMIRANJU I POSTPROCESIRANJU UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA ZA NUMM.....	525
Hristovska, D. E. STATE ON CANTILEVER BEAM WITH STATIC LOADINGS	529

Janković, N., Mandić, V. OPTIMIZACIJA POPREČNOG PRESEKA ZAVOJKA CILINDRIČNIH ZAVOJNIH OPRUGA.....	533
Jokanović, S., Čiča, Đ. APLIKATIVNI PROGRAMSKI INTERFEJS CAD/CAM SISTEMA <i>SOLIDWORKS</i>	537
Latinović, T., Todić, M., Zrilić, R. GENETSKI FAZI ADAPTIVNI EKSPERTSKI SISTEM U AUTOMATIZOVANOM PROIZVODNOM SISTEMU	541
Lukić, D., Todić, V., Milošević, M., Kuric, I. DEFINISANJE OSNOVNIH ELEMENATA TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADE U SPECIJALIZOVANOM CAPP SISTEMU	545
Lukić, D., Todić, V., Milošević, M. IZBOR ELEMENATA FSA U SPECIJALIZOVANOM CAPP SISTEMU	549
Mandić, V., Stefanović, M., Janković, N., Ćirović, M., Ćurčić, M. PRIMENA TEHNOLOGIJA VIRTUELNOG INŽENJERINGA U INTEGRISANOM RAZVOJU PROIZVODA I PROCESA	553
Milenković, Đ., Sovilj, B., Seuček, I., Čvokić, A. PROJEKTOVANJE PROFILNIH NOŽEVA PRIMENOM SAVREMENIH ALATA ZA PROJEKTOVANJE	559
Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B., Bojović, B., Čović, N. INTELIGENTNI TEHNOLOŠKI SISTEMI U DOMENU PROIZVODNJE DELOVA OD LIMA	563
Milojević, Z., Zeljković, M., Navalusić, S. PROGRAMSKI SISTEM ZA VERIFIKACIJU NC UPRAVLJAČKOG PROGRAMA.....	567
Nikšić, P., Mitrović, A. PREDNOSTI PRIMENE MODELIRANJA U IZRADI TEHNIČKIH CRTEŽA PREDMETA	571
Sovilj, B., Nahod, R., Seuček, I., Čvokić, A., Sovilj-Nikić, I. PROJEKTOVANJE ODVALNOG GLODALA PRIMENOM PRO/ENGINEER	575
Sovilj, B., Damjanov, K., Borenović, M., Sovilj-Nikić, I., Jašćur, M. PROJEKTOVANJE ODVALNOG GLODALA ZA OŽLJEBLJENJE VRATILA PRIMENOM PROGRAMA VISUAL BASIC 6.0	579
Sovilj, B., Trifunčević, G., Seuček, I., Sovilj-Nikić, I., Milenković, Đ. PROJEKTOVANJE PROFILNOG MODULNOG KOTURASTOG GLODALA PRIMENOM SAVREMENIH PROGRAMSKIH SISTEMA	583
Sovilj-Nikić, I., Todić, V., Brezočnik, M., Ćosić, I., Sovilj, B. PRIMENA GENETSKOG ALGORITMA U OPTIMIZACIJI GEOMETRISKIH PARAMETARA ODVALNOG GLODALA.....	587

SEKCIJA G / SECTION G:

Rad po pozivu / Invited Paper:

Durakbasa, M. N., Osanna, P. H., Kräuter, L. MODERN INDUSTRIAL MANUFACTURING AND FABRICATION TO ACHIEVE HIGH ACCURACY AND HIGH ECONOMY	591
---	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Тановић, Љ. МЕТАЛОПРЕРАЂИВАЧКА ИНДУСТРИЈА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ - СТАЊЕ И ПЕРСПЕКТИВА.....	595
---	-----

Rad po pozivu / Invited Paper:

Spasić, Ž., Pilipović, M.

OBRAZOVANJE INŽENJERA PROIZVODNOG MAŠINSTVA
ZA EVRPSKE INTEGRACIJE: EHEA + ERA ZAJEDNIČKI PROSTOR 599

Bracanović, Z.

UTICAJ PONAŠANJA KORISNIKA NA INOVIRANJE PROIZVODA ILI USLUGA 603

Ćosić, I., Hodolić, J., Lazarević, M.

DEMONTAŽA I RECIKLAŽA PROIZVODA..... 607

Đorđević, M., Đorđević, M.

UTICAJ KJOTO PROTOKOLA NA DALJI RAZVOJ FABRIKE ZASTAVA AUTOMOBILI..... 611

Erić, M., Tadić, B., Stefanović, M.

MODEL REINŽENJERINGA TEHNOLOŠKIH PROCESA 615

Ivanović, L., Devedžić, G.

MODELIRANJE TROHODNOG OZUBLJENJA
SA ASPEKTA RAVNOMERNOG HABANJA BOKOVA ZUBACA 619

Krstić, D.

GLOBALNE STRATEGIJE AUTOMOBILSKE INDUSTRIJE 623

Krstić, D.

MODEL POTENCIJALNOG REINŽINJERINGA ZASTAVE
REZERVNI DELOVI PRIMENOM ICT ONLINE TEHNOLOGIJE..... 627

Ljamić, D., Mišić, M.

MONITORING I DIJAGNOSTICIRANJE SLOŽENIH PROIZVODNIH SISTEMA..... 631

Marjanović, Z., Brzaković, R.

ANALIZA OTKAZA ASINHRONIH MOTORA U POGONIMA ZASTAVA AUTOMOBILIMA 635

Milčić, D., Đurić, S., Đorđević, Lj.

ZNAČAJ INOVACIJE ZNANJA I STRUČNOG USAVRŠAVANJA
I PERMANENTNOG OBRAZOVANJA ZA KVALITET I KONKURENTNOST 639

Milosavljević, P., Randelović, S., Mladenović, S.

POBOLJŠANJE PROCESA ODRŽAVANJA U A.D. "NISSAL"-NIŠ 643

Mitrović, D., Petrović, Z., Najdanović, B.

RAZVOJ I TRŽIŠNO POZICIONIRANJE NOVIH MODELA AUTOMOBILA - marketing aspekt - 647

Perić S., Vuruna, M.

PRILOG PROAKTIVNOJ STRATEGIJI ODRŽAVANJA
TRIBOMEHANIČKIH SKLOPOVA MOTORNH VOZILA..... 651

Radosavljević, Z., Lukić, Lj., Kukobat, Z.

SISTEMI INTEGRISANOG PROJEKTOVANJA POSTROJENJA U ELEKTROMAŠINOGRADNJI..... 655

Zeljšković, V., Đapić, M.

PROCES USAGLAŠAVANJA PROIZVODA PO NOVOJ MAŠINSKOJ DIRKTIVI 2006/42/EC 659

INDEX AUTORA / AUTHOR INDEX 663

PODACI O DONATORIMA / INFORMATION ABOUT THE DONATORS..... 667

Milačić, R. V.

INDUSTRIJSKA ORGANIZACIJA EKONOMIJE DRŽAVE - Nova paradigma održivog razvoja -

Rezime: U ovoj studiji se postavljaju krucionalna pitanja propadanja ili opstanka jedne države kroz prizmu novih mehanizama za održivi razvoj. Posebno se razmatra nova industrijska organizacija ekonomije države.

Deteljno se analizira akumulacija finansijskog i ljudskog kapitala, totalni faktor produktivnosti, inovacije, međuzavisnost država, nejednakost ljudi, i institucije i politika.

U zaključku se navode neke strateške dileme o daljem razvoju Srbije.

Ključne reči: Finansijski i ljudski kapital, totalni faktor produktivnosti, vrste inovacija, sektori industrije, industrijske grupe.

INDUSTRIAL ORGANIZATION OF STATE ECONOMY - New Paradigm for Sustainable Development -

Summary: Our study deals with crucial questing related with failed states introducing index which covers twelve indicators. Such as: social indicators, economical indicators and political indicators. Special attantion was payed to industrialized economy of state.

Detailed analyses is offered in domains of financial and human capital acumulation, total factor productivity, innovations, states interdependence, in equality, and institutions and politics.

In conclusion is given some strategy dilemmas in nearfuture development of Serbia.

Key words: Financial and human capital, total factor productivity, innovation forms, industry sectors, industrial groups

0. INDUSTRIJSKA ORGANIZACIJA EKONOMIJE DRŽAVE

- nova paradigma održivog razvoja -

Prva dekada trećeg milenijuma sve više izbacuje na površinu proces globalnog rekonfigurisanja sadašnje civilizacije. Naša skromna namera je da ukažemo na neke od ključnih procesa koji se zapravo odigravaju pred nama a za koje nismo svesni da zapravo vrše duboke promene na mapi sveta.

Do sada smo pokušali da ukažemo na neke od tih promena pišući o njima, negde od početka poslednje decenije prošlog veka, kao što su:

Globalizacije i kompetitivnost [1]

Intelektualni kapital – apologije ljudskog duha [2]

Menadžment tehnologija [3]

Industrija znanja [4]

Metodologija projektovanja tehnoloških platformi [5]

Sada nudimo novi prilog za razumevanje teorije razvoje društva uvodeći novu paradigmu održivog razvoja kroz proces Industrijske organizacije ekonomije države ili grupe država

Činimo smeo pokušaj da više postavimo pitanja kao dileme koje su oko nas i u nama samima nego da damo neke i približno zadovoljavajuće odgovore. Izabrali smo sledeće grupe pitanja:

1. Da li Srbija pripada ligi propalih država [6],
2. Koji mehanizmi dovode do propadanja jedne države,
3. Koji su mehanizmi za obezbeđenje održive budućnosti države, i
4. Industrijska organizacija ekonomije države kao nova paradigma održivog razvoja

1. Da li Srbija pripada ligi propalih država?

“..Puče kolan svečevoj kobili,
Otidoše kola nizastranu..”
Njegoš

Koji je prvi znak propadanja jedne države? To je kada zavlada apatija u širokom sloju stanovništva. Reditelj TV serije “Selo gori, a baba se češlja” R. Bajića, je objasnio ovo stanje u narodu na primeru našeg seljaka koji se danas oseća kao neko ko je imao lepo imanje i obradio ga očekujući bogat rod. Kada odjedanput naiđu crni oblaci i grad uništi sav njegov trud. Gleda njive i voćnjake opustošene gradom. Ali ovo nezadovoljstvo dolazi i kada sam čovek ili neka zajednica “poseče šumu i erozija tla uništava njegov posed”. Nešto ćemo više o tome u narednim poglavljima.

Sada da se vratimo na “ligu propalih država”. Već duže vreme se nastoji da se izrade modeli za kvantifikaciju i nuđenje redosleda pozicije pojedinih država ili grupa država kako bi se donosile strateške odluke za politiku razvoja. Politika razvoja može da bude na korist svih koji su obuhvaćeni ovakvom analizom, ili pak da služi na projektovanje daljeg produbljivanja jaza između zemalja. U prethodnom periodu sve analize vršene su za pojedine grupe zemalja koje su uspostavile tešnje veze saradnje, kao npr. OECD organizacija. Međutim, danas sve više se analize odnose na naše “globalno selo” tj. na našu planetu.

Unazad nekoliko godina časopis čiji je izdavač Karnegi Fondacija za međunarodni mir iz Vašingtona sprovodi analizu “indeksa neuspešnih država” (Failed States Index) koji obuhvata 177 država [7]. Stotine hiljada napisa iz globalne kolelekcije od maja do decembra 2006. uz podršku pregleda eksperata poslužila je kao osnova za ovu analizu. Korišćenje CAST softvera.

Indeks neuspešnosti je formiran na bazi tri grupe indikatora, i to:

- a) Društveni indikatori
 I-1 Rast demografskog pritiska
 I-2 Masivno kretanje izbeglica ili unutrašnje preseljenje, kompleksne humanitarne pojave
 I-3 Nasledstvo osвете – traganje za grupama koje čine nepravdu
 I-4 Hronično i održivo bekstvo ljudi
- b) Ekonomski indikatori
 I-5 Neujednačeni ekonomski razvoj duž linije grupa
 I-6 Oštar i/ili oštiji ekonomska pad
- c) Politički indikatori
 I-7 Kriminalizacija i/ili delegitimizacija države
 I-8 Progresivno pogoršanje javnih servisa
 I-9 Suspenzija ili samovoljna primena zakonskih normi, povreda ljudskih prava
 I-10 Bezbedni aparat funkcioniše kao “država u državi”
 I-11 Rast grupne elite
 I-12 Intervencija drugih država ili dejstvo spoljnih faktora

Polovina indikatora odnosi se na društveno-ekonomski kompleks, dok druga polovina na politički segment. Međuzavisnost grupa indikatora je složena i sigurno da postoji dvosmisleno dejstvo sa pozitivnim i negativnim predznakom sinergetskog efekta. Sve više se nameće politička prevlast nad širokim spektrom čovekovih sadržaja rada i života.

Vratimo se listi od dvanaest indikatora koji mogu da imaju vrednost od 1 do 10 i njihov zbir određuje poziciju zemlje na listi lige neuspešnih.

Veća vrednost pojedinog indikatora govori o lošijem stanju u toj oblasti na koje se odnosi indikator; kao i da ukupna vrednost sume indikatora ukoliko je veća imamo veći stepen neuspešnosti.

U uzorku od 177 zemalja “šampion” neuspešnosti je Sudan sa skoro 113.7, dok najuspešnija (ili najmanje neuspešna) je Norveška sa skorom od 17.1.

Za potrebu naše analize ovaj raspon od 113.7 do 17.1 izvršili smo grupisanje u sedam grupa zemalja, i to:

• Prva grupa I zemalja	113.7-100	→	12
• Druga grupa II zemalja	97.7-91.2	→	20
• Treća grupa III zemalja	89.7-80	→	40
• Četvrta grupa IV zemalja	79.9	→	41
⇒ Ukupno 177 zemalja			
• Peta grupa V zemalja	69.8-60.1	→	16
• Šesta grupa VI zemlje	59.9-45	→	22
• Sedma grupa VII zemalja	39.7 - 17.1	→	26

Grafički prikaz gore navedenih podataka dat je na slici 1. Horizontalna osa daje raspored posmatranih država od 1 do 177; dok na vertikalnoj osi je prikazana vrednost indeksa neuspeha država.

Kaskada uspeha/neuspeha država ukazuje na duboku podeljenost sveta u sedam kaskadnih koraka. Na prvom kaskadnom koraku imamo 12 zemalja koje su označene sa najvišim indeksom neuspeha. Navodimo te države prema nivou neuspešnosti:

Indeks neuspeha	
1. Sudan	113.7
2. Irak	111.4
3. Somalija	111.1
4. Zimbabve	110.1
5. Čad	108.8
6. Obala Slonovače	107.3

7. DR Kongo	105.5
8. Avganistan	102.3
9. Gvineja	101.3
10. Centralna Afrička Republika	101
11. Haiti	100.9
12. Pakistan	100.1

Ove države u suštini označavaju zonu ratova i unutrašnjih sukoba tako da i nije čudo što su “šampioni lige propalih zemalja” [7]. Ovaj sarkazam nije upućen tim nesrećnim narodima, već spoljnim i unutrašnjim kreatorima totalnog haosa u kojem vrtlogu se našao čovek - stanovnik tih država.

Na drugom kraju naše kaskade grupisano je 26 država koje zapravo su uspele da minimizuju vrednost indeksa neuspeha i da za sebe obezbede da budu iz liga uspešnih zemalja. Evo njihove liste prema uspešnosti:

177 Norveška	17.1
176 Finska	18.5
175 Švedska	19.3
174. Irska	19.5
173. Švajcarska	20.2
172. Novi Zeland	20.5
171 Island	21.2
170 Danska	22.2
169 Australija	23.2
168 Kanada	25.1
167 Belgija	25.5
166 Austrija	26.0
165 Luksemburg	28.1
164 Japan	28.5
163 Holandija	28.6
162 Portugal	32.4
161 Singapur	32.5
160 SAD	33.8
159 Čile	33.8
158 V. Britanije	34.1
157 Francuska	34.1
156 Italija	37.1
155 Slovenija	37.5
154 Nemačka	38.4
153 Španija	39.2
152 Južna Koreja	39.7

Navedenih 26 zemalja su jezgro visokorazvijenih industrijskih zemalja od kojih je samo sadam izvan evropskog kontinenta. U ovu grupu spada i Slovenija jedna od bivših republika Jugoslavije. Ovu grupu čine i članice G7 koje zapravo globalno upravljaju svetom.

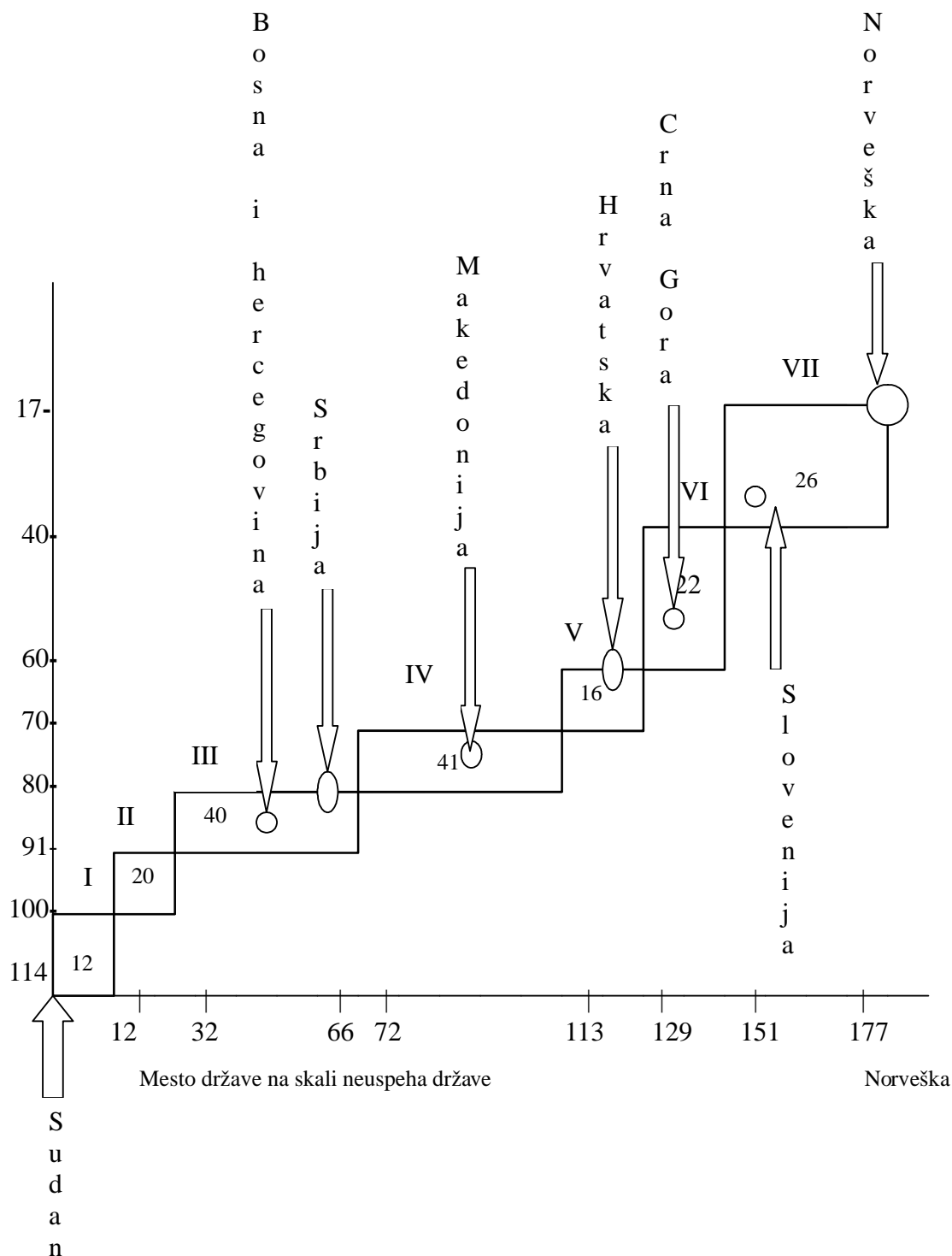
Između ova dva pola koji mogu da predstavljaju pol neuspešnih država i pola najuspešnijih država nalazi se zona 131 zemlje visoke turbulencije koje mogu da se kreću prema polu neuspešnih, ali vrlo teško da mogu da obogate spisak visoko uspešnih.

Za ilustraciju ove dinamike kretanja može da posluži zemlja Nigerija koja ima poziciju 17 sa ideksom neuspešnosti 95.6. Nigerija ima 140 miliona stanovnika i deseti je svetski proizvođač nafte. Za četiri decenije Nigerija je na nafti

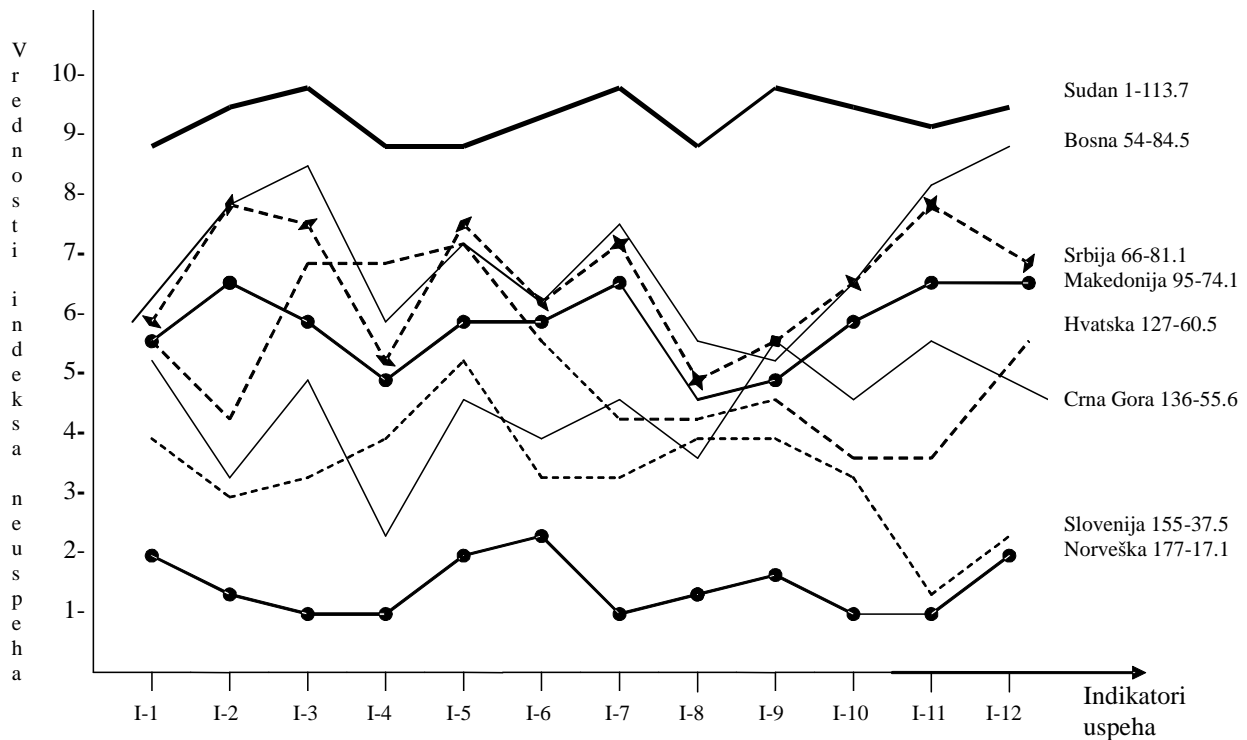
zaradila 1.2 biliona dolara. Ali ipak zbog korupcije i kriminala (indeks je 9.1) 90 odsto stanovništva živi sa samo dva dolara dnevno.

Balkan, a pogotovo, prostor u kome se nalazila i zemlja Jugoslavija (SFRJ) kroz unutarnje padove i spoljni rat NATO alijanse, sada egzistira provizorijumom od šest država. Koristeći podatke za indeks neuspelih država možemo da sačinimo sliku njihovog pozicioniranja zavisno od 12 indikatora (vidi sliku 2). Dve granične krive se odnose na

Sudan kao "lidera" neuspešnosti i Norveške kao lidera civilizacijskog prosperiteta. U ovim granicama se nalaze linije sadašnjih država bivše Jugoslavije: Slovenije, Crne Gore, Hrvatske, Makedonije, Srbije, i Bosne i Hercegovine. Očigledan je krajnje nepovoljan položaj Srbije koja je gotovo potpuno praćen Bosnom i Hercegovinom (zona III). U zoni IV je Makedonija, dok je Hrvatske na granici zone V i VI. Crna Gora je u zoni VI.



Slika 1 Kaskada – uspeha / neuspeha država



Slika 2 Zemlje bivše SFRJ u granicama uspeh / neuspelih

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sudan	9.2	9.8	10	9	9.1	7.7	10	9.5	10	9.9	9.7	9.8
Norveška	2	1.6	1	1.1	2	2.1	1	1.3	1.5	1	1	1.5
Razlika	7.2	8.2	9	7.9	7.1	5.6	9.0	8.2	8.5	8.9	8.7	8.3
Srbija	6	8	7.7	5.5	7.7	6.5	7.5	5	6.1	6.3	8	6.8
Sudan	3.2	1.8	2.3	3.5	1.4	1.2	2.5	4.5	3.9	3.6	1.7	3.0
Norveška	-4	-4	-6.7	-4.4	-5.7	-4.4	-6.5	-3.7	-4.6	-5.3	-7.0	-7.3

Za bolje čitanje linija sa slike 2. sačinjena je tabela u donjem delu tabela koja ukazuje na širinu kapija neuspešnosti između Sudana i Norveške, kao i položaj Srbije u odnosu na gornju granicu određenu Sudanom, i donju granicu određenu Norveškom.

Nudimo radi upoređenja sintetički indeks udaljenosti od gornje i donje granice. Tako je Srbija udaljena od gornje granice-Sudana za kumulativni ponder 32.6, ili prosečni ponder po indeksu za 2.55. ako se pogleda udaljenost Srbije od donje granice Norveške kumulativni ponder je 64.6 dok prosečni ponder po indeksu je 5.4. Slobodno govoreći Srbija je bliža Sudanu a dvostruko je udaljenija od Norveške.

Nad ovim se treba zamisliti!

2. Koji mehanizmi dovode do propadanja jedne države ?

“Mnogo nesreće dolaze čoveku zbog njegove lenjosti, rasipnosti i rđavog ponašanja”.

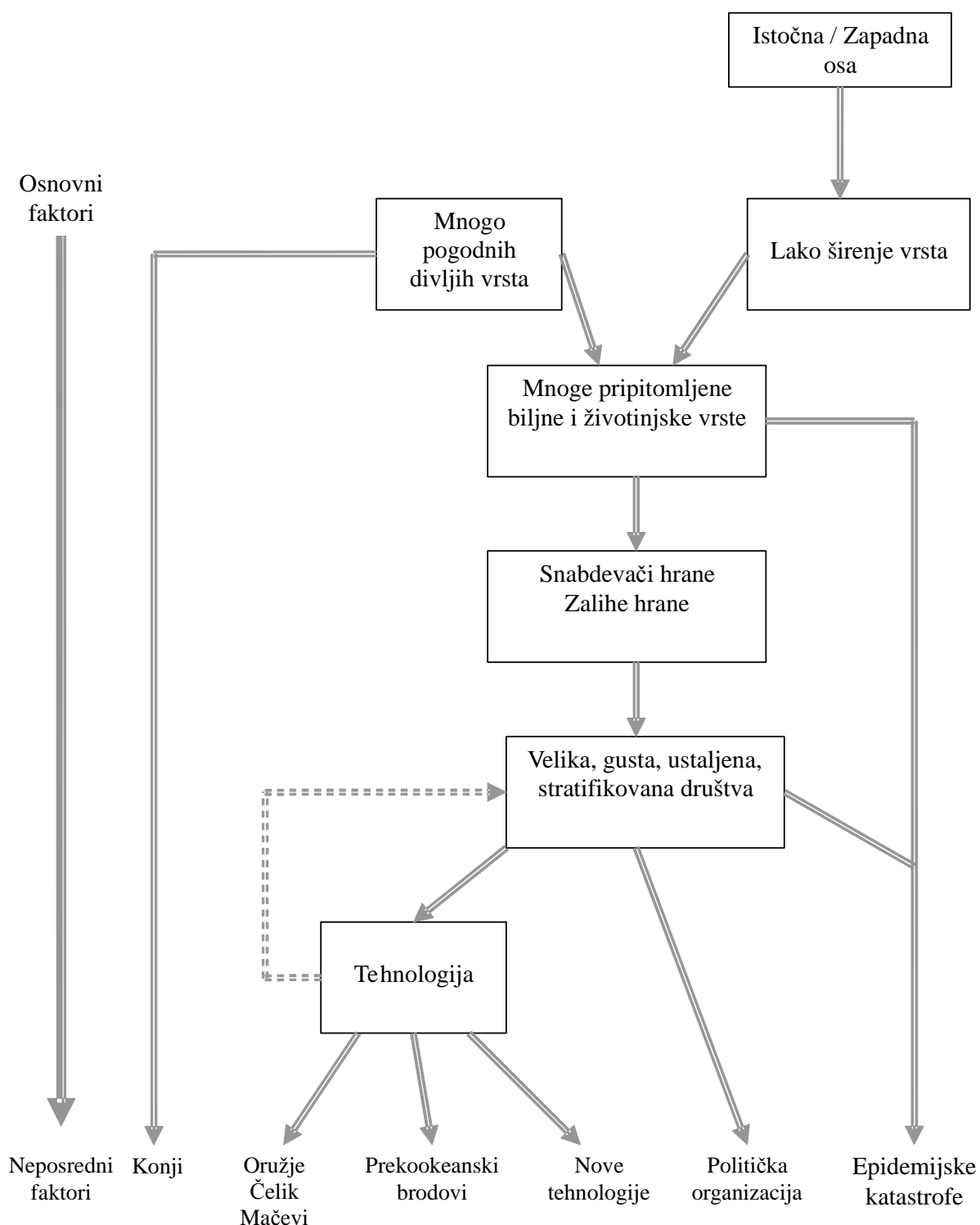
Zaratustra (600 godina p.n.e.)

Danas gotovo dve trećine zemalja (po broju) nalazi se u zoni propadanja na kaskadnoj mapi. Mi slobodno to označavamo sa nivoima kaskade od I do V, čiji je indeks propadanja od 114-60 (vidi sliku 1.). To je razlog da našu analizu nastavljamo vezano za tu grupaciju zemalja.

Odgovori na postavljena pitanja koji su to mehanizmi koji su uslovlili njihovo propadanje nije ni malo lak. U poslednje vreme čine se brojni pokušaji da se istorija čovečanstva (Human History) razvije kao naučna oblast koja se proteže do 11000. godine pre nove ere [8]. U navedenoj knjizi Jared Diamond-a daje logički lanac događanja od osnovnih faktora prema neposrednim faktorima od poslednjeg ledenog doba do danas. To je prikazano na slici 3.

Kontinentalna konfiguracija Zemlje zapravo je odredila glavne ose ukupnog ekološkog ambijenta u kome su nastala i razvijao se Homo Sapiens. Dve vertikalne ose ose sever.-jug mogu da se povuku duž američkog i afričkog kontinenta; dok evroazijski prostor je određen horizontalnom osom istok.-zapad. Ova horizontalna osa je omogućila lako širenje vrsta, naročito u prostorima gde su postojale mnoge pogodne divlje vrste. Dugi trajni koristan rezultat pripitomljavanja je konj. To je omogućilo čoveku da dobije mnoge pripitome biljne i životinjske vrste. Poslužilo mu je da može da postane snabdevač hrane kroz stvaranje zaliha hrane. Sve to je omogućilo da čovek organizuje velika, gusta i ustaljena, stratifikovana društva.

Ovakva društva su generisala tehnologiju, političku organizaciju i pismo. Epidemiološke katastrofe su rezultat pripitomljavanja, ali i izgradnje stalnih boravišnih prostora.

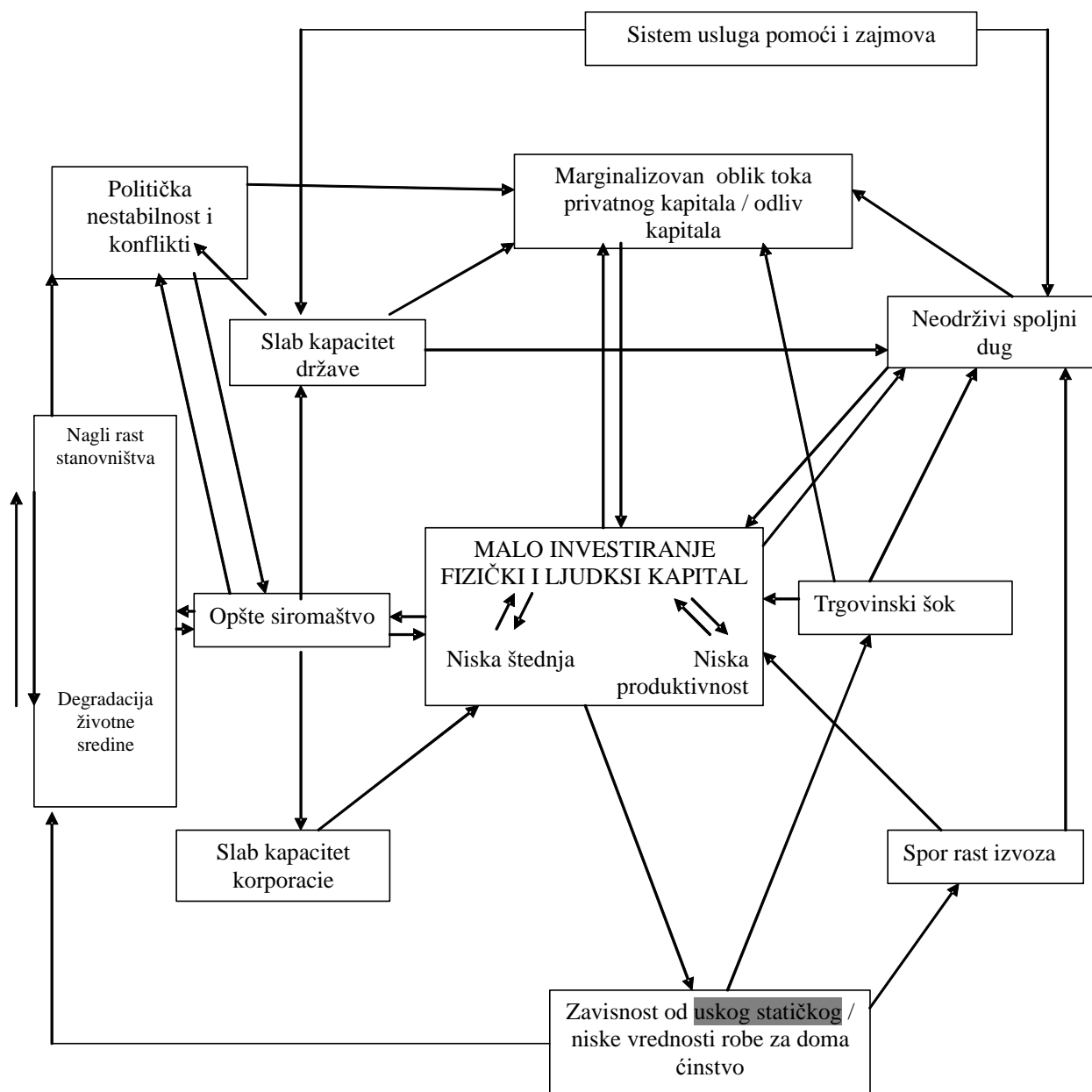


Slika 3 Struktura lanca uzorka od osnovnih faktora prema neposrednim faktorima koji su uticali na istoriju čovekove civilizacije

Nastanak i razvoj tehnologija može da se za ovaj nivo razmatranja iskaže kroz oružje, čelik, mač, prekookeanske brodove i mi dodajemo veliko sazvežđe novih tehnologija. To su zapravo neposredni faktori razvoja. Ako se ovo utisne u ekološki globalni svet dobijaju se vrlo različiti mehanizmi i odgovarajući nivoi razvoja, i to od prosperitetnih prostora do prostora u kolapsu. Danas se čovek sukobljava sa glađu i bolestima, i prostorom koji je sve više ekološki degradiran. Ekološka degradacija je zapravo jedan od ključnih mehanizama koji dovodi do neuspešnih država i njihovog

kolapsa.

Tragajući za određenjem mehanizama koje dovode jednu zemlju do siromaštva našao sam u UNCTAD-ovo objašnjenje. UNCTAD je komisija za trgovinu i razvoj Ujedinjenih nacija. U knjizi "Opterećenje belog čoveka" [9], objašnjavaju se pokušaji uglavnom MMF-a, Svetske banke i Ujedinjenih nacija da spreče eroziju nekih zemalja u pravcu kolapsa. Čini nam se da slika 4 pruža na mogućnost prepoznavanja mehanizama na bazi koga je moguće razviti strategiju suprotstavljanja propadanju jedne zemlje.



Slika 4 – UNCTAD – Komisija Ujedinjenih nacija za trgovinu i razvoj) Objašnjenje siromaštva

Centralno mesto u ovoj šemi zauzima pitanje investiranja u fizički i ljudski kapital što je tesno povezano sa niskom produktivnošću i niskom štednjom. Ovo je posledica opšteg siromaštva neke zemlje koje je amplifikovana naglim rastom stanovništva i ubrzanom degradacijom životne sredine. Još jedna slaba sabirna tačka razvoja je marginalizacija privatnog kapitala kao i odliv kapitala. Na to utiče neodrživ spoljni dug, politička nestabilnost i konflikti kao i slab kapacitet države. Slab investicioni potencijal je u velikoj meri uslovljen slabim kapacitetom korporacije i sporim rastom izvoza. Asortiman roba široke potrošnje je sužen, statičan i niske vrednosti što ima za posledicu trgovinski šok i spori rast izvoza. Da bi se kontrolisao spoljni dug neophodan je razvoj sistema usluga za pomoć i zajmove za šta je prevashodno potrebno da se ojača kapacitet države.

Brojne strelice na slici ukazuju na međusobnu zavisnost navedenig čvorišta naše mape siromaštva koju je potrebno razumeti sa osmišljavanjem mape održivog razvoja u cilju prevodenja jedne zemlje u klub uspešnih zemalja.

Kroz analizu mape siromaštva može da se prepoznaju i mehanizmi koji Srbiju svrstavaju u ovu grupu.

3. Koji su mehanizmi z a obezbeđenje održive budućnosti zemlje?

U grupu od 26 najuspešnijih zemalja 19 zemalja je iz Zapadne Evrope. Interesantno je navesti iz istorije Evrope da je u 14. veku bilo 1000 nezavisnih država da bi oko 1500. godine n.e. smanji se na 500, dok je broj država 1980. godine iznosio svega 25. Sada je u Evropi broj porastao na blizu 40 u kojima se govori 45 jezika i sa velikom kulturnom diverzifikacijom. Zemlje Balkana su uvek bile siromašne. J. Diamond je pokušao da objasni razvoj Evrope kroz njeno hronično nejedinstvo, dok je Kinu usporavalo baš hronično jedinstvo.

Evropsku zajednicu čini 27 zemalja i preko Saveta vrši veliku homogenizaciju i unosi veliki stepen jedinstva u zajednici.

Kada se analizira istorija Evrope nazaobilazna je istorija Rimskog carstva, njegova veličina i propast [10]. Upoređujući ratovanje između vojničkog siromašnog režima Rima i bogate Kartagine Montesquije konstatuje da su "Rimljani svoju ambiciju crpili iz ponosa, Kartaginjani iz nezajažljivosti; jedni su želeli da gospodare, drugi da stiču: a ovi potonji su ratovi bez ljubavi, neprestalno računajući prihode i izdatke, ...

imućna Kartagina vodila je rat protiv rimskog siromaštva i time je već bila unazađena; zlato i srebro se uscrpljuju, ali vrlina, upornost i snaga i siromaštvo nikada se na mogu istrošiti.”

Razlog za propast Rima Montesquije ovako objašnjava: “ Rimljani su uspjeli da zagospodare svim narodima ne samo zahvaljujući ratničkoj vješтини već i opreznosti, mudrosti i upornosti, i njihovoj ljubavi prema slavi i otadžbini. Kada su pod imperatorima sve ove vrline iščezle, preostale je ratnička vješтина, i njom su čuvali ono što je stečeno uprkos slabosti i tiraniji njihovih vladara. Kad je iskvarenost prodrla i u samu vojsku, Rimljani su postali plen svih naroda... Rim je bio poražen zato što su ga svi narodi odjednom napali i prodrli u njega sa svih strana.” Znači Rim se urušio pod dejstvom sila iznutra i spolja. Danas čitalac može da pretpostavi da postoje slični modeli uspostavljanja novog svetskog poretka kao i npr. propast Sovjetskog saveza, Jugoslavije, Čehoslovačke i dr. naročito, sukob SAD i Sovjetskog saveza u doba hladnog rata kao da je pratio obrazac sukoba Rima i Kartagine. Ali tada je otvoren put seriji ratova uključujući i Balkan.

Deo Evrope uspostavio je neku vrstu sjedinjenja država Evrope pod nazivom Evropska Unija.

U martu 2000. godine evropski lideri su istakli da EU postane do 2010. godine „najdinamičnija i kompetitivna ekonomija na bazi znanja u svetu i sposobna za održivi ekonomski rast sa mnogo boljim poslovima i većom društvenom (socijalnom) kohezijom, i da poštuje čovekovu sredinu“. Tako je nastala Lisabonska deklaracija o Održivoj Evropi za bolji svet: Strategija EU za održivi razvoj [11]. Evropa ima potrebu da sebe inovira „Jačina svoje industrije znanja i evropski kapacitet da izvrši difuziju znanja kroz totalni ekonomski sistem su osnova te uspešnosti i ključ su za podizanje sopstvenog rasta produktivnosti kako bi kompenzovala pad rasta stanovništva i da je u stanju da opbezbedi sredstva za njen socijalni model. Lisabon treba da omogućući da Evropa postane ekonomski lider“ [12].

Pet glavnih oblasti lisabonskog dokumenta su:

Društvo znanja: Kroz porast privlačnosti za istraživače i naučnike koji treba da dovedu da I&R ima prvi prioritet i da promovišu korišćenje informacionih i komunikacionih tehnologija (IKT);

Interno tržište: Utakmica na unutrašnjem tržištu za slobodno kretanje roba i kapitala; i ubrzati akciju za stvaranje jedinstvenog tržišta usluga.

Poslovna klima: Smanjiti ukupne administrativne barijere, unaprediti kvalitet zakonodavstva; omogućiti brzo započinjanje novih kompanija; i stvoriti okruženje koje više podržava biznis.

Tržište rada: Brzo sačiniti preporuke evropske radne grupe za zapošljavanje; razviti strategiju za učenje kroz život i aktivnu starost; podržati partnerstvo za rast i zapošljavanje.

Održivost životne sredine: Raširiti eko-inovacije i graditi liderstvom eko-industriju; uvoditi politiku koja vodi dugoročno i održivo unapređenje u produktivnosti kroz eko-efikasnost.

Za sada EU pokušava da postane nivo SAD u rastu, zaposlenosti i produktivnosti. Tako BDP po stanovniku Evropske Unije je dostigao nivo od 70 procenata američkog.

Produktivnost rada na čas raste u EU, ali je u periodu od sredine 90-tih usporen u odnosu na SAD. Razlog je manje investiranje po zaposlenom kao i usporavanje tehnološkog napretka. Evropsko zapošljavanje vezano je za nisko produktivan rad, dok je Americi zapošljavanje povezano sa porastom produktivnosti na sat.

Sve više se insistira na visoko kvalifikovanoj radnoj snazi, a pogotovu u narednom periodu do 2050. godine. Tako zemlje OECD-a imaće konstantno oko 36% visokokvalifikovanih, dok ostatak sveta napredovaće sporo u stvaranju ovog korpusa rada koji se 2000. godine kretao od

11% do 22%, dok će do polovine dvadesetprvog veka dostići oko 30%.

Tržište rada se sve više modelira kako bi se zadovoljile sve nove i nove aktivnosti kao rezultat održivog razvoja. Velovi i misterije ekonomskog rasta otkrivaju se sve boljim teorijskim uobličavanjem mikro-ekonomsko-tehnoloških zona kao i razvojem odgovarajućih modela i formiranjem bogatih baza podataka [13].

Očigledno je da sve zemlje, grubo govoreći, pripadaju klubu bogatih ili klubu siromašnih. Ekonomisti koriste realni dohodak po glavi stanovnika kao meru za ocenu koliko je ljudima dobro. To je važno za ljude, ali isto takođe su važni i drugi elementi kao što su: političke slobode, obrazovanje, zdravlje, životna sredina i stepen nejednakosti u njihovim društvima. Gore navedeni indikatori svrstavani u društvene, ekonomske i političke zapravo su detaljisana mera uspešnosti jednog društva.

Međutim, mehanizmi koji dovode do uspešnosti ili neuspešnosti jedne sredine predmet si istraživanja brojnih centara znanja u svetu. U ovom programu istraživanja od Adama Smita sa njegovom PIN fabrikom i nevidljivom rukom do današnjih dana uspostavljene su brojne ekonomske škole. Tako po nobelovcima u ekonomiji prednjače škole u zoni Kalifornije, Čikaga i Nove Engleske (MIT i Harvard). Za ovu priliku koristimo model razmišljanja o misteriji ekonomskog rasta koje je ponuđeno u [13].

Realan nacionalni dohodak po glavi stanovnika u vremenu od 1870. godine do 1992. godine dat je na slici 5. Srbija je danas sa svojim nacionalnim dohotkom po glavi stanovnika na nivou srednje vrednosti nacionalnog dohotka po glavi stanovnika u svetu na početku dvadesetog veka.

Osnovno pitanje je koje su to sile koje utiču na konvergenciju između bogatih i siromašnih a koje na stvaranje sve većeg jaza (divergencija) između te dve grupe.

Formalizovanjem mehanizma ekonomskog rasta može da se iskaže kao šestorka:

$$ER = \{ A, P, I, M, N, IP \}$$

Gde su:

ER – Ekonomski rast

A - Akumulacija finansijskog i ljudskog kapitala

P - Produktivnost

I - Inovacije

M - Međuzavisnost država

N - Nejednakost ljudi

IP - Institucije i politika

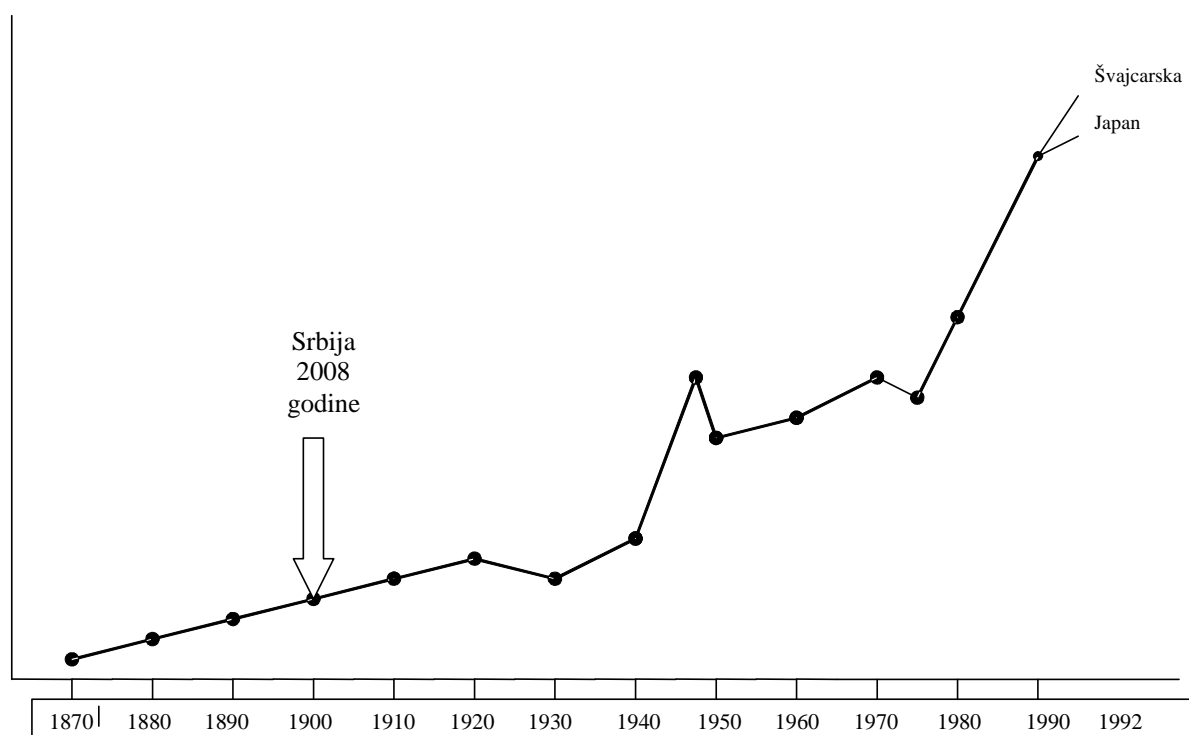
Makroekonomija razmatra akumulaciju fizičkog i ljudskog kapitala kao glavne snage koje uslovljavaju porast dohotka. Fizički kapital se sastoji od količine mašina, uređaja i strukture, dok ljudski kapital se sastoji od količine obrazovanih i obuke koju poseduje radna snaga. Makroekonomisti posmatraju tehnološke promene kao proces spolja i kao takav je jedan od spoljnih ekonomskih podsticaja. Gotovo da zanemaruju tehnološke promene. I stalno insistiraju na intenzivnom investiranju kapitala.

Naši ekonomisti ceo koncept tranzicije zemlje zagovaraju kroz investicije kao da su im drugi glavni agensi razvoja nepoznati.

Prvi od njih je produktivnost koji je dosta neuhvatljiv koncept. Danas se uvodi definicija totalnog faktora produktivnosti (TFP) koji predstavlja meru povezivanja efektivnosti kombinovanjem svih ulaza za proizvođenje izlaza. To je zapravo input/output koncept tako što se insistira na „produktivnosti radnika“ koja se iskazuje kao output po radniku ili output na sat. Razlika između stepena rasta output-a i doprinosa rasta input-a predstavlja zapravo rast totalnog faktora produktivnosti. Prema [13] „Sva nemerljiva unapređenja u kvalitetu input-a unapređenje u tehnologiji,

unapređenje u organizaciji proizvodnje i distribucije, redukcija destrukcije kao što su (bolji regulativi i porezi) i unapređenje politike vlade- sve to će da doprinese TFP

rastu... TFP ostaje glavni izvor rasta, čak i u zemljama sa najboljim kvalitetom podešavanja.“

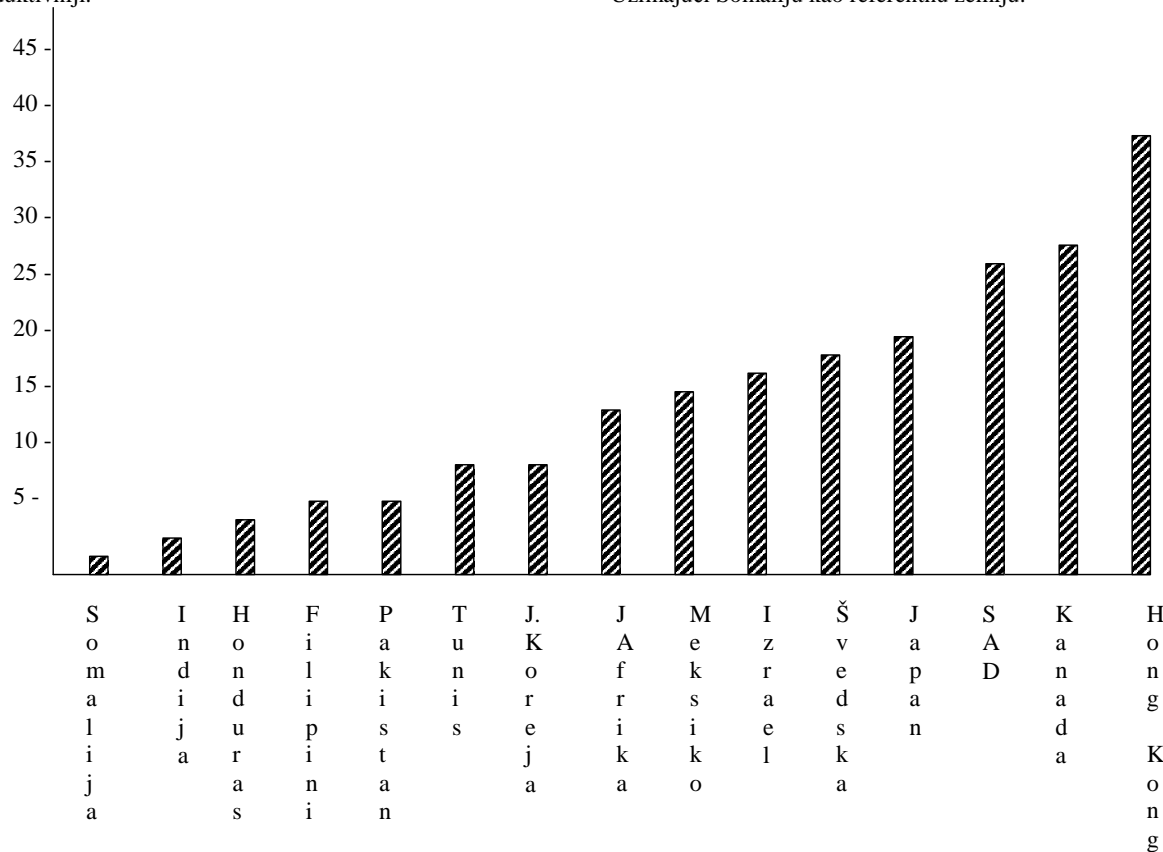


Slika 5 Realan BDP po stanovniku od 1870 – 1992.

Danas imamo veliku razliku u produktivnosti među zemljama. Tako Švedska ima dvadeset puta veću produktivnost nego Somalija dok je Hong Kong četrdesetputa produktivniji.

Dohodaak po radniku je tridesetpet puta veći u SAD nego u Nigeriji. TFP ukazuje na kvalitet radne snage.

Na slici 6. Dat je nivo TFP u periodu 1960-1985. Uzimajući Somaliju kao referentnu zemlju.



Slika 6 TFP nivo srednje vrednosti u odnosu na Somaliju 1960-1985

TFP je u tesnoj korelaciji sa bruto proizvodom po stanovniku. Tako smo već došli do tri elementa za određivanje proizvoda po stanovniku: više kapitala, više čovekovog kapitala, i veća produktivnost.

Za obezbeđenje visokog udela u TFP od posebnog značaja su inovacije. Inovacije obezbeđuju tehnološki napredak, koji zavisi od karakteristika same tehnologije za proizvodnju dobara i usluga i od karakteristika „tehnologije“ za proizvodnju ljudskog kapitala. Ovde dolazimo do značaja intelektualnog kapitala za obezbeđenje održivog dugoročnog razvoja. Utvrđeno je da je obrazovanje važan mehanizam za stvaranje intelektualnog kapitala.

Tehnološke promene treba da su umetnute u aktivnosti radnika, da su umetnute u kapital koji se ulaže i vrednost zemlje.

Za naš model input/output mogu da se povežu tehnološke promene i stepen rasta znanja za dobijanje većeg rasta output-a na čas:

$$Y=A(t) F(k,l)$$

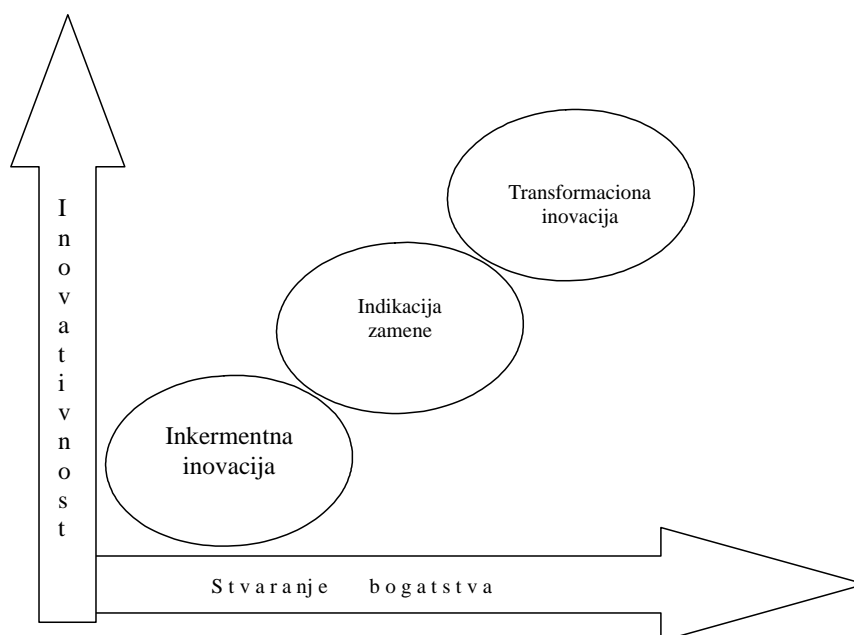
Gde su:

$A(t)$ – tehnološke promene u vremenu

$F(k,l)$ – stepen rasta znanja povezano sa učenjem – obrazovanjem

Istraživanje i razvoj (I&R) je povezan sa TFP, tako da rast TFP omogućuje prelivanje u I&R. Ovde treba napomenuti na različitu važnost u mehanizam primene između privatne tehnologije i tehnologije opšte namene koja je po pravilu širokoraspoloživa. Pod inovacijom se podrazumeva nešto novo u domenu proizvoda, procesa, servisa i obavljanja poslova.

Mi smo uvek insistirali da je inovacija prevođenje pronalaska u ekonomiju, što znači da se inovacija promenjuje da se „izvrši konverzija kreativne ideje u neki komunikativnu i proverljivu formu, generalno da ispuni neku potrebu ili da izvrši neki zadatak“ [14]. Na slici 7. Dati su tipovi inovacija u funkciji stvaranja bogatstva.



Slika 7 Vrste inovacija

Inkrementalne inovacije odnose se na stalne delimične promene i predstavljaju „crvena zrnca“ ekonomije. Bez njih postojeće korporacije ne mogu da postoje. Inovacije su sastavni deo stalnog unapređenja kvaliteta i reinženjering programa.

Transformacione inovacije stvaraju nova tržišta i plima su za komercijalu, stvaraju milijarde, uništavaju konkurenciju i inspirišu novu generaciju. Često dovode do stvaranja novih kompanija. Nastaju od kreativne grupe ljudi koji razaraju postojeći poredak kompanije.

Inovacije zamene su obično druga generacija transformacionih inovacija. To su proizvodi ili sistemi koji prate pionirske inovacije. Primer je Windows koji nije jednostavno proširenje DOS-a, ili primer prelaska od Boeing-a 747 na 707.

Treći element mehanizma ekonomskog rasta je međuzavisnost države i kompanija.

Prvi talas globalizacije odigrao se između 1870-1913. godine karakterisan od tada neviđenim rastom međunarodne trgovine, investiranja i migracija. Izabrali smo dve glavne komponente koje stvaraju vezivno tkivo – međuzavisnost, i to: trgovinu i difuziju znanja kroz istraživanje i razvoj.

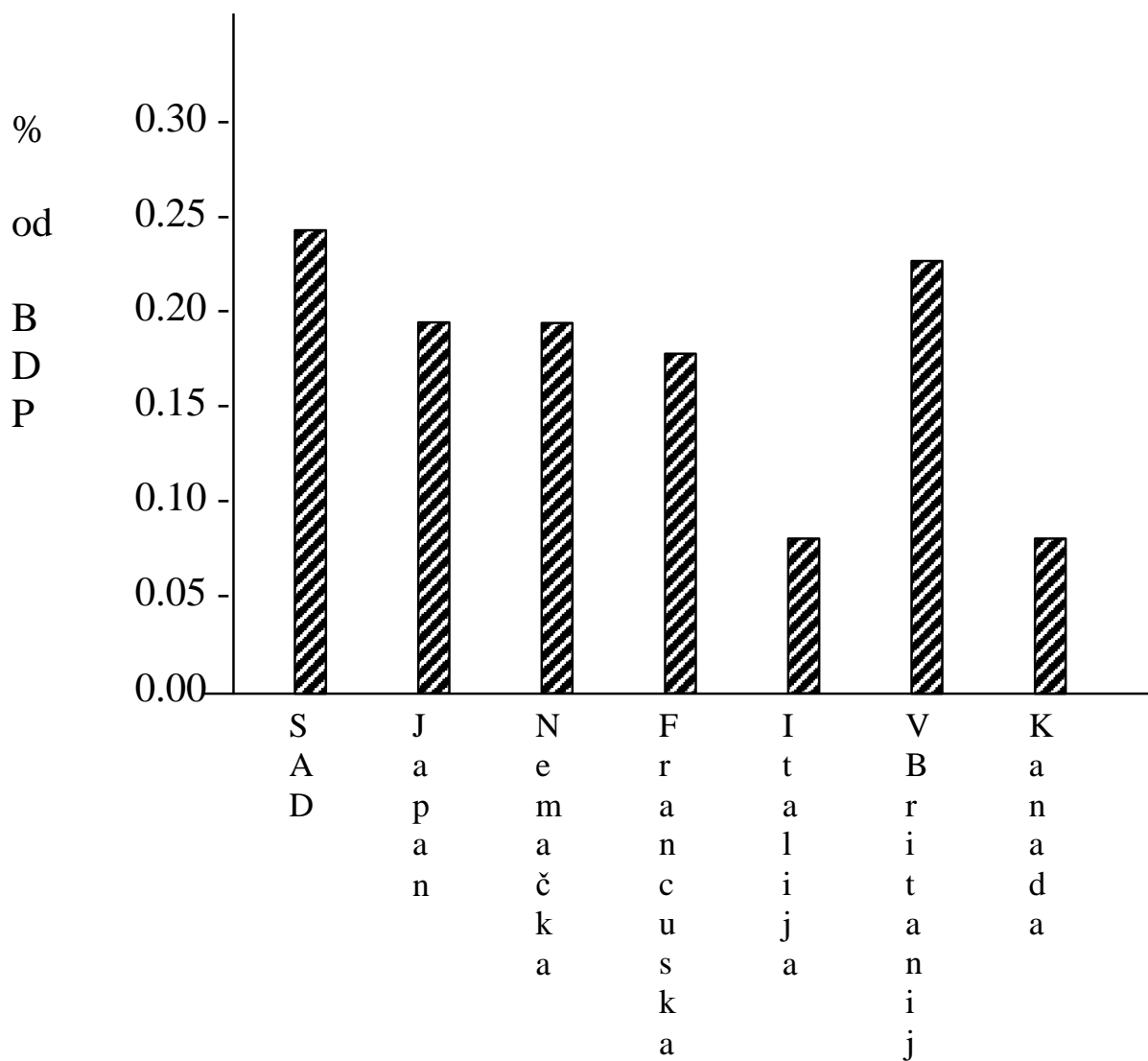
Uticaj trgovine na BDP u ekonomiji sveta pokazuje da od 1950. godine imamo stalni rast tog učešća. Istorijski zapis učešća izvoza i uvoza na rast BDP dat je na slici 8.

Može se primeti da je 1992. godine BDP uslovljen izvoz/uvoz aktivnostima za više od 25 procenata. Obim trgovine zavisi od stalnih prihoda, tehnologije, preferencijala i strukture tržišta, a ovi se elementi razlikuju od zemlje do zemlje. Asortiman, obim trgovine i politika trgovine su stalno pod kontrolom svake države kao i njenih korporacija. Jedno od takvih tržišta čine zemlje Evropske Unije. Nerazumevanje uticaja ovog kompleksa za ekonomski rast Srbije stalno se forsira patologija samodovoljnosti kao ingradijent „nacionalnog ponosa“. Ovo dovodi do toga da je Srbija u klubu neuspelih zemalja.

Oko 95 procenata svetskog istraživanja i razvoja (I&R) izvodi se u industrijski razvijenim zemljama. Te zemlje ulažu značajna sredstva u I&R u odnosu na BDP (slika 9). Ovde treba napomenuti da stok kapitala I&R trgovinskih partnera ima značajan uticaj na ukupan faktor produktivnosti zemlje. Međunarodno I&R se prelijeva preko trgovine (70 procenata efekta), stranih investiranja u razvoj (FDF oko 15 procenata) i vladanje jezikom (15 procenata).



Slika 8 Udeo izvoza i uvoza u BDP u ekonomiji sveta



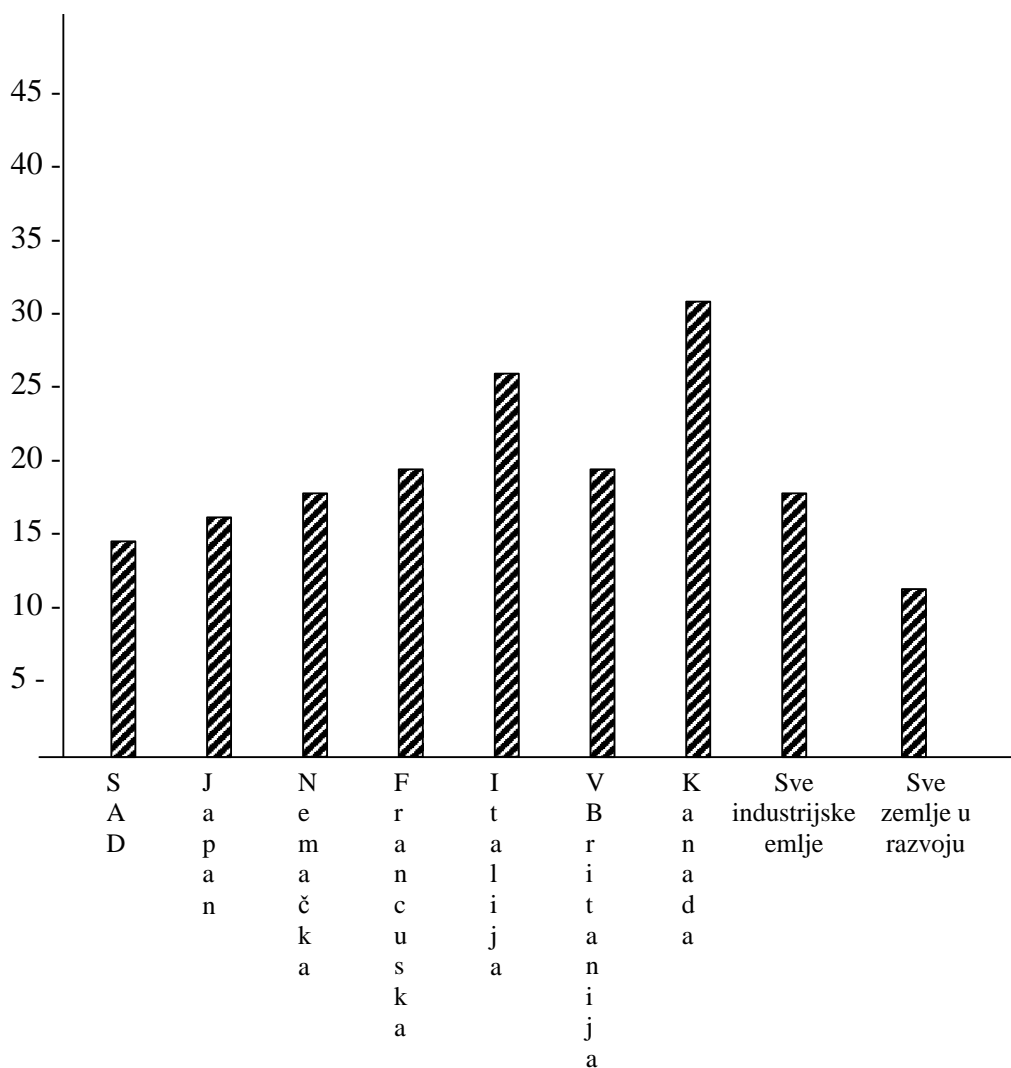
Slika 9 Udeo ulaganja i I&R od BDP zemlja G7 u 1990. godini

Kuznets Simon još 1966. godine u knjizi „Rast moderne ekonomije“ je pisao: „Nezavisno od toga gde se tehnološke i društvene inovacije pojave- a one su u većem delu proizvod razvijenih zemalja – ekonomski rast ma koje nacije zavisi od njihove prilagodljivosti... Te širom sveta date vrednosti i prenosivosti savremenog dodavanja znanja, transnacionalni karakter toga stoka znanja i zavisnost svakog pojedinog naroda na pravcu njegovog savremenog ekonomskog rasta postaje izvesno.“

Tri glavna kanala kroz koje se I&R povezuje sa nizom produktivnosti raznih zemalja su: efekat veličine tržišta, efekat kompetitivnosti kao i trgovina i strane direktne investicije (FDI).

MULTIMOB je ekonomski model za ekonomiju sveta koji koristi i MMF za srednjoročnu prognozu. Ovaj model uzima u obzir tehnološke promene kao posledicu spoljnog eksogenetskog uticaja.

Za njegovo poboljšanje unet je endogenetski (unutrašnji) udeo TFP na rast. Ovaj model je korišćen za simulaciju efekata raznih proširenja investiranja u I&R na rast zemalja i regione sveta. Na slici 10 dat je dugoročni outcome (autkam) koji obuhvata osamdeset godina da postigne u koordiniranoj stalnoj ekspanziji investiranja u I&R za ½ procenta BDP u svaku od dvadesetjedne industrijske zemlje. Tako da output svih industrijskih zemalja raste za 17,5 procenata, dok je porast u manje razvijenim zemljama za srednju vrednost od 10,6 procenata. Manje razvijene zemlje imaju korist od rasta I&R od industrijski razvijeim zemljama. Konačan output rezultira kombinovanjem rasta TFP i akumulacije kapitala. Oko dvetrećine rasta je direktno usled produktivnosti, dok ostala trećina je rezultat unetog akumulisanog kapitala. Usporeno investiranje u inovacije proširuje jaz između bogatih i siromašnih zemalja.



Slika 10 Dugoročni output porast od rasta I&R za ½ procenta od BDP za dvadesetjednu zemlju (1999)

Elaborirajući detaljno nalaze date u [13] koji se odnose na međuzavisnost ekonomskog rasta, a time i bogatstva naroda, želimo da ukažemo da je neodrživo dosta široko rasprostranjeno mišljenje u Srbiji da možemo sami da obezbedimo sopstveni razvoj i da nam je potreban samo inostrani kapital. Produktivnost ukupnog rada je potpuno zapostavljena. I drugo, samoizolacija predstavlja sigurno uništenje naroda.

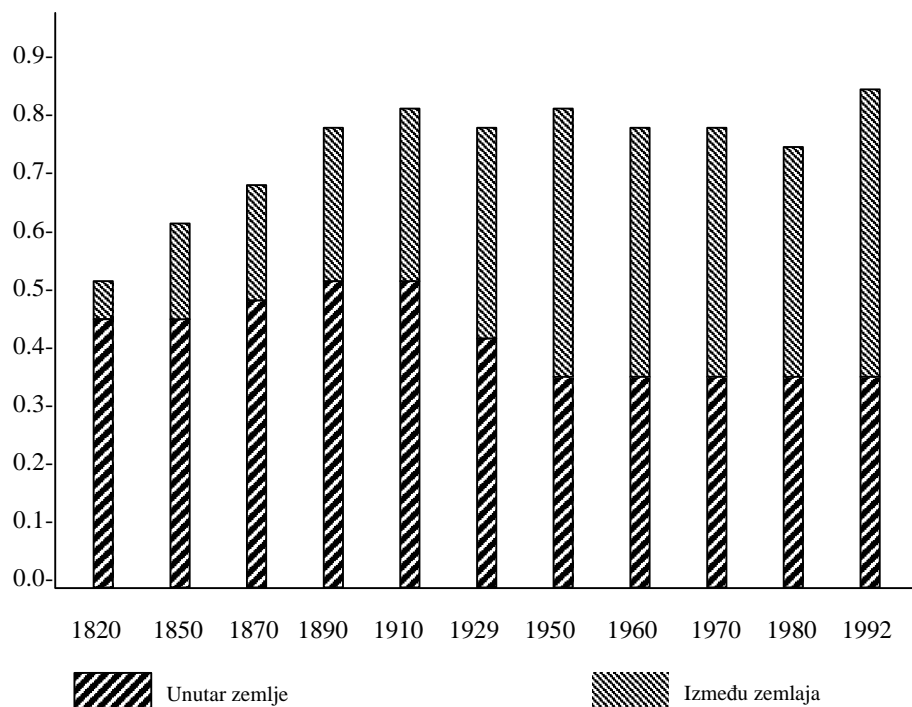
Nejednakost ljudi odnosi se pre svega na one koji predstavljaju radnu snagu. Ovde se postavljaju sledeće osnovne dileme: Kakav je odnos između nejednakosti i ekonomskog rasta; i koji su izvori nejednakosti.

U prvom slučaju je dilema da li nejednakost utiče na ekonomski rast ili ekonomski rast utiče na nejednakost, i kako utiče? Ovde je značajno posmatrati raspodelu primanja unutar jedne zemlje. Svesni smo činjenice da raspodela ličnih primanja u sebi sadrži brojne ingradijente kao što su: sociološki, tehnološki, obrazovni i istorijsko-razvojni.

Za merenje nejednakosti uvedeni su koeficijenti kao što su: Gini i Theil indeksi koji imaju vrednost nulu kada je dohodak podjednako raspoređen i njihova vrednost raste ukoliko je raspodela nejednaka. Gini koeficijent ima gornju granicu jedan, dok gornja granica Theil indeksa je veća ukoliko je brojnije stanovništvo. Ova dva koeficijenta su

međusono jako korelirani tako da pokazuju slične trendove u vremenu. Raspodela ličnog dohotka u svetu iskazana Theil indeksom daza je na slici 11, tako što je razgraničeno učešće unutar zemlje i između zemalja.

Nejednakost naglo raste u devetnaestom veku, dok je usporen rast u dvadesetom. Velika je nejednakost između zemalja posle Drugog svetskog rata. Iz ove slike teško je zaključiti jasne uzroke nejednakosti između država kao i u samoj državi.



Slika V- 1 11 Theil indeks svetske raspodele ličnog dohotka: dekomponovan u nejednakost unutar i između zemalja

Predimo na efekte nejednakosti na rast ekonomije i bogatstva kao i izvore nejednakosti.

Konfliktne snage oblikuju odnos između stepena nejednakosti i rasta dohotka po stanovniku. Redistribucija od nisko plaćenih prema visoko plaćenim povećava agregatnu štednju što utiče na nejednakost. Povećanje štednje povećava investicije i time i rast BDP.

Nejednakost rađa redistribuciju. Ovde ulazimo u zonu političkih odluka u demokratskim društvima koja kombinuju ekonomske i političke modele kako bi strukturu glasača zadovoljili. O tome ćemo nešto reći u temi o institucijama i politici.

Može da se desi da se u nekoj zemlji nisu promenile realne plate u sumi, ali da je došlo do znatne promene odnosa plata onih sa višim primanjima i drugih sa nižim primanjima. Uzrok je potreba za radnicima sa višim obrazovanjem zbog značajnih tehnoloških promena. Tehnološke promene uslovljavaju potrebu za radnicima koji imaju tehnološka umeća. Kapital i umeće su komplementarni u proizvodnom porcesu, dok kapital i nekvalifikovani radnici zamenjuju jedan drugo. Ovo je sve povezano sa sve većom softisikacijom opreme koja je komplement kvalifikovanim – obrazovanim radnicima a zamenjuju nekvalifikovane što u velikoj meri generiše nejednakost. Neki tvrde da su se u najvećem delu dvadesetog veka odigrale tehnološke promene koje su bile komplement umeću i znanju.

Ako se razdvoji oprema u IT-opremu i u ne-IT opremu onda postoji komplementarnost između kapital-umeće ali ne i između ne-IT kapitala i umeća. To uslovljava sve veći jaz u nagrađivanju između radnika umeća i nekvalifikovanih radnika. Tehnološke promene su uzrok sve većeg širenja jaza između kvalifikovanih i nekvalifikovanih radnika.

U industrijski razvijenim zemljama sve je veća potreba za visokokvalifikovanim radnicima. U zemljama se uvode premije za zarade visokoobrazovanih radnika.

Siromašne zemlje sve manje učestvuju u svetskoj raspodeli ličnog dohotka. Tako je 1970. godine bilo 1.324 miliona ljudi

koji žive od manjeg od 2 dolara na dan, a 554 miliona žive sa manje od 1 dolara na dan. Ovo se promenilo do kraja dvadesetog veka usled naglog ekonomskog uspona Kine i Indije koje imaju dve trećine svetske populacije.

Srbija u klubu siromašnih, pokušava da siromaštvo reši uranilovkom tako što je dominantna grupa stanovništva u kategoriji nekvalifikovanih što doseže do nivoa nepismenosti. Veći deo obrazovanih je napustio zemlju i radi u zemljama visokih tehnologija.

Srbija je na samom početku izgradnje institucija i politika koje treba da omoguće ekonomski rast. Pre svega, otvorenost zemlje omogućuje da, iako se vrlo malo ulaže u I&R, zemlja koristi uglavnom inovativne aktivnosti industrijskih zemalja.

Prva pretpostavka je da se formiraju institucije koje će da ohrabruju akumulaciju znanja i njegovu primenu za razvoj novih tehnologija. Kada govorimo o institucijama onda se misli na sistem pravila, verovanja i organizacija. Zemlje sa dobrim institucijama imaju značajne prednosti u odnosu na one koje ih nemaju. Razlika između institucija i organizacija je u tome što institucije promovišu pravila igre, dok su organizacije igrači.

U ovom konglomeratu institucija i politike, istraživanja idu u pravcu istorijske evolucije, korena legalnih sistema, kolonijalnih korena, geografskog rasporeda i političke ekonomije kao vezivnog tkiva.

Ekonomski i politički interesi su u interaktivnom dejstvu i oblikuju ekonomski razvoj. Ekonomski rast je dobar za opstanak demokratskih i autokratskih režima, dok suprotnosti i dohodak po glavi stanovnika određuje njihov opstanak. Investiranje je veće u nedemokratskim režimima kao rezultat niskog nivoa ličnog dohotka.

Prema široko rasprostranjenom mišljenju, demokratizacija društva je kumulativan proces industrijalizacije, urbanizacije, podizanja nivoa obrazovanja i političke mobilizacije.

Dajemo sebi slobodu da sačinimo osnovnu matricu vlasti koja je različita od zemlje do zemlje. Matrica daje vezu između

dva oblika sistema vlasti: predsedničkog i parlamentarnog, kao i društvenog poretka prema snazi demokratije.

Niže je pokazana matrica.

Društveni poredak \ Sistem vlasti	Slaba demokratija	Jaka demokratija
Predsednička	Veliki investicioni rast	Ekonomska politika više orijentisana rastu
Parlamentarni	Ekonomska politika orijentisana rastom	Manje orijentisana ekonomskom rastu

Predsednički sistem po pravilu ima razdvojenu izvršnu i zakonodavnu vlast. Parlamentarni sistem karakteriše slaba razdvojenost izvršne i zakonodavne vlasti. Hall i Jones 1999. u raspravi o nejednakosti stvaranja vrednosti po radniku konstatuju veliku razliku u produktivnosti između zemalja, misleći da se razvoj odigrava kroz institucije:

„Naša centralna determinanta dugoročnog ekonomskog funkcionisanja je njegova društvena infrastruktura. Pod društvenom infrastrukturom smatramo politiku institucija i vlade da obezbedi podsticanje za pojedince i kompanije i u ekonomiji“

Ovi podsticaji mogu da ohrabre inovacije i akumulaciju, ali mogu takođe da ohrabre rentijerstvo, korupciju i lopovluk. Treba imati na umu da ipak institucije nisu dovoljne za promene, pošto velike tehnološke promene izazivaju velike promene u ekonomskoj organizaciji.

Na kraju ovog dela rasprave treba istaći da je osnovni generator održivosti razvoja za kvalitetnu budućnost jednog naroda razvijena industrijska struktura. Ali šta je to industrijska struktura? Na ovo pitanje pokušaćemo da odgovorimo u narednom poglavlju.

4. Industrijska organizacija ekonomije države – kao nova paradigma održivog razvoja

„Na velikoj šahovskoj tabli ljudskog društva, svako pojedinačno ima svoje sopstveno, kretanje ukupno različito od onoga koje zakonodavci mogu da izaberu da mu nametnu... Za ekonomski napredak je potreban mir, niske takse i tolerantna pravna administracija.“

Adam Smit

Sve više postaje jasno da kontinuitet razvoja nije nešto što može da omogući modeliranje budućnosti. Kulturna zatvorenost (Cultural Lock-in) je ozbiljna prepreka za uspešno razumevanje algoritma razvoja.

Smele prognoze razvoja predviđaju da u narednih dvadeset godina globalni BDP će se udvostručiti stvarajući 20-40 hiljada milijardi dolara nove prodaje. U 2020. godini tričetvrtine ekonomske grupacije S&P500 sastojaće se od kompanija koja su danas nepoznate ulazeći sa periferije (iz zone plavog okeana) u stanje velike konfuzije u ekonomskoj aktivnosti.

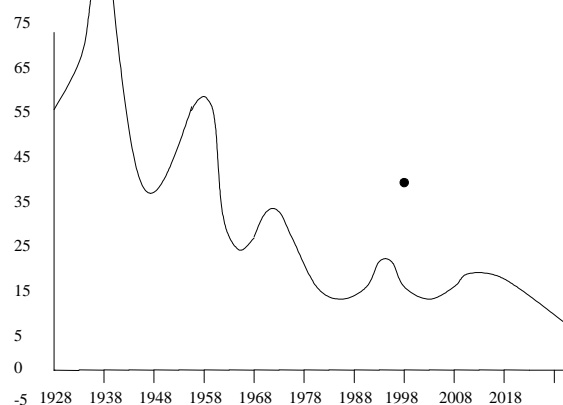
Standard and Poor's (S&P) je subjekt na Njujorškoj berzi i obuhvata vodeće kompanije SAD kao što su: Svemir i odbrana, vazduhoplovne kompanije, hemijske proizvode, kompjuterski hardver, kompjuterski softver, vađenje i prerada nafte, električna postrojenja, pulpa i proizvodi od hartije, farmacija, poluprovodnici, sapun i deterdženti, hiruški i medicinski proizvodi, telefon i telekomunikacije, kamionski i avioprevoznici.

Za ulazak u ovaj berzanski klub propisani su razni indeksi za valorizaciju poznati kao S&P indeksi.

Ovde je interesantno navesti dva problema. Prvi se odnosi na životni vek kompanija iz grupe S&P500 i metodologiju za praćenje kontinuiteta kompanije.

U 1917. odmah posle završetka Prvog svetskog rata B.C. Forbes formirao je listu sto najvećih američkih kompanija. Godine 1987. Forbes je uporedio originalnu listu iz „Forbes100“ sa listom iz te godine. Upoređenjem ove dve liste 61 kompanija više nije postojala. Od ostalih 39 jedanaest je u vrhu sto. U ovoj grupi su na primer: Kodak, DuPont, General Electric, Ford, General Motors, Prosper&Gamble, itd. Oni su preživeli, ali nisu tako uspešni na tržištu kao što je to bio slučaj u prethodnom periodu.

Srednji životni vek S&P500 kompanija je dat na slici 12. Prema proračunu u [14] na kraju 2020. godine srednji životni vek kompanija u grupi S&P500 skratit će se na deset godina i samo će neko „preživeti“.



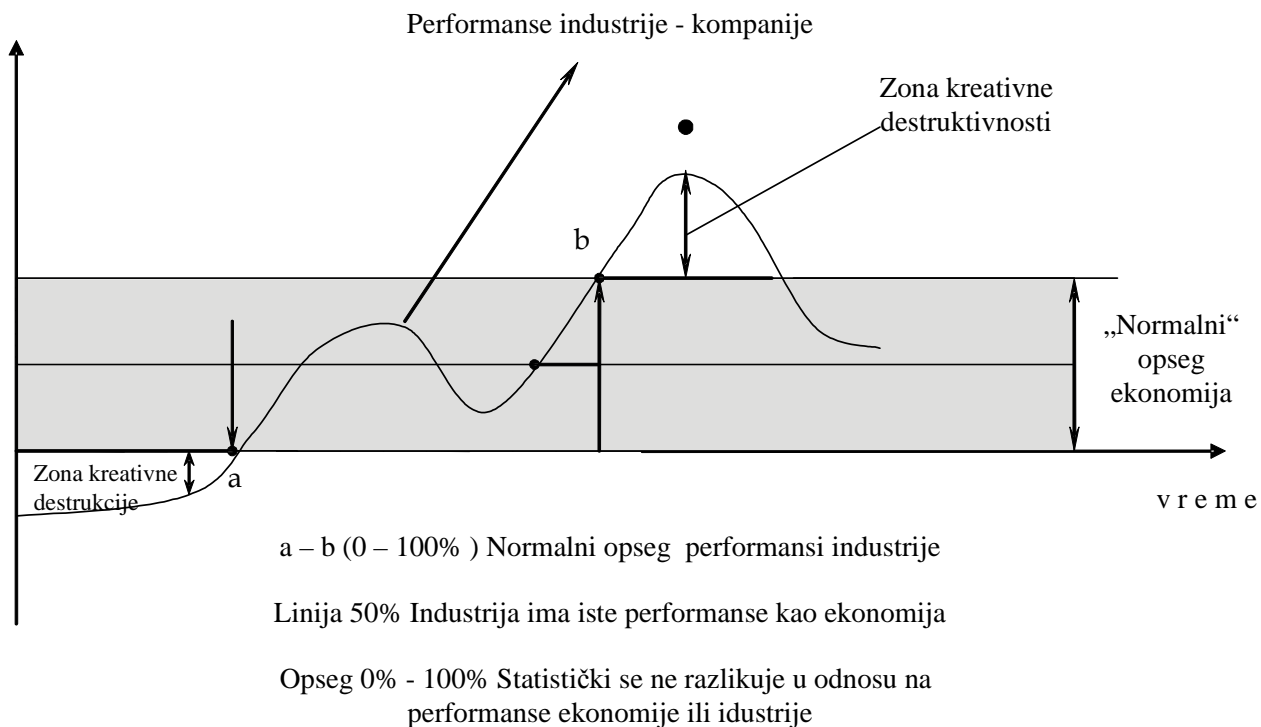
Slika 12 Životni vek S&P500 kompanija

Ako se kompanije analiziraju po grupama kao što su: kompanije dugog veka, nove kompanije koje su preživele, umiruće dugog veka kompanije, kao i umiruće nove kompanije, onda poslednja grupa kompanija čine najveći deo tržišta.

Schumpeter koji je prvi uveo pojam kreativne-destrukcije (1938. godine) zapisao je:

„... Proces industrijske mutacije revolucionizuje ekonomsku strukturu iznutra, povećavajući destrukciju staru, neprekidno kreirajući novu. Ovaj proces Kreativne destrukcije je osnovna činjenica kapitalizma. To je iz čega se u sebi sastoji kapitalizam i što svakom kapitalisti donosi brigu sa kojom živi...“

Karta performansi prikazuje obrazac kreativne destrukcije, kada je započeta i kada se zaustavila; kako se normalno ili abnormalno pojavila; koristi se za upoređenje industrije sa ekonomijom, kao i međusobno upoređenje industrija. Opšte struktura karte performansi data je na slici 13.



Slika 13 Ukupna plaćanja deoničara u odnosu na zonu ekonomije

a-b (0% - 100%) Normalni opseg performansi industrije
Linija 50% Industrija ima iste performanse kao ekonomija

Opseg 0% - 100% Statistički se ne razlikuje u odnosu na performanse ekonomije ili idustrije

Ukupno plaćanje deoničaru obuhvata porast cene stoka i dividende ili izvršena specijalno plaćanja.

Ovako razvijen model, sa bogatom bazom podataka istorije poslovanja kompanije ili industrije, omogućuje formiranje karte perforamnsi u odnosu na zonu apsorpcije tržišta za proizvodima jedne kompanije ili industrije.

Treba napomenuti da su priroda tržišta i korporacije različite. Tržišta, uključujući tržišta kapitala su „neformalni agregati kupaca, prodavaca, njihovih vlasnika i drugih posrednika koji nastupaju zajedno u cilju ekonomske razmene“. Tržišta kapitala su tržišta gde se vrši razmena kapitala – npr. novac za stok i dividende (akcije) i zajmove. Kupci i prodavci su obično korporacija i oni mogu i moraju da iskažu svoje deonice na tržištu dividendi (akcija) u cilju uspostavljanja tekuće vrednosti preduzeća.

Tržišta kapitala su različita u odnosu na korporacije. Korporacija ima „kognitivnu superstrukturu“. To znači da korporacije imaju predsednika i direktorski bord. Oni planiraju i upravljaju. Oni nisu administrirani od strane komiteta sa daljine, kao što je slučaj sa tržištem kapitala.

Tržišta kapitala, zato što su projektovana za pristup novih konkurenata i eliminaciju slabih, i povećavaju iznenađenja. Dok tržišta kapitala vrše „kontrolu“, menadžeri upravljaju proces i ponašaju se adherence prema standardima, a ne rezultatima, niti u odnosu na tržišta koja se uspostavljaju „ciljevima“. Dok su tržišta kapitala upravljana regulativom, sudijama, policijom, sistemom suđenja i centralnom bankom (u slučaju SAD: Federal Reserve Bank) što je različito od poslova menadžmenta korporacije. Tržišta se brže prilagođavaju promenama u odnosu na korporaciju (ovo je preuzeto iz [14]).

Važno je, pored različitosti u organizaionim bićima tržišta i korporacije, ostvariti uslove za moguće poslovanje korporacije na tržištu. Tako je u prethodnoj slici, zona tržišta označena sa 50%, i predstavlja šansu za kompaniju da se nominalno uklopi u zahteve tržišta.

Dinamiku životnog veka kompjuterskog hardvera i softvera prikazujemo na naredne dve slike. Tako na slici 14 dat je dijagram performansi kompjuterskog hardvera sa osrednjenim sedmogodišnjim uzorkom (peglanje rezultata kroz odstranjivanje šuma). U periodu ranih 60-tih godina, do početka osamdesetih godina prošlog veka, industrija hardvera je svojim tehnološkim skokom imala veće performanse nego što je to tržište moglo da apsorbuje. IBM je dominirao tom industrijom.

Ako se poznaje istorija informacione tehnologije može se svaki deo ovih promena vezati za ključne promene same kompjuterske industrije (Hardver,- poluprovodnici – softver) kao i prepoznati glavne učesnike (kompanije) u ovim promenama. Ovo prepuštamo čitaocu da otkrije mesta ili zone kada nastaju veliki frejmovi, personalni računari, prelazak sa memorije na mikroprocesore tj. kakav je razvoj kompjuterske Hardver industrije. Isto je i sa razvojem softver industrije (Slika 15). Tako 1990. godine dve vodeće softverske kompanije u svetu bile su IBM i Unisys. Samo IBM softver je prodao softver proizvoda za blizu 10 milijardi dolara, što je polovina od ukupne prodaje svih drugih kompanija zajedno. Sredinom devedesetih godina Microsoft World je dominantan između brojnih sistema za upravljanje datotekama kroz sistem za deljenje.

Na isti način mogu se analizirati i druge industrije ili kompanije u ekonomskom prostoru jedne zemlje.

Shvatajući predominantan značaj industrije SAD, u saradnji sa Kanadom i Meksikom, razvile su totalni klasifikacioni sistem industrija.

Pre nego što damo kratak pregled tog sistema treba istaći da od doba Adama Smita i njegovog dela Bogatsvo naroda, gde se postavio temelj PIN fabrike, pa sve do danas mi se nalazimo u stalnoj transformaciji tog koncepta. Tako je Bil Gejts razvio koncept nove generacije „PIN fabrike“ ali sada softver fabriku. Sa novim standardom ponuđena je nova nomenklatura industrija u cilju industrijske organizacije ekonomije države kao osnove ekonomije održivog razvoja.

Proizvodno inženjerstvo (Manufacturing) i lista industrije koja je na manufakturingu zasnovana definisana je još 1938. godine, da bi naredne godine bila sačinjena lista neproizvodnih industrija. Tako je nastao standard

klasifikacije industrije (SIC). Ujedinjene nacije sačinile su svoj Međunarodni standard klasifikacije industrije (ISIC) godine 1948.

Sistem klasifikacije industrije Severne Amerike (NAICS) publikovan je 1997. godine [15]. Konceptualni okvir ovog standarda se zasniva na ekonomskim jedinicama koje imaju slične proizvodne procese i klasifikovane su u istu industriju. Industrije se razlikuju po razlici u proizvodnim procesima. To znači da je namena NAICS-a bila da razvije proizvodno – orijentisanu klasifikaciju za:

- Nove i one koje se javljaju industrije,
- Servisnu industriju, generalna, i
- Industriju koja je angažovana u proizvodnji novih tehnologija

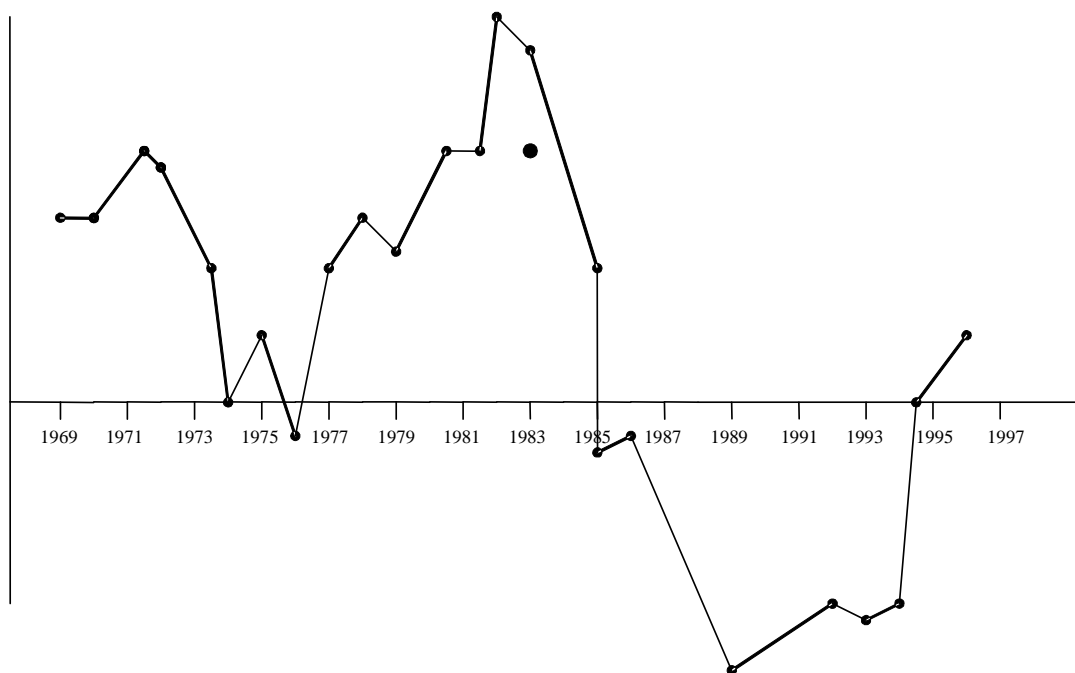
NAICS deli ekonomiju u dvadeset sektora kroz kriterijum proizvodnja i neproizvođenja. Industrije unutar sektora su grupisane na bazi proizvodnog kriterijuma. Razlika u industrijama se prepoznaje kroz razliku u proizvodnim procesima i proizvodnim tehnologijama.

NAICS je klasifikacioni sistem za organizacije. Korišćen je termin establišment što u Oxford rečniku znači „Aktivnost za nastajanje i osnivanje nečega na čvrstoj ili stalnoj osnovi ... organizacija, hotel ili velika institucija.“

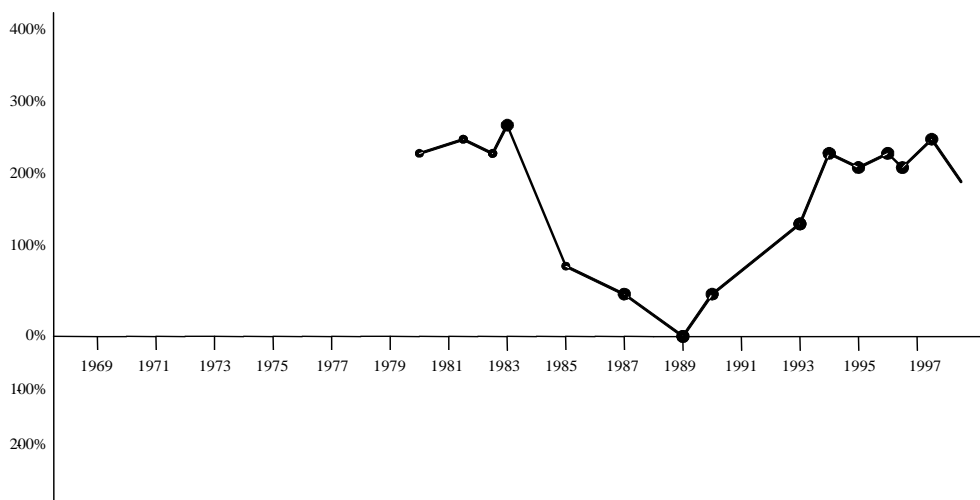
Prema definiciji NAICS-a „Establišment je statistička jedinica, koja je najmanji operativni entitet čiji zapisi daju informacije o ceni resursa - materijala, radne snage i kapitala – koji su angažovani da proizvedu jedinice autputa ... To je samostalna fizička lokacija, gde se izvodi biznis ili gde se servisi ili industrijske operacije izvode (npr. fabrika, livnica, trgovačke radnje, hotel, bioskop, farma, aviaterminal, kancelarija prodaje, skladišta, ili centralne kancelarije administracije ... Enetrprais (kompanija) može da ima više od jedne organizacije ... Vertikalna integracija obuvata uzastopne faze fabrikacije ili proizvodnih procesa u kojima output (izlaz) iz jedne faze je input (ulaz) u narednu. Uopšteno, establišmenti mogu da se klasifikuju na bazi finalnog procesa u vertikalnoj integrisanoj proizvodnoj sredini, ukoliko nije posebno idntifikovana i klasifikovana u drugoj industriji.“

U poslednjem delu ovih objašnjenja može da se prepozna Adam Smitov koncept podele rada u PIN fabrici, ali na mnogo širem prostoru.

Struktura NAICS-a obuhvata 20 sektora, 96 podsektora, 311 industrijskih grupa, u kojima je 1170 industrija SAD od čega 358 novih industrija. Ova struktura u skraćenom obliku data je na donjoj tablici.



Slika 14 Kompjuterski hardver Sedmogodišnji prosek ukupnog plaćanja deoničarima u odnosu na ekonomiju (tržište)



Slika 15 Softver Sedmogodišnji prosek ukupnog plaćanja deoničarima u odnosu na ekonomiju .

Tabela NAICS – SAD struktura

Sektor	Naziv	Podsektor	Industrijska grupa	Nove inustrije	Ukupno indistrija SAD
11	Poljopriverda, šumarstvo, ribarstvo i lov	5	19	20	64
21	Rudarstvo	3	5	-	28
22	Javni servis (struja, gas, para, voda, kanalizacija)	1	3	6	10
23	Gradvinarstvo	3	14	3	28
31-33	Proizvodno inženjerstvo – manufakturing	21	84	79	474
41-43	Veleprodaja	2	18	-	69
44-46	Maloprodaja	12	27	17	72
48-49	Transport i skladišta	11	29	28	57
51	Informatika	4	9	20	34
52	Finansije i osiguranje	5	11	23	42
53	Nekretnine, rentiranje i lizing	3	8	15	24
54	Profesionalni, naučni i tehnički servisi	1	9	28	47
55	Menadžment i kompanija Enterpraisa	1	1	1	3
56	Administrativni, i uslužni servisi, upravljanje otpadom	2	11	29	43
61	Obrazovni servis	1	7	12	17
62	Zdravstvena zaštita i socijalna pomoć	4	17	27	39
71	Umetnost, zabava i rekreacija	3	9	19	25
72	Smeštaj i servisi hrane	2	7	10	15
81	Drugi servisi (osim javne administracije)	4	14	19	49
91-93	Javna administracija	8	8	2	29
	Ukupno	96	311	358	1170

Nije namera da se ide u opisivanje svakog od navedenih sektora o odgovarajućih industrija. Može odmah da se zapazi da proizvodno inženjerstvo – manufakturing sektor 31-33, koji se koda nas arhaično naziva prerađivačka industrija uključujući i mašinogradnju i metaloprerađu, ima čitavih 474 industrija (važi sa SAD), od čega 79 novih industrija. Treba ukazati da američko poimanje proizvodnog inženjerstva kroz termin manufakturing – proizvodnje je mnogo šire od evropskog. Zbog toga ovde navodimo klasifikacionu grupu manufakturing sektor 31-33:

Δ Sektor 31

- 311 Proizvodnja hrane
- 312 Proizvodnja napitaka i duvana
- 313 Tekstilne mašine
- 314 Mašine za proizvodnju tekstila
- 315 Proizvodnja odeće
- 316 Proizvodnja kože i srodnih proizvoda

Δ Sektor 32

- 321 Izrada proizvoda od drveta
- 322 Proizvodnja papira
- 323 Štampanje i odnosne aktivnosti za podršku
- 324 Proizvodnja proizvoda iz nafte i uglja
- 325 Proizvodnja na bazi hemijskih procesa
- 326 Proizvodnja proizvoda od plastike i gume
- 327 Proizvodnja proizvoda od nemetalnih minerala

Δ Sektor 33

- 331 Primarna proizvodnja metala
- 332 Proizvodnja metalnih proizvoda
- 333 Proizvodnja mašina
- 334 Proizvodnja kompjutera i elektronskih proizvoda
- 335 Proizvodnja elektronskih uređaja, mašina i uređaja za domaćinstvo i komponenta
- 336 Proizvodnja transportnih uređaja
- 337 Proizvodnja nameštaja i sličnih proizvoda
- 338 Proizvodnja ostalog

Ova klasifikacija ide do 6-digita, tako da se od 5-og digita (mesta u klasifikaciji) vrši bogato grananje. Od ukupno 1170 industrija u SAD, na domen proizvodnog inženjerstva dolazi 474, nešto manje od polovine. Ovaj sektor može se smatrati okosnicom drugih industrijskih sektora.

Potrebno je ukazati i na kvalitativnu komponentu značaja tehnologija i industrija koje su njima predodređene. Nova Lisabonska strategija razmatra ekonomski uticaj kroz sektorske karakteristike EU u 2001. i 2040-oj godini [16]. Na donjoj tabeli dat je pregled sektorskih karakteristika i njihova raspodela.

Sektori	Udeo zaposlenih		Udeo dodatne vrednosti		Udeo izvoza		Specijalizacija		Učešće u izvozu	
	2001	2040	2001	2040	2001	2040	2001	2040	2001	2040
Poljoprivreda	4.2		2.5	1.8	17.6	37.2	41.0	61.1	2.3	4.4
Energija	1.3		2.1	3.4	10.7	42.9	66.0	154.0	1.7	8.9
Proizvodnja niskih tehnologija	8.5		8.1	4.5	24.4	36.3	99.6	70.8	16.5	13.9
Proizvodnja srednje niskih tehnologija	4.5		3.8	2.4	25.4	38.9	112.4	120.5	8.4	10.7
Proizvodnja srednje visokih tehnologija	9.0		9.4	5.4	50.5	57.0	116.9	112.8	42.1	36.9
Proizvodnja visokih tehnologija	2.3		1.9	0.8	48.9	64.8	68.3	54.5	7.5	5.8
Transportni servis	4.9		4.1	3.1	19.3	21.9	106.7	122.0	5.5	4.8
Drugi komercijalni servisi	38.8		44.3	49.8	5.7	7.1	105.7	130.0	12.9	13.4
Istaživanje i razvoj	2.0		1.4	0.5	00.	00.	-	-	-	-
Drugi servisi	24.5		22.3	28.1	0.6	0.6	161.3	170.7	0.5	0.5
	100								974	

Za čitanje ove tabele potrebno je objasniti značenje pojedinih kolona. Svi brojevi predstavljaju odnose. Sektorsko učešće u zaposlenosti, dodatnoj vrednosti i izvozu su do 100. Udeo izvoza je definisan kao obim izvoza podeljen sa obimom proizvodnje. Specijalizacija je osrednjena sa Balassa indeksom i iznosi više od 100. Balassa indeks se odnosi na učešće proizvoda ili servisa u ukupnom izvozu zemlje sa kojim ona učestvuje u referentnoj grupi zemalja. Ovdje je kao referentna grupa uzet ceo svet. Broj koji označava indeks veći od 100 (kao što su npr. proizvodnja srednje niskih tehnologija i srednje visokih tehnologija) znači da Evropa ima više tih

proizvoda nego što je to slučaj sa drugim zemljama. To znači da se Evropa specijalizovala u proizvodnji tih specifičnih proizvoda i usluga. I&R se ne izvozi po definiciji i zato indeks nije specificiran.

Navedeni vremenski razmak od četrdeset godina prema World Scan simulaciji odmiče nas mnogo u budućnost. Analizirajući promene na bazi pet politika Lisabona koje se odnose na zaposlenost, kapital ljudi (deo intelektualnog kapitala), servise, administrativno opterećenje i I&R za obim proizvodnje u 2025-oj godini dati su u donjoj tablici.

	Zaposlenost	Ljudski kapital	Servisi	Administrativna opterećenja	I&R	Total
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Poljoprivreda	9.8	0.5	0.2	1.3	1.4	13.2
Energija	5.0	0.4	0.3	1.1	2.8	9.5
Proizvodnja niskih tehnologija	7.9	0.6	0.2	1.5	1.5	11.6
Proizvodnja srednje niskih tehnologija	9.0	0.7	0.2	1.8	5.5	17.2
Proizvodnja srednje visokih tehnologija	7.8	0.7	0.3	1.7	11.1	21.5
Proizvodnja visokih tehnologija	10.5	0.8	0.4	2.1	22.0	35.8
Transportni servis	6.9	0.6	0.2	1.4	2.4	11.4
Drugi komercijalni servisi	5.8	0.5	0.2	1.4	1.7	9.6
Istaživanje i razvoj	3.6	1.1	0.3	15	10.9	77.5
Drugi servisi	5.0	0.5	0.2	1.3	0.8	7.9

Tabela Sektorski razvoj proizvodnje u EU za 2025. godinu

Brojevi u kolonama (2) do (5) daju relativnu promenu usled politike u prethodnoj koloni (zaposlenost). Kolone (1) i (6) su relativne u odnosu na bazni nivo. Bazna linija opisuje vremenski prostor ekonomskog razvoja između sada i konačne godine simulacije 2040. Razlika između simulacije varijantne politike i bazne linije predstavlja efekat primene lisabonske politike. Početna godina simulacije je 2001.

Iz navedenih tabela može se zaključiti da u strategiji razvoja EU značajno mesto zauzimaju proizvodne tehnologije što se vid iz njihovog učešća u izvozu u odnosu na ukupnu proizvodnju kao i specijalizaciju u tom domenu. Proizvodnja, a samim tim i proizvodi, koja se bazira na srednje-visokim tehnologijama i visokim proizvodnim tehnologijama mnogo su više konkurentno tržišno orijentisani nego što je slučaj sa proizvodima na bazi niskih tehnologija. Proizvodnja na bazi srednje-visokih proizvodnih tehnologija obezbeđuju veliki deo u ukupnom izvozu.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

„Sve nečiste misli, nečiste reči i nečista dela, izviru iz nedostataka znanja i mudrosti“

Zaratustra

Traktat Industrijska organizacija ekonomije države je rad u okviru edicije Kompetitivnost i globalizacija koja je pokrenuta još 1993. godine, sa njenim nastavkom 2008.

godine sa traktatom o Metodologiji projektovanja tehnoloških platformi predstavlja jednu celinu.

U ukupnom ovom naporu autor je da pokušao da ukaže na veliku zabluđu kreatora politike i njenih upravljača na korene stalnog zaostajanja i propadanja Srbije kroz uništavanja obrazovnog sistema i industrije.

Ovde se misli na proces „destruktivne destrukcije“ (nije pleonazam već politička doktrina) koju sprovodi kleptokratija u zemlji, dok je državi potrebna „kreativna destrukcija“ kao doktrina ubrzanog razvoja.

Učinjen pokušaj od strane Vlade Srbije da se sačini dokument strategije održivog razvoja Srbije [17] po ugledu na Lisabonsku deklaraciju zapravo pokazuje veliko nerazumevanje fundamenta razvoja zemlje a to su obrazovan narod, razvijena industrija na bazi tehnologija i projektovan moderan eko-politički sistem zemlja. Ovakav dokument ne može da sačini kleptokratija koja pokušava da upravlja zemljom.

Jedan od korena nesreće je uništavanje inženjerske struke i ukupne srednje klase.

Najbolji ljudi jedne generacije tragaju za najboljim ljudima naredne generacije.

* Pojam kleptokratije objašnjen je u knjizi Jared Diamonda Guns, Germs and Steel, W.W. Norton&Company, New York (2005) str. 276.

LITERATURA

- [1] Milačić R.V. *Globalizacija i kompetitivnost*, Jupiter asocijacija, Beograd (1993)
- [2] Milačić R.V. *Intelektualni kapital – Apologije ljudskog duha*, Institut Goša, Beograd (1999)
- [3] Milačić R.V. *Menadžment tehnologija*, Prometej, N. Sad (2003)
- [4] Milačić R.V. *Industrija znanja*, univerzitet u N. Sadu (2006)
- [5] Milačić R.V. *Metodologija projektovanja tehnoloških platformi*, Jupiter asocijacija, Beograd (2005)
- [6] Mišić M. Liga propalih, Politika, 19. jul 2008.
- [7] Failed States Index Scores 2007, <http://www.fundforpeace.org>.
- [8] Jared Diamond, *Guns, Germs and Steel-The Fates of Human Societies*, W.W. Norton Company New York (2005)
- [9] William Easterly, *The White Man's Bureden*, Penguin Books, (2006)
- [10] Monteskje, *Razmatranja o uzrocima veličine Rimljana i njihove propasti*, Utopija, Beograd (2004)
- [11] Comission of the European Communities, *A Sustainable Europe for a Better World*, A European Union Strategy for Sustainable Development, Brussels (2001)
- [12] Kok Wim, Facing the Challenge, *The Lisbon Strategy for Growth and Employment*, sg-kok-group@cec.eu.int
- [13] Helpman El. *The Mystery of Economic* Press, Cambridge (2004)
- [14] Foster R. Kaplan S. *Creative Destruction*, Currency, New York, (2001)
- [15] *North American Industry Classification System* (NAICS), United States (1997)
- [16] Gelanffg, Lejour A. *The New Lisbon Strategy, An Estamation of the Economic Impact Reaching Five Lisbon Targets*, European Commission (2006)
- [17] *Strategija održivog razvoja Republike Srbije*, Nacrt (2007)

Autor: Dr Vladimir R. Milačić, redovni profesor u penziji,
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 11000 Beograd,
Kraljice Marije 16

Ćosić, I., Tekić, Ž.

PROMENAMA KA DRUŠTVU ZNANJA

Rezime: U ovom radu je dat pregled osnovnih trendova koji su relevantni sa poslovnog aspekta i koji oblikuju društvo, politiku, ekonomiju, okruženje, tehnologiju, kupce i konkurente, i koji u najvećoj meri određuju proizvodnju i obrazovanje u budućnosti. Na osnovu njih i Lisabonske agende data je projekcija očekivanih promena u proizvodnji i obrazovanju. Poseban akcenat je stavljen na društvo znanja kao društvo budućnosti.

Ključne reči: Društvo znanja, proizvodnja, obrazovanje

CHANGES LEADING TOWARDS THE KNOWLEDGE SOCIETY

Abstract: This paper reviews relevant trends that shape society, politics, economy, environment, technology, customers and competitors; and are very important for understanding production and education in the future. Based on these trends and Lisbon Agenda projection of changes in production and education are given. Knowledge society is especially stressed.

Key words: knowledge society, production, education

1. UVOD

Konstantnost promena, povezanih u niz: promena – problem – rešenje – nova promena, je davno primećena. Danas, da bi uspele na konkurentnom tržištu, kompanije moraju da uvide nove proizvode i usluge u sve kraćim vremenskim intervalima, moraju da zadovolje (zakonski nametnute) sve strože zahteve održivog razvoja i istovremeno da se sukobljavaju na globalnom tržištu sa konkurencijom iz celog sveta. Ključna uloga ljudskog kapitala i upravljanja znanjem u prilagođavanju promenama postaje sve očiglednija. Menadžment znanjem omogućava kompanijama da upravljaju ključnim resursima znanja – intelektualnom svojinom, kao što su patenti, brendovi, istraživački rezultati, povratnim informacijama od kupaca, kreativnošću i iskustvom radnika, te da na taj način dalje podrže inovacije i rast. Da bi bila konkurentna i na znanju zasnovana ekonomija svake zemlje Evrope, pa time i Srbije, mora postati bolja u kreiranju znanja kroz istraživanje i razvoj, u difuziji znanja edukacijom, i u primeni znanja kroz inovacije.

Čini se da rečenica čuvenog Čarlsa Darvina: „Ne preživljavaju najjače vrste, niti one najpametnije, već one najprilagodljivije promenama“ u potpunosti oslikava stanje na svetskom tržištu i u svetskoj ekonomiji.

2. TRENDOWI KOJI OBLIKUJU BUDUĆNOST

Lisabonska agenda [1] je evropskom društvu i privredi nametnula zadatak da do 2010. godine preuzme lidersku poziciju u privredi zasnovanoj na znanju. Na ovaj način postavljen je ambiciozan cilj da Evropa do 2010. godine postane najdinamičnija ekonomija na svetu, zasnovana na znanju, sposobna za održivi razvoj sa većim brojem kvalitetnih radnih mesta i socijalno uravnotežena. Na taj način je direktno iskazano uverenje da u uslovima globalno otvorenih tržišta, kao i privrede, koja je sve više zasnovana na znanju, ekonomski uspeh svakog društva zavisi od njegove sposobnosti da uspostavi komparativnu prednost u ovom domenu [2].

Okruženje u kome danas nastaju i posluju kompanije može se okarakterisati kao brzo promenljivo, globalno i veoma neizvesno. Da bismo ga bolje razumeli osvrnućemo se na one trendove koji su relevantni sa poslovnog aspekta i koji

oblikuju društvo, politiku, ekonomiju, okruženje, tehnologiju, kupce i konkurente, i koji u najvećoj meri određuju proizvodnju i obrazovanje u budućnosti. Sledeći trendovi [3] mogu biti primećeni kao glavni u ovim kategorijama:

Društvo

- Nastavak intenzivnog rasta svetske populacije
- Porast svesti o zaštiti zdravlja
- Promena demografije – sve više starijih
- Nastavak globalizacije
- Porast terorizma u raznim oblicima
- Porast potrebe za sigurnošću
- Obrazovanje tokom celog života
- Obrazovna zabava – zabavno, na tehnologiji bazirano učenje
- Fleksibilnost u smislu radnog i slobodnog vremena
- Polarizacija na osnovu prihoda
- Smanjenje lojalnosti poslodavcu, pri čemu će neki ljudi imati više od jednog posla
- Sve manje poslova za nekvalifikovane radnike
- Porast mobilnosti
- Promena vrednosti

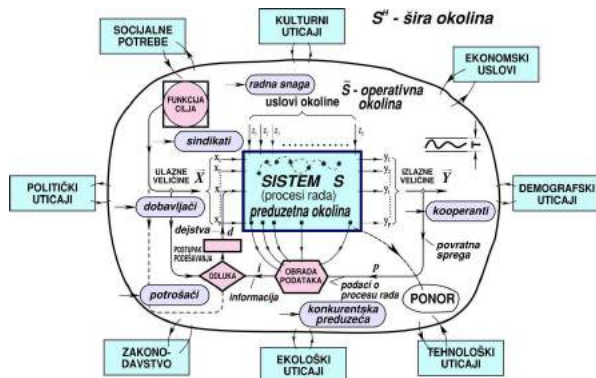
Politika

- Porast liberalizacije i deregulacije
- Gubljenje značaja granica i razdaljina
- Stvaranje bipolarnog sveta
- Gubljenje uticaja lokalnih politika
- Porast ograničenja kao rezultat porasta dugovanja
- Povećanje prostora za različita tumačenja statutarnih odredbi
- Ponovna interpretacija intelektualne svojine
- Pобољшanje uslova za poslovanje, što će usloviti veću zaposlenost
- Sve veća zavisnost od energenata

Ekonomija

- Porast produktivnosti
- Porast automatizacije
- Porast industrije usluga
- Veća mobilnost kapitala
- Povećana globalizacija
- Učestalija realokacija poslovanja u zavisnosti od uslova poslovanja

- Porast „ranjivosti“ tržišta akcija na emocionalne reakcije
- Porast orijentisanosti na usluge
- Virtualizacija kompanija
- Znanje kao najvažniji resurs
- Novi poslovni modeli, u obliku elektronskog i mobilnog poslovanja
- Nove forme saradnje među kompanijama svih vrsta
- Nastavak skraćanja životnog ciklusa proizvoda
- Još kraći periodi između inovacija



Slika 1. Uticaj okruženja na sistem [4]

Životna sredina

- Porast zabrinutosti i svesti o potrebi zaštiti životne sredine
- Zahtev održivog razvoja – regulisanje upravljanja svim među i krajnjim proizvodima
- Porast važnosti reciklaže – novi zakoni i regulativa
- Upotreba resursa sa većom pažnjom
- Alternativne sirovine i energija
- Regulisanje i monitoring na globalnom nivou
- Katastrofe koje nanose štetu životnoj sredini i pojava novih bolesti sa mnogobrojnim efektima

Potrošači

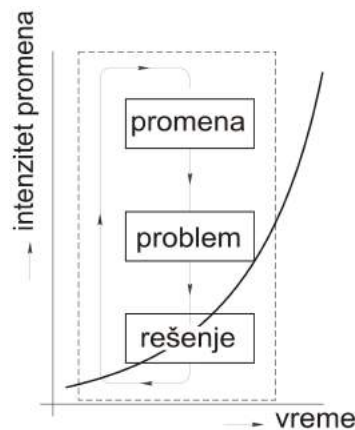
- Individualizovanje životnog stila – personalizacija proizvoda
- Porast potrošnje
- Porast očekivanja u pogledu kvaliteta servisa i njihovog sadržaja
- Standardizovan, na procesu zasnovan odnos kupac – dobavljač
- IT infrastruktura kao kičma komunikacije
- Povećanje efikasnosti kao rezultat inteligentnih rešenja
- Dobro informisani kupci
- Outsorovanje/partnerstvo
- Značajan porast značaja elektronskog, mobilnog i poslovanja u realnom vremenu
- Novi kriterijumi nabavke (npr. Proizvodi koji se sami objašnjavaju, laki za korišćenje, plug & paly funkcionalnost)
- Promena mentaliteta: naručivanje danas, isporuka juče

Konkurencija

- Smanjenje troškova, porast produktivnosti
- Smanjenje barijera za ulazak u nove poslove kao posledica elektronskih medija
- Novi oblici industrijske špijunaže
- Globani marketing malih i srednjih preduzeća
- Poboľšano upravljanje znanjem
- Novi konkurenti iz drugih industrija
- Sve kraći životni ciklus proizvoda i usluga

- Sve kraća impresioniranost proizvodom
- Mnogobrojne male, inkrementalne inovacije kako bi se proizvod prilagodio kupcu
- Intenzivni ratovi cena za udeo u tržištu
- Porast važnosti brenda i imidža

Prva i najfundamentalnija promena sa kojom se susrećamo u društvu je porast svetske populacije. Postoji značajan problem sa shvatanjem i upravljanjem promenama koje se menjaju po eksponencijalnom zakonu poput ove. Teškoće nastaju jer su dugo vremena efekti promene teško primetni, a onda se iznenada, praktično *niodakle* pojavljuju i donose velike izazove. Gledajući na duži period, trebali bi da postanemo sposobni da bolje pratimo i razumemo razvoj ovakvih promena.



Slika 2. Eksponencijalna priroda promene

Što je više ljudi na našoj planeti i što je viši njihov standard života to postaje teža situacija za životnu okolinu. Zbog toga je važno dati doprinos održivom razvoju na svakom koraku, počinjući od dizajna proizvoda. Striktnije zakonodavstvo, ustrojeno tako da zaštiti životnu sredinu i strožiji zahtevi u pogledu reciklaže proizvoda imaće dalekosežne posledice na proces razvoja, proizvodnje, korišćenja i uklanjanja proizvoda.

3. PROIZVODNJA

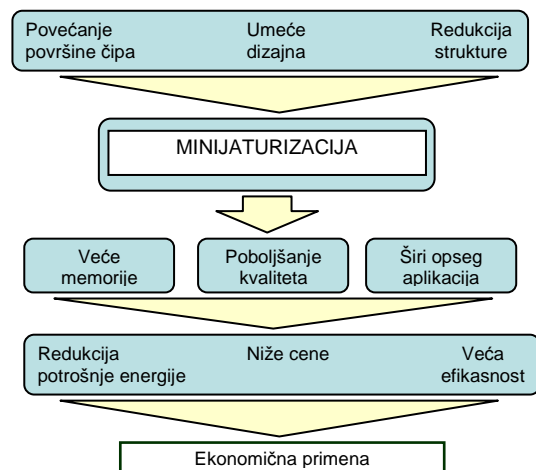
Činjenica da društvo u kome proizvodnja – materijalna i nematerijalna, nije prvorazredna delatnost nema šanse za ravnopravnu saradnju u svetsoj zajednici [4], dodeljuje pitanju proizvodnje (u najširem smislu) jedno od centralnih mesta u raspravi o društvu zasnovanom na znanju. To je razlog da se na ovom mestu detaljnije pozabavimo trendovima u proizvodnji.

Minijaturizacija otvara novi svet rada i omogućava ubrzan razvoj informaciono komunikacionih tehnologija. Sa druge strane, modularan dizajn obezbeđuje konstantno unapređenje procesa, montaže, demontaže, rukovanja materijalom, reciklaže, održavanje i omogućava pojavu platforme kao novog razvojnog koncepta. Odgovarajući dizajn stvara dugovečne i izdržive proizvode. Svaka pojedinačana komponenta proizvoda mora biti laka za zamenu, demontažu, odvajanje i reciklažu. Takođe, ostvarivo je i da materijali korišćeni u proizvodu budu automatski detektovani, npr.: pomoću čipova ugrađenih u sam materijal ili pomoću automatske analize materijala.

U nekoliko narednih decenija, proizvođači će unaprediti svoje proizvodne procese i iskoristiti sva napredna tehnološka rešenja koja im stoje na raspolaganju. Nacionalno i nadnacionalno zakonodavstvo u oblasti zaštite životne sredine će imati začajan uticaj na dizajn proizvoda i način proizvodnje. Dizajn, konstrukcija i koncept proizvodnje će odrediti nivo do kog svaki proizvod može biti demontiran i ponovo korišćen. Reziđualni otpad će morati da bude

razgrađiv ili sposoban za reciklažu. U ovom delu postoji ogromna potreba za inovacijom.

Proizvođači će snositi veliku odgovornost za to kako se njihovi proizvodi koriste. Uloga proizvođača u celokupnom životnom ciklusu proizvoda se menja i sveukupna odgovornost proizvođača za proizvodima značajno raste. Ovo je posledica rastuće težnje da se holističkim pristupom minimizuju negativne posledice po okruženje.



Slika 3. Neki efekti minijaturizacije

Potrošački zahtevi za personalizacijom transformišu procese proizvodnje: masovnu proizvodnju potiskuje automatizovana, fleksibilna masovna individualizacija proizvoda. Očekuje nas značajno povećanje broja varijanti jednog proizvoda i smanjenje količina proizvoda u svakoj od varijanti. Broj varijanti će asimptotski težiti broju ljudi na Zemlji, a broj jedinica po varijanti, jediničnoj količini. Istovremeno životni ciklus bukvalno svih proizvoda se skraćuje, bilo da govorimo o kapitalnim dobrima ili igračkama. U poslednjih 50 godina životni ciklus mnogih proizvodnih sistema sveo se na jednu petinu onoga što je do tada bio. Brži ciklusi inovacija i dalja globalizacija dodatno ubrzavaju ovaj proces.

Studija kompanije Shell [5] iz sredine 80-tih godina prošlog veka sugeriše da je prosečan životni vek velikih kompanija jednak svega polovini prosečnog ljudskog veka. Od tada pritisak na firme sa svih strana je enormno porastao i za očekivati je da je životni vek kompanija dodatno skraćen. Ako razmatramo bilo koji desetogodišnji period od 1970 do danas i analiziramo *Fortune 500* listu - listu na kojoj su po definiciji najveće i najbolje opremljene firme na svetu - zaključimo da je između trećine i polovine kompanija sa te liste nestalo na kraju posmatranog desetogodišnjeg perioda. 60 % kompanija koje su bile na ovoj listi 1970 su kupljene od strane drugih kompanija ili su nestale. Od top 12 kompanija koje su činile Dow Jones indeks 1900 godine samo jedna kompanija - General Electric - je preživela do danas [5]!

U svetu u kome se životni vek proizvoda neprekidno skraćuje, gde se na primer, aktuelnost određenog modela televizora, računara ili mobilnog telefona meri u mesecima, a čak i kompleksni proizvodi poput motornih vozila se razvijaju za manje od tri godine, sposobnost da se stari proizvodi frekventno zamenjuju novim, unapređenim verzijama, da se razvijaju i usvajaju novi procesi izuzetno dobija na važnosti. „Takmičenje u vremenu“, predstavlja novu dimenziju u kojoj je nophodno biti bolji, kako bi ne samo bili predstavljeni novi proizvodi, nego i bili predstavljeni pre konkurenata.

U isto vreme, sposobnost da se razvije novi proizvod je važna jer se okruženje neprestano menja. Promene u socio-ekonomskoj oblasti (u šta ljudi veruju, šta žele i očekuju, koliko zarađuju) stvaraju šanse ali i donose ograničenja [5].

Promene zakona mogu stvoriti novu mogućnost ili izbrisati neku postojeću. Na primer, deregulacija tržišta telekomunikacija je dovela do pojave više kompanija koje nude usluge fiksne i mobilne telefonije kao i internet provajdera. Ali ne samo to. Ove kompanije stalno nude nove modele, nove proizvode i usluge svojim korisnicima, takmičeći se za svakog potencijalnog korisnika i unapređujući kvalitet svakodnevnog života. Sa druge strane, rastuća svest o zaštiti životne sredine podiže ekološke standarde pri izgradnji i korišćenju fabrika (zahteva veća ulaganja), ali i otvara niše za razvoj novih industrija (zeleni energija, zdrava hrana). U ovakvom okruženju, gde se konkurencija stalno menja, firmama je neophodna sposobnost da kroz inoviranje proizvoda, procesa i usluga odgovore na izazove sa tržišta.

Tehnološki trendovi su veoma značajan pokazatelj napretka. Dugoročni trendovi u razvoju se prepoznaju na osnovu proizvoda koji se već danas nalaze u našim laboratorijama. Mi se nalazimo duboko u informacionom dobu, i sledeća decenija će biti još karakterisana razvojem u oblasti informaciono - komunikacionih tehnologija. Začete radikalnim inovacijama u oblasti mikroelektronike, moderne informaciono - komunikacione tehnologije oblikuju svet oko nas i menjaju naše živote. Takođe, značajan napredak se čini i u oblastima biologije i medicine što nagoveštava novo doba koje će uslediti kroz dve - tri decenije - doba biotehnologija.

Veliki napredak se ostvaruje i u mašinstvu. Pre svega u oblasti novih materijala koji se koriste za izradu motora i mehatronički sistema, doprinoseći njihovoj efikasnosti i efektivnosti. Sve manji sistemi i moćniji čipovi zahtevaju sve manje aktuatora i motore. Danas se ispituju motori ugrađeni u silikonske i nano strukture.

Razvoj nano struktura je još uvek u svom početku, iako je značajan napredak učinjen. Prvi proizvodi su se već pojavili, ali značajnije rezultate tek treba očekivati. Nano tehnologija će dovesti do niza radikalnih inovacija ne samo u oblasti mašinstva i proizvodnje, već i u oblastima elektronike, biologije, medicine, energije, tehnologija za zaštitu životne sredine i konstrukcija. Zapravo, to će biti tehnologija koja donosi najviše promena (disruptivna tehnologija) u 21. veku.

Ako se ovakav razvoj nastavi, biće nam neophodni autonomni sistemi poput robota, koji će raditi zajedno sa drugim sistemima i sinhronizovati njihove aktivnosti. Ne samo da će biti neophodno da ovi sistemi konfigurišu, nadgledaju i optimizuju sami sebe, nego će morati da budu sposobni i da uče.

Inovacije neophodne za realizaciju ovakvih proizvodnih sistema oslanjaju se na unapređene senzore i aktuatora, kao i na napredak računara, i hardvera i softvera. Novi materijali i fizički procesi zatvaraju krug inovacija koje su neophodne da bi se krenulo napred ka novoj dimenziji efektivnosti u proizvodnji.

Dalji napredak u proizvodnji može se očekivati kada proizvodni moduli budu u stanju da se samoorganizuju, samostalno menjaju parametre proizvodnje i uče na osnovu posledica. Ovo je najava za novu generaciju proizvodnih procesa i proizvodnih sistema. U takvim sistemima biće ostvarena potpuna integracija svih delova sistema i svih funkcija. To je put razvoja digitalnih fabrika u realnom i virtuelnom svetu.

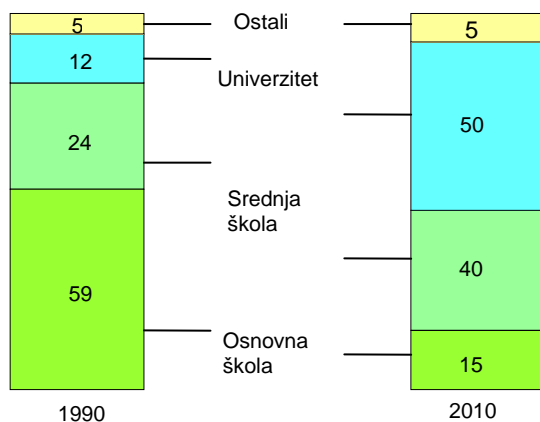
4. OBRAZOVANJE ZA DRUŠTVO ZNANJA

U sledećih 7 do 10 godina biće „proizvedeno“ onoliko znanja koliko i u prethodnih 2000 godina [3]. Kao rezultat povećanog broja inovacija i njihove sve veće frekvencije, sve kraćih ciklusa razvoja znanja, znanje sve brže zastareva. Istovremeno svet oko nas je sve bogatiji informacijama koje primamo preko najrazličitijih medija, a najčešće i sa više čula istovremeno. Danas se pod znanjem ne podrazumeva samo znanje o činjenicama, već zajedno sa tim i sposobnost da se to

znanje *odmah* upotrebi za rešavanje konkretnih problema. Stoga je cilj obrazovanja danas ne samo saznavanje činjenica nego i sticanje veštine da se ono odmah primeni za rešavanje konkretnog problema [2]. Moramo naučiti da procesuiramo informacije kako bismo iz njih izvukli bilo kakvu korist. U ovom kontekstu, veoma je značajno razviti aktivnost povezivanja informacija i stvaranja znanja iz informacija, kao i pragmatičnog nošenja sa kontradiktornim informacijama i podacima i na tim osnovama donošenja odluka.

Bitno je zapaziti da uspeh i konkurentna prednost u budućnosti ne zavise od suštinskih proizvoda danas, nego od suštinskih kompetencija koje kompanija poseduje. Suštinske kompetencije su kolektivno učenje u organizaciji, posebno kako da se koordiniraju različite proizvodne veštine i da se integrišu višestruki pravci tehnologija [6]. Ako je suštinska kompetencija povezana sa harmonizacijom tokova u sistemu, takođe je povezana i sa organizacijom posla i stvaranjem i isporukom vrednosti.

Sposobnost društva da proizvodi, selektuje, prilagođava, komercijalizuje i koristi znanje, pokazuje se kao kritični faktor za održivi ekonomski rast i poboljšanje životnog standarda [2]. Procene je da će do 2010. godine, skoro polovina novih radnih mesta u Evropskoj uniji zahtevati obrazovanje na tercijarnom nivou, nešto malo manje od 40% radnih mesta će zahtevati srednju školsku spremu, a svega oko 15% poslova moći da se obavlja sa obrazovanjem na nivou osnovne škole [8]. Zato pojedinac mora biti sposoban da upotrebi svoje znanje, da ga unapredi, da selektuje ono što je bitno u datom kontekstu, i da razume ono što je naučeno tako da se to može prilagoditi zahtevima sve bržih promena okruženja. Građenje društva znanja, društva obrazovanih, fleksibilnih i kreativnih ljudi, sa mogućnostima da se obrazuju, da uče tokom celog svog života i da se zaposle zadatak je koji u najvećoj meri zavisi od sposobnosti obrazovnog sistema [7].



Slika 4. Struktura radnih mesta 1990 i 2010 godine

Društvo znanja nije samo društvo zasnovano na primeni informaciono komunikacionih tehnologija u kojem je znanje najskuplji proizvod, već i društvo koje nameće nove načine organizovanja, zadaje nove uloge poznatim sistemima (jedan od njih je sistem obrazovanja), redefiniše i revalorizuje i same ljudske, ali i druge resurse, kao što su prostor i vreme [2]. Otuda obrazovanje ima vitalnu ulogu u razvijanju privrede zasnovane na znanju i s njim korelativnog funkcionisanja demokratskog društva. „Društvo zasnovano na znanju” istovremeno je i „društvo permanentnog učenja”. To pred svaki obrazovni sistem, kao osnovni zadatak, postavlja zahtev da se svaki pojedinac osposobi da upotrebi svoje znanje, da ga unapredi, da odabere ono što je bitno u datom kontekstu i da razume ono što je naučeno tako da svoje znanje može upotrebiti za rešavanje problema u okviru radnog i društvenog okruženja, koje se sve brže menja [8].

Kvalitet, kvantitet i usmeravanje obrazovanja i

istraživanja prema novim zahtevima postaju ključni izazovi za sve zemlje, kao i zahtev da se uspostavi nova ravnotežna tačka između ulaganja u obrazovanje i istraživanje i efikasnosti i produktivnosti u privredi zasnovanoj na znanju, s jedne strane, i stabilnosti demokratskog društva i ljudske bezbednosti, sa druge. To su stavovi koji dominiraju i Lisabonskom agendom. Evropski savet je precizno utvrdio nova područja zajedničkog delovanja u oblasti reforme sistema obrazovanja koja treba da doprinesu ostvarenju četiri strateška cilja: podizanju kvaliteta obrazovanja; olakšavanju pristupa obrazovanju; otvaranju evropskog obrazovanja prema svetu; i uspostavljanju evropskog obrazovanja i usavršavanja do 2010. godine kao svetske reference kvaliteta.

S druge strane, znanje se danas menja tolikom brzinom da je potrebno sistem koji služi njegovom sticanju organizovati na takav način da i njegovi delovi, a ne samo sistem kao celina, mogu (odnosno da su ovlašćeni i sposobni) autonomno i kvalitetno reagovati na promenu i prilagoditi se novim zahtevima.

5. ZAKLJUČAK

Imajući u vidu da društvo u kome stopa učenja nije veća od stope promena nema šansu za izvođenje promena, postaje jasno da obrazovanje i obrazovni sistem – pre svega visoko – čine, kao nikada ranije, ključ budućeg razvoja društva i kvaliteta života [2]. I to ne bilo kakvo obrazovanje, niti bilo kakav obrazovni sistem, već samo oni koji mogu da obezbede „odličnost”, da obezbede sticanje znanja koje je merljivo objektivnim, unapred formulisanim kriterijumima i ima upotrebnost u društvu zasnovanom na znanju, što pre svega znači da omogućava učestvovanje u istraživačkim poduhvatima koji mogu dati istraživačke rezultate relevantne za društvo inovacija, što je samo drugi naziv za društvo zasnovano na znanju.

Sve gore pobrojano jasno sugeriše da je odgovor na promene nastale u okruženju i menadžment inovacija zasnovan na razvijanju dve sposobnosti - sposobnosti da se prikupljaju signali koji najavljuju promenu i spremnost da se promene prihvate, adaptiraju postojeća i razvijaju nova znanja i u najkraćem vremenu stvore uslovi za razvoj novih oblasti i kreiranje novih promena.

6. LITERATURA

- [1] Rodrigues, M.J.: *European Policies for a Knowledge Economy*, Edward Elgar, 2003.
- [2] Jelinčić, J. (ed): *Evropeizacija Srbije – Društvo znanja*, Fond za otvoreno društvo, Beograd, 2007.
- [3] Berner, G.: *Management in 20XX*, Publics Corporate Publishing, Erlangen, 2004.
- [4] Zelenović, D.: *Inteligentno privređivanje i efektivni menadžment*, FTN, Novi Sad, 2001 – 2003.
- [5] Tidd, J., Bessant, J. & Pavitt, K.: *Managing Innovation* (2nd ed), John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 2001.
- [6] Prahalad, C.K., Hamel, G.: *The Core Competence of the corporation*, Harvard Business Review, May – Jun, 79 – 91, 1990
- [7] Šlaus, I.: *Building a knowledge-based society: The case of South East Europe*, Futures, 39, 986–996, 2007
- [8] Čosić, I.: Transformacija visokoškolskog sistema u funkciji obrazovanja, istraživanja i privrednog prosperiteta, 34. Jupiter konferencija, Beograd, jun 2008

Autori: Prof. dr Čosić Ilija, Željko Tekić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2055, Fax: +381 21 488-133.

E-mail: findean@uns.ns.ac.yu, zeljko.tekic@yahoo.com

Rad po pozivu

Milikić, D., Kovač, P., Gostimirović, M., Sekulić, M.

INOVATIVNE METODE U ISTRAŽIVANJIMA I PRIMENI TEHNOLOGIJE OBRADRE REZANJEM

Rezime: U radu su prikazane neke od modernih metoda koje se danas koriste u istraživanjima tehnologije obrade rezanjem, kao i one koje su već našle svoju primenu u praksi. Radi se o metodama modeliranja i simulacije procesa rezanja, primene tehnike veštačke inteligencije u modeliranju i optimizaciji procesa obrade, monitoring procesa rezanja, obradi visokim brzinama rezanja (HSC), visokoproduktivnoj obradi (HPC), obradi tvrdih materijala, kao i suvoj ili obradi sa minimalnim korišćenjem maziva (MMS). Kod svih ovih pitanja dat je prikaz osnovne problematike i ukazano na mogućnosti njihove primene u istraživanjima ili u praksi.

Ključne reči: modeliranje, simulacija, veštačka inteligencija, monitoring, HSC-obrada, HPC-obrada, MMS-sistemi

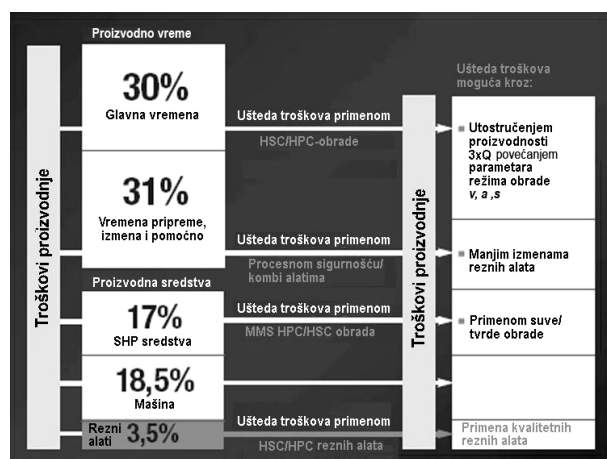
INOVATIVE METHODS IN RESEARCH AND APPLICATION OF METAL CUTTING TECHNOLOGIES

Abstract: Reviewed in this paper are some of the most modern methods which are used in research of metal cutting technologies, as well as the methods which are already established in everyday application. Discussed are the methods of modeling and simulation of metal cutting processes, application of artificial intelligence in modeling and optimization of metal cutting processes, monitoring of cutting processes, high-speed cutting (HSC), high-productivity cutting (HPC), machining of hard materials and dry cutting or minimum-lubricant micro-spraying (MMS). The basics of every technology are presented with a discussion of their possible applications in research and manufacturing.

Key words: modeling, simulation, artificial intelligence, monitoring, HSC-machining, HPC machining, MMS-systems

1. UVOD

Sve veći pritisci konkurencije prisiljavaju proizvođače na to da koriste inovativne tehnologije mnogo intenzivnije nego ranije. U području tehnologije obrade rezanjem težišne tačke leže u skraćivanju glavnog i pomoćnog vremena (61% troškova proizvodnje) i uštedama proizvodnih sredstava (pre svega SHP-sredstva). Rezni alati sudeluju u troškovima proizvodnje sa svega 3,5%, pa se kod njih može veoma malo uštedeti u odnosu na ukupan proces proizvodnje, slika 1.



Slika 1. Pregled troškova proizvodnje i mogućnosti njihovog snižavanja [28]

Kao što se sa slike 1. vidi, snižavanje troškova proizvodnje moguće je u današnje vreme korišćenjem ili preorijentacijom potencijala na primenu:

- Obrade sa visokim brzinama rezanja (HSC-obrada),
- Visokoproduktivne obrade (HPC-obrada),

- Suve, odnosno obrade sa minimalnom količinom SHP-sredstava i
- Tvrde obrade, odnosno obrade kaljenih čelika i tvrdih presvlaka.

Dobijanje informacija o relevantnim parametrima procesa rezanja (nastanka strugotine, sila, temperatura, habanje alata...) najčešće je povezano sa nizom teškoća tehničke i ekonomske prirode. Zbog toga je razvijeno tzv. **modeliranje procesa** tj. **simulacija** realnog procesa rezanja pomoću modela. Jedan od preduslova za studiju mehanizama procesa rezanja metala je realističan model (ili modeli) koji može biti korišćen kao osnova za određivanje karakteristika procesa sa razumnom tačnošću. Modeliranje procesa obrade je veoma važno kao pomoć za razumevanje procesa i rešavanje praktičnih problema, naročito u uslovima visokih brzina rezanja i visokih pomaka koji prate masovnu proizvodnju i industrijsku automatizaciju.

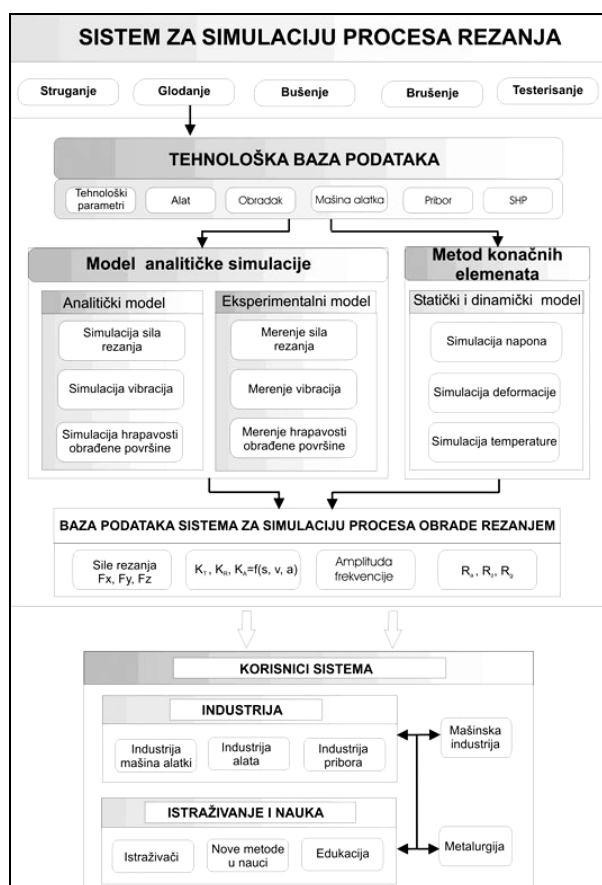
Od 1980-tih istraživači i inženjeri počinju intenzivno da se interesuju za inteligentne mašine i inteligentnu proizvodnju. Istraživanja idu u pravcu ispitivanja mogućnosti da mašine i proizvodni sistemi dobiju osobine humane inteligencije. Modeliranje i optimizacija procesa rezanja su važni elementi u proizvodnom procesu. Proizvodni proces karakterišu višestruke dinamičke interaktivne promenljive, te se izboru optimalnih parametara obrade mora posvetiti velika pažnja.

Bitan preduslov za bolje funkcionisanje i iskorišćenje savremenih obradnih sistema je primena sistema za dijagnosticiranje (proces, alata, mašine i obratka) i nadzor procesa kvaliteta i funkcionisanja. Razlozi za sve veću primenu ovih sistema leže u proširenoj primeni novih materijala, izradi delova sve složenijih oblika, proizvodnji u malim serijama, primeni velikih brzina rezanja za koje nema dovoljno podataka o režimima obrade i dr.

2. MODELIRANJE I SIMULACIJA PROCESA REZANJA

Poslednjih decenija mnogi istraživači su sprovedi veliki broj istraživanja. Bilo je puno varijacija u prilazima modeliranju glavnih mehanizama pojedinih postupaka obrade. Tokom godina razvijeni su različiti mehaničko-matematički modeli za simuliranje procesa obrade. Dok su eksperimentalne metode i empirijski modeli bili glavna potpora istraživanju, pribavljanje korisnih informacija bilo je limitirano kvalitetom eksperimenata i mogućnostima mernih uređaja. Analitički modeli su korišćeni za procenu relacija između proizvodnog ponašanja i osobina materijala. Stoga, informacije iz analitičkih modela mogu biti korišćene za selekciju materijala i za dovodenje u vezu karakteristika procesa sa specifičnim materijalima.

Numeričke metode su produžetak analitičkog formulisanja. Ove metode, kao što je metod konačnih elemenata, koriste elemente iz analitičkih modela kao konstitutivni odnos za razvoj detaljnih modela procesa. Načelno, efikasnost analitičkog i numeričkog modela može biti verifikovana samo ako postoji slaganje sa eksperimentalnim rezultatima. Jedna od modernih numeričkih metoda pomoću koje se može analizirati proces rezanja je *metod konačnih elemenata (FEM)*. Ovaj metod se zasniva na aproksimaciji kontinuuma konačnim brojem elemenata. Elementi su međusobno povezani u čvornim tačkama, a pretpostavlja se da je napon ravnomerno raspoređen u okviru jednog elementa. Diferencijalne i integralne jednačine koje opisuju određenu fizičku veličinu sa beskonačnim brojem stepeni slobode, svode se na konačan sistem jednačina koje je, uz pomoć računara, moguće rešiti. Tačnost rešenja u velikoj meri zavisi od tipa procesa kao i od broja konačnih elemenata.



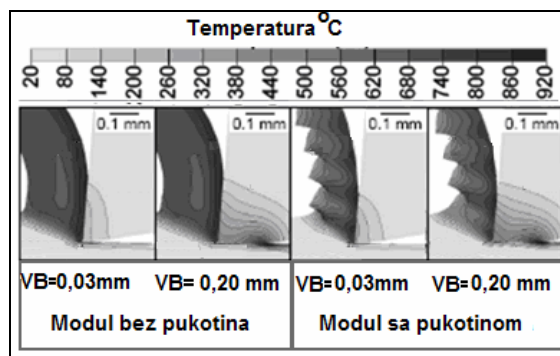
Slika 2. Koncept sistema za simulaciju procesa rezanja [25]

Drugi numerički metod je *metod konačnih razlika*. I ovaj metod diferencijalnu jednačinu pretvara u približnu algebarsku. Diskretizacija vremena i prostora se kod metode konačnih razlika vrši tako, da se čvorna tačka nalazi u središtu elementarnog dela. Metoda konačnih razlika je konceptijski vrlo slična fizičkom procesu gde se modelska veličina izračunava nakon svakog vremenskog koraka kao posledica razmene sa okolnim tačkama.

Koncept jednog sistema za simulaciju procesa obrade rezanjem prikazan je na slici 2. Sistem kombinuje: tehnološke podatke, model za analitičku simulaciju i bazu podataka. Tehnološka baza podataka sadrži: tehnološke parametre, podatke o alatu, podatke o materijalu obratka, podatke o mašini alatki, podatke o SHP i podatke o priborima. Model analitičke simulacije je podeljen na eksperimentalni i analitički model. Eksperimentalni model sadrži: skup izlaznih karakteristika procesa obrade rezanjem dobijenih pomoću senzora, transformaciju podataka u numeričke vrednosti, proračun karakterističnih koeficijenata materijala. Analitički model je zasnovan na: proširenim statističkim jednačinama, jednačinama dobijenim na osnovu parametara rezanja i simulaciji procesa rezanja. Podaci dobijeni iz baze podataka ovog sistema su osnov za razvoj modela konstrukcije alata i modela optimizacije procesa obrade.

Sistem za simulaciju procesa obrade rezanjem može biti proširen takođe i na simulaciju zasnovanu na metodu konačnih elemenata. Ova simulacija je podeljena na statički i dinamički model. Statička i dinamička simulacija se deli na simulaciju napona, deformacija i temperature.

Na ovaj način vršeno je modeliranje temperature rezanja, napona pri nastajanju strugotine, habanja alata, a u novije vreme i simulacija samog procesa nastajanja strugotine.



Slika 3. Uticaj habanja i procesa nastajanja strugotine na temperaturu rezanja [6]

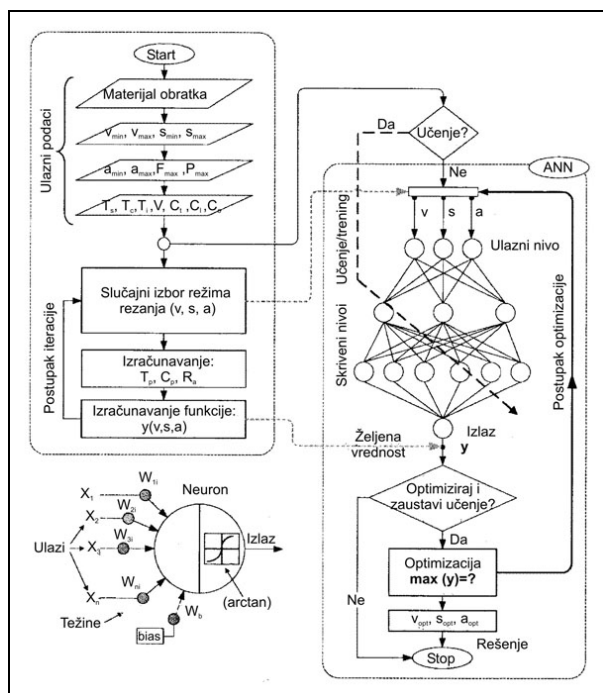
Na slici 3. je prikazan uticaj širine pojasa habanja i temperature rezanja na proces nastajanje strugotine [6]. Kada je u model uključen i modul nastajanja pukotina modelirana strugotina je postala lamelarna. Temperatura u ovoj strugotini nije uniformna i visoke temperature se mogu uočiti po granicama lamela usled lokalizovane plastične deformacije, dok je kod kontinualne strugotine temperatura relativno uniformna. Kada je u model uključeno habanje u vidu pojasa $VB=0,2$ mm pojavio se treći toplotni izvor na leđnoj površini u kontaktu sa okratkom.

3. PRIMENA TEHNIKA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U MODELIRANJU I OPTIMIZACIJI PROCESA REZANJA

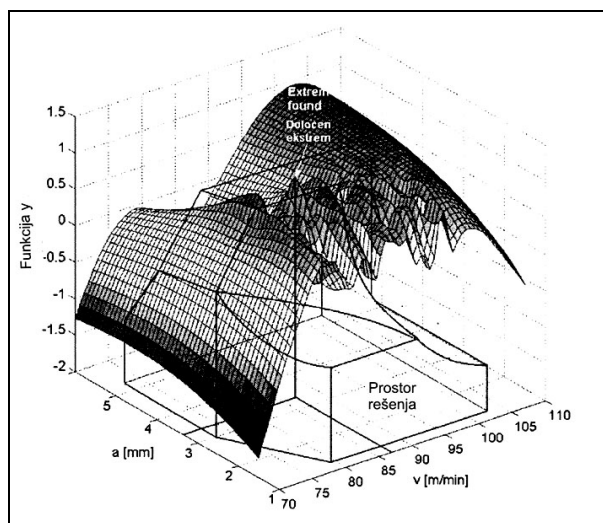
U novije vreme u upotrebi je i modeliranje procesa obrade rezanjem upotrebom tehnika veštačke inteligencije kao što su neuronske mreže, ekspertni sistemi, fuzzy logika, neuro-fuzzy sistemi, genetski algoritmi, genetsko programiranje. Nove metode veštačke inteligencije omogućavaju generisanje novih modela i izbor boljih rešenja u toku procesa

rezanja. Prednosti novih metoda su da su one univerzalne i snažne i da se generalno mogu koristiti u svim oblastima za modeliranje i optimizaciju, pa čak i kod veoma komplikovanih procesa ko što je proces rezanja. One otvaraju nove puteve za optimizaciju režima obrade i izbor alata.

Inteligentna proizvodnja obezbeđuje bitnu uštedu u pogledu novca i vremena samo ako je integrisana sa uspešnim automatizovanim procesom planiranja. Proces planiranja uključuje određivanje pogodnih mašina, alata i parametara obrade na osnovu režima obrade, za svaku pojedinačnu operaciju obrade. Optimalni izbor režima obrade značajno utiče na povećanje produktivnosti i redukciju troškova. Ekonomski problem obrade sastoji se u određivanju karakterističnih parametara procesa, obično brzine rezanja, pomaka i dubine rezanja, u cilju optimizacije funkcije cilja. Rešenje ovog problema postiže se upotrebom optimizacionih algoritama, koji uključuju geometrijsko i stohastičko programiranje, diferencijalne jednačine, linearno programiranje, kompjutersku simulaciju.



Slika 4. Algoritam optimizacije režima obrade primenom veštačkih neuronskih mreža [43]



Slika 5. Optimizacija funkcije y (sa nalaženjem ekstrema) pomoću veštačkih neuronskih mreža [43]

U literaturi [7,8,25,43] se mogu sresti brojni primeri optimizacije i modeliranja procesa rezanja primenom metoda veštačke inteligencije (najčešće genetski algoritmi i neuronske mreže) i to predstavlja novi trend u modeliranju i optimizaciji procesa obrade. Novi prilaz garantuje efikasnu i brzu selekciju optimalnih režima obrade, bez prekoračenja nametnutih ograničenja (postojanost alata, sile rezanja, snaga, kvalitet obrađene površine itd.). Integracija modernih metoda modeliranja i optimizacije u proces rezanja je u fazi razvoja i ona može da poveća pouzdanost proizvodnje, spreči potencijalne probleme zbog neadekvatnih režima obrade i održi visok kvalitet proizvoda.

Na slici 5. prikazan je primer optimizacije jedne više atributske funkcije y primenom veštačkih neuronskih mreža.

Problem višekriterijumske optimizacije $\min T_p(v,s,a)$, $\min C_p(v,s,a)$ i $\min R_a(v,s,a)$, pri obradi na strugu, redukovan je na problem nalaženja prostog maksimuma:

$$\max_{v,s,a} y[T_p(v,s,a), C_p(v,s,a), R_a(v,s,a)]$$

gde su: T_p -proizvodno vreme, C_p -troškovi po proizvodu, R_a -hrapavost obrađene površine.

Dobijeni rezultati su u poređenju sa rezultatima dobijenim putem genetskog algoritma, odnosno linearnog programiranja (za iste uslove) bolji za 22,1%, odnosno 17,3% respektivno.

4. MONITORING PROCESA REZANJA

Razlozi za uvođenjem sistema za praćenje-monitoring procesa rezanja su mnogostruki, ali se njime uglavnom postižu sledeće pogodnosti:

- Povećanje proizvodnosti;
- Sprečavanje teških oštećenja u toku obrade;
- Održavanje nivoa kvaliteta na propisanom nivou;
- Minimizacija praznih hodova;
- Optimalno korišćenje obradnih procesa.

Sistemi za praćenje i upravljanje procesom mogu imati sledeće osnovne objekte nadzora: *mašinu alatku, alat, proces, pripremu alata i obradak*. Za njih se mogu definisati *situacije, funkcije, uslovi* kao i *objekti za praćenje* svrstani u dve grupe, tabela 1.

Tabela 1. Situacije, funkcije, uslovi i objekti za praćenje pri obradi rezanjem [39]

OBJEKTI NADZORA	Vremenski vrlo kritično (milisekunde)	Vremenski manje kritično (sec ili min)
MAŠINA	<ul style="list-style-type: none"> • CNC-upravljanje • kolizija 	<ul style="list-style-type: none"> • tačnost • temperaturske deformacije
ALAT	<ul style="list-style-type: none"> • lom alata • priprema alata 	<ul style="list-style-type: none"> • habanje alata • postojanost alata
PROCES	<ul style="list-style-type: none"> • samopobudne vibracije • sila/mom./snaga • nastajanje strugotine 	<ul style="list-style-type: none"> • dovod SHP
PRIPREMA ALATA	<ul style="list-style-type: none"> • preoštravanje 	<ul style="list-style-type: none"> • kompenzacija mera
OBRADAK	<ul style="list-style-type: none"> • mere (u procesu) • oblik (u procesu) • hrap. (u procesu) 	<ul style="list-style-type: none"> • mere priprema • mere obratka • integritet površine

Lom alata je glavni razlog nepredviđenih zastoja u toku obrade i ne košta samo zbog izgubljenog vremena već takođe i u smislu uništenog dobra. Neke procene govore da dužina izgubljenog vremena zbog loma alata, na prosečnoj mašini, iznosi 6,8% dok druge procene idu čak i do 20%. Zbog toga je detekcija stanja pohabnosti alata i prepoznavanje njegovog loma izuzetno važno za povećanje produktivnosti i

profitabilnosti. Procenjuje se da precizan i pouzdan sistem za monitoring stanja alata (**Tool Condition Monitoring-TCM**) može da omogućiti povećanje brzine rezanja za 10-50%, redukuje vreme zastoja i da poveća uštedu između 10% i 40%.

U tabeli 2. je prikazan pregled rešenja koja se koriste u praksi za TCM u zavisnosti od vrste obrade, uzimajući u obzir vrstu mernog signala, vrstu senzora i metodologiju obrade signala.

Tabela 2. Istraživanja na polju TCM organizovana prema vrsti obrade, mernog signala, senzora i metodologiji obrade signala

Vrsta Obrade	Vrsta mernog signala	Vrsta senzora	Metodologija obrade signala
Struganje	<ul style="list-style-type: none"> snaga ili struja vretena sile rezanja vibracije obrtni moment akustična emisija ultrazvučna emisija pojas habanja refleksija strugotine 	<ul style="list-style-type: none"> akcelerometar senzori struje/napona dinamometri mikrofoni senzori brzine rezanja 	<ul style="list-style-type: none"> statističke metode analitičke metode neuronske mreže/fuzzy logika modalna analiza metod najmanjih kvadrata FFT/PSD analiza u vremenskom domenu
Vretenasto glodanje	<ul style="list-style-type: none"> snaga ili struja vretena vibracije akustična emisija pojas habanja 	<ul style="list-style-type: none"> akcelerometar senzori struje/napona dinamometri mikrofoni senzori brzine rezanja 	<ul style="list-style-type: none"> statističke metode analitičke metode neuronske mreže/fuzzy logika modalna analiza metod najmanjih kvadrata FFT/PSD analiza u vremenskom domenu
Čeono glodanje	<ul style="list-style-type: none"> snaga ili struja vretena sile rezanja temperature vibracije obrtni moment akustična emisija pojas habanja 	<ul style="list-style-type: none"> akcelerometar senzori struje/napona dinamometri mikrofoni 	<ul style="list-style-type: none"> statističke metode analitičke metode Neuronske mreže/fuzzy logika modalna analiza metod najmanjih kvadrata FFT/PSD an. u vremenskom domenu
Bušenje	<ul style="list-style-type: none"> snaga ili struja vretena sile rezanja vibracije obrtni moment akustična emisija ultrazvučna emisija pojas habanja 	<ul style="list-style-type: none"> akcelerometar senzori struje/napona dinamometri mikrofoni senzori brzine rezanja 	<ul style="list-style-type: none"> statističke metode analitičke metode neuronske mreže/fuzzy logika modalna analiza metod najmanjih kvadrata FFT/PSD analiza u vremenskom domenu

Trendovi razvoja sistema za praćenje se kreću u pravcu višesenzorskih sistema. Ovi sistemi omogućuju više informacija o procesu, kao i pouzdaniji i fleksibilniji proces i bolje upravljanje i oni baziraju na sledećim funkcijama upravljanja i praćenja:

- Praćenje iznenadnog otkaza preko: snage motora, širine pojasa habanja, loma alata, kolizije i vibracija;
- Granično adaptivno upravljanje, ACC sa ograničenjem pomaka - upravljanje na bazi sile i

upravljanje na bazi vibracija;

- Optimalno adaptivno upravljanje na bazi maksimalne produktivnosti - min. troškova.

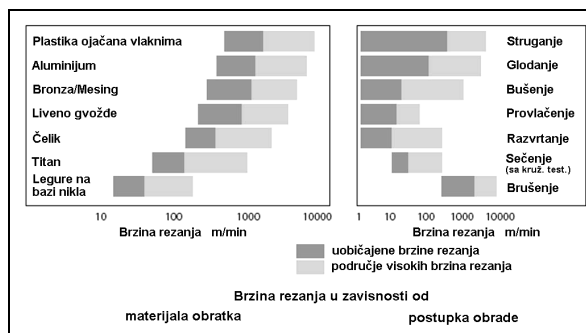
Dalji razvoj sistema za praćenje procesa i upravljanje ide u pravcu razvoja sistema sa učenjem i sistema koji sami donose odluke, odnosno inteligentnih obradnih sistema. To podrazumeva upotrebu veštačkih neuronskih mreža, fuzzy logike i genetskih algoritama.

5. OBRADA VISOKIM BRZINAMA REZANJA

Obrada visokim brzinama rezanja (**High Speed Cutting** - skraćeno **HSC**) je rezanje sa značajno povećanom brzinom, a pri relativno maloj dubini rezanja. Prvi nagoveštaji mogućnosti obrade velikim brzinama rezanja nastali su još 1931. godine, a zatim su oni tekli sledećim redosledom [37]:

- 1931. **Salomon** – Izvršena prva obrada visokim brzinama rezanja i patentirana HSC obrada sa brzinama preko 720 m/min.
- 1981. **Ickes** – Uspostavio vezu između procesa rezanja i brzina u području 1000 do 10 000 m/min.
- 1994. **Schulz** – Definisao vrednosti visokih brzina rezanja za pojedine materijale i postupke obrade.
- 1996. **Schneider** – Definisao čvrstu podelu brzina rezanja u tri područja:
- konvencionalno područje 0-500 m/min
- rezanja visokim brzinama rezanja 500-10000 m/min
- ultrabrzo rezanje brzinama preko 10000 m/min.
- 1997. **Reich** – Pokazao značajno snižavanje troškova proizvodnje pri vidnom povećanju brzina pomoćnog i glavnog kretanja (pomaka i brzine rezanja).
- 1998. **Tönshoff** – Postigao značajno prekoračenje konvencionalnih brzina rezanja.
- 2003. **Ben Amor** – Dao analitički obrazloženu definiciju rezanja sa vrlo visokim brzinama na osnovu eksperimentalnih merenja sila i snage pri rezanju

Kao što je prethodno navedeno, Schulz [33] je rešio nedoumice u pogledu nominalnih brzina rezanja koje se praktično mogu realizovati pri pojedinim postupcima obrade i za različite materijale obratka, slika 6.



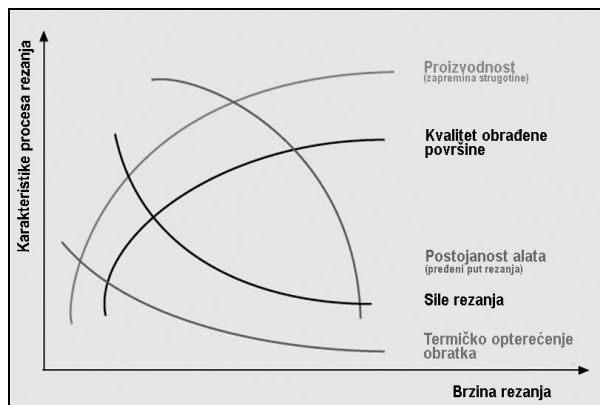
Slika 6. Područje nominalnih brzina rezanja zavisno od materijala i postupka obrade [33]

Pri povećanju brzine rezanja mogu se ostvariti sledeće pogodnosti u odnosu na konvencionalnu obradu:

- Značajno smanjenje glavnog vremena obrade,
- Moguće je povećanje specifične proizvodnosti za oko 30%,
- Povećanje brzine pomoćnog kretanja za 5 do 10 puta,
- Moguće je sniziti sile rezanja za više od 30%,
- Obrada geometrijski vrlo složenih delova bez oscilovanja,
- Primenom HSC-postupka, moguća je kompletna obrada na jednom mestu,
- Moguće je postići kvalitet obrađene površine koji je blizu kvaliteta brušenja, bez unutrašnjih naprezanja, s

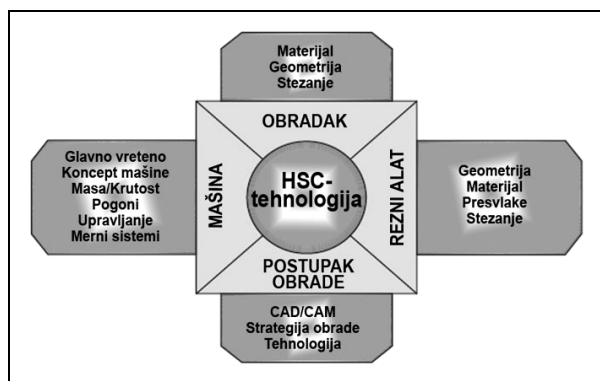
obzirom da se toplota rezanja uglavnom odvodi preko strugotine.

Na slici 7. su principijelno prikazane promene najvažnijih karakteristika procesa rezanja pri HSC-obradi, među kojima i neke prethodno pomenute [28].



Slika 7. Najvažnije karakteristike procesa rezanja pri HSC-obradi [28]

Na parametre HSC-obrade ne utiče samo proces, već deluje ceo sistem mašina-alat-obradak, slika 8.



Slika 8. Pregled faktora koji utiču na celokupan proces HSC-tehnologije [28]

Za optimalnu primenu ove tehnologije, potrebno je stvoriti sledeće najvažnije pretpostavke, kako bi se prethodno prikazani uticaji rešili na najbolji mogući način:

■ MAŠINA:

- stabilan rad bez vibracija i plivanja
- visoka krutost
- laki pokretni delovi
- veliki broj obrtaja i centričnost glavnog vretena
- realizacija visokih pomaka (linearni pogoni)

■ REZNI ALAT:

- visoka centričnost obrtanja (bacanje manje od 0,003 mm)
- visoka izbalansiranost konstrukcije, kako reznog dela tako i drške
- visoka postojanost (specijalna rezna geometrija i tvrde presvlake)
- velika krutost

■ STEZANJE NA MAŠINI:

- visoka centričnost obrtanja
- hidraulične precizne stezne glave za obratke

■ OBRADAK:

- stabilno stezanje bez vibracija

Kao što pokazuje slika 7., pri porastu brzine rezanja raste zapremina skinute strugotine (mm^3/min) pri svim procesima obrade, ako poprečni presek strugotine ostane nepromenjen.

To se može koristiti pre svega tamo gde se koriste rotirajući alati. Kod procesa i mašina kod kojih rotira obradak brzinom rezanja, javljaju se ograničenja tehničke prirode. Ovo radi toga što se javljaju jake centrifugalne sile koje pritiskuju stezne pakne prema spolja, dok sile rezanja deluju suprotno i umanjuju se sa kvadratom broja obrtaja (brzine rezanja). Zbog toga, kod teških obradaka i steznih pribora, vreme pokretanja i zaustavljanja raste sa kvadratom broja obrtaja i može biti tako veliko da visoko pomoćno vreme dovodi u pitanje produktivnost obrade.

Obrada rotirajućih obradaka velikim brzinama rezanja je na taj način ograničena zbog:

- činjenice da jačina stezanja obratka raste sa kvadratom broja obrtaja
- potrebe da se pojačaju sigurnosni uređaji protiv otpuštanja rotirajućih elemenata
- povećanja pomoćnog vremena za pokretanje i zaustavljanje obratka, steznih pribora i glavnog vretena.

Pri stezanju rotirajućih alata ovi nedostaci deluju vrlo malo ili uopšte ne deluju. Po pravilu su rotirajuće mase, odnosno njihovi obrtni momenti, znatno manji tako da na pomoćno vreme pokretanja i zaustavljanja deluju neznatno. Samo stezanje rotirajućih alata vrši se specijalnim steznim čaurama. Ovi sistemi moraju biti tako izvedeni da nema oscilovanja ili kritičnih brojeva obrtaja.

Jedna od veoma važnih prednosti obrade sa velikim brzinama rezanja je što se glavna i sila pomoćnog kretanja značajno smanjuju. Na taj način se filigranski delovi sa tankim zidovima mogu obrađivati sa neznatnim elastičnim deformacijama zbog delovanja komponenti sila rezanja (npr. delovi za vazduhoplove, vidi sliku 9.).

Povećanjem brzine rezanja rastu temperature na kontaktnim površinama i u reznom klinu alata, što dovodi do jakog termičkog habanja (difuziono i oksidaciono). Zbog toga pri rezanju metala na bazi Fe i drugih materijala visoke čvrstoće, dolazi do ograničenja brzine rezanja iz ekonomskih razloga. Samo kod materijala sa znatno nižim temperaturama topljenja, kao što su Al i Mg legure, termičko opterećenje reznog klina nije kritično. Kod ovih materijala su brzine rezanja veće od 3000 m/min sasvim dostižne.

Kod prekidnog rezanja, kakvo je npr. glodanje, ne nastaju tako visoke temperature u alatu, što utiče da se granica ekonomskih brzina rezanja pomera naviše. Radi toga se visokobrzinsko glodanje može sa puno uspeha koristiti kod obrade kućišta od čelika i LG, a takođe i kod obrade alata i složenih gravura od ovih materijala, primeri na slici 9.



Slika 9. Primeri delovi izrađenih HSC-obradom

6. VISOKO PRODUKTIVNA OBRADA

Visoko produktivna obrada (**High Productive Cutting - HPC**), za razliku od aktuelne High Speed Cutting (HSC) ne

obuhvata samo proces rezanja i njegovu optimizaciju, već i sve druge faktore koji sudeluju u proizvodnji, sve sa ciljem da se poveća produktivnost i sigurnost procesa obrade.

Ova obrada je počela da se razvija u novije vreme i bazira se na četiri zahteva:

- max snaga rezanja,
- max obrtni moment i sila pomoćnog kretanja,
- max opterećenje reznog alata,
- max brzine pomoćnog kretanja, koje se mogu postići za dati pogon i upravljanje.

Prema tome, moglo bi se zaključiti da je to obrada koja podrazumeva maksimalno iskorišćenje mogućnosti procesa, mašine i alata.

U odnosu na HSC-obradu, HPC-obrada se izvodi manjim brzinama rezanja, a znatno većim pomacima i dubinama, kako bi se postigla što veća zapremina skinutog materijala u odnosu na konvencionalne postupke obrade. To je relativno nova tehnologija koja se koristi za grubu obradu u proizvodnji alata i gravura, a u značajnoj meri zamenjuje konvencionalne postupke obrade. Kako se visoka proizvodnost postiže uglavnom velikim dubinama i pomacima, to rastu sile rezanja a time i opterećenje mašine i alata. Zbog visokih sila rezanja i lošeg kvaliteta površine može se koristiti samo pri gruboj obradi robusnijih delova.

Ovaj postupak, za razliku od HSC, može se, uz odgovarajući rezni alat, obaviti i na konvencionalnim mašinama. HPC-rezanje obuhvata i smanjenje pomoćnih vremena, povećanje brzina pozicioniranja i brzih hodova, kao i snižavanje vremena za izmenu reznih alata, vidi sliku 1. Kod ove obrade po pravilu nije neophodna ni minimalna količina SHP sredstva, s obzirom da se nastala toplota uglavnom odvodi sa strugotinom, pa je tako ovde moguća i suva ili MMS obrada.

7. OBRADA TVRDIH MATERIJALA

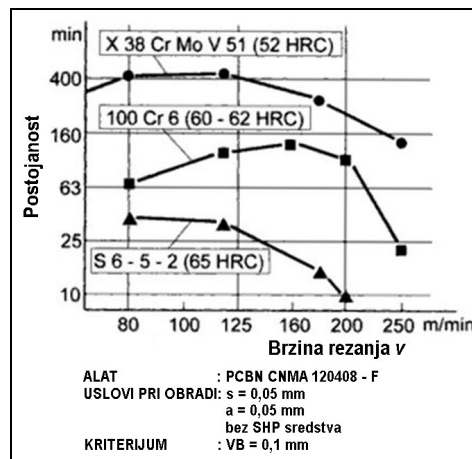
Rezanje kaljenih čelika i tvrdih presvlaka tvrdoće iznad 47 HRC naziva se tvrdom obradom, ili preciznije: **tvrdom obradom alatima sa definisanom reznom geometrijom**. Tvrdi materijali se često sreću pri remontu raznih postrojenja i uređaja, ali su ubrajaju i delovi koji su se do sada obrađivali isključivo brušenjem.

Razvojem materijala za alate visoke tvrdoće i toplotne postojanosti, danas se praktično može vršiti: **tvrdno struganje, glodanje i bušenje**, ali se može ekonomično vršiti i tvrdno rezanje navoja, provlačenje, razvrtanje i dr.

Pri izradi mašina, automobila i drugih uređaja, danas se sve više ugrađuju delovi visoke tvrdoće i čvrstoće. To su delovi koji zbog svoje funkcije moraju biti čvršći, tvrdi i otporniji na habanje. Tamo gde su se ranije koristili materijali, naročito čelici, sa samo zadovoljavajućom čvrstoćom, danas se sve više koriste visoko poboljšani ili okaljeni materijali, s obzirom da se mogu, osim brušenjem, obrađivati i spektrom drugih postupaka obrade.

Tvrda obrada je karakteristična zbog specifičnog mehanizma obrazovanja strugotine. Tvrdi materijali nisu deformabilni na normalnim temperaturama i pritiscima. Zbog toga pri obrazovanju strugotine ne nastaju ravan smicanja i zona rezanja. Na početku razdvajanja materijala ispred vrha sečiva se obrazuje pukotina u pravcu površine obratka koja se širi. Nastaju segmenti strugotine koji su uglavnom međusobno povezani nalik na zube testere.

Kao potvrda ovih specifičnosti, na slici 10. je prikazana zavisnost postojanosti i brzine rezanja u Tejlorovom log-log dijagramu pri obradi struganjem polikristalnim bornitridom. To su atipične krive habanja u poređenju sa mekom obradom gde se one mogu dobro aproksimirati pravom linijom. Sa slike se takođe vidi veliki uticaj tvrdoće materijala obratka na postojanost alata, pa tako neznatno snižavanje ove tvrdoće znatno povećava postojanost.



Slika 10. Habanja PKBN alata pri tvrdom struganju [37]

U prethodnom periodu su se pri obradi materijala tvrdoće preko 62 HRC po pravilu morali koristiti elektroerozija ili za finu obradu brušenje, a danas se, zahvaljujući primeni alata koji su veoma otporni na habanje i dubljem poznavanju procesa obrade, mogu primenjivati postupci obrade sa definisanom geometrijom sečiva. Oni nude prednosti kao što su: **visoka fleksibilnost, kompletna obrada u jednom stezanju i mogućnost optimizacije postupaka obrade sa uštedama energije i kraćim vremenima izrade**.

Kao postupak završne obrade, teži se da tvrdo struganje supstituiše operacije brušenja. U tabeli 3. su dati podaci za jedan praktičan primer uporedne obrade iz koga se vidi da je tvrdo struganje znatno povoljnije. Ovde se vršila obrada jedne fricione lamele od kaljenog čelika za ležajeve 100 Cr 6.

Tabela 3 Uporedni pregled obrade brušenjem i tvrdim struganjem fricione lamele [37]

USLOVI PRI OBRADI		
Materijal obratka	čelik za ležajeve 100 Cr 6, tvrdoća 60-62 HRC	
Materijali alata	odgovarajući	
Mašine	odgovarajuće	
SHP sredstva	Brušenje – odgovarajuće	
	Tvrdo struganje – bez SHP sredstva	
BRUŠENJE		TVRDO STRUGANJE
1. Prethodna obrada (u mekom stanju)		1. Prethodna obrada
2. Kaljenje		2. Kaljenje
3. Ravno brušenje – 1 strane		3. Tvrdo struganje – kompletna obrada
4. Brušenje otvora		
5. Spoljašnje brušenje		
6. Ravno brušenje – 2 strane		
REZULTATI OBRADE		
Vreme obrade	Brušenje	100%
	Tvrdo struganje	37,5%
Kvalitet površine R _z	Brušenje	6,3 μm
	Tvrdo struganje	3,0 μm

Opšte uzevši, poređenje između brušenja i tvrdog struganja zavisi od datog zadatka obrade i nije uvek tako jasno izraženo. U mnogim slučajevima odlučujuća prednost tvrdog struganja je fleksibilnost u postizanju datog oblika, s obzirom na primenu CNC upravljanja. To najčešće dovodi do značajnog smanjenja vremena obrade u smislu kompletne obrade na jednom mestu uz manje troškove obrade i investicije u mašine.

Od kako je tvrdo struganje počelo da se primenjuje u većem obimu sredinom 1980 godine, proces tvrde obrade je

značajno poboljšani, bolje opremljeni, prilagođeni su materijali obratka i postupci kaljenja, rezni alati i kompletna nadgradnja procesa, tako da je danas dostupan svim proizvođačima.

Tvrdu obradu ne treba posmatrati samo kao alternativu obradi brušenjem, već kao obradu koja se sa njom može dobro dopunjavati. Iz više razloga tvrda obrada je naročito pogodna tamo gde se obrađuju okaljeni rotacioni delovi.

Najvažnije prednosti tvrde obrade su:

- Dobra prilagodljivost kompleksnim konturama delova;
- Brza promena rada kod različitih obradaka;
- U jednom stezanju se može izvoditi više zahvata;
- Visoka proizvodnost pri obradi;
- Mogućnost da se isti CNC strug koristi i za „klasično struganje“;
- Manje investicije u mašinu;
- Pogodniji oblici strugotine;
- Eliminisanje SHP sredstva u najvećem broju slučajeva;
- Mala skladišta za alate i minimalno potreban prostor;
- Često mnogo povoljniji kvalitet obrađene površine.

Tvrda obrada je pre svega postupak fine obrade, ali se može primeniti i za poluzavršnu obradu, ako se zahteva visoka tačnost oblika i površine.

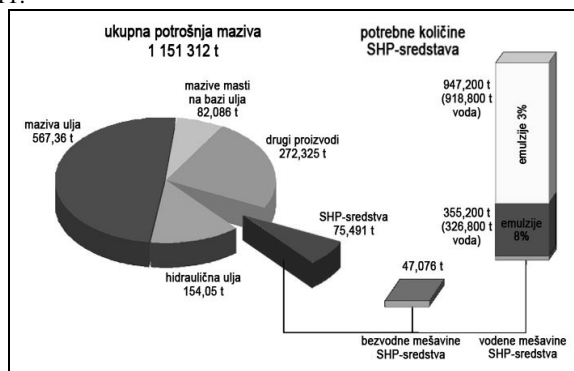
Velikim sniženjem troškova i povećanjem produktivnosti koje nudi tvrdo struganje, brušenje neće još dugo biti jedina metoda za finu obradu kaljenih čelika.

8. SUVA ILI OBRADA SA MINIMUMOM SHP-SREDSTAVA

Sa stanovišta održivog razvoja, ekološki aspekti u metaloprerađivačkoj industriji dobijaju sve više na značaju. Pri tome su u fokusu aspekti zaštite okoline i zdravlja. Sa tog stanovišta se veoma ozbiljno mora razmotriti primena SHP-sredstava pri obradi rezanjem sa geometrijski definisanim sečivom. Konsekvence toga mogle bi biti da se primena SHP-sredstava potpuno obustavi i da se materijali suvo obrađuju.

Primenom suve obrade prestaju funkcije SHP-sredstva, a to znači *hlađenje, podmazivanje i spiranje strugotine*. Kao posledica toga nastaje veće termičko naprezanje obratka, alata i mašine, kao i zadržavanje pregrejane strugotine u radnom prostoru mašine. Ovakvo delovanje razvijene toplote utiče na tačnost obratka i mašine, a snižava i postojanost alata. Zbog toga uvođenje suve obrade zahteva i drugačije podešavanje procesa rezanja, koje će omogućiti supstituciju odstranjenih primarnih funkcija SHP-sredstva, a da se pri tome delovi proizvode u zahtevanom kvalitetu i nepromenjenim troškovima.

Ekološki značaj SHP-sredstava postaje jasan kada se posmatra njihova godišnja proizvodnja. Prema podacima državnog ministarstva za privredu, potrošnja SHP-sredstava u SR Nemačkoj u 1994. god. je prekoračila milion tona, slika 11.



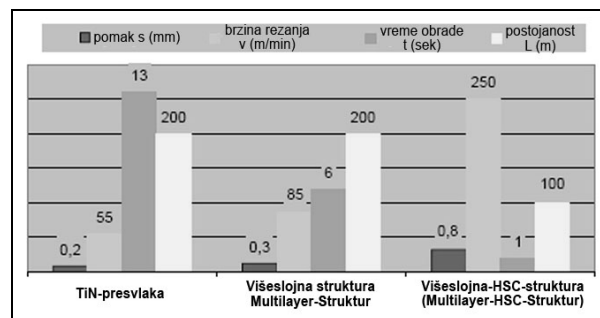
Slika 11. Ukupna potrošnja maziva i SHP-sredstava u 1994. godini u SR Nemačkoj [34]

Ovome treba dodati da se na državnom nivou godišnje

stvari još oko 350 000 tona upotrebljene emulzije i mešavina ulje-voda, kao i određena količina mulja iz procesa brušenja koja se ne može tačno proceniti.

Na osnovu prethodno iznetog, nesumnjivo je da SHP-sredstva predstavljaju veliku opasnost za zemlju, vodu i vazduh.

Najveći doprinos razvoju suve obrade učinjen je razvojem reznih alata o čemu će detaljnije biti govora u sledećem poglavlju. Kao ilustracija uspešne primene suve obrade, navodi se primer bušenja sivog liva burgijama sa različitim vrstama presvlaka kod koga se, zahvaljujući „podmazujućem“ delovanju mekog kliznog sloja presvlake, umanjuje trenje strugotine i alata i postižu vrlo dobri rezultati, slika 12.



Slika 12. Povećanje produktivnosti pri suvom bušenju sivog liva GG26Cr [28]

Suvo bušenje inače uvek zadaje posebne probleme. Središnji problem pri suvom bušenju je odvođenje strugotine iz rupe. Jedno od rešenja tog problema, pored sistema presvlaka, predstavlja alat sa proširenim žljebovima za strugotinu.

Zbog nedovoljno jasnih rezultata, čista suva obrada nije uvek sprovodljiva, pa se u praksi kao kompromis često koristi minimalna količina SHP-sredstva. Samo neznatna količina SHP-sredstva poboljšava radni učinak i jedna je od mogućnosti za redukovanje primene SHP-sredstva.



Slika 13. Spoljašnji dovod maziva kod primene MMS-sistema

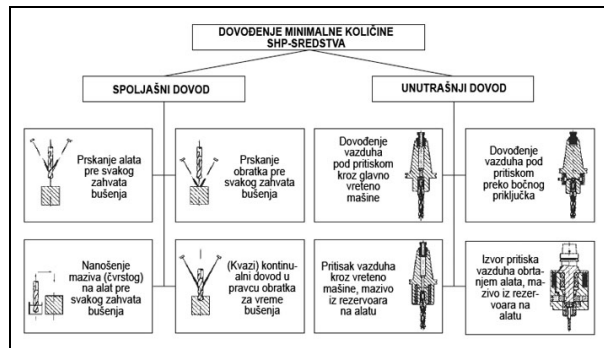
Za dovodenje vrlo male količine SHP-sredstva, danas postoje sledeći pojmovi:

- Minimalna količina SHP-sredstva – MMKS (najčešće manje od 50 ml/h)
- Mala količina SHP-sredstva – MKS (najčešće manje od 120 l/h)

Rashladno delovanje kod ovih SHP-sredstava je

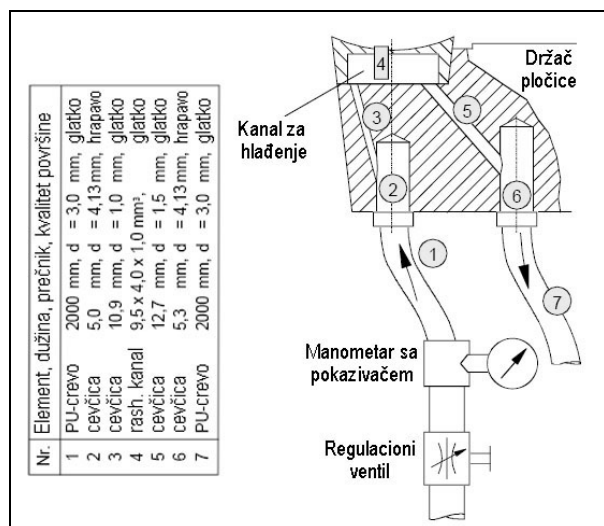
nedovoljno jasno definisano, tako da se kod mnogih autora favorizuje minimalna količina maziva i označava sa MMS, slika 13.

Kod primene tehnike minimalne količine maziva, mogu se u osnovi razlikovati način dovodenja i način pravljenja mešavine, što utiče na rezultate obrade. Za dovodenje maziva postoji više mogućnosti koje su za slučaj obrade bušenjem prikazane na slici 14.

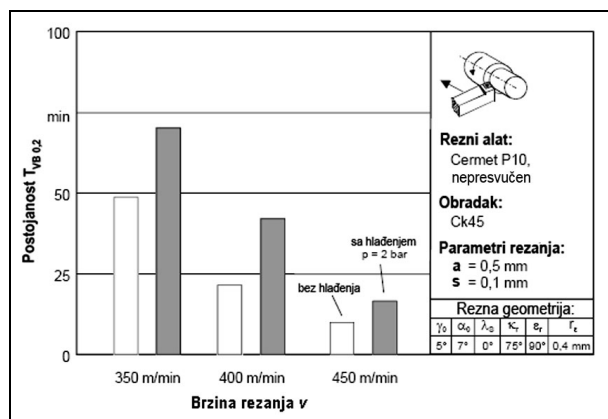


Slika 14. Različiti načini dovodenja maziva kod primene MMS-sistema

Postoje pokušaji da se pitanje hlađenja, koje se očigledno primenom MMS-sistema, ne rešava, reši primenom zatvorenih sistema sa unutrašnjim hlađenjem, slika 15.



Slika 15. Šema alata za struganje za zatvorenim sistemom unutrašnjeg hlađenja rezne pločice [15]



Slika 16. Postojanost rezne pločice u zavisnosti od brzine rezanja pri suvom struganju i primenom sistema unutrašnjeg hlađenja [15]

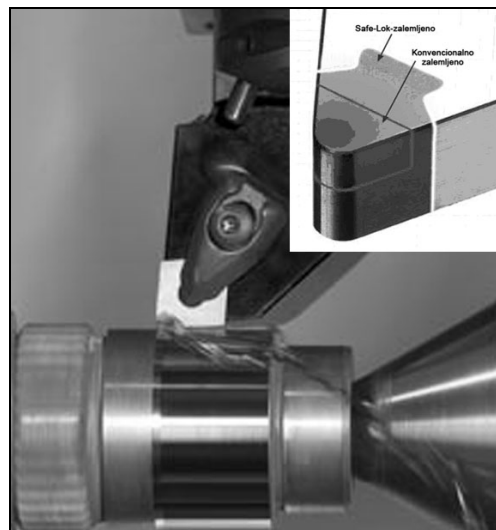
Kao što se sa slike 16. može videti, efekti primene ovog sistema unutrašnjeg hlađenja doveli su da se postojanost reznih pločica poveća za 50%. S obzirom da su ovi rezultati objavljeni ove 2008. godine, za očekivati je da će se ovakvi sistemi dalje razvijati i usavršavati.

9. OSNOVNI ZAHTEVI OD ALATA ZA HSC, HPC, TVRDU, SUVU I OBRADU PRIMENOM MMS-SISTEMA

Iako rezni alati sudeluju u troškovima proizvodnje sa svega 3,5%, slika 1., ipak se njihovom razvoju i usavršavanju posvećuje velika pažnja, jer u protivnom ni jedna od prethodno navedenih savremenih obrada ne bi mogla da se realizuje. Naprotiv, većina proizvođača alata prati razvoj ovih obrada i nastoji da njihov razvoj prate i adekvatni alati.

Zbog velike toplotne postojanosti i otpornosti prema toplotnom habanju, za HSC, HPC, tvrdu, suhu i obradu primenom MMS-sistema su pogodni super tvrdi alati: *presvučeni tvrdi metali, rezna keramika, kubni bornitrid i dijamant.*

Kubni bornitrid (CBN) je najčešće korišćeni materijal alata za sve ovde pomenute obrade. On je vrlo tvrd, jedino je dijamant tvrdi od njega, a dodatno poseduje otpornost prema lomu. Safe-Lok tehnologija izrade i lemljenja reznih pločica sa ozubljenom CBN pločicom koja je zalemljena daleko od vruće zone rezanja i tako dobija jače i sigurnije rezne ivice nego kod konvencionalnog izvođenja, slika 17.



Slika 17. Xcel Sandvik Coromant izmenljive pločice od CBN pogodne za obradu kaljenog konstrukcionog čelika

Presvučeni alati su dosta zastupljeni kod ovih savremenih obrada. Pri tome se koriste različite podloge-supstrati, materijali presvlake, broj slojeva presvlačenja, kao i postupci sa kojima se presvlake nanose.

Kao supstrat za presvlačenje se koriste različite sorte tvrdih metala, ali se za obradu nekih materijala mogu presvlačiti i brzorezni čelici. U tom slučaju radi se o suvoj obradi sa nižim brzinama rezanja i visokim zahtevima u pogledu žilavosti supstrata, kao npr. kod alata za unutrašnji navoj. Što se samih presvlaka tiče, danas su u primeni:

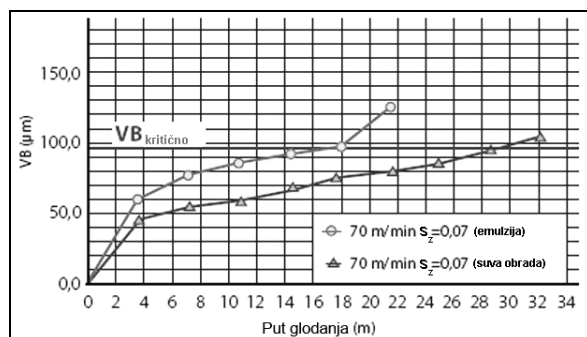
Presvlake sa nano slojevima: Napredak u tehnologiji presvlake omogućio je smanjenje debljine pojedinačnih slojeva na nano metarske dimenzije. Višeslojne nano presvlake na alatima od tvrdih metala mogu se izabrati iz širokog spektra tvrdih materijala. Dok je debljina svakog sloja samo nekoliko nanometara, ukupna debljina presvlake može da bude u opsegu 2-5 μm . Prema tome, sistem presvlake nano slojevima će se sastojati iz stotine slojeva, npr. tvrdog/čvrstog maziva ili tvrdih/izdržljivih materijala.

Supernitridne presvlake: Na bazi tehnologije raspršivanja, uz korišćenje visoko jonizovanih plazmi, razvijene su tvrde presvlake izuzetnih mogućnosti, koje se nazivaju supernitridi. Supernitridi pripadaju grupi nano kompozita i kombinacija su oksidnih slojeva i tvrdih nitridnih presvlaka.

Samopodmazujuće presvlake: U operacijama suve obrade funkcija podmazivanja može da se delimično kompenzuje mekim presvlakama, koje se nazivaju i samopodmazujuće presvlake. Ovi tipovi presvlaka obično se postavljaju povrh tvrdih presvlaka, poput titanijum-aluminijum nitrida.

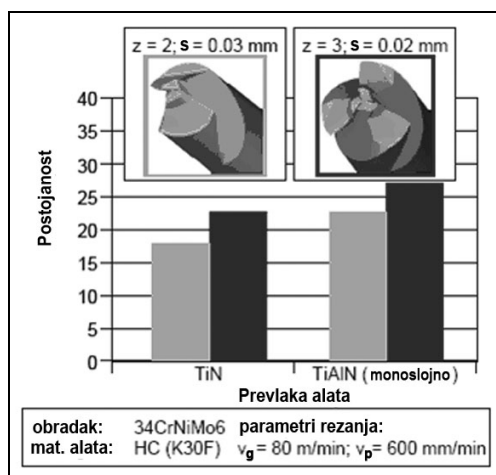
CBN presvlake: Osim široko korišćenog sinterovanog polikristalnog kubnog bornitrida (PCBN), CBN presvlake imaju određeni broj prednosti, kao što su geometrijska fleksibilnost, oštre rezne ivice bez žlebova i negativnih grudnih uglova i bez difuzije vezivnog materijala.

CVD presvlake: Pored čvrstog PCD, koji se proizvodi u postupku sinteze, sve više se koriste dijamantske presvlake koji se proizvode u tzv. CVD postupku. Postoje tanke i debele CVD dijamantske presvlake koje se obično nanose na podlogu od tvrdog metala.



Slika 18. Poređenje suvog i mokrog tvrdog glodanja [28]

Na slici 18. dat je primer tvrdog glodanja (mokro i suvo) koje je izvedeno pod sledećim uslovima: obradak – alatni čelik 155CrMoV12 1 okaljen na 62 HRC, alat – puni TM finozrni (VHM), vretenasto glodalo D=10 mm, z=6 zuba, TiAlN-jednoslojna presvlaka, bacanje ose glodala <10 μm. Kao što se sa slike može utvrditi, suvo glodanje daje znatno veću postojanost glodala od mokrog, što veoma ohrabruje u daljem razvoju i primeni suve obrade.



Slika 19. Postojanost dve vrste vretenastih glodala

Osim materijala alata, koji je svakako najvažniji, bitnu ulogu igra i geometrija alata, pogotovu ona na reznom delu. Svaki proizvođač se trudi da geometrijski tako oblikuje alat da on najbolje odgovori zahtevima obrade. Na slici 19. prikazan je primer vretenastog glodala koji u pogodnoj kombinaciji materijala (presvlake), geometrije reznog dela i režima

rezanja (pomaka), može da obezbedi veću postojanost.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja, mogu se generalno izvući sledeće preporuke za izbor reznog alata:

- CBN koristiti pri obradi livenog gvožđa;
- Tvrde metale sa presvlakama od TiN, TiCN koristiti za obradu legura čelika čija tvrdoća je ispod 42 HRC;
- Tvrde metale sa presvlakama od TiAl i AlTiN koristiti za obradu legura čelika čija je tvrdoća preko 42 HRC;
- Pločice od PCBN (sa 99,9% CBN) koristiti pri obradi materijala čija je tvrdoća 60-65 HRC.

10. ZAKLJUČAK

Sve veća konkurencija u svim oblastima, pa i u metalopreradačkoj industriji, naterala je proizvođače da prate i primenjuju inovativne visoko produktivne metode u obradi rezanjem. U ovom trenutku to su svakako: *obrada sa visokim brzinama rezanja (HSC-obrada)*, *visokoproduktivna HPC-obrada*, *obrada tvrdih materijala*, *pre svega kaljenih čelika*, kao i *suva ili obrada sa minimalnim korišćenjem SHP-sredstava (MMS-sistemi)*.

Pravilna primena bilo koje od pomenutih obrada obezbeđuje značajno povećanje produktivnosti, tačnosti i kvaliteta, a to je ono čemu teži moderna industrijska proizvodnja.

Da bi sve ove metode mogle da se koriste bez poteškoća, brinu se istraživači čiji je zadatak da primenom odgovarajućih metoda istraživanja utvrde zakonitosti procesa, kao i najpovoljnije uslove za njihovo odvijanje. Krug se zatvara proizvođačima mašina i alata koji treba da obezbede proizvodna sredstva sa kojima se ove obrade mogu nesmetano realizovati.

Autori su nastojali da u ovom radu prikažu jedan broj inovacionih metoda u istraživanjima i primeni tehnologije obrade rezanjem, koje bi mogle biti od koristi naučnoj i stručnoj javnosti. Prikazane studije i rezultati su preuzeti iz naučno-stručne literature ili sa sajta istraživačkih i proizvodnih institucija iz sveta, jer za takva istraživanja kod nas ne postoje adekvatni uslovi.

11. LITERATURA

- [1] Ackerschott, G.: Grundlagen der Zerspanung einsatzgehärteter Stähle mit bestimmter Schneide, Dr.-Ing. Dissertation RTWH Aachen, 1991.
- [2] Aronson, R. B.: Why Dry Machining?, Manufacturing Engineering, 114/1, 1995, 33÷36.
- [3] Bimschas, K.: Verbesserung der Werkstückqualität durch Simulation des Bearbeitungsprozesses. Dissertation TH Darmstadt, 1994.
- [4] Brinksmeier, E., Walter, A.: Minimalschmiertechnik und Trockenbearbeitung in der spanenden Fertigung. Praxis Forum 21 (1996), 51÷85.
- [5] Buscher, M.: Complete Hard Machining of Free Form Forging Dies, Conference on Die Manufacturing with Future, Aachen, 2000.
- [6] Chen L.I., El-Wardany T.I., Harris W.C.: Modeling the Effects of Flank Wear Land and Chip Formation on Residual Stresses, CIRP Annals, 53/1, 2004, 75÷78.
- [7] Čuš, F., Balič, J.: Optimization and evolutionary methods, Edition: Modeling and optimization of metal cutting, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, 2005.
- [8] Čuš, F., Balič, J.: Optimization of cutting process by GA approach, Robot. Comput. Integ. Manuf., Vol. 19, 2003.
- [9] Dreyer, K., Hintze, W., Miiller, M.: Schneidstoffe für die Trockenbearbeitung, Werkstatt und Betrieb, 130/6, 1997, 420÷426

- [10] Eisenblätter, G.: Trockenbohren mit Vollhartmetallwerkzeugen, PhD-thesis, RWTH Aachen, 2000, Germany.
- [11] Fallböhrer, P., Rodríguez, C. A., Özel, T., Altan, T.: High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 98, 2000.
- [12] Freiler, C.: Kühlschmierstoffe – Trends im Wandel der Zeit, *Tribology and Lubrication Engineering*, Proc. of the 14. International Colloquium Tribology, Ostfildern, Germany, 2004, Jan. 13÷15/2: 797÷811.
- [13] Freitag, R.: Ökologische Aspekte beim Einsatz von Kühlschmierstoffen. Tagungsband „Schmierstoffe in der Produktionstechnik“ der Gesellschaft für Tribologie, Koblenz, 1993.
- [14] Fries, E.: Anwendung neuronaler Netzwerke zur Werkzeugverschleißerkennung beim Fräsen. Dissertation TU Berlin, 1999.
- [15] Frost, T.: Drehen mit geschlossenem Innenkühlsystem, Dissertation, TU Berlin 2008.
- [16] Giessler, J.: Kostenreduzierung bei der Trockenbearbeitung und Einsatz von Minimal-schmiertechnik (MMS), *Konstruieren und Giefcen* 26/1, 2001, 9÷11.
- [17] Grohmann, J.: Umweltschutz in der Zerspanung – Probleme und Verbesserung der ökologischen Situation im Betrieb. *Werkstattstechnik* 93 (1993) 11/12, 60÷63.
- [18] Hesterberg, S.: Technological Aspects of Dry Machining, Proc. of the International Conference on Cutting Tools and Machining Systems, Atlanta, USA, May, 2001, 21÷23.
- [19] Hörner, D.: Kühlschmierstoffe für die Minimalmengenschmierung, VDI-Bericht 1339. Düsseldorf; VDI-Verlag; 1997.
- [20] Kissler, H.: KSS-bedingte Kosten in der spanenden Metallbearbeitung als Anreiz für die Trockenbearbeitung, 12th International Colloquium Tribology 2000 – Plus, Conference Proc., 2, 2000, 901÷913.
- [21] Klocke, F., Lung, D., Eisenblätter, G.: Mindermengenschmierung – Eine Alternative zur Nassbearbeitung, VDI-Bericht 1240. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1996.
- [22] König, W., Osterhaus, K. u. a.: Trocken zerspanen – Eine ökologische Herausforderung an die Fertigungstechnik. Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1993.
- [23] Kovač, P., Milikić, D.: Rezanje metala, edicija „Univerzitetski udžbenik“, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1998.
- [24] Milfelner, M., Čuš, F.: System for monitoring and optimization of milling process with genetic algorithms, Edition: Modeling and optimization of metal cutting, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, 2005.
- [25] Milfelner, M., Čuš, F.: The System for Simulation of Cutting Process, International Scientific Conference on the Occasion of the 50th Anniversary of Founding the Faculty of Mechanical Engineering Ostrava, 2000.
- [26] Milikić, D. i dr. Osnove tehnologije obrade rezanjem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [27] Milikić, D.: Nekonvencionalni postupci obrade, edicija „Univerzitetski udžbenik“, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2002.
- [28] N.N.: Das GARANT Zerspanungshandbuch – download na sajtu: www.garant-tools.com
- [29] Schirsch, R., Thamke, D., Zielasko, W.: Wirtschaftlichkeit der Trockenbearbeitung, *Trockenbearbeitung prismatischer Teile*, VDI-Berichte, 1375, 1998., 371÷397.
- [30] Schmidt, W.: Theoretisch-physikalischer Beitrag zur Hochgeschwindigkeitszerspanung mit definierter Schneide, Dr.-Ing. Dissertation Universität Kassel, 1990
- [31] Schultz, H.: Aspects in Cutting Mechanism in High Speed Cutting, *Annals of the CIRP*, Vol. 38/1/1989, pp. 51÷54.
- [32] Schultz, H.: High Speed Turn-Milling – A New Precision Manufacturing Technology for the Machining of Rotationally Symmetrical Workpieces, *Annals of the CIRP*, Vol. 39/1/1990, pp. 107÷109.
- [33] Schulz, H.: Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – High-Speed Machining, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1996
- [34] Sukaylo, V.: Numerische Simulation der thermisch bedingten Werkstück – Abweichungen beim Drehen mit unterschiedlichen Kühlschmiermethoden, Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Magdeburg, 2003.
- [35] Tang, Y.: Theoretical modeling of cutting temperature in high-speed end milling process for die/mold machining, *Journal of University of Science and Technology Beijing*, Vol. 14, Number 1, Beijing, 2005.
- [36] Thamke, D.: Technologische und ökonomische Aspekte der Trocken- und Minimalmengenschmierung am Beispiel des Einlippentiefbohrers, PhD-thesis, University of Dortmund, Germany, 1998.
- [37] Tönshoff, H.-K., Denkena, B.: Spanen – Grundlagen, 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [38] Tönshoff, H.-K., Hollmann, F.: Hochgeschwindigkeitsspanen metallischer Werkstoffe, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2005.
- [39] Tönshoff H.K., Kals H.J.J., König W., Van Luttervelt C. A.: Development and Trends in Monitoring and Control of Machining Process. *Annals of the CIRP*, Vol. 37/2/1988.
- [40] Weinert, K., Adams, F. J., Thamke, D.: Was kostet die Kühlschmierung?, *Technica*, 44/7, 1995, 19÷23.
- [41] Weinert, K.: Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1999.
- [42] Wertheim, R., Satran, A.: New Tool Concepts for Machining Dies, Moulds and Housing, CIRP Workshop on Machining of Dies and Molds, Paris, 2001.
- [43] Župerl, U., Čuš, F.: Determination of characteristic technological and economic parameters during metal cutting, Edition: Modeling and optimization of metal cutting, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, 2005.

Autori: Prof. dr Dragoje Milikić, Prof. dr Pavel Kovač, Prof. dr Marin Gostimirović, Doc. dr Milenko Sekulić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.
E-mail: dmilikic@uns.ns.ac.yu
pkovac@uns.ns.ac.yu
maring@uns.ns.ac.yu
milenkos@uns.ns.ac.yu

Invited Paper

Himmer, T.¹, Lütke, M.², Morgenthal, L.¹, Beyer, E.^{1,2}, Bratt, C.³

REMOTE CUTTING WITH HIGH BRIGHTNESS LASERS

Abstract: Laser cutting machines with linear motor drives provide high contour accuracy and high cutting rates. Thus laser beam cutting has become increasingly competitive compared to mechanical precision cutting [1]. Since the several years, new laser beam sources are available for cutting. One of the promising solutions is cutting with fiber lasers. The fiber laser has several advantages such as absorption rate, power efficiency, fiber delivery, better focusing if compared to the CO₂ laser.

During the recent years, the system technology for laser beam cutting was upgraded at Fraunhofer IWS Dresden [1]. In particular, a precision 3D-laser cutting system with linear drives, robotic systems, scanners and several fiber lasers have been installed.

Within the frame of several research projects laser beam cutting with fiber lasers has been investigated in order to compare the cutting quality and cutting performance with the CO₂ laser. Objective of this study was to show the potential of fiber laser remote-cutting. It could be learned that singlemode fiber lasers in the kilowatt range can increase the cutting speed and can thus reduce the cutting time dramatically [2]. This paper describes the gained user experience of Fraunhofer IWS Dresden. Single mode beam sources are evaluated with respect to cutting speed and quality.

Key words: List 3-5 keywords (9 pt italic)

1. INTRODUCTION

Fiber lasers as modern versions of solid-state lasers offer the advantageous combination of high beam power with highest beam quality.

Important advantages of the fiber laser such as:

- Depth of focus, capability to focus,
- High absorption for metallic materials,
- Possibility to use fiber delivery,
- High electric efficiency,
- Compact design and mobility

are of special interest for laser cutting.

However, Fraunhofer IWS Dresden could learn that with the fiber laser the cutting rate for conventional fusion cutting can be increased (Figure 1). This is especially valid for thin sheets. As shown in the chart, it is possible to cut much faster with a 4 kW fiber laser (IPG GmbH) if compared to a 3 kW CO₂ slab laser. When the data of the DC 030 (Rofin Inc.) and the 1 kW fiber laser (IPG GmbH) is evaluated, it is apparent, that the same cutting speed can be achieved with much lower power.

The reasons are the better absorption rates for the shorter wave length and the better capability to focus for the solid state laser.

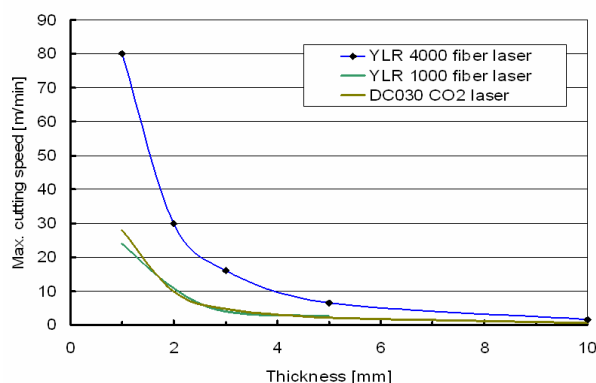


Figure 1: Cutting of stainless steel 1.4301, Cutting gas N₂, focal length 125 mm [3]

2. EXPERIMENTAL EQUIPMENT

For this investigation two single mode beam sources have been used:

Laser specification YLR 1000 SM	Laser specification YLR 3000 SM
Laser power: 1000 W	Laser power: 3000 W
Wave length: 1070 nm	Wave length: 1070 nm
Fiber diameter: 14 µm	Fiber diameter: 30 µm
Fiber length: 5 m	Fiber length: ~ 4 m
BPP < 0,34 mm x mrad	BPP < 0,4 mm x mrad
Electrical efficiency > 25%	Electrical efficiency > 20%

Table 1. Specification of the used equipment

These lasers can be combined with 2D and 3D handling systems (portals, robots) and processing optics e.g. scanners, as can be seen in **Error! Reference source not found..**



Figure 2: Remote cutting station holding a high speed scanner

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Remote cutting process

What differs from conventional cutting is that this process can be described as a “layer-wise ablation process”. That means, a singlemode fiber laser beam in CW mode is guided with high speed on the material surface. The high brilliance of the beam enables an ablation process of the material. A groove is formed which is shown in

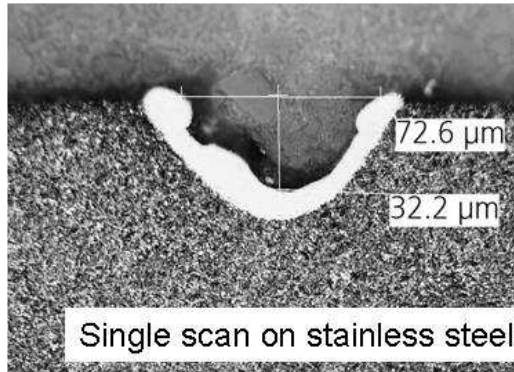


Figure 3. However, not the entire volume of the material is evaporated, due to the Gaussian beam shape. Some molten material remains in the groove, which is removed with the next scan.

As the image illustrates, a single scan cannot cut material of higher thickness. The depth for one scan is for this optical setup about 32 μm. This layer by layer ablation process is repeated until the complete sheet is cut. Thus the material thickness defines the necessary scans. The cutting kerf width depends on laser spot size and the number of scans. It can be expected in the range of 80 – 200 μm.

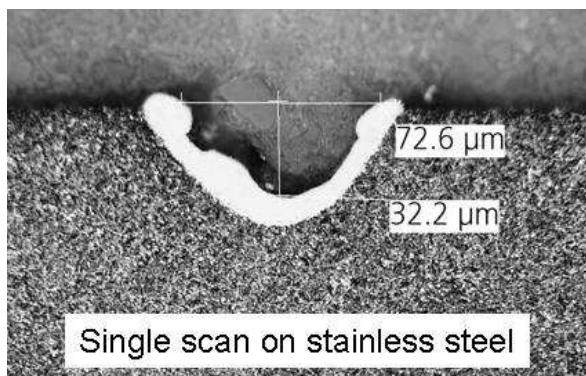


Figure 3: Cutting groove with remaining melt (white section)

4.2. Remote cutting quality

One objective of this investigation was the characterization of the cutting quality. As can be seen from Figure 4 the first cutting results show already good results. It must be mentioned that this process works without cutting gas which usually removes the molten material from the cutting kerf.

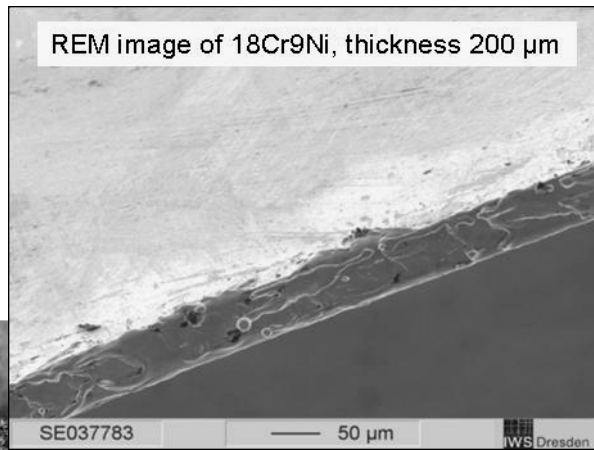


Figure 4: Cutting surface quality

A typical appearance of such a “remote cutting surface” is given with the REM- image. For these thin foils it is impossible to measure the roughness with standard methods. Therefore it was evaluated for 500 μm thick stainless steel. The values are $R_a = 6 \mu\text{m}$ and $R_z = 35 \mu\text{m}$.

The burr height was measured as well and the results are shown in Table 2. According to DIN ISO 13715:2000 such edges are defined as “sharp-edged”. Which makes this process different from conventional cutting is that the burr appears on top of the material surface.

Material thickness	Burr height
50 μm	< 5 μm
100 μm	5 – 15 μm
200 μm	10 – 20 μm

Table 2. Measured burr height for the 1 kW SM fiber laser cut

5. CONCLUSION AND OUTLOOK

Fraunhofer IWS Dresden, Germany has developed a new technique called “laser remote cutting”. The process takes advantage of new developments in solid state laser technology which has enabled the use of oscillating optics to rapidly scan a highly focussed laser beam across a work-piece at extremely high speeds.

However, this process is a complete departure from conventional laser cutting, which relies on full penetration of the laser beam through the work-piece and assist gas to eject the molten material through the cut kerf. The remote process uses the interaction of the rapidly scanned laser beam to achieve partial sublimation or evaporation of the cutting kerf and, thus, the cut area is continuously ablated until it is completely separated.

One major advantage of this technique is the high processing speed, which cannot be matched even by the latest high speed linear drive cutting machines due to their inherent mass inertia issues.

With scanning optics it is possible to cut a hole matrix (100 circles with a diameter of 6.5 mm) from a 100 μm thick stainless steel sheet in less than 2 seconds. Compared to conventional machines with linear drives, that means a gain in efficiency of nearly 1000%. For sheets, which are 50 μm thick, the cut time is reduced to just 1.2 seconds.

As Fraunhofer IWS Dresden continues to develop this technology further, this revolutionary new remote cutting technique could be applied to a wide range of industrial applications from cutting of automotive gaskets to electrical

sheets. As the maximum achievable thickness increases (Figure 5), the application areas will open up further, for example cutting of steel filter screens and mesh materials.

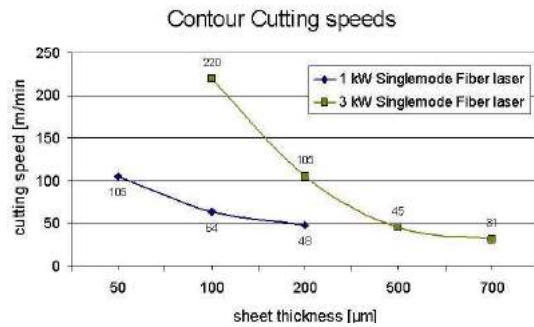


Figure 5: Achieved cutting speeds on the contour for two different beam sources

The laser remote technique can easily cope with complicated contours. The possible material spectrum is wide and the heat affected zone is lower than with conventional

cutting, due to the higher cutting speed. Compared to conventional punching, the advantages of the remote technique are clearly lower costs for the tool making and the finish-grind and the lower noise level.

6. REFERENCES

- [1] Morgenthal, L., *Laserschneiden von Elektroblech*, Bericht IWS Dresden, 1996 Jahresbericht Fraunhofer IWS Dresden, 2006 and 2007.
- [2] Himmer T., Lütke M., Morgenthal, L., *Cutting with fiber lasers*, Internationaler Fraunhofer-Workshop "Faserlaser", Fraunhofer IWS Dresden, November 2007.

Authors: **Thomas Himmer**, **Lothar Morgenthal**, Fraunhofer IWS, Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, Germany. **Matthias Lütke**, **Eckhard Beyer**, University of Technology Dresden, 01062 Dresden, Germany. **Craig Bratt**, Fraunhofer Center for Coatings and Laser Applications, 46025 Port Street, Plymouth, 48170 MI

E-mail: thomas.himmer@iws.fraunhofer.de

Baralić, J., Radonjić, S., Nedić, B.

UTICAJ HABANJA CEVI ZA USMERAVANJE ABRAZIVNOG VODENOG MLAZA NA KVALITET OBRAĐENE POVRŠINE

Rezime: Habanje cevi za usmeravanje mlaza je karakteristično za proces obrade abrazivnim vodenim mlazom. 85% cevi za usmeravanje mlaza se odbacuju iz dalje upotrebe jer su pohabane. Takođe, vreme rezanja sa jednom istom cevju za usmeravanje mlaza znatno utiče na geometriju i kvalitet obrađene površine. Uzimajući sve ovo u obzir, habanje cevi za usmeravanje mlaza je tema ovog rada. Praćena je pomena izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza i kvaliteta obrađene površine u zavisnosti od vremena rezanja.

Ključne reči: cev za usmeravanje mlaza, habanje, kvalitet obrađene površine.

INFLUENCE OF FOCUSING TUBE WEAR ON THE CUT-SURFACE QUALITY

Abstract: The wear of the focusing tube is a very important feature of the abrasive water jet machining. Of all rejected focusing nozzles, 85% are worn. Also, the age of focusing nozzle influences the cut geometry and quality of machined surface. Considering all that, wear of focusing nozzle is subject of this paper. Focusing nozzle outlet diameter was measured and its influence on the surface quality.

Key words: focusing nozzle, wear, surface quality.

1. UVOD

Kontinualni razvoj obrade vodenim mlazom visokog pritiska počinje u prvoj dekadi dvadesetog veka.

U SAD ova vrsta obrade je prvo korišćena u rudnicima na iskopavanju zlata. Otprilike u isto vreme je započeto korišćenje ove metode u Rusiji, takođe u rudnicima na iskopavanju uglja.

Početkom 60-tih godina prošlog veka, O.Imanaka sa Univerziteta u Tokiju je započeo primenu čiste vode u industrijskoj obradi. Ideja je zasnovana na oštećenjima koja nastaju na trupu aviona, a koja nastaju kao posledica udara kapi kiše.

Krajem 60-tih godina prošlog veka R. Franz sa Univerziteta u Mičigenu, započeo je ispitivanje sečenja drveta vodenim mlazom velike brzine. Ideju je dobio kada je posmatrao način detektovanja curenja pare.

Sve ovo je dovelo do prve komercijalne upotrebe vodenog mlaza. Proizvođač prve mašine za obradu vodenim mlazom je bila Mc Cartney Manufacturing Company i instalirana je u Alto Boxboard 1972.godine. Od tada se vodeni mlaz visokog pritiska sve više koristi za obradu mekih materijala kao što su drvo i koža. Čistim vodenim mlazom visokog pritiska su se mogli obraditi materijali kao što su granit i kamen koji su jako kruti, ali i žilavi materijali kao što je titanijum.

Dalja istraživanja su dovela do otkrića abrazivnog vodenog mlaza 1980.godine i njegove prve komercijalne primene 1983.godine. Dodatkom abraziva u vodeni mlaz znatno se proširio spektar materijala koji se mogu na ovaj način obrađivati. Takođe je omogućena i veća brzina obrade, veća tačnost obrade i bolji kvalitet obrađene površine.

Obrada abrazivnim vodenim mlazom pripada grupi nekonvencionalnih postupaka obrade, i već duže vreme se koristi u industriji. Najčešće operacije koje se ovom vrstom obrade mogu izvoditi su: sečenje, poliranje površina, čišćenje površina itd. U svim slučajevima mehanizam obrade se zasniva na eroziji. Velika prednost ovog postupka obrade je

činjenica da u zoni obrade ne dolazi do značajnog porasta temperature.

Obrada abrazivnim vodenim mlazom je naročito pogodna za obradu krutih materijala (staklo, keramika, kamen itd.) i kompozitnih materijala. Na slici 1.a) je prikazana jedna instalacija za obradu abrazivnim vodenim mlazom, a na slici 1.b) rezna glava za obradu abrazivnim vodenim mlazom.

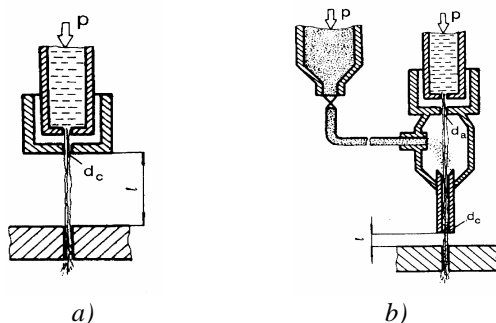


Slika 1.a) Instalacija za obradu abrazivnim vodenim mlazom



Slika 1.b) Rezna glava za obradu abrazivnim vodenim mlazom

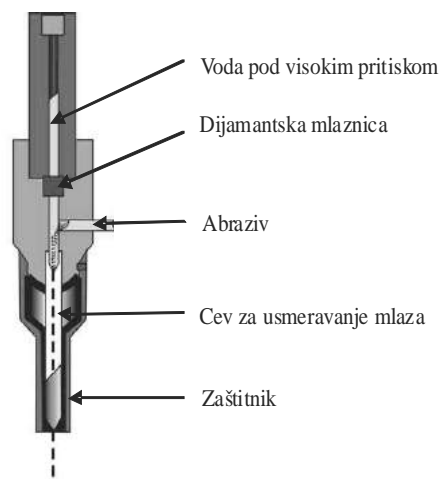
Savremene instalacije za obradu u abrazivnim vodenim mlazom rade sa pritiskom vode i preko 4000 bar, pri čemu vodeni mlaz dostiže brzine i do 900 m/s. Šematski prikaz obrade vodenim mlazom bez abraziva dat je na slici 2.a), a abrazivne obrade vodenim mlazom na slici 2.b).



Slika 2. Šematski prikaz obrade vodenim mlazom bez abraziva a) i sa abrazivom b)

2. CEV ZA USMERAVANJE MLAZA

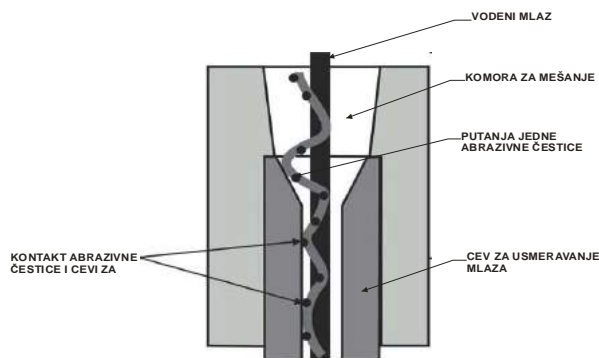
Na slici 3. je prikazan izvršni deo jedne instalacije za obradu abrazivnim vodenim mlazom. Taj izvršni deo se češće naziva rezna glava ili mlaznica.



Slika 3. Rezna glava (mlaznica), šematski prikaz

Voda koja dolazi u reznu glavu (mlaznicu) je najčešće pod pritiskom od 1300÷4000 bar i prolazi kroz dijamantsku mlaznicu. Prečnik otvora dijamantske mlaznice se kreće u granicama od 0.18÷0.4mm. Zbog ovako malog prečnika mlaznice vodeni mlaz dostiže veoma velike brzine, čak i do 900m/s. Ovaj mlaz dalje stiže u komoru za mešanje koja je najčešće prečnika 6mm i dužine 10mm. U ovoj komori se usled Venturijevog efekta stvara vakuum koji je dovoljan da usisa određenu količinu abraziva. Količina abraziva koji se na ovaj način usisa zavisi od prečnika abrazivne mlaznice. Vodeni mlaz ubrzava čestice abraziva i zajedno sa njima prolazi kroz dugačku cilindričnu cev za usmeravanje mlaza. Mešavina vode i abrazivnih čestica izlazi iz cevi za usmeravanje kao koherentni mlaz i vrši obradu. Na slici 4. je šematski prikazan ovaj proces.

Cev za usmeravanje mlaza je najčešće napravljena od tungsten karbida. Njen unutrašnji prečnik se kreće od 0.8 do 1.6 mm, a dužina od 50 do 80 mm. Tungsten karbid se koristi zbog njegove velike otpornosti na abrazivno habanje.



Slika 4. Šematski prikaz procesa mešanja

3. HABANJE CEVI ZA USMERAVANJE MLAZA

Pojam habanja cevi za usmeravanje mlaza podrazumeva više pojava kao što su:

- Gubitak mase
- Stvaranje karakterističnih kanala duž unutrašnjeg otvora
- Promena geometrije izlaznog otvora
- Povećanje izlaznog prečnika.

Početno habanje cevi za usmeravanje mlaza se najlakše identifikuje praćenjem gubitka mase cevi. Cev se meri pre početka obrade i u određenim intervalima tokom obrade. Gubitak mase je posledica erozionog habanja unutrašnjeg zida cevi za usmeravanje mlaza. Usled erozionog habanja dolazi i do pojave stvaranja karakterističnih kanala duž unutrašnjeg otvora cevi. Tokom vremena, dolazi i do promene geometrije izlaznog otvora cevi za usmeravanje mlaza, odnosno do pojave ekscentričnosti otvora. Ova ekscentričnost se definiše odnosom najmanje i najveće dimenzije na izlaznom otvoru cevi.

Najčešći metod za praćenje stanja pohabanosti cevi za usmeravanje mlaza je praćenje promene izlaznog prečnika. Više autora je došlo do zaključka da je zavisnost izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza od vremena linearna.

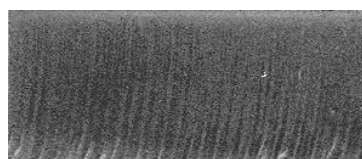
Na povećanje izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza utiču različiti parametri procesa obrade, kao što su radni pritisak, veličina abrazivnih zrna, dužina cevi za usmeravanje mlaza i td.

4. KARAKTERISTIKE POVRŠINE OBRADENE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM

Osnovne karakteristike površine obrađene abrazivnim vodenim mlazom su :

- širina reza
- koničnost reza i
- hrapavost obrađene površine.

Sve ove karakteristike ukazuju na kvalitet obrađene površine. U ovom radu, najveća pažnja je posvećena hrapavosti obrađene površine, odnosno uticaju stanja cevi za usmeravanje mlaza na kvalitet obrađene površine. Karakterističan izgled površine obrađene abrazivnim vodenim mlazom prikazan je na slici 5.



Slika 5. Izgled površine obrađene abrazivnim vodenim mlazom

5. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U ovom radu je ispitivano habanje cevi za usmeravanje mlaza i njegov uticaj na kvalitet obrađene površine. Tip cevi za usmeravanje mlaza koja je ispitivana je ROCTEC®100. Tokom ispitivanja, cev za usmeravanje mlaza je bila izložena istim uticajima. Radni pritisak vode je bio 3500bar, protok abraziva 306g/min a abraziv koji je korišćen je garnet mash#80. Prema podacima proizvođača, radni vek ovakvih cevi je oko 120 časova.

Kao osnovni parametar za ocenu habanja cevi za usmeravanje mlaza, uzet je prečnik izlaznog otvora cevi. U odgovarajućim vremenskim intervalima je vršeno merenje ovog prečnika

5.1. Uslovi ispitivanja

Ispitivanje habanja cevi za usmeravanje mlaza je u ovom radu vršeno do polovine radnog veka cevi. Tip cevi koja je ispitivana je ROCTEC®100. Vrednosti parametara procesa obrade kojima je cev za usmeravanje mlaza bila izložena tokom ispitivanja su bili konstantni:

- radni pritisak $p = 3500\text{bar}$
- protok abraziva $Q_a = 306\text{ g/min}$
- vrsta abraziva – garnet, MASH#80

Prečnik izlaznog otvora cevi za usmeravanje mlaza je izmeren pre početka obrade na novoj cevi. Potom je taj isti prečnik meren u vremenskim intervalima od 10 do 15 časova.

U istim vremenskim intervalima kada je vršeno merenje izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza, vršeno je i sečenje uzoraka od različitih materijala da bi se pratio uticaj habanja cevi za usmeravanje mlaza na hrapavost obrađene površine. Materijali uzoraka su:

1. Č 4580: $R_m=630\text{ MPa}$; $R_{p0.2}=205\text{ Mpa}$
2. mermer, pritiska čvrstoća u suvom stanju $\beta_{\max}=109\text{ Mpa}$, gustina 2.71 g/cm^3
3. klirit, polimetilmetakrilat PMMA, gustina 1.150 do 1.190 kg/m^3

Svi uzorci su sečeni istom brzinom rezanja $V=120\text{mm/min}$. Kao osnovni parametar za ocenu hrapavosti uzet je parametar R_a . Parametar R_a je meren na pet mesta po dužini uzorka i na tri mesta po visini uzorka, kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Merna mesta po obrađenoj površini uzorka

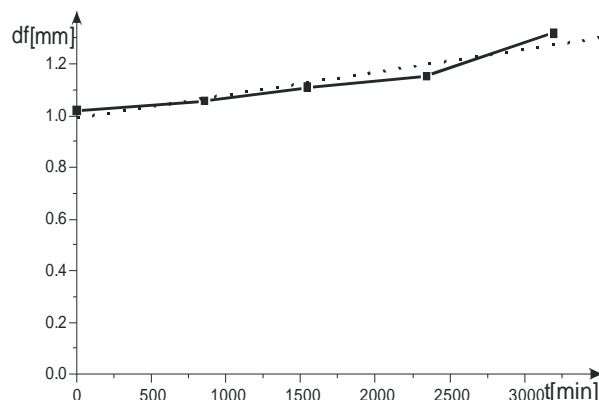
5.2. Rezultati ispitivanja

U sledećoj tabeli su date vrednosti izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza u funkciji vremena rezanja.

t[min]	0	855	1545	2345	3195
$d_f[\text{mm}]$	1.02	1.055	1.109	1.152	1.318

Tabela 1. Vrednosti izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza, d_f u funkciji vremena rezanja

Na osnovu rezultata iz tabele nacrtan je dijagram (slika 7) koji pokazuje zavisnost habanja cevi za usmeravanje mlaza od vremena rezanja.



Slika 7. Promena izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza d_f , u funkciji vremena rezanja

Sa slike se vidi da sa rastom vremena rezanja dolazi do porasta izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza. Kako je već pomenuto, više autora tvrdi da je ova zavisnost linearna, pa je na slici isprekidanom linijom prikazana linearna funkcija koja metodom najmanjih kvadrata najbolje aproksimira zavisnost koja je dobijena ispitivanjem.

U tabeli 2, 3 i 4 date su vrednosti R_a za čelik Č4580, mermer i klirit u funkciji vremena rezanja.

t[min]		1	2	3	4	5	$R_{a_{gr}}$
0	1	2.59	3.17	2.99	2.49	2.71	2.79
	2	2.27	2.76	2.97	2.38	2.70	2.616
	3	2.99	2.84	2.36	2.95	3.18	2.864
855	1	3.31	2.95	3.47	2.99	3.19	3.182
	2	3.25	3.32	2.98	3.07	3.06	3.136
	3	3.11	2.29	3.45	2.51	2.91	2.854
1545	1	2.83	3.23	3.94	2.53	3.28	3.162
	2	3.14	3.61	2.98	3.57	3.34	3.328
	3	2.58	3.62	2.67	2.98	3.18	3.006
2345	1	2.90	3.57	3.52	4.19	3.21	3.478
	2	3.08	3.24	2.56	3.47	3.20	3.11
	3	2.94	3.04	2.49	2.65	4.7	3.164
3195	1	4.59	5.29	2.98	3.09	3.02	3.794
	2	2.68	2.89	3.68	3.12	2.76	3.026
	3	3.40	3.17	4.59	4.19	3.69	3.808

Tabela 2. Vrednosti R_a u funkciji vremena rezanja za Č4580

t[min]		1	2	3	4	5	$R_{a_{gr}}$
0	1	3.18	2.73	3.54	3.27	2.67	3.078
	2	3.36	3.27	2.62	3.52	3.29	3.212
	3	3.58	4.65	3.99	4.68	4.57	4.294
855	1	3.20	4.31	3.29	3.32	2.93	3.41
	2	2.76	3.82	2.77	4.15	3.53	3.406
	3	4.20	3.11	2.99	3.48	3.63	3.482
1545	1	4.56	3.98	4.83	4.23	4.70	4.46
	2	3.54	3.24	3.60	2.51	2.74	3.126
	3	3.82	3.98	2.54	3.36	2.71	3.282
2345	1	5.57	4.15	4.23	4.41	4.24	4.52
	2	3.41	4.07	2.92	3.80	3.19	3.478
	3	3.76	4.56	3.72	3.37	4.19	3.92
3195	1	4.24	4.63	4.78	3.56	5.19	4.48
	2	4.41	3.23	3.01	3.26	3.51	3.484
	3	3.76	3.24	3.23	3.49	3.57	3.458

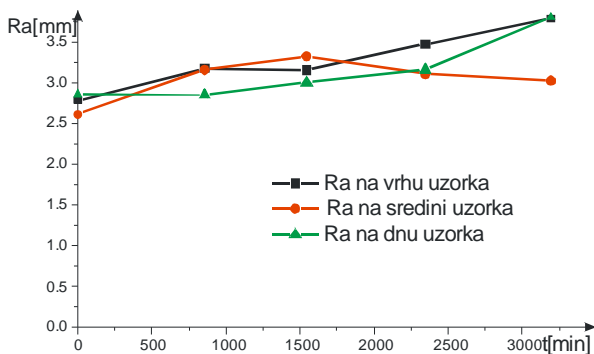
Tabela 3. Vrednosti R_a u funkciji vremena rezanja za mermer

t[min]		1	2	3	4	5	Ra _{av}
0	1	2.89	2.49	3.09	3.37	2.76	2.92
	2	3.12	3.74	4.15	4.32	3.44	3.754
	3	3.41	3.46	3.83	3.80	3.32	3.564
855	1	3.73	3.69	3.96	4.29	3.91	3.916
	2	3.29	2.40	3.18	4.44	4.54	3.57
	3	3.63	3.78	4.03	5.47	3.81	4.144
1545	1	3.22	5.04	3.85	4.05	3.70	3.972
	2	3.36	3.65	4.81	3.95	3.79	3.912
	3	4.18	4.15	3.24	4.56	3.91	4.008
2345	1	4.32	3.67	4.31	3.56	4.76	4.124
	2	4.54	3.76	3.97	3.84	3.72	3.966
	3	4.64	4.54	3.98	3.94	4.38	4.296
3195	1	3.55	4.39	3.84	3.78	3.82	3.876
	2	3.85	3.49	4.39	5.00	3.71	4.008
	3	3.97	3.47	3.30	4.34	5.83	4.182

Tabela 4. Vrednosti Ra u funkciji vremena rezanja za klirit

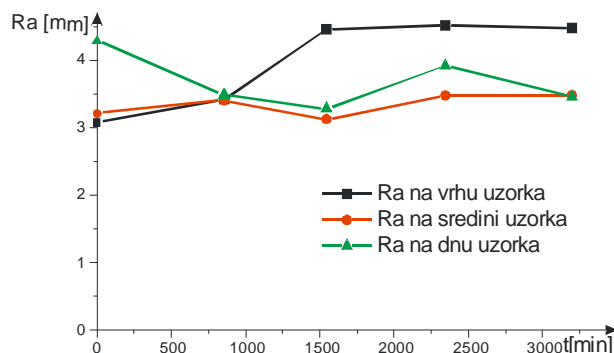
Hrapavost je merena na uređaju za merenje hrapavosti PERTHOMETER S5P.

Na slici 8. je prikazana promena hrapavosti, odnosno parametra Ra u funkciji vremena rezanja za čelik Č4580. Ova promena je praćena na tri različita mesta po visini obrađene površine uzorka.



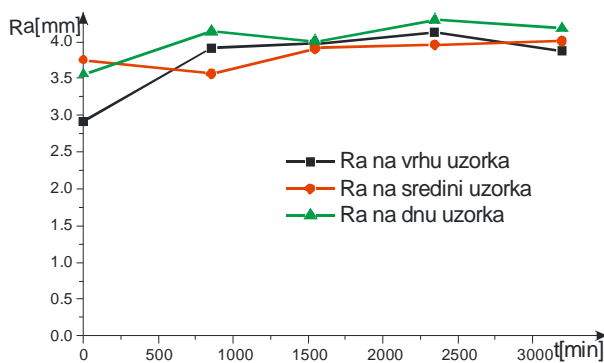
Slika 8. Promena Ra u funkciji vremena rezanja za Č4580

Na slikama 10 i 11 su takođe prikazane promene parametra hrapavosti Ra u funkciji vremena rezanja, na tri različita mesta po visini uzorka, ali za mermer i klirit.



Slika 9. Promena Ra u funkciji vremena rezanja za mermer

Na svim dijagramima se uočava porast parametra hrapavosti Ra sa vremenom rezanja. To jasno ukazuje na činjenicu da je hrapavost obrađene površine povezana sa procesom habanja cevi za usmeravanje mlaza.



Slika 10. Promena Ra u funkciji vremena rezanja za klirit

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu dati su rezultati istraživanja, u proizvodnim uslovima, uticaja vremena rezanja na promenu izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza i na kvalitet obrađene površine.

Konstatovano je da tokom vremena rezanja dolazi do povećanja izlaznog prečnika cevi za usmeravanje mlaza. Zavisnost povećanja izlaznog prečnika od vremena rezanja je skoro linearna. Da bi se ova zavisnost preciznije definisala potrebno je vršiti još eksperimenata.

Takođe je očigledan uticaj vremena rezanja na kvalitet obrađene površine. Što je duže vreme koje je cev provela u radu, veća je i hrapavost obrađene površine za iste vrednosti radnih parametara. Ova zavisnost je očigledna za čelik i klirit, dok kod mermera postoje znatna odstupanja. Takođe se uočava pravilnost da je hrapavost na dnu uzorka veća od hrapavosti na vrhu uzorka.

Kod krutih matreijala kao što je mermer, na dnu uzorka se javlja jako izražena valovitost, što znatno otežava merenja hrapavosti. Ova pojava može biti objašnjenje zašto rezultati ispitivanja mermera odstupaju od uočenih pravilnosti. Da bi se ova tvrdnja proverila i objasnila, potrebna su detaljnija ispitivanja.

7. LITERATURA

- [1] Arola D., Ramulu M.: *Material removal in abrasive waterjet machining of metals: Surface integrity and texture*, Wear, Vol. 210, pp. 50-58, 1997
- [2] Hunt D.C., Burnham C.D., Kim T.J., *Surface Finish Characterization in Machining Advanced Ceramics by Abrasive Waterjet*, University of Rhode Island, Kingston, 2003.
- [3] Hashish M.: *A modelling study of metal cutting with abrasive waterjets*, J. Eng. Mater. Technol., Vol. 106, pp. 88-100, 1984
- [4] KENNAMETAL, katalozi proizvođača
- [5] Lemma E., Chen L., Siores E. and Wang J.: *Optimising the AWJ cutting process of ductile materials using nozzle oscillation technique*, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 42/7, pp. 781-789, 2002
- [6] Momber A., W., Kovacevic R., *Principles of Abrasive Waterjet Machining*, Springer, London, 1998.

Autori: Baralić, J., Radonjić, S., Nedić, B.

Beju, L. D.

HOLDER SYSTEMS FOR CUTTING TOOLS – A GENERALIZED APPROACH

Abstract: The toolholder system represents a very important part of the cutting tool that assures the orientation in the specific device and is responsible for the machining precision. The paper presents a generalization of the toolholder system. By particularization, all types of toolholders can be obtained. The precision analysis is realized with a spatial dimensional chain that considers the linear and the spatial errors. A specific software was realized in order to improve the computing process.

Key words: toolholder, tools, generalized system, precision analysis.

1. INTRODUCTION

The cutting tool analysis must take into account some fundamental aspects: machining possibilities, precision, changeover and setup time, productivity, the level of standardization and modularization, the potential tool management, the level of flexible machining, the type of measuring cuts etc.

The design stage is the period over which all the problems presented above are analyzed in order to optimize the shape of the cutting tool. A very important aspect is the toolholder system with a role in orientation, fixation and coaching. The toolholder system must present the following condition:

- high resistance and stiffness;
- a simple shape, easy to be machined;
- compact structure;
- reduced changeover and set-up times;
- high precision.

The evolution towards quick change toolholders was the general aim for increasing productivity and reducing machining cycle.

Previous papers [2] relieved the importance of the tool's shank concerning the high precision of the positioning and repositioning of the tools and also the evolution of toolholders used to the new modern machine-tools and machine systems.

Another approach was the research of new modular toolholders for reducing the tools change and introducing the robots for CNC machines provided with tool magazine.

The evolution towards quick change toolholders was the general aim for increasing productivity and reducing machining cycle.

2. THE GENERALIZED CUTTING TOOL

The generalized cutting tool is an abstract model that was created in order to obtain (by particularization) all the known tools, as well as new forms that have not been designed until now. It consists of a milling tool (fig.1) with a number of rows, on every row being a different numbers of edges. The generalized tool has a main movement (tool rotation) and a feed movement (on axial and/or radial direction).

When the main movement is null, the cutting tool does not rotate (turning tools etc.). Giving particular values (for the main movement, feed movements, row numbers and edge numbers) all particular tools can be obtained. Our aim is to improve the generalized model of the cutting tool with the model of the cutting tool clamping.

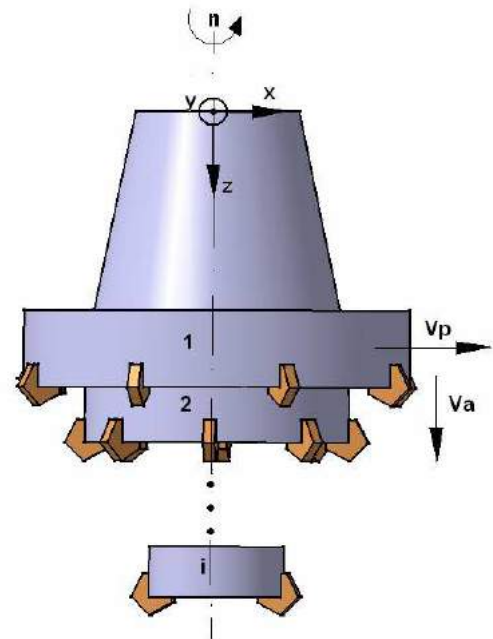


Figure 1. The generalized cutting tool

3. THE GENERALIZED TOOLHOLDER SYSTEM

In order to obtain new toolholders forms and analyze the precision of orientation, fixation and coaching, a generalized model of the toolholder system was elaborated (fig.2).

Three conical shapes formed the model (the two exterior shapes allow the external orientation and the interior one can be used for the internal orientation).

The transversal sections of the generalized tool holder system are limited by two polygonal shapes. Each of them is the sum of a number of arcs (fig.2). Every part of the conical shape (in relationship with an arc) can be a potential surface of orientation in a toolholder system. When the radius of an arc is infinite, the form of the orientation surface becomes plane. When the length of one of the two cones is zero, the toolholder system is realized on single type of shape (cylinder, taper, polygonal). The clamping system with pin or ball blocking joint can be described with the help of the two external lengths. When the value of the inclination angle is null, the orientation surfaces are parallel to the toolholder axis (plane surfaces or cylindrical surface).

The parameters that characterize the generalized toolholder system are:

- L_{ext1} is the length of the first polygonal surface;

- n – number of arcs of the first polygonal surface;
- R_{ext1i} ($i=1 \dots n$) – radius of an exterior arc for the first polygonal surface (when the radius becomes infinite, the arc becomes a line);
- φ_{ext1i} ($i=1 \dots n$) – central angle of an exterior arc for the first polygonal surface;
- δ_{ext1i} – inclination angle of an exterior shape (which is in relationship with an arc) for the first polygonal surface;
- L_{ext2} is the length of the second polygonal surface;
- p – number of arcs of the second polygonal surface;
- R_{ext2j} ($j=1 \dots p$) – radius of an exterior arc for the second polygonal surface;
- φ_{ext2j} ($j=1 \dots p$) – central angle of an exterior arc for the second polygonal surface;
- δ_{ext2j} – inclination angle of an exterior shape (which is in relationship with an arc) for the second polygonal surface;
- L_{int} – length of the interior polygonal surface;
- q – number of arcs of the interior polygonal surface;
- R_{intk} ($k=1 \dots p$) – radius of an interior arc for the interior polygonal surface;
- φ_{intk} ($k=1 \dots p$) – central angle of an interior arc for the interior polygonal surface;
- δ_{intk} – inclination angle of an interior shape (which is in relationship with an arc) for the interior polygonal surface;

By particularization, all the possible forms of toolholders system can be obtained. Table 1 illustrates the way in which the most important toolholder systems can be obtained by particularization.

In the case in which the clamping system is an exterior one and is used for rotational cutting tools and small forces, the orientation is realized by a cylinder shank which takes four degree of mobility and the fixation is realized by friction and blocks the last two mobility degree. The clamping devices which respect these principles are the jolt ramming, the spring collet and the self centered chuck. This kind of toolholder is obtained from the generalized model considering a single exterior part (length) with no inclination angle. A single exterior shape generated the normal profile.

When the cutting forces are a little greater (also for exterior toolholders and rotational cutting tools), in order to assure the blocking process, specific devices with pin or ball blocking joint are used. These devices are described using the both length of the generalized model. The first one allows the description of the cylindrical shank and the second length provides the description of the specific shapes (inclination plane surfaces, holes) which characterized the devices presented before.

In the case of larger diameters of the rotational cutting tools, the orientation shape is conical, situation in which five degrees of mobility are blocked. In the drills situation, the cutting force presses the cutting tool to the clamping system. A favorable inclination angle ($6^{\circ}30'$ – Morse taper) allows a good fixation and the last mobility degree is blocked. At milling, the tendency of the cutting tool forces is to extract the tool from the clamping system. In order to avoid this problem, the clamping systems have a screw which blocks the last mobility degree. The taper has different inclination degrees corresponding to Morse or ISO taper. This kind of toolholder is obtained from the generalized model considering a single exterior part (length) with inclination angle. A single exterior shape generated the normal profile.

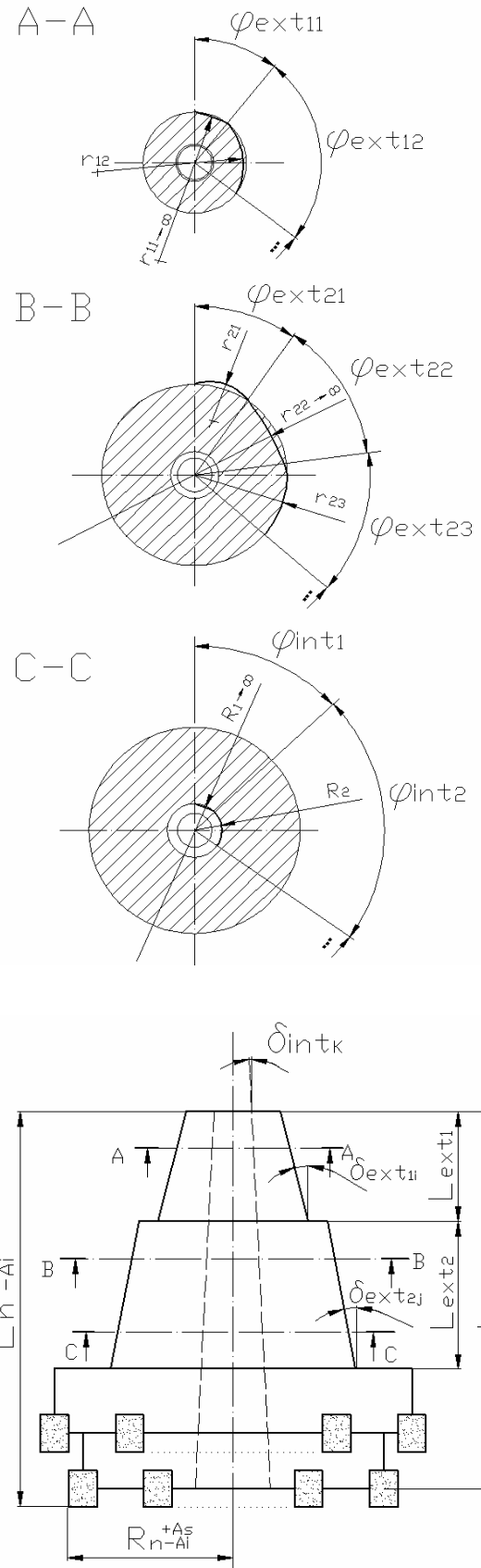


Figure 2. The generalized clamping system




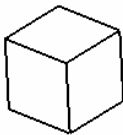
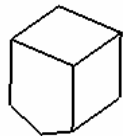
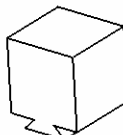

Orientation and positioning shapes		Mobility degrees blocked by the shapes	Clamping principles	Mobility degrees blocked by the clamping system	Parameters values obtained by particularization from the generalized toolholder system model
Cylinder shank		4	friction (jolt ramming, spring collet, self centered chuck)	2	$L_1 \neq 0; n_1=1; r_{11}=r; \delta_1=0$ $L_2=0$
			pin (ball) blocking joint		$L_1 \neq 0; n_1=1; r_{11}=r; \delta_1=0$ $L_2 \neq 0; n_2=2; r_{11}=r; r_{12} \rightarrow \infty; \delta_2 \neq 0$
Taper		5	friction (self holding taper)	1	$L_1 \neq 0; n_1=1; r_{11}=f(\delta_1); \delta_1 \neq 0$ $L_2=0$
			clamping system with screw		
Polygonal taper		5	Capto System (Sandvik Company)	1	$L_1 \neq 0; n_1=6;$ $r_{11}=r_{13}=r_{15}=r_m;$ $r_{12}=r_{14}=r_{16}=r_M$ $\delta_1 \neq 0$ $L_2=0$
Polygonal shank		4	clamping systems with screws	2	$L_1 \neq 0; n_1=4;$ $r_{11} \dots r_{14} \rightarrow \infty; \delta_1=0$ $L_2=0$
		5		1	$L_1 \neq 0; n_1=4;$ $r_{11} \dots r_{14} \rightarrow \infty; \delta_1=0$ $L_2=0$
		5		1	$L_1 \neq 0; n_1=4;$ $r_{11} \dots r_{14} \rightarrow \infty; \delta_1=0$ $L_2=0$
Internal cylinder shank		4	friction	2	$L_1 \neq 0; n_1=1; r_{11}=r; \delta_1=0$ $L_2=0$
			parallel key		$L_1 \neq 0; n_1=2; r_{11}=r; r_{12}=r+h; \delta_1=0$ $L_2=0$
			frontal key		$L_1 \neq 0; n_1=4; r_{11}=r_{13}=r; r_{12}=r_{14} \rightarrow \infty; \delta_1=0$ $L_2 \neq 0; n_2=1; r_{21}=r; \delta_2=0$
...					

Table 1. Toolholder systems obtained by particularization from the generalized model of the clamping systems

The turning tools (generally tools which don't have rotational movement) are designed until this moment with clamping systems that present polygonal profile of the normal section of the shank and plane lateral surfaces. The classic system (square or rectangle profile of the normal section) blocks four mobility degrees. The other two mobility degrees are blocked by clamping systems with screws. Another technical solution (Tache, Popescu, 1976) of this shank type has a polygonal profile of the normal section. This profile allows the blocking of five mobility degrees and implicit a better precision. The sixth mobility degree is taken by the clamping system, generally with screws

A new, modern and with a high generally level is realized by Sandvik Company (Capto System). This system can be used both on the turning centers and on the milling and

boring machining centers. The polygonal taper (rounded triangle in the normal section) blocks five mobility degrees and assures a high level of precision. Six sections (arcs) can describe the profile (starting from the generalized clamping model). Three arcs have a smaller radius and the other three have a bigger radius. The single section (one length in the model) has an inclination characteristic to the conical tapers.

The tools with internal shank present generally a cylinder profile (easy to manufacture). This kind of orientation shape blocks four mobility degrees. The other two degrees are blocked by the clamping system. For small cutting tools and small cutting forces the clamping by friction is enough. For greater values of the cutting force, the clamping systems have parallel or frontal key.

4. PRECISION ANALYSIS

When tool precision is analyzed, it's important to know the type of machining, the machine performances and the way in which the cutting tool is regulated. At this time, the tool regulating can be realized:

- By experimental test chips – on classic machines;
- With pre-regulating devices – on classic machines and also on machines with tool storing possibilities;
- The machining precision is obtained because of the precision of the tool and clamping tool device – machines with tool storing possibilities;

The precision level is specific in every situation presented above.

In the generalized model of the cutting tool, the regulation parameters are defined for every cutting edge in the following way (fig.3):

- L is the axial regulation parameter, established between the orientation surfaces of the tool and the

cutting edge

- Q - the radial regulation parameter, established between the tool axis (second orientation surface) and the cutting edge. For the cutting tools with prismatic tool-holder, this parameter can be decomposed into components on z and y directions (Marinica, Badescu, 1995).

The geometrical precision of the tool depends on the precision of each of the tool components. These are:

- Toolholder system precision - the related system is $Ox_4y_4z_4$
- Tool body precision - the related system is $Ox_3y_3z_3$
- Intermediate elements which assure a higher resistance of the tool body and represent a potential for modularity- the related system is $Ox_2y_2z_2$
- Carbide inserts precision. - the related system is $Ox_1y_1z_1$

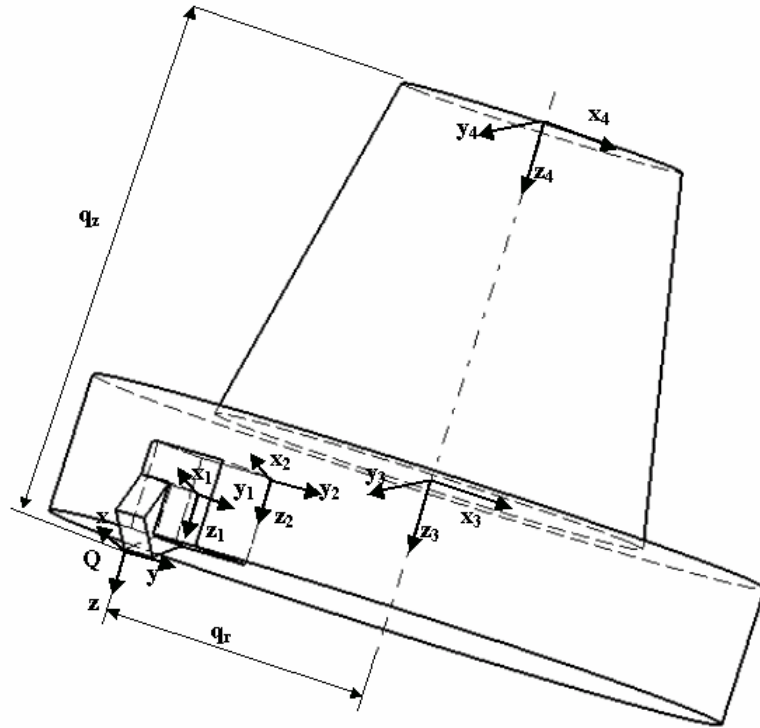


Figure 3. Coordinate systems in the generalized cutting tool model (used for precision analysis)

Tool holder precision is given by the precision of the parameters, which characterize the generalized toolholder model (L , R_i , ϕ_i , δ). The axial precision is given by the precision of the tool orientation surface length (L_{ext1} and/or L_{ext2} or L_{int} parameters).

The radial precision is given by the precision of the following parameters:

- R_{ext1i} ($i=1 \dots n$) – radius of an exterior or interior arc (when the radius is infinite, the surface is plane);
- ϕ_{ext1i} ($i=1 \dots n$) - central angle of an exterior or interior arc;
- δ_{ext1i} – inclination angle of an exterior or interior shape.

A correct computing of the tool precision considers a spatial dimensional chain. Every tool component is associated with a coordinate system and the computing process consists of an iterative process.

The position of a $Q(q_{kx}, q_{ky}, q_{kz})$ point described in a generic $Ox_ky_kz_k$ system, becomes in another $Ox_jy_jz_j$ system:

$$\begin{pmatrix} q_{jx} \\ q_{jy} \\ q_{jz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{j,k} \\ y_{j,k} \\ z_{j,k} \end{pmatrix} + (M_i) * \begin{pmatrix} q_{kx} \\ q_{ky} \\ q_{kz} \end{pmatrix} \quad (1)$$

where:

- x_{jk}, y_{jk}, z_{jk} are the coordinates of $Ox_ky_kz_k$ system in the new $Ox_jy_jz_j$ system.
- M_i - rotational matrix that described the rotation of $Ox_ky_kz_k$ system in the new $Ox_jy_jz_j$ and has the following expression:

$$M_i = \begin{vmatrix} \cos G \cos H & -\sin H & -\sin G \cos H \\ \cos G \sin H \cos L - \sin G \sin L & \cos H \cos L & -\sin G \sin H \cos L - \cos G \sin L \\ \cos G \sin H \sin L + \sin G \cos L & \cos H \sin L & -\sin G \sin H \sin L + \cos G \cos L \end{vmatrix} \quad (2)$$

- G, H and L are Euler's angles and are defined in the following way:

- G is the plane movement angle obtained by rotation around y_k axis;
- H- elevation angle obtained by rotation around z_k axis;
- L – pivotation angle obtained by rotation around x_k axis.

The cutting point position is described first in the insert coordination $Ox_1y_1z_1$. Giving to j parameter the values 2, 3, 4 and to the k parameter the values 1, 2, 3, the iterative process will offer the values of the final dimensions q_{4x} , q_{4y} , q_{4z} .

The computing will be done for the maximal values (nominal values plus superior deviation) and also for minimal values (nominal values plus inferior deviation). The method can take into account both the linear and also the angular deviations. Specific software in Turbo Pascal Language was realized in order to improve the computing process.

5. CONCLUSION

The model represents a generalization of the toolholder system. The particularization of the model allows the obtaining of all types of toolholders. The precision analysis is realized with a spatial dimensional chain that consider the linear and the spatial errors. Specific software was realized in order to improve the computing process.

6. REFERENCES

- [1] Beju, L.D., Brindasu P.D., Generalized System of the Cutting Tool Clamping, Proceedings of the 7th International Research/Expert Conference “trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2003, Lioret de Mar, Barcelona, Spain, CD-ROM, 2003
- [2] Beju, L., Cofaru, N. *Analiza sistematica a proiectarii sculelor complexe*. Comunicarile Conferintei Tehnologii moderne, calitate, restructurare Chisinau, Moldova, 2003.
- [3] Marinică, L., Bădescu, M.(1995) *Studiu analitic al proiectării sculelor complexe*, Comunicările Conferinței Internaționale de Inginerie Managerială și Tehnologică TECHNO'95, Timișoara, 1995.
- [4] Tache V., Popescu I. *Rigida e tempi di fissaggio per utensili da tornio di precisione*, Macchine 9- 1976.

Autor: Prof PhD Livia Dana Beju, University of Sibiu ROMANIA, Engineering Faculty, Manufacturing Science Department,

E-mail: livia.beju@ulbsibiu.ro

Gostimirović, M.

OPTIMALNO UPRAVLJANJE TOPLOTNIM STANJEM OBRADNOG PROCESA

Rezime: U radu se, u cilju ostvarenja efikasne proizvodnje mašinskih delova, prikazuje postupak optimalnog upravljanja toplotnim stanjem obradnog procesa. Pri tome se optimiziraju parametri toplotnog izvora, tj. jačina toplotnog izvora i vreme njegovog delovanja. Optimalni odnos parametara toplotnog izvora postiže se pravilnim izborom elemenata režima procesa obrade.

Ključne reči: Optimalno upravljanje, toplotni fluks, kontaktna temperatura

OPTIMAL CONTROL OF THE THERMAL EFFECTS IN THE CUTTING PROCESS

Abstract: In this paper, with the aim of achieving efficiency in the production of machine parts, illustrate of optimal method in control of the thermal state in the cutting process. At the same time take of optimal heat source parameters, namely heat source intensity and the time of its influence. The optimal relationship of heat source parameters is most commonly achieved by a correct choice process cutting conditions.

Key words: Optimal control, heat flux, temperature of contact area

1. UVOD

Pri projektovanju i razvoju obradnih procesa, moraju se zadovoljiti današnji vrlo oštri zahtevi tržišta, pre svega u pogledu rentabilnosti, kvaliteta i tačnosti obrade. Prilagođavanje takvim zahtevima podrazumeva permanentno istraživanje i optimizaciju obradnih i tehnoloških procesa obrade rezanjem.

Optimizacija procesa rezanja može da obuhvati izbor optimalnog postupka obrade i/ili optimizaciju elemenata režima obrade i uslova obrade.

Najdalje se stiglo u oblasti optimizacije elemenata režima obrade. Postoji veliki broj radova u kojima se nastoje optimizirati elementi režima obrade korišćenjem raznih funkcija obradljivosti. Međutim, veliki broj promenljivih, parametara koji u današnje vreme utiču na složenost procesa rezanja, još uvek ne omogućavaju iznalaženje tačnog matematičkog modela proračuna optimalnih elemenata režima obrade.

Kako je temperatura rezanja vrlo značajan i kompleksan parametar obrade, obzirom da može imati veoma značajan uticaj na izlazne karakteristike procesa, njeno korišćenje za upravljanje i optimizaciju procesa obrade prilično je opravdano. Stoga se čine stalni naponi da se poboljšaju postojeće i razviju nove merne metode, ali u isto vreme i iznađu matematički modeli optimizacije koji se mogu povezati sa eksperimentalnim istraživanjima, kako bi se na što adekvatniji način opisalo toplotno stanje procesa rezanja.

2. OPTIMALNO UPRAVLJANJE TOPLOTNIM PROCESOM OBRADNE

2.1 Pojam optimalnog upravljanja

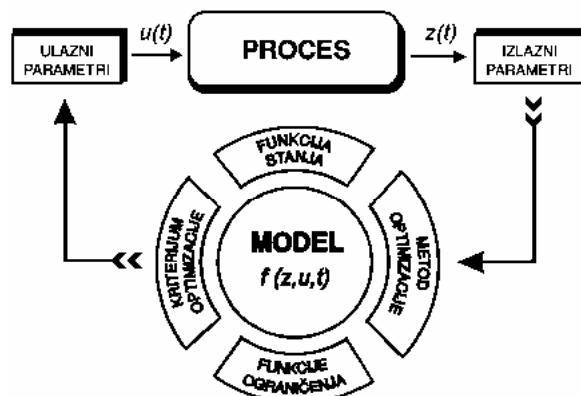
Da bi se zadatak optimizacije pravilno postavio neophodno je tačno: identifikovati objekat optimizacije, sprovesti njegovo modeliranje i postaviti funkciju stanja, ograničenja, cilj (kriterijum) optimizacije i metod optimizacije (slika 1). Ako se radi o optimalnom upravljanju, za pravilno formulisane probleme neophodno je da objekat raspolaže mogućnošću promene izvesnih parametara saglasno sa fizičkom prirodom posmatranog procesa.

Ako se za objekat optimizacije izabere toplotno stanje obradnog procesa, prvi korak je **modeliranje** stvarnog toplotnog procesa. Pod time se podrazumeva razvoj modela koji izborom adekvatnih karakteristika daje sažet prikaz toplotnog procesa. Na taj način, model koji predstavlja izvod iz stvarnog procesa, povezuje ulazne $u(t)$ i izlazne $z(t)$ parametre koji karakterisu stanje procesa u svakom vremenskom trenutku t :

$$z = f(u, t) \quad (1)$$

Ovde su ulazni parametri $u(t)$ poznate veličine, a izlazni parametri $z(t)$ veličine koje ilustruju stanje odvijanja procesa sa vremenom. Znači, izlazni parametri su rezultat dejstva ulaznih parametara i obzirom da određuju stanje procesa često se nazivaju parametri stanja.

Postavka gotovo svih metoda optimizacije pretpostavlja modeliranje stvarnog procesa najčešće u vidu neke matematičke forme. Zahvaljujući mogućnosti dobre algoritimizacije postavljenog zadatka u diferencijalnoj formi i njegovog uspešnog rešavanja primenom računara, diferencijalni modeli danas imaju širu primenu kod izučavanja toplotnih procesa. S druge strane, funkcija stanja i funkcije tehničkog ograničenja procesa obrade se definišu preko funkcija obradljivosti. Funkcije obradljivosti definišu karakteristike stanja procesa obrade, a određuju se eksperimentalnim postupcima za određene uslove obrade.



Slika 1. Principijelna šema optimalnog upravljanja

Cilj optimizacije iskazuje se preko kriterijuma optimizacije. Za kriterijum optimizacije može se usvojiti jedna ili više funkcija cilja. U proizvodnim procesima najčešće korišćene funkcije cilja su: maksimalna proizvodnost, minimalno vreme obrade, minimalni troškovi obrade, određeni kvalitet obrađene površine ili dozvoljena veličina greške obrade. Kako pravilno postavljen zadatak optimizacije sadrži samo jedan kriterijum optimizacije, najčešće se optimizacija vrši uzimanjem jedne funkcije cilja uz prebacivanje ostalih u funkcije ograničenja.

Metodom optimizacije se ostvaruje postavljen cilj optimizacije, a neophodno je izabrati onaj koji najbolje odgovara karakteru postavljenog zadatka. Do danas nije pronađen ni jedan univerzalni metod optimizacije koji bi sa jedinstvenog stanovišta rešavao sve zadatke optimizacije u savremenom inženjerstvu. Uglavnom se primenjuju: metodi klasične matematičke analize, metod Lagranževih neodređenih množitelja, linearno, nelinearno, geometrijsko i dinamičko programiranje, metodi varijacionog računa, princip maksimuma itd.

2.1 Matematička formulacija optimalnog upravljanja toplotnim procesom

Kod toplotno opterećenih tehničkih procesa upravljanje se uglavnom svodi na optimizaciju toplotnog fluksa, tj. količinu toplote koja prolazi u jedinici vremena kroz jedinicu izotermne površine. Shodno tome, model se obično predstavlja opšte poznatim oblikom diferencijalne jednačine provođenja toplote nelinearnog procesa, prilagođen optimalnom upravljanju:

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} \theta) \quad M \in D \quad (2)$$

$$t > 0$$

sa sledećim početnim rasporedom temperatura:

$$\theta|_{t=0} = \theta_0$$

i graničnim uslovom:

$$\theta|_G = u(M_G, t)$$

Pri tome, $\theta = \theta(u, M, t)$ predstavlja *funkciju stanja* koja opisuje izlazne karakteristike sistema, a $u = u(M_G, t)$ predstavlja *upravljajuću funkciju* sa ulaznim parametrima čijim se izborom može uticati na stanje procesa saglasno određenim *funkcijama ograničenjima*. Dalje je D - oblast zagrevanja tela, G - površina koja ograničava telo, M - tačka u oblasti tela i M_G - tačka na granici tela.

Kriterijum optimalnosti (kvaliteta), koji toplotni process treba da ispunjava, definiše funkcional Tihonov-a u obliku [2]:

$$J(u, \theta) = \int_D (\hat{\theta} - \bar{\theta})^2 dD + r_c \cdot \Omega(u)$$

$$\Omega(u) = \int_G (\theta'^2 + u^2) dG \quad (3)$$

gde je: r_c - zadata konstanta (tzv. težinski faktor);

$\Omega(u)$ - stabilizirajući funkcional.

Zadatak optimalnog upravljanja sada se svodi na određivanje funkcije stanja $\theta = \theta(M, t, u)$ i funkcije upravljanja $u = u(M_G, t)$, tako da bude zadovoljena diferencijalna jednačina sa početnim i graničnim uslovima (jed. 2). Ove funkcije, varirajući upravljajuće parametre $u(t)$, određuju se pod uslovom da izabrani funkcional Tihonov-a bude u minimumu. Ovaj funkcional se sa stanovišta fizike može svatiti kao najmanja mera srednjekvadratnog odstupanja između poznate $\bar{\theta}$ i određene $\hat{\theta}$ temperature u prostoru upravljajućih funkcija.

Da bi se rešio ovako formulisan zadatak, uvodi se Lagranžov neodređeni množitelj $p = p(M_G, t)$, koji prevodi matematički model optimizacije sa ograničenjima u model bez ograničenja, tako da se formira prošireni kriterijum optimalnosti, tz. vezani ekstremum:

$$\bar{J}(u, \theta, p) = J(u, \theta) + \int_D p \left[\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} \theta) \right] dD$$

Uvodeći uslov optimalnosti:

$$\delta \bar{J} = 0 \quad (4)$$

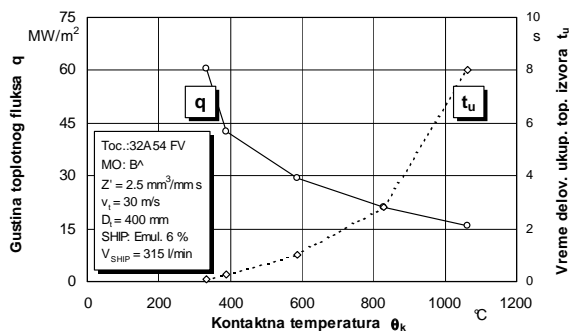
određuju se nepoznate veličine $\theta = \theta(u, M, t)$ i $u = u(M_G, t)$ i time rešava zadatak optimalnog upravljanja toplotnog procesa.

Ako se za upravljajući parametar izabere gustina toplotnog fluksa $u = q(t)$, koja zadovoljava funkciju stanja i uvedeni kriterijum optimalnosti, onda se iznesenom procedurom može odrediti dozvoljeno toplotno opterećenje posmatranog tela.

3. PARAMETRI TOPLOTNOG IZVORA

Izvor toplote pri rezanju definiše se u načelu sa jačinom toplotnog izvora i vremenom njegovog delovanja. Veličine ova dva parametra toplotnog izvora zavise od uslova obrade, tj. prvenstveno od elemenata režima obrade [1].

Da bi se smanjilo generisanje velike količine toplotne energije u zoni rezanja, neophodno je smanjiti jačinu toplotnog izvora i vreme njegovog delovanja. Na žalost, pojedini elementi režima obrade imaju suprotan uticaj na promenu parametara toplotnog izvora, što u mnogome otežava analizu toplotnog stanja procesa obrade, slika 2.



Slika 2. Medusobna zavisnost parametara toplotnog izvora i kontaktne temperature pri visokoproduktivnom brušenju

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznete analize toplotnih pojava pri obradi rezanjem, može se konstatovati da se optimizacijom toplotnog stanja obradnog procesa, može bitno smanjiti uticaj razvijene toplotne energije, pre svega, na stanje radne površine alata, karakteristike kvaliteta obrađene površine obratka i tačnost obrade. To se može postići izborom parametara procesa obrade koji će uticati da razvijena toplota bude što je moguće manja, uz istovremeno što efikasnije odvođenje toplote iz zone rezanja.

5. LITERATURA

- [1] Gostimirović, M., Milikić, D.: *Upravljanje toplotnim pojavama pri obradi brušenjem*, Monografija, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
 - [2] Tihonov, A.H., Kalner, V.D., Glasko, V.B.: *Matematičeskoe modelirovanie tehnologičeskikh procesov i method obratnih zadač v mašinostroenii*, Mašinostroenie, Moskva, 1990.
- Autor: dr Marin Gostimirović, vanr. prof.**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2320, Fax: +381 21 454-495.
 E-mail: maring@uns.ns.ac.yu

Gostimirović, M., Milikić, D., Kovač, P., Sekulić, M., Savković, B.

UVOĐENJE OBRADJE VODENIM MLAZOM U SAVREMENU INDUSTRIJSKU PROIZVODNJU

Rezime: Nesumljivo je da će tehnologija obrade materijala još dugo vremena imati veliki značaj u savremenoj proizvodnoj industriji. Pri tome se posebno izdvajaju operacije rezanja materijala kao neizbežnog dela tehnološkog procesa izrade i montaže proizvoda. U svetu se sve više za operacije sečenja materijala koriste novi postupci obrade, koji rade na sasvim drugim principima u odnosu na konvencionalne postupke obrade rezanjem. Posebno se izdvaja tehnologija obrade vodenim mlazom – WJM (Water Jet Machining). Postupak kojim se brzo, ekonomično, precizno i kvalitetno režu svi materijali bilo koje vrste i prirode. S obzirom da se radi o novom i na našem području relativno nepoznatom postupku obrade materijala, predmet ovog rada je da se razjasne specifičnosti obrade vodenim mlazom i navedu ekonomske-tehnološke opravdanosti njene primene.

Cljučne reči: Obrada vodenim mlazom, sečenje materijala, savremena proizvodnja.

INITIATION OF WATER JET MACHINING TECHNOLOGY TO MODERN MANUFACTURING INDUSTRY

Abstract: There can be little doubt that machining technologies shall retain their importance for time to come, in modern manufacturing industry. Specially important are material cutting operations as the integral part of the technological process of product manufacturing and assembly. Modern world now implements cutting operations which are supported by novel technologies, which are based on completely new principles. Amongst them is the Water Jet Machining technology (WJM), which produces quickly, economically, precise and high-quality cuts on all sorts of materials. Since this technology is still relatively new to this region, it is necessary to clarify some aspects of this machining technology and to justify its application.

Key words: Water Jet Machining, material cutting, modern manufacturing.

1. UVOD

Osnovni ciljevi savremene proizvodnje u uslovima "globalnog tržišta", kako je poznato, određeni su potrebom zadovoljenja potrošača u kvalitetu proizvoda i usluga, cenama i rokovima isporuka. Uz to, svi proizvođači se bore da postignu lidersku poziciju na tržištu, da bi prihod od prodaje bio veći od utrošenih sredstava u razvoj i proizvodnju. To znači da na svetskom tržištu mogu opstati samo proizvodi i usluge najviše klase kvaliteta, a lidersku poziciju osvojiti atraktivni proizvodi i efikasne usluge koje potrošačima pružaju više od očekivanog.

Prilagođavanje proizvodnje ovim ostrim tržišnim zahtevima mogu se ostvariti jedino pomoću savremeno opremljenog industrijskog sistema. Tehnologija obrade vodenim mlazom – WJM, sigurni je put u modernu, visokoproduktivnu i kvalitetnu proizvodnju uz minimalne troškove obrade.

S obzirom na sve navedeno, više nego je opravdano pokrenuti nacionalna istraživanja iz oblasti obrade materijala vodenim mlazom. Uključiti se u svetske trendove razvoja obrade mlazom vode i razmotriti mogućnosti opravdanog uvođenja ove tehnologije u domaće proizvodne uslove.

2. TEHNOLOGIJA OBRADJE VODENIM MLAZOM

U svetu obrada mlazom vode, WJM - Water Jet Machining, primenjuje se više od pola veka. Zasnih dvadeset godina u kombinaciji sa abrazivnim sredstvima ova metoda se primenjuje za uspešno rezanje svih dosad poznatih materijala. U kombinaciji sa industrijskom robotikom, zahvaljujući velikoj univerzalnosti, sečenje vodenim mlazom je našlo svoju primenu u gotovo svim industrijskim granama. U

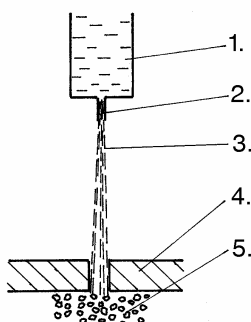
mašinogradnji, elektroindustriji, prehrambenoj industriji, građevinarstvu, industriji nemetala, metalurgiji, pa čak i u medicini.

Kako interes za WJM tehnologiju u celom svetu stalno raste, istraživanja u ovoj oblasti su danas vrlo intenzivna. Na nacionalnom nivou obrada mlazom vode skoro da je poznata samo u naučnim krugovima. Broj domaćih privrednih sistema koji poseduje i koristi obradu vodenim mlazom, na žalost je jednocifren.

2.1 Osnovi procesa obrade

Pri ovoj obradi se kao alat za skidanje materijala koristi vodeni mlaz. On nastaje isticanjem tečnosti pod visokim pritiskom kroz diznu vrlo malog prečnika, pa se tako ostvaruje brzina kretanja čestica mlaza koja je dva do četiri puta veća od brzine prostiranja zvuka. Zbog toga se, sa energetskog stanovišta, vodeni mlaz može posmatrati kao „kruto telo“ koji deluje na materijal obratka i vrši njegovo rezanje, slično kao i svaki drugi alat tog tipa.

Pri udaru tečnosti u obradak dolazi do stvaranja visokog pritiska na maloj površini obratka, usled čega na materijalu nastaju oštećenja, a bočni udarni talasi dovode do brzog razaranja materijala na granicama kristalnih zrna i pojave mikropukotina. Zbog dinamičkog opterećenja koje izaziva delovanje mlaza, mikropukotine se brzo šire što dovodi do trenutnog lokalnog razaranja materijala obratka (slika 1.). Razaranja materijala nastaje i dejstvom turbulentnog strujanja tečnosti u pukotinama, kao i kavitacionog delovanja gasnih mehurića.



Slika 1. Princip rezanja vodenim mlazom
1 - rezna glava, 2 - mlaznik, 3 - vodeni mlaz,
4 - obradak, 5 - produkti obrade

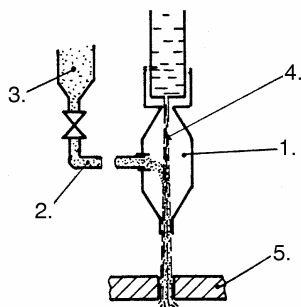
2.2 Sastav vodenog mlaza

Pri obradi vodenim mlazom u osnovi se koriste dva načina rezanja: sa čistim vodenim mlazom i sa abrazivnim vodenim mlazom. Njihovo korišćenje zavisi od osobina materijala, zahtevane obrade i uslova pri samoj obradi.

Vodeni mlaz. Obradni sistemi sa čistim vodenim mlazom koriste energetska svojstva vode koja ističe pod visokim pritiskom. Pri tome se koristi voda iz vodovoda, s tim što se iz nje eventualno odstrani talog, tzv. čestice tvrde vode. Da bi se izbeglo oštećenje dizne na mlazniku, vrši se i omekšivanje ili dejonizacija vode. Ovaj način se primenjuje pri rezanju materijala manje čvrstoće kao što su: papir, plastika, guma, tekstil, drvo, , čokolada i sl.

Abrazivni vodeni mlaz. Dodavanjem abrazivnih čestica u mlaz vode visokog pritiska, učinak rezanja se može znatno povećati, naročito pri rezanju metalnih materijala i keramike. Dizne komore za mešanje vode i abraziva moraju biti otporne na habanje, pa se zbog toga iste proizvode od kvalitetnih materijala, npr. volframkarbida, borkarbida ili bornitrida.

Mešanje vode i abraziva vrši se uz pomoć vazduha pod pritiskom koji pokreće zrnca abraziva. Ovo mešanje mora biti efektivno, jer dobar abrazivni materijal koji nije sasvim pomešan sa vodenim mlazom, stružaće smanjenom brzinom po površini mlaza čime se znatno snižava učinak rezanja. Mešanjem vode i abraziva povećava se ukupna brzina kretanja mlaza, odnosno poboljšavaju se energetska svojstva mlaza (slika 2.).



Slika 2. Rezanje mlazom vode uz dodatak abraziva
1 - mlaznik za mešanje, 2 - doziranje abraziva,
3 - rezervoar abraziva, 4 - vodeni mlaz, 5 - obradak

Dodavanje abraziva vrši se u rasponu od 0.5÷5 kg/min, s tim što se najbolji rezultati rezanja postižu dodavanjem 2.5÷3.0 kg/min. Kao abraziv se najčešće koriste: silicijumski pesak, silicijumkarbid, korund itd.

2.3 Vrste vodenog mlaza

Prema načinu delovanja, razlikuju se tri vrste vodenog mlaza koje se koriste pri obradi, i to su: kontinualni, pulzirajući i kavitacioni vodeni mlaz.

Kontinualni vodeni mlaz. Osnovna karakteristika kontinualnog vodenog mlaza je konstantan energetski nivo

tokom rezanja. Postupak koji koristi ovaj mlaz je najrašireniji postupak rezanja materijala. On se koristi kod rezanja praktično svih vrsta materijala.

Pulzirajući vodeni mlaz. Pulzirajući vodeni mlaz karakteriše ponavljanje kratkotrajnih impulsa mlaza. Dužina impulsa se može regulisati u širokom dijapazonu od 3 do 200 ms. Metoda pulzirajućeg vodenog mlaza za sada se pokazala kao vrlo korisna za bušenje i sečenje.

2.4 Tehnološki parametri obrade

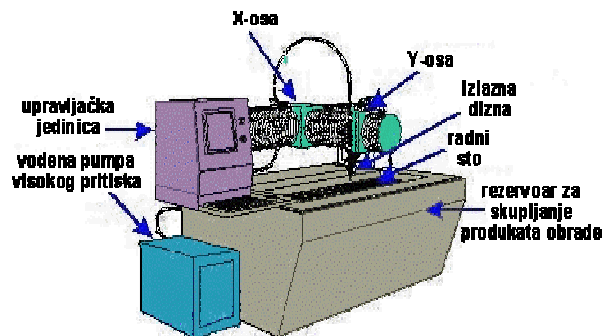
Postoje mnogi faktori koji karakterišu proces rezanja mlazom tečnosti među kojima su najvažniji: vrsta tečnosti, konstrukcija agregata visokog pritiska, mlaznica-dizna (konstrukcija dizne, materijal i obrada unutrašnjeg profila dizne), kvalitet mlaza, vrsta materijala koji se obrađuje, mehanizam razdvajanja materijala, ugao udara mlaza, uticaj vlažnosti obratka, broj prolaza, temperatura rezanja, širina reza, debljina materijala, brzina pomoćnog kretanja i dr. Uticaj pojedinih faktora na proizvodnost, tačnost i kvalitet obrade je različit i on se utvrđuje eksperimentalnim putem, najčešće od strane proizvođača ove vrste opreme.

U zavisnosti od područja primene, pri obradi vodenim mlazom pojedini parametri obrade variraju u sledećim granicama:

- Sastav mlaza: čista voda ili voda sa dodatkom 0.5÷5 kg/min abraziva;
- Pritisak mlaza: 200÷5000 bara;
- Brzina rezanja: 50÷2000 mm/min, zavisno od vrste i debljine materijala;
- Vrsta mlaza: kontinualni, impulsni (dužina impulsa 3÷200 ms) ili kavitacioni;
- Prečnik mlaznika: 0.1÷2 mm;
- Širina reza 2÷3 prečnika mlaznika;
- Odstojanje mlaznika od obratka: 0÷100 mm;
- Ugao delovanja mlaza: od 60 do 90°.

3. POSTROJENJE ZA OBRADU MLAZOM VODE

WJM-postrojenje se u osnovi sastoji iz dva dela: uređaja za prihvatanje mlaznika i obratka i hidrauličnog uređaja za generisanje vodenog mlaza visokog pritiska. Izvođenje mašine zavisi od namene WJM-postrojenja (slika 3.).



Slika 3. Struktura i izgled mašine za obradu vodenim mlazom

Hidraulični uređaj za generisanje vodenog mlaza visokog pritiska, odnosno velike brzine isticanja tečnosti, predstavlja „srce i krvotok” WJM-postrojenja. On se sastoji iz kruga niskog pritiska i kruga visokog pritiska bez obzira kakva je namena postrojenja.

Krugom visokog pritiska se u jednom njegovom delu upravlja tečnošću iz kruga niskog pritiska stvorene hidrauličnom upravljačkom jedinicom.

U slučaju da se koriste abrazivne čestice za poboljšanje reznih osobina mlaza, ovaj sistem je potrebno dopuniti uređajem za dodavanje tih čestica i diznom za mešanje.

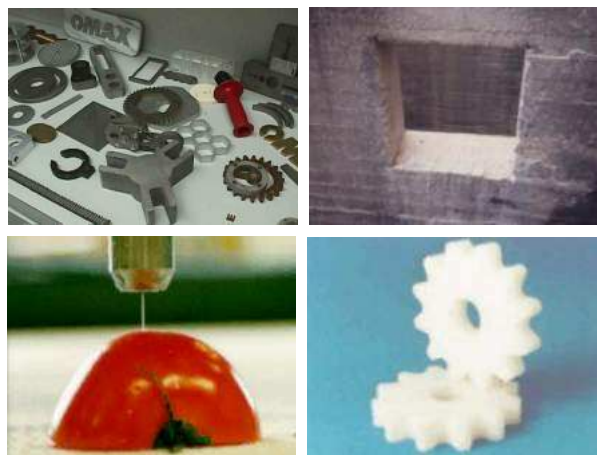
4. PRIMENA OBRADE VODENIM MLAZOM

Tehnologija obrade vodenim mlazom prvenstveno se koristi za sečenje svih vrsta metalnih i nemetalnih materijala, kao i za čišćenje ravnih i pristupačnih površina (slika 4.).

4.1 Sečenje vodenim mlazom

Sečenje vodenim mlazom je našlo svoju primenu u gotovo svim industrijskim granama:

- **Mašinska industrija:** za rezanje svih vrsta metala, izolacionih i kompozitnih materijala, legura sa različitim toplotnom provodljivošću;
- **Građevinska industrija:** sečenje različitih vrsta materijala, kao što su: izolacioni materijali tipa poliuretana, stiropor, staklena vuna, azbesno-cemetni materijali za pokrivanje, beton, kamen;
- **Prehrambena industrija:** veoma uspešno i čisto sečenje različitih vrsta prehrambenih proizvoda, kao što su: meso i ribe u sirovom i smrznutom stanju, voće i povrće, konditorski proizvodi, sirevi, duvan;
- **Industrija gume, plastike i nemetala:** sečenje gume i plastičnih masa svih vrsta, sečenje elektroizolacionih materijala, keramike, papira, kože, tekstila, stakla.

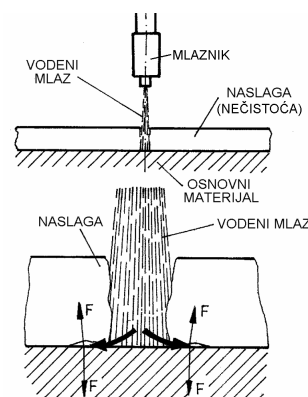


Slika 4. Primeri sečenja vodenim mlazom

4.2 Čišćenje vodenim mlazom

Ovaj postupak se može koristiti za pripremu sanacije velikih betonskih površina ili podova u industrijskim pogonima, skidanje starih oznaka na putevima, kod sanacije zgrada za skidanje starog maltera, čime se znatno smanjuje podizanje prašine, a sama zgrada nije opterećena dinamičkim udarima kao kod klasičnog mehaničkog postupka.

Princip čišćenja pomoću mlaza visokog pritiska se zasniva na svojstvima vodenog mlaza da pod visokim pritiskom preseca sloj nečistoće, a zatim između nečistoće i osnovnog materijala razvija dovoljan pritisak za odvajanje nečistoće (slika 5.). Dokazano je i da najtvrdi materijali, kao što su minerali, oksidi, slojevi boja, ne mogu da odolje dejstvu ovako snažnog vodenog mlaza. Pritisak vodenog mlaza (do 200 Mpa) se reguliše tako da se ne oštete površine objekta koje se čiste.



Slika 5. Princip čišćenja vodenim mlazom

5. TEHNO- EKONOMSKA OPRAVDANOST PRIMENE OBRADE MLAZOM VODE

Tehnologija obrade vodenim mlazom je postupak široke industrijske primene, kojim se obezbeđuje visoka fleksibilnost i produktivnost proizvodnje, visoki nivo tačnosti i kvaliteta proizvoda, sniženje troškova i cene rada i skraćanje vremena isporuke gotovog proizvoda.

Tehnološke karakteristike procesa obrade vodenim mlazom, posmatrano kroz proizvodnost, tačnost obrade i kvalitet obrađene površine, ogledaju se kroz:

- Mogućnost sečenja materijala svih vrsta i dimenzija;
- Velike brzine operacija sečenja i čišćenja;
- Relativno visoka tačnost obrade;
- Potpuno hladan, čist i kvalitetan rez;
- Mlaz tečnosti predstavlja univerzalni alat, tako da nema potrebe za primenom skupih alata;
- Minimalno trošenja alata jer su dizne dugotrajne;
- Jednostavna i pouzdana primena;
- Povećana mobilnost uređaja;
- Odsustvo štetnih produkata obrade, tj. očuvanje životne sredine.

Ekonomski efekti korišćenja tehnologije obrade vodenim mlazom u praksi su naročito izraženi u raznovrsnoj i prilagodljivoj proizvodnji. U kombinaciji sa numerički upravljanim proizvodnim sistemima i industrijskom robotikom dolazi do direktnog smanjenja proizvodnih troškova. Osim višestrukog povećanja produktivnosti, koje se se kreće i do 90%, pri korišćenju ove obrade ostvaruju se i sledeći pozitivni ekonomski efekti:

- Mali troškovi energije po jedinici skinutog materijala (energetsko iskorišćenje iznosi i do 80%);
- Niski materijalni troškovi jer se koristi nekoliko litara u minuti hemijski neobrađene vode;
- Niski troškovi održavanja i visoki vek eksploatacije opreme;
- Ušteda manipulacionog vremena;
- Velike uštede zbog odsustva naknadne obrade;
- Uštede u alatu jer su cene dizni relativno niske;
- Uštede u otpadnom materijalu (veoma uski rezovi);
- Energetska i investiciona ušteda na klimatizaciji i ventilaciji, što je naročito važno u klasičnim industrijama gde se oslobađa mehanička nečistoća;
- Izuzetno visoka brzina reagovanja mlaza, tj. trenutno započinjanje i zaustavljanje obrade čime se drastično smanjuje pomoćno vreme;
- Rezanje se započinje sa bilo kog mesta bez prethodne pripreme;
- Za rad na uređaju je dovoljna niža stručna kvalifikacija radnika;
- Jedan hidraulički agregat može da opslužuje više mašina alatki.

6. IZBOR POSTROJENJA ZA OBRADU VODENIM MLAZOM

Pravilan izbor postrojenja za obradu vodenim mlazom podrazumeva, između ostalog:

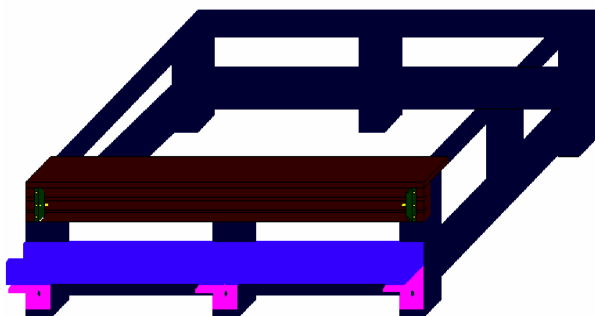
- Izradu tehno-ekonomske opravdanosti nabavke i primene postrojenja za rezanje mlazom vode;
- Sistematizaciju i analizu postrojenja za obradu vodenim mlazom razvijenih u svetskim okvirima
- Definisanje strukture i osnovnih karakteristika pri izboru WJM postrojenja za konkretne proizvodne uslove;
- Izbor i nabavka adekvatne WJM opreme;
- Definisanje uslova korišćenja i održavanja WJM postrojenja.

Zbog visoke nabavne cene kompletno opremljenog WJM postrojenja ili specifičnih uslova proizvodnje, može se pristupiti i modularnoj gradnji sistema za WJM obradu.

Modularno projektovanje proizvoda predstavlja viši oblik standardizacije složenih tehničkih sistema. Ono u suštini podrazumeva komponovanje većeg broja opštih elemenata, to jest modula, koji su sačinjeni od standardnih i nestandardnih delova, u jedinstvenu funkcionalnu celinu složenog tehničkog sistema. Efikasnost i pouzdanost modularnog projektovanja proizvoda proističe iz činjenice da omogućava projektovanje složenih proizvoda od podsklopova i elemenata koji su provereni kako u konstruktivnom, tako i u tehnološkom pogledu.

Za konkretne proizvodne uslove, danas je moguće, u dogovoru sa proizvođačima WJM opreme naručiti instalaciju željene konfiguracije. Opremu može u potpunosti prilagoditi datim uslovima proizvodnje proizvođač ili kupac. U oba slučaja se pristupa modularnoj gradnji željene instalacije. S tim, da u slučaju da kupac sklapa odgovarajuću opremu, može deo opreme i sam proizvesti ili naručiti od drugog dobavljača. Modularna gradnja je složenija, ali prilagodljivija i prvenstveno znatno jeftinija.

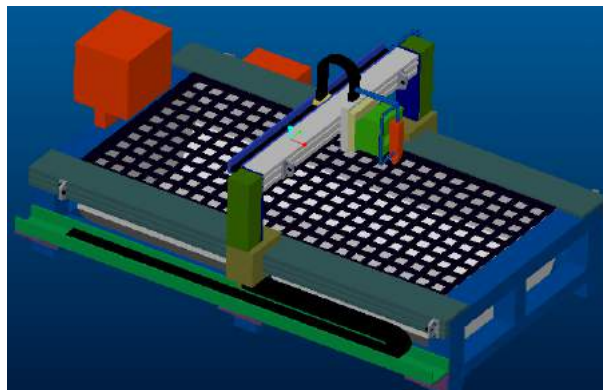
Realno je da se u našim uslovima mogu izraditi delovi noseće strukture. Podsklop noseće strukture namenjen je za smeštaj i prihvatanje ostalih sklopova WJM obrade koji obezbeđuju odgovarajuće komponente kretanja potrebne za ostvarivanje obrade vodenim mlazom, kao i da prigušuje buku i oscilacije koje mogu da nastanu pri obradi. Noseća struktura se obično izrađuje po sopstvenim potrebama fleksibilnim sistemima (slika 6.).



Slika 6. Koncept podsklopa noseće strukture WJM postrojenja

Vodena pumpa visokog pritiska, pogonski agregati, upravljačka jedinica i mlaznik se naručuju od specijalizovanih proizvođača WJM instalacija i prateće opreme.

Moguća varijanta modularno postavljenog WJM postrojenja, sa delimičnom proizvodnjom noseće strukture ili celokupne gradnje sa naručenim standardnim elementima WJM opreme, prikazana je na slici 7.



Slika 7. Varijanta modularne gradnje sistema za obradu vodenim mlazom

7. ZAKLJUČAK

Uvođenjem obrade vodenog mlaza u industrijske sisteme Srbije dodatno bi se uposlili proizvodni kapaciteti u mnogim industrijskim granama. Prvenstveno u mašinskoj, građevinskoj, prehrambenoj i nemetalnoj industriji. Došlo bi do povećane proizvodnje, a šire gledano do povećanja zarada i otvaranja novih radnih mesta. S druge strane, zbog niže cene i višeg kvaliteta proizvodnje dobijeni proizvodi bili bi konkurentni i na međunarodnom tržišnom prostoru. Mogući efekti po društvo i privredu Srbije su i u povećanom iskorišćenju unutrašnjih rezervi i prelaska subvencioniranih preduzeća od strane države na tržišno poslovanje.

Uzimajući u obzir prethodno izneto, neosporno je da se uvođenjem vodenog mlaza u proizvodne zahvate, gde je prisutno intenzivno sečenje različitih vrsta materijala, uložena investicija u nabavku opreme vraća neuporedivo brže od drugih postupaka obrade sečenja materijala. Isto tako, zbog visoke cene integrisane opreme i činjenice da na našim prostorima još niko ne proizvodi ovu opremu, primena modularnih rešenja uz sopstvenu montažu po zahtevima proizvodnje može biti ekonomski veoma opravdan postupak.

8. LITERATURA

- [1] Milikić, D.: *Nekonvencionalni postupci obrade*, Univerzitetski udžbenik, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
- [2] Kovač, P., Gostimirović, M., Milikić, D.: *Environmental aspects of water jet machining*, PSU-UNS Internacional Conference on Engineering and Environment – ICEE 2005, pp. 1-4, Novi Sad, 2005.
- [3] Perc, A.: *Economic Aspects of Cutting Materials with a Hydroabrasive Jet with Lowered Pressure*, 6th Internacional Conference on Management of Innovative Technologies, pp. 127-131, Piran, Slovenia, 2003.

Autori: dr Marin Gostimirović, vanr. prof., dr Dragoje Milikić, red. prof., dr Pavel Kovač, red. prof., dr Milenko Sekulić, docent, Borislav Savković, dipl. ing., sarad. u nastavi, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2320, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: maring@uns.ns.ac.yu
dmilicic@uns.ns.ac.yu
pkovac@uns.ns.ac.yu
milenkos@uns.ns.ac.yu
savkovic@uns.ns.ac.yu

Holešovský, F., Novák, M., Zelenková, J.

BEHAVIOUR OF GROUND SURFACES UNDER LOAD

Abstract: *The surface integrity is the important evaluation of a ground surface quality. The high priced process is the attainment of the high values of the quality for the production. The important information is the influence of the grinding course on the surface integrity components and consequently the surface changes at its loading. This information is very relevant for the parts production and design. The article describes the new knowledge of the research in the behaviour of the ground surface at the dynamical loading. The changes deal with the residual stresses, roughness and its profile, but micro-hardness behaviour in the surface above all.*

Key words: *surface layer, grinding, dynamical load.*

1. INTRODUCTION

The grinding is a significant technology, which keeps pace with other machining methods fast development. The rules of the machining theory are valid also for the grinding, because the chip rises consequently after a plastic deformation during the material cutting off [5], [7]. We can involve this theory also for the grinding of the high removal and high wheel speeds.

The grinding takes its position permanently in the research laboratories, for both the significant development of the cutting materials and classical machining methods depression. The growth of the cutting speeds, removals and accuracy characterize the development of classical grinding methods [6]. The way of the research of grinding goes to the growth of the material removal. Prospective research solves the increasing of the grinding accuracy to the nano-sizes, the formation of new abrasive materials, respectively the design of the tool systems – called as the addressed grinding wheel. Clearly we cannot forget the permanent growth of the grinding speed, which is limited by the demanded design of machine tools and particularly their driving mechanisms.

All above mentioned trends must be evaluated in the research; this is a necessary step of the expected manufacturing development [5].

2. CHIP FORMATION AT GRINDING

High number of the grains is coming into the engagement during the grinding. These grains have got an irregular geometry and the different geometry at the comparison with one or multiedge tools. There are negative angles of the face, relatively high edge radius, nonlinear edge grain by the different entering angle and the high changeability of a grinding wheel topography on the work part of the grinding wheel. At the process the continual wearing of the grains runs, their breaking off, a total fracture and the freeing from the grinding wheel bond. Whereas the high cutting speed is used at the grinding, these changes have a high dynamical course in comparison with the wearing of the classical cutting tools.

At the chip formation the elastic and plastic deformation proceed in the small amount of the material, if in these zones before every grain the strength in the shear plane is passed, the chip formation proceeds. This mechanism characterises the chip rise at the routine speeds of the grinding wheel. At the high speed grinding is a presumption of a chip formation without the marked plastic deformation, at the higher speeds the ground material cannot respond on the grain engagement and there the shearing of material elements proceeds in the

shape of the very small chips. Another mechanism of the chip formation is the plastic deformation and the rise of the marks (scratching) without the chip removal. At the surface formation we must consider also the sticking of material elements on the ground surface in particular at the materials with the plastic properties. The question is – whether the elements we can call as the build up. The friction of the grain flank and ground surface and the friction of the rounded part of an edge (especially in the case of /the classical abrasive materials) are the important factors of the grain action on the final properties of the ground surface. The edge radius influences both the profile and surface roughness; the friction of the grain flank affects in particular the changes in the surface layer. The cause of this phenomenon is the heat, which the friction forms.

3. FORMATION AND PROPERTIES OF SURFACE LAYER OF GROUND PLACES

The removing of the requested layer of the workpiece and a new surface formation run at the pass of the group of grinding grains. The grains are bound in the grinding wheel by means of a bond. This new surface can keep the demand properties, which are formed at the final operation or the properties, which were formed up by means of machining before a final part of the operation. In second case the properties are the base for the superposition not only the residual stresses. There is the low layer of material removed (0,1-0,2 mm) at the final part of the grinding, but the heat and deformation of a previous operation can touch up the depth of 0,4-0,6 mm. The high power methods (high removal, high speed) of the grinding can influence this depth of ground surface.

The properties of the ground surface are deduced from all parameters of the cutting process starting with the machine tool system and ending in cutting conditions, surroundings a cutting tool. The complex set of the surface properties is called the **surface integrity**. This set predicts the usable value of the machine parts, particularly the durability and load capacity of the functional parts of surface. The following components form the surface integrity – geometry accuracy, roughness, residual stress in the surface layer, hardness changes in this layer, structure changes and thermal changes – burn offs and cracks.

Single component does not form separate information of the surface integrity, but the components are interacting and they change their properties. For example: the surface waviness can cause the changes both the surface roughness and hardness in the surface layer and also changes in structure.

4. SURFACE LAYER BEHAVIOUR AT LOADING

The intensity and time course of the loading force, surroundings, load variability, contact way of machine part surface etc. affect the surface durability at working load. The input properties of the surface, which determine the integrity, are the preferred properties for the changes of the surface layer properties. There are not a number of dependences so far known among the integrity components at the dynamical surface loading. The changes of the surface roughness run in any case, these changes of the surface profile determine all these changes. The input specific pressure between contacting planes of the given machine parts depends on the size of profile inequalities and their number. Consequently the surfacing of micro-inequalities peaks runs and the contact places areas widen. The meaning of the hardness course and the residual stress is the question for the future research.

4.1 Loaded surface changes monitoring

The knowledge of the surface behaviour at the dynamical loading is very important information for the new surface formation and its quality determination [1],[2]. The following observation of the in-service changes of the surfaces was made during rolling of the ceramic cylinder (1425 HV) of the test device on the ground surface under the load of 400 N. The changes in the surface layer were observed at these tests – namely surface profile and roughness, roundness, hardness course, pitting and crack rise [3].

The courses of the surface profile changes - Fig.1 – 2 are shown, after the definite cycles of the dynamical loading. The dependence of the changes of surface roughness and surface roundness deviation are given as shown on Fig. 3 and 4. The surface in view (Fig.1-2) was ground on the cylindrical grinding machine by means of the grinding wheel A99 80J 9V, using the following cutting conditions were: wheel speed $v_s=27 \text{ m.s}^{-1}$, work-piece speed $v_w=22 \text{ m.min}^{-1}$, infeed speed $v_p=0.26 \text{ mm.min}^{-1}$ at the infeed method of grinding. We can see on the shown figures that the surface profile is smooth out at the loading, the surface roughness graduates in its depth, small changes were observed also in the roundness deviations. The presented courses prove the meaning of the surface profile changes, this phenomenon is not possible to describe in another way.

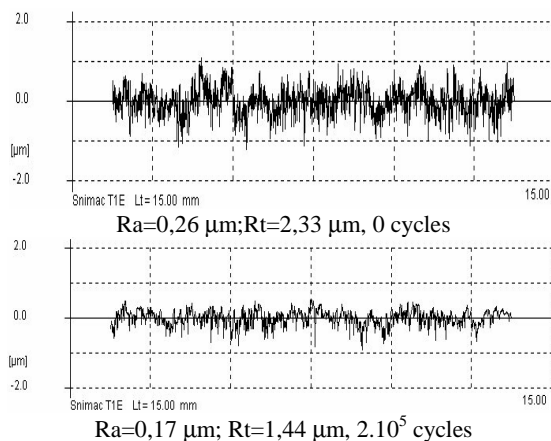


Fig. 1. Surface profile changes after the surface dynamical loading at the given number of cycles, bearing steel

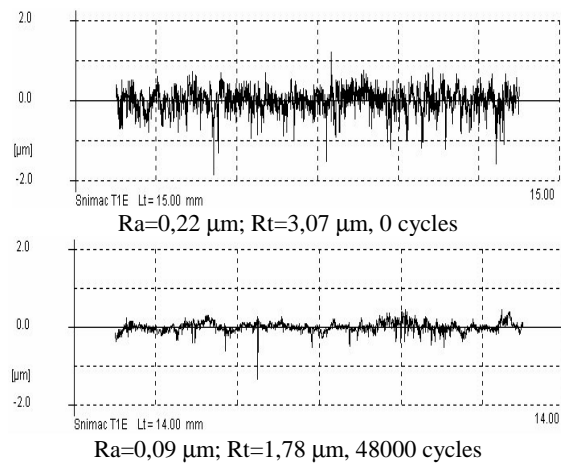


Fig. 2. Surface profile changes after the surface dynamical loading at the given number of cycles, alloy steel

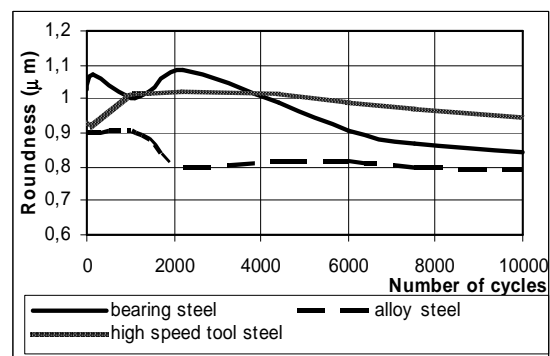


Fig. 3. Roundness changes after given cycles of loading

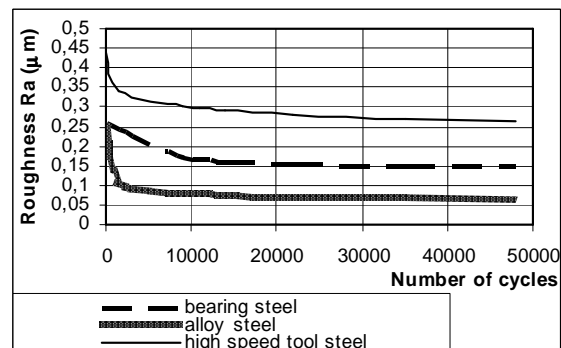


Fig. 4. Surface roughness change Ra after surface dynamical loading

The changes after the given cycles of the loading rightfully evoke changes of the course and intensity of the residual stress in the surface layer. The changes of the hardness course in the surface are also the evidence of the residual stress changes. There the hardening of the surface proceeds at most steels, but the hardness is gradually falling down after the high number of cycles as seen on the Fig.5. At this effect both the increased wearing and production of defects can take place. The bearing steel shows a very favourable course. On the other hand, at the dynamical load test of the low alloy steel the measurement had to be finished after 5.10^4 cycles (Fig.6), because of the extensive damage appearance on the surface[8].

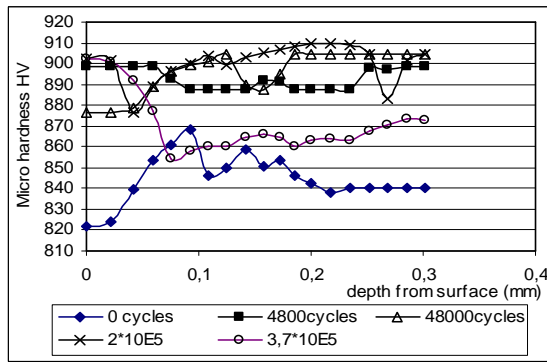


Fig. 5. Micro hardness changes in surface layer, alloy steel

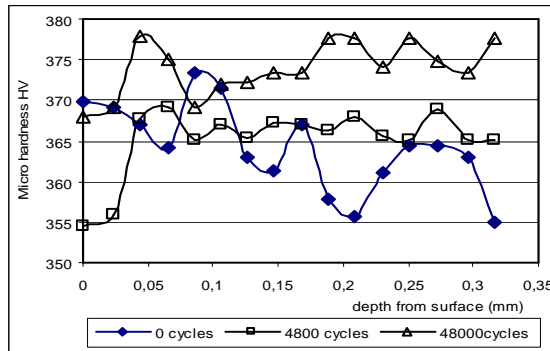


Fig.6. Micro hardness changes in surface layer, bearing steel

4.2 Behavior of residual stress at surface load

At the new surface formation the residual stress superposition is very important. In the surface layer the tensile residual stresses can be increased at the effect of foregoing technology (forging, method of casting). It can stimulate the rise of cracks and leading to the meaning loss of the dynamical load capacity of machine parts. The surface hardening removal and pressure residual stress in the surface layer are the negative influences of superposition at the consequent processing.

Whereas all processing procedures affect the course and the intensity of the resulting residual stress, we can raise a presumption about the rate of changes of intensity and residual stress course at the surface dynamical load. There is the specific pressure decreasing gradually on the contact places of meshing surfaces of parts in the surface load course. At the loading the plastic deformation of micro-roughness and the specific pressure loss run – the size of the contact area of meshing parts is growing.

In respect of running plastic deformation of surface we can predict and raise a hypothesis (Fig.7) that there is the change of intensity and stress course, proceeding in the direction of pressure stresses. Above hypothesis was confirmed later (Fig.8). After certain time the residual stress can be diminished reaching then low tensile values of stress, depending on the intensity and way of surface layer load. In some cases the value of residual stress can drop up the area of pressure residual stresses. Action of the surface dynamical load is affected by heat, which develops during the friction of contact areas. The dynamical load course depends also on the lubricant effect, way of loading etc.

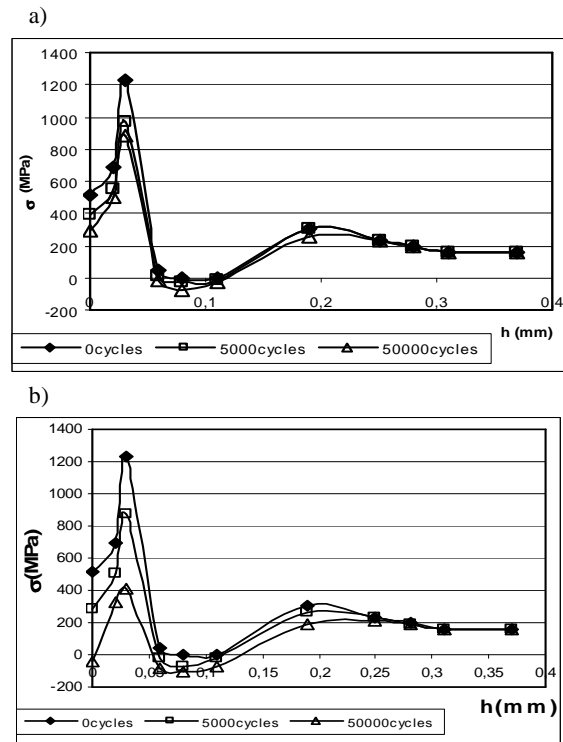


Fig. 7. Changes of residual stress in surface at given number of load cycles – hypothesis, a) low surface loading, b) high surface loading

Above mentioned conclusions are based especially on the knowledge of the change of micro-hardness course in a surface layer after given time of the surface load. If there is the surface layer hardening, the changes of the intensity and residual stress course must proceed in the loaded surface. For the evaluation of this statement, the ground samples of bearing steel were prepared when using the same cutting conditions. Thereafter the residual stress was investigated at each sample just immediately after the grinding without the surface load, then after 5 000 cycles of load and after $5 \cdot 10^4$ cycles of load. The change of the stress course in the surface is perceptible as shown on Fig. 9, 10 without load and after 78 hours of load.

At the surface dynamical load the change of roughness and its parameters is running as shown on Fig.8. These changes are higher at the load beginning, next are gradually lower for R_y and R_t parameters. For the R_a parameter the course is lower in first part. The roughness change effects to the tolerance of machine parts.

The research of surface behaviour at load is running at present. A comparison of ground surface with CBN or SG grinding wheel is very interesting (Fig.9, 10). At the application of SG we can reach the compressive residual stress in surface, but after a load this residual stress converts its orientation to tensile stress in some cases. The research confirms also the load surface is deformed and this surface opens and the reaction is possible with atmospheric moisture. In these cases the corrosion proceeds and it influences the course of residual stress in surface layer too. On the surface the high tensile stress rises. Next parts of research deal with both the surface behaviour at an oil conservation and at corrosion in atmosphere of the corrosion box.

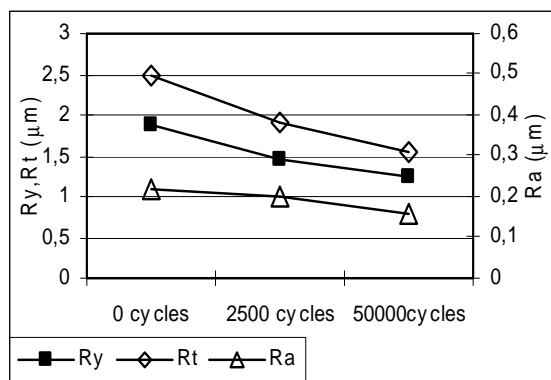


Fig. 8. Changes of surface roughness at given number of cycles

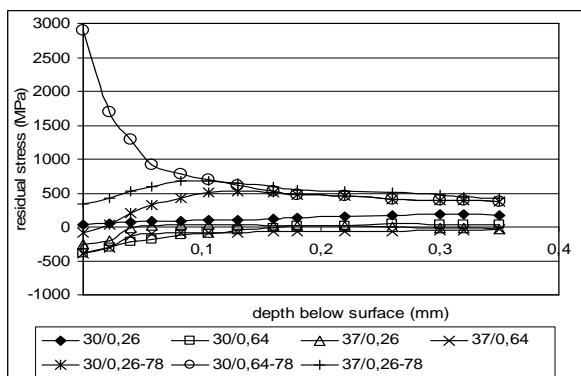


Fig. 9. Residual stress in surface without load and after 78 hours of load, ground surface $v_s=30$ or 37 m.s^{-1} , infeed $v_p=0,26$ or $0,64 \text{ mm.min}^{-1}$, wheel SG

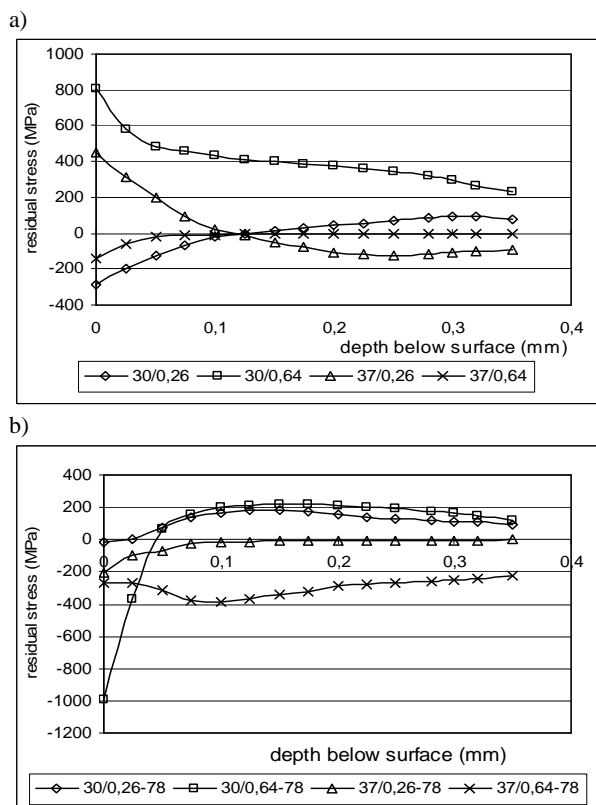


Fig.10 Residual stress in surface without load a) and after 78 hours of load b), ground surface $v_s=30$ or 37 m.s^{-1} , infeed $v_p=0,26$ or $0,64 \text{ mm.min}^{-1}$, wheel CBN

5. CONCLUSIONS

In accordance with our hypothesis is a presumption that the surface hardness changes confirm the changes of residual stress intensity. This change was verified at the experimental measuring. The change can be progressive, it can show some anomaly – e.g. in first phase the growth of the tensile residual stress.

From observation we can set the following questions – *what* are the changes of the residual stress in the surface, *what* is the speed of these changes and *what* are consequences at the service of machine parts. Next research works should verify or refute the above hypotheses. Results should have a meaningful effect to the demands for the new surface kind formation, having required integrity of surface layer after machining and possibly also for the proportioning of machine parts itself.

The surface integrity is the only complex characteristics of the machined part surface. The components of the integrity predict the usable properties of this surface layer and determine its quality for the practical use in the machinery.

The selected elements of the surface integrity are necessitated by the required design properties after the processing product; these are particularly the surface roughness and geometry accuracy. At the use of the machine part in real machinery the surface is statically or dynamically loaded. This loading changes both the values of the integrity components and the surface properties in comparison with the properties of part immediately after the processing. It is necessary to put the questions like, whether is the demand for the low surface roughness necessary, is there necessity of pressure residual stress after the machining, etc.? The knowledge of the change mechanism of the integrity at loading could give the answer to given questions, bringing also the saving of production costs.

6. REFERENCES

- [1] Holešovský, F.; Hrala, M. *Analyse of Influence of New Abrasive Materials on Ground Surface*. In: Proceedings 7th International Conference on Flexible Technologies, Novi Sad, Yugoslavia, June 2000: 211 – 212
- [2] Holešovský, F., Hrala, M. *Integrity of Ground Cylindrical Surface*. Journal of Material Processing Technology. No.: 153-154 (2004), 714-721, ISSN 0924-0136
- [3] Jersák, J., Pohořalý, M., Žižka, J. *Monitoring of Grinding Process*. Manufacturing Technology, Vol.IV/2004
- [4] Lindsay, R., P. *Practical Experiences with SG and CBN Abrasives*. In: Proceedings Technical Seminar, IGT, Bristol, UK, 1997
- [5] Mádl, J. *Material Aspects of Chip Formation by Precision Machining*. Proceedings 2nd International Congress ICPM, Prague, 2003
- [6] Malkin, S. *Grinding Technology – Theory and applications of machining with abrasives*, SME, Dearborn, Michigan, 1989
- [7] Marinescu, I.D., etc. *Handbook of Machining with Grinding Wheel*. CRC Press, Rhode Island, 2006
- [8] Shaw, B.A. *Detection of Grinding Abuse in Hardened Steels*. Proceedings Seminar Advances in Grinding Technology, University of Bristol, 1999

Autors: Prof. Holešovský František, Novák Martin, MSc., Zelenková Jana, MSc., Faculty of Production Technology and Management, University in Ústí nad Labem, Na Okraji 1001, 400 96 Ústí nad Labem, Czech Republic.

Jevtić, M., Sunarić, D., Stojnić, N.

NOVA ORIGINALNA ELHIM TEHNOLOGIJA

Rezime: Shodno savremenim tendencijama i razvoju novih metoda i tehnologija istražena je i koncipirana nova i originalna tehnologija na bazi nekonvencionalnog procesa električnog impulsnog pražnjenja u komori sa vodom, koju smo nazvali "ELHIM tehnologija". Posle sprovedenog teorijskog i eksperimentalnih istraživanja dobijeni su izuzetno pozitivni i ohrabrujući rezultati koji preporučuju ELHIM tehnologiju za dalji nastavak radova na njenom usavršavanju i primenu u praksi. Ovo je saglasno sa tvrdnjama vodećih svetskih tehničkih futurologa koji predviđaju da će za narednih dvadeset godina preko 50 % raspoložive tehničko tehnološke opreme biti potpuno nove prema principu rada, formi, tehnologiji i prema radnim karakteristikama.

Ključne reči: ELHIM tehnologija električno pražnjenje

NEW ORIGINAL ELHIM TECHNOLOGY

Abstract: According to the new tendency in methods and technologies development, the new original technology, based on unconventional process of electrical pulse discharging inside the water chamber, is investigated and designed. It is named "ELHIM technology". After theoretical and experimental investigations had been carried out, very positive and encourage results were obtained which recommended ELHIM technology for farther development and application in practice. Development of the technology is in agreement with prediction of the leading world technical futurologists who have predicted that in 20 years, more then 50 % of the available technical-technology equipment is going to be completely new according to the principles of work, design, tecnology and working characteristics.

Key words: The ELHIM technology, electrical discharge

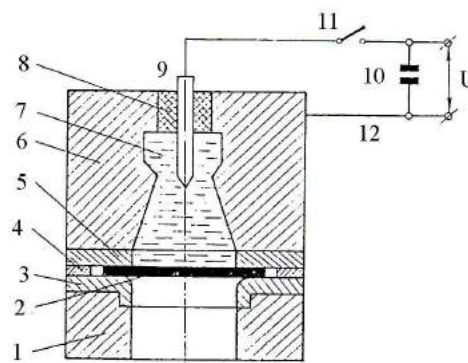
1. UVOD

Sušтина ELHIM tehnologije je utemeljena na korišćenju visokovoltne električne instalacije sa transformatorom, ispravljačem, baterijom specijalnih kondenzatora za impulsna električna pražnjenja, kompletom sklopki i komutatora i komorom sa vodom koja ispunjava radnu zonu mašinskog podsistema. Impulsna električna pražnjenja, sa efektom kontrolisane električne eksplozije, se realizuju pomoću komutatora i bakarnih elektroda postavljenih u vodi i manifestuju se formiranjem snažnih električnih lukova i gasno-varničnim trenutnim (proces traje od 40 do 80 μ s) udarnim talasima između električnih polova. Navedeni udarni talasi se prema Paskalovom zakonu prenose na sve strane podjednako, a tehničkim rešenjima je moguće usmeriti ih na željene zone i pravce gde izvode potreban koristan rad prema projektovanoj nameni. Zavisno od geometrijskog rastojanja između električnih polova u komori sa vodom se ostvaruje udarni pritisak do 10^4 bar sa brzinom udarnog talasa od 100 m/s i ubrzanjem nestišljivog fluida kao nosioca udarnih talasa od 10^7 m/s², kao i frekvencija udarnog talasa od 10^4 Hz. Ove vrednosti su verifikovane sprovedenim inicijalnim eksperimentalnim istraživanjima.

2. FIZIKALNOST ELHIM PROCESA

Nova tehnologija elektrohidrauličkog impulsnog pražnjenja, ELHIM, predstavlja aplikaciju teorijskih postavki relevantnih naučnih disciplina i njenu osnovu čine relevantne teorijske postavke matematičke fizike i teorije elektromagnetike. Suština fizikalnosti procesa ELHIM je zasnovana na korišćenju visokovoltne električne instalacije sa visokovoltnim transformatorom i električnim pražnjenjima koja se odvijaju u tečnom fluidu. Kao tečni fluid koristi se

voda sa kojom se ispunjava radna zona u kućištu eksperimentalnog uređaja. Sa druge strane radne zone nalazi se zona sa objektom primene. Visokovoltna električna instalacija je povezana sa elektrodama, koje se nalaze u tečnom fluidu. Impulsno električno pražnjenje u formi električne eksplozije se izvodi preko navedenih elektroda u tečnom fluidu pri čemu se stvara snažan električni luk. Fizička posledica pomenutog impulsnog električnog pražnjenja se manifestuje nastankom strujnih odnosno varničnih gasnih mehurova i kanala između električnih polova u tečnom fluidu. Shodno postojećem Paskalovom zakonu nastali varnični kanali i gasni mehurovi se trenutno šire u radnoj zoni tečnog fluida prenoseći pritisak u formi udarnog talasa.



Slika 1. Uprošćen prikaz ELHIM

Navedeni prikaz na slici 1. predstavlja mogućnost izvođenja izvlačenja metalnog lima sa usmeravanjem dejstva udara talasna shodno formi šupljine 7 suda 6, u koji je stavljen tečni fluid 7 sa uronjenom elektrodom 9. Držač elektrode 9 je sačinjen od izolatora 8. Pritiskivač 5 obradka 2 koristi dejstvo

udarnog talasa za ostvarivanje sile držanja. Matrica 3 postavljena u telo 1 i pod dejstvom udarnog talasa oblikuje pripremak 2. Prsten 4 služi kao vezni element između pritiskivača 5 i matrice 3. Elektroda se napaja impulskom električne struje iz instalacije koju sačinjavaju: izvor struje sa naponom U, kondenzatorska baterija 10 i prekidač 11. Električnim vodom 12 je povezan sud 6, koji služi kao drugi električni pol (negativni pol).

Energija W koja se oslobađa pri električnom pražnjenju u radnoj zoni na osnovu teorijskih postavki se definiše prema izrazu (1) kao zavisnost napona električnog pražnjenja U i kapacitivnosti kondenzatorskih baterija C.

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (1)$$

Analitička zavisnost električnih parametara elektro podistema se definiše izrazom (2) u kome oznake imaju sledeća značenja: d, l - prečnik i dužina elektrode potopljene u tehničku vodu, S - kapacitivnost kondenzatora, U - početna vrednost električnog napona pri pražnjenju kondenzatora k, α, β - oeficijenti koji predstavljaju konstante koje zavise od vrste materijala elektrode i f - sopstvena frekvencija instalacije za električno pražnjenje, koja se definiše izrazom (3).

$$l = \frac{d^2 \pi}{4} = KCU^2 f^\alpha \left(\frac{U}{l}\right)^{-\beta} \quad (2)$$

$$f = \frac{1}{2\pi} (L_0 C)^{-0.5} \quad (3)$$

U izrazu (3) L_0 predstavlja ukupnu početnu induktivnost celog sistema za električno pražnjenje ELHIM sistema.

Vrsta materijala elektroda i njen poprečni presek utiču na efekte procesa električnog pražnjenja i na vremenski interval t od početka proticanja struje iz kondenzatora do početka eksplozivnog pražnjenja u radnoj zoni. Ova zavisnost je predstavljena izrazom (4) u kome k predstavlja konstantu materijala elektrode, a ostale veličine imaju ista značenja kao i u izrazu (2) i (3).

$$t = k \frac{d^2 \pi}{4} \left(\frac{U_0}{L}\right)^{-0.666} \quad (4)$$

Empirijska zavisnost optimalne vrednosti prečnika elektrode d_{op} se predstavlja izrazom (5) u kome se uvrštava kapacitivnost C u F, električni napon U i V i induktivnost instalacije za električno pražnjenje L u H.

$$d_{op} = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot C^{0,333} \cdot U^{0,5} \cdot L^{-0,166} \quad (5)$$

Analizom energetskog bilansa u radnoj zoni u okviru ELHIM može se doći do izraza (6) koji predstavlja nivo energije E dobijene električnim pražnjenjem u zavisnosti od dimenzije i vrste materijala komponenata sistema. U izrazu (6) veličina D predstavlja prečnik otvora matrice u kome se dobija korisna energija, a h predstavlja debljinu nepoželjnog sloja, veličine k i α predstavljaju koeficijente naponskih stanja materijala obradka i za martenzitni čelik imaju vrednost: $k=190$ i $\alpha=0,16$ dok za materijal od aluminijuma navedeni koeficijenti imaju vrednost $k=32,7$ i $\alpha=0,24$. Pored toga u izrazu (6) parametar φ predstavlja veličinu ugla sa temenom na vrhu elektrode i kracima koje sačinjavaju osa simetrije u

radnoj zoni i poteg koji spaja vrh elektrode i tačke na otvoru matrice, tako da ugao φ zavisi od prečnika otvora matrice i rastojanja između matrice i vrha elektrode. U izrazu (6) veličina f predstavlja veličinu deformacije nepoželjnog sloja.

$$E = \frac{\pi D^2 h k}{e(1 - \cos \varphi)(1 + \alpha)} \left[2 \ln \left(1,5 - \frac{1}{2(1 + 4 \frac{f^2}{D^2})} \right) \right]^{\alpha+1} \quad (6)$$

Sledeća empirijska zavisnost (7) definiše veličinu energije E kao funkciju parametara sa relevantnim značenjima:

$$E = 0,129 k_v R^{1,415} \frac{(A_{def} \cdot M)^{0,795}}{(kd \cdot \psi \cdot S_o)^{1,59}} \quad (7)$$

U izrazu (7) veličina M predstavlja masu nepoželjnog sloja i vode u radnoj zoni, k_v - koeficijent brzine deformisanja nepoželjnog sloja, k_d - koeficijent udarnog talasa i njegovog širenja, ψ - koeficijent sferičnosti udarnog talasa koji zavisi od visine R vrha elektrode od matrice, S_o - poprečni presek matrice, a parametar A_{def} predstavlja potreban rad za deformisanje.

3. EKSPERIMENTALNI ELHIM SISTEM

Realna i originalna varijanta idejnog rešenja, u oblasti maštinstva koju su autori sačinili u cilju izvođenja eksperimentalnih istraživanja i verifikacije fizikalnosti procesa i koja je načinjena u okviru rada na ELHIM istraživanju je prikazana na slika 2. Ova varijanta predstavlja realnije rešenje i bliži pristup konkretnoj verziji eksperimentalne instalacije za ELHIM i služi za dobijanje konačne verzije rešenja.

Rešenje sa slike 2. se sastoji iz dva podistema i to iz elektropodistema i tohnoško-mašinskog podistema. Elektropodsystem se sastoji iz modula za punjenje instalacije koji sačinjavaju visokovoltni transformator i ispravljač električne struje. Instalacija-modul za punjenje se napaja iz standardne električne mreže. Instalacija-modul za punjenje preko preklopnika 1 i 2 puni i napaja kondenzatore C1 i C2 sa električnom strujom modulisanih parametara. Sa druge strane modul za punjenje je preko upravljačke jedinice povezan sa komutatorima K1 i K2 koji obezbeđuju trenutno pražnjenje navedenih kondenzatora C1 i C2.

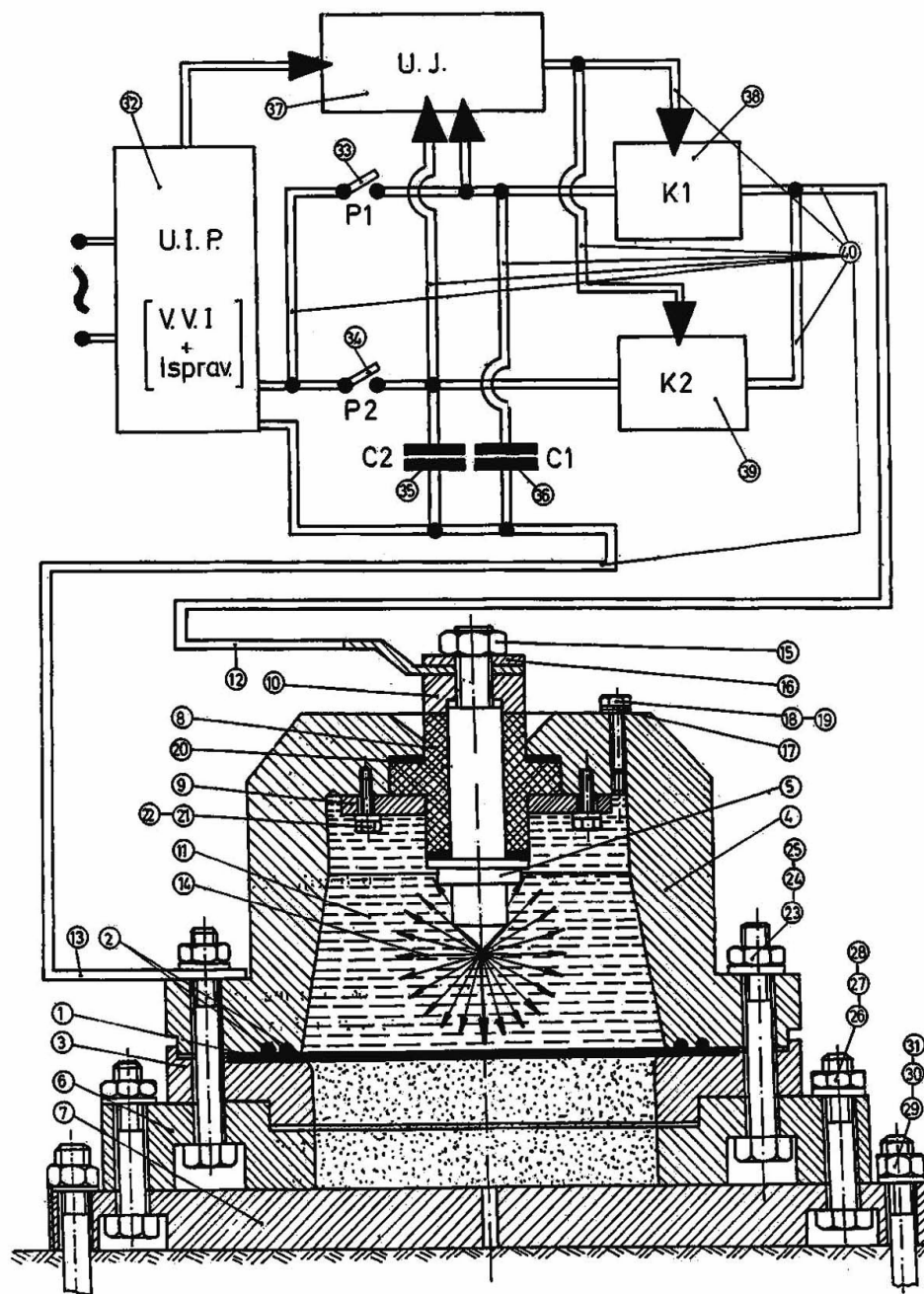
Impuls električne struje iz kondenzatora C1 i C2 preko komutatora K1 i K2 odlazi u radnu zonu sistema ELHIM u kojoj nastaje električno pražnjenje sa formiranjem električnog varnično-eksplozivnog luka sa udarnim talasima. Radnu zonu u tehnološko-mašinskom podsystemu sačinjavaju tečni fluid (tehnička voda), kućište sistema i elektroda. Relevantni elementi tehnološko-mašinskog podistema su vijčanim vezama povezani u tehnološku celinu. Na slici 2. je prikazana konačna i usvojena verzija varijante idejnog rešenja eksperimentalnog sistema za oblikovanje obradaka pomoću ELHIM.

Tehnološko-mašinski podsystem sačinjavaju: obradak 1, zaptivni element 2 koji ostvaruje neophodno zaptivanje pri visokim vrednostima pritiska udarnih talasa u fluidu u radnoj zoni, zatim element 3 koji predstavlja matricu za oblikovanje i deformisanje obradaka 1, kućište 4 tehnološko-mašinskog podistema koje objedinjava sve relevantne elemente tehnološko-mašinskog podistema, potom elektroda

5 kao vitalni element celog sistema, donja ploča 6 od izolacionog materijala koja predstavlja vezu između matrice 3 i osnovne ploče 7, potom izolaciona čaura 8, izolaciona čaura 10 za držanje i fiksiranje elektrode 5 sa gornje strane, radni fluid – tehnička voda u radnoj zoni, električni provodnik 12 sačinjen od izolovanih bakarnih traka 1×10 mm u sklopu od 5 traka, koje se napajaju električnim impulsom iz elektro podsistema, drugog provodnika 13 koji spaja elektro podsistem sa masom kućišta 4 tehnološko-mašinskog podsistema, električnog-varničkog luka 14 u radnoj zoni, navrtke 15 za fiksiranje elektrode, podmetača 16 od izolatora, zaptivača od gume 17, vijka 18 i podloške 19, zaptivnog prstena od gume 20, zaptivača na čelu elektrode 20-a i podloške 22 za fiksiranje elektrode 5, navrtke 23, vijka 24 i

podloške 25 za vezu kućišta 4, matrice 3 i donje izolacione ploče 6, zatim podloške 26, navrtke 27 i vijci 28 za vezu donje izolacione ploče i osnovne ploče 7 sistema ELHIM, potom podloške 29, navrtke 30 i vijka 31 za vezu celog tehnološkog podsistema za fundamentom, odnosno za vezu osnovne ploče 7 sa fundamentom.

Elektro podsistem sačinjavaju sledeći elementi i komponente: modul za punjenje, (punjač 32), sastavljen od visokovoltalnog transformatora i ispravljača električne struje, prekidači 33 i 34 za punjenje kondenzatora 35 i 36, upravljačkog modula 37, komutatora 38 i 39, slika 5, i električnih provodnika od bakra 40 (5 traka preseka 1×10 mm), kao i samih kondenzatora, slika 4.



Slika 2. Detaljni prikaz konačno usvojene varijante idejnog rešenja eksperimentalnog sistema za oblikovanje materijala sa ELHIM



Sl. 3. Fotografski snimak mašinskog podsistema ELHIM u montiranom stanju

Shodno opisu i prikazu sa slike 2. je koncipirana, projektovana i napravljena realna varijanta mašinskog podsistema koja je prikazana na slici 3, a na slici 5. je prikazan izgled komutatora za izvođenje impulsnih električnih pražnjenja energije kondenzatora.

Globalni izgled mašinskog podsistema ELHIM u montiranom stanju je prikazan fotografskim snimkom na slici 3., na kome se jasno vidi celina podsistema sa svim svojim osnovnim delovima i veznim elementima, koji ostvaruju veznu funkciju povezujući ih u odgovarajuću tehnološku celinu. Kako je veoma značajna činjenica za funkciju elemenata podsistema ELHIM električno pražnjenje impulsa električne struje visokog napona u komori sa hidro fluidom, to je posebna pažnja posvećena kvalitetnoj električnoj izolaciji elektrode sistema od mase mašinskog podsistema kao električnog pola. Ovo je ostvareno pomoću elemenata čaura elektrode od kvalitetnih izolacionih materijala.



Slika 4. Izgled komutatora za pražnjenje kondenzatora

Osnovne komponente elektro i mašinskog podsistema, koje su pomoću električnih kablova vodova i sabirnica, prema elektro projektu, povezane u planiranu i željenu celinu sa tačno definisanim karakteristikama. Sa ovako povezanom i realizovanom eksperimentalnom instalacijom ELHIM su

kasnije izvedena planirana eksperimentalna ispitivanja i eksperimentalna verifikacija fizikalnosti



Slika 5. Baterija kondenzatora sa otporničkim

procesa impulsnog električnog pražnjenja u hidro fluidu, koja predstavlja osnovni zadatak ovog naučno-istraživačkog projekta. Uređaj za punjenje baterije kondenzatora je priključen na standardnu električnu mrežu sa naizmeničnom strujom. On je provodnicima povezan sa prekidačkim modulom za punjenje kondenzatora. Prekidački modul je povezan sa baterijom kondenzatora i to dvostrukom vezom, pri čemu se jednom vezom pune kondenzatori jednosmernom strujom visokog napona, a drugom se ostvaruje veza između baterije kondenzatora i modula komutatora pomoću koga se izvodi impulsno pražnjenje baterije kondenzatora.

Ovako sačinjena projektovana eksperimentalna instalacija ELHIM je podvrgnuta funkcionalnoj proverbi rada i ispravnosti svake komponente i svakog modula ponaosob, kao i eksperimentalne instalacije u celini. Funkcionalna provera sistema ELHIM i svih njenih komponenata i modula je potvrdila njihove parametre i projektovane karakteristike. Ovde je značajno napomenuti da je proverena funkcionalna izolovanost elektrode sistema od mase kao drugog pola električnog kola u sistem ELHIM.

4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Pomoću ovako sačinjene, realizovane i povezane eksperimentalne instalacije ELHIM pristupilo se izvođenju eksperimentalnih ispitivanja verifikacije fizikalnosti procesa ELHIM u oblasti mašinstva koji se manifestuje impulsnim električnim pražnjenjima u hidro fluidu. Eksperimentalna ispitivanja su izvedena u laboratorijskim uslovima prema sačinjenom protokolu ispitivanja.

Eksperimentalna ispitivanja su izvedena sa obradcima od različitih materijala, pri čemu je pripremak bio od metalnih limova prečnika $\phi = 220$ mm različitih debljina $d=0,5-2,0$ mm. Sa druge strane eksperimenti su izvedeni sa različitim naponima impulsne struje električnih pražnjenja, pri čemu je

napon variran sa $U = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0$ kV. U svim eksperimentima sa različitim naponima impulsnih pražnjenja dobijeni su kvalitetni, pozitivni i ohrabrujući rezultati, odnosno dobijeni su deformisani obradci sa različitim stepenima deformacije zaviso od veličine napona pražnjenja sa kojima su eksperimenti izvedeni. Sa tako dobijenim rezultatima eksperimentalnih ispitivanja potpuno je ostvaren osnovni zadatak i dokazana je i eksperimentalnim ispitivanjima verifikovana fizikalnost procesa impulsnog električnog pražnjenja u hidro fluidu, čime je potvrđena teorijska posatvka matematičke fizike nastanka varničnih mehurova i kanala u hidro fluidu i njihov pritisak na obradak u radnoj zoni, koji je pod njihovim dejstvom mehanički deformisan.

a)



b)



c)



d)



e)



Slika 6. Izgled dosadašnjih uzoraka u oblasti mašinstva pomoću nove ELHIM tehnologije.

Ilustracije radi na slici 6. (a,b,c,d,e), u oblasti mašinstva su predstavljeni fotografski snimci deformisanih obradaka od čeličnog lima dimenzija $\phi = 220 \times 1$ mm na kome je na prečniku $D=125$ mm ostvarena deformacija izvlačenjem na dubini od $h=20$ mm.

Ovako dobijeni pozitivni i ohrabrujući rezultati potpuno dokazuju i verifikuju fizikalnost procesa impulsnog električnog pražnjenja, i opravdavaju uložene istraživačke napore i obavezuju na dalju koncentraciju naučno istraživačkog rada usmerenu prema daljem usavršavanju ove nove nekonvencionalne tehnologije industrijskih primena u različitim industrijskim granama, a naročito u oblasti građevinarstva i vodoprivrede.

5. ZAKLJUČAK

U okviru ovog istraživanja izvršena su teorijska, razvojna, aplikativna i eksperimentalna istraživanja nove i originalne ELHIM tehnologije u oblasti mašinstva.

Kao osnova za istraživanje i razvoj ove nove visoko-brzinsko-produktivne metode služi korišćenje efekta impulsivnog visokovoltnog električnog pražnjenja u tečnom fluidu. Istraživanjem je ustanovljeno da se navedeno električno pražnjenje manifestuje nastankom strujno-varničnih mehurova i kanala između električnih polova, čije trenutno širenje u formi eksplozije kao udarni talas deluje u celokupnoj zapremini fluida i na usmerenom segmentu izvodi koristan deformacioni rad.

U okviru ovih radova utvrđen je i identifikovan čitav niz prednosti i preimućstva u odnosu na klasične metode. Istraživanjem se došlo do osnovnih uticajnih parametara.

Moguće je ostvariti pritiske u radnom fluidu na nivou od 10^3 do 10^4 bara, brzinu od 100m/s, ubrzanje pri deformisanju strukture obradka od 10^6 do 10^7 m/s², kao i mogućnosti dobijanja visoko-frekventnih udarnih talasa sa frekvencijom od 10^3 do 10^4 Hz.

Dobijeni rezultati ohrabruju, atraktivni su i daju puno opravdanje za dalja istraživanja i dalju koncentraciju istraživačkih napora usmerenih ka daljem usavršavanju ove nove tehnologije i prema njenoj konkretizaciji u cilju njenog uvođenja u široku industrijsku primenu u različitim konkretnim slučajevima izrade, različitih proizvoda u različitim industrijskim granama i otvaranju moguće primene u oblasti građevinarstva i vodoprivrede.

6. LITERATURA

- [1] JEVTIC M. B, MILJANIC P., *Investigation of electro-dynamic and electromagnetic puls unconventional technology*, Proc., 27th Con. on Productive Mechanical Engineering of Yugoslavia, Niska Banja, CD-SPMJ, 2000.
- [2] JEVTIC M. B., *Investigation of modeling and simulation of subsystem for puls electrical discharge in water and in the special inductor*, Proc., on 25th JUPITER Con., Belgrade, 1999, pp. 3223.
- [3] JEVTIC M. B., *Investigation of a high velocity unconventional procedure and technology*, Proc., on 21st JUPITER Con., Faculty of Mechanical Engineering of Belgrade, Belgrade, 1996, pp. 3217.
- [4] JEVTIC M. B, MILJANIC P., *Investigation and development of the high velocities technologies*, Proc., Con. on Productive Mechanical Engineering of Yugoslavia, Budva, 1996, pp. 339.
- [5] JEVTIC M. B., *Metal forming by electrohydraulic technology*, Proc., on 1st Inter. Sym. of Industrial Engineering-SIE-96, Faculty of Mechanical Engineering of Belgrade, Belgrade, 1996, pp. 325.
- [6] JEVTIC M. B., *Electrohydraulic method*, Proc., on 1st Inter. Sym. of the Heavy Machine Building Industry, Faculty of Mechanical Engineering of Kraljevo, Vrnjaska Banja, 1993, pp. 382.
- [7] JEVTIC M. B, MILJANIC P., *Results of investigation and development of the puls technology*, Proc., Con. on Productive Mechanical Engineering of Yugoslavia, Beograd, 1994, pp. 113.
- [8] JEVTIC M. B., MILJANIC P., *Investigation and development of electromagnetic technology*, Proc., on 25th Con. on Productive Mechanical Engineering of Yugoslavia, Beograd, 1994, pp. 120.
- [9] JEVTIC M. B., *Investigations, development and application of new theory of vibrations caused by temperature for turbogenerators*, Proc., on XL Int. Sym. on Electrical Machines-SME 2004, Polish Academy of Science and Warszawa University, Electrotechnical Faculty, Hajnovka, Poland, 2004, pp. 123.
- [10] JEVTIC M. B., *Thermal influence on turbogenerator dynamic behavior*, Proc., on XLII Int. Sym. on Electrical Machines-SME, Polish Academy of Science and AGH University of Science and Technology, Cracow, Poland, 2006, pp. 195.
- [11] JEVTIC M. B., *Research development and application of new theory of vibration*, Int. Jour. of Engineering and Automation Problems, ISSN 0234-6206, Moscow, 2004, Vol. 2, pp. 44.
- [12] JEVTIC M. B., *Thermal influence on turbogenerator dynamic behavior*, Int. Jour. IEEE, Electrotechnics and Electronics Electronics, Vol. 25, ZESZYT2, Cracow, Poland, 2006, pp. 157.

Autori: Dr Milenko Jevtić, Prof. dr Duško Sunarić, Dr Nedeljko Stojnić, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Zavod za naučnoistraživački rad i informatiku, Jaroslava Černog 80, 11226 Pinosava, Beograd, Srbija, Tel: +381 11 390 8385.

E-mail: milenko.jevtic@jcerni.co.yu
 sukki@eunet.yu
 stojnic.nedeljko@gmail.com

Kovač, P., Šidanin, L., Savković, B., Wannasin, J., Rajnović, D.

UPOREDNO ISTRAŽIVANJE PROCESA NASTAJANJA STRUGOTINE PRI OBRADI LEGURE NA BAZI ALUMINIJUMA

Rezime: Proces rezanja metala je praćen velikom plastičnom deformacijom i pukotinama. U radu su izučavani uzorci korena strugotine dobijeni brzim zaustavljanjem procesa rezanja podeutektičke Al-Cu legure. Cilj je bio izučavanje uticaja različite mikrostrukture, dobijene konvencionalnim livenjem i legure izmenjene u polutečnom stanju na proces nastajanja strugotine. Mikrostruktura je ispitivana svetlosnim i skeniranjem elektronskim mikroskopom. Vrste strugotine su klasifikovane na osnovu mehanizma nastajanja i širenje prslina. Dobijena je kvazikontinualna strugotina sa delimičnom pojavom naslage. Naslaga na alatu je telo sastavljeno od visokodeformisanih slojeva materijala. Vrh naslage je nestabilan i povremeno se odvaja što ima za posledicu loš kvalitet obrađene površine.

Glavne reči: proces rezanja, nastajanje strugotine, struktura materijala

COMPARATIVE INVESTIGATION OF CHIP FORMING PROCESS DURING ALUMINIUM ALLOY MACHINING

Abstract: For number of alloys the process of metal cutting is accompanied by extensive plastic deformation and fracture. Quick stop sectionals samples of the chip formation of hypoeutectic Al-Cu alloy have been studied in order to determine the influence of differences in as conventional cast microstructure and semi solid metal microstructure on chip formation process. The type of chip formation is classified according to the mechanism of crack formation and propagation. During milling, in all specimens used, quasi-continuous chips with built-up edge are obtained, while during turning, quasi continuous and discontinuous chips with build-up edge are formed. The BUE is high deformed body. The top of the BUE is only semi stable and periodically breaks away giving rise to a poor workpiece surface integrity.

Key words: cutting process, chip formation, material structure

1. UVOD

Proizvodni procesi u industrijskim sistemima metaloprerađivačke delatnosti ostvaruju se brojnim vrstama obrade, među kojima obrada rezanjem zauzima značajno mesto. Od svih operacija koje se koriste za oblikovanje metala, rezanje je operacija sa najrazličitijim uslovima obrade. Rezanjem se obrađuju skoro svi metali i legure, meki i tvrdi, liveni ili kovani, plastični ili krti, sa visokom ili niskom tačkom topljenja. Ovom obradom se proizvodi većina delova koji se koriste u inženjerstvu. Prema tome, obradljivost predstavlja osnovnu tehnološku karakteristiku kojom se izražava pogodnost obrade nekog konstrukcijskog materijala najekonomičnijim metodama.

U radu akcenat je, pre svega, stavljen na posmatranje i analizu promena u strukturi materijala koji se obrađuje, kao i na posledice procesa lokalizovane plastične deformacije unutar same zone rezanja. [1.2].

Istraživanje metalnih materijala je u svetu usmereno u dva pravca: na stvaranje novih materijala i na usavršavanje postojećih. Aluminijum je metal koji je najčešće zastupljen u zemljinoj kori (7,5%), i spada u grupu lakih metala čija je specifična težina 2,7 mg/m što je 1/3 od specifične težine čelika. Otporan je prema koroziji i ima visoku električnu provodljivost. Legure aluminijuma dodatno pospešuju već i ovako dobra mehanička svojstva aluminijuma. Stoga je potrebno usmeriti istraživanja u primeni i zadovoljavajućoj obradljivosti ovih legura.

Pogodna obradljivost legura Al-Cu zavisi pre svega od oblika, veličine i raspodele eutektičke faze Al_2Cu , koji se nalaze raspoređeni u osnovnoj mikrostrukturi materijala [2.3].

Značajne osobine obrađenih mašinskih delova (već, čvrstoća, itd.) zavise ne samo od konstruktivnih oblika i tačnosti izrade dela već i od stanja površinskog sloja dela posle obrade rezanjem. Većina parametara i pojava u procesu

rezanja, kao što su stanje i kvalitet površinskog sloja, temperatura rezanja, otpori rezanja itd. su tesno u vezi sa nastajanjem i geometrijom strugotine.

U radu su izučavani uzorci korena strugotine dobijeni brzim zaustavljanjem procesa rezanja podeutektičke Al-Cu legure. Cilj je bio izučavanje uticaja različite mikrostrukture, dobijene konvencionalnim livenjem i legure izmenjene u polutečnom stanju na proces nastajanja strugotine.

Ovaj rad predstavlja deo kontinuiranog programa istraživanja uticaja sastava i mikrostrukture materijala u procesu formiranja strugotine u toku obrade koji je iniciran na Institutu za proizvodno mašinstvo, FTN, u Novom Sadu.

2. MATERIJAL I EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

2.1. Eksperimentalna procedura

Analiza uticaja procesa nastajanja strugotine na stanje obrađene površine je izvršena pri obradi aluminijumske legure čiji je nominalni hemijski sastav dat u tabeli 1.

oznaka legure	osnovni element	Cu	Fe
2024	Al	4.4	0.17

Tabela 1. Hemijski sastav obrađivanog materijala u %

Korišena je legura aluminiju-bakar (Al 4.4% Cu), s tim da je jedan deo materijala liven konvencionalno, imao čistu dendritnu mikrostrukturu, dok je kod drugog izvršeno razbijanje dendrita rastopljenog metala u takozvanom polutečnom stanju, radi dobijanja sitnozrne mikrostrukture. Ovaj drugi način dobijanja materijala naziva se polučvrst metal - "Semi Solid Metal" (SSM).

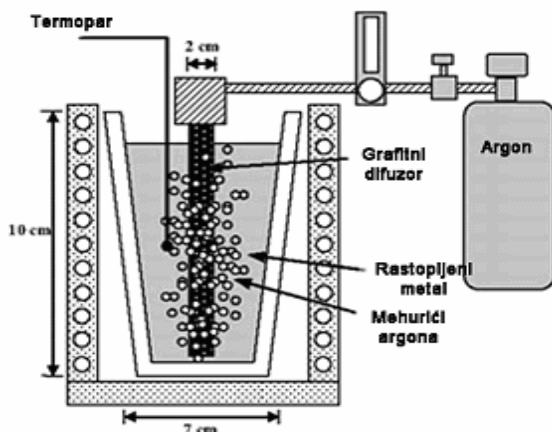
Obrada je vršena na vertikalnoj glodalici, sa alatima od tvrdog metala, bez primene sredstva za hlađenje i podmazivanje. Korišćena je metoda brzog zaustavljanja procesa rezanja ("quick-stop" metod) koja je razvijena na Institutu za proizvodno mašinstvo, FTN u Novom Sadu.

Za mikrostrukturnu analizu, uzorci su pripremani za svetlosno i skenirajuće elektronsko mikroskopsko posmatranje standardnom metalografskom tehnikom i ispitivani su Leitz-Orthoplan svetlosnim mikroskopom (LM) i JEOL JSM 6460 LV skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) pri naponu od 25 kV.

2.2. Postupak dobijanja SSM mikrostrukture

Postoje više metoda procesiranja za dobijanje SSM. "Thiocasting" i "Rheocasting" su dve najstarije metode. Najnovija metoda je uduvavanjem mehurića argona u metal dok se on nalazi u polu tečnom stanju. Ovom metodom se postize umnožavanje zrna fragmentacijom dendrita.[4,5]

U ovom postupku mehurići gasa su uzbukivali rastopljeni metal tokom inicijalne faze očvršćavanja.



Slika 1. Šema aparature za uvođenje gasnih mehurića

Kod ove konfiguracije je korišćena porozna grafitna šipka kao difuzor gasa da bi se dobili fini mehurići argona. Difuzor je povezan na rezervoar argona opremljen meraćem protoka, dok se termoparom kontroliše temperatura legure tokom eksperimenta. Temperatura topljenja (pregrevanja) je iznosila 638°C, dok je temperatura očvršćavanja bila 502°C

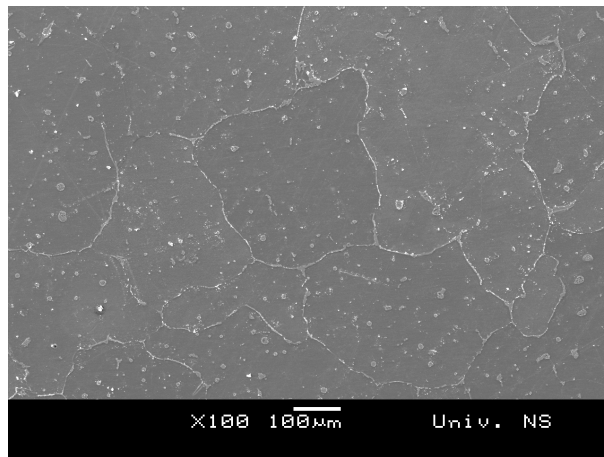
Ustanovljeno je da postoji optimalni opseg veličina protoka gasa. Iz praktičnih razloga, protok gasa ne bi trebao biti prevelik, da bi se izbeglo rasprskavanje rastopa. Međutim, on mora biti dovoljno velik, da bi se obezbedilo dovoljno strujanje u rastopu. Takođe je utvrđeno da rastopi veće zapremine zahtevaju spoljno hlađenje tokom procesa da bi brzina hlađenja bila dovoljno velika.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

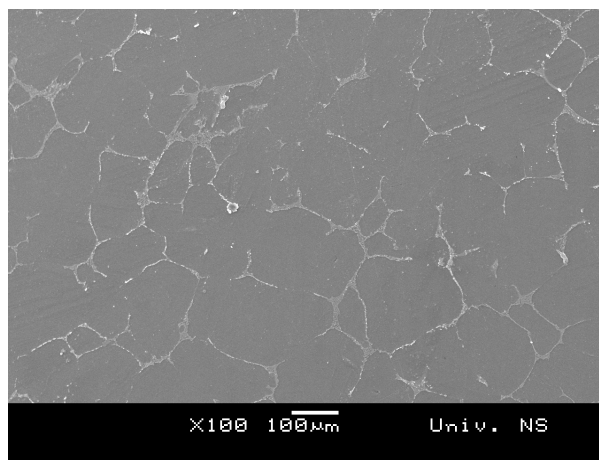
Tipična mikrostruktura ispitivanih uzoraka dobijenih konvencionalnim livenjem, i izmenom u polutečnoj fazi prikazana je na slici 2. a i b, respektivno.

Mikrostruktura se kod obe legure sastoji iz: α čvrstog rastvora i faze Al_2Cu .

Na prikazanim slikama α čvrsti rastvor se vidi kao najkrupnije zrno u strukturi. Po granicama zrna smeštena je faza Al_2Cu u vidu sivkaste mase. Legura aluminijuma livena konvencionalnim putem ima krupniju strukturu (α čvrsti rastvor) nego SSM. Količina eutektikuma je različita i veća je kod SSM, što je povezano sa zrnastom mikrostrukturom i razbijanjem dendrita gasom argona.

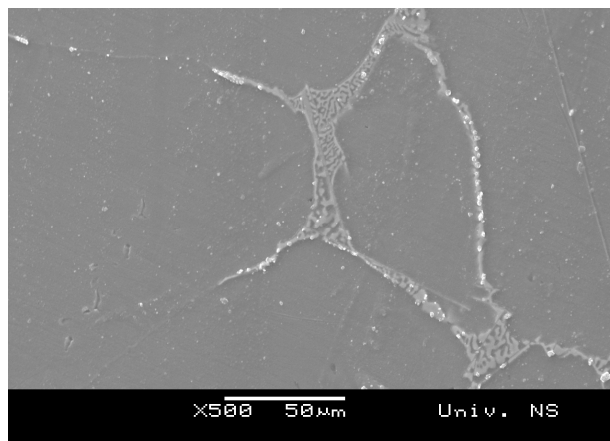


Slika 2.a. Mikrostruktura konvencionalne livene legure



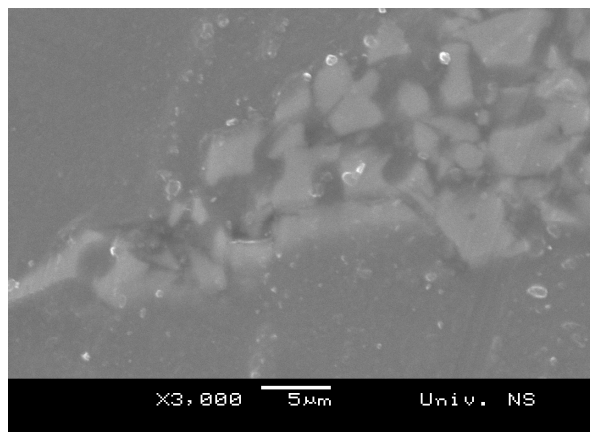
Slika 2.b. SSM mikrostruktura

Slika 3. pokazuje povećanu količinu eutektikuma oko zrna α faze pri promenjenoj mikrostrukтури kod SSM. Količina eutektikuma je u znatnoj meri povećana u odnosu na početni materijal, slika 2.a. Količina bakra u eutektikumu iznosi oko 33%.



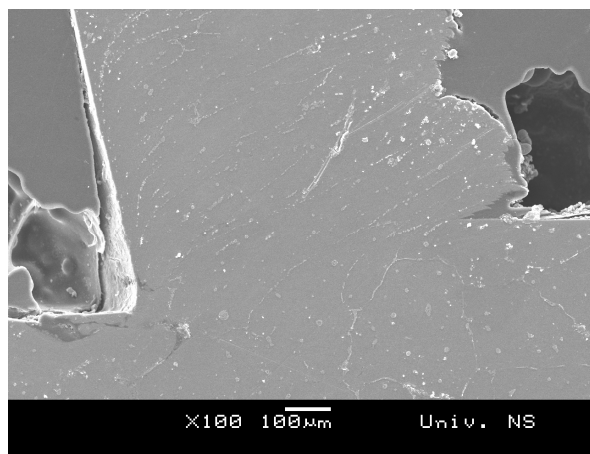
Slika 3. Eutektikum oko α čvrstog rastvora

Eutektikum pospešuje nastanak pukotina i procesa rezanja. Koaleksencija mikrošupljina i nastanak mikropukotina kao i njihov uticaj na oblik strugotine zavisi u prvom redu od veličine eutektikuma, slika 4.

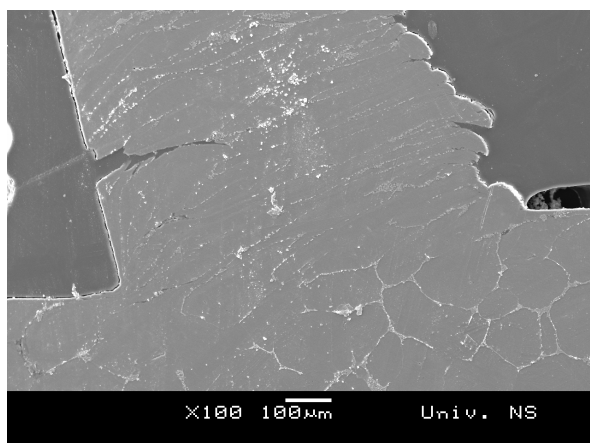


Slika 4. Mikrošupljine u eutektikumu

Uzorci korena strugotine su prikazani na slikama 5 a,b. dobijeni su glodanjem pri brzini rezanja $V=27.71\text{m/min}$ i pomaku po zubu $S_1=0.562\text{ mm/z}$, za oba materijala. Na slikama se vidi da se proces rezanja sastoji iz intenzivne plastične deformacije u primarnoj i sekundarnoj zoni smicanja i procesa loma.



Slika 5. a. Koren strugotine sa naslagom na vrhu alata kod konvencionalnog livenja



Slika 5. a. Koren strugotine sa tragom pucanja strugotine kod SSM

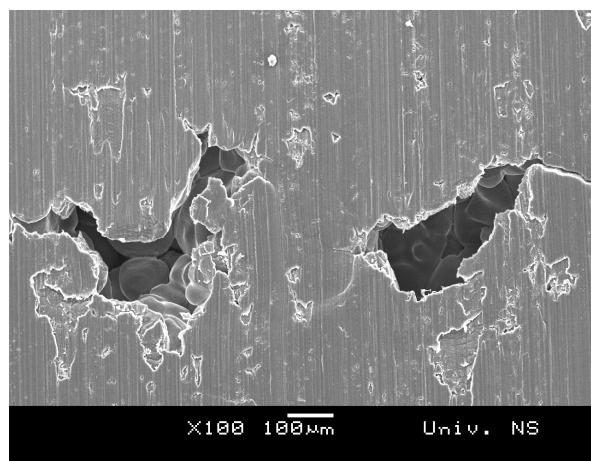
Pravac deformacije strukture je pod većim uglom u odnosu na ravan smicanja, što je u skladu sa poznatim modelima nastajanja strugotine i razlikuje se od uslova obrade. U strukturi strugotine mogu se uočiti izdužena deformacija zrna pod dejstvom sila rezanja.

Smicanje materijala i pojava pukotina ide po granicama

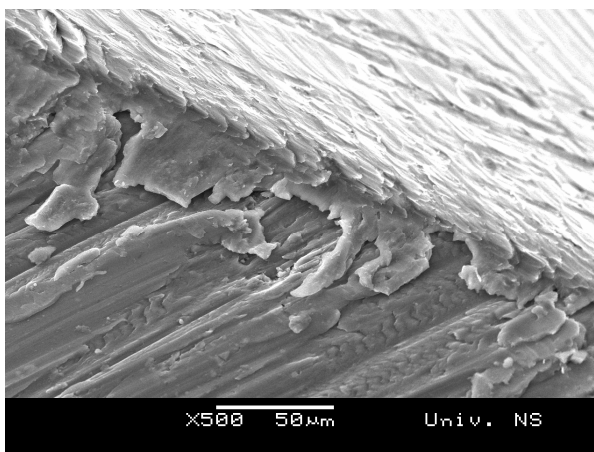
zrna odnosno po eutektikumu oko α čvrstog rastvora. Sa slike 5.a vidimo da su tragovi granice zrna plastično deformisani u pravcu ravni smicanja i na mnogo većem rasojanju u odnosu na koren strugotine sa slike 5.b. Takođe vidimo da kod drugog uzorka pre dolazi do pucanja strugotine. Stoga možemo zaključiti da se on lakše obrađuje pod istim režimima i uslovima rezanja.

Pored mikrostrukture metelne osnove, veliku ulogu u procesu plastične deformacije imaju oblik, veličina i procenat zarobljenog, ne izbačenog argona u metalu. Ovi mehurići stvaraju uslove za koncentraciju napona, stvaranje mikroprrsline i mikrošupljina (slika 6.) koje olakšavaju proces nastajanja strugotine i njeno lomljenje.

Kod većine uzoraka strugotina je kontinualna sa krupnijim ili sitnijim lamelama i lako je lomljiva.



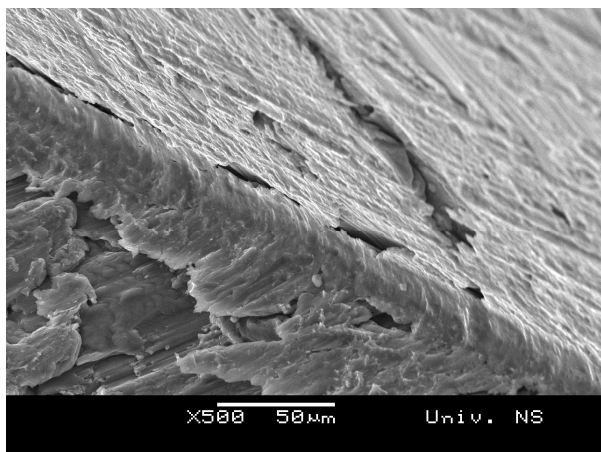
Slika 6. Obradena površina sa mikrošupljinama i tragovima rezanja



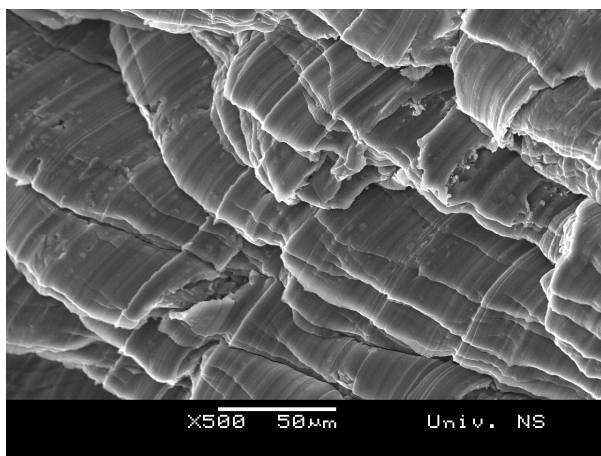
Slika 7. Naslaga na vrhu alata kod konvencionalnolivene legure

Tokom obrade ovih uzoraka, Al-Cu legura, navedene mikrostrukture i režima rezanja nastaje naslaga na alatu (što je tipično za aluminijum).

Identifikovana naslaga je ustvari polustabilni deo ispitivanog materijala, koji je kontinualno spojen sa obrađenom površinom i strugotinom. Pomoću SEM je utvrđeno da je samo vrh naslage polustabilan i periodično se odvaja. Sa slike 7. i 8. vidimo da SSM ima stabilniju i kontinualniju naslagu na vrhu alata sto daje delimično bolji kvalitet obradjene površine, ali ne i tačniji u pogledu dimenzija.



Slika 8. Naslaga na vrhu alata kod SSM



Slika 9. Slojevitost strugotine kod SSM

Sa slike 9. vidimo veliku slojevitost strugotine, sto je posledica razbijanja dendrita i stvaranja sitnozrne strukture po čijim granicama zrna teče strugotina.

4. ZAKLJUČAK

Kvalitet obrađene površine nije povoljan, zbog pojave naslage na vrhu alata.

Oblik strugotine zavisi u prvom redu od morfologije i količine eutektikuma. Veća količina eutektikuma kod legure SSM pospešuje koalesenciju mikrošupljina i nastanak mikropukotina, što uzrokuje lakšu obradu pri istim režimima rezanja u odnosu na konvencionalno livenu leguru.

LITERATURA

- [1] Kovač P., Šidanin L.: *Influence of Chip Formation on Machining Surface Integrity*. Tribology in Industry, XVII, No 1, Kragujevac, 1995.
- [2] Smallman R. E. *Metals and Materials, Science Processes, Application*, London, Butherworth, 1995, 6.
- [3] Kovač P., Šidanin L.: *Vplyv procesu tvorenia triesky na stav povrchovej vrstvy*. Intertribo'96, Visoké tatry, 1996.
- [4] Martinez R.A., *Formation and Processing of Rheocast Microstructures*, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, June 2004.
- [5] Wannasin J., Martinez R.A., Flemings M.C. : *A Novel Techniqe to Produce Metal Slurries for Semi-Solid Metal Processing*, *Solid State Phenomena Vols 116-117*, 2006, pp 366-369

Autori: Prof. dr Kovač Pavel, Prof. dr Leposava Šidanin, dip ing.-master Savković Borislav, Mr Dragan Rajnović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495. **Lec dr Jssada Wannasin.** Prince of Sonakla Univerzity Faculty of Engineering., Departmant of Mining and Materials, Hot Yoi Thailand, Tel: + 66 7428-7312, Fax: + 66 7421- 2897.

E-mail: pkovac@uns.ns.ac.yu
lepas@uns.ns.ac.yu
savkovic@uns.na.ac.yu
jessada.w@psu.ac.th
draganr@uns.ns.ac.yu

Kuzinovski, M., Trajčevski, N., Cichosz, P.

AUTOMATION OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF PHYSICAL PHENOMENA IN CUTTING PROCESS BY MACHINING WITH TURNING

Abstract: The study presents procedure performed at projection and realization of experimental scientific-researches. Special accent is placed on the introduction of automation thereby increasing experimental research effectiveness and quality through integration of measuring and control systems by application of computer technique. Automation is described through a created automated monitoring system for experimental researches of temperature and forces in cutting process by machining with turning.

Key words: automation; forces; temperature; cutting; turning.

AUTOMATIZACIJA EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA FIZIČKIH POJAVA U PROCESU REZANJA PRI OBRADI STRUGANJEM

Rezime: U ovom referatu predstavljeni su postupci koji se izvode pri projektovanju i realizaciji eksperimentalnih naučnih istraživanja. Uvođenjem automatizacije u svim fazama projektovanja i realizacije naučnih istraživanja uvećava efikasnost i kvalitet eksperimentalnih istraživanja integrirajući merne i upravljačke sisteme sa primenom kompjuterske tehnike. Automatizacija je opisana na realizovanom automatiziranom monitoring sistemu za eksperimentalna naučna istraživanja temperature i sile u procesu rezanja pri obradi struganjem.

Ključne reči: avtomatizacija, sile, temperatura, rezanje, struganje.

1. INTRODUCTION

High scientific development stage nowadays contributes to intensifying and expansion of scientific researches, increase of number of engaged researchers and cost increase for their implementation. Experimental scientific researches have significant meaning in comparison with theoretical scientific researches. Theoretical researches are characterized with a large number of approximations and difficulties at defining limit conditions and precise description of changes in the research process by means of mathematic models [2]. Thereof outcomes the justification for automation implementation for experimental researches whereof is expected: saving of time, necessary for performing scientific researches; presentation of experiment results in a form suitable for fast implementation in the industry; cost reduction for performing scientific experimental researches; cost reduction for power supply, compressed air and other sources by means of automation of management of output values at given regime; cutting down engaged personnel in experimental researches, creating possibilities for performing new types of experimental researches, finding optimal solutions for given task, creating economically justified technologies, machines with high technical properties, high quality materials, etc.; high system safety for performing experimental researches, provision of conditions for gaining precise and secure information at minimum number of experiments and excluding the possibility for occurrence of an undesired break of experimental project until the moment of gaining necessary information; easy adjustment towards modified conditions in next researches and multiple use of equipment for performing various experimental researches as result of structural flexibility of system for automation; multiple time saving, necessary for experiment performing as result of the large informativeness of automatic systems; creating conditions for larger creativity as result of time saving and raising quality level by automation of all processes that are characterized with large manual

engagement and full release of manual activities [5].

2. POSSIBILITIES FOR AUTOMATION OF EXPERIMENTAL SCIENTIFIC RESEARCH STAGES

Stages of experimental scientific researches are shown on Fig. 1 [3]. First activity is adoption of correspondent language with strictly defined terms, stage (1), which serve for describing the problem analyzed. Defined language terms provide performing quantitative measurements at certain quantities, which are not always directly measurable. For defining the numerical values of those quantities, it is necessary to find the relations that provide their intermediate quantitative interpretation. In following stage, the experimenter selects correspondent methods and measurement technique (2). The experimenter then has an ability to act on the subject and perform measurements of correspondent output quantities. Output and input quantities are concrete values of physical quantities. In third stage (3) the experimenter has a possibility to determine the research aim, recording it in the form of a function and also defining input and output quantities. Analysis of experiment hyperspace that represents real mathematical model of input and output in terms of input and output quantities follows. This is realized by application of dimensional analysis. The requirements for dimensional independence of input variables are fulfilled then selected function can be considered as quantitative-qualitative function (4). In stage (5), the function form is selected as: - function with given form; - function selected of the function menu; - differential equation with given form and differential equation selected of the equation menu. Follows determination of the domain interval of independent variables where the experimenter reaches decisions based on own experience, consultations with experts and literature (6).

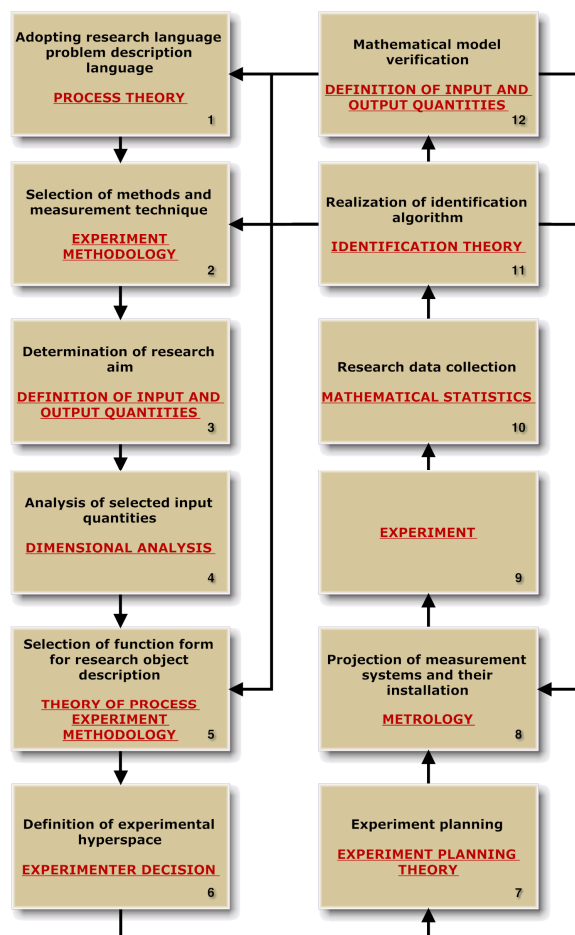


Fig. 1. Stages of activities of the experimenter at projection and realization of experimental scientific researches

In defined hyperspace measurement points are determined i.e. experiment is planned (7). Experiment planning is possible to be performed in two modes. First mode is plan issue prior experiment performing and its realization against plan, independent of received information. Second mode is so called planning in real time, when plan modifications are forecasted, even modifications to its strategy, dependent on gained information in measurement process. This mode requires higher automation level of whole experiment and application of fast computers with large memory. Functions for data collecting, planning, commanding control systems and data transforming have to be linked and performed mutually. Such planning is rather more rational. Taking into account information gained of (2) and (7), measurement systems are selected and installed (8). Whole project of measurement system is possible to be performed against experiment planning, since then the number of necessary accessories is known. Selection of accessories, measurement systems and methods and measurement techniques that influence the value of evaluated parameter in the model is crucial for measured values accuracy. Prior experiment performing, the experimenter knows required accuracy for process description and permitted error, as well as the form of the condition against which the gained mathematical model shall be verified. Then, the experimenter applies correspondent algorithms, programs and technical means. Automation of all activities is not possible, if specifics of the task and the significant portion of heuristic procedures are taken into account. Here welcomed is the dialogue of the experimenter with the computer, which is supplied with programs and correspondent units for input and output. Experiment projection, actually, represents a whole of

experimenter activities till the moment when he/she can perform the experiment; these are the activities from (1) to (8). Technical realization is performed by connecting measurement systems and control systems to a computer. During experiment performing, signal transfer from measurement systems onto computer is necessary all with the purpose of data memorizing and providing transfer of numerical signals from computer towards control units with executive organs. For the purpose, most applied are analogue-digital and digital-analogue converters. By program support and correspondent technical systems installation realization of following functions is provided: transforming and transferring of recorded measurement results; experiment management, including experiment planning as well as management of technical means of experimental apparatus, providing experiment automation; dialogue of the experiment with the system, which provides interventions during research and its results transforming. Once these activities are performed, experiment realization is possible to be performed (9). Measurement data are collected in a certain mode, when two possibilities exist, collection of statistically unverified data and collection after correspondent statistical processing (10). Experiments are necessary to be made, which shall inform us at which stage and in which case the experiment is possible to be trusted. Based on certain statistical procedures, whole program libraries are built that serve for measured values verification. Those programs can be used at measurement result transforming, which measurement results are recorded by means of a computer, and also can be applied for measurement management at recurrence of statistical measurements in order to gain the estimators of average values and the dispersion with correspondent characteristics. In such cases, it is more suitable only to memorize estimators of required quantities, not the measurement results. Further on, measurement results are processed in compliance with the algorithm of the identification theory (11). Algorithm of identification is performed by application of correspondent programs. After each change of function degree within the frames of its class, for example, class of polynomials, it is checked whether number of adopted measuring points during planning is larger than the number of required parameters in the function. If this non-equation is not met, than planning is repeated. If possible function degrees and measurement basis are spent and the gained mathematical model accuracy requirements are not thereby met, then it is returned to procedure (5), selecting another function form. If identification procedure with a return path does not lead to reaching "correspondently accurate" model, then have to return to procedures (2) and (8), analyzing measurement methods and measurement technique, or to the activities (1). In the last case, the experimenter concludes inadequacy of process describing with reality, and mostly that it misses some dimension in the description that significantly influences the experiment trend. In the end, reached mathematical model is verified and accuracy against which it describes experiment results in defined experiment hyperspace is checked, but not only in the measuring points (12). In cases when accuracy is smaller than prescribed one further procedure is identical as in stage (11).

3. PROPERTIES OF CREATED SCIENTIFIC-RESEARCH EXPERIMENTAL SYSTEM

Stages of experimental scientific researches found full verification by practical realization of automated scientific-research monitoring system for investigation of force and temperature in cutting process by machining with turning. Monitoring system is created at the Mechanical Faculty in Skopje, Fig. 2 [6]. It includes :

- Personal Computer (PC) interface, intended for adjustment and acquisition of signals, concluded of 5-component amplification unit and data acquisition card, Fig. 3;
- MS Windows based software package for PC, Fig. 4;
- modernized analogue inductive dynamometer for force value measurement ;
- two paths for temperature measurement that use the method of natural thermo-couple, made by an device designed by professor D-r Mikolaj Kuzinovski [4] and an device of the program *Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH*, which are placed on the workpiece side and the contact on the cutting tool through specially designed cutting tool holder.

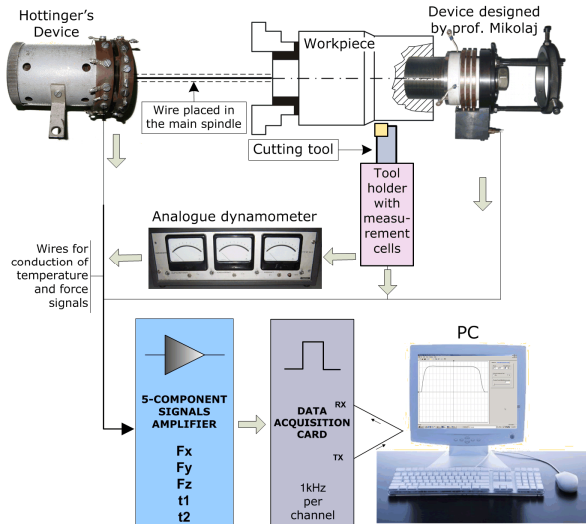


Fig. 2. Scheme for element connection of the forces and temperature monitoring system

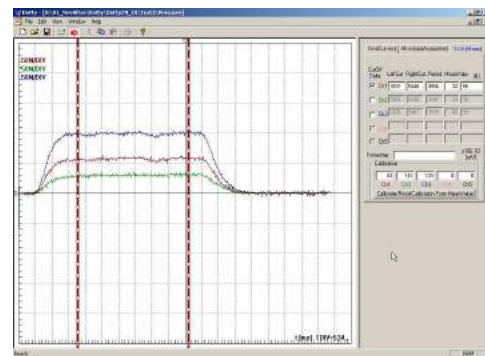
For force measuring, the monitoring system uses an analogue inductive dynamometer type FISHER MESSTECHNIK TYP EF2 D3 NR 24570, which consists of cutting tool holder with inductive measurement cells for transforming forces into voltage. For temperature measurement the method of natural thermo-couple is used, which consists of workpiece and cutting tool. The generated thermo-voltage is possible to be conducted against two paths. One path, for signal conducting from workpiece, uses a device designed by prof. d-r Mikolaj Kuzinovski, which is applied in cases when signal can not be conducted from the side of the clamping head through main spindle. Other path for signal conducting from machined part uses Hottinger's device and is applied when having a concave main spindle. The interface between signal source and (PC) consists of 5-channel signal amplification unit and an data acquisition card. Signal amplification unit has three roles as part of the interface. Initially, amplifies thermo-voltage that is generated of natural thermo-couple workpiece-cutting tool and dynamometer signals till necessary level. Second role is galvanic separation of circuits with thermo-couples from circuits that exists on the acquisition card and PC. The role of galvanic separation is protection of circuit power surges that can damage this part of measurement system. Third role is removal of circuit effect between acquisition card and the circuit with thermo-couples and dynamometer. Acquisition card integrates a microchip microcontroller with code PIC 16F877 and accompanying electrical components for support. Microcontroller has a built in 10-bite A/D converter and the generator frequency of 20 MHz is used. Microcontroller contains an installed module for serial synchronic and

asynchrony communication in both directions simultaneously with a possibility for easier adjustment of communication speed. Communication speed of 115200 bps is used for communication with PC. The frequency of sample taking is 1 kHz for each channel individually.

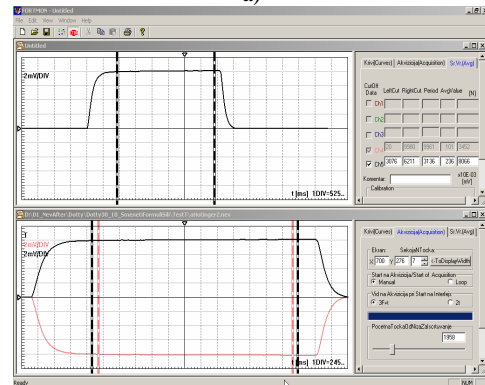


Fig. 3. Prototype version of the PC interface

Software that we developed for monitoring system has abbreviated code FORTMON (full version. **FOR**ce & **TEMP**erature **MON**itoring), Fig. 4. Left part is intended for graphic interpretation of forces and thermo-voltage dependent on time, while as right part contains dialogue window with many controls. It provides: real time-monitoring, software calibration, acquisition management, multi-tasking, resolution adjustment, more analysis simultaneously, operations over curves, opened code, data recording, adjustments recording, graphics exporting, selection of value of axis divisions, etc.



a)



b)

Fig. 4. Application FORTMON a) determining average value of force components b) determining average value of temperature

Force measurement system calibration is performed in a way that it is loaded with established force in direction of certain component action and monitoring system results are read, Fig. 5. After table issue with correspondent values, same are graphically analyzed and the model of force dependence of monitoring system readings is created. After model implementing in the software package, readings can be

expressed in force measurement units.



Fig. 5. Measurement system calibration by loading with established force

For experiment planning automation and results processing, until mathematic model creation the tool *Model-Based Calibration(MBC) Toolbox Version 1.1*, is used, which is part of the software package of *Matlab* and is intended for experiment design and statistical modeling. Fig. 6 shows example of gained mathematical model that resulted of statistical processing of gained results of the experiment by use of MBC in the scope of presented input parameters.

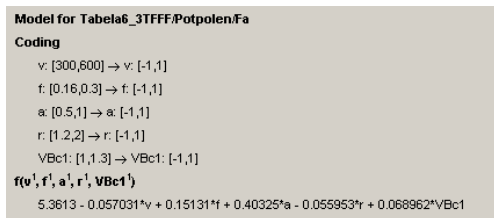


Fig. 6. Presentation of gained mathematical model - MBC

Use of MBC possibilities provides significant advantages in experimental researches in this field [1]. MBC provides also graphical interpretation of results, Fig. 7.

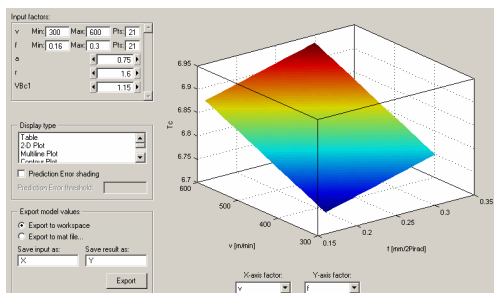


Fig. 7. Graphical interpretation of mathematical model - MBC

4. CONCLUSIONS

1. Application of automated monitoring system in experimental researches wholly justifies the idea of its creation, especially due to the fact that during research by application of newly created monitoring system many output quantities in real time, which describe the subject of research, are simultaneously identified. In this case, these are the temperature and resulting force in cutting process expressed through tangent, axial and radial component. This provides performing more creative activities by the experimenter as analysis of applied methods for experiment planning, analysis of gained results, definition of experiment error, analysis of gained mathematical models for description of subject of

research and verification of same.

2. Created monitoring system characterizes by opened access towards software and hardware components, thereby providing analysis of adequacy of selected hardware components and software solutions in function of signal acquisition.

3. It is determined that it is appropriate to perform upgrade and modernization of old systems by adding electronics and software.

4. Verification of experimental methods and applied methodology for experimental research showed coinciding of gained results of researches with results gained from researches performed at Wroclaw University of Technology, Poland, against same conditions.

5. Computer aided process of physical phenomena investigation in cutting process makes the informative database creation easier with information for processing of various machined materials and various cutting materials. In this way, pre-conditions are created for optimum selection of processing parameters and management of mechanical and heat model for creation of residual stresses that affect the surface layer properties.

6. Automation contributes for reduction of uncertainty of results gained from performed measurements and determination of the effect of certain factors, for the purpose of reduction or elimination of their negative influence on research hardware equipment and software.

7. Possibilities are created for performing continuous monitoring system development activities.

5. REFERENCES

- [1] Jurković, Z., Jurković, M.: *Modeling and simulation of the cutting force using experimental data*, 7-th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", TMT 2003, pages 81-84, Lloret de Mar, Barcelona, Spain, 15-16 September, 2003.
- [2] Kuzinovski, M., Pavlovski, V., Zebrovski, H.: *Automation of experimental research in science and technics*, Proc. Fac. of Mech. Eng., 12, pages 5-12, Skopje, 1992.
- [3] Kuzinovski, M., Pavlovski, V., Zebrovski, H., Cichosz, P.: *Development of methods and laboratory equipment for performing analytic-experimental researches in the field of machining process*, Ministry of Science of Republic of Macedonia, 1995-1997.
- [4] Kuzinovski, M.: *Device for signal conduction during temperature measurement*, Patentno rešenje br.62/96, delovoden broj 09 6287/1, od 27.12.1996. PATENT MKP B23Q 11/14, G01K 13/08, 900602 od 30.09.2000, pages 2-58, Glasnik IPPO, 7/3, Skopje, September 2000.
- [5] Ордынцев, В. М.: *Системы автоматизации экспериментальных научных исследований*, Машиностроение, Москва, 1984.
- [6] Trajčevski, N.: *Monitoring system in experimental investigation in machining with turning*, Master thesis, Skopje, February 2008.

Authors: Prof. Kuzinovski Mikolaj, PhD, University "Ss. Cyril and Methodius", Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, Republic of Macedonia. Trajčevski Neven, MSc, Ministry of defence, MP4420 Skopje, Republic of Macedonia. Prof. Cichosz Piotr, DSc, Institute of Production Engineering and Automation of the Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland.

E-mail: mikolaj@mf.edu.mk
neven.trajchevski@gmail.com
piotrc@itma.pwr.wroc.pl

Pejić, V., Mišić, B.

SAVREMENE METODE U OPTIMIZACIJI OBRADNIH PROCESA

Rezime: Savremene metode u optimizaciji obradnih procesa, prema pojednostavljenoj klasifikaciji, dele se na metode modelovanja odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara i metode određivanje optimalnih ili približno-optimalnih rešenja u optimizaciji obradnih procesa.

U ovom radu je dat pregled samo nekih, najčešće korišćenih metoda u optimizaciji obradnih procesa, bez analiziranja kriterijuma za primenu istih.

Ključne reči: metode modelovanja, metode optimizacije, obradni procesi.

UP TO DATE METHODS IN CUTTING PROCESSES OPTIMIZATION

Abstract: Up to date methods in cutting processes optimization, according to a simplified classification, are divided into methods of modelling relations of input-output and in-processing parameters and methods for defining of optimal or approximate optimal solutions in the cutting process optimization.

The review of just a few, the most commonly used methods in optimization of metal cutting process without analyzing their usage, has been given in this paper.

Key words: modelling methods, optimization methods, cutting processes.

1. UVOD

U osnovi pojma i opšteg značenja optimizacije sadržana je metodologija pomoću koje se određuje neki najpovoljniji rezultat ili rešenje za određene uslove. Posebni deo u teorije optimizacije, primenjene u proizvodnom mašinstvu i tehnici uopšte, čini tehnoe ekonomska optimizacija. U osnovne objekte optimizacije u mašinstvu (Slika 1.) se ubrajaju *tehnološki procesi* izrade proizvoda, *proizvodi*, odnosno *konstrukcija* proizvoda i njihovih elemenata, sistemi *projektovanja* proizvoda i njihovih tehnoloških procesa izrade i montaže i *organizacija*, odnosno *upravljanje* proizvodnjom. [9]



Slika 1. Osnovni objekti optimizacije u mašinstvu

Već odavno je poznato da uslovi u kojima se izvode procesi obrade rezanjem, kao što su: brzina rezanja, pomak i dubina rezanja, utiču kroz obradne procese na produktivnost i cenu koštanja proizvoda. Taylor F W je 1907 godine prikazao da postoji optimum ili ekonomična brzina rezanja koja može maksimizirati količinu skinutog materijala u jedinici vremena. [8]

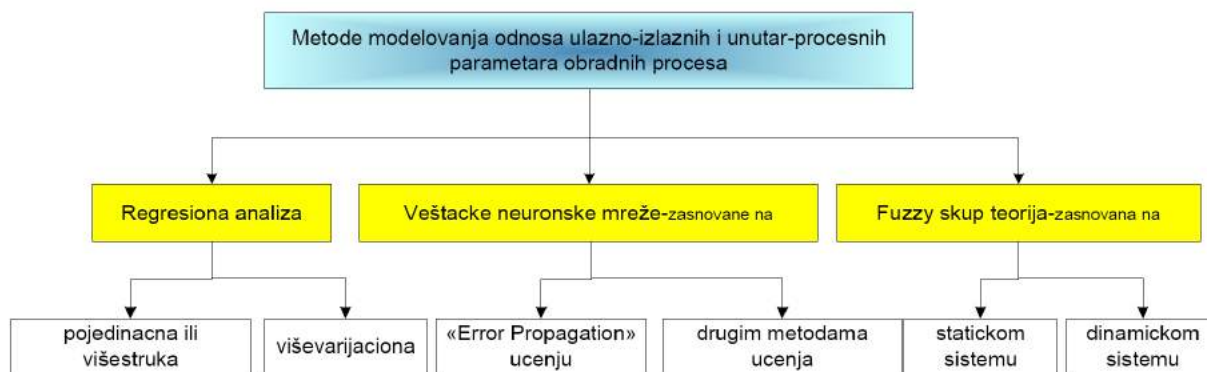
2. SAVREMENE METODE U OPTIMIZACIJI OBRADNIH PROCESA

Danas postoji mnoštvo optimizacionih metoda koje se koriste u optimizaciji obradnih procesa. Klasifikacija istih se vrši po različitim kriterijumima.

Savremene optimizacione metode treba da budu vitalni alat u stalnom poboljšanju izlaznog kvaliteta proizvoda i procesa uključujući modelovanje odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara i određivanje optimalnih reznih uslova. [2]

2.1 Modelovanje odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara

Prvi potrebn korak u tehnoe ekonomskoj optimizaciji je razumevanje principa upravljanja procesima rezanja razvijanjem eksplicitnog matematičkog modela. Na slici 2. dat je prikaz klasifikacije savremenih metoda modelovanja odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara prema [2]. Najčeće u primeni su sledeće metode: regresiona analiza, veštačke neuronske mreže i fazi logika.



Slika 2. Klasifikacija metoda modelovanja parametara

2.1.1 Statistička regresiona metoda

Regresiona analiza je metod kojim se ispituje i utvrđuje zavisnost između dve ili više promenljivih, tj. sagledava uticaj promene jedne ili više promenljivih na promenu drugih promenljivih. Pri tome su x_1, x_2, \dots, x_k nezavisno promenljive koje utiču i uslovljavaju veličinu zavisno promenljive y .

Nezavisno promenljive se u teoriji eksperimenta nazivaju faktori, a zavisno promenljiva rezultat eksperimenta. Regresiona analiza je konceptualno jednostavna tehnika za istraživanje funkcionalnih odnosa između izlaznih i ulaznih određenih promenljivih u obradnom procesu i može biti korisna za opis procesnih podataka, predviđanje parametara i upravljanje. Iako regresiona analiza može biti veoma dobra metoda za modelovanje, ova metoda ne može da opiše precizno osnovne nelinearne složene odnose između određenih promenljivih. Predhodno pretpostavljeni usaglašeni funkcionalni odnosi (kao što su linearni, kvadratni, polinomni i eksponencijalni) između izlaznih i ulaznih promenljivih su preduslovi za modeliranje zasnovano na jednačinama regresione analize.

2.1.2 Veštačke neuronske mreže

Veštačke neuronske mreže simuliraju način rada ljudskog mozga pri obavljanju datog zadatka ili neke funkcije. Veštačka neuronska mreža je masovno paralelizovan distribuirani procesor sa prirodnom sposobnošću memorisanja iskustvenog znanja i obezbeđivanja njegovog korišćenja.

Veštačke neuronske mreže podsećaju na ljudski mozak u dva pogleda:

- 1) Neuronska mreža zahvata znanje kroz proces obučavanja i
- 2) Težine međuneuronskih veza (jačina sinaptičkih veza) služe za memorisanje znanja.

Procedura kojom se obavlja obučavanje je algoritam obučavanja. Kroz ovu se proceduru na algoritamski (sistematičan) način menjaju sinaptičke težine u cilju dostizanja željenih performansi mreže.

Osnovnu računarsku snagu neuronskih mreža čini *masivni paralelizam, sposobnost obučavanja i generalizacija*.

Generalizacija predstavlja sposobnost produkovanja zadovoljavajućeg izlaza neuronske mreže i za ulaze koji nisu bili prisutni u toku obučavanja.

Veštačke neuronske mreže mogu opsluživati složene ulazno-izlazne i unutar-procesne parametarske odnose. Sposobnost učenja nelinearnog odnosa u obradnim procesima, bez dubljeg ulaska u matematičku složenost ili predhodne pretpostavke funkcionalnih odnosa ulazno-izlaznih

i unutar-procesnih promenljivih, (kao što su linearni, kvadratni, polinomni i eksponencijalni) čine veštačke neuronske mreže atraktivnim alternativnim izborom za modelovanje obradnih procesa.

2.1.3 Fuzzy logika

Fuzzy logika kao koncept je puno prirodniji nego što se to na prvi momenat misli. Naime, postoje situacije u kojima nije moguće znanje o sistemu reprezentovati na apsolutno precizan način. Da bi bili u stanju reprezentovati znanje o ovakvim sistemima (a ima ih jako puno) potrebno se odreći klasične (binarne) logike u kojoj je nešto ili tačno ili netačno (crno ili belo) i koristiti fuzzy logiku (sve je nijansa sive boje). Fuzzy skupovi su osnovni elementi kojima se opisuje nepreciznost. Naime, diskretan skup (klasičan) sadrži elemente sa istim svojstvima (skup jabuka, skup krušaka, skup celih brojeva itd.) dok fuzzy skupovi sadrže elemente sa sličnim svojstvima (skup visokih ljudi, skup niskih ljudi, skup brzih automobila itd.).

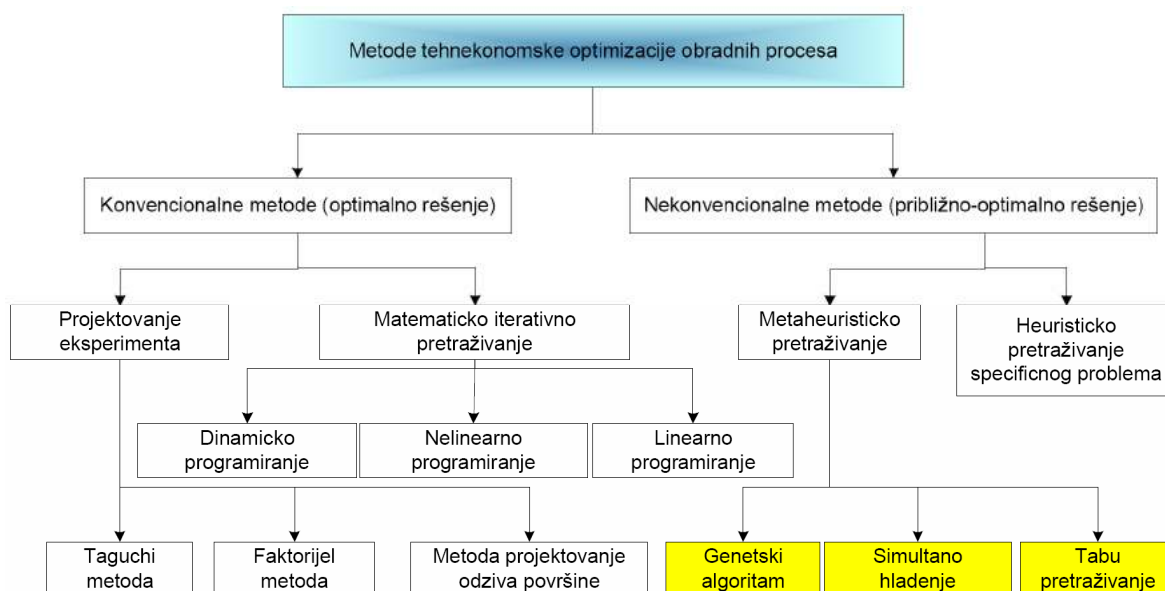
Fuzzy skupovi igraju važnu ulogu u modeliranju odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara. Modeliranje zasnovano na teoriji fuzzy skupova je generalno prioritetno kada subjektivna baza ili mišljenje eksperta igra ključnu ulogu u definisanju funkcije cilja i promenljivih. Glavni nedostaci fuzzy logike u modeliranju odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara se ogledaju u pravilima zasnovanim na ekspertskom znanju, njihovom iskustvu i osećanjima, koji nisu uvek podložni dinamičkim promenama suštine procesa rezanja.

2.2 Određivanje optimalnih ili približno-optimalnih rešenja u tehnokonomskoj optimizaciji obradnih procesa

Traženje optimalnog ili prihvatljivog približno-optimalnog tehnokonomskog rešenja odgovarajućom metodom optimizacije, zasnovane na ulazno-izlaznom i unutar-procesnom odnosu parametara ili funkciji cilja formulisanom matematičkim modelom sa ili bez ograničenja, je kritičan i težak zadatak za istraživače i praktičare.

Veliki broj metoda je razvijen za rešavanje optimizacionog problema ovog tipa i mogu se klasifikovati kao *konvencionalne* i *nekonvencionalne* optimizacione metode.

Dok konvencionalne metode pokušavaju da ponude lokalno optimalno rešenje, nekonvencionalne metode zasnovane na sporednom modelu ili razvijenoj funkciji cilja, je samo aproksimacija i pokušaj ponude približno-optimalnog rešenja. (Slika 3.) [2]



Slika 3. Klasifikacija metoda tehnoeekonomske optimizacije obradnih procesa

S obzirom na temu ovog rada, ovde je dat pregled nekonvencionalnih metoda tehnoeekonomske optimizacije.

Heurističke metode pretraživanja mogu biti korisne u slučajevima kada konvencionalne metode tehnoeekonomske optimizacije nisu podesne, kao što je problem sa visokodimenzionim prostorom pretraživanja sa više lokalnih optimuma.

Metaheurističke metode pretraživanja ili „generalizovana iterativna master strategija“ je alternativa za heuristična pretraživanja kod kojih se pojavljuje „problem specifičnosti“. Najčešće korištene savremene metaheurističke metode tehnoeekonomske optimizacije obradnih procesa su: genetski algoritam (GA¹), simulirano hlađenje (SA²) i „tabu“ pretraživanje (TS³).

2.2.1 Genetski algoritam

Genetski algoritmi (GA) predstavljaju metaheuristički metod optimizacije koji imitira proces prirodne evolucije radi pretraživanja prostora rešenja. U prirodi se neka vrsta evolutivnim procesom transformiše kako bi se prilagodila spoljašnjim uslovima koji se stalno menjaju i na taj način konkretna vrsta uspeva da opstane u surovim uslovima menjajući sebe kroz generacije.

Dobra svojstva genetskog algoritma:

- funkcija f koju treba optimizirati je potpuno proizvoljna, tj. nema posebnih zahteva kao što su neprekinutost, derivabilnost i sl.
- primenljiv je na veliki broj problema,
- struktura algoritma nudi velike mogućnosti nadogradnje i povećanja efikasnosti algoritma jednostavnim zahvatima (puno stepeni slobode),
- jednostavnim ponavljanjem postupka se može povećati pouzdanost rezultata,
- ako već ne nađe rešenje (globalni optimum), daje nekakvo dobro rešenje koje može zadovoljiti,
- kao rezultat daje skup rešenja, a ne jedno rešenje,
- rešava sve probleme koji se mogu predstaviti kao optimizacijski, bez obzira da li funkcija f koju treba

optimizirati ima za argumente realne brojeve ili bitove ili znakove ili bilo koju vrstu informacije,

- vrlo jednostavno je primenljiv na višedimenzionalnim (višedimenzionalnim) problemima,
- jednostavnost ideje i dostupnost programske podrške.
- Loša svojstva genetskog algoritma
- teško se definiše dobra funkcija dobrote na temelju f ,
- potrebno je prilagoditi GA zadanim ograničenjima,
- problem decepcijske funkcije,
- često je potrebno prilagođavanje problema algoritmu,
- teško je postaviti dobre parametre (velik uticaj parametara na efikasnost),
- ne može se postići 100% pouzdanost rešenja,
- konvergencija je znatno sporija od ostalih numerickih metoda.

2.2.2 Simulirano hlađenje

Simulirano hlađenje je kombinaciona metoda optimizacije zasnovana na slučajnim procenama funkcije cilja na takav način da je moguć prelaz van lokalnog minimuma. Ova metoda simulira proces hlađenja u kojem je supstancu zagrevana iznad temperature topljenja i tada postepeno hlađena da proizvede kristalnu rešetku, koja minimizira moguću energetska distribuciju. Ova kristalna rešetka, sastavljena iz miliona atoma, savršeno poravnanih, je lep primer prirodnog traženja optimalne strukture. Brzim hlađenjem ili gašenjem, tečnost usporava kristalno formiranje i supstanca postaje amorfna masa sa više nego optimalnim energetska stanjem. Ključ kristalnog formiranja je pažljivo kontrolisanje promene temperature. [7]

Algoritam analogan ovom procesu počinje sa slučajnim pogađanjem funkcije koštanja promenljivih vrednosti. Zagrevanje znači slučajno modifikovanje promenljivih vrednosti. Više zagrevanje u sebi sadrži veća slučajna kolebanja. Funkcija koštanja daje izlaz f , ojačan skupom promenljivih. Ako se izlaz smanjuje, tada novi skup promenljivih menja stari skup promenljivih.

Metode simuliranog hlađenja je moguće koristiti za rešavanje kontinuiranog ili diskretnog stanja prostora optimizacionih problema obradnih procesa. Stohastička priroda algoritma i vođeni pokreti su dva od ključnih aspekata u slučaju multi-modalne izlazne funkcije. Iako je SA metoda cenjena zbog njene jednostavnosti i efektivnosti, konvergencija algoritma može biti snažno izobličena od

¹ engl. skr. Genetic Algorithm - genetski algoritam

² engl. skr. Simulated Annealing – simultano hlađenje

³ engl. skr. Tabu Search – „tabu“ pretraživanje

parametara programa hlađenja. Nedostatak SA metode je i postojanje ne-univerzalno prihvatljivi nivoi upravljanih parametara u programu hlađenja za različite tipove optimizacije obradnih procesa. Osim toga, ponovljivost približno-optimalnog rešenja dobijenog SA metodom sa istim početnim reznim uslovima nije garantovano.

2.2.3., Tabu“ pretraživanje

Metoda zasnovana na algoritmu lokalnog pretraživanja nazvana metoda “Tabu” pretraživanja je razvijena od Glover-a 1989 godine. Svojstvo ove metode je velika fleksibilnost i lagana implementacija u kombinovanim optimizacionim problemima.

TS algoritam počinje sa početnom tačkom izvodljivog rešenja (dobijenom slučajno izabranom izvodljivom kombinacijom procesnih parametara), i pomeranjem koračnim načinom prema poboljšanoj tački rešenja. Uzorak prostornih vektora u okruženju postojećeg vektora je ostvaren i najbolji vektor tog uzorka je određen zasnivajući se na heurističkom pristupu. Pomak je napravljen od postojećeg vektora koji nije u “tabu” listi, koji obezbeđuje unapređenu vrednost funkcije cilja u samo jednom koraku pomoću jednostavnih modifikacija trenutno važećeg vektora. “Tabu” lista sadrži odgovarajući broj poslednje posećenih vektora. Najbolji vektor zamenjuje najstariji vektor u “tabu” listi, a preostalim vektorima se daje aktivni “tabu” status, što umanjuje rizik od cikličnog ponavljanja istog vektora. U sledećem ponavljanju, zabranjene su upotrebe “tabu” aktivnih vektora (tzv. “tabu” pomaci) za kreiranje uzorka vektora u okruženju postojećeg vektorskog prostora. Preko “tabu” aktivnog statusa vektora prelazi se samo ako je on zasnovan na odgovarajućim željenim kriterijumima nivoa, kao što je prihvatanje modifikacije na postojećem vektoru što unapređuje vrednosti funkcije cilja.

Iako se TS može smatrati dobrom alternativom za GA ili SA, u rešavanju kompleksnih kombinatornih optimizacionih problema unutar razumne vrednosti proračunatog vremena, postoje izvesni nedostaci i pretpostavke koji su prisutni u ovoj tehnici. Konvergencija TS algoritma za multi-modalnu funkciju cilja u određenom broju koraka, nije zagarantovana kao druge metaheurističke konvergencije. Izbor veličine “tabu” liste uvek utiče na krajnje rešenje problema, kao što lista male veličine može rezultirati bezpotrebnom ponovnom pregledanju istih uslovnih vektora rezanja, a lista veće veličine može voditi ka znatno dužem proračunskom vremenu da bi se odredio “tabu” status mogućeg uslova vektora rezanja. Izbor željenog nivoa kriterijuma igra ključnu ulogu u slučajnoj pretrazi do nepretraženih mogućih oblasti.

[2]

3. ZAKLJUČAK

Danas postoji mnoštvo optimizacionih metoda koje se koriste u optimizaciji obradnih procesa. Savremene metode, u jednoj pojednostavljenoj klasifikaciji, dele se na metode modelovanja odnosa ulazno-izlaznih i unutar-procesnih parametara i metode određivanje optimalnih ili približno-optimalnih rešenja u optimizaciji obradnih procesa.

U ovom radu su pojašnjene samo neke, najčešće korišene, metode u optimizaciji obradnih procesa bez analiziranja kriterijuma za primenu istih.

Iako svaka metoda modelovanja i optimizacije, sa njenim varijantama, ima svoje mnogostranosti, nema pojedinačnog vodiča ili jednostavnog kriterijuma za izbor najbolje metode u optimizaciji obradnih procesa.

4. LITERATURA

- [1] Cus F., Zuperl U.: *Approach to optimization of cutting conditions by using artificial neural networks*, Journal of Material Processing Technology, 173, Elsevier, 2006
- [2] Indrajit M., Pradip R.: *A review of optimization techniques in metal cutting processes*, Computers & Industrial Engineering, Vol. 50, 15-34, 2006
- [3] Konjović Z., Obradović Đ.: *Fuzzy logika, (radni materijal)*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004
- [4] Haupt R., Haupt S.: *Practical genetic algorithms*, “A Wiley-Interscience publication.”, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, USA, 2004
- [5] Najim K., Ikonen E., Daoud A.: *Stochastic Processes - Estimation, Optimization & Analysis*, Kogan Page Science, London, UK, 2004
- [6] Pejić V.: *Savremene metode i programski alati u optimizaciji obradnih procesa*, Seminarski rad, Poslediplomske studije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006.
- [7] Rao S.: *Engineering optimization – Theory and Practice*, “A Wiley-Interscience publication.”, John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, USA, 1996
- [8] Taylor F. W.: *On the art of cutting metals*, Trans. ASME 28: 31–35, USA, 1907
- [9] Todić V., Stanić J.: *Osnove optimizacije tehnoloških procesa izrade i konstrukcije proizvoda*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002

Autori: mr Vlastimir Pejić, dr Boško Mišić, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet Doboj, Vojvode Mišića 68, 74000 Doboj, RS, BiH, Tel.: +387 53 221-988.

E-mail: pejic@stf-doboj.net
bmisic@stf-doboj.net

Pejović, B., Mičić, V., Todić, T., Todić, A.

NEKE MOGUĆNOSTI PRIMENE LANGRANŽEOVIH POLINOMA KOD EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA FUNKCIJA HABANJA ALATA

Rezime: U radu je, polazeći od uslova da stepena funkcija zadovoljava eksperimentalne tačke, ista prikazana u obliku Langranžeovih polinoma za karakterističnu funkciju habanja alata za slučaj strugarske obrade. Pri ovome, obuhvaćene su istovremeno faze inicijalnog i stabilizacionog habanja, kao najvažnije za praksu. Na ovaj način, pored jednostavnog dobijanja pouzdane aproksimativne vremenske funkcije habanja direktno iz poznatih eksperimentalnih tačaka, omogućeno je i dolaženje do izgubljenog rezultata eksperimenta kao i do korekcije određene grube greške koja se može javiti kod izvođenja eksperimenta. Isto tako, omogućeno je da se na bazi određenog eksperimentalnog ispitnog dela, može predvideti sa dovoljnom praktičnom sigurnošću, dalji neispitani tok krive habanja alata, kao i pojedinačno ispitivanje obe faze habanja alata.

Ključne reči: Langranžeovi polinomi, interpolacione funkcije, funkcije habanja, funkcije obradljivosti, gruba greška eksperimenta

SOME POSSIBILITIES USING LAGRANGE POLYNOMIALS AT EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF FUNCTION OF WEAR OUT TOOLS

Abstract: In this paper was used Lagrange idea for calculate degree of approximate function, and this function was shown as polynomial for characteristic function of tool in science about cutting metal.

This is enable that on the efficacious method come to unknown, respectively lost result of experiment and that the correct define brutal error who is result disturbance during the realization experiment.

Key words: Lagrange polynomial, interpolation function, function of wear out, function of treatment, brutal error of experiment,

1. UVODNA RAZMATRANJA

Parametar habanja h na lednooj površini alata je primaran i najčešće se predstavlja izrazima odnosno aproksimativnim funkcijama, [5], [6], [13]:

$$h = h_0 + B \cdot \tau^\psi \quad (1)$$

$$h = B_1 + \tau^{\psi_1} \quad (2)$$

Izraz (2) dobro opisuje II i III fazu, a (1) I fazu habanja. Singularna tačka P, koja razdvaja I i II fazu habanja nastaje zbog dva različita mehanizma iste pojave. U I fazi, glavni uzrok habanja je mehaničko i abraziono habanje a u II fazi adheziono Parametar habanja h na lednooj površini alata je primaran i najčešće se predstavlja izrazima odnosno aproksimativnim funkcijama, [5], [6], [13]:

$$h = h_0 + B \cdot \tau^\psi \quad (1)$$

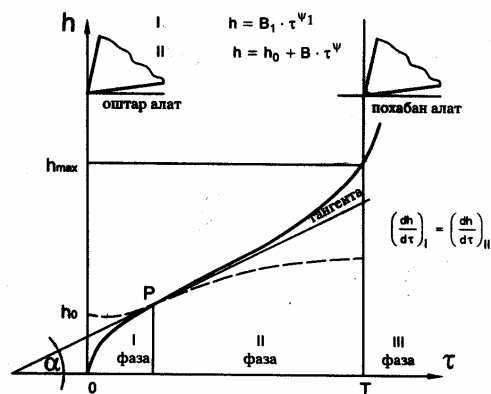
$$h = B_1 + \tau^{\psi_1} \quad (2)$$

Izraz (2) dobro opisuje II i III fazu, a (1) I fazu habanja. Singularna tačka P, koja razdvaja I i II fazu habanja nastaje zbog dva različita mehanizma iste pojave. U I fazi, glavni uzrok habanja je mehaničko i abraziono habanje a u II fazi adheziono

habanje. Prikaz karakterističnih faza habanja pri procesu strugarske obrade prikazan je na sl.1.

Kod eksperimentalnog istraživanja habanja alata uvek se teži da se iz rezultata dobije što više informacija i da su one što verodostojnije. Pri ovome najčešće se zahteva kvantitativno prikazivanje rezultata u obliku funkcija ili grafikona što omogućuje savremena računarska tehnika kao i vrlo razvijena numerička matematika, [1], [2], [3].

Numeričke metode obrade rezultata imaju za cilj da se zavisnost rezultata od faktora izrazi analitički. Grafičke metode omogućuju analizu rezultata kada su oni prikazani grafički u zavisnosti od faktora, [2], [7], [11].



Slika 1. Karakteristične faze habanja pri strugarskoj obradi

Pri istraživanju krivih habanja alata pored nalaženja adekvatne aproksimativne funkcije, susrećemo se i sa problemom nekog izgubljenog eksperimentalnog podatka kao i sa grubom greškom eksperimenta.

Kod eksperimenata koji vremenski dugo traju, izgubljeni odnosno nepoznati eksperimentalni podatak, ukoliko se eksperiment ponovi izaziva povećane troškove. Isto tako, usled nekog očiglednog poremećaja tokom izvođenja eksperimenta, javlja se takozvana gruba greška, za slučaj većeg rasipanja rezultata i koji se ne sme uzeti u obzir jer bi dovela do pogrešnih rezultata, [1], [3].

Kao što je poznato, eksperimenti se izvode po strogo utvrđenom planu pa se bez izgubljenog odnosno pogrešno određenog rezultata ne može završiti daljnja obrada

eksperimentalnih istraživanja. Da bi izbegli ponavljanje, posebno kod skupih eksperimenata, gore navedeni problemi mogu se efikasno rešiti metodom Langranževih polinoma. Za rešavanje različitih problema u analitičkom obliku, prilikom istraživanja funkcija

obradljivosti kada su utvrđene njihove eksperimentalne tačke, u inženjerskoj praksi, najčešće se primenjuju sledeće metode:

metoda najmanjih kvadrata, nelinearna i linearna regresija, Njutnova metoda, Beselova metoda i diferencijalna interpolacija, [6], [7], [8], [9], [10].

U nastavku, biće detaljno razrađena metoda na bazi Langranževih polinoma, koja kako će biti pokazano, može biti efikasno primenjena za rešavanje mnogih problema pri eksperimentalnom istraživanju funkcija habanja alata.

2. LANGRANŽEOVI POLINOMI, [8], [9], [10], [12]

Kod eksperimentalnog istraživanja funkcija obradljivosti često se susrećemo sa funkcijama koje nisu zadate formulom ali su poznate njene vrednosti $f(x_0), f(x_1), \dots, f(x_n)$ na nekom skupu $\{x_0, x_1, \dots, x_n\}$. Cilj je da na osnovu ovih informacija o funkciji $f(x)$ utvrde i približne vrednosti $f(x)$ za $x \neq x_k$ ($k = 0, 1, \dots, n$). Odredićemo, u tu svrhu funkciju g , dovoljno jednostavnu za računanje, koja u zadatim tačkama x_k , ima vrednosti $f(x_k)$ dok u ostalim tačkama intervala aproksimira funkciji f . Obično se za funkciju g uzima polinom, jer se u toku razvoja teorije aproksimacija pokazalo da se funkcija može dosta dobro aproksimirati polinomom nekog stepena n u intervalu čija dužina nije suviše velika.

Potražimo polinom stepena n u obliku:

$$g(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_1 x + a_0 \quad (3)$$

koji zadovoljava uslove,

$$\begin{aligned} g(x_0) &= f(x_0) \\ g(x_1) &= f(x_1) \dots \dots \dots g(x_n) = f(x_n) \end{aligned} \quad (4)$$

Aproksimativni polinom g sadrži $(n+1)$ parametara a_k koji se određuju iz $(n+1)$ uslova (4)

Langranžeoova ideja sastoji se u tome da se polinom g napiše u obliku:

$$\begin{aligned} g(x) &= A_0(x-x_1)(x-x_2) \dots (x-x_n) + A_1(x-x_0)(x-x_2) \dots \\ &\dots (x-x_n) + \dots + A_n(x-x_0)(x-x_1) \dots (x-x_{n-1}) \end{aligned} \quad (5)$$

Konstante A_0, A_1, \dots, A_n , određuju se iz uslova (4), tako da konačna Langranžeoova funkcija na osnovu predhodnog imati oblik:

$$\begin{aligned} g(x) &= \frac{(x-x_1)(x-x_2) \dots (x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2) \dots (x_0-x_n)} f(x_0) + \\ &\frac{(x-x_0)(x-x_2) \dots (x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2) \dots (x_1-x_n)} f(x_1) + \\ &\dots + \frac{(x-x_0)(x-x_1) \dots (x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1) \dots (x_n-x_{n-1})} f(x_n) \end{aligned} \quad (6)$$

Odavde proizilazi da za $(n+1)$ vrednosti x_0, x_1, \dots, x_n možemo načiniti $(n+1)$ korespondentnih Langranževih polinoma stepena n : $L_0(x), L_1(x), \dots, L_n(x)$:

$$g(x) = L_0(x)f(x_0) + L_1(x)f(x_1) + \dots + L_n(x)f(x_n) \quad (7)$$

Pri ovome polinom $g(x)$ stepena n , potpuno je određen ako znamo njegovih $(n+1)$ vrednosti prema (3).

Geometrijsko značenje predhodnog sastojalo bi se u tome da je parabola n -tog reda potpuno određena kad je dato njenih $(n+1)$ tačaka.

Ako treba izračunati vrednost $g(x)$ za bilo koji određeni x , možemo se koristiti sledećom unakrsnom šemom, koja je posebno pogodna pri upotrebi računara, [8]:

$$\begin{array}{rcl} x_0 - x & f_0 \\ x_1 - x & f_1(f_0, f_1) \\ x_2 - x & f_2(f_0, f_2) \quad (f_0, f_1, f_2) \\ \hline x_n - x & f_n(f_0, f_n) \quad (f_0, f_1, f_n) \dots \dots \dots (f_0, f_1, \dots, f_n) \end{array} \quad (8)$$

Svaki simbol (f_0, f_1, \dots, f_k) označava vrednost u tački x polinoma, karakterisanog po tačkama x_0, x_1, \dots, x_k . Te brojeve računamo po formuli:

$$(f_0, f_k) = \frac{(x_0 - x)f_k - (x_k - x)f_0}{(x_0 - x) - (x_k - x)}$$

Svaki sledeći se dobija iz prethodnog, na primer:

$$(f_0, f_1, f_k) = \frac{(x_1 - x)(f_0, f_k) - (x_k - x)(f_0, f_1)}{(x_1 - x) - (x_k - x)} \quad (9)$$

3. PRIMENA METODE NA EKSPERIMENTALNOM PRIMERU

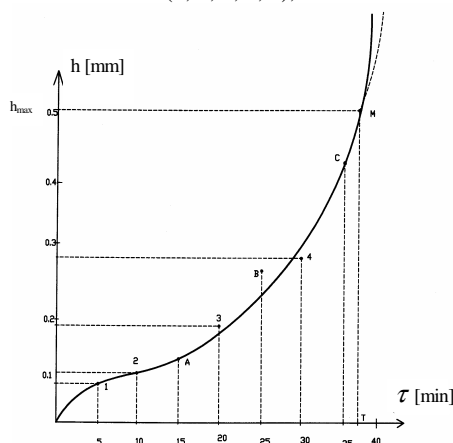
U nastavku za primer iz eksperimentalne prakse, biće prikazane različite mogućnosti primene Langraževih polinoma.

Za određen konstrukcioni čelik, obrađivan na univerzalnom strugu, alatom od tvrdog metala, meren je parametar habanja alata na alatnom mikroskopu, [4]. Rezultati za pet eksperimentalnih tačaka dati su u tabeli 1., dok je prikaz odgovarajuće krive habanja dat na sl. 2. Pri ovome prevojna tačka, koja razdvaja I i II fazu habanja, kao što se vidi poznata je i odgovara eksperimentalnoj tački 3.

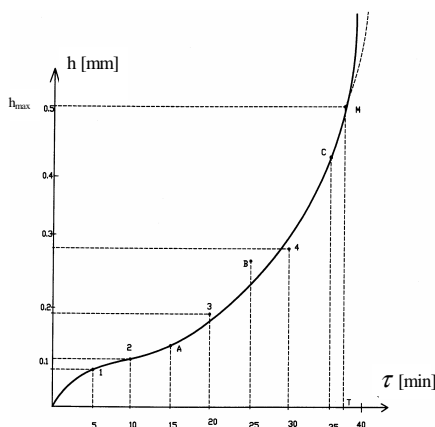
τ [min]	0	5	10	20	30
h [mm]	0	0.08	0.10	0.18	0.33
Eksperimentalna tačka	0	1	2	3	4

Tabela.1. Eksperimentalne tačke krive habanja

Langranžeoova funkcija, prikazana u obliku polinoma (6) i (7) prilagođena za konkretan slučaj krive habanja (sl. 2), za 5 eksperimentalnih tačaka (0, 1, 2, 3, 4), imaće oblik:



Slika 2. Eksperimentalna kriva habanja pri strugarskoj obradi



$$h(\tau) = \frac{(\tau - \tau_1)(\tau - \tau_2)(\tau - \tau_3)(\tau - \tau_4)}{(\tau_0 - \tau_1)(\tau_0 - \tau_2)(\tau_0 - \tau_3)(\tau_0 - \tau_4)} h(\tau_0) +$$

$$\frac{(\tau - \tau_0)(\tau - \tau_2)(\tau - \tau_3)(\tau - \tau_4)}{(\tau_1 - \tau_0)(\tau_1 - \tau_2)(\tau_1 - \tau_3)(\tau_1 - \tau_4)} h(\tau_1) +$$

$$+ \frac{(\tau - \tau_0)(\tau - \tau_1)(\tau - \tau_3)(\tau - \tau_4)}{(\tau_2 - \tau_0)(\tau_2 - \tau_1)(\tau_2 - \tau_3)(\tau_2 - \tau_4)} h(\tau_2) +$$

$$+ \frac{(\tau - \tau_0)(\tau - \tau_1)(\tau - \tau_2)(\tau - \tau_4)}{(\tau_3 - \tau_0)(\tau_3 - \tau_1)(\tau_3 - \tau_2)(\tau_3 - \tau_4)} h(\tau_3) +$$

$$+ \frac{(\tau - \tau_0)(\tau - \tau_1)(\tau - \tau_2)(\tau - \tau_3)}{(\tau_4 - \tau_0)(\tau_4 - \tau_1)(\tau_4 - \tau_2)(\tau_4 - \tau_3)} h(\tau_4)$$

(10)

Koristeći eksperimentalne vrednosti prema tabeli T.1., relacija (10) prelazi u oblik:

$$h(\tau) = \frac{(\tau - 5)(\tau - 10)(\tau - 20)(\tau - 30)}{(0 - 5)(0 - 10)(0 - 20)(0 - 30)} \cdot 0 +$$

$$\frac{(\tau - 0)(\tau - 10)(\tau - 20)(\tau - 30)}{(5 - 0)(5 - 10)(5 - 20)(5 - 30)} \cdot 0.08 +$$

$$+ \frac{(\tau - 0)(\tau - 5)(\tau - 20)(\tau - 30)}{(10 - 0)(10 - 5)(10 - 20)(10 - 30)} \cdot 0.10 +$$

$$\frac{(\tau - 0)(\tau - 5)(\tau - 10)(\tau - 30)}{(20 - 0)(20 - 5)(20 - 10)(20 - 30)} \cdot 0.18 +$$

$$+ \frac{(\tau - 0)(\tau - 5)(\tau - 10)(\tau - 20)}{(30 - 0)(30 - 5)(30 - 10)(30 - 20)} \cdot 0.33$$

(11)

Kod formiranja Langranžeovih polinoma (10) treba zapaziti da ako se u brojiocu javlja faktor $(\tau - \tau_i)$, u imeniocu se ne sme pojaviti faktor $(\tau_i - \tau_i)$ iz razloga definisanosti polinoma, dok se faktori svih ostalih kombinacija tačaka redaju po prikazanom zakonu.

3.1 Određivanje „izgubljene” eksperimentalne tačke

Pretpostavimo da smo pri eksperimentalnom ispitivanju krive habanja, iz nekog razloga izgubili ili slučajno preskočili tačku A pri $\tau = 15$ min. Parametar habanja u ovoj tački možemo izračunati direktno prema relaciji (11):

$$h(\tau_A) = \frac{(15 - 5)(15 - 10)(15 - 20)(15 - 30)}{(0 - 5)(0 - 10)(0 - 20)(0 - 30)} \cdot 0 +$$

$$\frac{(15 - 0)(15 - 10)(15 - 20)(15 - 30)}{(5 - 0)(5 - 10)(5 - 20)(5 - 30)} \cdot 0.08 +$$

$$+ \frac{(15 - 0)(15 - 5)(15 - 20)(15 - 30)}{(10 - 0)(10 - 5)(10 - 20)(10 - 30)} \cdot 0.10 +$$

$$\frac{(15 - 0)(15 - 5)(15 - 10)(15 - 30)}{(20 - 0)(20 - 5)(20 - 10)(20 - 30)} \cdot 0.18 +$$

$$+ \frac{(15 - 0)(15 - 5)(15 - 10)(15 - 20)}{(30 - 0)(30 - 5)(30 - 10)(30 - 20)} \cdot 0.33$$

(12)

$$h(\tau_A) = 0.124 \text{ mm}$$

3.2 Korekcija grube greške

Pretpostavimo da se kod eksperimenta iz nekih razloga pojavila gruba greška u tački B pri $\tau = 25$ min. Korekcija ove greške može se takođe izvršiti prema relaciji (11):

$$h(\tau_B) = \frac{(25 - 5)(25 - 10)(25 - 20)(25 - 30)}{(0 - 5)(0 - 10)(0 - 20)(0 - 30)} \cdot 0 +$$

$$\frac{(25 - 0)(25 - 10)(25 - 20)(25 - 30)}{(5 - 0)(5 - 10)(5 - 20)(5 - 30)} \cdot 0.08 +$$

$$+ \frac{(25 - 0)(25 - 5)(25 - 20)(25 - 30)}{(10 - 0)(10 - 5)(10 - 20)(10 - 30)} \cdot 0.10 +$$

$$\frac{(25 - 0)(25 - 5)(25 - 10)(25 - 30)}{(20 - 0)(20 - 5)(20 - 10)(20 - 30)} \cdot 0.18 +$$

$$+ \frac{(25 - 0)(25 - 5)(25 - 10)(25 - 20)}{(30 - 0)(30 - 5)(30 - 10)(30 - 20)} \cdot 0.33$$

(13)

$$h(\tau_B) = 0.262 \text{ mm}$$

3.3 Utvrđivanje neispitanog dela krive habanja

Ako pretpostavimo da smo pri ispitivanju II faze habanja eksperimentalno odredili parametar habanja u tri tačke pri $\tau' = 10$ min, $\tau'' = 15$ min, $\tau''' = 30$ min. Zamenom ovih vrednosti i odgovarajućih vrednosti parametra habanja

$h(\tau')$, $h(\tau'')$, $h(\tau''')$ u izraz (10) može se utvrditi neispitani deo krive habanja u intervalu od τ' do τ''' , u obliku

$$h(\tau) = \frac{(\tau - \tau'') \cdot (\tau - \tau''')}{(\tau' - \tau'') \cdot (\tau' - \tau''')} h(\tau') + \frac{(\tau - \tau') \cdot (\tau - \tau''')}{(\tau'' - \tau') \cdot (\tau'' - \tau''')} h(\tau'') +$$

$$\frac{(\tau - \tau') \cdot (\tau - \tau'')}{(\tau''' - \tau') \cdot (\tau''' - \tau'')} h(\tau''')$$

(14)

Neispitan deo krive habanja, u praksi je ponekad prisutan iz razloga smanjenja troškova eksperimenta.

3.4 Pojedinačno utvrđivanje krive habanja za I i II fazu

Zakon krive habanja za preciznije ispitivanje I i II faze habanja može se odrediti pojedinačno prema relaciji (10). Pri ovome za svaku fazu neophodno je utvrditi minimalno 3 eksperimentalne tačke s obzirom na određenost parabole. Za preciznije ispitivanje može se uzeti 4-5 tačaka za svaku fazu. Pri ovome moraju biti poznate prva i poslednja tačka faze koju ispitujemo.

3.5 Određivanje merodavne aproksimativne funkcije habanja

Sređivanjem funkcije u obliku Langranžeovih polinoma (11), primenom jednostavnih matematičkih operacija, biće:

$$h(\tau) = -0.00000233\tau^4 + 0.00015498\tau^3 -$$

$$0.003116\tau^2 + 0.027998\tau$$

(15)

Funkcija (15), dobijena je kao što se vidi direktno iz eksperimentalnih podataka pri čemu razmak tačaka ne mora biti jednak. Isto tako nije neophodno koristiti sve eksperimentalne tačke. Za posmatrani primer, funkcija četvrtog stepena zadovoljava za praktičnu upotrebu i dobijena je preko 5 eksperimentalnih tačaka.

4. ZAKLJUČAK

Langranžeovi polinomi, kao što je pokazano mogu se efikasno primeniti kod eksperimentalnog istraživanja funkcija habanja alata. Pri ovome, mogu biti određene dve faze habanja istovremeno ili pojedinačno. U odnosu na druge

metode koje se primenjuju za rešavanje prikazanih problema, data metoda je brža, jednostavnija, preglednija, manje glomazna i prostija u matematičkom smislu, jer ne zahteva poznavanje numeričke matematike. Tačnost metode nije manja od tačnosti ostalih metoda za slučaj primene polinoma istog stepena. Isto tako zapaža se da dobijena Langranževa funkcija ima uvek za jedan stepen niži red od broja eksperimentalnih tačaka, koje nije neophodno sve koristiti. Za tačnije aproksimativne funkcije treba uzimati veći broj eksperimentalnih tačaka pri čemu je neophodno duže računanje, čime se povećavaju troškovi eksperimenta. Analizom relacije (10), može se zapaziti da se pojedini faktori u polinomima ponavljaju više puta što se može iskoristiti da se relativno brzo dode do rezultata jednostavnim računanjem i za slučaj većeg stepena polinoma, bez primene računara, što nije slučaj kod ostalih metoda. Isto tako zakon po kome se formiraju Langranževi polinomi je jednostavan što omogućuje direktnu primenu relacije i njeno prilagođavanje za svaki konkretan slučaj. Langranževi polinomi analitički opisuju ispitivanu pojavu pouzdano samo u području između prve i poslednje eksperimentalne tačke. Izvan ovog područja ne dobijaju se pouzdani rezultati o čemu pri istraživanjima treba voditi računa. Za slučaj polinoma višeg stepena, na bazi relacije (6) i unakrsne šeme (8) može se lako formirati algoritam odnosno program za računar, što omogućuje da se do rezultata brže dode. Napomenimo na kraju da je primena prikazane metode pogodna i kod eksperimentalnih istraživanja ostalih funkcija obradljivosti. Isto tako, bez posebnih ograničenja, metoda se može primeniti i u drugim oblastima mašinske tehnike.

5. LITERATURA

- [1] Anderson, J.A. : *Real Analysis*, Logos Press Limited, London, 1985.
- [2] Johson - Kiokemeister: *Calculus*, Allzn and Baon Inc., Boston, 1981.
- [3] Pantelić, I. : *Teorija inženjerskog eksperimenta*, R. Ćirpanov, Novi Sad, 1976.
- [4] Pejović, B. : *Istraživanje tehnoloških funkcija obradljivosti pri procesu periodične strugarske obrade kod automatskih mašina alatki*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2004.
- [5] Trent, E. M. : *Metal Cutting*, Butterworths, London – Boston, 1980.
- [6] Zorev N. N. : *Razvitie o rezanii metallov*, Mašinstroenie, Moskva, 1977
- [7] Opitz H. : *Moderne Produktionstechnik – Stand und Tendenzen*, Verlag W. Girardet, Essen, 1971.
- [8] Bronštejn, I. N. *Spravočnik po matematika dlja inženerov*, Gosudarstvennee izdatelstvo, Moskva, 1962.
- [9] Kurepa, S.: *Matematička analiza*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1987.
- [10] Smirnov, V. I. *Kurs visšci matematiki*, GIFML, Moskva, 1978
- [11] Davies, O.: *Design and Analysis of Industrial experiments*, Published and Boid, Edinburgh, 1981.
- [12] Mitrinović, D. S. : *Linearna algebra, polinomi, analitička geometrija*, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
- [13] Stanić, J.: *Teorija obrade metala I*, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.

Autori: Doc. dr Branko Pejović, Mr Vladan Mičić,
Tehnološki fakultet Zvornik, Republika Srpska BiH.
Prof. dr Tomislav Todić, Dipl. ing. Aleksandar Todić
Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Srbija.
E-mail: b.pejovic@verat.net
vlado1@spinter.net
tfzv@rstel.net

Polajnar, D., Polajnar, J., Lukić, Lj.

ODABIR PARAMETARA REZANJA U MULTIAGENTSKOM KOOPERATIVNOM PLANIRANJU OBRADE

Rezime: U težnji ka celovitom, automatizovanom i integrisanom ciklusu fleksibilne proizvodnje, računarski podržano planiranje obrade (CAPP – Computer-Aided Process Planning) još uvek predstavlja oblast izuzetne složenosti i predmet je značajnih multidisciplinarnih istraživanja. U formiranju plana obrade za procese rezanja skidanjem strugotine, odabir reznih alata i parametara obrade mnogobrojnih tehnoloških operacija iz širokog globalnog prostora rešenja kritično utiče na ukupno vreme, kvalitet, i cenu proizvodnje. Ova važna komponenta planiranja procesa obrade, delom zbog svoje kompleksne empirijske prirode, ostaje jedan od većih istraživačkih izazova. U ovom radu razmatra se kako se postupak odabira reznih parametara, njegova integracija sa ostalim aspektima formiranja plana obrade, i njegova koordinacija sa CAD sistemom i sistemom za raspoređivanje proizvodnje, mogu da ostvare kroz saradnju unutar tima specijalizovanih agenata. Članovi tima mogu biti inteligentni softverski agenti ili ljudski agenti uključeni u sistem kroz odgovarajuće softverske interfejske. Agenti kooperativno konstruišu, ocenjuju, i iterativno poboljšavaju plan u zajedničkom prostoru tipa 'školske table' čija pravila pristupa odražavaju njihove diferencirane stručne uloge. Njihova saradnja zasniva se na teoriji timskog rada racionalnih agenata, uz dopunske principe koji štite autonomiju individualnih ekspertskih odluka i ujedno podržavaju sinergiju u ostvarenju timskih ciljeva. Postupak odabira reznih parametara ima za cilj da omogućući fleksibilno iterativno usaglašavanje sa drugim elementima plana, uz redukciju repetitivnog kombinatornog pretraživanja putem predviđanja i pamćenja alternativnih rešenja.

Cljučne reči: Parametri rezanja, Multiagentski sistem, Planiranje procesa

SELECTION OF CUTTING PARAMETERS IN MULTIAGENT COOPERATIVE PROCESS PLANNING

Abstract: In the quest for a fully automated and integrated flexible manufacturing cycle, computer-aided process planning (CAPP) remains an area of formidable complexity that attracts substantial multidisciplinary research efforts. In developing process plans for metal cutting with chip removal, the selection of cutting tools and parameters for numerous machining operations over a broad global solution space critically impacts the overall manufacturing time, quality, and cost. Partly due to its complex empirical nature, this important component of process planning remains a major research challenge. This paper explores how the cutting parameter selection task, its integration with other planning tasks, and its coordination with CAD and scheduling, can be accomplished through cooperation within a team of specialized agents. Team members can be intelligent software agents or human agents incorporated into the system through appropriate software interfaces. The agents cooperatively construct, evaluate, and iteratively improve the plan in a shared blackboard space whose rules of access reflect their differentiated technical roles. Their cooperation is based on teamwork theory for rational agents, with additional principles that protect the autonomy of individual expert decisions while supporting the synergy in achieving team goals. The approach to cutting parameter selection aims at flexible iterative coordination with other elements of the plan while reducing repetitive combinatorial searching through prediction and caching of alternative solutions.

Key words: Cutting parameters, Multiagent system, Process planning

1. UVOD

Planiranje proizvodnog procesa uključuje određivanje velikog broja raznorodnih parametara i donošenje brojnih odluka [1], od kojih je većina njih međusobno zavisnih i gde svi, na neki način, imaju uticaja na ukupno vreme, kvalitet i cenu proizvodnje. Apstrakcije i metodologije koje se koriste da bi se savladala složenost procesa planiranja [2] znatno su napredovale sa povećanjem snage i sposobnosti računarskih sistema, njihove integracije preko infrastrukture računarskih mreža i razvoja novih optimizacionih tehnika potpomognutih softverskim alatima. Trenutno, pojmovi i tehnike multiagentskih sistema obezbeđuju mogućnosti za dalje napredovanje [3,4], ali većina njihovih potencijala tek treba da se ostvare. Ovaj rad razmatra moguće prednosti multiagentskog pristupa CAPP-u u slučaju izbora tehnoloških parametara procesa rezanja skidanjem strugotine. Naglasak je na mogućnosti dinamičke optimizacije nekih aspekata procesa planiranja koji mogu efikasno da se razmatraju unutar multiagentskog sistema.

Nelinearni pristupi planiranju procesa i njegovom integrisanju sa srodnim proizvodnim aktivnostima kao što je

raspoređivanje, karakterišu savremenu literaturu u ovoj oblasti [5]. U domenu obrade metala rezanjem, jedan rani pristup nelinearnom, decentralizovanom planiranju bio je predložen u [6] i podržan ekspertnim sistemom baziranim na školskoj tabli koji je predstavljen u [7]. Namera ovog rada je da prikaže kako ova metodologija pruža prirodnu osnovu za multiagentski model sa kooperativnim distribuiranim pristupom CAPP-u za obradu metala rezanjem.

U odeljcima 2 i 3 prikazan je multiagentski model CAPP-a za obradu metala rezanjem. Naglasak u prezentaciji je na ulogama agenata u aktivnosti izbora parametara rezanja, što je ilustrovano u odeljku 4.

2. ULOGE AGENATA U MODELU CAPP-a ZA PROCESE OBRADE METALA REZANJEM

U multiagentskom pristupu razrađenom u ovom radu, različite aktivnosti u procesu planiranja predstavljene su kao uloge specijalizovanih agenata sa distribuiranim autoritetom odlučivanja. Svaka specijalistička uloga uključuje stručna znanja i kriterijume relevantne za odgovarajuću aktivnost. Struktura multiagentskog tima definisana je skupom *instanci*

konkretnih agentskih uloga i njihovim međusobnim interakcijama. Tim se formira dodeljivanjem instanci uloga stvarnim agentima odgovarajućih profila, koji mogu biti bilo inteligentni softverski agenti bilo ljudski agenti uključeni u sistem kroz odgovarajuće softverske interfejse.

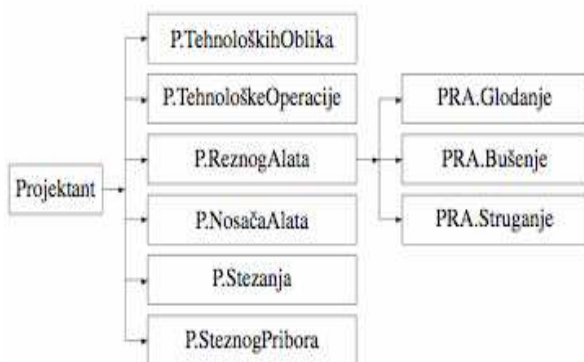
Agentske uloge za CAPP sačinjavaju jedinstvenu pojmovnu hijerarhiju, uvedenu u [8]. Ona identifikuje sledećih pet opštih uloga iz kojih se (direktno ili indirektno) izvode sve ostale. Slika 1 ilustruje takvo izvođenje za klasu *projektanata*.

2.1 Organizator planiranja

Organizator planiranja (OP) je agentska uloga koja uključuje odgovornost za poslovne aspekte planiranja, za isporuku plana obrade koji ispunjava proizvodne zahteve unutar raspoloživih resursa, i za neophodni nivo centralne koordinacije u timu. OP brine o rokovima, cenama, efikasnom korišćenju proizvodnih sredstava, kao i o balansiranju globalnih performansi plana u odnosu na višestruke individualne ciljeve, što ostvaruje na dva nivoa. Na nižem nivou, organizator može da odabere među predloženim alternativnim modifikacijama one koje poboljšavaju specifične aspekte plana. Na višem nivou, on može da utiče na ponašanje i kriterijume pojedinačnih članova planskog tima formulacijom dinamičkih prioriteta, uz poštovanje autonomnih ekspertskih odluka. On vodi i koordinira iterativno poboljšavanje globalnog plana obrade, upravlja verzijama plana i potvrđuje krajnju verziju. U saradnji sa *Organizatorom raspoređivanja* usglašava planiranje i raspoređivanje proizvodnje.

2.2 Projektant

Projektant konstruiše delove plana obrade u okviru svoje specijalističke uloge. Na primer, *projektant tehnološke operacije* (PTO) projektuje uređen skup operacija za svaki tehnološki oblik, koristeći usluge drugih specijalista, kao što su *projektanti reznog alata* (PRA) za posebne tipove operacija (npr. glodanje, bušenje i struganje) i *projektanti nosača alata* (PNA).



planiranju obrade metala rezanjem. Listovi ovog stabla su konkretne uloge koje se koriste za kreiranje instanci uloga u timu.

PTO objavljuje projektovanu operaciju u zajedničkom okruženju, odakle je ostali zainteresovani agenti, kao što je *projektant stezanja* (PS), koriste za svoj deo zadatka. Pri kooperativnom rešavanju problema, PTO može da promeni projekat operacija da bi ga bolje prilagodio potrebama PS a da pri tom ostane u okviru tehničkih i tehnoloških zahteva operacije. Čak i kad izvršava neki zadatak za projektanta višeg nivoa, projektant autonomno odlučuje unutar oblasti svoje kompetencije. Spoljni uticaj, sa stanovišta globalnih timskih ciljeva, ostvaruje se tako što se projektantu saopštavaju globalni dinamički prioriteta, na osnovu kojih on

aktivno sintetizuje revidirane kriterijume uzimajući u obzir svoje osnovno znanje i spoljne sugestije.

2.3 Evaluator

Evaluator izračunava pokazatelje performansi za ceo plan ili za celovite delove plana. Specijalizovani evaluatori objavljuju svoje rezultate u zajedničkom okruženju, gde ih primarno koriste stratezi za formulisanje mogućih pristupa poboljšanju plana. OP se oslanja na evaluacije plana kada bira među predloženim strategijama i odlučuje o konačnom prihvatanju plana. Pored mera vezanih za totalno vreme obrade i ukupne cene obrade, postoje mnoge druge suptilnije mere kvaliteta plana obrade. Na primer, vremena izvršavanja svih programa obrade (NC) po stezanjima treba da budu približno jednaka, da bi se optimiziralo vreme čekanja na mašinama.

2.4 Strateg

Strateg koristi rezultate evaluacije sa namerom da odredi kako će se verzija plana optimizirati. Specijalizovani stratezi predlažu različite metode. Iako je domen primene specifičan, predloženi metodi mogu da primene standardne tehnike. Na primer, strategija bazirana na 'tabu' pretraživanju može da zabrani određena projektna rešenja da bi se nametnulo traženje alternativa. Kada je neka strategija jednom odobrena od strane OP, projektanti će da usklade svoje kriterijume i objave svoje promene u odnosu na prethodna rešenja.

2.5 Interagent

Interagent je aktivan, inteligentan interfejs prema drugim agentskim ili ljudskim organizacijama. Specijalizovane uloge kao što je *Interagent za CAD* ili *Interagent za raspoređivanje* neophodni su za dinamičko povezivanje procesa planiranja obrade i ostalih aktivnosti proizvodnog procesa. Pojedine instance IPA (*Interagent proizvođača alata*) povezuju se i razmenjuju informacije sa raznim proizvođačima alata. Treba očekivati da značaj interagenata u arhitekturi multiagentskih proizvodnih sistema raste sa napretkom integracije između pojedinih faza proizvodnog procesa.

3. KOOPERATIVNA KONSTRUKCIJA PLANOVA OBRADE

Tema ovog odeljka je način saradnje u multiagentskom timu, i to primarno sa stanovišta projektanata koji konstruišu plan. U cilju jednostavnije prezentacije, članovi tima označeni su imenima uloga koje obavljaju, prema terminologiji iz prethodnog odeljka (iako je sada reč o stvarnim agentima a ne o ulogama).

Organizator planiranja (OP) inicira konstrukciju plana obrade publikovanjem zadatka planiranja u zajedničkom okruženju modeliranom *školskom tablom* (ŠT). ŠT sadrži tekuću verziju konstruisanog plana i rezultate njegove evaluacije u odnosu na razne mere kvaliteta. Njen sadržaj mogu da vide svi agenti tima, a prava da ga menjaju zavise od uloge koju agenti imaju u timu. Najveći deo komunikacije odvija se posredstvom ŠT, što odgovara decentralizovanoj prirodi saradnje među autonomnim ekspertima. U slučajevima klijentsko-serverskih odnosa koriste se direktne poruke. Na primer, projektant reznog alata (PRA) može se obratiti interagentu proizvođača alata sa direktnim zahtevom koji ne interesuje ostale članove tima.

U pogledu sadržaja, interakcije među agentima su dvojake. Interakcije *prvog reda* bave se direktno elementima plana. Na primer, projektant tehnološke operacije (PTO) može da dobije informaciju da je publikovan model tehnoloških oblika obratka na ŠT od strane projektanta modela tehnoloških oblika (PMTO), a sam može da pošalje zahtev PRA da odabere parametre rezanja za zadatak tehnološku operaciju. Interakcije *drugog reda* imaju za cilj

modifikaciju mentalnog stanja, a time i ponašanja, članova tima. Svaki agent realizuje deo planskog zadatka u svom domenu odgovornosti i ekspertize kao sopstveni cilj, slično kao i ekspert u ljudskom timu. Individualni ciljevi i kriterijumi treba da odražavaju kako stručne principe i specijalističko znanje pojedinca, tako i globalne timske ciljeve i prioritete koji dinamički evoluiraju tokom optimizacije plana. Individualni agent formira saznanja o tekućim globalnim prioritetima kroz interakcije drugog reda, i zatim koristi ta saznanja da aktivno sintetizuje sopstvene individualne ciljeve prilagodjene globalnim zahtevima. Sa stanovišta ekspertске autonomije značajno je da se individualni ciljevi ne mogu nametnuti spolja, jer agent koji raspolaže jedinstvenim tehnološkim ili metodološkim znanjem mora raspolagati i ovlašćenjem da to znanje pravilno primenjuje u kontekstu saradnje unutar tima.

Protokoli koji regulišu tok interakcija drugog reda predstavljaju socijalna pravila rukovođenja unutar multiagentskog tima. Na primer, OP može da saopšti projektantu tehnološke operacije (PTO) da smanjenje ukupnog vremena obrade ima visok dinamički prioritet. PTO onda podešava sopstvene kriterijume i, na osnovu njih, formuliše znatno konkretnije tehničke prioritete u porukama drugog reda projektantima reznih alata (PRA) za razne tipove operacija. Svaki PRA koristi primljene sugestije da autonomno podesi sopstvene kriterijume, itd. U većini protokola drugog reda inicijator je OP, ali učesnici u propagaciji dinamičkih prioriteta doprinose njihovoj stručnoj interpretaciji u odgovarajućim ekspertskim domenima. Protokol time indukuje hijerarhijske odnose u inače decentralizovanom timu.

Timski rad u multiagentskim sistemima predmet je intenzivnih savremenih istraživanja, i u teorijskom i u praktičnom pogledu. Mnogi rezultati direktno su relevantni za proizvodne sisteme. Evidentni primeri su studije pouzdanosti i robusnosti sistema u prisustvu neočekivanih događaja i otkaza, i iskustva sa mešovitim timovima sa ljudskim članovima. Istraživanja se uglavnom oslanjaju na klasične modele racionalnih agenata koji se često opisuju formalizmima modalne logike. Razmatranja u ovom članku analiziraju specifičnosti saradnje u planerskom timu, sa posebnim naglaskom na CAPP i odabir reznih parametara, i sasvim su kompatibilna sa razvojnim trendovima koji teže stvaranju multiagentskih platformi za praktične realizacije složenog timskog rada.

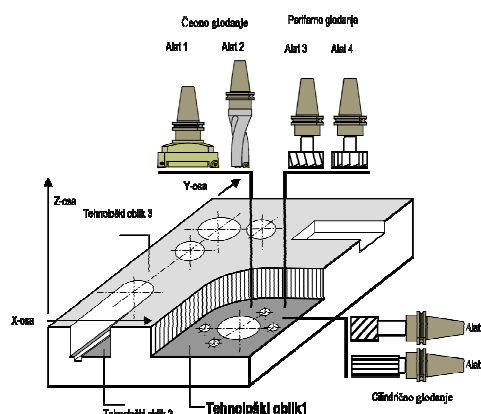
4. ODABIR PARAMETARA REZANJA

Multiagentsko okruženje prikazano u prethodnom odeljku biće sada primenjeno na poseban poddomen procesa planiranja obrade metala rezanjem, odabir reznih parametara. On obuhvata odabir reznog alata (okarakterisanog njegovom geometrijom, kvalitetom odnosno, materijalom od kojeg je napravljen), brzine rezanja, i pomaka pri rezanju za zadatu tehnološku operaciju, materijal obratka, i tip mašine alata.

4.1 Procedura odabira parametara rezanja

Sa aplikativne strane, odabir reznih parametara predstavlja jezgro planiranja tehnologije procesa rezanja koji određuje kako nivo detalja obradnog procesa tako i globalni nivo plana obrade, izvodljivost zadatih tehnoloških zahteva i kvalitet krajnjih rezultata. Njegova složenost i empirijska priroda čine ga manje privlačnim za formalnu analizu i optimizaciju nego ostale komponente fleksibilnih proizvodnih sistema, što otežava softversko modeliranje. Brojne alternativne mogućnosti na nivou individualnih operacija kumulativno generišu veoma veliki prostor potencijalno zadovoljavajućih rešenja, pa je njegova brza redukcija primenom dodatnih kriterijuma ključni element efikasnog planiranja. Dodatni faktor složenosti su međuzavisnosti odabira reznih

parametara i drugih odluka u postupku planiranja. Na primer, vreme obrade i srednji život alata utiču na efektivnost stezanja kao i na raspored obrade na mašinama alatima u realnoj proizvodnji. Ovakve međuzavisnosti motivišu pažljivo usaglašavanje odabira reznih parametara sa drugim odlukama, što implicira naknadne revizije već donetih odluka u pogledu reznog alata, tehnološke operacije, a ponekad čak i dekompozicije obratka na tehnološke oblike. S obzirom na kombinatornu složenost takvih odluka, za efikasnost postupka planiranja od ključnog je značaja da revizije odluka budu efikasno realizovane (što je detaljnije razmotreno u tački 4.2). Još jedan značajan faktor sa stanovišta efikasnosti planiranja je redosled odlučivanja koji izbegava detaljnu razradu neprihvatljivih rešenja. Primer je rana detekcija nekompatibilnosti predloženog tipa operacije i rešenja steznog pribora zbog prekoračenja dopuštenih sila.



Slika 2. Izbor tehnološke operacije i tipa alata je jedan od koraka u planiranju obrade metala rezanjem koji generiše veliki prostor rešenja.

Postupak odabira reznih parametara inicira projektant tehnološke operacije (PTO) određivanjem mogućih tipova tehnoloških operacija (kao što je bušenje ili glodanje) za zadati tehnološki oblik. Ukoliko ne postoji upotrebljivo zapamćeno prethodno rešenje, PTO šalje zahtev kandidatima među PRA da pronađu zadovoljavajuće rešenje za alat i režimske parametre zadate tehnološke operacije. Po dobijanju zahteva, PRA formira percepciju o tehnološkim zahtevima operacije iz relevantnih osobina tehnološkog oblika na ŠT kao što su: geometrijski podaci, dubina rezanja, zahtevani kvalitet obrađene površine (grubo, srednje, fino), željeno vreme života alata, i standardni kod materijala obradka (ANSI, DIN). Nakon toga, PRA konsultuje lokalnu bazu znanja da bi odabrao skup mogućih kandidata reznog alata, sa odgovarajućim kombinacijama geometrije i kvaliteta reznog dela alata, pomaka, i brzine rezanja. Koristeći dodatne kriterijume, agent redukuje potencijalno veliki prostor rešenja i rangira odabrane kandidate.

Na primer, izračunato vreme rezanja dok je alat u kontaktu sa obratkom ne sme da bude veće od željenog vremena života alata; izračunati parametri pri rezanju kao što su brzina radnog vretena, sile pri rezanju, snaga mašine pri rezanju, moraju da budu podržane raspoloživim mašinama alatima. Dodatni kriterijumi mogu odražavati i dinamičke globalne prioritete saopštene porukama drugog reda (na primer, odabir vrednosti srednjeg života alata utiče na ukupno vreme i cenu obrade). Promena u konfiguraciji proizvodne ćelije takođe može da utiče na odabir alata, odnosno tipa tehnološke operacije.

Ukoliko PRA nema adekvatan alat u lokalnoj bazi znanja, onda traži da interagent proizvođača alata (IPA) obezbedi skup alata koji zadovoljavaju postavljene kriterijume kao potencijalni prostor rešenja. IPA za različite proizvođače

kontaktira odgovarajuće agente na strani proizvođača alata. Različiti proizvođači mogu da imaju različite algoritme za odabir reznog alata i parametara režima rezanja, zato odgovarajući IPA treba da razume odgovore partnera na strani proizvođača alata.

4.2 Korekcije odabranih parametara rezanja

Tokom iterativnih poboljšanja plana, evaluacija tekuće iteracije i izbor strategije dalje optimizacije određuju globalne dinamičke prioritete za sledeću iteraciju. Nova orijentacija prenosi se kroz tim protokolima drugog reda i izaziva modifikacije individualnih kriterijuma. Individualni projektant onda preispituje neke od svojih ranije donetih odluka sa stanovišta novog naglaska. Umesto da ponavlja celokupni postupak projektovanja, on nastoji da samo nanovo rangira kandidatska rešenja generisana u ranijim iteracijama. Uspeh zavisi od kvaliteta postupka selekcije rešenja za eventualnu kasniju primenu i bitno utiče na efikasnost planiranja.



Slika 3. Efikasnost korekcija rešenja u iterativnom postupku optimizacije plana oslanja se na skup zapamćenih kandidatskih rešenja odabranih sa ciljem da se podrže raznovrsne dinamičke varijacije u prioritaranju ciljeva.

Ovakav pristup iterativnoj korekciji izbora reznih parametara zasnovan je na idejama prvobitno uvedenim u [6] i ilustrovan na Sl. 3. U odsustvu specifičnog naglaska, agent teži izboru centralnih rešenja koja odražavaju relativni značaj planskih ciljeva u prvobitnoj postavci planskog zadatka. Pri tome nastoji da sačuva i kvalitetna kandidatska rešenja koja jače naglasavaju neki od ciljeva, iako takva orijentacija trenutno nije na snazi i usvojeno rešenje ima druge karakteristike. Na primer, zahtev da se uravnoteže vremena obrade stezanja, ili da se poboljša iskorišćenje alata, može iziskivati da se vreme rezanja u datoj operaciji bilo skрати bilo produži. Takva korekcija može se izvesti vrlo efikasno ukoliko skup sačuvanih kandidatskih rešenja već sadrži obe varijante.

5. ZAKLJUČAK

Multiagentski sistem predstavljen u ovom radu obezbeđuje okruženje za distribuirano kooperativno rešavanje složenog problema odabira reznih parametara u oblasti računarski podržanog planiranja procesa (CAPP) obrade metala rezanjem. U pogledu reprezentacije znanja, strategija optimizacije, i osnovne koncepcije sistema, ovaj pristup se bazira na ranijim istraživanjima autora [6,7]. Koristeći elemente metamodela iz [8], model razdvaja složene, isprepletane kompetencije, odgovornosti i ciljeve agenata u nekoliko osnovnih opštih uloga: projektante koji konstruišu plan; evaluatore koji procenjuju globalni uticaj njihovih odluka; organizatore koji upravljaju postupkom planiranja; stratege koji predlažu pravce optimizacije; i interagente koji obezbeđuju spoljne komunikacije. Model timske saradnje kombinuje stručnu autonomiju sa sinergijom u ostvarivanju timskih ciljeva, koji evoluiraju kroz iteracije optimizacije plana. Model predviđa učešće softverskih i ljudskih agenata i predlaže tehnike redukcije kombinatorne složenosti. Dalji rad je usmeren na modeliranje mentalnog stanja agenata imajući u vidu njihove ekspertske uloge u planskom timu.

6. LITERATURA

- [1] G. Halevi: *Process and Operation*, Kluwer, 2003.
- [2] D. Polajnar, J. Polajnar, and Lj. Lukić: "Promises and challenges of multi-agent technology in the development of CAPP systems," Heavy Machinery 2008, VI Triennial International Conference Kraljevo, pp F19-F25.
- [3] E.H. Durfee: "Distributed problem solving and planning", in G. Weiss ed., *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, The MIT Press, 1999.
- [4] M. Wooldridge: *An Introduction to MultiAgent Systems*. Wiley, 2001.
- [5] L. Wang, W. Shen, and Q. Hao: "An overview of distributed process planning and its integration with scheduling", Int. J. Computer Applications in Technology, Vol. 26 (2006), Nos. 1/2, pp. 3-14.
- [6] D. Polajnar, Lj. Lukić and V. Šolaja: "A Yugoslav approach to decision support for optimization of FMS technologies", Annals of the CIRP, vol. 40 (1) 1991, pp. 99-102.
- [7] D. Polajnar, Lj. Lukić, and V. Šolaja: "An expert system for the design of cutting processes in FMS", Proc. of Factories of the future CARS&FOF'94 conf., Ottawa, Canada, August 21-24, 1994.
- [8] D. Polajnar, J. Polajnar, and Lj. Lukić: "Metamodel abstractions of agent roles in cooperative process planning," in Proc. IEEE SMC Int. Conf. on Distributed Human-Machine Systems, Athens, 2008, pp. 77-82.

Autori: Adjunst Prof. Polajnar Desanka¹ MSc, Associate Prof. Polajnar Jernej¹ PhD, Prof. dr Ljubomir Lukić²

¹ Department of Computer Science, University of Northern British Columbia, 3333 University Way, Prince George BC, Canada, V2N 4Z9, Tel.: +1 250 960 6624

² Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo, Tel.: +381 36 383-380, Fax: +381 36 383-379.

E-mail: desa@unbc.ca

polajnar@unbc.ca

lukic.lj@mfkv.kg.ac.yu

Radonjić, S., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I.

ANALIZA LEĐNOG STRUGANJA ZUBA ODVALNIH GLODALA KLASIČNIM POSTUPKOM

Rezime: U ovom radu data je analiza klasičnog načina leđne obrade zuba profilnih modulnih glodala i odvalnih glodala. Ovaj način obrade, u Fabrici reznog alata u Čačku, je i jedini način leđne obrade zuba u proizvodnji alata za ozubljenje. Leđno struganje zuba odvalnih glodala je složen i dug proces koji poskupljuje proizvodnju.

Ključne reči: alati za obradu rezanjem, odvalno glodalo, leđno struganje zuba, proces, proizvodnja

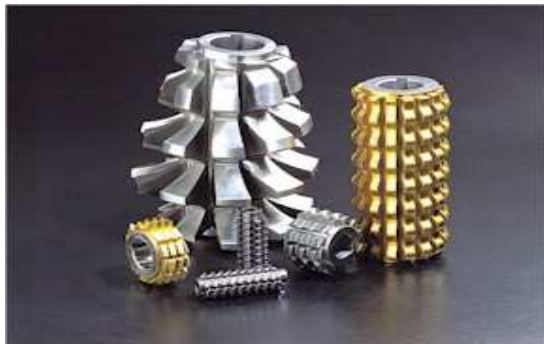
ANALYSIS OF TEETH RELIEVING OF HOB MILLING TOOLS BY CLASICAL METHOD

Abstract: In this paper the analysis of classical method for processing the teeth of profiled gear milling cutters and hob milling tools is given. This method of processing is applied in Cutting tool factory in Čačak and it represents the only method for back processing of teeth in the production of tools for gearing. Relieving of teeth of hob milling tools is complex and time consuming process. It influences on the production expenses which become more expensive.

Keywords: cutting tools, hob milling tool, teeth relieving, process, production

1. UVOD

Alati za izradu zupčanika sa pravim, kosim i zavojnim zubima, kao i za izradu pužnih vretena mogu biti: profilna modulna glodala i odvalna glodala. Odvalna glodala se koriste u svim tipovima serijske proizvodnje i masovne proizvodnje zupčanika, na specijalnim mašinama, metodom relativnog kotrljanja. Ova glodala spadaju u red najsloženijih i veoma skupih alata (slika 1.).



Slika 1. Odvalna glodala

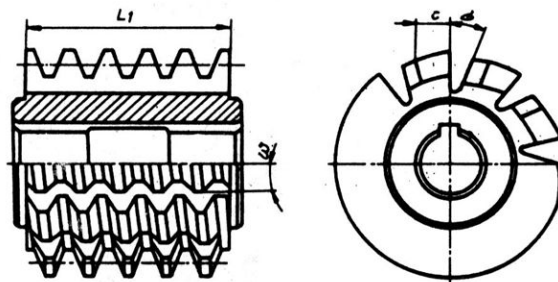
Fabrika reznog alata u Čačku je jedan od proizvođača odvalnih glodala kod nas, koji se zadržao i do današnjih dana. U proizvodnji ovih glodala operacija leđnog struganja zuba glodala je najvažnija, jer se tom obradom definiše deo geometrije reznog klina zuba odvalnog glodala.

U radu je dat osvrt na problematiku proizvodnje odvalnih glodala, sa akcentom na leđno struganje zuba glodala.

2. ODVALNA GLODALA

Odvalna glodala imaju svoj specifičan naziv obzirom da se izrađuju posebnom obradom tzv. leđnim struganjem. Ovi alati za obradu rezanjem koriste se za obradu profilisanih površina. Oblici i profili površina za koje se najčešće koriste

su evolventni profili (zupčanici), lančanici, razni oblici radijusa, kako konkavni tako i konveksni, zatim ožljebljenja kao i razni specifični profili. Bitna karakteristika ovih alata je da oni zadržavaju profil i posle oštrenja koje se izvodi po grudnoj površini. Glodala sa leđno struganim i leđno brušenim zubima veoma su rasprostranjena u industriji. Leđno strugane zube imaju razne vrste glodala, ureznici, provlakači i drugi alati namenjeni za obradu profilnih površina.



Slika 2. Prikaz dve ortogonalne projekcije odvalnog glodala

Odvalna glodala izrađuju se izjedna ili sa umetnutim zubima (u vidu zupčaste letve). U Fabrici reznog alata u Čačku odvalna glodala se izrađuju prema standardima DIN-8002 ili DIN-858, ali se izrađuju i prema specijalnim potrebama.

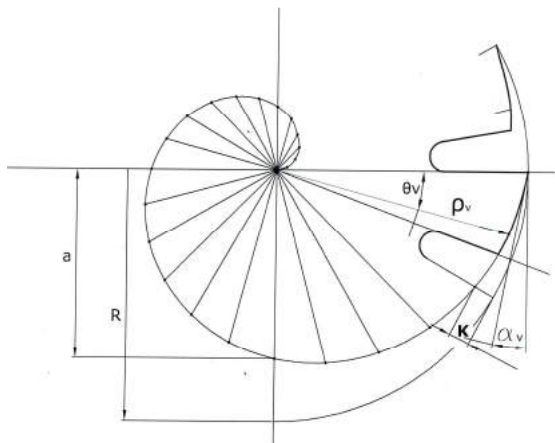
Najčešće primenjivan materijal za izradu ovih glodala u spomenutoj fabrici je brzorezni čelik Č.7680. Izrađuju se do modula $m=14$, dimenzija $\varnothing 50 - \varnothing 150$ mm i $L=50-170$ mm. Izgled odvalnog glodala prikazan je na slici 2.

Tehnološki proces izrade odvalnog glodala obuhvata: klasične obrade struganjem spoljašnih površina, obradu otvora, izradu žljeba za klin, izradu modulnog navoja, glodanje žljebova, leđno struganje, termičku obradu, leđno brušenje, spoljašnje i unutrašnje brušenje svih ostalih neophodnih površina i oštrenje po grudnoj površini.

3. LEDNO STRUGANJE ZUBA ODVALNIH GLODALA

Leđna površina odvalnog glodala uvek odražava profili potreban leđni ugao α . Kriva leđne površine mora biti takva da je u svakoj tački ugao tangente na krivu konstantan. Ovaj slučaj imamo samo kod logaritamske spirale, ali se do danas nije koristila u praksi.

U praksi se koristi isključivo Arhimedova spirala kod koje se na određenom delu leđni ugao malo menja. Slede neke osnovne geometrijske i konstruktivne karakteristike leđnog struganja po Arhimedovoj spirali (slika 3.).

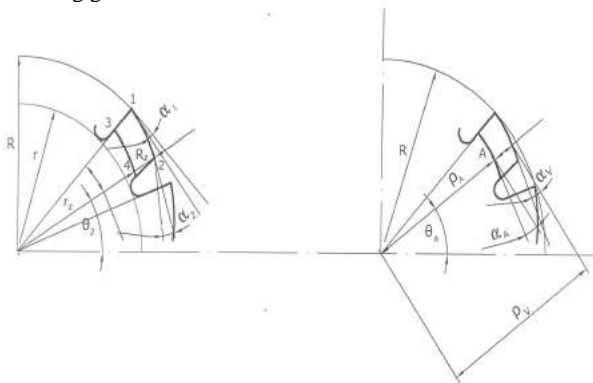


Slika 3. Arhimedova spirala

Pri usvajanju ugla α_v pronalazi se K i uzima najbliža standardna veličina za koju u radionici postoji breg. Preporuka je da se K usvaja iz reda R10 jer se onda smanjuje broj bregova. Da bi se na osnovu veličine leđnog struganja K zuba odredio profil brega neophodno je analizirati dva položaja pri leđnom struganju [1], a iz kojih se dobija jednačina brega (1):

$$\rho_k = r_k + \frac{k}{2\pi} \theta_k \quad (1)$$

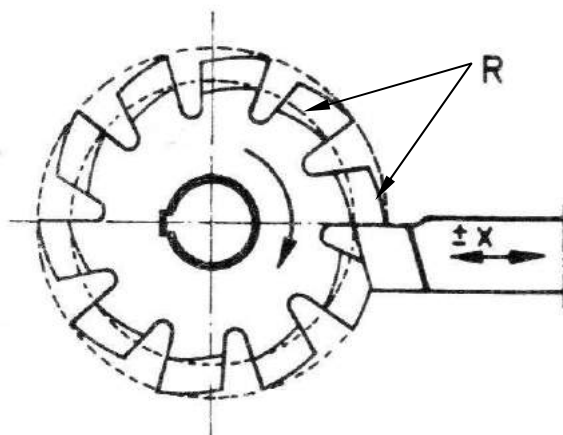
Iz ove jednačine vidi se da profil brega ne zavisi od poluprečnika glodala ni od broj zuba, već samo od veličine leđnog struganja (K). To nije slučaj sa drugim krivama, kao npr sa logaritamskom spiralom, kod koje breg zavisi od prečnika glodala. Kod Arhimedove spirale leđni uglovi nisu jednaki uzduž leđa zuba. Ako se analiziraju leđni uglovi u karakterističnim tačkama 1,2,3,4 (slika 4.) može se zaključiti da leđno strugano glodalo ima najmanji ugao α na vrhu alata (α_v), a to je pozitivna osobina leđnog struganja po Arhimedovoj spirali. Prema tome najnepovoljniji slučaj je kod novog glodala.



Slika 4. Leđni uglovi u karakterističnim tačkama [5]

Leđno strugana glodala izrađuju se najčešće sa grudnim uglom $\gamma=0$. Za duže profile, da bi se smanjio neravnomeran rad glodanja mogu se izraditi zavojni zubi leđno struganih glodala. Zavojni leđno strugani zubi se obrađuju na strugu za leđno struganje sa posebnim uređajem za kopirno leđno struganje. Za svaki profil mora se izraditi šablon profila koji se namešta na uređaj za kopirno leđno struganje. Obrada se vrši običnim šiljastim nožem, a ne profilnim nožem kao za prave zube, gde se pri klasičnoj obradi leđne površine zuba, koja je još u primeni i u Fabrici reznog alata u Čačku, koristi se specijalni strug za leđnu obradu.

Na slici 5. data je shema leđnog struganja sa glavnim obrtnim kretanjem odvalnog glodala i pomoćnim - prekidnim kretanjem strugarskog noža (radnim i povratnim hodom). Osim radijalnog kretanja nož vrši i uzdužno kretanje po zavojnici, tako da se radi o složenom kretanju alata koji se ostvaruje po nekoj spirali. Strugotina se skida sa površina označenih sa R.



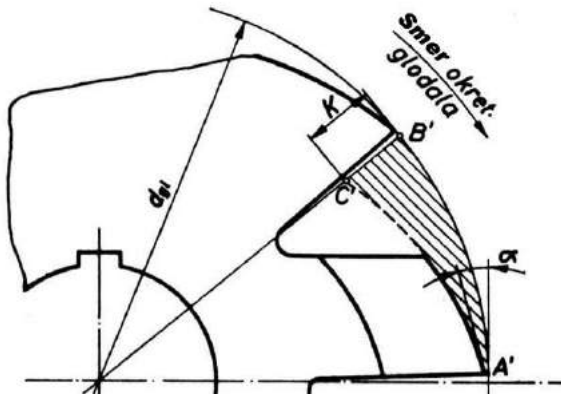
Slika 5. Shema glodala i strugarskog noža pri leđnom struganju

Na više načina u praksi je moguće izvršiti leđnu obradu odvalnih glodala. Kod obrade leđnih površina odvalnih glodala u FRA Čačak koriste se dva strugarska noža prikazana na slici 6.: za leđno struganje bokova i dna međuzublja (levi deo slike 6.) i za leđno struganje vrha zuba (desni deo slike 6.).



Sl.6. Dva strugarska noža za obradu zuba odvalnog glodala

Operacija leđnog struganja zuba odvalnih glodala zahteva posebnu pažnju, jer se pri toj operaciji formira deo reznog klina zuba glodala. Na slici 7. može se uočiti šrafirana površina koja se skida leđnim struganjem vrha zuba. Ako su poznati leđni ugao, prečnik i broj zuba leđno obrađivanog glodala, može se odrediti veličina leđno skinutog dela K.



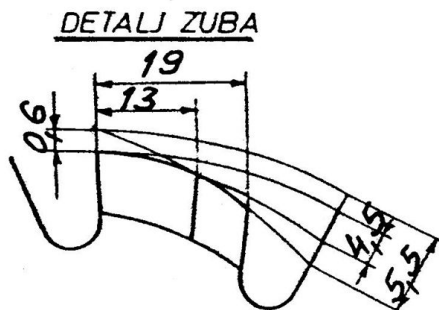
Slika 7. Deo ledno strugane površine - šrafirana površina

Izgled brega koji pokreće nosač alata pri lednom struganju zuba odvalnog glodala u FRA Čačak prikazan je na slici 8.



Slika 8. Izgled brega za pokretanje noža pri lednom struganju zuba odvalnog glodala.

Na slici 9. je dat detalj ledno struganog zuba za jedno odvalno glodalo. Ledna površina zuba odvalnog glodala se formira iz dve operacije: prva operacija je ledno struganje zuba na dužini 19 i širini 5,5 mm, i druga operacija je ledno brušenje na dužini od 13 mm i širini 4,5 mm. Pri lednom brušenju vrh zuba se skida za 0,6 mm. Kao što se vidi sa detalja 2/3 ledne površine se brusi. Do te dužine bi trebalo, u eksploataciji alata, vršiti oštrenje nakon habanja alata. Ovde treba naglasiti, da se kod ovih alata oštrenje vrši po grudnoj površini, gde je grudni ugao 0° .



Slika 9. Detalj ledno struganog zuba kod odvalnog glodala.

Odvalna glodala se koriste i za izradu drugih profilnih izradaka kao što su ožljebljena vratila, lančanici, višeučgaonici itd. Pri tome se profil sečiva menja u zavisnosti od vrste proizvoda.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je data analiza lednog struganja zuba kod odvalnih glodala na klasičnim mašinama. U izradi odvalnih glodala operacija lednog struganja zuba je najsloženija i najduža, što se odražava na proizvodnost i cenu proizvoda. Sagledavanjem složenosti ovog procesa otvaraju se mnoga pitanja vezana za prevazilaženje klasičnog načina obrade, starog tehnološkog procesa, i mogućnosti automatizacije procesa lednog struganja zuba na CNC mašinama.

5. LITERATURA

- [1] Kimer, J.: Tehnološki postupci i alati, I deo-Alati za obradu rezanjem, Novi Sad, 1973.
- [2] Nikić, Z., Radonjić, S., Jugović, V., Jovanović, B.: *Eksplotacione karakteristike PFAUTER glodala presvučenih slojem TiN*, Zbornik radova, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Redni broj strane 127-133, Novi Sad, 1992.
- [3] Nikić, Z., Radonjić, S.: *Exploiting characteristics of Pfafter Milling cutte coated with TiN layers*, 12th ICPR – International Conference on Production Research Preliminary Programme, Finland, 1993.
- [4] Radonjić, S., Nikić, Z., Jovanović, B.: *Tajlorovi izrazi pri ozubljenju Pfafter glodalom*, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Redni broj strane 45-50 Beograd, 1994.
- [5] Sovilj, B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, Novi Sad, IPM, FTN, 1988.
- [6] Sovilj, B., Prapotnik, B., Mitrović, R., Todić, V.: *Influence of gearing process on the occurrence of cutting edge break by hob milling tools*, Tribology in industry, Vol. 21, No. 2, Redni broj strane 53- 58, 1999.

Autori: Prof. dr Snežana Radonjić, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički Fakultet u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak,

Tel.: +381 32 302-763 Fax.: +381 32342-101

Prof. dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić Phd student, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2343,

Fax.: +381 21 458-133

E-mail: snezar@tfc.kg.ac.yu

bsovilj@uns.ns.ac.yu

diomed17@gmail.com

Rad je nastao u okviru projekta "Razvoj progresivne tehnologije za lednu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M., Kovač, P.

MONITORING SILA REZANJA PRI BUŠENJU

Rezime: Monitoring procesa obrade predstavlja sistematsko i kontinuirano prikupljanje, analizu i korišćenje informacija iz samog procesa upotrebom odgovarajućih senzora. Merenje sila rezanja pri bušenju (aksijalne sile i obrtnog momenta) je jedna od najčešće korišćenih tehnika za monitoring, zbog njihove osetljivosti na promenu stanja alata (habanje alata, otkaz alata). Osim toga sile rezanja daju puno informacija o samom procesu bušenja.

Regulisanje sila rezanja omogućava značajno povećanje ekonomskih beneficija procesa, brzu identifikaciju problema i pronalaženje najboljih rešenja. U radu je prezentovan koncept monitoringa sila rezanja pri bušenju koji je baziran na primeni virtuelne instrumentacije. Opisan je hardver, softver, upravljanje i samo merenje. Na kraju su prikazani eksperimentalni rezultati dobijeni pri bušenju.

Ključne reči: bušenje, sile rezanja, monitoring

CUTTING FORCES MONITORING IN DRILLING

Abstract: Process monitoring is the manipulation of sensor measurements to determine the state of the processes. Measuring cutting forces in drilling (thrust force and torque) is one of the most common used techniques for monitoring because of their sensitivity to tool condition (drill wear, drill failure). In addition to that the force gives a lot of information on the drilling process. Regulating cutting forces provides significant economic benefits by increasing. This paper presents a cutting forces monitoring concept in drilling based on virtual instrumentation. A description of the control, measurement, and data processing software and hardware of the developed system is included in this paper. Finally, experimental results are shown for drilling.

Key words: drilling, cutting forces, monitoring

1. UVOD

Bitan preduslov za bolje funkcionisanje i iskorišćenje savremenih obradnih sistema je primena sistema za monitoring procesa. Primenom ovakvih sistema stvaraju se uslovi za minimizaciju potrebne radne snage, odnosno omogućuje se rad u tri smene, pri čemu je u drugoj i trećoj smeni broj radnika smanjen na najmanji mogući broj, tj. gotovo je isključena potreba za radnom snagom.

Značaj monitoringa sila rezanja pri bušenju je dobro poznat u industriji i u literaturi. Bušenje je dosta složenije u odnosu na druge obrade, kao što su npr. struganje i glodanje, posmatrano u odnosu na kinematiku i dinamiku procesa, upravljanje procesom, odvođenje strugotine i time odvođenje toplote. Pored toga bušenje se izvodi pod veoma nepovoljnim uslovima kao što su:

- proces stvaranja strugotine je skriven i nevidljiv,
- prostor za odvođenje strugotine kroz žljebove burgije je ograničen,
- trenje između alata, strugotine i obratka može biti znatno,
- prostiranje toplote od generisane površinske strukture je nezadovoljavajuće,
- promena brzine rezanja duž rezne ivice.

Sve ovo utiče na to da su rezne karakteristike procesa bušenja fundamentalno nelinearne. Neki od problema su i prekomerne sile, lom burgije, formiranje hrapavih ivica (pucni) na obratku, vibracije, tako da to utiče na kvalitet otvora, oštećenje površine, dimenzionalnu tačnost, efikasnost procesa i postojanost alata.

Sile rezanja pri bušenju su glavni razlog problema koji se javljaju u proizvodnji, kao što su greške površine, vibracije, habanje alata, hrapavost obrađenih ivica. Ili drugačije rečeno sile rezanja sadrže informacije o izvorima problema. Istraživanja su pokazala da je hrapavost obrađenih ivica u jakoj vezi sa aksijalnom silom. Ozbiljno habanje alata može dovesti do povećanja amplitude signala sile za više od 50% ili

čak 100%. Porast signala sile povezan je i sa povećanjem odnosa dubine rezanja i prečnika burgije.

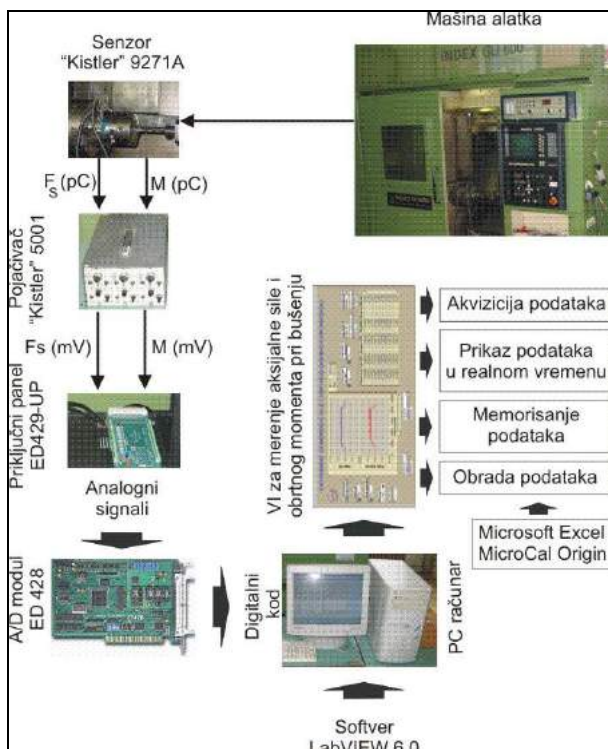
U radu je dat prikaz sistema za monitoring aksijalne sile i obrtnog momenta pri bušenju, koji je baziran na primeni virtuelne instrumentacije, kao i eksperimentalni rezultati dobijeni primenom ovog sistema.

2. SISTEM ZA MONITORING SILA REZANJA PRI BUŠENJU

Pri razvoju sistema postavljeni su sledeći zahtevi:

- Angažovanje postojećih laboratorijskih resursa i njihova kompatibilnost,
- Obezbeđenje visoke efikasnosti i tačnosti dobijenih rezultata merenja,
- Racionalno korišćenje vremenskih resursa laboratorije,
- Jednostavnost upotrebe, zasnovana na PC korisničkom interfejsu,
- Laka prenosivost sistema (sa jedne mašine alatke na drugu),
- Fleksibilnost i brza promena performansi sistema,
- Upotreba programskog alata koji će olakšati upotrebu računara u akviziciji, analizi i obradi podataka,
- Lako programiranje instrumenata, reprogramiranje i nadogradnja postojećih instrumenata, bez potrebe za velikim iskustvom u programiranju i korišćenju programskih jezika,
- Pozdano i relativno brzo oblikovanje kompletnog programskog rešenja za interni multitasking, od prikupljanja podataka sa akvizicionog hardvera do njihove obrade.

Na slici 1. prikazan je model sistema za merenje aksijalne sile i obrtnog momenta pri bušenju.



Slika 1. Model sistema za merenje aksijalne sile i obrtnog momenta pri bušenju [1]

Sistem se sastoji iz sledećih celina:

- Mašina alatka (FTC INDEX GU600),
- Alat (zavojna burgija tip N, JUS K.D3.020),
- Obradak (materijal Č1220),
- Piezoelektrični dinamometar (KISTLER 9271A),
- Pojačivač ((KISTLER 5001),
- Priključni panel (ED429-UP),
- A/D kartica (ED428),
- PC računar (PIII sa Windows HP),
- Programski paket LabVIEW 6.0
- VI za merenje aksijalne sile i obrtnog momenta.

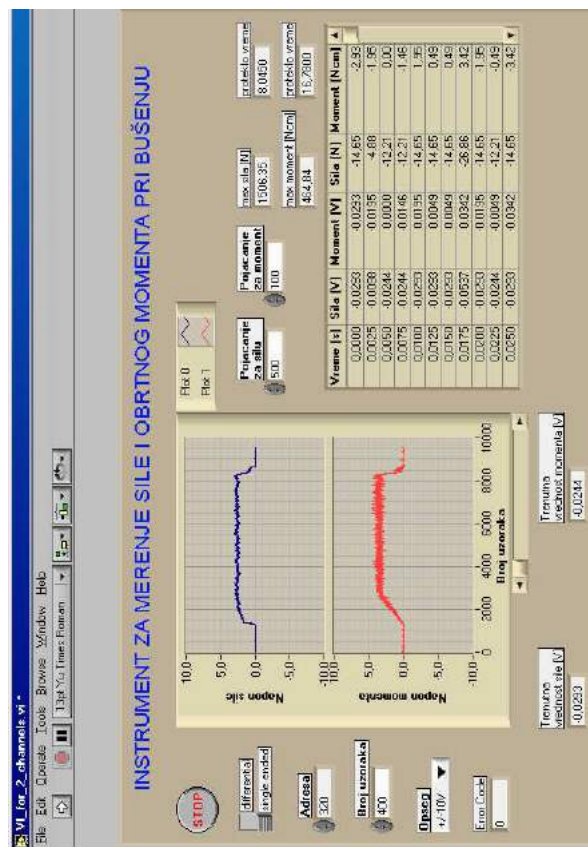
Za mašinu alatku je izabrana fleksibilna tehnološka čelija INDEX GU600 koja je u osnovi namenjena za obradu rotacionih delova. Revolverski nosač alata ima 6 pozicija za gonjene alate koji imaju sopstveni pogonski motor. Mašina je instalirana u laboratoriji Departmana za proizvodno mašinstvo, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

Aksijalna sila i obrtni moment se mere pomoću 2-komponentnog piezoelektričnog dinamometra. Signali sa dinamometra se onda obrađuju i šalju na pojačivač kako bi bili spremni za A/D konverziju pomoću A/D kartice koja ima mogućnost prijema analognih i digitalnih ulaza, kao i mogućnost analognih i digitalnih izlaza.

Virtuelni instrument je razvijen u LabVIEW grafičkom programskom okruženju i omogućava kompletno upravljanje mernim procesom. LabVIEW program sadrži sve alate koji omogućavaju akviziciju, prezentaciju, čuvanje i analizu podataka i sastoji se iz dva glavna dela: front panela i blok dijagrama. Upravljanje VI se izvodi pomoću blok dijagrama koji grafički pokazuje programski kod koji ima istu sugu kao konvencionalni tekstualni jezik. VI je koncipiran tako da omogućava jednostavno očitavanje vrednosti napona sa dinamometra, koji odgovaraju aksijalnoj sili i obrtnom momentu, prikaz promene vrednosti na dijagramu i u tabeli, kao i prikaz najvećih vrednosti ovih veličina u jednom merenju.

Izgled front panela prikazan je na slici 2. On je prilagođen korisniku od koga se ne zahteva gotovo nikakvo poznavanje

koncepta grafičkog programiranja u okviru programskog paketa LabVIEW.



Slika 2. Izgled front panela VI [1]

Merenje otpočinje pritiskom na taster RUN (sa tulbara), a završava se pritiskom na dugme STOP. Po završenom merenju generiše se Excel tabelarni fajl koji dalje služi za obradu rezultata merenja. Kolone u ovom fajlu su identične kolonama u tabeli u samoj aplikaciji.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Primenom sistema čiji je prikaz dat na slici 1. izvršena su merenja aksijalne sile i obrtnog momenta. Uslovi pri eksperimentalnim ispitivanjima su bili sledeći:

- Alat – zavojna burgija prečnika Ø10 mm, Ø12 mm i Ø15 mm,
- Obradak – čelik za cementaciju Č1220 (CK15)
- Režim obrade – dat u tabeli 1.

D, mm	v, m/min	n, o/min	s, mm/o
10	22,3	710	0,056
			0,071
			0,089
			0,1125
			0,143
			0,179
12	21,1	560	
15	21,2	450	

Tabela 1. Režim obrade pri eksperimentalnim ispitivanjima

Na slici 3. prikazan je detalj iz laboratorije koji pokazuje mašinu alatku i pojedine elemente merno-akvizicijskog sistema.



Slika 3. Eksperimentalni pribor [1]

Radni prostor mašine alatke, zajedno sa dinamometrom i alatom prikazan je na slici 4., a detalj podešavanja alata pre eksperimentalnih ispitivanja prikazan je na slici 5.



Slika 4. Radni prostor mašine alatke [1]

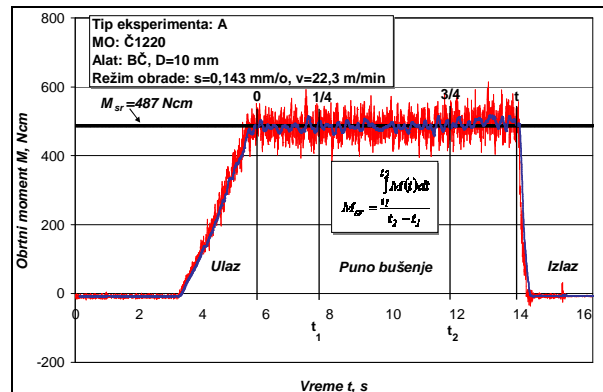


Slika 5. Podešavanje alata [1]

4. REZULTATI EKSPERIMENTA

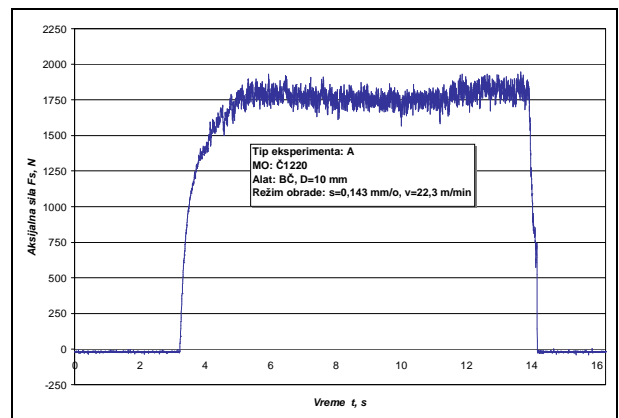
Izmereni podaci su generisani u Excelu i na osnovu tih podataka dobijeni su grafički prikazi promene aksijalne sile i obrtnog momenta. S obzirom da se tipičan signal obrtnog momenta i aksijalne sile može podeliti u tri faze, srednja vrednost obrtnog momenta i aksijalne sile određena je na osnovu druge faze, faze punog bušenja (steady-state), uzimanjem vrednosti signala u opsegu $\frac{1}{4}$ do $\frac{3}{4}$ faze punog bušenja, slika 6. Ova tehnika izbegava delove signala koji odgovaraju ulazu burgije u materijal i izlazu burgije iz materijala. Pri određivanju srednjih vrednosti izmerenih veličina korišćeni su sledeći izrazi:

$$M_{sr} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} M(t) dt}{t_2 - t_1} \quad F_{sr} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} F_s(t) dt}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

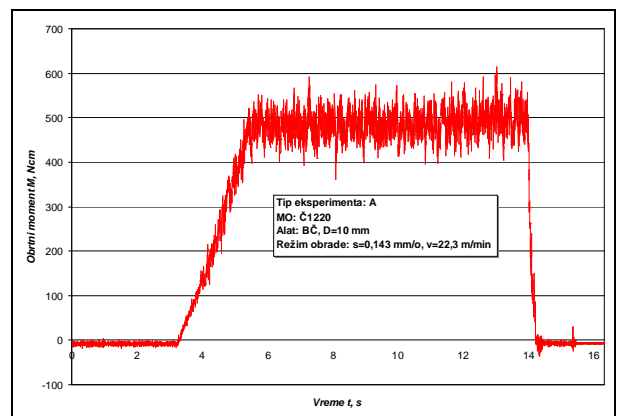


Slika 6. Primer određivanja srednje vrednosti obrtnog momenta [1]

Na slikama 7-10. dati su neki grafički prikazi promene aksijalne sile i obrtnog momenta pri bušenju sa različitim prečnicima burgije.



Slika 7. Promena aksijalne sile rezanja pri bušenju u zavisnosti od vremena rezanja [1]

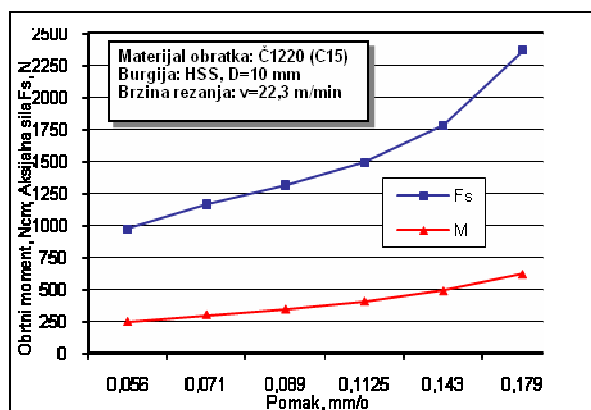


Slika 8. Promena obrtnog momenta pri bušenju u zavisnosti od vremena rezanja [1]

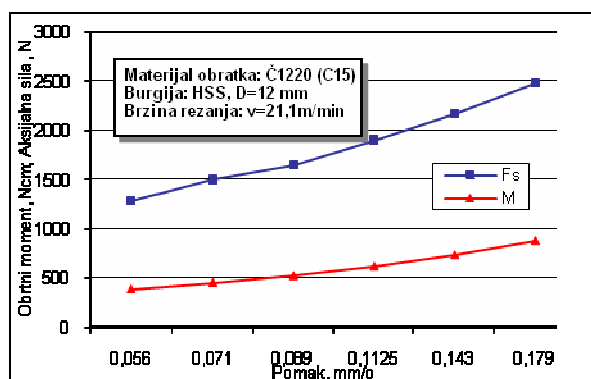
U tabeli 2. dati su rezultati izračunatih srednjih vrednosti obrtnog momenta i aksijalne sile za sve izvedene eksperimente.

Pomak s, mm/o	D=10 mm		D=12 mm		D=15 mm	
	M, Ncm	F _s , N	M, Ncm	F _s , N	M, Ncm	F _s , N
0,056	247	969	385	1287	546	1457
0,071	300	1162	454	1501	660	1720
0,089	344	1312	523	1646	790	2014
0,1125	406	1488	619	1900	953	2374
0,143	487	1776	738	2164	1155	2808
0,179	618	2362	883	2477	1382	3285

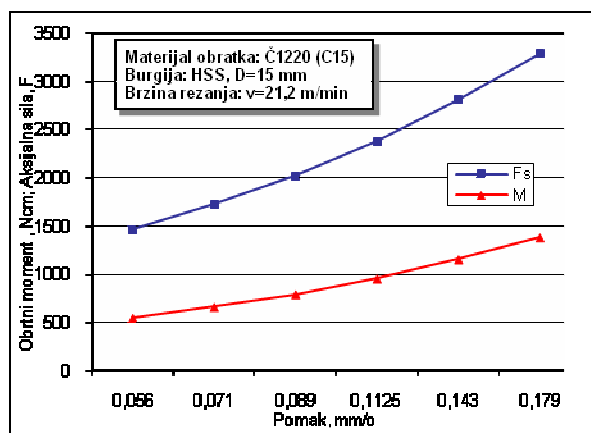
Na slikama 9-13. dati su grafički prikazi promene aksijalne sile i obrtnog momenta u funkciji promene pomaka za različite prečnike burgije.



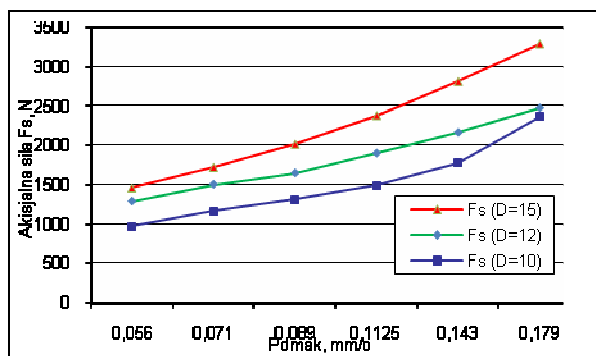
Slika 9. Promena aksijalne sile i obrtnog momenta u zavisnosti od pomaka



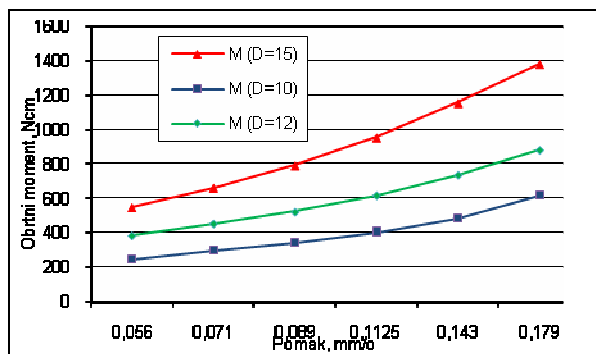
Slika 10. Promena aksijalne sile i obrtnog momenta u zavisnosti od pomaka



Slika 11. Promena aksijalne sile i obrtnog momenta u zavisnosti od pomaka



Slika 12. Promena aksijalne sile u zavisnosti od pomaka za različite prečnike burgije



Slika 13. Promena obrtnog momenta u zavisnosti od pomaka za različite prečnike burgije

5. ZAKLJUČAK

Potreba za realnom i tačnom predikcijom obrtnog momenta i aksijalne sile pri bušenju je izuzetno velika. U ovom radu je prezentovan model sistema za monitoring sila rezanja pri bušenju koji je baziran na virtuelnoj instrumentaciji. VI je ispunio očekivanja jer su testovi pri različitim režimima obrade pokazali izuzetne merne mogućnosti primenjenog sistema, koji pruža izuzetno fleksibilno, otvoreno i interaktivno okruženje.

6. LITERATURA

- [1] National Instruments, *LabVIEW Measurements Manual*, July 2000 Edition, Part Number 322662A-01
- [2] Rodić, I.: *Postavka i razvoj sistema za akviziciju tehničko-tehnoloških podataka pomoću personalnog računara*, Diplomski rad, FTN, Novi Sad, 2004.
- [3] Sekulić, M.: *Određivanje sila rezanja pri bušenju*, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 2007.
- [4] Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M.: *Razvoj sistema za akviziciju podataka primenom virtuelne instrumentacije*, 30. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Vrnjačka Banja, 2005.
- [5] Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M.: *Modeliranje procesa bušenja*, 31. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Kragujevac, 2006.

Autori: Doc. dr Milenko Sekulić, Prof. dr Dragoje Milikić, Prof. dr Marin Gostimirović, Prof. dr Pavel Kovač, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: milenkos@uns.ns.ac.yu
dmilic@uns.ns.ac.yu
maring@uns.ns.ac.yu
pkovac@uns.ns.ac.yu

Sekulić, M., Milikić, D., Gostimirović, M.

TEKUĆI TRENDVI U PROIZVODNJI ALATA ZA PLASTIKU

Rezime: Industrija alata je važan deo celokupne proizvođačke industrije. Alati za plastiku igraju ključnu ulogu u čitavom proizvodnom lancu, utičući na troškove, kvalitet i glavno vreme proizvoda. Industrija alata je izložena rastućem pritisku da redukuje vreme i troškove razvoja alata, ponudi bolju tačnost i kvalitet površine, obezbedi fleksibilnost budućih promena konstrukcije i da odgovori zahtevima kraćih proizvodnih serija. Da bi uspešno odgovorila ovim zahtevima, primenjuju se nove tehnologije kao što su visokobrzinske obrade, obrada ojačanih čelika, hibridni nekonvencionalni procesi, mikro obrade, modeliranje procesa, automatizacija projektovanja, rapid prototyping i rapid tooling.

Ovaj rad daje prikaz tekućih trendova u izradi alata za plastiku. Ove tehnologije omogućavaju ključnu prednost proizvođačima alata.

Ključne reči: alati za plastiku, postupci izrade alata za plastiku

CURRENT TRENDS IN MACHINING OF MOLD AND DIE TOOLS

Abstract: Tooling industry is an important part of the overall manufacturing industry. Dies and molds represent a key position on the whole production chain, affecting the costs, quality and lead-time of product. The tooling industry is increasingly facing the pressure to reduce the time and cost of die and mold development, offer better accuracy and surface finish, provide flexibility future design changes and meet the requirements of shorter production runs. To meet these requirements, new technologies like high speed machining, hardened steel machining, hybrid non-conventional processes, micromachining, process modeling, tooling design automation, rapid prototyping i rapid tooling have been applied.

This paper presents current trends in machining of mold and die tools. These technologies enable crucial advantage for moldmakers.

Key words: molds and dies, machining of molds and dies

1. UVOD

U poslednje dve decenije postoji jasan trend u industriji: „uradi više sa manje“. Da bi ovo postigla industrija se fokusirala na redukciju vremena potrebnog za projektovanje i proizvodnju proizvoda. Nove tehnologije i strategije su implementirane u skraćivanje ovog vremena. Ove tehnologije se često zovu „Vremenski komprimovane tehnologije“. Naravno vreme ne može biti komprimovano, ali ono može biti iskorišćeno mudrije upotrebom novih tehnologija. Konstrukcija i proizvodnja nisu nikada nezavisni procesi, ali kao deo integralnog procesa takođe sadrže i druge aktivnosti kao što su marketing, menadžment i informacioni sistem.

Životni vek proizvoda se skraćuje sve više i više, mnogi proizvodi zastarevaju u roku od mesec dana. To je glavni razlog što se javlja potreba za malim serijama. Postoji takođe i potreba za brzim testiranjem novog proizvoda i jeftinim prototipom pogotovo u kratkim i srednjim proizvodnim serijama. Zbog toga globalizacija i slobodno tržište nameću pritisak na proizvođače. Da bi odgovorio na ove pritiske proizvodni sektor traži tehnologije koje redukuju potrebno vreme od ideje do gotovog proizvoda na tržištu (time-to-market).

Izrada alata predstavlja veoma presudan (kritičan) aspekt čitavog proizvodnog lanca. Alati, slično mašinama alatima, mogu predstavljati malu investiciju u poređenju sa vrednošću čitavog proizvodnog programa. Međutim oni su kritični, zajedno sa mašinama alatima u određivanju glavnog vremena, kvaliteta i troškova diskretnog dela. Kvalitet alata direktno utiče na kvalitet proizvedenih delova. S druge strane kupci očekuju: visok kvalitet proizvoda, kratko vreme obrade i male troškove obrade. Standardizacija mnogih elemenata alata omogućava fleksibilnost izrade samih alata. Na taj način se redukuju troškovi i glavno vreme izrade samog alata.

Glavni problemi sa kojima se suočavaju proizvođači alata za plastiku u industrijskim zemljama su:

- Pad cena i marži tako da postoji jaka potreba za upravljanjem i redukcijom troškova.
- Zahtevi za izradu alata za vreme koje je oko 50% manje od ranijih zahteva.
- Potreba za produženim potrošačkim servisom (manipulacija podacima, saveti, probni delovi, saradnja u procesu razvoja).
- Nestašica i troškovi kvalifikovanih radnika, koji mogu uvesti nove tehnologije u proizvodnju.

Da bi postupak proizvodnje alata za plastiku bio uspešan neophodno je:

- Ustanoviti kvantitativnu metodu za procenu troškova izrade alata.
- Identifikovati sve troškove i uticajne faktore na troškove.
- Odrediti čitav lanac izrade alata od zahteva do isporuke potrošačima.
- Obezbediti održavanje za potrošače.

Činjenica da na troškove izrade alata otpada 60% svih troškova, a samo 15% na konstruisanje (ostalih 10% na materijal i 15% troškovi poslovanja) govori o glavnim mogućnostima i opasnostima za industriju alata za plastiku: relativno nizak udeo konstruisanja i održavanja i visoki troškovi izrade samog alata. Inovacije u industriji alata su visoko multidisciplinarnе: od inženjerskih materijala, softvera do virtuelnih alata. Industrija alata traži prilagođena rešenja za njene potrebe.

U mnogim slučajevima alati su bili pokretači novih tehnologija/proizvoda, ali su takođe i inovacije uticale na njihov progres. Alati su tržište za specijalne mašine alatke. Industrija alata ulaže oko 10% obrta u mašine alatke, kao npr. za EDM obradu, visokobrzinske obrade, laserske obrade itd.

2. ZNAČAJ I PRIMENA INOVATIVNIH TEHNOLOGIJA VIRTUELNOG INŽENJERINGA U INDUSTRIJI ALATA

Primena novih proizvodnih tehnologija i koncepta konkurentnog inženjeringa je neophodna da bi se smanjilo vreme i troškovi proizvodnje i istovremeno postigao visok kvalitet i pouzdanost proizvoda. Tradicionalno projektovanje i proizvodni procesi ne zadovoljavaju ovakve zahteve, s obzirom da projektovanje i izrada probnih alata i proizvoda po principu «trial-and-error» zahteva dosta vremena. To podrazumeva simultano izvođenje svih aktivnosti u inženjerskom projektovanju, odnosno integrirani razvoj proizvoda i procesa u računarskom okruženju. Upravo tehnološka integracija VP&M tehnologija (*Virtual Prototyping & Manufacturing*), koja uključuje CAD/CAM/CAE, i PP&M (*Physical Prototyping & Manufacturing*) tehnologije za brzu izradu prototipova i alata, je najbolja podrška konkurentnom inženjeringu.

Iako projektovanje alata predstavlja samo mali deo ukupnih troškova alata, odluke donete u fazi projektovanja imaju veliki efekat na proizvodnju i troškove njegovog životnog ciklusa. Stoga je najbolje da se proizvod i proces konstruisanja alata razmatraju simultano (istovremeno) što često nije slučaj u praksi. Ovaj cilj može biti dobro ostvaren samo kroz dobru komunikaciju između konstruktora proizvoda i alata, koji mogu biti u različitim kompanijama ili lokacijama. Treba koristiti, ako je ikako moguće, isti CAD-CAM sistem za razvoj (modeliranje proizvoda), projektovanje (alata) i planiranje procesa (CAM sistem). Na ovaj način transfer podataka nije komplikovan zbog toga što njihovi formati nisu različiti.

VP&M tehnologije korišćenjem virtuelnih modela omogućavaju vizuelizaciju alata, ispitivanje njegove funkcionalnosti i eksploatacijskih karakteristika pre same proizvodnje, procenu uticaja parametara procesa na karakteristike alata u njegovom konceptualnom dizajnu. Primena modernih CAD/CAM/CAE sistema omogućava simuliranje celog životnog ciklusa alata (dizajn, prototip, testiranje, izrada, montaža, održavanje). Pored toga omogućena je i simulacija putanje reznog alata kroz automatsko generisanje NC koda. To je posebno značajno pri izradi alata na CNC mašinama alatkama. Važno je da CAM modul sadrži simulaciju postupka obrade (najčešće glodanja), koja omogućava virtuelnu proveru pre aktuelne obrade. Simulacija obično pokazuje dinamiku odnošenja materijala i putanju alata.

Današnji CAD-CAM softveri zasnovani na PC-ju rastu sofisticiraniji. Postoje desetine opcija za krajnje korisnike. Usled rapidnog razvoja IT CAD-CAM sistemi mogu izvršiti zadatke NC programiranja što je bilo nemoguće nekoliko godina ranije bez skupih radnih stanica. Inače primena modeliranja procesa upotrebom 3D-FEM softvera se danas smatra rutinom u izradi alata za plastiku.

2.1 Fizički prototipovi i proizvodnja alata

Fizički model alata omogućava analizu funkcionalnosti alata u sklopu, proveru dizajna, ergonomsku analizu i ostala funkcionalna testiranja. Rezultati dobijeni CAD/CAM/CAE tehnologijom mogu se verifikovati korišćenjem fizičkog modela alata.

Klasa proizvodnih metoda obično poznatih kao „rapid prototyping“ (RP) ili „proizvodnja čvrstog slobodnog oblika („solid freeform fabrication“ - SFF) značajno je razvijena u poslednjoj dekadi. To je nova klasa specijalnih tehnologija koje se koriste za brzu izradu fizičkog objekta direktno iz CAD podataka.

Rapid prototyping (RP), Rapid tooling (RT) i Rapid manufacturing (RM) mogu se posmatrati kao grane jednog tehnološkog drveta koje se zove „slojevita proizvodnja“.

Svaka od njih ima isti ulaz (3D CAD podatke) i isti princip gradnje (sloj po sloj), ali fundamentalno različite izlaze:

- realni model (RP)
- izradu alata (RT) i
- funkcionalni deo (RM)

Slojevita proizvodnja je visoko inovativna i nisko troškovna i našla je široku primenu u industriji alata za plastiku. Iako je ovo nova tehnologija porast njene primene u komercijalne svrhe je fenomenalan. Pre slojevite proizvodnje sistemi korišćeni u proizvodnji alata imali su samo mogućnost kreiranja modela iz funkcionalnih delova direktno iz CAD podataka upotrebom CNC mašina alatki.

Za razliku od proizvodnje modela pomoću tehnologije obrade rezanjem, koja se bazira na odnošenju materijala, slojevita proizvodnja koristi dodavanje materijala sloj po sloj dok se čitav deo ne kompletira. Dve glavne prednosti ovakvog pristupa u poređenju sa CNC obradom, koje čine ovu tehniku ekonomski isplativijom su:

- potrebno vreme za proizvodnju komplikovanog modela je značajno manje
- nema gubitka materijala u obliku strugotine.

Koncept „**Rapid tooling**“ sadrži tri jasna segmenta: prototype tooling, bridge tooling i tooling za ograničene proizvodne serije. **Prototype tooling** je ime koje se koristi za alate koji su projektovani za testiranje novih komponenti projektovanja, novog materijala ili možda novog procesa. U ovom slučaju alat nije namenjen da proizvodi više od nekoliko stotina delova, tako da postojanost alata, vreme ciklusa i deo za izbacivanje otpreska nisu predmet konstrukcije. Mnogo manje vreme ciklusa i ručno izbacivanje otpresaka se često upotrebljavaju za uprošćene konstrukcije alata i na taj način se čuva dragoceno vreme u proizvodnji prototipa alata. Zbog toga troškovi prototipa alata mogu biti dodatni u ukupne troškove alata i amortizovani sa čitavim životnim vekom finalnog proizvoda, tj. trošak nije primarni interes.

Bridge tooling je ime koje se primenjuje za alate koji su konstruisani za manje desetina hiljada proizvodnih ciklusa. Ovi alati dozvoljavaju novom proizvodu da dođe na tržište ranije, dok je proizvodni tooling još u fazi nastajanja. Iako ovi alati ne zahtevaju izdržljivost proizvodnih alata i mogu biti ne optimizirani u odnosu na parametre procesa, oni moraju biti u mogućnosti da izdrže nekoliko stotina ciklusa. Opet, troškovi ovih alata moraju ući u ukupne troškove za čitavu proizvodnu seriju.

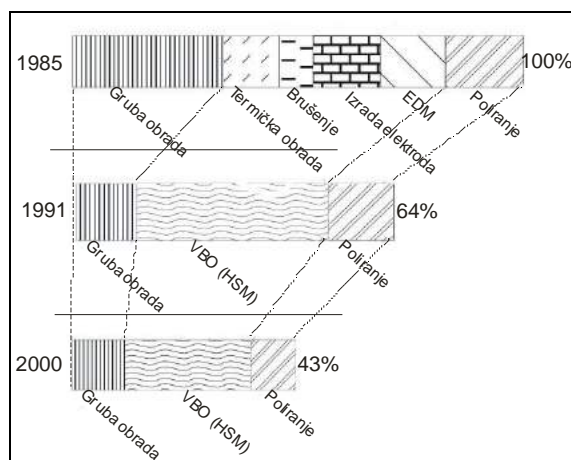
Konačno, najzahtevnija primena je kod alata za kratke proizvodne serije. Sa dolaskom lean proizvodnje (lean manufacturing) i masovne potrošnje, kao i primenom koncepta „just in time“ (tačno na vreme) proizvodnje, potreba za proizvodnjom alata koji mogu proizvoditi kvalitetne delove u malim količinama, tako da su troškovi mali, postaje glavni cilj u mnogim industrijama. Često je nejasno da li je bolje praviti pojedinačni alat za proizvodnju limitiranog broja delova, koji je upotrebi nekoliko godina ili je bolje praviti jeftiniji, manje dugotrajniji alat, koji se baca na kraju svake proizvodne serije. Bolje je baciti jeftiniji alat i praviti drugi, svaki put kada to zahteva nova proizvodna serija.

Rapid tooling procesi su podeljeni u tri glavne grupe [1] (njihova klasifikacija je zasnovna na praktičnim upotrebama alata): procesi koji se koriste za izradu alata za livenje, „indirect“ tooling i „direct“ tooling. Npr. direktne metode koriste RP tehnologije za izradu alata direktno iz CAD modela bez upotrebe dodatnih tehnika transfera kalupa. Najopštiji metod za direktni tooling obuhvata „zeleni“ deo koji je stvoren pomoću izabranih metoda laserskog sinterovanja (SLS) ili metoda trodimenzionalnog štampanja (3DP). Pomoću lasera se nanose naslage polimera koje su presvučene metalnom prašinom, a pomoću 3DP naslage prašine se prvo uklanjaju, a onda se primenjuje adhezivno

vezivno sredstvo. Trenutno je na ovaj način moguće obezbediti preciznost od stotog dela milimetra sa hrapavošću površine od 15 μm ili bolje.

3. SAVREMENI POSTUPCI IZRADE ALATA ZA PLASTIKU

U poslednjih 20 godina došlo je do značajnih promena u primeni pogodnih postupaka obrade. Iako su tradicionalno obrade rezanjem i EDM glavne metode obrade koje se koriste za izradu alata, sve više dolazi do primene naprednih tehnologija čiji je cilj redukcija glavnog vremena i troškova obrade, uz istovremeno povećanje kvaliteta. Kompanije koje ne budu usvajale nove tehnologije imaju velike šanse da odu u bankrot. To najbolje ilustruje slika 1. koja pokazuje procenat redukcije glavnog vremena obrade alata za plastiku (u poslednjih 20 godina), što je rezultat primene novih metoda obrade.



Slika 1. Analiza vremena obrade u poslednjih 20 godina [2]

EDM obrada je esencijalni proces u proizvodnji alata za plastiku. Oдавno su poznate njene prednosti u proizvodnji geometrijski kompleksnih delova i delova od tvrdih materijala koji se ekstremno teško obrađuju konvencionalnim postupcima obrade. Ova obrada omogućuje da alatni čelici pre obrade budu termički obrađeni na punu tvrdoću, čime se izbegavaju problemi dimenzione tačnosti, koji su karakteristični za naknadnu termičku obradu. Neke šupljine (konture) i profili na alatu ne mogu biti izrađeni bez ovog postupka. Ali EDM obrada je veoma spora obrada u poređenju sa npr. visokobrzinskim obradama (High Speed Machining).

HSM je relativno nova proizvodna tehnologija koja omogućuje veću produktivnost (putem većih brzina rezanja i putem većih pomaka), odličnu završnu obradu i dobru dimenzionu tačnost u proizvodnim procesima, izradu tačnih i tankozidnih elektroda, 5-osnu obradu. Elektrode sa tankim zidovima, rebima ili drugim delikatnim karakteristikama primenom HSM mogu biti izrađene iz jednog komada zbog toga što rezanje sa malim dubinama pravi mali pritisak između alata i obratka.

Primena HSM u industriji alata za plastiku počinje negde oko 1995-96. godine. U odnosu na EDM obradu to je nisko energetska tehnologija zdravija za radno okruženje (permanentno se smanjuje SHP i uvodi suva obrada). Iako u visoko razvijenim zemljama udeo tržišta HSM raste u odnosu na EDM ove dve obrade su komplementarne. Ove dve tehnologije nisu konkurentne, ali su uporedive, pošto se npr. sve različite geometrije mogu ostvariti pomoću EDM što nije slučaj sa HSM.

U tabeli 1. prikazano je poređenje karakteristika EDM obrade sa žicom i punom elektrodom u odnosu na HSM

obradu sa 3 i 5 osa, a na slici 2. prikazan je alat za duvanje PET ambalaže izrađen primenom HSM.

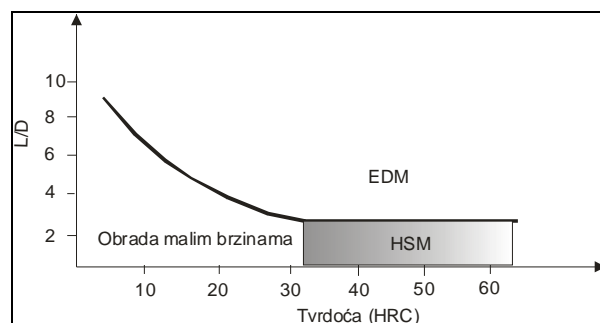
	EDM- žica	EDM- elektroda	HSM (3 ose)	HSM (5 osa)
Tačnost	4-6 μm	10-20 μm	10-20 μm	15-30 μm
Proizvodnost	180 mm^3/min	900 mm^3/min	2500-3500 mm^3/min	2500-3500 mm^3/min
Kv. ob. površine	$R_a=0,05 \mu\text{m}$	$R_a<0,2 \mu\text{m}$	$R_a=0,1 \mu\text{m}$	$R_a=0,1 \mu\text{m}$
Tvrdoća mat. obr.	Bez ogranič.	Bez ogranič.	$\leq 58 \text{ HRC}$ 58-62 HRC (T↓)	$\leq 58 \text{ HRC}$ 58-62 HRC (T↓)

Tabela 1. Poređenje karakteristika EDM i HSM



Slika 2. Primer primene HSM: alat za duvanje PET ambalaže [3]

Trenutno ne postoji standard ili algoritam za izbor napogodnijeg procesa obrade već je odluka zasnovana na individualnom iskustvu. Jedna od metoda koja se koristi pri izboru najboljeg proizvodnog procesa zasnovana je na topološkoj analizi alata koja uzima u obzir 3D geometriju istog (unutrašnju i spoljašnju). U literaturi se mogu naći i studije koje se bave izborom najpogodnijeg postupka obrade, tako što kao glavne parametre uzimaju odnos efektivne dužine alata L i prečnika alata D , kao i tvrdoću materijala obratka (slika 3.). Ako je odnos $L/D \leq 3$ i ako je tvrdoća materijala obratka između 32 i 55 HRC onda je HSM bolji izbor. U suprotnom EDM predstavlja bolji izbor. Naravno ovim preporukama treba dodati i ekonomsku analizu troškova obrade koja može pokazati da optimalno rešenje predstavlja kombinacija EDM i HSM.



Slika 3. Zone za obrade malim brzinama, EDM i HSM [4]

Upotreba malog odnosa L/D je najbolja u praksi jer visok odnos L/D redukuje efikasnost procesa obrade. Visok odnos L/D povećava bacanje alata (bacanje alata od 0,01 mm povećava postojanost alata za više od 300% u odnosu na bacanje alata od 0,04 mm). S druge strane bacanje alata utiče na kvalitet obrađene površine i na izradu radijusa kontura kod šupljina na alatu.

Međutim, treba imati u vidu da HSM ne zahteva samo specifične mašine alatke (krute, visoke brojeve obrtaja vretena, visoke pomake, softver sa naprednim mogućnostima, promenu brzine u kratkom vremenskom periodu) i rezne alate (ultra fine karbide sa raznovrsnim i višestrukim prevlakama, optimiziranu rezu geometriju, visoke rezne performanse alatnih materijala kao što je PCBN i keramika), već takođe i specijalne CNC programske strategije za putanju alata.

Strategije putanje alata imaju značajan uticaj na glavno vreme obrade. Neke od strategija za optimizaciju putanje alata su počele da se implementiraju u upravljačke jedinice HSM mašina alatki. Eksperimenti pokazuju da se primenom pogodnih strategija obrade kod glodanja ojačanih materijala (hard milling) omogućuje ostvarivanje smanjenja troškova za 30%. Ušteda vremena se postiže i adaptivnom obradom koja podrazumeva promenu broja obrtaja i pomaka da bi se održao konstantan presek strugotine. Na ovaj način se dobija bolji kvalitet obrađene površine, produženje postojanosti alata, manje glavno vreme obrade i povećanje proizvodnosti.

Trend u današnjoj proizvodnji alata se kreće u pravcu obrade tvrdih materijala (od 40 do 62 HRC- HARD MACHINING), kako gruba tako i fina obrada, kad god je moguće zameniti EDM. Glavni cilj HSM tvrdih kalupa (matrica) je smanjenje radnih operacija. Treba reći i da su osnove HSM i HSM tvrdih materijala još delimično nepoznate. Vode se istraživanja u različitim laboratorijama za razumevanje osnovnih fizičkih fenomena kao što je određivanje formiranja strugotine, efekti brzina rezanja i temperatura. Rezultati ovih istraživanja ilustruju mnoge aspekte HSM obrade u praksi [4]:

- Gruba obrada prethodno okaljenih kalupa zahteva više vremena od obrade u mekom stanju. Međutim kada se završi gruba i fina obrada u ojačanom stanju, eliminisan je novi alat.
- Odluka za tvrdi obradu mora biti doneta za svaku aplikaciju individualno.
- Pored karakteristika mašine alatke, faktor koji utiče na uspeh HSM pri glodanju je i izbor materijala alata, prevlake i geometrije alata u skladu sa režimima rezanja.
- Pravim izborom pogodnih parametra HSM obrade, EDM može biti zamenjena u mnogim aplikacijama.

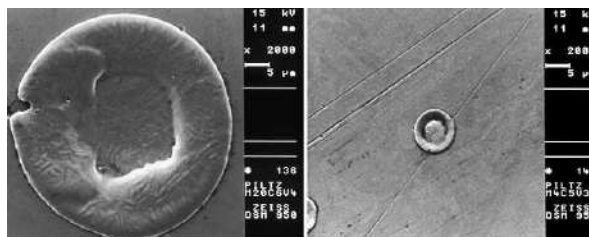
4. PRIMENA HIBRIDNIH I MIKRO OBRADA U PROIZVODNJI ALATA ZA PLASTIKU

Dok HSM obrada ojačanih alatnih čelika postaje sve više interesantnija, dotle se bezkontaktni postupci obrade kao što su EDM, ECM i hibridni procesi kontinualno razvijaju u pravcu povećanja efikasnosti i sposobnosti proizvodnje precizne geometrije teškoobradljivih delova. U poslednjoj deceniji, povećanje mogućnosti upravljanja EDM procesa, obezbedilo je visok nivo preciznosti obrade, sa smanjenjem oštećenja obratka i redukciju vremena obrade.

Hibridni procesi obrade koriste prednosti pojedinačnih postupaka obrade i njihovom kombinacijom eliminišu njihove individualne limitiranosti. Primer takve obrade je EDM/ECM obrada kod koje se ostvaruje mnogo veća proizvodnost, kombinacijom pojedinačnih mehanizama skidanja materijala. Performanse ove obrade mnogo zavise od performansi sistema koji upravlja pozicijom alata u toku obrade (širina zazora između alata i obratka mora biti konstantna). Inače oba procesa i EDM i ECM imaju ograničenja kod primene na polju mikro obrada. EDM alati se brzo habaju što dovodi do neizvesnosti u pogledu egzaktnog oblika alata u toku odnošenja metala, a problem ECM obrade se takođe odnosi na upravljanje erozionom zonom.

S obzirom da broj mikro-tehničkih komponenti, sa zapreminom dela manjom od 1 mm³, svakim danom sve više

raste, rastu i zahtevi za izradom mikro alata za plastiku. Mikro EDM obrada (μ -EDM) omogućava izradu upravo takvih alata. Da bi se ova obrada mogla primeniti, pored minimiziranja alata-elektrode mora se redukovati i energija pražnjenja u odnosu na klasičnu EDM obradu na manje od 100 μ J po jednom pražnjenju. Npr. energija pražnjenja od 0,1 μ J omogućava malo skidanje materijala u jednom pražnjenju sa radijusom kratera koji je manji od 2,5 μ m (slika 4). Mikro EDM obrada omogućava ne samo obradu mikro rupa i mikro otvora prečnika manjih od 5 μ m, već i obradu kompleksnih trodimenzionalnih šupljina. U praksi se sreće više varijanti ove obrade kao što su mikro obrada sa žicom, mikro bušenje, mikro glodanje i mikro brušenje.



Slika 4. Dimenzije kratera pri klasičnoj i mikro EDM

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu dat je pregled modernih tehnologija i postupaka obrade koji su našli primenu u izradi alata za plastiku. Značaj industrije alata za plastiku svakim danom raste, s obzirom da nema proizvoda niti proizvodnje bez alata. Projektovanje i izrada alata sve više su zasnovani na znanju i inovacijama, koje se kreću u pravcu virtuelnog inženjeringa, visokobrzinskih i mikro obrada. To podrazumeva integraciju većeg broja proizvodnih i informacionih tehnologija.

6. LITERATURA

- [1] Rosochowski, A., Matuszak A.: *Rapid tooling: The State of the Art*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 106, pp.191-198, 2000.
- [2] Krajnik, P., Kopač, J.: *Modern machining of die and mold tools*, Journal of Material Processing Technology, Vol. 157-158, pp. 543-552, 2004.
- [3] Löttgen, R.: *EDM or HSM? Which technology wins concerning die and mold making?*, 8^o Seminario Internacional de Alta Tecnologia, www.unimep.br
- [4] Alam, M. R., Lee, K. S., Rahman, M., Zhang, Y., F., Li, Y., D., Sankaran, K. S.: *Comparative study of HSM and EDM in injection mould manufacturing*, Initiatives of Precision Engineering at the Beginning of a Millennium: 10th International Conference on Precision Engineering (ICPE), Yokohama, Japan, July 18-20, 2001.
- [5] Altan, T., Lilly, B., Yen, Y. C.: *Manufacturing of Dies and Molds*, Key Note Paper, CIRP, Annals of CIRP, v.2, p.405, 2001.

Autori: Doc. dr Milenko Sekulić, Prof. dr Dragoje Milikić, Prof. dr Marin Gostimirović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: milenkos@uns.ns.ac.yu

dmilic@uns.ns.ac.yu

maring@uns.ns.ac.yu

Sekulić, S.

ZAVISNOST VREMENA BEZOTKAZNOG RADA REZNOG ALATA OD REŽIMA RADA PRI STRUGANJU

Rezime: Postojeće relacije između postojanosti alata i režima obrade najčešće se zasnivaju na determinističkom pristupu. Kako je proces rezanja tipičan stohastički proces, u novijoj literaturi polazi se sa verovatnosnih pozicija. Da bi se uspostavile specifične veze u ovom radu analiziran su otkazi reznog alata u funkciji režima obrade, pri čemu je korišćen verovatnosni pristup.

Ključne reči: Verovatnoća, Rezni alat, Režim obrade, Struganje

DEPENDENCE TIME BETWEEN TO FAILURE OF CUTTING TOOLS AWAY CUTTING CONDITIONS IN TURNING

Abstract: Existing relation between tool life and cutting conditions represent a deterministic approach. As the cutting process is a typical stochastic one, recent literature contain an approach from the probability aspect. In order to, establish specific connections and relations and to analyse of cutting-tool failures and cutting conditions based on probability approach, was used

Key words: Probability, Cutting tools, Cutting condition, Turning

1. UVOD

U savremenim proizvodnim uslovima pitanje izbora optimalnih režima obrade predstavlja značajan zadatak vezan za izbor optimalne varijante obrade.

Razvijeni matematički modeli za njihove proračune zahtevaju posedovanje pouzdanih podataka o obradljivosti. Kao što je poznato oni se mogu dobiti: 1. laboratorijskim ispitivanjima, pri čemu se održavaju, strogi, kontrolisani, uslovi, koji se odnose na obradak i alat, kao i druge prateće uticaje 2. praćenjem ponašanja alata u proizvodnim uslovima.

Ispitivanje zavisnosti brzina rezanja – postojanost u laboratorijskim uslovima, ukazuje da se za iste uslove pri rezanju dobijaju značajna rasipanja postojanosti kao posledica neujednačenih triboloških uslova pri rezanju. Iz tih razloga obično se vrše preliminarne ispitivanja sa većim brojem alata pri čemu se eliminišu alati sa ekstremnim vrednostima postojanosti, a sa preostalim vrše sistematska ispitivanja. posmatrajući ovakav način izbora reprezentativnih alata za ispitivanje funkcija postojanosti sa verovatnosnih pozicija možemo zaključiti da on nema nikakve podloge i opravdanja.

Prikupljanjem podataka o otkazima alata svih vrsta, u proizvodnim uslovima, uočava se vrlo veliko rasipanje, koje je posledica manje kontrolisanih uslova vezanih, pre svega, za obradak i alat, a i ostale uslove koji prate proces. Pored toga, u realnim uslovima obrade, do otkaza alata ne dolazi samo usled triboloških pojava u zoni rezanja već i kao posledica drugih, slučajnih poremećaja.

Na osnovu napred izloženog potrebno je razlikovati pojam postojanosti i vremena bezotkaznog rada alata, i za oba pojma dati tačnije definicije obzirom da je obrada rezanjem tipičan stohastički proces. Tako se za postojanost alata može reći da predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja definisanog merodavnim kriterijumom habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog modže se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada

manje od postojanosti alata. Razlikovanje gore navedena dva pojma je vrlo značajno obzirom da se prvi odnosi na tribološke karakteristike materijala obratka i alata, pri ostalim istim uslovima, a drugi i na ostale slučajne poremećaje koji prate realne proizvodne uslove.

U zavisnosti od veličine serija koje se obradjuju, broj registrovanih vrednosti otkaza alata može biti različit. Ako je broj registrovanih vrednosti $N > 50$ on predstavlja reprezentativan uzorak, a ukoliko je $N \leq 50$ on to postojanost alata može reći da predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja definisanog merodavnim kriterijumom habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima predstavlja srednje vreme efektivnog rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog modže se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada manje od postojanosti alata. Razlikovanje gore navedena dva više nije. Za obe gore navedena slučaja treba primeniti odgovarajuće metodologije obrade podataka, koje omogućuju određivanje postojanosti, odnosno srednje vrednosti bezotkaznog rada alata [1].

Kao što je poznato najvažniji rezultat laboratorijskih ispitivanja obradljivosti predstavlja zavisnost postojanosti od elemenata režima obrade [3,4]

$$T = C_T \delta^x s^y v^z$$

gde je δ dubina rezanja, C_T , x , y , z , konstante, za ostale nepromenjene uslove, zavise od materijala obratka i alata.

Za određene elemente preseka strugotine dobija se Taylor-ova jednačina

$$T = C_T v^z ; \quad C = C_T \delta^x s^y = const.$$

koja u log-log mreži predstavlja pravu liniju sa uglom nagiba

$$\alpha = \arctan z$$

Izraz za postojanost preme Dipiereux-u glasi

$$T = \exp [-(k_v/m)v^m - (i_s/n)s^n + c]$$

Za široki dijapazon promenljivih, uslovna veličina habanja iznosi

$$b = C \delta^s v^z T^{f(v)}$$

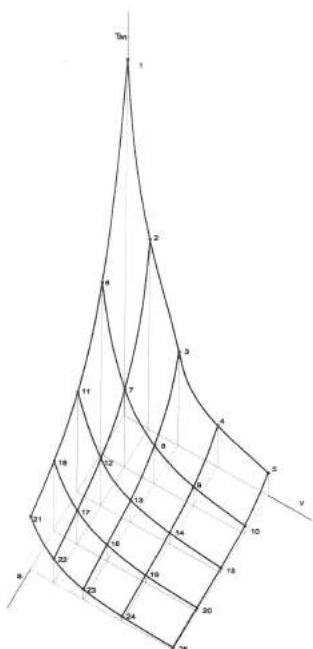
Za određeni režim obrade ona prelazi u Weber-ovu jednačinu

$$b = K T^\beta ; \quad K = C \delta^s v^z$$

Poredjenjem izvedenih izraza, zasnovanih na verovatnosnim osnovama, sa predhodno iznetim zavisnostima, možemo konstatovati da oni ukazuju na svu složenost i delikatnost korišćenja podataka pri odredjivanju merodavnih režima obrade, pri čemu unošenje pouzdanosti kao elementa obezbeđuje veću sigurnost.

Tablica T.1 Srednja vremena bezotkaznog rada reznih alata \hat{T}_m

n, ob/min		(160)	(200)	(250)	(315)	(400)
v, m/min		47,226	59,03	73,79	92,98	118,06
s, mm/ob	0,8	535,8	4,88	141,73	62,44	34,276
	1,0	260,13	3,19	57,655	28,46	12,625
	1,2	151,83	71,21	33,33	16,91	7,168
	1,4	105,26	50,90	25	11,16	4,880
	1,6	80,1	35,8	15,23	7,09	3,190



Slika 1. Promena srednjeg vremena bezotkaznog rada T_m u funkciji brzine rezanja i pomaka

2. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA I NJIHOVA OBRADA

U cilju određivanja promene parametara raspodele otkaza reznog alata, pri obradi na strugu, u realnim proizvodnim uslovima, pri različitim režimima obrade, praćeni su otkazi alata na operaciji: struganje, spolja, uzdužno, predhodno-završno, pri obradi košuljica cilindra motora "Perkins", tip M3, uz variranje 25 različitih režima obrade (5 različitih brzina rezanja v i 5 različitih pomaka s , u kombinaciji svaki sa svakim, dubina rezanja $\delta = 0,5$ mm). Materijal obratka je SL25 (JUS C J2.020), tvrdoće 98,5-106,5 HR_b odn 230-280 HB, livenje centrifugalno. Izvedeno je preko 500 eksperimenata. Eksperimenti su izvedeni na univerzalnom strugu Moskovskog zavoda za masine alatke, tip 16K20. Kao alat korišćen je nestandardni strugarski noz sledeće rezne geometrije: grudni uagao $\gamma = 5^\circ$, ledjni uagao $\alpha = 5^\circ$, poluprečnik zaobljenja vrha $r = 8$ mm. Ugao nagiba seciva $\lambda = 4^\circ$.

Za svaku pojedinu kombinaciju režima obrade vršeno je ponavljanje praćenja otkaza sa novim alatima ($N = 20$), sto je, obradom podataka omogućilo, da se odrede srednja vremena bezotkaznog rada T_m .

Na slici 1. vide se promene srednjeg vremena bezotkaznog rada u funkciji brzine rezanja i pomaka.

Kako se iz tablice T.1 vidi, za svaki pojedini režim obrade, vrednosti za srednje vreme bezotkaznog rada kreću se

$$3,19 < T_m < 535,80$$

Obrada eksperimentalnih podataka svopdi se na odredjivanje sledećeg para zavisnosti

$$T_m = f_1(v) ; \quad s = \text{const.}$$

$$T_m = f_2(s) ; \quad v = \text{const}$$

Na osnovu eksperimentalnih podataka sa-njen su djadram u log-log koordinatama i na osnovu njih gornje zavisnosti potražene su u eksponencijalnom obliku

$$T_m = C v^x ; \quad s = const.$$

$$T_m = D s^y ; \quad v = const.$$

Konstante C i D i eksponenti x i y potraženi su, u eksponencijalnom obliku, a eksponenti u linearnom

$$C = 68.8 \cdot 10^6 s^{-0.57}$$

$$x = -2,683 - 0,0094 v$$

$$D = 73.916 \cdot 10^6 v^{-3.246}$$

$$y = -2,678 - 0,0089 v$$

pa se za srednje vreme bezotkaznog rada T_m dodijaju dva ravnopravna izraza

$$T_m = 68.8 \cdot 10^6 s^{-0.57} v^{-2.71 - 0.496 s}$$

$$T_m = 73.916 \cdot 10^6 v^{-3.246} s^{-2.678 - 0.089 v}$$

Iz prve, od dve poslednje relacije, za srednje vreme bezotkaznog rada može se odrediti pomak

$$s = (73.916 \cdot 10^6 v^{-3.246} T_m^{-1})^{-(2.678 + 0.00956)}$$

a iz druge brzina rezanja

$$v = (68.8 \cdot 10^6 s^{-0.57} T_m^{-1})^{-(2.71 - 0.496 s)}$$

Izvedeni izrazi za srednje vreme bezotkaznog rada, brzinu rezanja i pomak, zasnovani na verovatnosnim osnovama, ukazuju na složenost i delikatnost korišćenja podataka pri rešavanju određenih problema i da se korišćenjem verovatnosnog prilaza obezbeđuje veću sigurnost.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- za srednje vreme bezotkaznog rada mogu se koristiti dve ravnopravne jednačine: obe u eksponencijalnom obliku i

- izvedene zavisnosti za pomak i brzinu rezanja mogu biti korisne pri rešavanju najrazličitijih praktičnih zadataka vezanih za obradu na strugu.

4. LITERATURA

- [1] Sekulić, S., *Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti i otkazima alata u proizvodnim uslovima*, Zbornik radova XXV Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, maj Beograd, 1986., 51-58.
- [2] Sekulić, S., Nikolić, B., *Influence of Cutting Tool Condition Elements on Cutting Tool Reliability Function Parameters in Turning*, CD-ROM Proceedings 16th International Conference on Production Research ICPR – 16, July 2001., Prague, Czech republic, 2001, Contribution no 0019, P017.
- [3] Sekulić, S., Nikolić, B., *Influence of Cutting Tool Condition Elements on Cutting Tool Reliability Function Parameters in Turning*, Summaries 5, Stream 6+8, 16th 153 International Conference on Production Research ICPR – 16, July 2001., Prague, Czech republic, 2001, Contribution no 0019, P017, p 153.
- [4] Sekulić, S., Nikolić, B., *Uticaj elemenata rezima obrade na parametre funkcije pouzdanosti pri obradi na strugu*, Zbornik radova CD-ROM XXIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 2002.

Seucek, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I.

MATEMATIČKO MODELOVANJE PODSTRUGANOG GLODALA ZA OBRADU OŽLJEBLJENJA VRATILA KAO OSNOVA ZA CAD i CAM

Rezime: Ovaj rad je jedna od osnova za primenu CAD-a i CAM-a u procesu projektovanja, konstruisanja i izrade profilnog glodala sa podstruganim zubima za obradu ožljebljenja vratila čiji bokovi žljebova su delovi omotača cilindra. Tendencija je da se operacija podstrugivanja izvodi na CNC mašinama tj. da se izbegne podstrugivanje na specijalnim strugovima, na kojima je obrada značajno komplikovanija i duža. Iz matematičkih modela proizlazi kinematika obrade na CNC mašini, na osnovu kojih se može izvršiti optimizacija oblika i dimenzija kao i parametri koji utiču na rezna svojstva i postojanost sečiva glodala, pa i na kvalitet obrađenog ožljebljenja vratila.

Ključne reči: ispuččenja, profil noža, leđno strugana površina

MATHEMATICAL MODELING OF THE CURVED SPLINE MILLING CUTTERS – BACKED OFF AS A BASIS FOR CAD & CAM

Abstract: The basis has been given for the application of CAD and CAM in the process of the design and production of the circular spline milling cutters for splines machining. By applying the numerically controlled machine tools the necessity of milling cutters producing by special machine tools for reliving is avoided. By means of mathematical modeling of the form and edge geometry of circular spline cutters – backed off for circular spline manufacturing one can derive basis for optimization parameters of form and dimension influencing the tools cutting characteristics, as well as durability, or the tools service- life and the quality of the circular spline manufactured by this tool.

Key words: f, lugs, profile of cutter, back relived surface.

1. INTRODUCTION

Because of, all cutting tools factories relieving operation performed with special machine tools, our contribution is that one can relieve formed tools with CNC machine using mathematical models of cutting teeth, and that is our new intention.

2. MILLING CUTTER PARAMETERS AND MATHEMATICAL MODELING

2.1 Defining profile of cutting edges

Profile and dimensions of the cutting edges derived from the profile, geometry and dimensions of the parallel side circular spline i.e. outer r_v and inner radius r_u , number of flutes z , concave face edge angle μ_0 , convex and concave face edge angle ϕ_0 , flute width b recess radius r_z and circle radius r_c (Fig.1). basically, beginning data for calculation are:

- effective angle of the cutting edges is

$$\psi = 2 \arctan \left(\frac{b}{2r_v} \right) \quad (1)$$

- whole angle of the cutting edges is

$$\psi_0 = \psi + \frac{\pi}{9} \quad (2)$$

- width of the milling cutter

$$B = 2r_v \sin \frac{\psi_0}{2} \quad (3)$$

Face curved (concave) cutting edge as a part of circle (under angle $2\mu_0$) have an equation

$$\begin{aligned} x &= r_0 - r_z - r_u \left(\cos \left(\frac{\mu_0}{2} - \mu \right) + \cos \frac{\mu_0}{2} \right) \\ y &= 0 \\ z &= \pm r_u \sin \left(\frac{\mu_0}{2} - \mu \right) \end{aligned} \quad (4)$$

where domain of argument μ is

$$2 \arcsin \frac{r_0 - r_z}{r_u} \geq \mu \geq 0. \quad (5)$$

Equations of two lugs cutting edges as a part of circle may express

$$\begin{aligned} x &= r_0 - r_z (1 - \sin \kappa) \\ y &= 0 \\ z &= \pm r_u \sin \mu_0 \pm r_z (1 - \cos \kappa) \end{aligned} \quad (6)$$

where domain of argument κ is

$$\frac{2}{3} \pi \geq \kappa \geq 0.$$

Equations of side edges i.e. right and left circular edges for machining keyways are

$$\begin{aligned} x &= r_0 - \frac{r_z}{2} - r_c (1 - \cos \phi_1) \\ y &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

$$z = \pm r_u \sin \frac{\phi_0}{2} \pm r_c \sin \phi_1$$

where argument φ_1 has domain

$$\frac{\pi}{3} \geq \varphi_1 \geq 0.$$

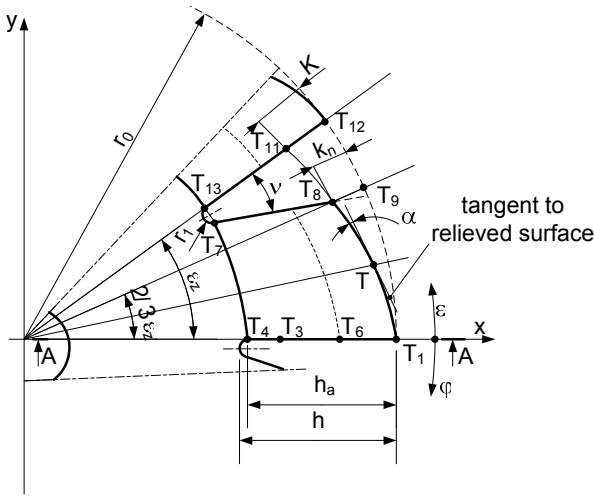
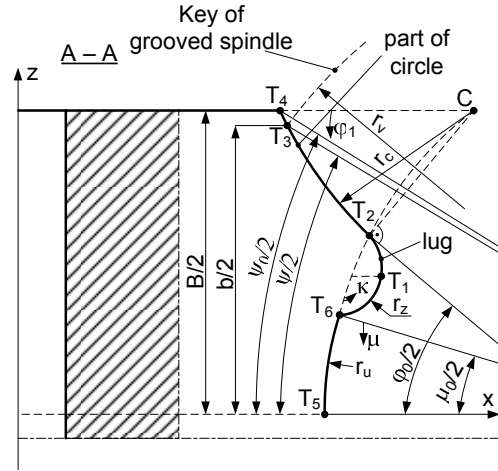


Fig. 1. Presentation parameters of circular spline cutters.

Amount of backed off, respectively distance from borderline circle with radius r_0 to point T_8 and to point T_{11} are:

$$k_n = r_0 - e^{\left(\varphi_1 - \frac{2}{3}\varepsilon_z\right)\tan\alpha} \quad (8)$$

$$K = r_0 - e^{\left(\varphi_1 - \varepsilon_z\right)\tan\alpha} \quad (9)$$

2.2 Mathematical modeling of clearance tooth surface

Clearance tooth surface can be a part of Archimed's surface, evolvent helical surface group of logarithmic convolutions which put one to another do one surface. The most suitable case is the one where back surface consists of set logarithmic convolutions because back angle has constant value on whole backward surface and after sharpening of milling cutter (obligatory on entirely front surface) tooth profile is completely identical to the beginning one, which is very important fact on making profile cutter. It is well-known that equation of logarithmic convolutions with argument φ and arbitrary constant value m in polar coordinates has following expression

$$\rho = e^{m\varphi}. \quad (10)$$

Clearance angle is an angle between line on convolution and normal line on radiusvector of arbitrary point T on clearance surface, and it can be calculated by means expression

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\rho'}{\rho}\right). \quad (11)$$

After deriving and including to upper expression it is given

$$\alpha = \arctan m, \quad (12)$$

respectively

$$m = \tan \alpha, \quad (13)$$

and it is obviously that back angle has a constant value on entire domain of argument φ what confirm suitably of back surface performance as a part of logarithmic convolution group. For point T_1 on tooth cutting edge verge is worth to be

$$\rho = r_0 = e^{\varphi \tan \alpha}, \quad (14)$$

after calculating a logarithm and arranging upper expression it is given argument

$$\varphi_1 = \frac{\ln r_0}{\tan \alpha}, \quad (15)$$

then argument ε is (oriented on way which is showed on figure 1) given that radius amount of point T_1 , lying on back surface, has rate

$$\rho_T = e^{(\varphi_1 - \varepsilon)\tan\alpha}. \quad (16)$$

On basis of upper expression, behind of concave cutting edge equation of clearance surface are

$$\begin{aligned} x &= \left(e^{(\varphi_1 - \varepsilon)\tan\alpha} - r_z - r_u \left(\cos\left(\frac{\mu_0}{2} - \mu\right) - \cos\frac{\mu_0}{2} \right) \right) \cos \varepsilon \\ y &= \left(e^{(\varphi_1 - \varepsilon)\tan\alpha} - r_z - r_u \left(\cos\left(\frac{\mu_0}{2} - \mu\right) - \cos\frac{\mu_0}{2} \right) \right) \sin \varepsilon \\ z &= r_u \sin\left(\frac{\mu_0}{2} - \mu\right). \end{aligned} \quad (17)$$

Lower rim of argument ε is zero, and upper rim can be calculated by iteration process for belonging ε from condition of perforating logarithmic convolution with plane in which it lies straight line drawn trough points T_7 and T_8 and with expression (by all back surfaces)

$$y - y_{T_8} - \tan(\varepsilon_z - \nu)(x - x_{T_8}) = 0 \quad (18)$$

where coordinate of point T_8 are:

$$\begin{aligned} x_{T_8} &= e^{\left(\varphi_1 - \frac{2}{3}\varepsilon_z\right)\tan\alpha} \cdot \cos\frac{2}{3}\varepsilon_z, \\ y_{T_8} &= e^{\left(\varphi_1 - \frac{2}{3}\varepsilon_z\right)\tan\alpha} \cdot \sin\frac{2}{3}\varepsilon_z, \end{aligned} \quad (19)$$

where ε_z is division angle for one key, respectively it has amount for number of keys z

$$\varepsilon_z = \frac{2\pi}{z}. \quad (20)$$

Domain of argument μ , κ and ϕ_1 are equal as in the last subtitle.

Lower rim of argument ε is zero and upper rim for arbitrary μ can be calculated by iteration, by expression (18) i.e.

$$\begin{aligned} & \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_z - r_u \left(\cos \left(\frac{\mu_0}{2} - \mu \right) - \cos \frac{\mu_0}{2} \right) \right) \sin \varepsilon - \\ & - e^{\left(\phi_1 - \frac{2}{3} \varepsilon_z \right) \tan \alpha} \cdot \sin \frac{2}{3} \varepsilon_z - \tan(\varepsilon_z - \nu) \left(\left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - \right. \right. \\ & \left. \left. - r_z - r_u \left(\cos \left(\frac{\mu_0}{2} - \mu \right) - \cos \frac{\mu_0}{2} \right) \right) \cos \varepsilon - \right. \\ & \left. - e^{\left(\phi_1 - \frac{2}{3} \varepsilon_z \right) \tan \alpha} \cdot \cos \frac{2}{3} \varepsilon_z = 0. \right. \end{aligned} \quad (21)$$

Equations of surfaces behind two lugs cutting edges are

$$\begin{aligned} x &= (r_0 - r_z(1 - \sin \kappa)) \cos \varepsilon = \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_2(1 - \sin \kappa) \right) \cos \varepsilon \\ y &= (r_0 - r_z(1 - \sin \kappa)) \sin \varepsilon = \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_2(1 - \sin \kappa) \right) \sin \varepsilon \quad (22) \\ z &= \pm r_u \sin \mu_0 \pm r_z(1 - \cos \kappa). \end{aligned}$$

Lower rim of argument ε is zero and upper rim for arbitrary κ can be calculated by iteration process by substitution upper equations in expression (18) i.e.

$$\begin{aligned} & (r_0 - r_z(1 - \sin \kappa)) \sin \varepsilon - \\ & - \tan(\varepsilon_z - \nu) \left(r_0 - r_z(1 - \sin \kappa) \right) \cos \varepsilon - \\ & - e^{\left(\phi_1 - \frac{2}{3} \varepsilon_z \right) \tan \alpha} \cdot \cos \frac{2}{3} \varepsilon_z - e^{\left(\phi_1 - \frac{2}{3} \right) \tan \alpha} \cdot \sin \frac{2}{3} \varepsilon_z = 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Equation of surfaces behind circular cutting edges is

$$\begin{aligned} x &= \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_z \left(1 - \cos \frac{\pi}{6} \right) - r_c(1 - \cos \phi_1) \right) \cos \varepsilon \\ y &= \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_z \left(1 - \cos \frac{\pi}{6} \right) - r_c(1 - \cos \phi_1) \right) \sin \varepsilon \quad (24) \\ z &= \pm r_u \sin \frac{\phi_0}{2} \pm r_c \sin \phi_1. \end{aligned}$$

Lower rim of argument ε is zero and upper rim for arbitrary ϕ_1 can be calculated by iteration from expression (18) i.e. from equation

$$\begin{aligned} & \left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_z \left(1 - \cos \frac{\pi}{6} \right) + r_u \left(\cos \frac{\phi_0}{2} - \cos \left(\frac{\phi_0}{2} + \phi_1 \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - \phi_1 \sin \left(\frac{\phi_0}{2} + \phi_1 \right) \right) \right) \sin \varepsilon - e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} \cdot \sin \frac{2}{3} \varepsilon_z - \\ & - \tan(\varepsilon_z - \nu) \left(\left(e^{(\phi_1 - \varepsilon) \tan \alpha} - r_z \left(1 - \cos \frac{\pi}{6} \right) + \right. \right. \\ & \left. \left. + r_u \left(\cos \frac{\phi_0}{2} - \cos \left(\frac{\phi_0}{2} + \phi_1 \right) - \phi_1 \sin \left(\frac{\phi_0}{2} + \phi_1 \right) \right) \right) \cos \varepsilon \right) = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Equation of front tooth surface is $y=0$, because rake angle γ is zero.

3. FORM-RELIEVED MILLING CUTTERS AND RELIEVING

Form and precise-profile cutters are manufactured, in most cases, by relieving. These cutters are distinguished by the form of their relief surfaces which are curvilinear and of such shape that, by grinding only the faces of the teeth, the original profile and relief angle are maintained throughout the life of the cutters. These conditions are satisfied if the teeth are relieved along a logarithmic spiral.

Due to the difficulty encountered in shaping the cams of the relieving lathe to a logarithmic spiral, the much simpler Archimedean spiral is utilized. Though the relief angle varies slightly during the life of the cutter, production is much easier.

Relieving is performed in relieving lathes or attachments to engine lathes before heat treatment of the cutter, and in universal relieving machines and relieving grinders either before or after heat treatment.

Form-relieved cutters are sharpened by grinding only the faces of the cutter teeth. As a rule, a zero rake angle is restored to obtain a more accurate profile.

The cutter profile must be corrected if a positive rake is provided to facilitate cutting. This correction must be specified in the drawing of the cutter but, in some cases it may be obtained by properly setting up the relieving tool when its profile is being ground.

The circular pitch of the cutter teeth must be held within narrow limits both in the manufacture and sharpening of form-relieved cutters as these pitch errors result in run out of the profile and nonuniform cutting by the teeth.

The relieved surfaces of these cutters may be ground or unground. The material and heat treatment of cutters of the unground type are selected so as to obtain minimum decarburization and distortion. If the relieved surfaces are to be ground, the cutter material must lend it self well to grinding. The lathe operations are carried out in turret or engine lathes.

Subsequent to heat treatment, the hole and end faces of cutters with unground profiles are ground or reamed, leaving allowance for lapping. The lapping allowance for the hole depends upon its diameter.

An allowance is provided on cutters with ground profile for grinding the hole and the end faces. The flutes of these cutters are milled on horizontal or universal milling machines with the aid of a dividing head. The flute cutters are of the single- or double-angle type and their profile corresponds to the shape of the flutes.

Relieving is done as a turning operation on the special relieving lathes, or by installing a relieving attachment on an engine head.

The cross slide of this lathe has a reciprocating motion. The combination of the rotary motion of the work and the reciprocation of the slide carrying a tool or grinding wheel enables surfaces to be relieved to an Archimedean spiral or to any other curve which the relieving cam has been designed.

4. CONCLUSION

After defining of cutting edge shape and mathematical modeling surfaces, which give expressions of front and back surfaces one can optimize geometry of cutting edge, as well as to analyze the affection off all influenced parameters on geometry.

The way of finding optimal parameters can be included in algorithm for CAD, and after defining shape, geometry and

dimensions of milling cutter for making of circular spline milling cutter to accomplish technological process for same milling cutter as base for CAM, trying to perform tooling on NC machines, respectively, avoiding the usage of special relieving machine tools.

5. REFERENCES

- [1] AutoCAD Release 14, *User's Guide*
- [2] Homborg, G. (1990). *Metal und Machinentehnik*, Verlag, Bonn
- [3] Krar, S. F. (1987). *Technolog of machine tools*, McGraw Hill, New York
- [4] Klimov, V. I.; Lerner, A. S. (1984). *Priručnik za konstruktore reznog alata*, Gradjevinska knjiga, Beograd
- [5] Semencenko, I. I.; Matjusin, V. M. (1982). *Praektirovanije Metalorezuscih Instrumentov*, Masgiz, Moskva

Autori: Izv. Prof. dr Ivan Seuček, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, Tel.: +385 1 616-8336, Fax.: +385 1 615-7123

Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić, Phd student, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija

Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 485-133

E-mail: ivan.seucek@fsb.hr

bsovilj@uns.ns.ac.yu

diomed17@gmail.com

Rad je nastao u okviru projekta "RaProTeLOProKACNC" proisteklog iz naučno-tehnološke saradnje između Republike Hrvatske i Republike Srbije kao i projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Seucek, I., Sovilj, B., Sovilj-Nikić, I.

OPTIMIZACIJA REZNE GEOMETRIJE I PARAMETARA OŠTRENJA BURGILJE

Rezime: Zbog nemogućnosti fizičkog merenja geometrije glavnog i poprečnog sečiva izvedeni su matematički izrazi konusa čiji presek u prostoru sadrži poprečno sečivo. U skladu s definicijom geometrije burgije prema ISO sistemu, izvedeni su izrazi za grudni i leđni ugao koji sadrže sve parametre oštrenja. Osim za proračun geometrije pomoću izvedenih izraza mogu se uspešno odrediti parametri oštrenja koji će dati optimalne uslove rezanja i dužu postojanost burgije.

Ključne reči: optimizacija, rezna geometrija, parametri oštrenja, burgija, postojanost

OPTIMIZATION OF THE DRILL EDGES GEOMETRY AND SHARPENING PARAMETERS

Abstract: Because of inability of physical measurement of the MAIN END chisel edge geometry, the cones surfaces mathematical expressions are derived which intersect in the space containing chisel edge. According to the ISO standards geometry definition the rake angle and clearance angle expressions are derived containing all the drill and sharpening parameters. Except for the geometry "measurement" with the aid of the derived expressions one can optimize the sharpening parameters successful for the optimal cutting conditions and the longer drill life.

Key words: optimization, cutting geometry, sharpening parameters, drill, tool life

1. INTRODUCTION

The main cutting edges are a part of generatrices of the two cones which lies on opposite sides towards YZ plane.

The cone points coordinates i.e. the coordinate system origin related to the basic coordinate system XYZ are $O_1(-b, a, h)$ and $O_2(b, -a, h)$. To make the main cutting edges linear i.e. to follow the rulings represented with "i_b" all the points are moved under the axis Y for the value $\pm a$ i.e. for the drill core radius.

The chisel edge which is given by the intersection of two cone shells symmetrical to each other and which is from the top view nearly a line but looking from the side is a bit convex i.e. makes very blunt point. The chisel edge angle ψ depends of the cone shells position in the space. The drill sharpening parameters are the cone points movement b , h , $(a+d)$ and the cone point angle $2\rho_{so}$. The cone axes piercing distance toward the plane $X=0$ from the origin of the coordinate system $X_1Y_1Z_1$ is noted with c . The drill parameters are radius r_o , drill cone radius a and drill point angle 2ϕ .

2. CONE EQUATIONS AND GEOMETRY FINDING

2.1. Cone equations finding

To find the clearance angle at the main edges as well as geometry of the chisel edge it is necessary to find the cone equations "1" and "2".

If we give to the sharpening cone axis "1" unit vector with the direction coefficients:

$$\begin{aligned}\cos \alpha_s &= \frac{b}{\sqrt{b^2 + d^2 + c^2}}, \\ \cos \beta_s &= \frac{d}{\sqrt{b^2 + d^2 + c^2}}, \\ \cos \gamma_s &= \frac{c}{\sqrt{b^2 + d^2 + c^2}}\end{aligned}\quad (1)$$

and the unit vector along substitution

$$u = \sqrt{b^2 + d^2 + c^2} \quad (2)$$

is following

$$\vec{O}_o = \frac{b}{u} \vec{i} + \frac{d}{u} \vec{j} + \frac{c}{u} \vec{k} \quad (3)$$

If to any cone shell point will be given radius vector

$$\vec{r}_1 = x_1 \vec{i} + y_1 \vec{j} + z_1 \vec{k} \quad (4)$$

from the scalar product relation follows

$$\cos \rho_s = \frac{\vec{O}_o \cdot \vec{r}_1}{1 \cdot r_1},$$

i.e. after using upper vectors and finalizing expression will have cone equation in $X_1Y_1Z_1$ system

$$\begin{aligned}(u^2 \cos^2 \rho_s - b^2)x_1^2 + (u^2 \cos^2 \rho_s - d^2)y_1^2 + \\ + (u^2 \cos^2 \rho_s - c^2)z_1^2 - 2bdx_1y_1 + 2bcx_1z_1 + \\ + 2dcy_1z_1 = 0\end{aligned} \quad (5)$$

The cone equation "1" in the XYZ system we will get to translate expressions:

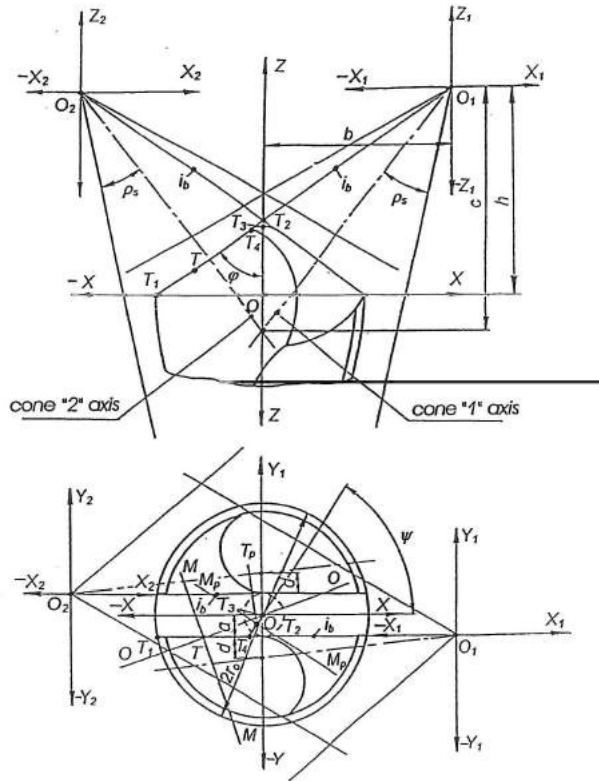


Fig. 1. Presentation of the conical sharpening drill

$$\begin{aligned} x_1 &= x + b, \\ y_1 &= y - a, \\ z_1 &= z - h \end{aligned} \quad (6)$$

and the upper is as follow:

$$\begin{aligned} &(u^2 \cos^2 \rho_s - b^2)(x + b)^2 + (u^2 \cos^2 \rho_s - d^2) \cdot \\ &\cdot (y - a)^2 + (u^2 \cos^2 \rho_s - c^2)(z - h)^2 - \\ &- 2bd(x + b)(y - a) + 2bc(x + b)(z - h) + \\ &+ 2dc(y - a)(z - h) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

With the analogue procedure we will find the cone sharpening equation "2" as follows

$$\begin{aligned} &(u^2 \cos^2 \rho_s - b^2)(x - b)^2 + (u^2 \cos^2 \rho_s - d^2) \cdot \\ &\cdot (y + a)^2 + (u^2 \cos^2 \rho_s - c^2)(z - h)^2 - \\ &- 2bd(x - b)(y + a) - 2bc(x - b)(z - h) - \\ &- 2dc(y + a)(z - h) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

2.2. The drill chisel edge rake angle finding

Through a point $T_P(X_T, Y_T, Z_T)$ on the chisel edge we will put the basic plane M_P-M_P (Fig. 2.) and the plane vertical to the basic plane is now the measurement plane for the rake angle and clearance angle.

The basic plane direction coefficients 0-0 are

$$\begin{aligned} A_o &= \frac{Y_T}{X_T}, \\ B_o &= -1, \\ C_o &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

For the measuring plane M_P-M_P is vertical to the basic plane, measuring plane coefficients are:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{X_T}{Y_T}, \\ B_1 &= 1, \\ C_1 &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

On the chisel edge half point from the point T_3 to T_4 the former plane is a part of the cone shell "2" so we must find the tangential plane equation to the same plane.

The tangential plane direction coefficients in the point $T_P(X_T, Y_T, Z_T)$ are as follows:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{\partial F}{\partial x} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - b^2)(x_T + b) - \\ &- 2bd(y_T + a) + 2bc(z_T - h) \\ B_2 &= \frac{\partial F}{\partial y} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - d^2)(y_T - a) - \\ &- 2bd(x_T - b) - 2dc(z_T - h) \\ C_2 &= \frac{\partial F}{\partial z} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - c^2)(z_T - h) - \\ &- 2bc(x_T - b) - 2dc(y_T + a) \end{aligned} \quad (11)$$

Direction coefficients of the tangential plane intersection and the measuring plane are:

$$\begin{aligned} l_p &= \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix}, \\ m_p &= \begin{vmatrix} C_1 & A_1 \\ C_2 & A_2 \end{vmatrix}, \\ n_p &= \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (12)$$

The chisel edge rake angle is the angle between the upper intersection and the basic plane i.e.

$$\gamma_p = \left[-\arcsin \frac{A_o l_p + m_p}{\sqrt{(A_o^2 + B_o^2)(l_p^2 + m_p^2 + n_p^2)}} \right] \cdot \frac{\pi}{180} \quad (13)$$

With the expression is computed the rake angle at the chisel edge for the drill $\phi 16\text{mm}$ and the same in the point T_4 is $\gamma_p = -0.89\text{rad}$, and in the point T_3 i.e. in the drill axis $\gamma_p = -0.98\text{rad}$ for the sharpening parameters $h = 37.5\text{mm}$, $b = 29.6\text{mm}$, $d = 0.96\text{mm}$, $\rho_s = 0.24\text{rad}$ and the drill core radius $a = 1.2\text{mm}$.

2.3. The drill chisel edge clearance angle finding

The chisel edge clearance angle from the point T_3 to T_4 is a part of the cone shell "1" and because of this one must find the tangential plane equation towards the cone shell. The tangential plane coefficient directions in any point $T_P(X_T, Y_T, Z_T)$ of the cone shell are

$$\begin{aligned}
A_4 &= \frac{\partial F}{\partial x} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - b^2)(x_T + b) - \\
&- 2bd(y_T - a) + 2bc(z_T - h) \\
B_4 &= \frac{\partial F}{\partial y} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - d^2)(y_T - a) - \\
&- 2bd(x_T + b) + 2dc(z_T - h) \\
C_4 &= \frac{\partial F}{\partial z} = 2(u^2 \cos^2 \rho_s - c^2)(z_T - h) + \\
&+ 2bc(x_T + b) + 2dc(y_T - a)
\end{aligned} \quad (14)$$

The measuring plane direction coefficients for the rake angle are

$$\begin{aligned}
A_3 &= \frac{X_T}{Y_T}, \\
B_3 &= 1, \\
C_3 &= 0
\end{aligned} \quad (15)$$

The intersection of the measuring plane and the tangential plane has following coefficients:

$$\begin{aligned}
l_3 &= \begin{vmatrix} B_3 & C_3 \\ B_4 & C_4 \end{vmatrix}, \\
m_3 &= \begin{vmatrix} C_3 & A_3 \\ C_4 & A_4 \end{vmatrix}, \\
n_3 &= \begin{vmatrix} A_3 & B_3 \\ A_4 & B_4 \end{vmatrix}
\end{aligned} \quad (16)$$

The clearance angle α is an angle between the normal to the basic plane in the mean point and the intersection of the tangential plane and the measuring plane.

From (15) we have the normal direction coefficients because the line is vertical to the plane if the direction coefficients are the same and are the normal direction coefficients:

$$\begin{aligned}
l_4 &= \frac{Y_T}{X_T}, \\
m_4 &= -1, \\
n_4 &= 0
\end{aligned}$$

so the clearance angle is:

$$\alpha_p = \left[\arccos \frac{l_3 l_4 - m_3 m_4}{\sqrt{(l_3^2 + m_3^2 + n_3^2)(l_4^2 + m_4^2 + n_4^2)}} \right] \cdot \frac{\pi}{180} \quad (17)$$

3. CONCLUSION

To analyze the computed expression for the rake angle we will get that if we decrease the sharpening parameters h , b and ρ_s , then the rake angle is less negative i.e. sharpening conditions are better, but the cutting edge rigidity is going smaller. So, according to the former, exists a compromise solution at the optimal sharpening parameters choice. Also decreasing the former parameters we get the drill point angle more pointed and smaller vibrations at drill entry in material. The drill guiding is better.

Increasing sharpening parameter d the rake angle is less negative. The chisel edge clearance angle is going smaller making the parameters h , b and ρ_s bigger, and at the same time making bigger parameter d the chisel edge clearance angle is going bigger, and the cutting edge rigidity is lesser.

4. REFERENCES

- [1] Popov, S., Dibner, L., Kamenković, A.: *Sharpening of cutting tools*, MIR publishers, Moskava, 1978.
- [2] Seuček, I.: *Prilog poboljšanju reznih svojstava zavojnog svrdla*, Doktorica disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1992.
- [3] Sovilj, B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, Novi Sad, IPM, FTN, 1988.
- [4] Sovilj, B., Prapotnik, B., Mitrović, R., Todić, V.: *Influence of gearing process on the occurrence of cutting edge break by hob milling tools*, Tribology in industry, Vol. 21, No. 2, Redni broj strane 53- 58, 1999.
- [5] V.A. Arsinov, V.A., Alekseev, G.A.: *Rezanje metalov i rezuscie instrumenti*, Masinstroenie, Moskva, 1964.

Autori: Izv. Prof. dr Ivan Seuček, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, Tel.: +385 1 616-8336, Fax.: +385 1 615-7123

Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić, PhD student, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija
Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 485-133
E-mail: ivan.seucek@fsb.hr
bsovilj@uns.ns.ac.yu
diomed17@gmail.com

Rad je nastao u okviru projekta "RaProTeLOProKACNC" proisteklog iz naučno-tehnološke saradnje između Republike Hrvatske i Republike Srbije kao i projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Sovilj, B., Đurica, M., Pilka, M., Radonjić, S., Jašćur, M.

ANALIZA SAVREMENIH ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Rezime: U radu su analizirani savremeni alati za obradu rezanjem. Prikazana su dostignuća jednog dela svetske industrije u izradi alata za obradu rezanjem, kao i u proizvodnji materijala za njihovu izradu. Pored usavršavanja rezne geometrije i tehnologije izrade alata i drugih karakteristika koje se odnose na sam proces rezanja, razvoj ide i u pravcu usavršavanja i pronalazjenja novih materijala, koji će obradu rezanjem učiniti ekonomičnijom i kvalitetnijom.

Ključne reči: savremeni alati za obradu rezanjem, analiza, materijali

ANALYSIS OF MODERN CUTTING TOOLS

Abstract: In this paper modern cutting tools were analyzed. Achievements of world's industry in cutting tools manufacture as well as in the production of the materials are shown. Besides the improvement of cutting geometry and technology of cutting tools manufacture and the other characteristics pertaining to cutting process, new materials which will make the cutting process more economic and high-quality are also found.

Keywords: modern cutting tools, analysis, materials

1. UVOD

U savremenoj mašingradnji koristi se veliki broj različitih vrsta alata. Među tim alatima za obradu rezanjem najviše se ističu sedam velikih grupa alata, a to su : alati za struganje, alati za bušenje, alati za glodanje [6], alati za provlačenje, alati za brušenje, alati za izradu navoja, alati za izradu ozubljenja [5]

Analizom savremenih alata za struganje, bušenje, glodanje, provlačenje, brušenje, izradu navoja i izradu ozubljenja u ovom radu, napravljen je pokušaj da se iznesu pozitivne karakteristike ovih alata. Takođe analizirane su i mane ovih sedam vrsta savremenih alata za obradu rezanjem, a sve u cilju spoznavanja njihovih mogućnosti radi maksimalnog iskorišćenja alata. Govoreći o maksimalnom iskorišćenju misli se na : vek trajanja alata, tačnost, kvalitet obrađene površine i ekonomičnost u svakom pogledu.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SAVREMENIH ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Karakteristikama alata za obradu rezanjem posvećuje se posebna pažnja jer ekonomičnost kao i kvalitet procesa rezanja najviše zavise od karakteristika alata za obradu rezanjem.

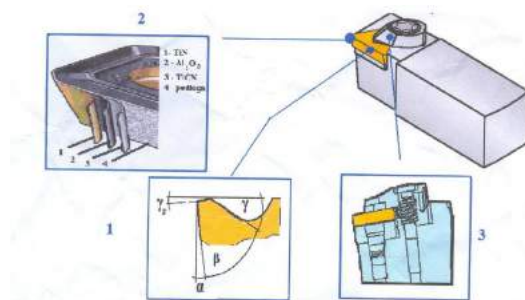
Na slici 1. simbolično je prikazan alat za struganje kao predstavnik alata za obradu rezanjem. Na njemu su izdvojeni delovi koji simbolizuju osnovne karakteristike savremenog alata za obradu rezanjem. Sa istorijskim razvojem industrije javila se i potreba za novim i poboljšanim alatnim materijalima.

Danas na tržištu postoji veliki broj različitih materijala za alate za obradu rezanjem, pri čemu se prvenstveno misli na alate za obradu rezanjem sa pločicama koje su prevučene tvrdim prevlakama. Primena novih vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje, a u novije vreme i unapređivanje obrade bez upotrebe rashladne tečnosti, značajno utiče na obradni proces.

Sve vrste savremenih alatnih materijala su nastale kao rezultat stalne težnje da se obezbedi alatni materijal što veće :

- tvrdoće – otpornosti na habanje ,
- žilavosti – otpornosti na udarna opterećenja i vibracije ,

- toplotne otpornosti – sa porastom temperature rezanja opadaju mehaničke karakteristika alatnih materijala, a time i postojanost i kvalitet alata za rezanje.



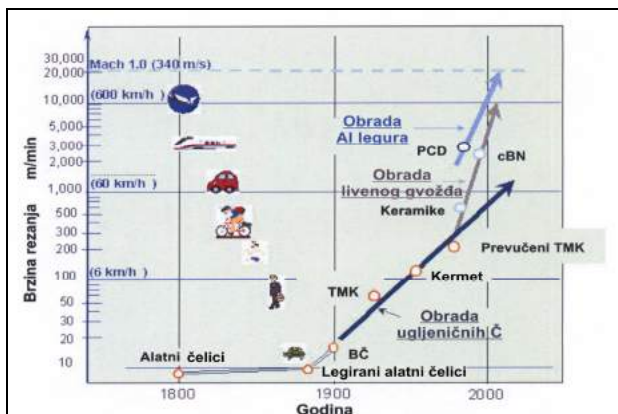
Slika 1. Osnovne karakteristike alata za obradu rezanjem.

Površinske karakteristike materijala mogu biti modifikovane inženjeringom površina, koristeći široki opseg prevlaka ili tehnika za modifikovanje površina [1].

Na slici 2. prikazan je razvojni period različitih materijala za alate za obradu rezanjem i njihova najčešća primena s obzirom na materijal obratka i brzinu rezanja. Na istoj slici je moguće uočiti značajano povećanje brzine rezanja sa razvojem materijala za alate za obradu rezanjem, odnosno njihovih prevlaka.

U dijagramu, grubo prikazano, područje posle 2000 godine se može smatrati težnjom ka obradi velikom brzinom (eng. High Speed Cutting-HSC), a što bi u bliskoj budućnosti trebalo biti u široj upotrebi.

Razvoj materijala za alate za obradu rezanjem doveo je do nomenklature istih, do značajnih povećanja parametara režima rezanja i skraćenja mašinskog vremena izrade, a što ima za posledicu povećanje produktivnosti, ekonomičnosti i drugih tehno-ekonomskih pokazatelja.



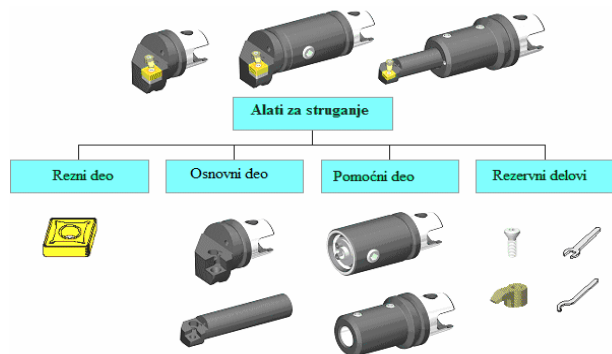
Slika 2. Prikaz razvoja visokobrzinske obrade

Danas je na tržištu prisutan široki spektar različitih materijala (i prevlaka) za alate za obradu rezanjem. Međutim, činjenica je da se skoro svakodnevno pojavljuju i novi materijali za alate za obradu rezanjem, a najčešće u obliku modifikacije već postojećih. Takođe, pojava novih tehnologija izrade materijala i prevlaka uveliko doprinosi poboljšanju eksploatacionih osobina alata za rezanje.

3. SAVREMENI ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Alati za obradu struganjem, pretrpeli su određene transformacije tokom niza godina. Te transformacije učinile su alate za struganje fleksibilnijim, produktivnijim, u svakom slučaju naprednijim i boljim za obradu struganjem. Promene koje su nastale na alatima za bradu struganjem odnose se na : oblik, dimenzije, materijale, rezne elemente, pomoćne elemente itd.

Današnji alati za struganje, sastoje se iz nekoliko sastavnih grupa. (slika 3.).



Slika 3. - Sastavni delovi savremenih alata za struganje

Struganje je obrada u kojoj se izvodi širok spektar operacija i zahvata. Pošto svaki zahvat najčešće zahteva specifičan alat, može se zaključiti da je broj različitih alata za struganje veoma veliki(slika 4).



Slika 4. - Specijalni alat za struganje

Kada su u pitanju profilni noževi sa više izmenjivih reznih pločica, pločice mogu biti različitih oblika i namena.

Mogu se koristiti standardne pločice za uzdužno i poprečno struganje, kao i profilisane rezne pločice. Kao primer ovakvih alata, na slici 5. je prikazan asortiman alata za obradu točkova železničkih vagona proizvođača CORUN.



Slika 5. Asortiman profilnih noževa za izradu točkova železničkih vagona

Savremeni alati za obradu bušenjem godinama su se razvijali od prostih alata za bušenje pa sve do danas. Današnji alati za bušenje su kompleksniji (po pitanju geometrije i oblika) , fleksibilniji (po pitanju prilagođavanja uslovima obrade) i napredniji u svakom smislu, a sve sa zadatkom postizanja željenog kvaliteta obrade, tačnosti i produktivnosti. Savremeni alati za bušenje imaju četiri glavne grupe delova (slika 6.).



Slika 6. Sastavni delovi savremenih alata za bušenje

Na slici 7. prikazan je asortiman specijalnih burgija sa izmenjivim reznim elementima i elementima koji se dodaju burgijama.



Slika 7. Asortiman specijalnih alata za bušenje

Sve veći broj savremenih glodala izrađuje se sa izmenjivim reznim elementima. U rezne elemente spadaju izmenjive rezne pločice i izmenjive rezne glave.

Ovakva vrsta glodala ima dosta prednosti u odnosu na glodala bez izmenjivih reznih elemenata, a to su :

- Veća produktivnost (veće brzine rezanja, veće dubine rezanja, brža izmena alata) ;
- Duži radni vek alata (koriste se kvalitetniji materijali za izradu reznih elemenata) ;
- Veći kvalitet obrađene površine ;
- Mogućnost obrade većeg spektra materijala.

Na slici 8. prikazane su najčešće vrste obrade pomoću glodala sa izmenjivim reznim pločicama.

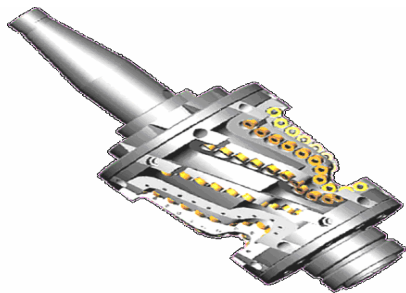


Slika 8. Najčešće obrade sa savremenim glodalima

Primena ovakvih glodala je veoma velika u industriji, a kao primeri su: izrada alata za livenje plastike, livenje aluminijuma, duboko izvlačenje, auto i avio industriju.

Specijalni alati za glodanje su glodala specifičnog oblika i namene, oni se najčešće izrađuju po porudžbini. Primenu nalaze u velikoserijskoj ili masovnoj proizvodnji jer je cena njihove izrade visoka. Specijalna glodala se koriste za obradu: zupčanika, pužnih parova, točkova železničkih vagona, bregastih osovinu i drugih elemenata koji zahtevaju ovakva glodala a proizvode se u velikim količinama.

Ovakve vrste alata se izrađuju kao i druga savremena glodala sa umetnutim reznim elementima koji pored standardnih mogu imati i specijalne oblike (slika 9.).



Slika 9. Profilno glodalo za obradu točkova železničkih vagona

Obrada provlačenjem predstavlja savremeni postupak obrade metala rezanjem visoke proizvodnosti, tačnosti i kvaliteta obrade. Koristi se najčešće u serijskoj i masovnoj proizvodnji, jer su alati veoma skupi i strogo namenski projektovani i izrađeni.

Interesantno je, da je efikasnost današnjih provlakačica, njihovog originalnog koncepta i dizajna, i samog procesa provlačenja ostala skoro ista od početka Industrijske revolucije. Nijedan posao nije prevelik ni premali za provlačenje. Brojni materijali kao što su metali i nemetali, kao i mnogi tipovi plastike su pogodni za provlačenje.

Spoljašnjim provlačenjem se mogu formirati profili površina različite konfiguracije i dimenzija. Postupak se može primeniti i kao zamena za proizvodne operacije glodanja i rendisanja, posebno u uslovima obrade površina složene konfiguracije, visokog kvaliteta i tačnosti obrade.

Rotaciono provlačenje je ekskluzivna, brza, neverovatna i precizna metoda koja pravi unutrašnje i spoljašnje oblike na obratku. Alat za rotaciono provlačenje se može koristiti na bilo kojoj CNC mašini, a i na konvencionalnim strugovima, glodalicama, bušilicama ili mašinama za izradu vijaka. (slika 10.) Cela operacija traje nekoliko sekundi i tačnost izrade može da bude manja od 0.005mm. Nosač alata ima unutrašnje vratilo, na koje se pričvršćuje alat-provlakač. Nosač alata je projektovan za proizvodnju poligonalnih oblika, tako što se vratilo mašine obrće u jednom ili drugom smeru [6].



Slika 10. Alati za rotaciono provlačenje i obrađeni proizvodi

Prednost izvođenja ove operacije je ta, što je skoro uvek jeftinija, zbog toga što elimiše završnu obradu na drugoj mašini. U nekim slučajevima, rotaciono provlačenje može da se izvodi istovremeno sa drugim operacijama, tako da povećava brzinu i profitabilnost samog procesa, bez narušavanja tačnosti i kvaliteta izrade.

Za razliku od konvencionalnog provlačenja, u kojem se oblik profila dobija provlačenjem kroz rupu dok se ne dobije konačan oblik, rotacioni provlakači režu puni profil, jednu ivicu po jednu, u jednom prolazu. Popularnost rotacionog provlačenja je sve veća u medicini, avioindustriji, automobilske industriji i industriji vodovoda. Zbog velike raznovrsnosti alata i nosača alata i njihove pristupačnosti (u svetu), proces je praktičan za manje radionice. Jednostavnom zamenom provlakača, mogu da se rade drugi profili sa minimalnim podešavanjem, ili bez podešavanja uopšte.

Brušenje se ubraja među najvažnije postupke obrade rezanjem. Na osnovu istraživanja i prognoza o budućnosti ovog postupka, može se očekivati njegovo sve značajnije učešće u obradi rezanjem.

Industrijska revolucija je katalizirala brz i ogroman porast auto i teške mašinske industrije. Eskalacija novih materijala je sve više i više zadavala probleme ovoj industriji kod brušenja materijala i legura pred postavljenim zahtevima boljeg kvaliteta, efikasnosti i radnog veka alata za obradu rezanjem, alata za brušenje i mašinske obrade uopšte. Kao rezultat, pronađeni su superabrazivni dijamantski i kubni bor nitrid (CBN) alati da reše teške zahteve ove industrije. Danas, razvoj i korišćenje ovih specijalizovanih alata ne prestaje da se širi i primenjuje u različitim industrijama, kao i da se otkrivaju novi načini njihove primene [2].



Slika 11. Dijamantska i CBN točila sa silikatnom vezom

Pronalazak stakla je nedvosmisleno jedan od najvažnijih i najkorisnijih otkrića u istoriji čovečanstva. Specijalna dijamantska točila su pronađena da bruse i oblikuju različite vrste stakla. Ali primena metalne veze je neograničena. Takođe, može da se koristi za brušenje i oštrenje karbidnih sečiva testera, gvožđa, keramike, volframskih karbida, auto delova, kvarca, kamena.

Promene u proizvodnoj praksi će u budućnosti odrediti zahteve za različitim tipovima točila. Pritisak proizvođača na veću proizvodnost je odgovoran za izgled tržišta, pokazujući prelaz sa uobičajnih abraziva od aluminijum oksida, na abrazive napravljene od novijih oblika sintetičkih abraziva, kao što je "seeded-gel" aluminijum oksid i CBN. Takođe,

korišćenje savremenih materijala, kao što su keramika i kompozitni materijali, će povećati zahteve za novijim tipovima tocila. Prelaz na nove abrazivne materijale je sprečavan, zbog činjenice što je ogromna većina proizvodne opreme u nemogućnosti da koristi novije i skuplje "produkte nauke". Uprkos trendu i uobičajni abrazivi se i dalje koriste.

Navoj se vrlo često pojavljuje u mašinskoj proizvodnji na proizvodima, koji se moraju sjedinjavati međusobno. Za izradu navoja primenjuju se razne metode i vrste obrade u zavisnosti od samog alata, a zatim oblika i položaja navoja (trouglasti, trapezni, spoljni, unutrašnji, itd.), zatim od dimenzija, tačnosti obrade, kvaliteta površine, tipa proizvodnje (pojedinačna, serijska, masovna) i od stanja materijala obratka.

Brušenje navoja najčešće se primenjuje kao vrlo precizna metoda završne obrade navoja, nakon prethodne izrade navoja drugim metodama i postupcima. Završna obrada navoja se izvodi jednoprofilnim ili višeprofilnim tocilima.

Izrada navoja iz punog materijala brušenjem moguća je primenom jednoprofilnih tocila, za navoje manjeg koraka, ili višeprofilnog tocila za (sa nepotpunim – sрезanim ili potpunim profilom) navoje većeg koraka.

Savremene rezne pločice za izradu navoja, izrađuju se kao višesečne rezne pločice. Najčešće se izrađuju kao trokrake rezne pločice, sa reznim vrhom u obliku profila navoja. Na slici 12. prikazane su izmenjive rezne pločice za navoj.



Slika 12 Izmenjive rezne pločice za izradu navoja različitog profila

Na slici 13. dat je kombinovani alat za izradu navoja.



Slika 13. Kombinovan alat za izradu navoja

Savremeno višestruko odvalno glodalo je namenjeno za izradu ozubljenja na odvalnim glodalicama (slika 14.). Zavisno od napadnog ugla, može da bude sa pravim, ili spiralnim žljebom međuzublja.



Slika 14. Savremeno višestruko odvalno glodalo i najsavremeniji alati za obradu ozubljenja koničnih zupčanika.

4. ZAKLJUČAK

Danas je na tržištu prisutno mnogo različitih vrsta alata za obradu rezanjem. U ovom radu prikazan je deo savremenih alata koji se koristi u savremenoj metaloprerađivačkoj industriji za struganje, bušenje, glodanje, provlačenje, brušenje, izradu navoja i ozubljenja, kao i materijali za njihovu izradu. Svi prikazani alati koriste se za oblikovanje materijala skidanjem strugotine.

Razvoj ovih, kao i ostalih vrsta alata za obradu rezanjem konstantno se usavršavaju, a sve to sa ciljem da se dobiju alati koji će posao obaviti brže, efikasnije i ekonomičnije. Vodeću ulogu u razvoju imaju vodeći svetski proizvođači alata. Pored usavršavanja rezne geometrije, tehnologije i drugih karakteristika koje se odnose na sam proces rezanja, razvoj ide i u pravcu usavršavanja i pronalazjenja novih materijala, koji će obradu rezanjem učiniti ekonomičnijom i kvalitetnijom.

5. LITERATURA

- [1] Bell T.: *Surface Engineering: its current and future impact on tribology*, J.Phys.. D: Appl. Phys. 25, 1992.
- [2] www.diprotex.com
- [3] Đurica, M., *Analiza savremenih alata za obradu struganjem bušenjem i glodanjem*, diplomski rad, FTN, Novi Sad, 2007
- [4] www.gleason.com
- [5] Pilka, M., *Analiza savremenih alata za obradu rezanjem*, diplomski rad, FTN, Novi Sad, 2007
- [6] www.slatertools.com

Autori: Prof.dr Bogdan Sovilj, Milan Pilka, dipl. ing., Milan Jašćur, dipl.ing. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 458-133

Milan Đurica, dipl.ing., PLAMEN, Kralja Petra I bb, 22320 Indija, Srbija, Tel: +381 22 510 028, Fax: +381 22 561 621

Prof. dr Snežana Radonjić, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički Fakultet u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Tel.: +381 32 302-763 Fax.: +381 32342-101

E-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu

milandjurica@gmail.com

pilxon@ptt.yu

snezar@tfc.kg.ac.yu

yasha@Eunet.yu

Rad je nastao u okviru projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Tanikić, D., Stević, Z., Manić, M., Devedžić, G.

UPRAVLJANJE PARAMETRIMA PROCESA REZANJA POMOĆU SISTEMA ZASNOVANIH NA VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI

Rezime: Temperatura koja se razvija u zoni rezanja pri mašinskoj obradi struganjem predstavlja jedan od najuticajnijih faktora procesa obrade rezanjem, a poznavanje i upravljanje ovom veličinom veoma je bitno. U prvom delu istraživanja maksimalna temperatura strugotine praćena je termovizijskom kamerom. Izmereni podaci pri različitim postavkama eksperimenta iskorišćeni su za obučavanje sistema zasnovanog na veštačkim neuronskim mrežama kao i neuro-fazi sistema. Konačno, prikazana je struktura sistema koji na osnovu izmerenih i modeliranih vrednosti može da izvrši korekciju parametara procesa obrade sa ciljem održavanja temperature rezanja u dozvoljenom opsegu.

Cljučne reči: struganje, temperatura strugotine, veštačke neuronske mreže, neuro-fazi sistemi

PROCESS PARAMETERS CONTROL USING THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED METHODS

Abstract: Cutting zone temperature in metal cutting process is one of the most influencing parameters of the metal cutting process, making its control very important and demanding. In the first stage of the research work maximal chip temperature was measured by infrared camera. Measured data, for different experiment setup, are used for the training of the neural network based system and neuro-fuzzy system. Finally, we present the structure of the system aimed to control the process parameters on the basis of measured and modeled data in order to keep the cutting temperature in feasible range.

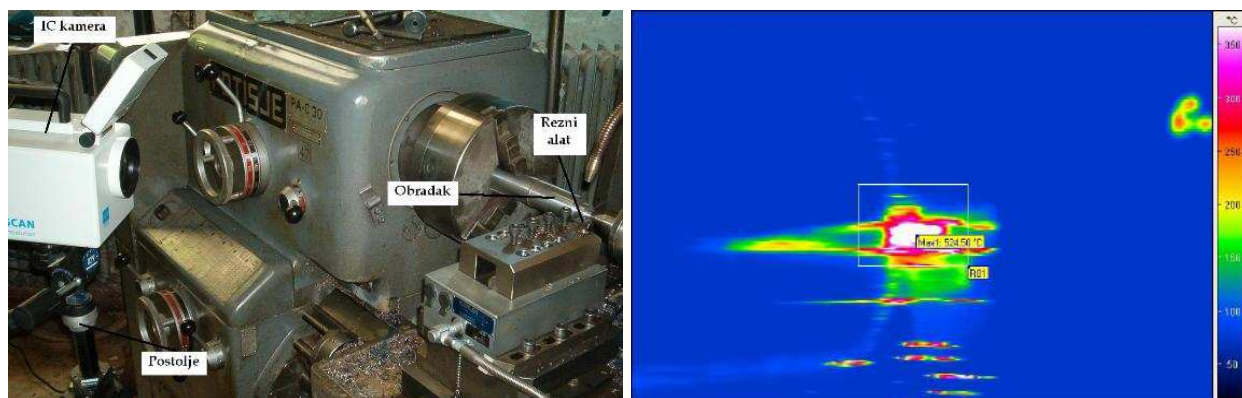
Key words: turning, chip temperature, artificial neural networks, neuro-fuzzy systems

1. UVOD

Temperatura rezanja, koja se javlja na dodirnoj površini strugarskog noža i materijala koji se obrađuje ima veliki, po pravilu negativni, uticaj na parametre procesa obrade rezanjem. Pored toga temperatura utiče i na promene mehaničkih i hemijskih svojstava kako materijala alata tako i materijala koji se obrađuje. Glavni izvor toplote pri rezanju metala je rad koji se troši kako na plastično deformisanje reznog sloja, tako i na savlađivanje trenja koje se javlja na kontaktnoj površini alata i obratka [1]. Skoro celokupni uloženi rad pretvara se tokom procesa rezanja u toplotu, koja se raspoređuje na strugotinu, alat i materijal obratka. Ovaj rad može se izraziti u funkciji komponenti sile rezanja. Habanje alata tesno je povezano kako sa temperaturom rezanja, tako i sa silama rezanja, pa se ova dva parametra ne mogu izostaviti pri modeliranju procesa obrade rezanjem. Teorijski, pri struganju se razlikuju tri zone u kojima se generiše toplotna energija:

- zona rezanja (ravan smicanja)
- zona kontakta alata i strugotine
- zona kontakta alata i obratka

Infracrvena termografija predstavlja korišćenje IC termovizijske kamere sa ciljem merenja i prikazivanja termalne energije koju neko telo zrači. U ovom radu maksimalna temperatura obratka, pri različitim režimima rezanja, prati se termovizijskom kamerom. Dobijeni podaci su sistematizovani i analizirani. Međutim, modeliranje matematičkim aparatom u ovom slučaju je veoma složeno, zbog nemogućnosti obuhvatanja svih relevantnih faktora i njihovih uticaja. Sa ciljem modeliranja procesa obrade rezanjem kreirana su dva modela zasnovana na veštačkoj inteligenciji (VI modeli): prvi model zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama i drugi hibridni, neuro-fazi model. Nakon završenog probnog rada izvršeno je poređenje kreiranih modela. Konačno, na osnovu predstavljenih VI modela moguće je kreirati sistem za adaptivno upravljanje temperaturom rezanja, koji bi bio u stanju da ovu veličinu održi u preporučenim granicama.



Slika 1. Postavka eksperimenta i termogram ($V=125[\text{m/s}]$, $s=0,196[\text{mm/o}]$ i $a=2[\text{mm}]$)

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

2.1 Postavka eksperimenta

Varioscan high resolution je skenirajući termovizijski merni sistem, za talasne dužine van vidljivog spektra, od $8\mu\text{m}$ do $12\mu\text{m}$, odnosno u oblasti infracrvenog zračenja. Signal iz ovog spektra se pojačava, digitalizuje sa 16 bitova i vizualizuje u oblast vidljivog spektra sa rezolucijom od 8 bitova (256 boja), pri čemu svaka boja na prikazanom termogramu (termovizijskom snimku) predstavlja određenu temperaturu. Temperaturna rezolucija sistema Varioscan je veoma visoka i iznosi $0,03\text{K}$, a opseg merenja temperature je od -40°C do $+1200^{\circ}\text{C}$. Trenutna generacija Varioscan high resolution kamera ima maksimalnu rezoluciju slike od 360×240 piksela. Na Slici 1 prikazana je postavka eksperimenta i dobijeni termogram za jedan konkretni režim obrade.

Strug korišćen za ispitivanja i merenja nalazi se u Laboratoriji za proizvodno mašinstvo na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu. Obradivani materijal je čelik, oznake Č 4732 koji spada u grupu legiranih, valjanih, hladno vučenih čelika, zatezne čvrstoće $R_m=1050\text{ [N/mm}^2\text{]}$. Izvršena je obrada četiri termički tretirana priprema, sa izmerenim tvrdoćama od HRC 20, 36, 43 i 55. Početne dimenzije priprema su $\varnothing 45 \times 250\text{ [mm]}$.

U skladu sa preporukama proizvođača, i iskustvenim pokazateljima, izabran je SANDVIK Coromant rezni alat koji se sastoji iz dva dela: držač noža PCLNR 32 25 P12 u kombinaciji sa reznom pločicom CNMG 12 04 08 (oznaka 235).

Na početku procesa struganja, temperatura raste dok ne dostigne ustaljenu vrednost oko koje varira za vreme procesa rezanja. Stoga je neophodno izvršiti merenje nakon izvesnog vremena po početku obrade [2]. Praćenjem ponašanja temperature termovizijskom kamerom, došlo se do zaključka da je period od oko 60 sekundi dovoljan da se temperatura strugotine stabilizuje.

Dobijeni termogrami čuvaju se na memorijskoj kartici ili se direktno prosleđuju povezanom računaru, gde se kasnije analiziraju. Maksimalna temperatura koja se javlja na površini strugotine je merodavni parametar u ovakvoj postavci eksperimenta.

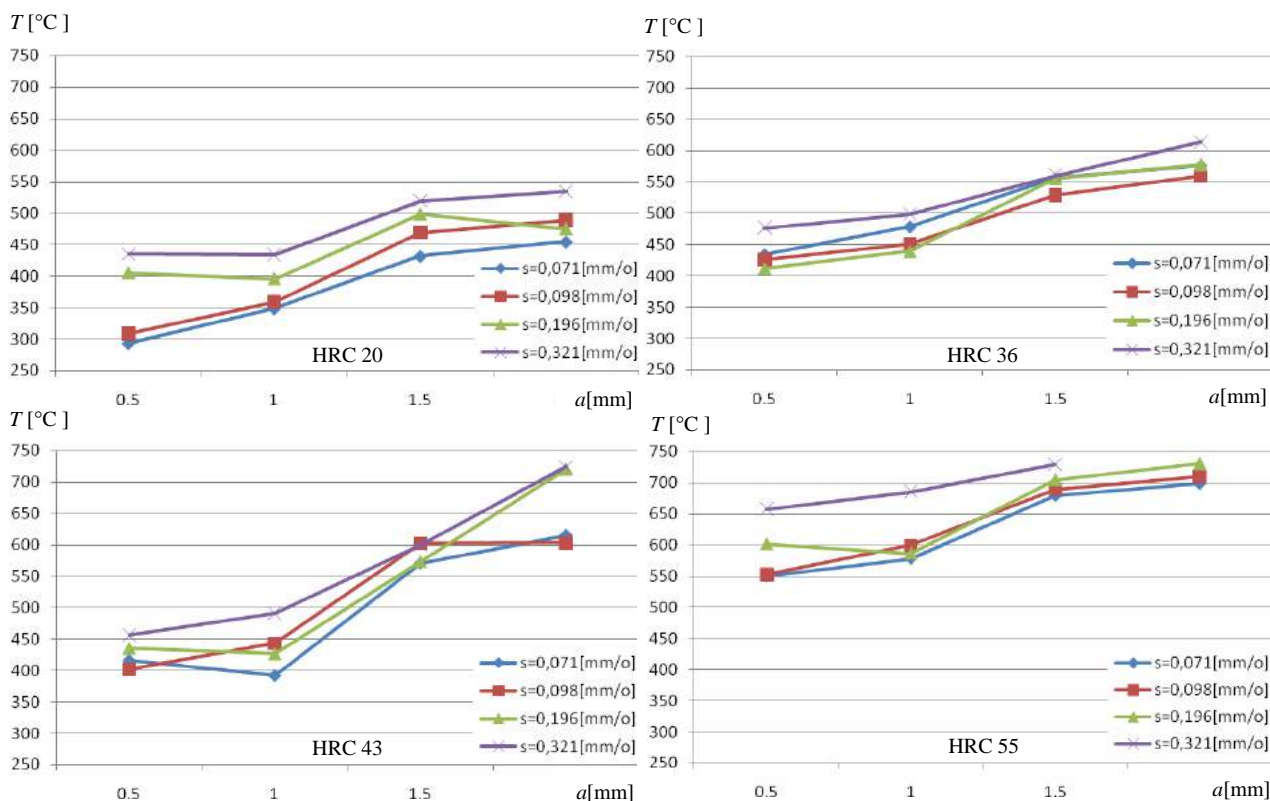
2.2 Rezultati merenja

Pored preporučenih podataka dobijenih iz odgovarajuće literature, iskustveno znanje i heuristika od velike su važnosti prilikom pravilnog izbora režima rezanja. Usvojeni promenljivi parametri procesa obrade i njihove vrednosti su:

- Tvrdoća obratka HRC (vrednosti: HRC 20; 36; 43 i 55)
- Brzina rezanja $V\text{ [m/min]}$ (vrednosti: 80; 95; 110; 125 i 140 [m/min])
- Korak rezanja $s\text{ [mm/o]}$ (vrednosti: 0,071; 0,098; 0,196 i 0,321 [mm/o])
- Dubina rezanja $a\text{ [mm]}$ (vrednosti: 0,5; 1; 1,5 i 2 [mm])

Neki od rezultata merenja dati su na Slici 2. Sa povećanjem dubine rezanja temperatura strugotine raste, pri konstantnim ostalim parametrima, dok je uticaj koraka na temperaturu rezanja izražen naročito pri malim brzinama. Analizom rezultata takođe se dolazi do zaključka da sa povećanjem brzine rezanja, pri čemu su ostali parametri konstantni, rastu i otpori rezanja, što za posledicu ima povećanje temperature strugotine. Sa povećanjem tvrdoće obrađivanog materijala, kao što je i očekivano, raste i temperatura strugotine.

Ukupan broj izvedenih eksperimenata je 316, a dobijeni podaci mogu se iskoristiti za modeliranje i simulaciju (faktorni eksperiment, metoda konačnih elemenata itd...). U novije vreme istraživanja idu u pravcu korišćenja sistema zasnovanih na veštačkoj inteligenciji (veštačke neuronske mreže, sistemi zasnovani na fazi logici, genetički algoritmi..., kao i kombinacija ovih sistema). U ovom radu, rezultati dobijeni u prvoj fazi koriste se za modeliranje temperature strugotine korišćenjem veštačkih neuronskih mreža i adaptivnih neuro fazi sistema.



Slika 2. Temperatura površine strugotine(T) u zavisnosti od dubine rezanja(a), pri brzini rezanja $V = 110\text{ [m/min]}$

3. MODELIRANJE VEŠTAČKIM NEURONSKIM MREŽAMA

Veštačka neuronska mreža (engl. Artificial Neural Network – ANN) je matematički model ili računarski model zasnovan na biološkoj neuronskoj mreži. Za zadati ulazni vektor $I=[i_1, i_2, \dots, i_n]$, neuronska mreža može da generiše izlazni vektor $O=[o_1, o_2, \dots, o_m]$ [3]. Neuronska mreža sastoji se od većeg broja elementarnih čvorova, koji se nazivaju neuronima.

Osnovni cilj je minimizovanje funkcije performanse, u ovom slučaju to je srednje kvadratna greška (engl. mean squared error – *mse*) koja se računa kao:

$$mse = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - y(k))^2 \quad (1)$$

gde su: Q – broj eksperimenata, $e(k)$ – greška, $t(k)$ – željene vrednosti, $y(k)$ – izlazne vrednosti

Ulazni nivo svake od kreiranih neuronskih mreža sastoji se od četiri neurona: (1) Tvrdoca materijala, (2) Brzina rezanja, (3) Korak i (4) Dubina rezanja, i samo jednog neurona u izlaznom nivou za proračunavanje temperature strugotine. Veštačke neuronske mreže mogu imati proizvoljan broj skrivenih nivoa, kao i proizvoljan broj neurona u njima. Performanse mreže zavise od broja nivoa, broja neurona u njima, prelazne funkcije, prisustva „bias-a”, kao i od načina na koji su neuroni povezani. Nažalost eksplicitna pravila za pravilni izbor ovih parametara ne postoje. U principu, izbor svih ovih parametara mreže u velikoj meri zavisi od ličnog znanja i iskustva.

U ovom radu kreirano je šest različitih neuronskih mreža, sa različitim brojem skrivenih nivoa neurona i različitim brojem neurona u njima, sa ciljem minimizovanja greške sa jedne strane ali i izbegavanja overfitting-a (situacija u kojoj mreža gubi svoje osnovno svojstvo – generalizaciju podataka) sa druge strane. Strukture kreiranih neuronskih mreža su: ANN 4-3-1 (jedan skriveni nivo sa 3 neurona); ANN 4-5-1 (jedan skriveni nivo sa 5 neurona); ANN 4-10-1 (jedan skriveni nivo sa 10 neurona); ANN 4-2-2-1 (dva skrivena nivoa sa po 2 neurona); ANN 4-5-3-1 (dva skrivena nivoa sa 5 i 3 neurona, respektivno) i ANN 4-10-5-1 (dva skrivena nivoa sa 10 i 5 neurona, respektivno).

Za modeliranje veštačkih neuronskih mreža korišćen je MATLAB programski paket. Algoritam obučavanja korišćen u svim slučajevima je Levenberg-Marquardt algoritam, koji pokazuje najbolje rezultate u slučajevima aproksimacije nepoznate funkcije (predikcije funkcije), dok je broj ciklusa obučavanja 500. Neuroni ulaznog i skrivenih nivoa mreža imaju sigmoid-nu prelaznu funkciju, dok neuroni izlaznog nivoa imaju linearnu prelaznu funkciju. Nakon faze obučavanja, veštačke neuronske mreže su testirane. Skup od 122 izmerena podatka (koji nisu korišćeni u fazi obučavanja) iskorišćen je za testiranje kreiranih modela.

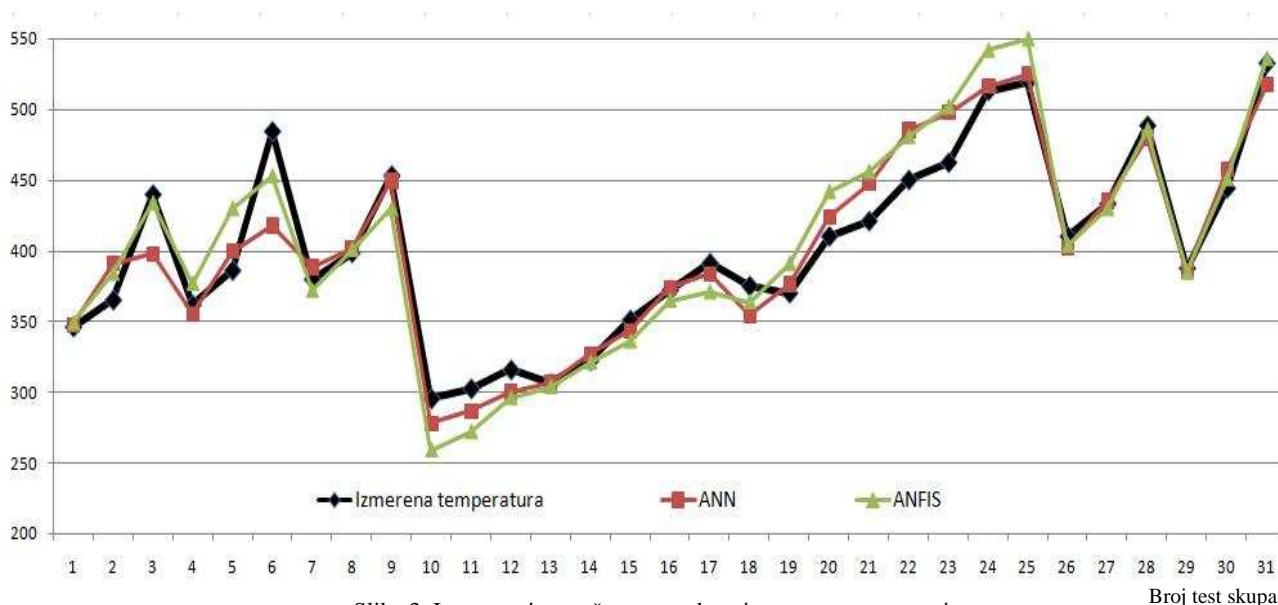
4. MODELIRANJE NEURO-FAZI SISTEMOM

Fazi sistemi u svom radu koriste ljudsko znanje i to tako što ga na odgovarajući način organizuju u bazi pravila i bazi podataka, a zatim, koristeći fazi logiku zaključivanja, izvlače iz njega odgovarajuće zaključke.

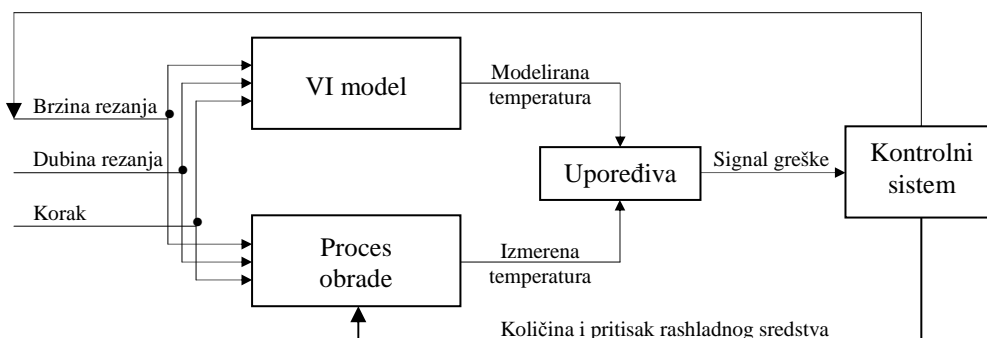
Adaptivni neuro-fazi sistemi predstavljaju specifičnu kombinaciju veštačkih neuronskih mreža i fazi logike i na taj način objedinjuju sposobnost učenja veštačkih neuronskih mreža sa logičkom interpretacijom koja je karakteristika fazi logike [4]. Osnovno pravilo obučavanja adaptivnih mreža zasniva se na gradijentnoj metodi koju je sedamdesetih godina prošlog veka predložio Werbos [5].

Jedna adaptivna neuro-fazi mreža sastoji se od više slojeva neurona (čvorova) a svaki od njih izvršava određenu funkciju (funkcija neurona) nad ulaznim signalom pri čemu se u račun uzima i skup parametara koji je povezan sa dotičnim čvorom. Vrsta funkcije koju čvor izvodi može se razlikovati od jednog do drugog čvora, a izbor funkcije svakog od čvorova zavisi od sveukupne ulazno-izlazne funkcije koju mreža treba da simulira [6].

Za modeliranje pomoću hibridnog neuro-fazi sistema takođe je korišćen MATLAB programski paket. ANFIS (engl. Adaptive Network Based Fuzzy Inference System) [6], ima sledeće parametre: broj funkcija pripadnosti svake ulazne veličine je 3, ulazne funkcije pripadnosti su u obliku zvona, korišćen je hibridni metod optimizacije, a broj ciklusa obučavanja je 300. Identični skup od 316 izmerenih podataka, koji je korišćen i prilikom ANN modeliranja, koristi se za obučavanje sistema, dok se preostali skup od 122 podatka koristi za testiranje sistema.



Slika 3. Izmerene i proračunate vrednosti temperature strugotine



Slika 4. Sistem za adaptivnu kontrolu temperature rezanja

5. POREĐENJE KREIRANIH MODELA

Testiranje kreiranih modela izvedeno je na skupu od 122 ulazno-izlazna para podataka, koji modelima nisu predstavljani u fazi obuke. Sa adaptivnim neuro fazi modelom poredi se reprezentativni predstavnik veštačkih neuronskih mreža, tj. ANN 4-10-5-1. Na Slici 3 prikazan je deo rezultata testiranja ovih modela (rezultati merenja i modeliranja podataka koji su dobijeni obradom pripremljena tvrdog HRC 20). U Tabeli 1 date su maksimalne i srednje vrednosti grešaka dobijenih testiranjem kreiranih modela.

	ANN	ANFIS
Maksimalna greška [%]	14.236	13.439
Srednja greška [%]	3.229	4.319

Tabela 1. Maks. i srednje vrednosti grešaka kreiranih modela

6. SISTEM ZA ADAPTIVNU KONTROLU TEMPERATURE REZANJA

Faktori koji direktno utiču na temperaturu rezanja pri mašinskoj obradi rezanjem su: materijal obratka, režimi rezanja (brzina, korak i dubina rezanja), dimenzije i geometrijske karakteristike reznog alata, vrsta rashladnog sredstva itd... Brzina rezanja, kao što je već napomenuto, ima najveći uticaj na temperaturu rezanja. Modeli zasnovani na veštačkoj inteligenciji (VI modeli) u koje spadaju i prikazani ANN i ANFIS modeli, mogu biti iskorišćeni pri kreiranju sistema za adaptivnu kontrolu temperature rezanja (Slika 4).

U ovom radu merenje temperature strugotine realizovano je korišćenjem IC termovizijske kamere, ali bi ovaj zadatak bilo takođe moguće izvesti korišćenjem nekog drugog metoda (na primer, korišćenjem alata sa ugrađenim tankim termoparom u obliku filma [7]).

Brzina rezanja, dubina rezanja i korak predstavljaju ulazne parametre oba sistema (procesa obrade i VI modela). Izmerena temperatura u procesu obrade rezanjem i temperatura modelirana VI modelom poredi se, a signal greške predstavlja ulaznu veličinu kontrolnog sistema. Kontrolni sistem utiče na povećanje, odnosno smanjenje brzine rezanja (direktnim uticajem na broj obrtaja glavnog vretena) u dozvoljenom opsegu brzina rezanja. Ovaj sistem takođe može da kontroliše i količinu i pritisak sredstva za hlađenje i podmazivanje, faktor koji direktno utiče na temperaturu rezanja. Na ovaj način kontroliše se pojava pregrevanja, koja ima negativni uticaj na rezni alat.

7. ZAKLJUČAK

Toplota generisana u zoni rezanja dovodi do postepene plastične deformacije sečiva, gubljenja reznih sposobnosti alata i njegovog zatupljenja. Pored uticaja na postojanost

alata, generisana toplota odnosno temperatura rezanja, utiče na proizvodnost procesa obrade, tačnost obrade, kvalitet obrađene površine, veličinu i brzinu habanja alata, čvrstoću i stepen deformisanja predmeta obrade itd. Jedan od preduslova uspešnog izvođenja procesa obrade su upravo merenje i upravljanje temperaturom rezanja. Zbog otežanog matematičkog modeliranja ove veličine, kreirani su i testirani inteligentni modeli. Rezultati testiranja i probnog rada ukazuju na veoma dobra poklapanja izmerenih i modeliranih podataka. Krajnji cilj, odnosno adaptivno upravljanje temperaturom rezanja moguće je izvršiti pomoću sistema koji koriste kako izmerene, tako i podatke dobijene od VI modela.

Konačno, kvalitet obrađene površine može se značajno poboljšati na ovaj način, uz istovremeno produženje radnog veka reznog alata, što pozitivno utiče na ekonomiku proizvodnje.

8. LITERATURA

- [1] Basti, A., Obikawa, T., Shinozuka, J., *Tools with built-in thin film thermocouple sensors for monitoring cutting temperature*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 793–798, 2007.
- [2] Da Silva, M., B., Wallbank, J., *Cutting temperature: prediction and measurement methods – a review*, J. of Materials Processing Technology, 88, 195-202, 1999.
- [3] Jang, J. S. R., *ANFIS: Adaptive-Neural-Based Fuzzy Inference System*, IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics, vol.23, no.3, 665-685, 1993.
- [4] Kwon, P., Schiemann, T., Kountanya, R., *An inverse scheme to measure steady-state tool-chip interface temperatures using an infrared camera*, Int. Journal of Machine Tools & Manufacture, 41, 1015-1030, 2001.
- [5] Santochi, M., Dini, G., *Use of neural networks in automated selection of technological parameters of cutting tools*, Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 9, No. 3, 137-148, 1996.
- [6] Sick, B., *On-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research*, Mechanical Systems and Signal Processing, vol.16, no.4, 487-546, 2002.
- [7] Werbos, P., *Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences*, PhD thesis, Harvard University, 1974.

Autori: Mr Dejan Tanikić, Dr Zoran Stević, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, V.J. 12, 19210 Bor, Srbija, Tel.: +381 30 424-555, Dr Miodrag Manić, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Dr Goran Devedžić, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu.

E-mail: dtanikic@tf.bor.ac.yu
zstevic@tf.bor.ac.yu
mmanic@masfak.ni.ac.yu
devedzic@kg.ac.yu

Vrač, D., Šidanin, L., Milikić, D.

UTICAJ REŽIMA REZANJA NA KVALITET OBRAĐENE POVRŠINE HONOVANJEM

Rezime: U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja režima rezanja na karakteristike strukture površine obradka i mikrogeometriju kod honovanja mehaničkom metodom košuljica cilindara od sivog liva. Karakterizacija mikrostrukture, hemijskog sastava, i mehaničkih osobina je pokazala da ispitivani uzorci su izrađeni od sivog liva sa oznakom po JUS-u SL 250. U livu preovlađuje lamelarni grafit tip B sa tragovima grafita C. Mikrostruktura metalne osnove je perlitna sa malo ferita i fosfidnog eutektikuma koji je ravnomerno raspoređen i ima tendenciju stvaranja guste i zatvorene mreže.

Predloženi matematički model za obradu rezultata metodom najmanjih kvadrata je adekvatan, a izvršena analiza disperzionih odnosa pokazuje da za određivanje parametara mikrogeometrije pomoću pretpostavljenog matematičkog modela i pri zadatim uslovima najveću ulogu ima specifični pritisak, dok su brzina rezanja i pomak manje relevantni parametri. Dobivene klizne romboidne površine su sa dobrim geometrijskim dimenzijama. Na površini nema pojave limenog omotača i mramoriranja, a preseki brazdi su pravilni.

Glavne reči: honovanje, specifični pritisak, mikrogeometrija, mikrostruktura, struktura površine

THE INFLUENCE OF CUTTING REGIME ON QUALITY OF SURFACE FINISHED BY HONING

Abstract: The paper presents the results of investigations about the influence of cutting regime on characteristics of workpiece surface structure and microgeometry in honing by mechanical method of cast iron cylinder liners. The characterization of microstructure, chemical composition and mechanical properties showed that examined samples are made of grey cast iron (grade SL 250, JUS standard). In specimens a lamellar graphite of type B with traces of the graphite C are present. The metal matrix microstructure consists a pearlite with a small amount of ferrite and phosphid eutectic distributed uniformly, tending to develop dense and closed network. The proposed mathematical model for results processing by least squares method is appropriate. The analysis of dispersion relations indicate that specific pressure according to assumed mathematical model and under given conditions plays the most prominent role in determining microgeometry parameters. However, the cutting speed and feed are less important parameters. The obtained sliding rhomboid surfaces possess good geometric dimensions. On the surface there is no occurrence of metal cover and marbling, and creases orientation are regular.

Key words: honing, specific pressure, microgeometry, microstructure, surface structure

1. UVOD

Proces obrade metala honovanjem cilindričnih površina otvora vezan je za razvoj industrije motora. Proizvodnja prvih motora koji nisu imali cilindarsku košuljicu, već je cilindarski otvor bio deo bloka cilindra, povezana je za prvo honovanje. Prvi postupak honovanja patentiran je u SAD u Detroidu davne 1921.g. Razvoj motora tekao je u pravcu ugradnje cilindarskih košuljica suvog i mikrog tipa, a paralelno sa time tekao je i razvoj procesa honovanja. Proces honovanja se ne primenjuje samo kod obrade blokova cilindra, već i kod ostalih delova motora.

Razvijeni su konvencionalni i nekonvencionalni postupci obrade. Istima ostvarujemo sledeće varijante obrade: plato honovanje, normal honovanje, spiralno klizno honovanje, laser konfiguracija honovanje i normal glatko (fino nestrukturano) honovanje. Kod svih razvijenih postupaka i varijanti honovanja završno honovanje izvodi se mehaničkom metodom. Ovom metodom ostvaruje se pogodna struktura površine unutar pravilne geometrijski definisane romboidne površine. Ova pravilna površina omeđena je brazdama pred honovanja, odgovornim za pravilno funkcionisanje odvođenja mazivnog fluida sa iste. S obzirom da je proces honovanja najbitnija obrada delova motora SUS koja direktno utiče na izlazne karakteristike istog, završna obrada izvedena mehaničkom metodom je od velikog značaja. Količina mazivnog fluida na površini cilindarske košuljice zavisi od strukture površine. Kod normal honovanja ova količina je

umanjena u odnosu na niži stepen plato honovanja. Proces honovanja izvodi se sa specifičnom kinematikom kretanja alata u obradku cilindričnog oblika. Glava za obradu izvodi istovremeno rotaciju i translaciju, odnosno radijalno i aksijalno kretanje.

U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja režima rezanja na karakteristike strukture površine obradka i mikrogeometriju kod honovanja mehaničkom metodom košuljica cilindra od sivog liva sa ciljem da se potvrdi hipoteza da je mehaničkom metodom moguće ostvariti normal honovanje koje zadovoljava propisani kvalitet.[1-3]

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Ispitivanja su vršena na preciznom vertikalnom obradnom sistemu za honovanje tipa VS 8-50 LA "Nagel". Pri istraživanju korišten je alat (glava) za honovanje $\varnothing 91,475^{+0,025}$ mm sa ugrađenim belegijama veličine abraziva 80/100 mesh, odnosno 100/120 mesh. Za radijalno pomeranje nosača belegija primenjen je hidraulički dvostruki pomak sa spuštanjem pritiska. Hemijski sastav materijala obratka je određen optičkim emisijom spektrometrom "Beckman" DU-2. Za ispitivanje tvrdoće primenjen je uređaj "Wolpert"-DIA Testor Z, a za zateznu čvrstoću kidalica "Amsler" tip 40 SZBDA 699. Svetlosni mikroskop tipa "Leitz Watzlar" uz konvencionalnu pripremu uzorka, korišten je za ispitivanje mikrostrukture, dok je struktura površine obradka nakon honovanja ispitivana na skenirajućem elektronskom mikroskopu

(SEM) JEOL JSM 6460 LV pri radnom naponu od 25 kV. Pre ispitivanja uzorci su naparavani zlatom. Za određivanje mikrogeometrije honovane površine sa otisaka korišten je uređaj Talysurf 6, "Rank Teylor Hobson", a za dobijanje otisaka sa honovane površine, polimer "Simgal"-dvokomponentni polimetilmetakrilat (PMMA). Kod planiranja i izvođenja eksperimenta korištena je metodologija trofaktornog plana eksperimenta. Faktori su varirani u tri nivoa vrednosti. Odzivna površina je na ovaj način u ispitivanom intervalu u svakoj ravni određena sa po tri eksperimentalne tačke. Funkcionalna zavisnost između ulaznih i izlaznih veličina faktora potražiti će se u obliku stepene funkcije matematičkog modela I reda kao:

$$R = c \cdot f_1^{\beta_1} \cdot f_2^{\beta_2} \cdot f_3^{\beta_3}$$

(1)

Za obradu rezultata korištena je regresiona analiza metodom najmanjih kvadrata.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Materijal obratka

Rezultati ispitivanja hemijskog sastava materijala obratka prikazani su u tabeli 1.

[mass %]					
C	Si	Mn	P	S	Cr
2,80	2,21	0,71	0,61	0,02	0,35

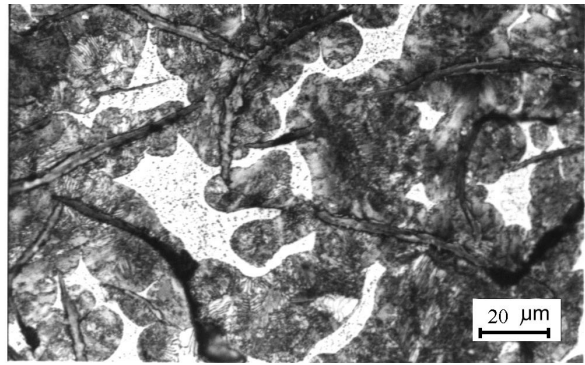
Tabela 1. Hemijski sastav materijala obratka [mass. %]

Materijal obratka je sivi liv koji sadrži lamele grafite tipa B (grafit tipa C je u tragovima). Prema standardu OPEL 107 8/79 grafit B pripada raspodeli BIB4, slika 1.

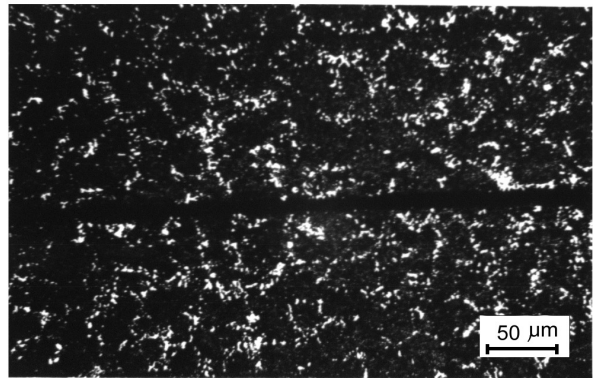


Slika 1. Grafit tipa IB4 u materijalu obratka

Mikrostruktura metalne osnove se sastoji uglavnom iz perlita, male količine ferita i fosfidnog eutektikuma, slika 2. Veličina okaca fosfidnog eutektikuma je ujednačena sa tendencijom stvaranja guste i zatvorene mreže, slika 3. Tvrdća ispitivanog sivog liva izražena kao srednja vrednost tri merenja iznosi 250 HB, dok je zatezna čvrstoća, takođe kao srednja vrednost tri merenja, $R_m=280$ MPa. Rezultati ispitivanja hemijskog sastava, mikrostrukture i mehaničkih osobina materijala obratka su pokazali da su košuljice cilindara izrađene od sivog liva koji po JUS standardu ima oznaku SL 250.



Slika 2. Mikrostruktura metalne osnove materijala obratka (perlit + ostrvca ferita + fosfidni eutektikum)



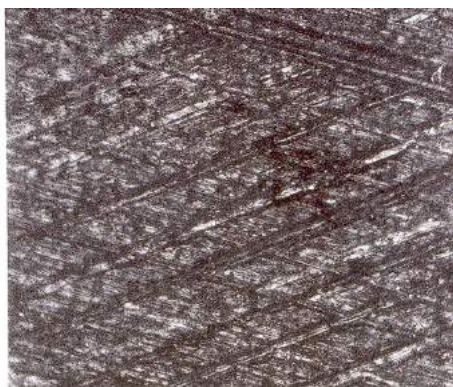
Slika 3. Mreža fosfidnog eutektikuma

3.2 Mikrogeometrija

Vrednosti mikrogeometrije (srednje aritmetičko odstupanje profila) R_a kreće se u granicama od 0,752 do 1,219 μm za obradke obrađene alatom D 181, i 0,711 do 1,214 μm za obradke obrađene alatom D 151. Sa povećanjem vrednosti režima rezanja, vrednost R_a se uvećava. Za ovaj slučaj odabranih uticajnih faktora honovanja najveći uticaj ima specifični pritisak honovanja. Vrednosti R_a na srednjem nivou variranja faktora su gotovo ujednačena za oba primenjena alata. Parametri mikrogeometrije R_a na donjem i srednjem nivou variranja faktora su gotovo idealni, i odgovaraju standardu DIN 8589, u novom (neuhodanom) stanju površine. Vrednosti R_a od 0,711 do 0,930 μm su naročito pogodne, obzirom da utiču na smanjenje vremena uhadavanja klipnog sklopa.

3.3 Struktura površine

Rezultati strukture obrađene površine pokazuju da su dobivene čiste klizne romboidne površine, bez odstajalog materijala (listića), delova gnječenih lamela grafita (mramoriranje) i deformacije površine. Slika 4. predstavlja reprezentativan rezultat ugla rezanja uzorka otiska sa honovane površine košuljice cilindara obrađene alatom D 151 K 75.

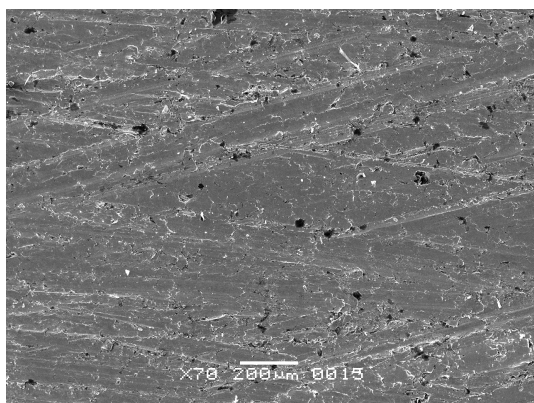


Slika 4. Ugao rezanja sa vrednošću istog $\alpha = 45^\circ$ (50x)

Brazde rezanja pred honovanja su čiste, sa čistim pravilnim ivicama i bez odstajalog materijala. Jasno se vidi presecanje brazdi rezanja, što je naročito bitno za skidanje maziva kod rada klipnog sklopa što se podudara sa rezultatima Sech [5] i Strobela [5]. Klizne romboidne površine su bez vidljivih prskotina, pravilne sa odgovarajućim geometrijskim dimenzijama. Slike 5 i 6. predstavljaju reprezentativne rezultate strukture površine uzoraka košuljica cilindara obrađenih alatima D 181 K50 i D 151 K75.



Slika 5. Struktura površine košuljice cilindara obrađene alatom D 181 K50, pri režimima rezanja $v_s = 0,931 \text{ m/s}$, $s = 51,918 \text{ mm}^\circ$ i $p_{hd} = 1,0 \text{ N/mm}^2$



Slika 6. Struktura površine košuljice cilindara obrađene alatom D 151 K75, pri režimima rezanja $v_s = 0,931 \text{ m/s}$, $s = 51,918 \text{ mm}^\circ$ i $p_{hd} = 1,0 \text{ N/mm}^2$

Materijal koji odstoji na ivicama brazdi sprečava dotok ulja sa površine zaravni u iste. Ovim funkcija brazdi prestaje, tj. tok ulja u klipnom sklopu je narušen. U koliko imamo pojavu ispadanja celih zrna ili delova zrna iz abrazivnog sloja, zrno menja pravac kretanja, stoga imamo pojavu brazdi

nepravilnog smera i orijentacije, što u ovim istraživanjima nije prisutno. Pojava limenog omotača na površini znači i kidanje materijala, povećano habanje u toku početnog perioda rada klipnog sklopa. U koliko bi imali porast stvaranja limenog omotača, imali bi i deformaciju površine [6,7].

3.4 Definisanje matematičkog modela

Vrednosti režima rezanja prema sačinjenom planu eksperimenta varirani su u granicama: $v_s = 0,931 - 1,11 \text{ m/s}$; pomak $s = 51,918 - 60,879 \text{ mm}^\circ$ i specifični pritisak rezanja $p_{hd} = 1,0 - 1,4 \text{ N/mm}^2$. Redosled izvođenja eksperimenta bio je prema tablici slučajnih brojeva. Ortogonalna plan matrica x eksperimenta prikazana je u tabeli 2. Dobijene granice od 95% pouzdanosti matematičkog modela, kao i izračunate vrednosti parametara mikrogeometrije za svaku eksperimentalnu tačku date su u tabeli 3. Vrednosti režima rezanja mogu se izraziti matematički kao:

$$v_s = \sqrt{v_o^2 + v_a^2} / s \quad (2)$$

$$p_{hd} = \frac{A_k \cdot p_h}{A_h \cdot \tan \beta} \text{ N/mm}^2 \quad (3)$$

Broj opita	Faktori režima rezanja			Eksperimentalni rezultati	
	Plan matrica x			Ra μm	
	vf ₁	sf ₂	pf ₃	D 181	D 151
1.	1,11	60,879	1,4	1,219	1,214
2.	0,931	60,879	1,4	1,195	1,200
3.	1,11	51,918	1,4	1,200	1,182
4.	0,931	51,918	1,4	1,175	1,170
5.	1,11	60,879	1,0	0,852	0,862
6.	0,931	60,879	1,0	0,930	0,910
7.	1,11	51,918	1,0	0,803	0,800
8.	0,931	51,918	1,0	0,752	0,711
9.	1,016	56,221	1,183	1,165	1,145
10.	1,016	56,221	1,183	1,090	1,053
11.	1,016	56,221	1,183	1,147	1,127
12.	1,016	56,221	1,183	1,027	1,018

Tabela 2. Plan matrica sa rezultatima eksperimentalnih merenja

Broj opita	Ra exp μm		Ra rač μm		Ra min μm		Ra max μm	
	D181	D151	D181	D151	D181	D151	D181	D151
1.	1,219	1,214	1,115	1,302	1,280	1,213	1,299	1,396
2.	1,195	1,200	1,109	1,274	1,274	1,188	1,293	1,367
3.	1,200	1,182	1,033	1,186	1,869	1,105	1,204	1,272
4.	1,175	1,170	1,024	1,160	1,181	1,082	1,198	1,245
5.	0,852	0,862	0,774	0,893	0,889	0,832	0,902	0,958
6.	0,930	0,910	0,771	0,874	0,885	0,815	0,898	0,937
7.	0,803	0,800	0,717	0,813	0,824	0,758	0,836	0,872
8.	0,752	0,711	0,714	0,796	0,820	0,742	0,832	0,854
9.	1,165	1,145	0,892	1,018	1,001	0,988	1,064	1,049
10.	1,090	1,053	0,892	1,018	1,001	0,988	1,064	1,049
11.	1,147	1,127	0,892	1,018	1,001	0,988	1,064	1,049
12.	1,027	1,018	0,892	1,018	1,001	0,988	1,064	1,049

Tabela 3. Izračunate vrednosti i dobijene granice od 95% pouzdanosti

Ovako dobijena opšte funkcionalna zavisnost izlazećeg kvaliteta mikrogeometrije od režima rezanja vrlo je pogodna jer pored ostalog omogućuje i donošenje zaključaka u vezi definisanja procesa obrade honovanjem. Metodološku suštinu površine reagovanja predstavlja izbor matematičkog modela u kojem je reakcija matematički opisana preko funkcije nezavisno promenljivih. Osnovna zaključivanja o stepenu uticaja faktora x_i na varijablu y zasniva se na mogućnosti izdvajanja efekata delovanja faktora f_i na varijabilitet varijabli y zajedno sa mogućnošću upoređivanja tih efekata na istom nivou pouzdanosti. Matematičkom obradom rezultata eksperimentalnih ispitivanja zavisnosti mikrogeometrije pri procesu honovanja od uslova obrade dobija se empirijski izraz u vidu stepene funkcije elemenata režima rezanja u

obliku:

$$R_{aD181} = 0,108 \cdot v_s^{0,026} \cdot s^{0,477} \cdot p_{hd}^{1,082} \mu m \quad (4)$$

$$R_{aD151} = 0,079 \cdot v_s^{0,121} \cdot s^{0,586} \cdot p_{hd}^{1,120} \quad (5)$$

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja može se zaključiti da:

- Hemijski sastav, mikrostruktura i mehaničke osobine ispitivanih uzoraka odgovaraju sivom livu sa oznakom po JUS-u SL 250. U livu preovlađuje lamelarni grafit tip B sa tragovima grafita C. Mikrostruktura metalne osnove je perlitna sa malo ferita i fosfidnog eutektikuma koji je ravnomerno raspoređen i ima tendenciju stvaranja guste i zatvorene mreže.
- Predloženi matematički model je adekvatan, a izvršena analiza disperzionih odnosa pokazuje da za određivanje parametara mikrogeometrije pomoću pretpostavljenog matematičkog modela i pri zadatim uslovima najveću ulogu ima specifični pritisak, dok su brzina rezanja i pomak manje relevantni parametri.
- Klizne romboidne površine su sa geometrijskim adekvatnim dimenzijama bez odstajalog materijala i gnječenih grafitnih lamela. Brazde su čiste sa jasnim ivicama i presecima rezanja, što daje poseban kvalitet obrade, a istovremeno potvrđuje hipotezu da se i mehaničkim honovanjem može dobiti veoma dobar kvalitet obrađene površine.

5. LITERATURA

- [1] DIN 8589 standard
- [2] Robota, A., Zwein F.: Einfluss der Zylinderlaufflächentopografie auf den Ölverbrauch und die Partikelemission eines DI-Dieselmotors. MTZ 60, 1999/4, s. 246-255.
- [3] Spur G.; Stöferle Th.: Handbuch der Fertigungstechnik. Band 3/2, Spanen. Carl Hanser Verlag, München Wien 1980, s.294-356.
- [4] Sech E., Strobel Dr. Jürgen: Diamant fluidstrahl gäthnung. MTZ 2/2001, s. 184-189.
- [5] Vrač. D.: Uticaj obrade cilindara na neke tehnološke karakteristike dizel motora. Magistarski rad. FTN-Novi Sad 2003.
- [6] Tyagi, J., K., R. Krishnamurthy, Venkatesh V., C.: On Surface Quality of Honed Surfaces. Proceedings of the 5th International Conference on Production Engineering Tokyo 1984.
- [7] Vrač, D.: Istraživanje procesa završne obrade košuljica cilindara motora SUS. Doktorska disertacija. FTN-Novi Sad 2007.
- [8] Vrač, D.: Određivanje hrapavosti kod obrade honovanjem metodom površine reagovanja (odziva) RSM. IX Međunarodna naučno-stručna konferencija MMA 2006- Fleksibilne tehnologije. FTN-Novi Sad.

Autori: Dr Damir Vrač,

Prof. Dr Leposava Šidanin, Prof. Dr Dragoje Milikić,
Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,
Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja
Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-
2320, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: lepas@uns.ns.ac.yu

dmilic@uns.ns.ac.yu

SOME ASPECTS OF FORGING MODELING

Abstract: This paper written in part with a European perspective describes recent research by the author and co-workers in the area of metalforming processes and highlights some areas for future research. Forging simulation is initially discussed against a background of the commercial case for its use. From early research developing the Upper Bound Elemental Technique (UBET) methods of designing performs are discussed that include a reverse simulation technique based on a Tetrahedral Elemental Upper Bound Analysis (TEUBA). Interface properties can be quite critical in metalforming but yet the data that is integrated with commercial simulation software is not quality assured. Some research on modeling of friction and heat transfer to overcome this problem is described.

Key words: Metalforming process, forging simulation, friction, heat transfer

1. INTRODUCTION

A major contribution to the wealth and competitiveness of the EU can be made through its manufacturing industry and a core aspect of that industry is the production of metallic parts by casting and forming processes. Whereas casting involves solidification of molten metal into a mould defining the shape required, in contrast forming processes takes a piece of stock material and deforms it plastically i.e. in the solid phase using profiled dies to produce the required shape. In many cases the process requires several sets of dies to achieve the overall shape transformation.

The fundamental conservation of material resources inherent in forming processes makes them particularly attractive for environmental reasons when compared with machining and casting processes... Within the range of forming processes, forgings are to a limited extent competitive with castings as an efficient means of producing shapes. However only forgings, exploiting their inherent aligned fibre structure, can provide the necessary mechanical properties and assurance of product integrity necessary for many components. These processes will therefore continue to be required as long as the motor and aerospace industries exist. Similarly for resilient sheet components such as car and airframe panels only forming processes are acceptable

In the user industries of formed products the main development thrusts, which are required, are:

- Improved engine and vehicle efficiencies
- Reduced pollution from products
- Improved manufacturing efficiency and conservation of resources

In terms of formed parts this can be achieved by:

- Improved strength to weight ratios components
- Improved consistency of product supply
- Flexible delivery of parts
- The production of nearer to net shape parts
- Reduction in material wastage

For the parts supply industry some of the implication of this are concerned with how to acquire and use:

- Improved efficiency by introducing flexible batch size production
- Reduced lead times from design to product and avoidance of trial & error methods
- Improved net shaping technology
- Reduced reliance on manual and experiential skills

To meet this demand the following is required:

- Improvement and take up of knowledge based systems for the tool and process design
- Improvement and take up of modelling/simulation techniques
- Better predictability product structure and properties
- Enhanced adoption of concurrent engineering methodologies

The forming industry is largely comprised of SMEs and is operating in a global market with strong competition from the Far East where lower labour costs enable a good competitive edge to be gained. European manufacturers must therefore compete on a technological basis as outlined above.

An account of some of the research conducted by the author and co-workers in recent years now follows. This highlights some of the problems and possible solutions.

2. FORGING SIMULATION TOOLS AND PERFORM DESIGN

A range of simulation packages is now available commercially. By and large they are accurate and impressive in the detail that they can predict. There are many examples where the simulation has enabled flow defects in the form of die under fill and folds to be avoided by using simulation thus avoiding the need for costly trial and error methods to prove the process. A very sound financial case can be made for the investment in the software on this basis alone. In the aerospace industry supply companies where the requirements are sometimes more sophisticated, for example the prediction of microstructures, the case is even more readily made.

The early days of forming process modelling were set against a backdrop of only limited application of computers in the forming industry. There was a distinct feeling that the introduction of any computer-based methods would remove someone's job rather than enable the product to be made more cheaply. The author and several co-workers were at this time researching upper bound based methods for forming analysis and had been able to computerise an elemental approach proposed by Kudo(3). This Upper Bound Elemental Technique (UBET) (8) was somewhat easier to use than the Finite Element based methods that were being researched at that time and was thus more readily accepted by the industry. Fig 1 shows the rather crude basis on which the workpiece was subdivided into elements. The technique was however limited to 2D applications and whilst being extremely fast and easy to use compared with the Finite Element methods available, this advantage was being eroded rapidly. But, with UBET it had been possible to develop a unique reversing

technique that started with the finished shape of a forging and established the ideal shape of any intermediate or preform stages that might be required (6). This advantage still remains. Also the processing speed advantage has been maintained by developing a 3D version of the method that also incorporates the reversing concept for preform design. This is described by Chang and Bramley (1) and is illustrated in Fig 2. It is based on a tetrahedral element formulation.

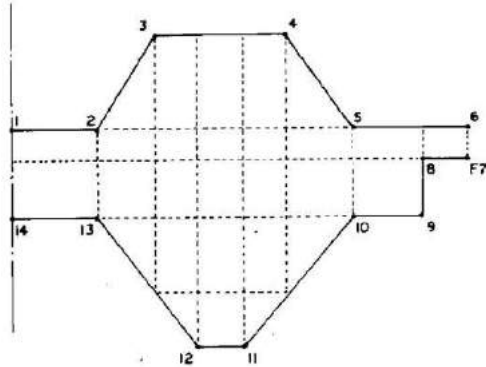


Fig 1. UBET elemental subdivision

3. CERAMIC TOOLS

As the demands made upon hot and warm forging and extrusion tooling to perform to new levels of productivity continues to grow, the challenge to engineers, and material scientists alike calls for a new approach. Until now, hot working tool steels have been the only cost effective die material option. Recently, the use of ceramic materials as functional materials has increased rapidly in a wide field of industry, since they have many excellent technical properties

such as high hardness, high corrosive resistance, high elastic modulus, etc.

The use of ceramic inserts in steel forging tools offers significant technical and economic advantages over other materials of manufacture. This arises largely due to the very high wear resistance of certain ceramic materials. These potential benefits can however only be realised by optimal design of the tools so that the ceramic inserts are not subjected to stresses which lead to their premature failure. This is now possible since reliable information on the loading conditions in forging tools can now be obtained from process simulation. In some cases die stress calculations can be coupled with the plastic flow analysis. Currently this approach can lead to excessive computing times and has not therefore been adopted in the work described here.

Kwon and Bramley (4) have established a method where the data on the loading of the tools is determined from a commercial forging simulation package as the contact stress distribution on the die-workpiece interface and as temperature distributions in the die. This data is then processed as load input data for a finite element die-stress analysis. Process simulation and stress analysis are thus combined during the design, and a data exchange program has been developed that enables optimal design of the dies taking into account the elastic deflections generated in shrink fitting the die inserts and those caused by the stresses generated in the forging process. The stress analysis of the dies is carried out to determine the stress conditions on the ceramic insert by considering contact and interference effects under both mechanical and thermal loads. An example is given of the application of this methodology and subsequent experiment trials for the optimal design of Zirconia and Silicon Nitride inserts in a simple forging configuration as shown in Fig 3. & Fig 4.

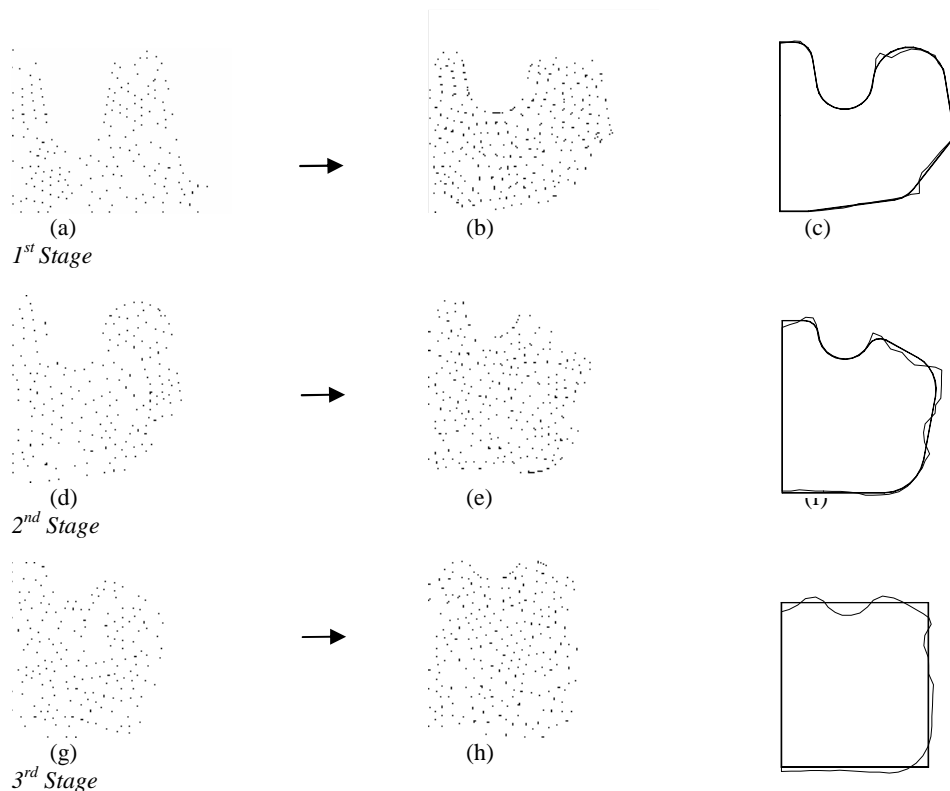


Fig 2. Reverse simulations and modified performs using TEUBA

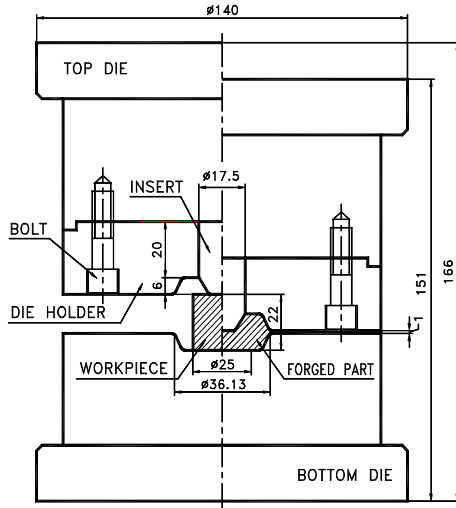


Fig 3. Forging tool set with ceramic insert

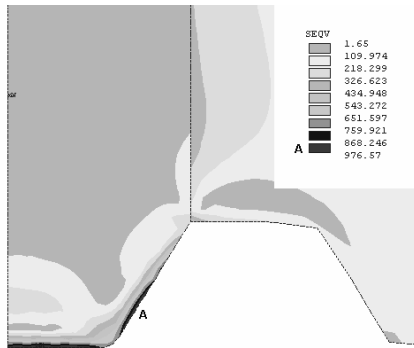


Fig 4. Die stress contours in the region of the insert

5. FRICTION MODELLING

For the simulation of metal forming processes, input data relating to the tool-workpiece interface is necessary. This can be crucial in terms of predicting metal flow and loads and in the case of microforming applications this input data becomes very much more critical and traditional methods are not realistic. It was therefore proposed to develop an approach that seeks to describe friction by modelling the geometric surface roughness of the tool (5). This finite element based model has been validated experimentally in terms of loads and metal forming using the ring test and actual surface measurements to obtain the equations (1) and (2) that related to the m-values to the surface profile. In principle the techniques requires the tool surface profile to be measured using normal metrology equipment. This gives an equivalent sinusoidal profile that is used in the simulation. In this way an ideal flat surface with an m-value is converted into a sinusoidal profile. This concept is shown in Fig 5.

(1)

$$m = 90.439 \left(\frac{a}{t} \right)^3 - 59.321 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + 14.642 \left(\frac{a}{t} \right) - 0.4921$$

(2)

$$\frac{a}{t} = 1.6193m^5 - 4.3152m^4 + 4.7504m^3 - 2.3098m^2 + 0.6075m + 0.0028$$

It potentially can enable more accurate and also more flexible modelling of friction where the friction condition varies across the tool surfaces. Some preliminary investigations into applying the procedure to accommodate the behaviour of a lubricant are depicted in Figs 6 and 7. Here

the lubricant film is modelled as a third material on the interface between the tool and the workpiece. Fig 7 shows some preliminary results indicating the way in which the lubricant can be trapped in the contours of the tool surface.

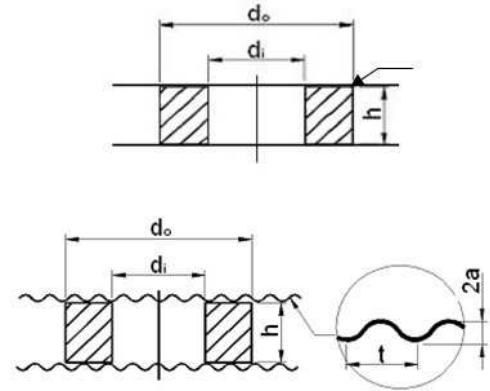


Fig 5. Geometric model of the tool surface using a profiled surface

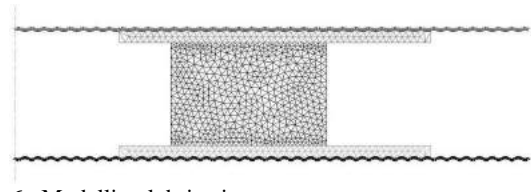


Fig 6. Modelling lubrication

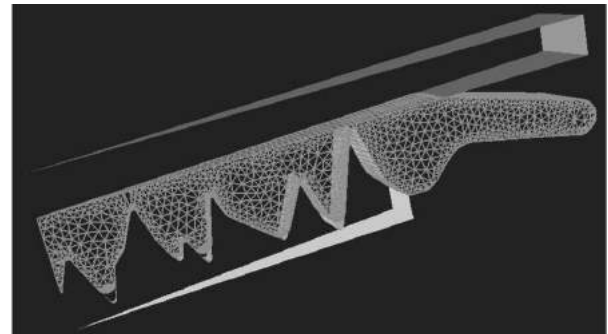


Fig 7. Lubricant behaviour in forming.

5. HEAT TRANSFER MODELLING

Heat transfer has significant effects on the forging process, especially in hot forging. This phenomenon causes non-uniform temperature distributions in the workpiece that can affect the quality of forged components. Heat loss from the workpiece causes its temperature to fall and thus increase the resistance to plastic flow. This effect increases the power required to perform the operation. The temperature increase in the die softens the surface layers making them more susceptible to wear. Thermal fatigue cracking on the die surface is also related to the temperature gradients occurring in the surface layers. Heat transfer at the workpiece-die interface is complicated. The influencing factors include the surface finish of die and workpiece, pressure and the film thickness of lubricant. The generation of heat resulting from the plastic deformation and friction effects at the workpiece-die interface further complicate the situation.

Numerical simulation of forging process is able to predict temperature change and other information such as forging load and stress and strain distribution. But, to ensure the simulation is viable for improving the forging quality or reducing the cost and lead-time, there is a need to obtain accurate the heat transfer coefficient for the simulation.

Some earlier research by Kellow, Bramley and (7) describes the construction of a robust surface thermal couple used to measure temperatures at the workpiece-die interface. This is shown in Fig 8. The thermocouple junction is formed by the slivers of die material that become spread across the insulation during grinding; the junction is maintained by the further sliding action when in use.

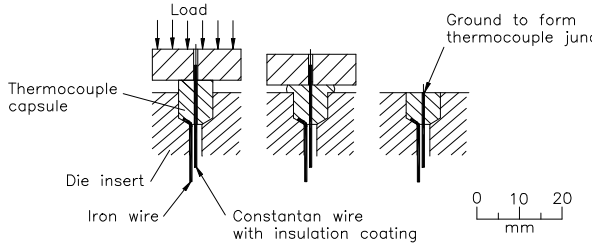


Fig 8. The manufacture of the surface thermocouple

This was further developed more recently and coupled with FE simulations and the least square method by means of a reverse algorithm (2) to determine the heat transfer coefficient at the contact interface for the forging process. A flow chart of the procedure is shown in Fig 9.

Some results are shown in Fig 10 and 11 and it can be seen that the value of the heat transfer coefficient changes quite significantly during the forging stage.

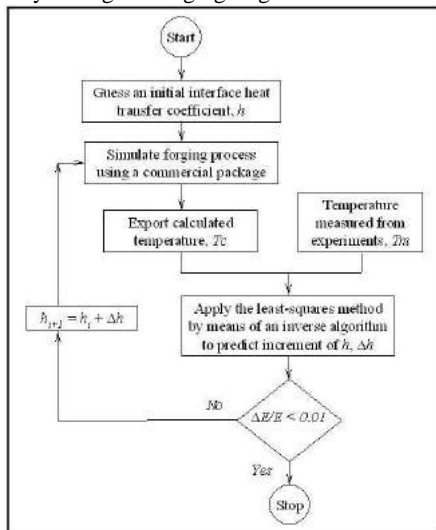


Fig 9. Flow chart for the heat transfer coefficient determination

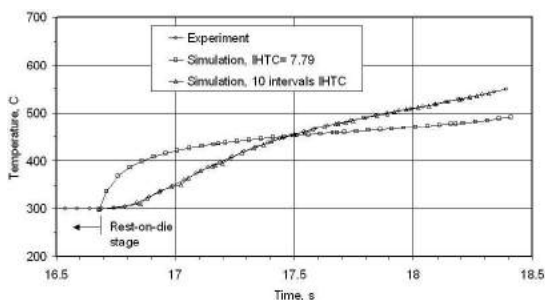


Fig. 10. Temperature comparison at the forging stage

6. CONCLUSIONS

Forging simulation has become a very important tool in the industry but, as with all modelling technologies, the outcomes are only as good as the input data. This paper has shown how simulation can be used to design forging tools accurately such that very sensitive ceramic tool materials that have greatly enhanced wear resistance can be used

effectively. A new method for the determination of heat transfer coefficients has been described. This needs to be taken forward to investigate how the coefficient might vary in different parts of the tooling and perhaps to establish more information about the heat transfer in other forming processes. Commercial software still cannot be used as a direct method for perform design; it can only reproduce a trial and error approach. A more direct reverse-modelling technique has been described. It has also been demonstrated that perhaps a new method measuring modelling friction needs to be considered. So, there is still a lot to be done!

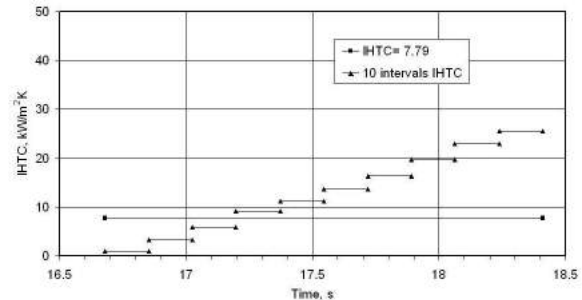


Fig. 11. Interface heat transfer coefficients at the forging stage

7. ACKNOWLEDGMENTS

The work described in this paper was carried out in collaboration with co-workers at the University of Bath and the author gratefully acknowledged the following: Dr Osman F.H., Dr Mynors D.J., Dr Chang C.C., Mr Jeon H., Dr Ghobril M.I., and Dr Kwon H.H.

8. REFERENCES

- [1] Chang, C., C., Bramley, A., N.: Forging preform design using a reverse simulation approach with the upper bound finite element procedure, Proc Instn Mech Eng, vol 214, Part C, pp 127-136, 2000.
- [2] Chang, C., C., Bramley, A., N.: Determination of the heat transfer coefficient at the workpiece-die interface for the forging process. Journal of Engineering manufacture. Proc I Mech E Part B. 216, pp1179-1186, 2002.
- [3] Ghobril, M., I., Osman, F., H., Bramley, A.N.: Metal flow prediction in forging and extrusion using UBET. Proc 1st ICTP 1984.
- [4] Jeon, H.J., Bramley, A.N.: A Friction model for metalforming. Int. J. Adv. Manuf. Tech., 33, pp125-129, 2007
- [5] Kellow, M., A., Bramley, A., N.: and Bannister F.K., The measurement of temperatures in forging dies. Int. J. Mach. Tool Des. Res, 9, 239-260, 1969.
- [6] Kudo, H.: An upper bound approach to plain strain forging and extrusion, Int J Mech Sci (in three parts) vol 1, pp 57-83, 229-252, 366-368, 1960.
- [7] Kwon, H., Bramley, A., N.: Development of ceramic inserts for forging tools, Annals of the CIRP, vol 49, 1, pp 173-176, 2000.
- [8] McDermott, R., P., Bramley, A., N.: Forging Analysis – a new approach. Metallurgia and Metal Forming 40, p127. 1974.

Author: Bramley A.N., Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath BA2 5NF, UK
E-mail: A.N.Bramley@bath.ac.uk

EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF PROCESS LIMITING MECHANISMS IN LASER BASED FREE FORM HEADING

Abstract: The application of lasers in micro manufacturing is of increasing interest. This ongoing trend is mainly driven by a continuous technical and economical improvement of laser sources. For the production of metal parts in micro range so-called size effects have to be taken into account. A laser based micro upsetting process was introduced which takes advantage of scaling effects in order to optimize the common multi stage upsetting process. In this article the main process window limiting mechanisms of the laser based free form heading process are experimentally identified and explained. Influences of laser parameters on microstructural changes were examined with optical and scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: miniaturization, laser processing, metal, micro forming

1. INTRODUCTION

Today many industrial applications such as small metallic parts for, e.g. automotive electronics or telecommunication have the same common trend of miniaturization. Continuously increasing dimensional requirements in the micro forming make the conventional multi stage methods such as cold upsetting cost-inefficient; furthermore in case of multi stage the proper structural conditions must be adjusted by extra heat treatment which extends the process chain.

All this decelerate the evolution of micro systems where small high-quality metal parts are of great demand. This is preliminary due to the fact that a direct transferability of experiences in the field of cold forming from the so-called macro range to the micro range is, due to the size effects, not or only with restrictions possible [1, 2].

In spite of all those restrictions the size effects enable development of new processing, such as laser based free form heading. Due to the fact that the surface tension exceeds the gravitation force with increasing miniaturization, in micro range a melted material accumulation forms a nearly perfect sphere, which can be finally formed in a secondary process step [3]. The preliminary results of investigation show that the process is very promising in order to reduce crack formation and to improve the upsetting ratio of multi stage upsetting processes in micro range [4, 5].

A new improved experimental setup is introduced to extend the range of investigation due to enhanced laser beam quality and automatic sample positioning. The criteria of process instability are characterized by high speed camera films; furthermore the microstructure of the samples was analyzed with optical microscope as well as with SEM.

2. EXPERIMENTAL METHOD

The experimental setup is schematically shown in Fig. 1. For the laser based free form heading two different laser sources have been applied, namely a pulsed Nd:YAG laser and a CW fiber laser. Different focusing optics were used for modulation of the laser power density. The specifications are presented in Table 1.

The CCD camera with matlab-based image processing program, which is aligned on the laser axis, carries out two functions which are sample positioning and sample measuring. A transfer table with linear axes realizes the movement of the sample in the set up.

property	CW fiber laser	pulsed Nd: YAG
wave length $[\text{nm}]$	~ 1070	1064
focal distance $f [\text{mm}]$	100	91,5
beam radius $\omega_0 [\text{mm}]$	0.012	0.2
max. power $P [\text{W}]$	1000	5500
pulse duration $t_p [\text{ms}]$	$0.1 - \infty$	$0.1 - 20$

Table 1. Specifications of the used laser sources

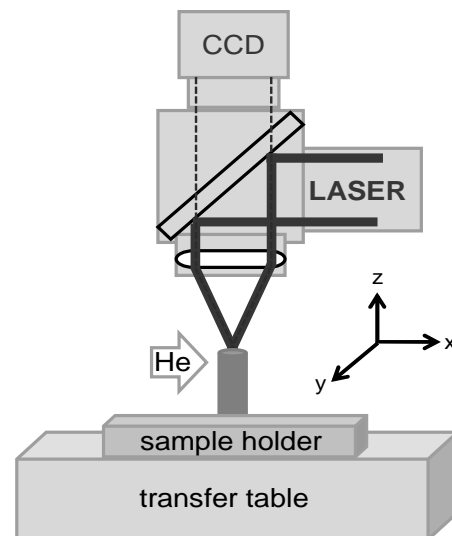


Fig. 1. Experimental setup for laser based free form heading

The investigations are focused on the austenitic chromium-nickel steels 1.4301 and 1.4310 which multi-purpose properties can be found in many industrial applications, e.g. chemical industry, construction industry and food industry. The thicknesses of cylindrical samples are $\varnothing 0.5$ and 1.0 mm .

The laser beam melts the material up to a length l_0 which results in a spherical material accumulation with diameter d_0 due to the surface tension [3]. In order to shield the process area from atmospheric gases, helium is supplied directly to melting zone using a nozzle. Afterwards the diameter of the solidified spherical accumulation is being automatically measured by the matlab-based image processing program.

For better understanding of the behavior of the melt during the process an investigation on dynamics was performed using a high speed video camera. The camera was

set up for frame rate of 4300 fps for systematic process observation. In order to ensure high picture quality a defocused laser illuminated the specimen.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

3.1 Investigation of process dynamics using a high speed video camera

The analysis of the films enables to see some phenomena during the melting process. Our analysis of the films has shown that there are four main characteristic types of melting formation (Fig. 2).

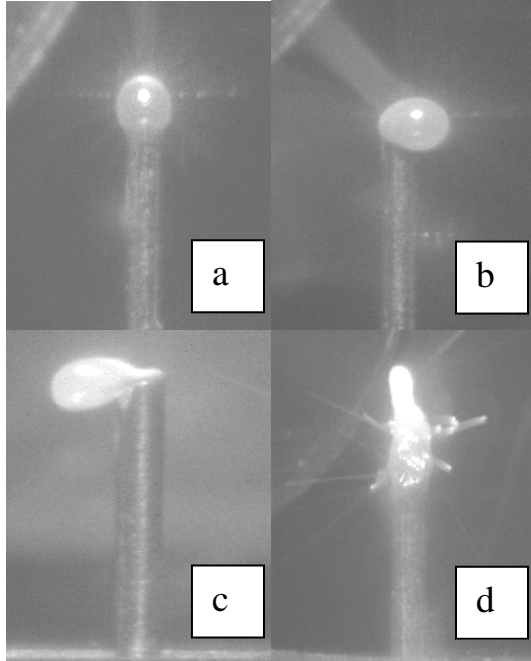


Fig. 2. Phenomena during the formation of the accumulation: a) stable melting (\varnothing 0.5 mm; 100 W 100 ms; after 20 ms); b) glowing (\varnothing 0.5 mm; 250 W 100 ms; after 25-30 ms); c) falling and rotation (\varnothing 0.5 mm; 500 W 10 ms; after 8 ms); d) spillings (\varnothing 1 mm; 833 W 30 ms; after 20 ms)

Stable melting (Fig. 2a) is associated with steady formation of accumulation. Here the formation progresses without strong movements. However slight glowing on the melt top could be observed. The glowing intensifies significantly by increasing of power density (Fig. 2b).

At higher laser power density, the process becomes more intensive and the formation of accumulation is accompanied with strong shaking and axial rotation of the ball (Fig. 2c). All this leads to instability of the ball which is being pushed off from the axis. Extremely high power densities bring the melt to shapeless formation of accumulation which disadvantageously affects the symmetry and also leads to losses of material through the spillings (Fig. 2d).

The effects shown above give an overview concerning melt behavior during the process, demonstrate physical effects as glowing and spillings formation and also explain the resulting asymmetry of accumulations which will be discussed later on.

The results of the video analysis on process stability are shown in Fig. 3. The process was symbolically split up into three main zones in order to represent the intensity of material melting for both lasers and diameters of the specimen. Within these zones an full-grown accumulation can be generated.

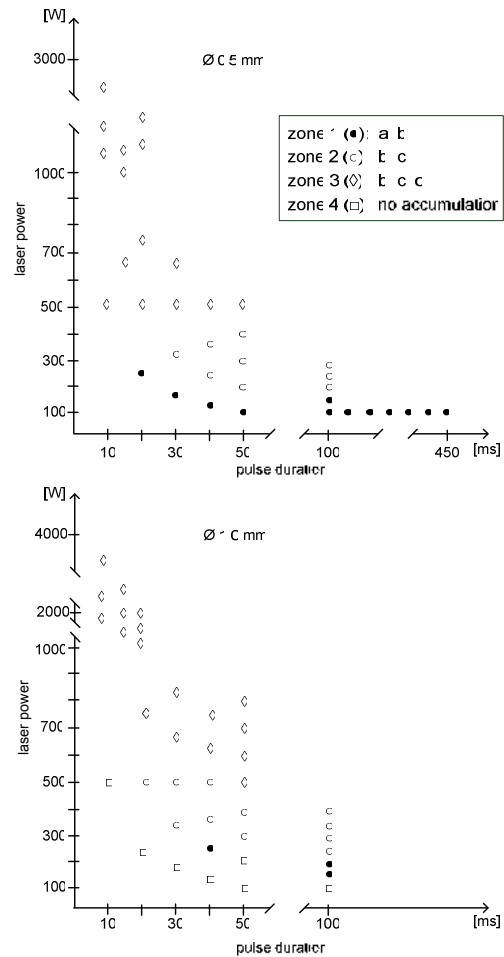


Fig. 3. Process latitude and zones representing dynamics, effects from Fig. 2 (a, b, c, d) can be seen in presented zones

In zone 1 the process is stable and associated only with glowing on the top of accumulation. Here the highest symmetry of the accumulation can be observed. In zone 2 the process gets more intensive and is accompanied with falling and rotation of the melt. Also an rich glowing is visible on the top of melt. In addition slight spillings were observed in zone 2. As a result the degree of solidified accumulation asymmetry is larger compared with the ones of the zone 1. In the zone 3 melting process is accompanied with glowing, shaking, rotation and finally spillings. In zone 4 energy was not sufficient for formation of accumulation.

As expected it can be seen from the diagrams that an increase of the laser power and a decrease of the pulse duration especially at high energies intensify the dynamics of the process. In the range from 100 to 450 ms at low laser power 100-200 W high stability of melting process for \varnothing 0.5 mm can be registered. For \varnothing 1.0 mm higher threshold power >100 W is necessary for the accumulation generation. Therefore dynamic stable process is being observed in the range from 40 to 100 ms at higher laser power 150-200 W.

3.2 Effects of process parameters on the structure and properties of the accumulation

This section shows the micro structural development in steel samples during the process of laser based free form heading. Due to the short heating time and dimensional restrictions the laser accumulation process leads to oriented crystallization which usually causes columnar freezing pattern with dendritic character (Fig 4a). This structure is known as improper for

cold forming in the case of macro metal forming. Therefore an understanding of heating regimes and temperature gradient is a subject of our next investigations.

For complete characterization of sample cross-sections they were separated into the 6 regions like in Fig. 4b.

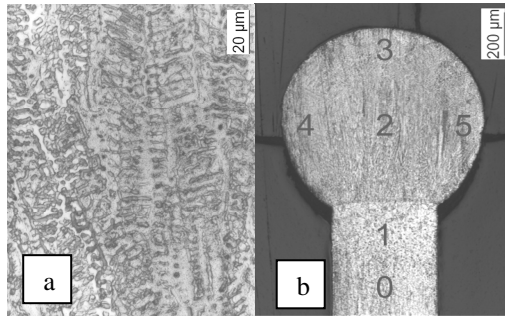


Fig. 4. a) microstructure inside the accumulation b) metallographically investigated regions inside an accumulation: 0 – base material; 1 – HAZ; 2, 4, 5 – equatorial region; 3 – upper region

There are observable structural differences between base material and spherical accumulation. It can be explained by technological nature of the wire and the laser-generated accumulation, wire drawing and melting, respectively. A systematical study of etched cross-sections of material in initial and accumulated states was carried out for the purpose of detecting imperfections and traces of microstructure inside accumulations.

For observation of microstructural development sections of base material in initial state were prepared and analyzed using an optical microscope.

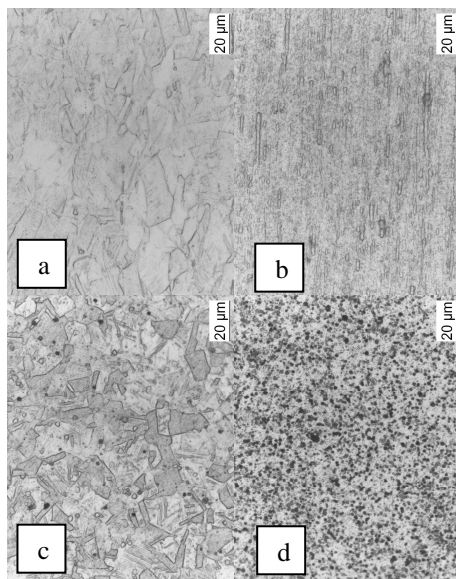


Fig. 5. Cross (a, b) and longitudinal (c, d) sections showing the grain structure of initial materials: 1.4301 and 1.4310

Elongated grains can be seen in an initial state of the 0.5 mm drawn wire on longitudinal sectioned samples (Fig. 5 b, d). Due to recrystallization annealing fine grains on 1 mm samples can be detected (Fig. 5 a, c). It can be deduced that 0.5 mm wire is harder than 1 mm because of high dislocation density. The result of the drawing is a high degree of strain hardening which makes wire unsuitable for further metal forming. The effect of atom movement leads to redistributing and destroying of dislocations in metals what makes material more ductile and finer structure like near the heat-affected zone [6].

By heating of material by laser base material gains a so-called *heat-affected zone* (HAZ), where the peak temperatures are too low to cause melting but high enough to cause microstructure and properties to change significantly [8]. As it can be seen from Fig. 6 HAZ (region 1) inside the accumulation consists of two sections “a” and “b” with inhomogeneous metal structure (see Fig. 6).

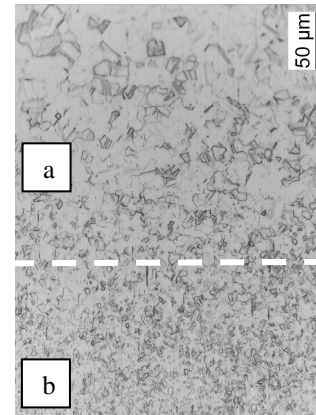


Fig. 6. Optical micrograph showing transition of grain structure in HAZ of Ø 0.5 mm at 500 W and 40 ms

The grain size distribution in the region close to the fusion line between base material and accumulation can be observed. The grain size is decreasing in direction to base material.

Also different types of unwanted imperfections could be observed inside the accumulations. Typical internal imperfections are shrinkage cavity and voids.

A formation of *cavity* can be seen on the top of the ball (Fig. 7). From experience of steel casting it is known that the crumbly melt solidifies generally at hottest area at last so that it has impurity and gas porosity which usually cause formation of shrinkage cavity [7].

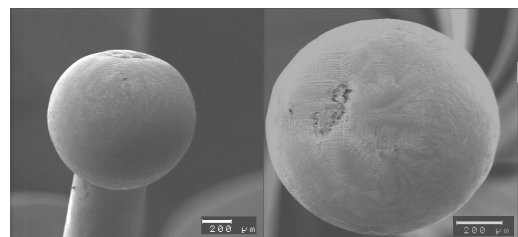


Fig. 7. SEM observation (side view and top view) shows shrink cavity at the ball surface 1.4310 (Ø 0.5 mm; 100 W and 200 ms)

In comparison with Ø 0.5 mm samples high *porosity* was registered inside the Ø 1 mm samples. In Fig. 8 three samples demonstrate the porosity inside the accumulations for different laser parameters. Inside the Ø 0.5 mm only a few samples are characterized with low porosity.

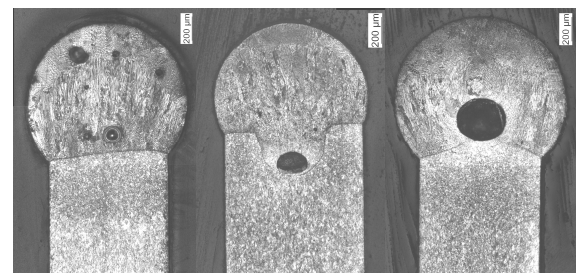


Fig. 8. Cross-sections of the Ø 1 mm samples generated with different parameter sets (from left to right: 200 W 100 ms; 400 W 50 ms; 500 W 20 ms)

4. DISCUSSION

Symmetry of accumulation is a visual indicator of a “correct” laser based free form heading process. The video analysis visualizes dynamics of the melting process and describes typical tendencies in formation of accumulations. As soon as ball formation is dynamically balanced, relatively high symmetry can be reached. Irregularities in the solidification front lead to falling and rotation of the melt which has disadvantageous effect on the resulting symmetry of the accumulation. The extreme high power densities induce explosion of melt and thus material losses occur.

According to process diagrams it can be concluded that a stable process is highly dependent on power density. In our modeling it could be confirmed that a keyhole is always being formed in the range of the investigated laser parameters [8]. From macro welding a threshold for keyhole formation of about 10^6 W/cm^2 is known. However, due to the fact that laser based free form heading represents a static process, where the laser does not move, higher temperature occur in the weld pool and thus lower power densities are sufficient for keyhole formation. At increased power densities gas pressure caused by keyhole collapse could be a reason for intensifying of the process dynamic.

High porosity could be explained by vaporization at the keyhole collapse as well as by constructional imperfection of shielding gas system which are to be optimized. During the process of solidification the melt closes in the upper area of an accumulation so that metal vapor has no time to leave the melt and causes thus formation of discontinuities such as voids and pores. On the other hand atmospheric gases could be another reason for the formation of porosity.

The presence of HAZ in the base material can influence the later processing in the upsetting step. Depending on laser parameters certain changes in HAZ could be observed, namely the length and grain size. The thermal diffusivity of the base material plays a large role — if the diffusivity is high, the material cooling rate is high and the HAZ is relatively small [9]. Alternatively, a low diffusivity leads to slower cooling and a larger HAZ. Processes like laser based free form heading give a highly concentrated, limited amount of heat, resulting in a small HAZ. For a better understanding of structural changes within the HAZ a quantitative structural analysis is necessary.

Formation of crystals in solid solution of dendrite can be observed in the investigated accumulations. The microsegregation is possible during the process of solidification, so that the axis of solidification in the beginning have in structure refractory components. The concentration of less heat-resistant components must be at peripheral areas inside accumulation [7]. It could have an influence on mechanical properties for the following upsetting step. Therefore, an EDX measurement is necessary to confirm this assumption.

5. CONCLUSIONS

The regions of stability for the laser based free form heading process has been investigated by the use of experimental data of high speed camera films and microstructure analysis. Process limiting mechanisms has been shown and discussed. Parts of the process window were determined. However an exact measuring of asymmetry is technically not realized and is under development.

It can be concluded that the pulsed Nd:YAG laser with maximal pulse duration of 20 ms can be found in the zone of high process intensity with unsatisfactory resulting quality of

accumulation. In case of longer pulse duration higher quality of accumulations could be gained. Therefore, the fiber laser has shown higher compatibility to our application with longer pulse duration. Low power regions are interesting concerning improvement of microstructure and symmetry of accumulations.

During laser based free form heading, the grain structure is changed, leading to the formation of zones with different grain sizes and grain orientations. Microstructural development seems to be a function of all the considered influences and at the moment cannot be completely explained only by laser parameters and material characteristics. An investigation on influence of heating regimes on the microstructure is the next step of our research.

Quantitative structural microanalysis is necessary cause of high structural anisotropy inside accumulations (liquations).

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The work presented in this article is a part of The Collaborative Research Center SFB 747, subproject A3. The authors would like to thank the German Research Foundation (DFG) for their financial support of the subproject A3 “Stoffanhaeufen”.

7. REFERENCES

- [1] Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N., Engel, U: *Micro forming*, CIRP Annals, 50: 445-462, 2001.
- [2] Vollertsen, F.: *Size effects in manufacturing*, 1-9, 1st Colloquium Process Scaling, Bremen, 2003.
- [3] Vollertsen, F., Walther, R.: *Energy balance in laser based free form heading*, CIRP Annals, 57, 291-294, 2008.
- [4] Vollertsen, F., Wagner, F., Walther, R., Demirez, Y., *Neuartige Laseranwendung zur Prozesskettenverkürzung in der Mikrokaltumformtechnik*, ZWF, 547-551, 2007.
- [5] Wagner, F., Neumann, S., Vollertsen, F.: *Material accumulation by Local Laser Treatment of the Generation of Functional Component Areas in Micro Forming*, 9. International Scientific Conference on Flexible Technologies, Simbol Pertovaradin (Serbia a. Montenegro), 37-38, 2006
- [6] Deley, M.; Levine, L.: *The Emergence of High Volume Copper Ball Bonding*, Electronics Manufacturing Technology Symposium IEEE/CPMT/SEMI 29th International, 189-190;2004
- [7] Fetisov, G.P.; Karpman, M. G. et.al.: „*Материаловедение и технология металлов*“, GUP Vishaya Shkola, 307-308, 2001
- [8] Walther, R.; Zverev, M.; Vollertsen, F.: *Enhanced model for energy balance in laser based free form heading*, The 1st International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2008), 2008
- [9] Sindo, K.: *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Inc., 343, 2003.

Authors: Zverev, M., Walther, R., Vollertsen, F., BIAS - Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH
Klagenfurter Straße 2 D - 28359 Bremen, Germany, tel: +49 (0) 421 218-5081, Fax : +49 (0) 421 218-5095
E-mail: zverev@bias.de
walther@bias.de
vollertsen@bias.de

COMMENTS ON TECHNOLOGY SELECTION FOR SMALL BATCH SHEET METAL FORMING OPERATIONS

Abstract: Manufacturing process design for small batch sheet metal forming operations demands special concepts like incremental forming, forming at locally increased temperatures, rapid tooling, fast and reliable preparatory operations,... According to this it is needed to improve and control friction conditions and to combine mentioned concepts for optimal technological solutions.

The objective of the proposed work is to study specific production parameters for particular manufacturing process considering also their integration into uniform system. For this purpose the decision making matrix shall be determined focused on the optimal selection and combination of available technologies for the small batch. The set-up of such decision matrix linking conventional and new innovative forming processes and at the same time assuring their robustness in all steps is new in the sheet metal forming of small batch components.

Key words:

1. INTRODUCTION

The developed industrial countries with limited human and material resources have to carefully select their strategic orientations. One of the crucial long term strategies is to reach the status of the strategic supplier for automotive industry and strengthen the status in this industrial sector. In current global economy the status of the strategic supplier can be only retained with continuous improvement of applied production technologies and development strategies. The paper presents the linkage of modern forming technologies and concepts into one system enabling fast and reliable respond in the development phase of new products and their preparation for the real testing phase.

2. SMALL BATCH PRODUCTION TECHNOLOGIES

The authors have analysed the state-of-the-art of small batch production already in preceding research projects where it was found out that there are several concepts and technologies for such production volumes. However, these technologies are mostly not linked together and there are rare combinations of various manufacturing technologies for fast prototyping and small batch series production. Therefore, the idea of linkage of various technologies of fast prototyping and small batch production is original and represents innovative approach to integral search of optimal combinations of manufacturing technologies. To assure efficient linkage of various technologies and concepts a decision-making matrix is to establish which incorporate specific characteristic of particular manufacturing technologies. The matrix supports fast and efficient selection of the optimal manufacturing technologies which meet the specific predefined boundary conditions of each individual analysed product. According to the selected technologies for decision-making matrix, the specific parameters of each used technology the technological parameters are to define. Current needs in the automotive sector have pointed out that the decision-making matrix should incorporate parameters of following four topics – Figure 1:

- Incremental forming,
- Forming with conventional fast manufactured tool,
- Forming friction conditions,
- Warm forming.

Each of the thematic topics will be separately analysed to assure the quality and reliable input parameter data for the decision-making matrix.

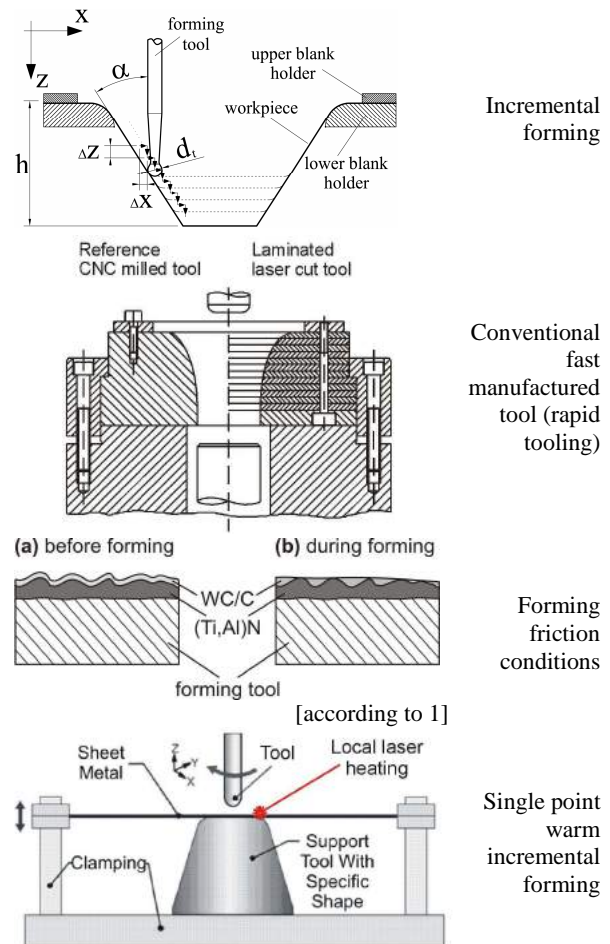


Figure 1: Analysed topics of decision-making matrix.

2.1 Incremental forming

Incremental sheet metal forming represents modern process for prototyping and small batch series production. The

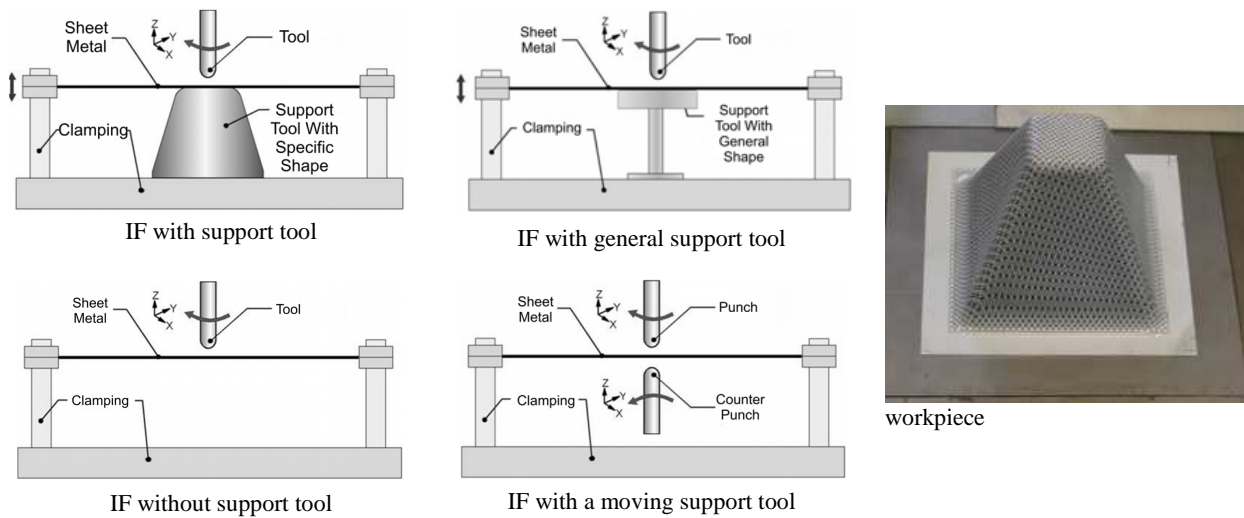


Figure 2: Types of the incremental forming and the test workpiece.

process itself is relatively slow and in comparison to the conventional forming processes like deep drawing of stretching. The main advantage of the incremental forming is its nature to omit expensive forming tools for the part production. In contrary to complex forming tool of conventional forming processes the incremental forming needs only simple support tool and rod-shaped punch used to form the sheet metal. The concept of incremental forming itself is known already for a longer period but its application as a modern innovative approach for the small batch series production is in use for about ten years. The processes of the incremental forming can be divided according to the punch movement or movements of two punches and the type of the used support (Figure 2) to:

- Incremental forming of the sheet metal with specific support tool,
- Incremental forming of the sheet metal with a general support tool,
- Incremental forming of the sheet metal without support tool (single point incremental forming - SPIF),
- Incremental forming of the sheet metal with a moving support tool.

In previous analyses of the incremental forming process and research works from other authors the key parameters have been determined [22]. It was pointed out that the forming force can be selected as one of the crucial parameters of the process which have to be controlled during the forming process [33]. The measured force changes significant and rapidly as a consequence to all changes in the technological process parameters as well as undesired obstructions in the manufacturing process. The distribution of the forming force after its maximal value is influenced on the intensity of the thinning as well as the intensity of the material hardening. Generally three different forming force trends can be observed which can be illustrated with the variation of the inclination angle α as presented on Figure 3. In the case of limit inclination inclinationangle ($\alpha=75^\circ$) the force increases rapidly due to fast hardening of the material following by the typical drop of the forming force at the start of the intensified thinning. This thinning is followed by the localisation and finally the rupture of the workpiece.

However, the drop of the forming force at incremental forming can be assumed as a critical indicator when the material's rupture is analysed and the accurate analysis of the force distribution during the forming cycles is indispensable. Previous research work has shown also that limit inclination angle α is an important parameter of the process suitability for particular part production.

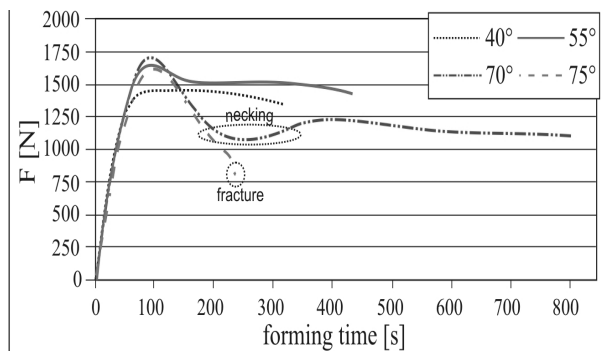


Figure 3: Different force trends in case of steel DC05 - 1 mm in thickness

Therefore, the inclination angle represents one of the rare process limitations of incremental forming process [43] which has to be considered during the development phase of a new product. The inclination angles are dependant of interactions between the rod-shaped forming tool and the sheet metal but the major influence has the properties of the formed material, its formability and thickness.

2.2. Fast manufactured conventional tools

Since the incremental forming possesses particular technological limitation the research group got parallel to some other research world centres the idea to link together the concept of conventional and incremental forming. Using the conventional sheet metal forming with geometrically simple tools the first deep drawing could be performed aiming the majority of the necessary material movement. Finishing of the semi-product to its final dimensions with emphasis on fast manufacturing of part details will be done with the incremental forming. The conventional forming tools can produced with various concepts ranging from high speed milling to laminated tooling technology will be combined. The authors have long lasting experiences in the field of laminated tooling for deep drawing [45]. Despite strong development of high speed cutting technologies the developed concept of layered tooling cut by 3D CNC laser centre is still the most promising solution for fast tooling of conventional tools for sheet metal forming. Selection of the used thicknesses of the particular layers was already analysed in previous works [55]. For optimal technology selection the combination of layered tooling and CNC milling on can be used.

2.3 Friction conditions

The high pressures at the incremental forming and forming of thick sheet steels with conventional tools are under particular conditions necessary for successful forming but they are clearly undesired in some cases where they demolish the part surface. To solve these problems in the thematic topic »Forming friction conditions« the use of various lubricants and tool coatings is to analyse. This should assure optimal contact conditions between the tool and workpiece. In the majority of the process operations by the incremental and conventional forming the lubrication of the workpiece and/or active tool parts is necessary. Additionally to the determination of the optimal friction conditions various environmental friendly lubricants were analysed in order to achieve reliable forming conditions with minimal environment burdening [44, 67]. To assure optimal friction conditions and decrease the amount of environmental unfriendly lubricants the hard coatings on the basis of hard carbon (e.g. diamond like carbon - DLC) on forming tools for incremental forming were analysed [67, 8]. The DLC coating was compared with the commonly used hard coating CrN and combination of TiAlN + DLC coating. Figure 4 shows the influence of hard coatings on the friction coefficient at SPIF. This research work represents excellent base for the further analyses of friction conditions at incremental forming.

2.4 Warm forming

Materials for the sheet metal industry are exceeded the range of various steel grades despite the efforts of the steelmakers to improve the materials' quality with new steel grades and surface coatings. Therefore, the research work is focused towards the implementation of several modern sheet metal materials spreading from numerous steel grades and thicknesses as well as light alloys and titanium alloys. In particular the forming of the light alloys is critical due to the relatively low material deformability. Therefore, by the forming of magnesium the warm forming with the warming of the entire blank or local heating is commonly used. This latter heating concept of the formability improvement by the magnesium alloys is more appropriate for the incremental forming. As it is known from the newest literature [79] there are already some cases of incremental forming at the elevated temperatures where the workpiece is locally heated on the back side with the laser beam.

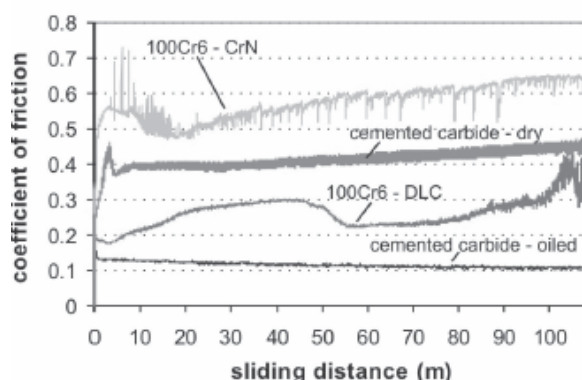


Figure 4: Coefficient of friction coefficients as a function of materials in contact [6].

3. DECISION -MAKING SYSTEM

The decision making system for adaptable technology selecting needs in the first phase the comprehensive decision-making matrix which implement the technological parameters

of all used technologies and their limitations, crucial parameters and selection rules enabling to select optimal technology or combination of technologies for fastest and cost-effective part production.

Determination of the decision-making system for the optimal selection of the concepts and technologies for robust small batch series production from the sheet metal and advanced sheet metals (like steel composites) demand accurate interactions between particular implemented technologies and manufacturing concepts. Accurate analysis of the state-of-the-art, preliminary knowledge of potential users of the decision-making system is crucial for the latter realisation of the system based on here presented decision-making matrix. It is necessary to determine all influencing parameters from the material characteristics, particular parameters of each technology and manufacturing concept, thermal phenomena following the friction between the tool and the workpiece, thermal phenomena following the external heating up to the frictional parameters between the active tool parts and the workpiece.

Each manufacturing concept and selection of its material-technological-tribological parameters is indispensable to deliver data for the knowledge based database. The database is based on material and technological data obtained by the experimental work and numerical simulations. The research group has several experiences with determination of mechanical and forming properties of various steel metals – Figure 4. The system will contain the technological base of features for before mentioned producing methods as well as the data base of materials and user interface. The core of the system will be in a paper presented decision making module which will in the near future extended by the cost models enabling the choice and prediction of productivity. The prediction of manufacturing times and costs for individual technology will be enabled. The possibility to detect optimum combinations of available technologies and designing of alternative procedures for low series and prototype production will also be enabled.

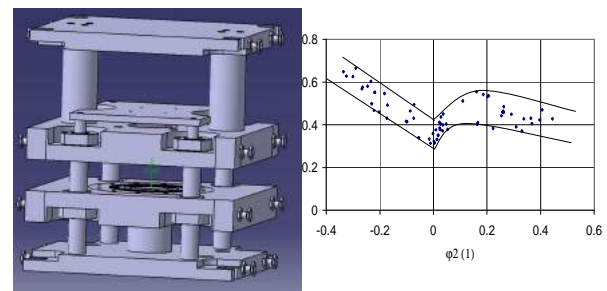


Figure 5: System for determination of forming limit diagram.

After determination of material, technological and economical parameters of all four thematic topics for a particular developed sheet metal part the logical linkages among individual topics will be established in order to assure dependence of particular technologies for small batch series production. In this linkage the topics »Warm forming« and »Friction« represent mainly the support topics for the »Incremental forming« and »Conventional forming« which are on the equivalent level. Both technologies are complement and one of the objectives in the decision making matrix is to analyse the small batch production with combined conventional-incremental forming concept - Figure 6. Establishment of the decision-making system is performed parallel to the research work of all four thematic topics. However, it is not possible to determine the parameters of the decision-making matrix and their linkages and relations without the data for the thematic topics.

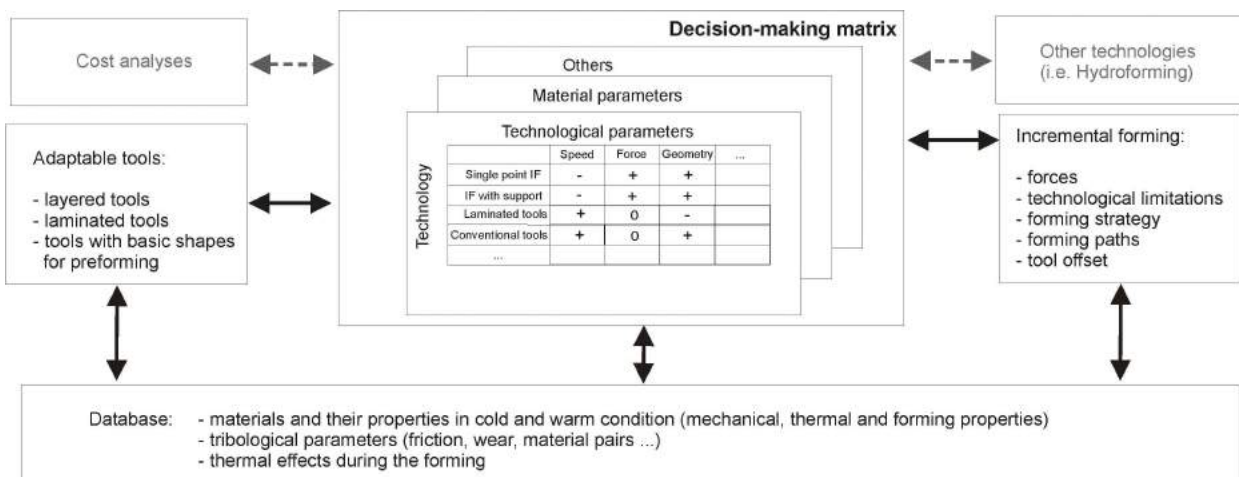


Figure 7: Decision-making matrix.

3.1 Decision-making matrix

Some of the linkages and relations of the decision-making matrix have been determined directly after the analysis of the state-of-the-art and according to the own preliminary research work. The majority of the relations and parameters of the decision-making matrix will be added during the set-up of the decision-making system based on the presented matrix. Therefore, the open structure of the decision-making matrix enabling its expansion according to new gained knowledge, other prospective modern technologies like i.e. hydroforming [810], concepts and cognitions in the area of the small batch production of sheet metal parts is indispensable.

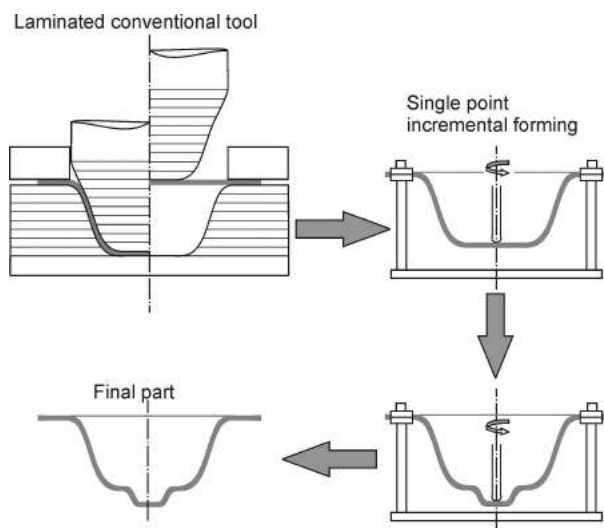


Figure 6: Combination of conventional and incremental forming.

It is to expect that some of the technological relations will be dependant of the nature of the individual produced parts. Additionally to the general description of the gained technological, design and economical parameters the particular individual parameters and logical connections necessary in individual industrial branch have needs to be implemented as well. The conceptual set-up of the decision-making matrix is presented on Figure 7. The crucial linking of the technological parameters of various technologies is to evaluate in the matrix in order to obtain optimal technology for production of the developed parts. Since each manufacturing technology and/or concept offers particular

advantages for part production the decision-matrix have to select the optimal technology according to the determined input parameters as the accuracy, time, allowed thinning, surface roughness etc. are. The presented matrix is in development phase where the input data are implemented according to the selected technologies of fast and flexible part production. There are already industrial applications offering the test data for the matrix itself as well as the entire decision-making system.

4. CONCLUSIONS

The adaptable technology selection for prototype and small batch production demands fast response to the changes of various geometrically and technologically different customer orders. In common mass production most of those orders for the sheet metal parts demands complex technology selection with several forming steps and expensive tooling which is too expensive for small batch production. Therefore, alternate technology solutions and concepts are sought in order to produce also the small batch series fast and for reasonable price. The alternate concepts like incremental forming, forming with layered-structured tools or combinations of both concepts represent cost effective solution for such part production. However, the selection of alternate forming technology or concept has to offer optimal production solution. Therefore, the decision-making system with decision-making matrix was developed enabling the adaptation of the selection of the technology to its limitations, parameters and characteristics. The core of presented system is decision-making matrix with linkages of technological, material and other parameters for specific manufacturing technology supported by the database of used materials and tribological conditions. In the future work here presented decision-making matrix has to detailed and filled with data from the industrial applications. The open technological-platform enables addition of other promising technologies for small batch production of sheet metal parts. The development of the computer program for easy-use of the decision-making system is planned for the near future.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research work presented in this paper was carried out in a research project Nr. L2-1111 »Robust small-batch forming processes« with partners EMO Orodjarna proizvodna družba d.o.o., Hidria IMP Klima, Proizvodnja klima sistemov d.o.o., NIKO, Kovinarsko podjetje, d.d., TRIMO, inženiring in proizvodnja montažnih objektov, d.d. and TECOS Celje. The project was partly financed from the Ministry of Higher

Education, Science and Technology. Our sincerely thanks for their financial support.

REFERENCES

- [1] G. Hirt, J. Ames, M. Bambach, R. Kopp and R. Kopp, *Forming strategies and Process Modelling for CNC Incremental Sheet Forming*, CIRP Annals, Vol. 53 (2004) Iss. 1, p. 203-206.
- [2] A. Petek, K. Kuzman and J. Kopač: *Forces and deformations analysis of incremental sheet metal forming*. In: Proc. of the 11th Int. Sci. Conf., CAM3S'2005, Gliwice-Zakopane, Poland, 2005, paper 1.85.
- [3] A. Petek, G. Gantar, T. Pepelnjak and K. Kuzman: *Economical and ecological aspects of single point incremental forming versus deep drawing technology*. Key eng. mater., 2007, vol. 344, p. 931-938.
- [4] T. Pepelnjak and K. Kuzman, *Adaptable tooling sets for metal forming of geometrically similar products*, J. Mat. Proc. Technol., Vol. 80-81 (1998), p. 413-420.
- [5] K. Kuzman, M. Geiger, A. Coremans, L. Cser and J.P. Kruth: p, A. Petek, B. Podgornik, K. Kuzman, M. Čekada, W. Waldhauser and J. Vižintin: *The Analysis of Complex Tribological System of Single Point Incremental Sheet Metal Forming – SPIF*, Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering, 54 (2008) 4, p. 266-273.
- [6] P. Panjan and M. Čekada: *Tool hard PVD coatings (Zaščita orodij s trdimi PVD – prevlekami)*, Institute Jožef Štefan, Ljubljana 2005, (in Slovene).
- [7] G. Ambrogio, L. Filice and G.L. Manco: *Warm incremental forming of magnesium alloy AZ31*, CIRP Annals, Vol. 57 (2008) Iss. 1, p. 257-260.
- [8] M. Plancak, F. Vollertsen and J. Woitschig: *Analysis, finite element simulation and experimental investigation of friction in tube hydroforming*, J. Mat. Proc. Technol., Vol. 170 (2005) Iss. 1-2, p. 220-228.

Authors: Kuzman, Karlo., Pepelnjak, T., Petek, A.
Forming laboratory, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Ljubljana, Slovenia
e-mail: karl.kuzman@fs.uni-lj.si,
tomaz.pepelnjak@fs.uni-lj.si,
ales.petek@fs.uni-lj.si

PRIKAZ SAVREMENIH MAŠINA U TEHNOLOGIJAMA ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA

Rezime: Metode zapreminskog deformisanja u hladnom i toplom stanju omogućuju izradu kvalitetnih komponenti koje nalaze primenu u velikom broju proizvoda. Zapreminsko oblikovanje izvodi se uglavnom na presama, čekićima i specijalnim mašinama. U radu su prikazane savremene mašine koje se koriste pri zapreminskom deformisanju ilustrovane podacima vodećih svetskih proizvođača ove opreme.

Ključne reči: Zapreminsko deformisanje, Mehaničke prese, Hidraulične prese, Čekići, Automatizacija

REVIEW OF CONTEMPORARY MACHINES FOR BULK METAL FORMING TECHNOLOGIES

Abstract: Methods of cold and hot bulk metal forming enable production of high quality components which are applied in many final products. Bulk metal forming technologies are performed generally by presses, hammers and special machines. In this paper, contemporary machines for bulk metal forming are presented with data illustration from world leading equipment manufacturers.

Key words: Bulk metal forming, Mechanical presses, Hydraulic presses, Hammers, Automatization

1. UVOD

Metode obrade deformisanjem i dalje zauzimaju značajno mesto u okviru proizvodnih tehnologija, zahvaljujući mogućnostima stvaranja proizvoda sa izuzetnim mehaničkim osobina i visokom tačnošću, uz minimalni gubitak materijala i značajnu uštedu energije [2].

Savremene metode tehnologije plastičnog deformisanja odlikuje neprekidni razvoj u različitim segmentima, od kojih se posebno ističu:

- Povećanje tačnosti proizvoda, uz neprekidno povećanje proizvodnosti i smanjenje troškova proizvodnje.
- Primena informacionih tehnologija u projektovanju procesa oblikovanja, projektovanju alata, mašina i druge opreme, odnosno automatizacija procesa projektovanja.
- Razvoj novih generacija mašina i obradnih sistema.
- Automatizacija mašina i proizvodnih linija.
- Razvoj i primena novih metoda oblikovanja.

Kada je u pitanju povećanje tačnosti proizvoda, značajni rezultati postignuti su primenom Net Shape Forming (NSF) i Near Net Shape Forming tehnologija (NNSF). Net shape forming tehnologija podrazumeva oblikovanje delova sa završnim dimenzijama i kvalitetom funkcionalnih površina, bez potrebe za dodatnom obradom. Near-net shape forming tehnologija omogućuje oblikovanje delova kod kojih je moguća neznatna dorada funkcionalnih površina, koja se izvodi, na primer, brušenjem. Ove tehnologije razvijane su najviše za potrebe auto-industrije gde se traži visok kvalitet delova i stabilnost dimenzija izrađenih komada, uz visoku proizvodnost.

Primena sofisticiranih tehnoloških metoda obrade deformisanjem zahteva primenu adekvatnih metoda projektovanja procesa, upotrebom CAx softverskih paketa, zatim softvera za simulaciju procesa oblikovanja i simulaciju ponašanja alata i mašine tokom njihovog rada. Simulacija procesa oblikovanja izvodi se sa ciljem provere postavljenog tehnološkog procesa, pre svega radi provere redosleda faza

oblikovanja i provere svih relevantnih parametara procesa, kao što su naponsko-deformaciono stanje u obratku, deformaciona sila, deformacioni rad, kontaktni pritisak, mogućnost pojave razaranja materijala itd. Simulacija procesa oblikovanja u hladnom i toplom stanju izvodi se primenom odgovarajućeg softvera, na primer Msc.Super Forge, Msc.Super Form, Simufact.Forming, Deform, Abaqus i drugi. Sledeća karakteristika trenutnog stanja tehnologije plastičnog deformisanja je razvoj novih generacija mašina i sistema za obradu lima i zapreminsko deformisanje u hladnom i toplom stanju [20, 21, 27, 28, 32, 34]. Osnovna karakteristika savremenih mašina i obradnih sistema je primena novih pogonskih sistema, sistema upravljanja i automatizacija celokupnog procesa proizvodnje. Novi pogonski sistemi razvijeni su sa ciljem daljeg usaglašavanja performansi mašina zahtevima tehnologije i sa ciljem smanjenja utroška energije. Savremene mašine za obradu deformisanjem su numerički upravljane mašine, čije se funkcionisanje i parametri procesa neprekidno prate pomoću industrijskih PC uz vizuelizaciju kompletnog procesa rada.

Automatizacija mašina i obradnih sistema u tehnologijama plastičnog deformisanja obuhvata primenu automatizovanih sistema za transport materijala i radnog komada, primenu automatizovanih sistema za brzu zamenu alata i primenu automatizovanih sistema za zaštitu mašine od preopterećenja, kolizije pri radu i sistema za bezbedan rad mašine.

U radu su analizirane najznačajnije konvencionalne metode tehnologija zapreminskog deformisanja u hladnom i toplom stanju, pre svega sa aspekta savremenih mašina, odnosno obradnih sistema potrebnih za njihovu realizaciju. S obzirom na brojnost metoda oblikovanja u nastavku su prikazane reprezentativne metode i odgovarajuće mašine hladnog i toplog zapreminskog deformisanja. Osnovne mašine koje se koriste za zapreminsko deformisanje su prese (mehaničke i hidraulične) i čekići. Visoka brzohodost krivajnih presa predstavlja značajnu prednost u odnosu na hidraulične prese, naročito u slučajevima masovne proizvodnje. U današnje vreme moderne mehaničke prese

koriste se u sprezi sa automatskim dodavačima materijala i sistemima transporta obratka u proizvodnji velikih serija (preko 1,5 milion komada godišnje). Časovna produkcija za vertikalne mašine iznosi od 1800 do 3600, a za horizontalne od 3600 do 9000 komada [10].

U nekim slučajevima primena hidrauličnih presa ima određene prednosti pri zapreminskom deformisanju (brzinski zahtevi, dužina radnog komada, tačnost i dr.) kada se primena ovih mašina ne može izbeći.

Sagledavajući proizvodne programe aktuelnih svetskih proizvođača mašina za obradu deformisanjem, može se konstatovati da za većinu tehnoloških metoda zapreminskog oblikovanja postoje i mehaničke i hidraulične prese. Zbog toga je u ovom radu prikaz mašina za zapreminsko deformisanje sistematizovan u skladu sa osnovnim tehnološkim metodama obrade.

2. MAŠINE ZA HLADNO ZAPREMINSKO OBLIKOVANJE

Karakteristike savremenih mašina, odnosno presa za hladno zapreminsko deformisanje, su visoke vrednosti nominalne sile, visoka krutost noseće strukture i čitave mašine uopšte, precizno vođenje pritiskivača, opremljenost prese izbacivačima u pritiskivaču i stolu mašine, primenjeni sistemi zaštite od preopterećenja i savremeno upravljanje mašinom.

U operacije hladnog zapreminskog deformisanja spadaju sabijanje, istiskivanje, kovanje, kalibrisanje net shape forming, near net shape forming tehnologije i dr.

Hladno zapreminsko deformisanje izvodi se na krivajnim i hidrauličnim presama, jednopozicionim i višepozicionim, koje mogu raspolagati jednim ili više dejstava. Režim rada ovih mašina može biti pojedinačni i automatski.

2.1 Mašine za hladno istiskivanje

Za hladno istiskivanje primenjuju se različite vrste krivajnih, odnosno hidrauličnih presa. Prema ranijim nemačkim normama, za istiskivanje su predviđene krivajne, krivajno-laktaste, ekscentar i hidraulične prese sa nominalnom silom od 1 do 16 MN, [8]. Međutim, savremene mašine za hladno istiskivanje su značajno nadmašile ove podatke [27, 28].

Radi smanjenja buke kod hladnog istiskivanja preporučuju se sledeće vrednosti brzine pritiskivača [8]:

- $v > 0,4 \text{ m/s}$ za ekscentar i krivajne prese
- $v < 0,4 \text{ m/s}$ za krivajno-laktaste prese
- $v < 0,1 \text{ m/s}$ za hidraulične prese

Krutost mašina za hladno istiskivanje u vertikalnom pravcu mora biti veća od 1 MN/mm [8].

Hladno istiskivanje delova manjih dimenzija izvodi se na višepozicionim horizontalnim automatima.

Hidraulične prese zbog svojih karakteristika (mogućnost stvaranja velikih sila, jednostavno podešavanje veličine hoda i brzine) najviše odgovaraju zahtevima hladnog istiskivanja. Međutim, ako se zahteva veća proizvodnost za hladno istiskivanje se primenjuju krivajne prese.

2.1.1 Krivajne prese za hladno istiskivanje

Za hladno istiskivanje i hladno zapreminsko deformisanje uopšte, kompanija Schuler proizvodi mašine različitih tehničkih karakteristika:

- Vertikalne ekscentar prese (serija MME2)
- Vertikalne krivajne link prese (serija MML2)
- Vertikalne krivajne prese sa donjim krivajno-laktastim pogonom (serija MMK) sa nominalnom silom od 1 do 10MN.

Na slici 2.1 je prikazana višepoziciona (transfer) presa Schuler (serija MME2) koja se koristi za višepoziciono

oblikovanje složenih delova. Pogonski mehanizam prese je ekscentarski (slika 2.3.) sa reduktorom i pogonom pritiskivača pomoću dve krivajne poluge.

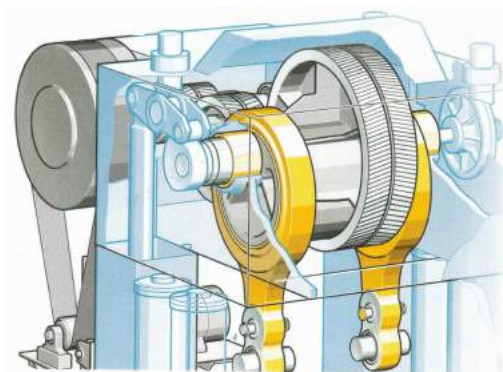


Slika 2.1. Ekscentar presa Schuler MME2 [19].

Pogonski zupčanik smešten je na ekscentar vratilu, što obezbeđuje visoku krutost pogonskog sistema.

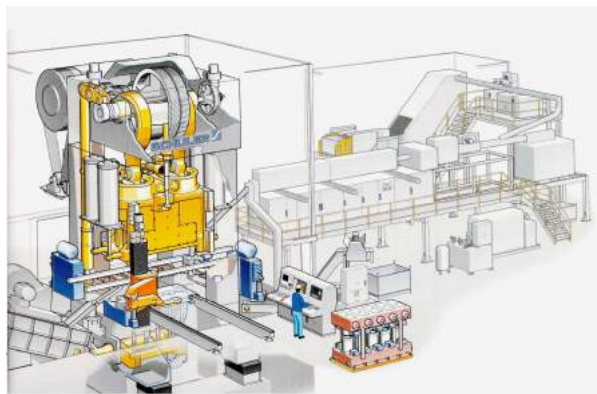


Slika 2.2. Delovi izrađeni na presi Schuler MME2 [27]



Slika 2.3. Pogonski sistem ekscentar prese Schuler MME2

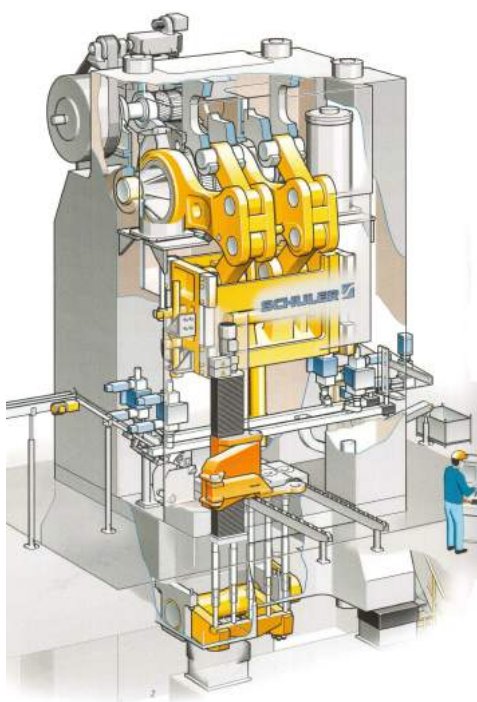
Ova vrsta presa gradi se sa nominalnom silom od 6,3 do 40 MN, veličinom hoda od 315 do 1000 mm i brojem hodova od 15 do 50 min⁻¹, zavisno od nominalne sile i veličine hoda mašine.



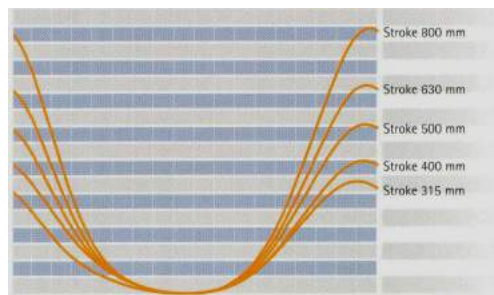
Slika 2.4. Proizvodna linija sa ekscentar presom Schuler MME2 [27]

Na slici 2.5 je prikazana vertikalna višepoziciona presa Schuler serija MML2 sa link pogonskim mehanizmom. Dijagram brzine ove mašine (slika 2.6) odlikuje brz prilaz i povratak alata i smanjena brzina u fazi deformisanja, što obezbeđuje dobre uslove oblikovanja i dug radni vek alata. Ovakva konstrukcija pogonskog sistema obezbeđuje veliku dužinu hoda, što je pogodno za oblikovanje dugačkih delova. Noseća struktura i ostali elementi mašine imaju izuzetnu krutost, a vođenje pritiskivača obezbeđeno je osmostaznim vodicama malog zazora. Presa, zbog svojih karakteristika, omogućuje izradu delova visoke tačnosti postupcima hladnog oblikovanja (istiskivanje, sabijanje kovanje i dr.). Ove prese proizvode se sa nominalnom silom od 3,15 do 31,5 MN i maksimalnim hodom od 250 do 800 mm, a broj hodova se kreće od 30 do 60 u minutu.

Obe vrste presa (MME2 i MML2) su opremljene izbacivačima u pritiskivaču i stolu mašine, i automatskim, numerički kontrolisanim transportnim sistemom, koji omogućuje brz međuoperacioni transport obratka. Zamena alata kod ovih mašina je mehanizovana. Prese su opremljene antizvučnom izolacijom a podmazivanje i hlađenje obradaka je automatsko.



Slika 2.5. Pesa sa link pogonskim mehanizmom Schuler serija MML2 [24]



Slika 2.6. Dijagram brzine pritiskivača link prese Schuler MML2 [24]

2.1.2 Hidraulične prese za hladno istiskivanje

Hidraulične prese uspešno se koriste za oblikovanje dugačkih delova, mase do 15 kg. Deformacija noseće strukture hidraulične prese ne odražava se značajnije na tačnost obratka. Tačnost obratka je veća kod ovih mašina nego kod mehaničkih presa, a veći je i radni vek alata.

Na slici 2.7 prikazana je jednopoziciona hidraulična presa za istiskivanje Lasco tip KFP, koja se proizvodi sa nominalnom silom od 2,5 do 15 MN. Hod pritiskivača je od 500 do 1200mm, brzina pritiskivača u fazi približavanja oko 500mm/s, a u radnom hodu od 45 do 67 mm/s. Pesa je namenjena za izradu delova velike dužine, složenog oblika i visoke tačnosti.



Slika 2.7. Hidraulična presa za istiskivanje Lasco tip KFP [28]

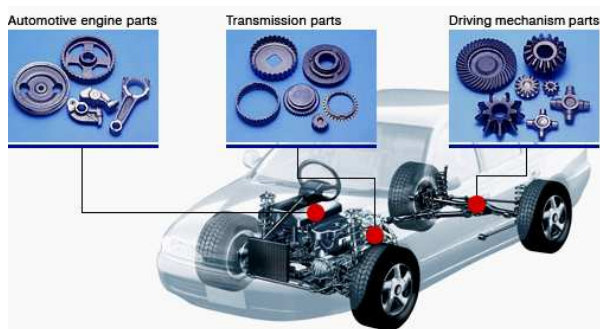


Slika 2.8. Delovi izrađeni istiskivanjem na presi KFP [28]

Presa može biti opremljena sistemom za brzu zamenu alata, sistemom za automatizovani transport obratka i izbacivačima u stolu i pritiskivaču. Upravljanje mašinom je numeričko.

2.2 Prese za NSF i NNSF tehnologije

Net shape i Near Net Shape forming tehnologije se najviše primenjuju u automobilske industriji (slika 2.9) gde se traži visoka tačnost i stabilnost dimenzija delova i visoka proizvodnost.



Slika 2.9. Delovi automobila koji se mogu proizvoditi net NSF tehnologijom, Nichidai corporation, Japan [37]

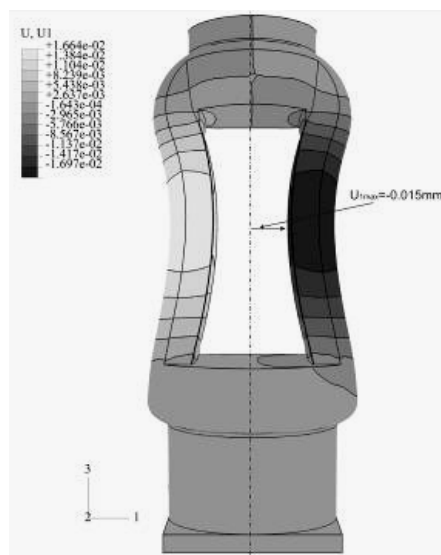
Na tačnost i kvalitet izrađenog dela metodom NNSF utiču brojni faktori koji se mogu svrstati u nekoliko grupa [1]:

- Polazni materijal (dimenzije priprema, napon tečenja, deformabilnost materijala, stanje površine itd.).
- Alat (tolerancije izrade, materijal, elastične deformacije, habanje alata itd.).
- Mašina za oblikovanje (konstrukcija mašine, elastične deformacije, kinematika mašine i dr.).
- Proizvodni proces i njegova organizacija (održavanje tehnoloških parametara, temperature obratka, postupka podmazivanja, brzine deformisanja itd.).
- Obučenosn personala i menadžmenta fabrike.

Elastične deformacije alata i mašine direktno se odražavaju na tačnost izrađenog komada. Radi toga se za NNSF tehnologije primenjuju ojačani alati (slika 2.10) i mašine visoke krutosti.



Slika 2.10. Alati za hladno kovanje zračnika Strecon [35]



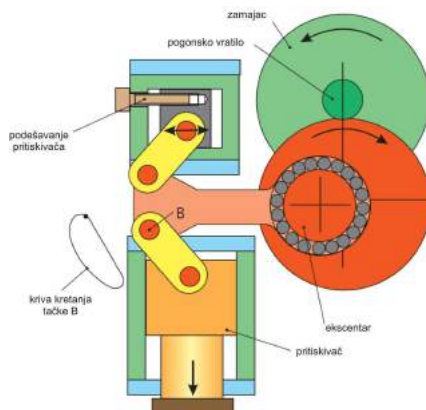
Slika 2.11. Elastične deformacije (u pravcu 1) hidraulične prese Sack&Kiesselbach 6,3 MN [22]

Za oblikovanje postupkom NNSF, Schuler preporučuje prese serije MME2 i MML 2, kao i hidraulične prese, uz podizanje nivoa opremljenosti mašine dodatnim uređajima, na primer, uređajem za merenje težine priprema, posebno projektovanim uređajem za transport obratka, ugradnjom dodatnih senzora za praćenje svih relevantnih parametara procesa i elastičnih deformacija elemenata mašine, zatim ugradnjom sistema za automatsko podmazivanje priprema i hlađenje alata i podizanjem nivoa sistema upravljanja.

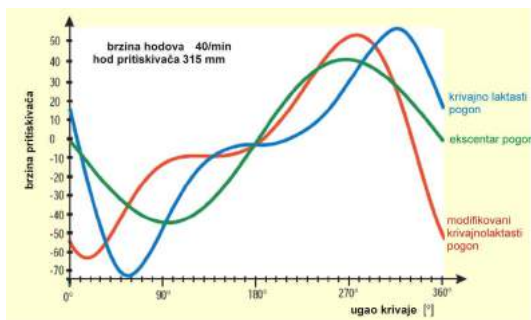
2.3 Prese za kalibrisanje, utiskivanje i hladno kovanje

U većini slučajeva funkcionalne površine otkovaka moraju se doradivati metodama obrade rezanjem, što povećava njihovu cenu. Međutim, često se troškovi ove operacije mogu smanjiti kalibracijom otkovaka u hladnom stanju. Slična je situacija i kod delova dobijenih sinterovanjem od metalnog praha kao i kod delova koji su termički obrađivani. Dovođenje dimenzija obratka u određene granice, bilo da se radi o komadima koji su toplo ili hladno oblikovani, postiže se operacijom kalibrisanja na mehaničkim presama sa krivajno-laktastim pogonskim mehanizmom.

Operacije kalibrisanja i utiskivanja zahtevaju mašine sa izuzetno visokim kapacitetom u pogledu sile i manjim vrednostima energije, dok mašine za hladno kovanje moraju raspolagati i sa značajnom energijom.



Slika 2.12. Modifikovani krivajno-laktasti mehanizam [10]



Slika 2.13. Dijagram brzine različitih mehanizama Schuler [10]

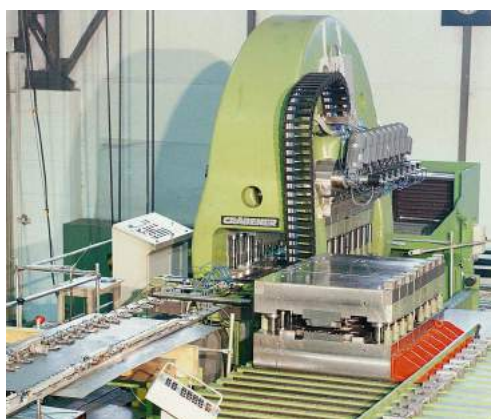
Za operacije kalibrisanja, utiskivanja i hladnog kovanja primenjuju se prese sa krivajno-laktastim i modifikovanim krivajno-laktastim pogonskim mehanizmom, čija je osnovna karakteristika stvaranje velike sile i mala brzina pritiskivača u radnom delu hoda (slike 2.12 i 2.13).

Modifikovani krivajno-laktasti mehanizam obezbeđuje tri do četiri puta duži vremenski period za deformisanje u poređenju sa klasičnom ekscentar presom sličnih karakteristika.

Za izvođenje operacija kalibrisanja Schuler je razvio posebnu kategoriju mašina tip FMK [27], sa nominalnom silom od 2,5 do 15 MN. Mašine rade u automatskom režimu, tj. snabdevene su uređejem za automatsko dodavanje priprema i izbacivanje gotovih delova. Mašine sličnih karakteristika primenjuju se i za operacije hladnog kovanja delova sa oštricom (noževi, makaze i dr.), kao i za oblikovanje pribora za jelo.



Slika 2.14. Delovi kalibrisani i oblikovani na presi za kalibrisanje, Schuler [10, 27]



Slika 2.15. Pesa za oblikovanje ručnog alata [10]

Na slici 2.15 je prikazana presa sa krivajno-laktastim pogonskim mehanizmom za kovanje ručnog alata, koja

takođe pripada kategoriji presa za kalibrisanje, uz dodatak potrebnih pomoćnih uređaja za transport radnog komada i priprema. Oblikovanje ključa (slika 2.14) izvodi se u osam faza (od priprema izrađenog postupkom prosecanja) na presi sa krivajno-laktastim pogonskim mehanizmom čija je nominalna sila 16 MN. Međuoperacioni transport izvodi se pomoću 2D transporter a proizvodnost prese je 35 komada u minutu. Zamena alata je vrlo brza i izvodi se pomoću specijalnih uređaja, a stezanje alata je takođe mehanizovano i izvodi se pomoću hidrauličnih stega.

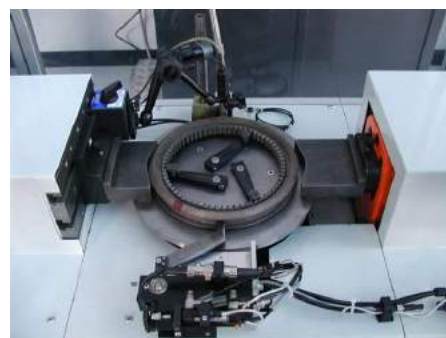
2.4 Prese za ispravljanje

Operacija ispravljanja primenjuje se kod dugačkih delova tipa osovine nakon izrade kovanjem, livenjem ili posle termičke obrade, kada dolazi do značajnijeg odstupanja ose vratila od idealne ose. Ispravljanje se primenjuje i na delove prizmatičnog oblika, na delove od cevi i prstenaste delove (zupčanici, sinhroni, ležajevi i slično). Postupak ispravljanja izvodi se na hidrauličnim presama koje su opremljene specijalnim mernim sistemom za određivanje veličine odstupanja geometrije obratka od idealnog oblika.



Slika 2.16. Pesa za ispravljanje vratila Galdabini [31]

Savremene prese za ispravljanje opremljene su softverom za proračun opterećenja u zavisnosti od veličine odstupanja oblika obratka. Na slici 2.16 je prikazana hidraulična presa sa uređajem za ispravljanje kolenastih vratila sa nominalnom silom od 1MN. Mašina je opremljena automatskim sistemom za manipulaciju sa obratkom, a na slici 2.17 je prikazan postupak ispravljanja zupčanika.



Slika 2.17. Pesa za ispravljanje zupčanika Galdabini [10]

2.5 Horizontalne višepozicione prese

Automatske prese za zapremsko deformisanje služe za izradu delova manjih dimenzija, čija masa se kreće do nekoliko stotina grama. Proces oblikovanja se izvodi u više operacija a polazni materijal je žica ili šipka odgovarajućeg

prečnika koja prolazi kroz uređaj za ispravljanje, nakon čega sledi odsecanje priprema potrebne dužine. Odsečeni komad se automatski prenosi do prve radne pozicije, obično pomoću specijalno profilisanog noža kojim je izvršeno odsecanje, ili pomoću grajfera. Transport obratka između operacija oblikovanja izvodi se pomoću specijalnog grajfernog mehanizma, koji je sinhronizovan sa kretanjem pritiskivača.

Ove mašine imaju znatno veći broj hodova u minutu u odnosu na vertikalne višepozicione prese, te se preporučuju za proizvodnju delova u velikim serijama. Područje primene ovih mašina je proizvodnja složenih delova u više operacija, na primer, proizvodnja zavrtneja, navrtki, zakovica, čaura, zupčanika, kratkih stepenastih osovin, zatim proizvodnja kuglica i valjčica za kotrljajne ležajeve, oblikovanje tela svećice itd.

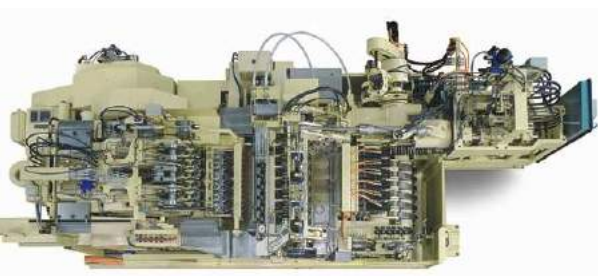


Slika 2.18. Faze oblikovanja zupčanika na šestopozicionom automatu AKP 4-6 S, Hatebur [30]

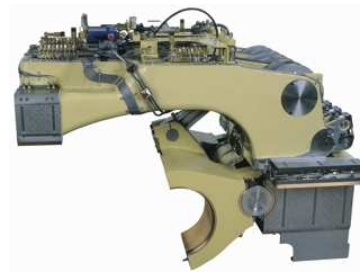
Na slikama 2.19 i 2.20 prikazana je šestopoziciona automatska presa za hladno oblikovanje "Coldmatic" AKP 4-6 S, čiji je proizvođač Hatebur (Švajcarska). Polazni materijal za ovu mašinu je žica odgovarajućeg prečnika, najviše do 20 mm. Nominalna sila mašine je 23 MN, dužina priprema se kreće od 8 do 125 mm a maksimalni prečnik gotovog obrataka može biti najviše 30 mm. Mašina izvodi od 110 do 160 hodova u minutu. Transport materijala (uvlačenje žice) kod ovog automata izvodi se pomoću specijalnog linearnog povlačača. Međuoperacioni transport obratka izvodi se pomoću grajfernog transportera. Precizno vođenje pritiskivača obezbeđeno je dodatnim vodičama izvan centralnog dela (slika 2.21). Izbacivači su ugrađeni u matricama, a mogu biti postavljeni i na strani žigova, odnosno, u pritiskivaču prese.



Slika 2.19. Izgled automatske prese za hladno oblikovanje AKP 4-6 S, Hatebur [30]



Slika 2.20. Automatska presa Hatebur AKP 4-6 S [30]



Slika 2.21. Pritiskivač automata AKP 4-6 S [30] (pogled od gore)

3. MAŠINE ZA TOPLO OBLIKOVANJE

Kovanje je tehnologija koja omogućuje izradu vrlo složenih delova, odnosno delova koji se drugim metodama zapreminskog deformisanja ne mogu dobiti po ekonomski prihvatljivim uslovima. Osnovne vrste kovanja su slobodno kovanje, kovanje u otvorenom i kovanje u zatvorenom kalupu. Oblikovanje na visokoj temperaturi obezbeđuje daleko niži deformacioni otpor i lakše popunjavanje šupljine kalupa u odnosu na hladno i polutoplo deformisanje. Masa otkivaka kovanih u kalupu se kreće od nekoliko grama pa do nekoliko stotina kilograma (na primer, radilica motora), dok u slučaju slobodnog kovanja masa otkivka premašuje nekoliko desetina tona.

Za kovanje se koriste sledeće mašine:

- krivajne prese
- zavojne prese
- hidraulične prese
- čekići

Pripremno kovanje, osim gore navedenih mašina, može se izvoditi i na mašinama za kovačko valjanje.

Savremene mašine za kovanje, osim zahteva u pogledu osnovnih tehnoloških parametara (sila, energija, hod malja, dimenzije radnog prostora itd.) su po pravilu numerički upravljane mašine sa ugrađenim sistemima za automatizovani transport priprema i otkivka.

3.1 Prese za slobodno kovanje

Slobodno kovanje delova velikih dimenzija (na primer vratilo turbine) izvodi se isključivo na snažnim hidrauličnim presama uz asistenciju mehanizovanih manipulatora (slika 3.1). Mašine novijih generacija opremljene su CNC sistemom upravljanja, koji se može dograditi i na postojeće mašine starije proizvodnje.



Slika 3.1. Slobodno kovanje na hidrauličnoj presi [36]

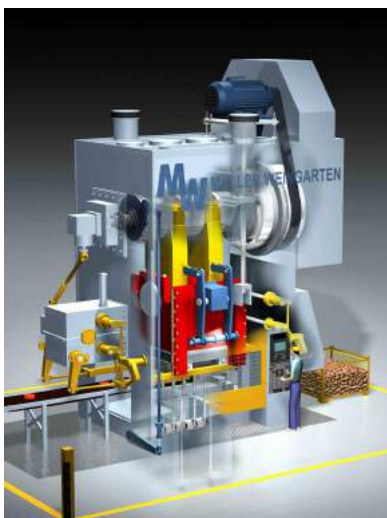
Slobodno kovanje, kao operacija pripremnog kovanja, izvodi se na presama i čekićima.

3.2 Prese za kovanje u kalupu

Kovanje u kalupu izvodi se na krivajnim, zavojnim i hidrauličnim presama, jednopozicionim i višepozicionim.

3.2.1 Krivajne prese za kovanje u kalupu

Savremene krivajne prese za kovanje u kalupu su ekscentar prese i prese sa složenim krivajno-polužnim mehanizmom, opremljene izbacivačima u stolu i pritiskivaču i sistemima automatskog transporta materijala i otkivka, i mašine sa CNC sistemom upravljanja. Na slici 3.2 prikazana je jedna takva mašina koju proizvodi Müller Weingarten sa nominalnom silom od 5 do 80 MN.



Slika 3.2. Višepoziciona ekscentar presa za kovanje Müller Weingarten serija PK [13,26,27]

Mašina se koristi za masovnu proizvodnju složenih delova. Noseća struktura je tako dizajnirana da obezbeđuje visoku krutost mašine i tačnost otkivaka a može biti izvedena kao monoblok ili zavarena sa prednapregnutim stubovima. Pogonski sistem je krivajni sa ekscentar vratilom uležištenim pomoću tri ležaja kako bi se smanjile deformacije. Spojnica je frikciona sa hidrauličnim aktiviranjem. Pritiskivač ima povećanu visinu sa produženim vodičima i izvodi do 60 hodova u minutu. Mašina je opremljena automatizovanim dodavačem priprema i sistemom transporta otkovka.



Slika 3.3. Otkivak oblikovan na presi PK [13,26,27]

3.2.2 Horizontalne višepozicione prese

Oblikovanje otkivaka manje mase u velikim serijama izvodi se na automatskim horizontalnim višepozicionim presama, od polzanog materijala u obliku šipke. Struktura automatske prese za toplo zapreminsko deformisanje slična je višepozicionoj mašini za hladno oblikovanje, sa dodatkom uređaja za zagrevanje polzanog materijala i uređaja za hlađenje alata i grajfera.

Na slici 3.5 prikazana je automatska četvoropoziciona presa za toplo zapreminsko deformisanje Hotmatic HM 75 XL (Hatebur), koja raspolaže ukupnom silom od 20 MN, na kojoj se oblikuju delovi mase do 7,5 kg iz šipke maksimalnog prečnika 90mm.



Slika 3.4. Delovi kovani na presi Hotmatic - HM 75 XL, Hatebur [30]

Maksimalni prečnik obratka je 180 mm a broj hodova mašine je od 50 do 80 u minutu. Mašina je opremljena induktorom za zagrevanje šipkastog materijala i uređajem za međuoperacioni transport sa valjcima koje pokreću servomotori. Kompletan rad mašine prati se i upravlja pomoću numeričkog upravljačkog sistema.



Slika 3.5. Automatska presa za toplo oblikovanje Hotmatic - HM 75 XL, Hatebur [30]

3.2.3 Zavojne prese

Zavojne prese spadaju u najstariju vrstu mašina za toplo oblikovanje a prema načinu dejstva spadaju u kategoriju mašina čija je glavna karakteristika energija. Prema vrsti pogona zavojnog vretena, zavojne prese se dele na:

- frikzione prese
- prese sa direktnim električnim pogonom
- prese sa hidrauličnim pogonskim uređajem

Savremene zavojne prese opremljene su CNC sistemom upravljanja i sistemima automatizovanog transporta materijala.

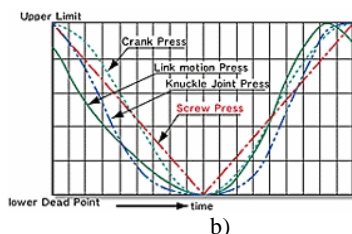


Slika 3.6. Elektro-zavojna presa Müller Weingarten tip PZS 1200 [26,27]

Na slici 3.6 prikazana je jedna savremena automatska linija za kovanje pomoću elektro-zavojne prese Müller Weingarten tip PZS 1200. Linija je opremljena robotom za manipulaciju sa materijalom i otkovkom.



a)



b)

Slika 3.7. Zavojna presa sa servomotorom Enomoto, tip ZES
a) izgled prese, b) dijagram hoda pritiskivača [32]

Japanska kompanija Enomoto uvela je u pogonski sistem zavojne prese servomotor i na taj način značajno poboljšala performanse mašine. Servomotor omogućuje veliku fleksibilnost mašine u pogledu performansi, tako da mašina radi sa velikim stepenom iskorišćenja energije i pri malom opterećenju. Performanse mašine se programiraju zavisno od potreba u proizvodnji otkivaka.

Zahvaljujući visokoj brzini delovanja pritiskivača (dijagram, slika 3.6.b), otkivak se ne hladi pa se na taj način štedi energija.

Zavojne prese sa servomotorom firme Enomoto proizvode se u rasponu nominalne sile od 1000 do 16.000 kN i hodom pritiskivača od 200 do 700 mm. Instalirana snaga servomotora je od 22 do 2x100kW.

3.2.4 Hidraulične prese za kovanje u kalupu

Kovanje u kalupu delova iz obojenih metala i njihovih legura, kao i od čelika, izvodi se i na hidrauličnim presama sa direktnim pumpnim i pumpno-akumulatorskim pogonskim sistemom.

Za kovanje u kalupu kompanija Lasco preporučuje hidraulične prese serije VP koje se grade sa nominalnom silom od 2,5 MN pa do 50 MN. Zavisno od tehnoloških zahteva, ove prese se grade sa direktnim pumpnim ili pumpno-akumulatorskim pogonskim sistemom. Transport priprema i otkovka kod ovih mašina može biti manuelan ili automatizovan (mehanički transporter ili transport pomoću robota). Zbog izuzetno visoke krutosti noseće strukture prese i dugačkih vođica, mašine su vrlo precizne čak i pri ekscentričnom opterećenju. Po potrebi mašine mogu biti opremljene različitim dodatnim sistemima, na primer, sistemom za brzu zamenu alata, izbacivačem u stolu i pritiskivaču prese, i različitim nivoima sistema upravljanja, uključujući i CNC sistem. Brzina pritiskivača se može menjati (programirati) u skladu sa fazama radnog ciklusa.

Ove mašine grade se kao jednopozicione i višepozicione.



Slika 3.8. Hidraulična presa za kovanje
Lasco tip VPE 500 [23,28]



Slika 3.9. Delovi oblikovani na presama
Lasco serije VP [23, 28]

Za izradu složenih otkivaka kovanjem u kalupu primenjuju se višepozicione hidraulične kovačke prese. Pored osnovnih tehničkih zahteva u pogledu sile, hoda i radnog prostora, kod ovih mašina mora biti obezbeđen transport zagrejanog obratka između radnih pozicija, koji može biti ručni, pomoću specijalnog transportera ili pomoću robota.

Na slici 3.10 je prikazana linija za kovanje sa hidrauličnom presom Müller Weingarten tip ZE koje se grade sa nominalnom silom do 50 MN. Ovaj tip mašina koristi se za kovanje delova od aluminijuma (delovi šasije automobila) kao i za kovanje delova od čelika, na primer, kolenastih vratila motora, klipnjača, pogonskih vratila automobila itd. Dodavanje zagrejanog priprema izvodi robot a međufazni transport izvodi se pomoću grajfernog sistema.



Slika 3.10. Hidraulična presa ZE Müller Weingarten u automatskoj liniji za kovanje [26, 27]

3.3. Čekići

Čekići su mašine dinamičkog dejstva čija je glavna karakteristika energija, kod kojih se kinetička energija pokretne mase (malja) pretvara u rad potreban za izvođenje procesa kovanja. Zbog udarnog dejstva čekići proizvode ogromne sile, odnosno pritiske u procesu kovanja, što stvara posebne uslove pri tečenju metala i popunjavanju gravure kalupa. Na čekićima se, po pravilu, kuju najsloženiji otkivci u otvorenom kalupu.

Podela čekića izvodi se prema različitim kriterijumima. U osnovi čekići mogu biti:

- čekići s nakovnjem
- čekići bez nakovnja – protivudarni čekići

S obzirom na način pokretanja malja i stvaranja kinetičke energije, čekići mogu biti:

1. slobodnopadajući
2. čekići s natpritiskom (s prinudnim ubrzavanjem malja)
3. protivudarni čekići

S obzirom na vrstu pogonskog sistema, čekići mogu biti parovazdušni, vazdušni, mehanički, hidraulični, gasni elektromagnetni i dr. U industrijski razvijenim zemljama danas se uglavnom proizvode:

1. hidraulični čekići,
2. vazdušni čekići.

3.3.1 Hidraulični čekići

Savremeni hidraulični čekići grade se kao mašine dvojnog dejstva i protivudarni, dok su ranije postojale i verzije slobodnopadajućeg čekića. U pogledu performansi, hidraulični čekići još uvek zaostaju za parovazdušnim čekićima, međutim, po stepenu korisnog dejstva oni su ispred svih ostalih čekića. Kod parovazdušnog čekića stepen korisnog dejstva kreće se od 0,1 do 0,3 a kod hidrauličnog čekića i do 0,75.

Na slici 3.11 je prikazan hidraulični čekić Lasco serija HU, koji se gradi sa raspoloživom energijom od 10 do 125 kJ, i ostvaruje od 110 do 75 hodova u minutu. Snaga pogonskih elektromotora kreće se od 30 do 2x132 kW. Ovaj čekić se koristi za kovanje u otvorenom kalupu.



Slika 3.11. Hidraulični čekić Lasco HO-U 250, [23,28]

Protivudarni hidraulični čekići predstavljaju noviju verziju čekića sa hidrauličnim pogonom, koji imaju znatno veću raspoloživu energiju u odnosu na hidraulične čekiće dvojnog dejstva. Na slici 3.12 je prikazan protivudarni hidraulični čekić Lasco tip GH, koji se gradi sa raspoloživom energijom od 63 do 400 kJ, maksimalnim hodom gornjeg malja od 430 do 550 mm i maksimalnim hodom donjeg malja od 100 do 150 mm. Čekić pokreću elektromotori snage od 2x45 do 2x145 kW. Masa donjeg malja je od 4 do 5 puta veća

u odnosu na masu gornjeg malja, brzina gornjeg malja je oko 6m/s a donjeg od 1,2 do 1,5 m/s. Donji malj leži na vazdušnom jastuku a pogon dobija od dva plunžera koji su povezani sa gornjim maljem.

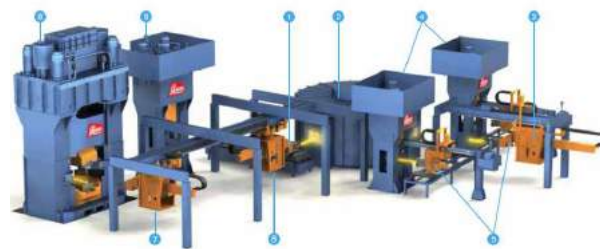


Slika 3.12. Protivudarni hidraulični čekić Lasco GH 2500 [23, 28]



Slika 3.13. Otkovci oblikovani na hidrauličnim čekićima Lasco [23, 28]

Upravljanje hidrauličnim čekićima Lasco je CNC a posluživanje može biti manuelno, sa CNC manipulatorom i pomoću robota. Na slici je prikazana automatska linija za kovanje prednje osovine kamiona.



Slika 3.14. Automatska linija Lasco za kovanje prednje osovine kamiona [23, 28]: 1-dodavač pripremk, 2-rotaciona gasna peć, 3-manipulator za dodavanje zagrejanog pripremk iz peći do prese, 4-Hidraulična presa VPA 250, 5-manipulator Ma 100, 6-manipulator I, 7-manipulator II, 8-protivudarni hidraulični čekić GH 4000 (400kJ), 9-hidraulična presa VP 1600 (16000kN)

3.3.2 Protivudarni pneumatski čekić

Protivudarni pneumatski čekići koriste se za kovanje vrlo složenih otkovaka, na primer kolenastog vratila motora. Zahvaljujući jednostavnom pogonskom sistemu veoma su pouzdani u radu. Robusna noseća struktura čekića i dugačke vodice i CNC sistem upravljanja, obezbeđuju visoku tačnost otkovaka. Protivudarni čekić Beche (slika 3.15) gradi se sa raspoloživom energijom od 63 do 800kJ. Pogon gornjeg malja je pneumatski a donjeg hidraulični, pomoću plunžera koji su povezani sa gornjim maljem.



Slika 3.15. Protivudarni vazdušni čeič Beche [26, 27]

4. SISTEM UPRAVLJANJA KOD SAVREMENIH MAŠINA ZA OBRADU DEFORMISANJEM

Sistemi upravljanja savremenih mašina za obradu deformisanjem bazirani su na informacionim tehnologijama uz odgovarajući hardver i softver. Ovi sistemi su daleko savršeniji od klasičnih sistema upravljanja koji su bazirani na mehaničkim, pneumatskim, hidrauličnim i elektronskim komponentama. Savremeni sistemi upravljanja mehaničkim i hidrauličnim presama, doprineli su stvaranju novih generacija mašina, koje imaju daleko bolje tehničke karakteristike u odnosu na klasične prese. Uvođenje servo pogonkog sistema u kombinaciji sa CNC upravljanjem, omogućuje realizaciju najpovoljnijeg načina kretanja pritiskivača tokom određene obrade. Novi sistemi upravljanja koji su spregnuti sa mnogobrojnim regulacionim krugovima mašine (na primer, održavanje pritiska u hidrauličnom i pneumatskom sistemu, održavanje temperature ulja, održavanje paralelnosti kretanja pritiskivača itd.), takođe su doprineli podizanju kvaliteta presa.

Zahvaljujući primeni informacionih tehnologija kod presa je proširen krug upravljačkih funkcija mašine, koji se kod klasične krivajne prese svodi na upravljanje spojnicom i kočnicom, odnosno, hidrauličnim ventilima kod hidraulične prese. CNC sistem upravljanja, pored upravljanja pogonom mašine, omogućuje upravljanje drugim funkcijama prese, na primer, upravljanje sistemom za dodavanje priprema, sistemom za transport obratka, sistemom za zamenu i stezanje alata, zaštitnim sistemima mašine i operatera itd.

Funkcije sistema upravljana prese su praćenje signala sa kontrolnih elemenata i senzora postavljenih na mašini, njihova obrada i izdavanje komandi aktuatorima [13]. Generisanje komande koja se prenosi na aktuator zavisi od izabranog operativnog moda i zadatih parametara (set-up), zatim od podataka o „automatskoj zamenu alata“, „automatskom radu mašine“ i podataka o drugim sistemima koji se prate na mašini.

Sistem upravljanja mašine za obradu deformisanjem čine sledeće komponente:

- Operativno-vizuelni sistem (kontrolna tabla)
- Upravljački sistem (centralni ili decentralizovan)
- Senzori i aktuatori prese

Vizuelizacija procesa predstavlja sofisticirani način praćenja rada mašine, proizvodne linije ili cele fabrike. Vizuelizacija procesa rada mašine i posluživanje mašine (komandovanje mašinom) izvodi se preko kontrolne table, koja može biti izvedena kao jednostavna jedinica sa tasterima i signalnim lampicama, ili kao industrijski kompjuter sa monitorima visoke rezolucije.



Slika 4.1. Kontrolna tabla sa monitorom za vizuelizaciju, Hatebur Hotmatic HM 75 [30]

Jedna od glavnih funkcija sistema za upravljanje i vizuelizaciju je pomoć operateru pri postavljanju početnih upravljačkih podataka, prikazivanje trenutnog statusa mašine, pružanje informacija o mogućim akcijama na mašini, kao i prikazivanje informacija o eventualnim teškoćama u radu i njihovim uzrocima. Na osnovu informacija prikazanih na monitoru komandno-kontrolnog uređaja, operater donosi odluku o daljem toku rada mašine. Informacioni sistem ugrađen u sistem za vizuelizaciju, omogućuje korisniku intervenisanje na mašini u slučaju nastalih problema.

Zavisno od tipa prese, sistem upravljanja prati i reguliše rad sledećih funkcija, odnosno sistema mašine:

1. Dodavanje materijala
2. Glavni pogonski sistem
3. Pritiskivač prese (kretanje, zaštita od preopterećenja, kompenzacija težine, sistem za vezivanje alata, podešavanje visine itd.)
4. Jastuk za izvlačenje ili držač lima (pomeranje, podizanje/spuštanje, blokiranje)
5. Sistem za transport obratka
6. Hidraulični i pneumatski sistem i sistem za podmazivanje i hlađenje
7. Sistem zaštite mašine
8. Posebne funkcije, zamena alata itd.

Osnovu sistema upravljanja presa čine programabilno logični kontroleri (PLC) koji su povezani sa senzorima i aktuatorima pomoću input/output modula. Komunikacioni sistem je povezan sa PLCom i obezbeđuje razmenu podataka sa displejom i sa eksternim sistemima. Međutim, ovakvi sistemi upravljanja imaju određene nedostatke, između ostalog komplikovan način programiranja (programski jezik assembler), teškoće u razumevanju programa, zahtevi za skupim dodatnim uređajima i drugo. Radi toga su razvijeni sistemi upravljanja bazirani na industrijskim kompjuterima, koji raspolažu boljim grafičkim interfejsom, naprednijim sistemom programiranja (object oriented programing) i mogu da koriste napredne alate za programiranje. Osim toga, moderni sistemi upravljanja zahtevaju umrežavanje mašina i razmenu podataka relevantnih za upravljanje i podataka o procesu proizvodnje, dijagnostici i održavanju sistema. Sve ove zahteve, praktično ispunjavaju industrijski kompjuteri, koji su po ceni hardvera i softvera pristupačni i koji su postali standard savremenih sistema upravljanja presa i drugih mašina za obradu deformisanjem.

Na platformi industrijskih kompjutera pojedini proizvođači mašina su razvili sopstvene sisteme upravljanja koji uzimaju u obzir specifičnosti mašine i tehnološkog procesa koji se na njoj izvodi. Tako, na primer, Müller Wingarten je za prese namenjene za kovanje, razvio specijalni sistem upravljanja FCS (Forging Control System), za univerzalne prese Beutler Nova razvijen je upravljački

sistem CCS (Compact Control System), kompanija Schuler za većinu svojih presa koristi ABI-Plus sistem upravljanja, kompanija Lasco za svoje mašine koristi tzv. decentralizovane upravljačke sisteme „heart“ i „brain“, itd.

5. AUTOMATIZACIJA MAŠINA ZA OBRADU DEFORMISANJEM

Automatizacija mašina za obradu deformisanjem obuhvata sledeće segmente:

- dodavanje materijala i iznošenje gotovog komada
- međuoperacioni transport obratka
- merenje težine priprema
- zagrevanje priprema
- podmazivanje i hlađenje alata
- zamenju i stezanje alata
- održavanje paralelnosti pritiskivača itd.

U nastavku su prikazani neki od sistema automatizacije savremenih mašina za obradu deformisanjem.

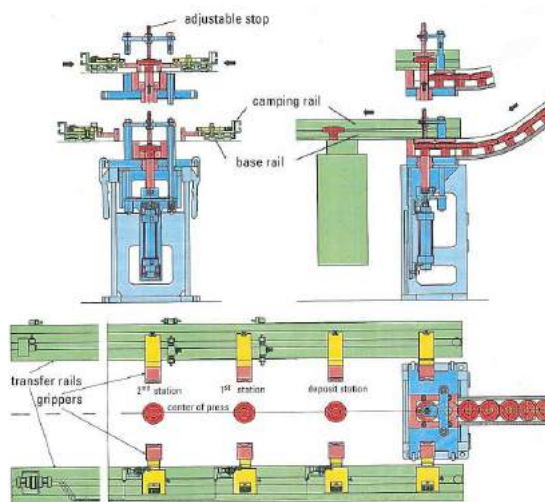
5.1 Sistemi transporta materijala i obratka

Polazni materijal pri zapreminskom deformisanju može biti u obliku žice, šipke ili u formi već odsečenog, pa čak i predoblikovanog komada. Problematika dodavanja i međuoperacionog transporta upravo je povezana sa vrstom polaznog materijala, i dodatno se razlikuje s obzirom da li je u pitanju toplo ili hladno zapreminsko deformisanje. Kod postavljanja priprema u alat poseban problem predstavlja orijentacija komada, koja mora biti usaglašena sa tehnološkim procesom oblikovanja.

Osnovni zahtevi koje uređaji za transport moraju da ispunjavaju su sledeći:

- Apsolutna pouzdanost sistema, tj. osiguranje od mogućnosti da komad zauzme neku proizvoljnu poziciju.
- Obezbeđenje nesmetanog funkcionisanja sistema u odnosu na kretanje alata.
- Minimalno vreme kontakta transportnih elemenata sa komadom, pogotovo pri toplom deformisanju.

Konstrukciona rešenja pojedinih jedinica transportnih uređaja su brojna počev od strme ravni i profilisanih kanala za dodavanje priprema, do dodavača u vidu mehaničkih manipulatora i robota, zatim mehaničkih uređaja za međuoperacioni transport i specijalnih uređaja za iznošenje gotovog komada iz radnog prostora mašine.



Slika 5.1. Uređji za dodavanje priprema i međuoperacioni transport [10]

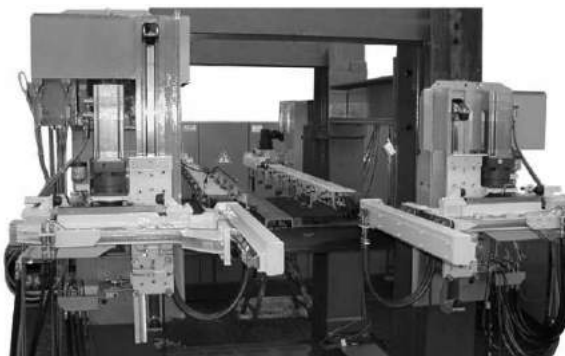
U procesima zapreminskog deformisanja, pri automatskom režimu rada, za automatizovani transport materijala i obratka najviše se koriste grajferni sistemi i roboti. U nastavku su prikazana neka od rešenja ovih uređaja.

Na slici 5.1 prikazana je varijanta dodavanja priprema i transporta obratka u obliku pečurke pomoću grajfernog mehanizma. Orijentacija priprema ostvaruje se pomoću profilisanih šina (kanala) a donji komad u kanalu se zadržava pomoću držača i izbacuje u transportni uređaj delovanjem izbacivača. Izbačeni komad prihvata grajfer transportera i prenosi ga do prve pozicije. Međuoperacioni transport na ostalim pozicijama se izvodi na isti način – izbačene komade iz matrice prihvataju grajferi i prenose ih do sledeće radne pozicije, potom ih otpuštaju, a pogonske šine sa grajferima se vraćaju u početnu poziciju. Kretanje grajfera izvodi se pomoću paralelnih šina koje pogon dobijaju od krivajnog vratila, pomoću zupčanika i bregastih ploča, ili na neki drugi način.

Kretanje grajfera može biti u ravni - 2D gajfer ili u prostoru, kada je reč o 3D grajfernom sistemu. S obzirom na vrstu pogona grajferi mogu biti mehanički, pneumatski, hidraulični i električni.



Slika 5.2. Osciljući transfer sistem [10]



Slika 5.3. Elektronski kontrolisan grajferni mehanizam EHA (SMS Eumuco, 21)

Prva generacija grajfernih mehanizama imala je mehanički pogon, zatim je usledila novija generacija sa hidrauličnim pogonom i upravljanjem.

Za delove mase veće od 5 kg primenjuju se hidraulično gonjeni osciljući grajferni mehanizmi (slika 5.2). Odlikuje ih sigurnost u stezanju komada i mogućnost vertikalnog transfera obratka (3D sistem).

Elektronski kontrolisani grajferni mehanizmi, koji su razvijeni u poslednjih petnaestak godina, imaju pogon koji je nezavisan od pogona pritiskivača, što im obezbeđuje veliku fleksibilnost i mogućnost reprogramiranja u vrlo kratkom vremenskom periodu. Ovi mehanizmi su predviđeni za rad na presama koje izvedu do 30 hodova u minutu.

Uređaj za dodavanje materijala u horizontalnim višepozicionim presama za hladno i toplo oblikovanje, baziran je na numerički kontrolisanim valjcima, pomoću kojih se materijal u obliku žice ili šipke pomera do graničnika, potom sledi odsecanje priprema i njegov transport do prve radne pozicije. Međuoperacioni transport izvodi se pomoću transportnog uređaja sa grajferima. Uzdužno pomeranje grajfera izvodi se pomoću pokretnog klizača čije kretanje može biti numerički kontrolisano.



Slika 5.4. Valjci za dodavanje zagrejanog materijala u presi Hotmatic Hatebur AMP 75 XL [30]

Kod automata Hatebur AMP 75XL (slika 5.4) dodavanje materijala izvodi se pomoću valjaka koji dobijaju pogon od CNC upravljanih servomotora. Odsečeni pripremak se prihvata pomoću grajfera i postavlja na ulaz prve matrice (slika 5.5).



Slika 5.5. Grajferni mehanizam prese Hotmatic AMP 75 XL [30]

U tehnologiji kovanja na automatskim mašinama i linijama za kovanje najnovije generacije, sve je češća primena robota za posluživanje mašine i transport otkivka. Primena robota za posluživanje čekića i presa, oslobađa čoveka od štetnih dejstava buke, vibracija i visoke temperature.



Slika 5.6. Posluživanje čekića pomoću robota, Müller Weingarten [12, 13]

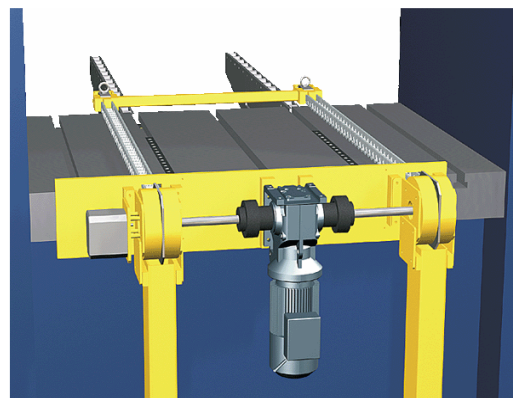
Maksimalni proizvodni efekti postižu se primenom dva robota, od kojih jedan uzima zagrejeni pripremak iz peći i postavlja u alat, a drugi iznosi i odlaže gotov otkivak (slika 5.6). Roboti se danas koriste za transport otkivaka mase od 3 do 570 kg (Kuka roboti, 38).

5.2 Sistemi za brzu zamenu alata

Uređaji koji se koriste za mehanizovanu zamenu alata umnogome doprinose smanjenju vremena zamene i ekonomičnosti procesa proizvodnje. Mali i srednji alati transportuju se viljuškarom ili dizalicom i direktno postavljaju na mašinu. Veliki alati se transportuju i postavljaju na sto prese i pritiskivač, pomoću specijalnih uređaja. Postavljanje velikih alata je lakše u slučajevima kada se gornji i donji delovi alata podudaraju i kada je moguće njihovo sklapanje van radnog prostora prese.

Zamena alata mase do 2 tone uspešno se izvodi pomoću dizalice i kuka koje su uvrnute u alat. Međutim, za alate mase do 6 tona koriste se šine pomoću kojih se jednostavno pozicionira alat (slika 5.7). Pri tome se za lakše kretanje alata koriste kaljene rolne. Pozicioniranje alata mase do 3 tone može se izvršiti manuelno, guranjem po rolnama šina.

Posle završene zamene alata, šine se pomeraju u poziciju koja ne ometa rad mašine (parkirna pozicija), ili se uklanjaju sa mašine.



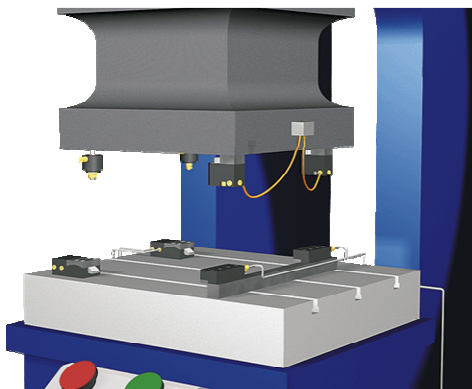
Slika 5.7. Pomoćni uređaji za postavljanje alata na sto prese [39]

Kod višepozicionih presa može da dođe do pojedinačnog otkazivanja alata, kada je potrebno brzo intervenisati i izvršiti njegovu zamenu. Za slučaj manjih alata mase do 15 kg, zamena alata se izvodi manuelno. Pri zameni alata za zapreminsko deformisanje mase od 50 do 800 kg, koriste se pomoćni uređaji u vidu pokretne ruke sa elektromotorom, kojim se alat podiže i spušta. Alternativa ovom načinu je primena mehanizovanih sistema sa kolicima.



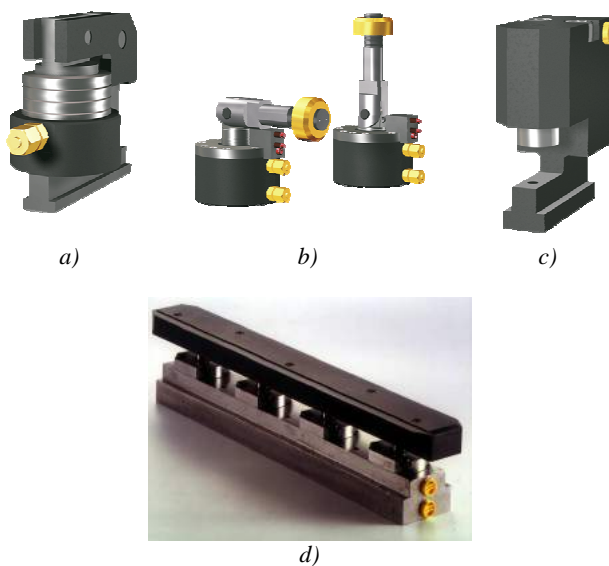
Slika 5.8. Zamena alata za zapreminsko deformisanje [10]

Postavljanje i stezanje alata malih dimenzija i mase, za slučaj manjih serija, izvodi se ručno, uz upotrebu odgovarajućih steznih elementa, koji se sastoje od T klizača, zavrtnjeva sa navrtkom, šapa i podmetača. Oblik i dimenzije ovih elemenata su standardizovani.



Slika 5.9. Automatsko stezanje alata [39]

Stezanje alata za sto, odnosno pritiskivač prese, mora da bude brzo i sigurno. Veliki alati se stežu pomoću specijalnih mehanizovanih uređaja sa električnom ili hidrauličnom snagom, potpomognuti mehaničkim elementima (opruge, poluge, klinovi, zavojna vretena i dr.). Sistemi učvršćivanja alata različiti su za donji deo alata, koji se postavlja na sto prese, odnosno, za gornji deo alata, koji se vezuje za pritiskivač. Bilo koji sistem stezanja alata da se koristi, pouzdanost predstavlja osnovni zahtev.



Slika 5.10. Stege za automatsko stezanje alata Serapid [39]

- a) tip BCM b) tip TB90 c) tip PSE
d) hidraulična stezna letva

6. ZAKLJUČAK

Uporedo sa inoviranjem i razvojem tehnoloških metoda zapreminskog deformisanja, razvijaju se mašine i drugi elementi obradnih sistema za njihovu realizaciju. Povećana potražnja za visokokvalitetnim metalnim komponentama sa niskom cenom, doprinosi daljem širenju i razvoju novih metoda i obradnih sistema za oblikovanje plastičnim deformisanjem. Ovaj trend naročito je prisutan u oblasti automobilske industrije i drugih proizvoda široke potrošnje, u kojima se koriste delovi dobijeni preradom lima i zapreminskim oblikovanjem.

Poslednjih dvadesetak godina došlo je do značajnih promena u oblasti zapreminskog deformisanja, uvođenjem novih metoda deformisanja, koje su imale za cilj precizno oblikovanje delova, te su tako razvijene metode NSF i NNSF, metode preciznog kovanja, metode parcijalnog oblikovanja i dr. U oblasti prerade lima značajan napredak ostvaren je uvođenjem teileord-blank tehnologije, zatim tehnologije oblikovanja čelika visoke i ultra visoke čvrstoće (duboko izvlačenje u toplom stanju sa kaljenjem), uvođenje hidroforming tehnologije, uvođenje inkrementalnog deformisanja i dugih postupaka. Poseban pravac u zapreminskom oblikovanju i oblikovanju lima, koji se intenzivno razvija, predstavljaju mikro i nano tehnologije. Svakako da razvoj novih tehnologija ne bi bio moguć bez adekvatne podrške u razvoju mašina i drugih elemenata obradnih sistema.

U ovom radu prezentovane su osnovne mašine i pomoćni uređaji tehnologija zapreminskog deformisanja u hladnom i toplom stanju, za koje postoji podrška proizvođača mašina.

Uvidom u proizvodne programe opreme za zapreminsko oblikovanje evropskih i pojedinih svetskih proizvođača, može se zaključiti da je razvijen veliki broj mašina u ovoj oblasti, te da se proizvođači trude, da za svaku tehnološku metodu ponude odgovarajuću mašinu.

Osnovne karakteristike savremenih mašina i proizvodnih linija za hladno i toplo zapreminsko deformisanje su:

1. Prilagođenost mašina tehnološkom procesu, odnosno, projektovanje mašine u skladu sa tehnološkim zahtevima obrade za koju su namenjene.
2. Uvođenje novih, energetski efikasnijih pogonskih sistema, kako kod krivajnih i hidrauličnih presa, tako i kod čekića.
3. Primena CNC sistema upravljanja vitalnim funkcijama i pomoćnim sistemima mašina za zapreminsko deformisanje, uključujući i sisteme zaštite i održavanja mašine.
4. Razvoj novih numerički upravljanih sistema za dodavanje priprema, međuoperacioni transport obratka, iznošenje gotovog komada i otpada iz mašine i primena robota za manipulaciju sa materijalom i izrađenim komadom.
5. Automatizacija sistema zamene alata, sistema hlađenja i podmazivanja mašine i sistema podmazivanja polaznog materijala.
6. Potpuna automatizacija proizvodnih linija, koja doprinosi značajnom skraćenju vremena potrebnog za osvajanje proizvodnje, odnosno povećanju fleksibilnosti proizvodnih sistema zapreminskog deformisanja.

Mašine prikazane u ovom radu deo su raspoložive opreme koja je dostupna i koja se može obezbediti na tržištu. Određene specifične zahteve u pogledu opreme za zapreminsko oblikovanje treba tražiti kroz savremeni pristup projektovanju ovih tehnologija i u saradnji sa specijalizovanim proizvođačima mašina.

Napomena:

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja na projektu "Razvoj i primena savremenih pristupa projektovanju tehnologije kovanja radi povećanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje", koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije, evid. broj TR-14050.

7. LITERATURA

- [1] Lange K.: *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-036285-8, 1985.
- [2] Altan T., Ngaile G., Schen G.: *Forging - Fundamentals and Applications*, ASM International, Materials Park, Ohio, 2005.

- [3] Mäkelä H.: *Die Mechanischen Pressen*, Carl Hanser, Verlag München, 1961.
- [4] Oehler G.: *Die Hydraulischen Pressen*, Carl Hanser, Verlag München, 1962.
- [5] Müller E.: *Hydraulische Pressen*, Springer - Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1959.
- [6] Müller E.: *Hydraulic Forging Presses*, Springer - Verlag, Berlin/ Heidelberg, 1968.
- [7] Spur G., Stöferle T.: *Handbuch der Fertigungstechnik, Umformen*, Band 2/1, ISBN 3-446-12533-7, Carl Hanser Verlag München, Wien, 1983.
- [8] Spur G., Stöferle T.: *Handbuch der Fertigungstechnik, Umformen*, Band 2/2, ISBN 3-446-13805-6, Carl Hanser Verlag München, Wien, 1984.
- [9] Spur G., Stöferle T.: *Handbuch der Fertigungstechnik, Umformen und Zerteilen*, Band 2/3, ISBN 3-446-13947-8, Carl Hanser Verlag München, Wien, 1985.
- [10] Schuler: *Metal forming handbook*, CD Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1998.
- [11] Gube G.: *Schmiedehämmer, Berechnung und Konstruktion*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1960.
- [12] Tschachtsch H.: *Metal Forming Practice – Processes – Machines – Tools*, ISBN-10 3-540-33216-6, Springer, Berlin, 2005.
- [13] Müller – Weingarten: *Form Follows Technology – Products and Technology*, CD 1, 2007.
- [14] Müller – Weingarten: *Form Follows Technology – Products and Technology*, CD 2, 2007.
- [15] Бочаров Ю. А. и Матвеев И. В.: *Машины и оборудование Кузнечно-штамповочного производства*, Машиностроение, Энциклопедия, Том IV-4., Российская академия наук, Машиностроение, Москва, 2005.
- [16] Popović P., Temeljovski D.: *Mašine za obradu deformisanjem I i II deo*, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš, 1991.
- [17] Plančak M., Vilotić D.: *Tehnologija plastičnog deformisanja*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.
- [18] P. Groche, D. Fritsche, E. A. Tekkaya, J. M. Allwood, G. Hirt, R. Neugebauer: *Incremental Bulk Metal Forming*, Annals of the CIRP Vol. 56/2/2007, pp. 635-656.
- [19] Klocke F., König W.: *Fertigungsverfahren 4 - Umformen*, Springer Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [20] Neugebauer R.: *Intelligent Machine Systems for Forming Processes*, Fraunhofer Institut, Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz (www.vemassachsen.de/download/maerkte/ 01.06.2007.)
- [21] Wenzel L.: *Innovative Excenter-Schmiedepressen*, Schmiede-Journal, pp 27-29, März, 2001.
- [22] Vilotić D., Plančak M., Kuzman K., Milutinović M., Movrin D., Skakun P., Lužanin O.: *Application of Net Shape and Near-Net Shape Forming Technologies in Manufacture of Roller Bearing Components and Cardan Shafts*, Journal for Technology of Plasticity, ISSN 0354-3870, Vol. 32, pp. 87-104, FTN, Novi Sad, 2007.
- [23] Katalozi kompanije *Lasco Umformtechnik GmbH*, Coburg, Germany, 2007.
- [24] Katalozi firme *Schuler Pressen gmbh&co.kg.*, Göppingen, Germany, 2007.
- [25] Katalozi kompanije *Müller Weingarten AG*, Weingarten, Germany, 2007.
- [26] www.mueller-weingarten.de (septembar 2007.)
- [27] www.schuler.co (jul 2008.)
- [28] www.lasco.com (jul 2008.)
- [29] www.komatsusanki.co.jp/en (jul 2008.)
- [30] www.hatebur.com (jul 2008.)
- [31] www.galdabini.it (jul 2008.)
- [32] www.enomt.co.jp (jul 2008.)
- [33] www.bruderer-presses.com (jul 2008.)
- [34] www.aida-global.com (jul 2008.)
- [35] www.strecon.dk (jul 2008.)
- [36] www.oilgear.com/.../industries/forging/index.php (jul 2008.)
- [37] www.nichidai.jp/english/whats/netshape.html (jul 2008.)
- [38] www.kuka.com (jul 2008.)
- [39] www.serapid.fr (jul 2008.)
- [40] www.gudel.com (jul 2008.)

Autori: Prof. dr Dragiša Vilotić, Prof. dr Miroslav Plančak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2349, Fax: +381 21 454-495.
E-mail: vilotic@uns.ns.ac.yu
plancak@uns.ns.ac.yu

Adamović, D., Stefanović, M., Davinić, A., Nedić, B.

PROMENA TEMPERATURE U ZONI KONTAKTA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA

Rezime: Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida primenjuje se za izradu cilindričnih delova kod kojih je dubina veća od prečnika, a debljina dna veća od debljine zida, kao što su čaure, tankozidne cevi a naročito konzerve za hranu i piće, čija se godišnja proizvodnja u svetu broji na stotine miliona komada. Pomenuti delovi se izrađuju od materijala koji imaju dovoljno veliku plastičnost u hladnom stanju, kao što su niskougljenični čelici, nerdjajući austenitni čelici, aluminijum, mesing, spraseni materijali i drugi.

U toku procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida dolazi do povećanja temperature usled unutrašnjeg trenja u materijalu kao i usled spoljašnjeg trenja koje se pojavljuje između alata i materijala koji se obrađuje. Budući da ovaj proces obrade spada u grupu postupaka OMD na hladno, stoga je i porast temperature, zbog unutrašnjih izvora toplote, po pravilu ispod temperature rekristalizacije. Temperature koje se pojavljuju u mikro smislu, između vrhova neravnina alata i materijala obrade, su znatno više, ali one u ovom radu neće biti razmatrane.

U ovom radu biće dati detaljni rezultati istraživanja promene temperature u kontaktu između alata (matrice) i materijala obrade (čelični i aluminijumski lim) dobijeni pri eksperimentalnim ispitivanjima procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida.

Ključne reči: duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida, temperatura.

TEMPERATURE CHANGE WITHIN A CONTACT ZONE DURING A IRONING PROCESS

Abstract: Ironing process is applied for production of cylindrical parts for which depth is larger than diameter and bottom wall thickness is larger than wall thickness, like shells, thin walled piping and especially tin cans for foods and beverages whose yearly production in a world is hundreds of millions of pieces. These parts are manufactured of materials with sufficiently large plasticity in a cold state, like low carbon steels, austenitic stainless steels, aluminium, brass, powder materials etc.

During the ironing process, increase of temperature occurs, due to internal friction within material, as well as due to external friction that is present between the tool and the material that is processed. Considering the fact that this production process belongs to a group of cold metal forming operations, the temperature increase, due to internal sources of heat, is by rule, below the recrystallization temperature. Temperatures that occur at micro level, between the asperities of the tool and working piece, are significantly greater, but they will not be discussed in this paper.

This paper will present detailed results of temperature change investigations during the contact between the tool and processed material (steel and aluminium sheet-metal) produced during experimental investigations of deep drawing process.

Key words: ironing, temperature.

1. UVOD

U toku procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida dolazi do povećanja temperature usled unutrašnjeg trenja u materijalu kao i usled spoljašnjeg trenja koje se pojavljuje između alata i materijala koji se obrađuje. Budući da ovaj proces obrade spada u grupu postupaka OMD na hladno, stoga je i porast temperature, zbog unutrašnjih izvora toplote, po pravilu ispod temperature rekristalizacije.

Temperature koje se pojavljuju u mikro smislu, između vrhova neravnina alata i materijala obrade, su znatno više. Merenja temperature koja je izveo Stolte [1] pokazala su da temperatura u tačkama direktnog kontakta iznosi 970 °C. Barber [2] je na osnovu mikroskopskih posmatranja promene strukture izvukao zaključak da temperatura dostiže vrednost čak 1000 °C. Tako visoka temperatura koja postoji u zonama kontakta ima veliki uticaj na proces habanja.

Porast temperature u mikro zapreminama kontakta, budući da je uglavnom funkcija vrste procesa i parametara trenja, tj. brzine i pritiska kao i fizičko hemijskih osobina metala spregnutog para (između ostalog veličine površine stvarnog kontakta), pokazuje bitan uticaj na tok triboloških procesa:

- Lokalna povišenja temperature mogu izazvati promenu strukture u spoljašnjim slojevima (lokalno zakaljivanje,

otpuštanje, raspad zaostalog austenita, koagulacija karbida itd.) a na osnovu toga i promene mehaničkih osobina, pad tvrdoće i porast plastičnosti.

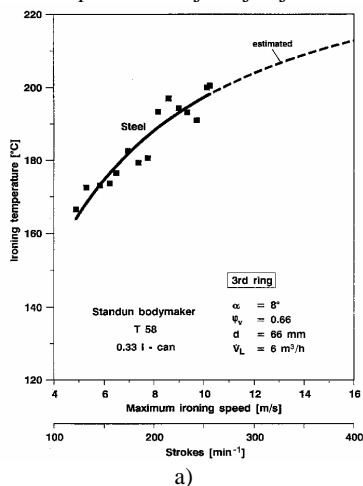
- Usled naglih promena temperature u mikro zapreminama kontakta može doći do promene naponskog stanja u spoljašnjim slojevima (porast napona I i II reda).
- Porast temperature u mikrozapreminama kontakta izaziva intenziviranje procesa molekularne interakcije kao i intenziviranje dejstva sredine na metale spregnutih parova.

Kao posledica toga što u plastičnoj obradi jedinični pritisci, a kod većine procesa i brzine dostižu velike vrednosti uz istovremeni porast temperature u mikro zapreminama kontakta, tako i promene koje usled toga proističu u spoljašnjim slojevima jesu veoma intenzivne. Takodje su intenzivni procesi molekularne interakcije, što kao posledicu ima nastajanje veoma nekorisnih, s obzirom na način habanja, difuznih spojeva.

Iz toga proizilazi da specifični uslovi trenja u plastičnoj obradi utiču na energetske uslove u zoni kontakta a preko toga na tok i intenzivnost procesa trenja i habanja.

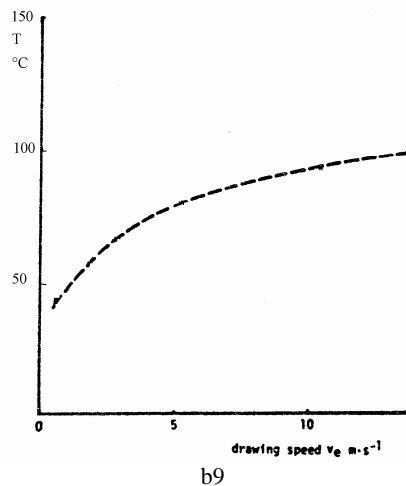
Usled plastične deformacije materijala i trenja između materijala obrade i alata dolazi do povećanja temperature, naročito pri većim brzinama deformisanja. Povišena

temperatura u interfeisu može značajno da utiče na promenu karakteristika maziva, preko promene viskoznosti maziva. Takođe, povišena temperatura može da intenzivira proces habanja alata. Pri izvlačenju kalaisanih limova povišena temperatura će bitno da utiče na stanje kalajne prevlake. Iz napred navedenih razloga potrebno je voditi računa o generisanju toplote u interfeisu, naročito pri većim brzinama deformisanja, i omogućiti njeno odvođenje iz kontakta pomoću sredstva za podmazivanje koje ujedno treba da ima i



a)

ulogu hlađenja. Istraživanja koja se bave ovom problematikom uglavnom se odnose na visokobrzinske procese dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine. Dijagram na slici 1a pokazuje promenu temperature na trećem prstenu (matrici) pri izvlačenju limenki za piće od kalaisanog čeličnog lima [3], a dijagram na slici 1b je dobijen pri izvlačenju trake sa stanjenjem na uzorcima od tehnički čistog aluminijuma [4].



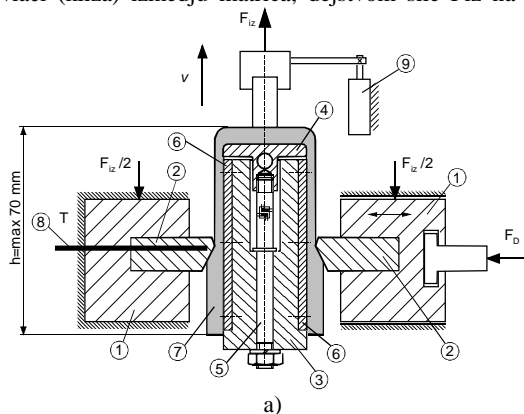
b9

Slika 1. Uticaj brzine na temperaturu u interfeisu: a) [Sauer R.. (1994)], b) [Kudo H.(1982)]

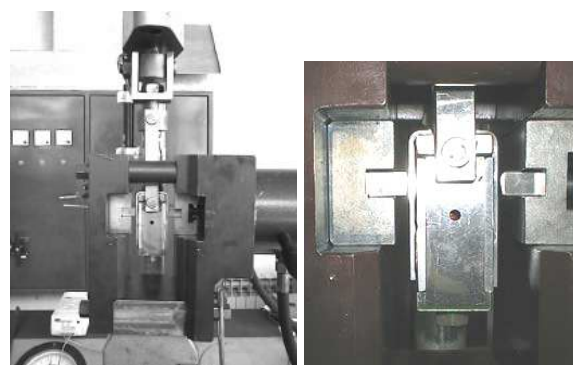
2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Ispitivanja su izvedena na originalnom tribo-modelu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, koji dvostrano simetrično oponaša zonu kontakta sa matricom i izvlakačem [5]. Ovaj model omogućava ostvarivanje visokih kontaktnih pritisaka i uvažava fizičke i geometrijske uslove realnog procesa (materijal matrice i izvlakača, topografiju kontaktnih površina, ugao konusa matrice - α i dr.). Shema pomenutog tribo-modela data je na slici 2a, a izgled uređaja na slici 2b.

Savijena traka od lima 7, u obliku slova U, (epruveta) postavlja se na "izvlakač". Na nju se deluje pomoću "matrica" 2 silom FD. Matrice su postavljene u nosače, pri čemu je levi nosač nepokretan a desni pokretan zajedno sa matricom. Izvlakač se sastoji iz tela 3 i čela 4 koji su međusobno spojeni pomoću davača sa mernim trakama 5. Epruveta se provlači (kliza) između matrice, dejstvom sile F_{iz} na čelo



a)

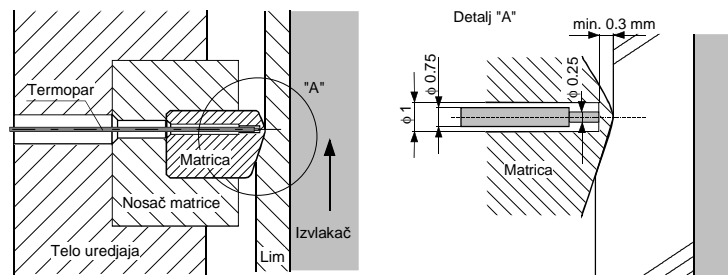


b)

Slika 2. Shema (a) i izgled modela (b) korišćenog u ovom radu

Za merenje temperature je korišćen termopar 8 koga je bilo potrebno postaviti što bliže kontaktnih kliznih površina. U tu svrhu izbušene su rupe kroz telo uređaja, nosač matrice kao i samu matricu (slika 3). Rupa u samoj matrici je trebala da ima ravno dno, zbog dobrog kontakta vrha termopara i matrice, što je postignuto bušenjem rupe \varnothing

1 mm na erozimat. Rastojanje između dna rupe i vrha nagiba matrice iznosilo je između 0.3 i 0.6 mm i mereno je za svaku rupu. Signal koji je dobijan od termopara pojačavan je na pojačivaču a onda odvođen do AD konvertora. Na slici 4 pokazano je postavljanje termopara u uređaj za ispitivanje.



Slika 3. Postavljanje termopara pri merenju temperature



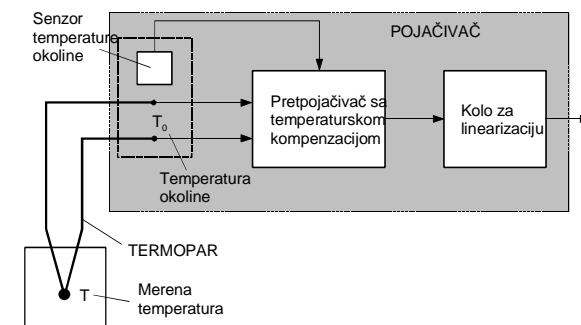
Slika 4. Izgled namontiranog termopara na uređaju

Na slici 5 je prikazana principna blok shema termopara sa pojačivačem [6]. Na ulazu pojačivača, pored referentnog spoja nalazi se senzor promena temperature okoline. Senzor utiče na izlazni napon pretpojačivača i kompenzuje promene temperature okoline. Izlazni napon termopara je nelinearna funkcija temperature. Signal iz pretpojačivača se vodi na kolo za linearizaciju koje na izlazu daje napon linearno srazmeran sa temperaturom. Kolo za linearizaciju ima strukturu nelinearnog pojačivača čija karakteristika "ispravlja" nelinearnost termopara.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Pri planiranju eksperimenata izvedenih u ovom radu, očekivano je da porast temperature neće da bude značajan, a što je kasnije samim eksperimentima i potvrđeno, s obzirom da na korišćenju laboratorijskoj presi nije bilo moguće ostvarivanje velikih brzina deformisanja ($v_{\max} = 250$ mm/min). Ipak temperatura je merena, više iz razloga da se pokaže kao mogućnost konstruisanog uređaja.

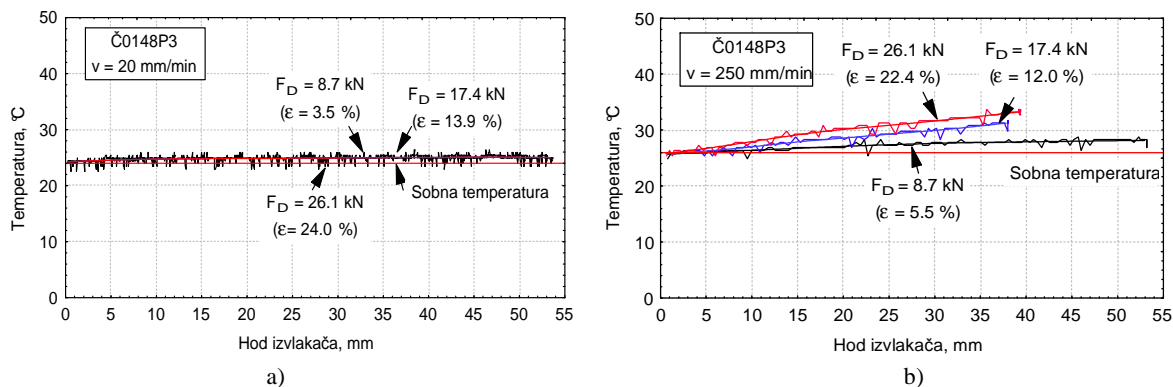
Temperatura je merena u toku celog puta klizanja za svaku epruvetu. Zavisnost promene temperature od puta klizanja pri različitim brzinama deformisanja i različitim silama držanja (različiti stepeni deformacije) data je na slikama 6 i 7. Dijagrami su dobijeni pri brzinama deformisanja (brzina hoda izvlakača) od 20 i 250 mm/min (0.00033 i 0.00417 m/s respektivno). Ostali parametri procesa za uzorke od Č0148P3 (fosfatna prevlaka) su:



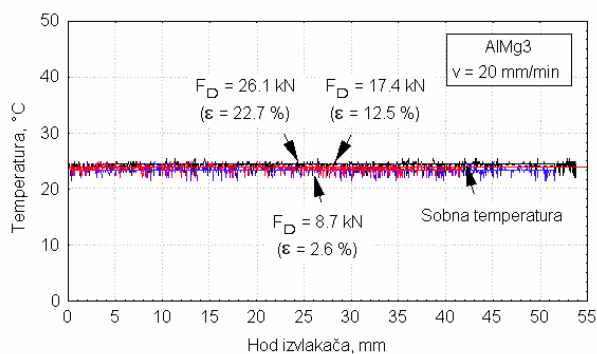
Slika 5. Blok shema merenja temperature

- ugao nagiba matrice: $\alpha = 10^\circ$,
 - materijal matrice/izvlakača: legirani alatni čelik (AC)/legirani alatni čelik (AC),
 - mazivo na matrici/izvlakaču: M1/M4,
 - hrapavost izvlakača: N1 ($R_a = 0.01 \mu\text{m}$),
- a za uzorke od AlMg3:
- ugao nagiba matrice: $\alpha = 10^\circ$,
 - materijal matrice/izvlakača: legirani alatni čelik (AC)/legirani alatni čelik (AC),
 - mazivo na matrici/izvlakaču: M5/M6,
 - hrapavost izvlakača: N1 ($R_a = 0.01 \mu\text{m}$).

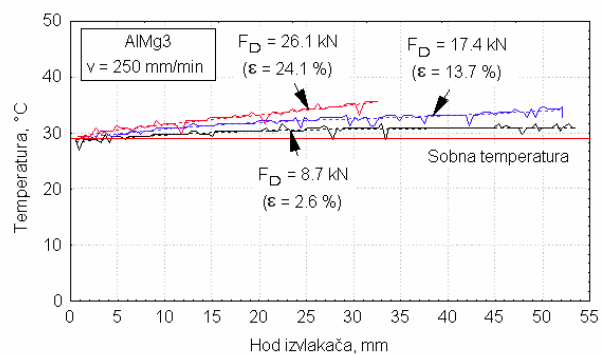
Pri brzini deformisanja od 20 mm/min, kod oba ispitivana materijala nije registrovano povećanje temperature na odgovarajućem putu klizanja (slike 6a i 7a). Sa povećanjem brzine deformisanja dolazi i do povećanja temperature. Takođe, sa povećanjem stepena deformacije, pri brzini deformisanja od 250 mm/min, uočen je porast temperature kod oba ispitivana materijala. Taj porast temperature u odnosu na temperaturu okoline (sobnu temperaturu) iznosio je svega nekoliko stepeni. Sobna temperatura nije posebno merena, već je smatrano da je je to temperatura prikazana na dijagramu kada je hod izvlakača jednak nuli. Treba istaći da je uvek vodjeno računa da između ispitivanja različitih epruveta protekne dovoljno vremena da se temperatura alata izjednači sa temperaturom okoline.



Slika 6. Promena temperature od hoda izvlakača pri različitim silama držanja (stepenima deformacije) za uzorke od AlMg3 kada je brzina deformisanja: a) 20 mm/min, b) 250 mm/min



a)



b)

Slika 7. Promena temperature od hoda izvlačkača pri različitim silama držanja (stepenima deformacije) za uzorke od Č0148P3 kada je brzina deformisanja: a) 20 mm/min, b) 250 mm/min

4. ZAKLJUČAK

Usled plastične deformacije materijala i trenja izmedju materijala obrade i alata dolazi do povećanja temperature, naročito pri većim brzinama deformisanja. Povišena temperatura u interfeisu može značajno da utiče na promenu karakteristika maziva, preko promene viskoznosti maziva. Takođe, povišena temperatura može da intenzivira proces habanja alata. Pri izvlačenju kalaisanih limova povišena temperatura će bitno da utiče na stanje kalajne prevlake. Iz napred navedenih razloga potrebno je voditi računa o generisanoj toploti u interfeisu, naročito pri većim brzinama deformisanja, i omogućiti njeno odvođenje iz kontakta pomoću sredstva za podmazivanje koje ujedno treba da ima i ulogu hlađenja. Istraživanja koja se bave ovom problematikom uglavnom se odnose na visokobrzinske procese dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine.

U ovom radu ispitivanja su izvodjena sa znatno manjim brzinama, tako da je i zabeleženo povećanje temperature znatno manje.

5. LITERATURA

- [1] Stolte E. (1962): *Martensitbildung in der Oberfläche Kochlenstoff haltiger Stähle als Folge Kurzeitiger intensiver Gleitreibung*, Techn. Mitteil., Krupp, No 14, 1962.
- [2] Barber J.R. (1967): *The influence of thermal expansion on the friction and wear process*, Wear, No 12, 1967.
- [3] Sauer R. (1994): High speed ironing of tinplate beverage cans, Metall, 48/12, 1994.
- [4] Kudo H. (1982), Tsubouchi M., Takada H., Okamura K.: *An Investigation into Plasto-hydrodynamic Lubrication with a Cold Sheet Drawing Test*, CIRP Ann., Vol. 31, No 1, 1982., 175-180
- [5] Adamović D.: *Ponašanje materijala u kontaktu pri procesima hladnog plastičnog oblikovanja sa visokim radnim pritiscima*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2002.
- [6] Stanković D. (1991): *Fizičko-tehnička merenja*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.

Autori: Dragan Adamović, Milentije Stefanović, Aleksandar Davinić, Bogdan Nedić, Mašinski fakultet Kragujevac, sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac.

E-mail: adam@kg.ac.yu

Babić, Ž., Aleksandrović, S., Stefanović, M., Šljivić, M.

ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA OBRADIVOSTI „TAILORED” LIMOVA

Rezime: U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja obradivosti plastičnim oblikovanjem „tailored” lima dobijenog laserskim zavarivanjem limova različitih debljina (0,8 mm i 1,5 mm) od istog materijala (čelik povišene čvrstoće sa BH efektom) i istog stanja površine (galvanski pocinkovano). Primenjeno je ispitivanje zatezanjem serije epruveta sa poprečno postavljenim laserskim zavarom u odnosu na uzdužnu osu epruvete. Definisani su sledeći pokazatelji obradivosti: osnovne mehaničke karakteristike, krive tečenja, r-faktor i n-faktor. Izvršena je analiza deformisanja svakog lima pojedinačno i zavarenog sklopa. Zaključci ukazuju na specifičan uticaj nehomogenosti koju čine različite debljine limova i zona zavara i upućuju na naredna ispitivanja sa uzdužnim i kosim položajima zavara u odnosu na pravac delovanja sile.

Ključne reči: „tailor welded blanks” limovi, duboko izvlačenje, obradivost

DETERMINATION OF TAILOR WELDED BLANKS FORMABILITY CHARACTERISTICS

Abstract: Presented in the paper are the results of experimental investigations of tailor welded blanks formability. Blanks were made by laser welding of two sheets with different thickness (0.8 mm and 1.5 mm), the same material (high strength steel with BH effect) and the same surface condition (galvanic zinc coating). Investigation by uniaxial tension were applied on series of specimens with transverse weld line. Following formability properties are determined: basic mechanical properties, strengthening curves, r-value and n-value. Forming analysis of each sheet separately and assembly was performed. Conclusions are pointing out specific influence of inhomogeneity caused by different thickness and welding zone and leading to further investigations with longitudinal and angled positions of welded line related to force action direction.

Key words: tailor welded blanks, sheet metals, deep drawing, formability

1. UVOD

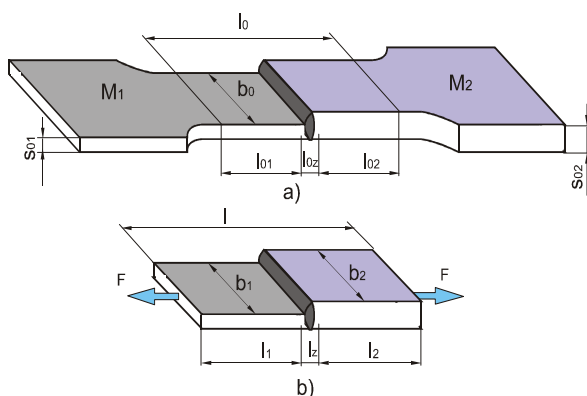
Pod terminom „tailored” limovi ili „tailor welded blanks” (TWB) podrazumevaju se prethodno isečeni („iskrojjeni”), a zatim laserski zavareni komadi od lima, čime se dobija jedinstvena celina koja predstavlja razvijeno stanje za operacije plastičnog oblikovanja, najčešće duboko izvlačenje. Komponente (komadi) u formiranom zavarenom sklopu mogu da budu sa različitim: debljinama (najčešće), vrstama materijala i kvalitetima površina i prevlaka. Primenom TWB postižu se značajni efekti (pre svega u automobilske industriji): smanjenje mase, povećanje krutosti, smanjenje ukupnih troškova proizvodnje (manji broj alata, smanjeno vreme projektovanja, manji broj radnih mesta itd.), [1, 2]. Tokom zadnje decenije registrovan je nagli porast primene TWB, naročito u industriji vozila. Procenjuje se da je 2001.g. globalno proizvedeno oko 120 miliona TWB delova. Taj broj je porastao u 2005.g. na oko 250 miliona delova (web sajтови [1]).

Plastično deformisanje TWB izvodi se u otežanim uslovima zbog izrazite nehomogenosti materijala (različite debljine, materijali, stanja površina). Procena obradivosti može da se izvede različitim eksperimentalnim testovima ili kompjuterskim simulacijama. Test jednoosnog zatezanja predstavlja osnovni, ali i najznačajniji izvor informacija o obradivosti TWB. Različiti autori primenjuju uzdužni položaj zavara (poklapa se sa osom standardne epruvete) [3, 4, 5], ili poprečni (upravan na osu epruvete) [5]. U istraživanjima koja su izvedena na Mašinskim fakultetima u Kragujevcu i Banja Luci primenjena su oba položaja zavarene zone, a u toku su eksperimenti sa kosim položajima zavara u odnosu na uzdužnu osu epruvete. Ovaj rad prikazuje rezultate za poprečni položaj zavara, koji je upravan na uzdužnu osu epruvete i nalazi se na polovini merne dužine od 80 mm.

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

2.1 Osnovni podaci o materijalu i eksperimentu

Ispitivanje se radi prema standardu EN 10002 u delu koji se odnosi na ispitivanje limova. Posebnih standarda za ispitivanje TWB nema. U konkretnom eksperimentu vrši se istivanje tri serije epruveta. Prva se odnosi na standardno ispitivanje tanjeg (0,8 mm) materijala, druga na ispitivanje debljeg (1,5 mm) materijala i treća na ispitivanje TWB sa poprečnim položajem zavara na sredini merne dužine od 80 mm. Širina epruvete je 20 mm (sl. 1). Limovi su od istog materijala koji po DIN-u ima oznaku ZStE 180 BH03ZE (odgovara brojnoj oznaci 1.0395). Reč je o niskougljeničnom čeličnom limu koji ima tzv. „bake hardening” efekat (BH) povećanja čvrstoće tokom procesa pečenja boje na karoseriji automobila. Na obe strane lima galvanskim putem naneta je prevlaka cinka. Hemijski sastav je dat u tabeli 1. Upadljiv je nešto veći sadržaj mangana. Analiza hemijskog sastava je



Slika 1. Epruveta pre (a) i posle (b) zatezanja

uradena u Laboratoriji preduzeća „Čajavec” – Banja Luka.

Materijal	Hemijski elementi				
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]
ZStE180 BH 0,8 mm	0,02	0,15	<0,05	0,010	0,014
ZStE180 BH 1,5 mm	0,03	0,15	<0,05	0,017	0,015

Materijal	Hemijski elementi			
	Cu [%]	Cr [%]	Ni [%]	Al [%]
ZStE180 BH 0,8 mm	0,028	0,03	0,03	0,07
ZStE180 BH 1,5 mm	0,028	0,04	0,03	0,061

Tabela 1 Hemijski sastav osnovnih materijala TWB

Zatezanje je izvedeno na kompjuterizovanom mernom sistemu Zwick/Roell Z 100 (merni opseg sile 100 kN, tačnost očitavanja sile 1 N, početna merna dužina ekstenzometra 80 mm, tačnost očitavanja izduženja 0,001 mm, softver-TestXpert ver. 1).

2.2 Rezultati eksperimenta

U tabelama 2 i 3 dati su, pored osnovnih mehaničkih karakteristika, koeficijent normalne anizotropije (r-faktor), eksponent ojačanja (n-faktor) i faktor $\Delta r = r_{\max} - r_{\min}$. Sve vrednosti su određene i s obzirom na ravansku anizotropiju. Referentni pravac je pravac valjanja (0°).

Materijal: ZStE180 BH s=0,8 mm				
Karakteristike	Ugao			Srednja vrednost
	0°	45°	90°	
Granica tečenja R_p [MPa]	202,10	211,5	197,45	205,64
Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	294,86	309,6	294,74	302,20
Odnos R_p/R_m	0,69	0,68	0,67	0,68
Prekidno izduženje A_{80} [%]	29,03	26,95	29,05	27,99
n-faktor	0,192	0,192	0,166	0,185
r-faktor	1,73	1,16	1,87	1,48
Δr -faktor				0,71

Tabela 2 Karakteristike tanjeg lima

Iz podataka datih u tabelama 2 i 3 zaključuje se da oba lima imaju osobine dobre plastičnosti i obradivosti. Visoka vrednost r-faktora garantuje otpornost prema stanjenju što je

ključno za duboko izvlačenje. Deblji lim ima i nešto veće vrednosti r-faktora, dok su vrednosti granice tečenja i zatezne čvrstoće generalno niže tako da se njihov odnos praktično ne menja.

Materijal: ZStE180 BH s=1,5 mm				
Karakteristike	Ugao			Srednja vrednost
	0°	45°	90°	
Granica tečenja R_p [MPa]	174,35	183,8	182,36	181,05
Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	262,17	263,7	263,76	263,36
Odnos R_p/R_m	0,67	0,70	0,69	0,69
Prekidno izduženje A_{80} [%]	36,69	35,05	35,43	35,56
n-faktor	0,217	0,193	0,214	0,204
r-faktor	1,79	1,35	2,07	1,64
Δr -faktor				0,72

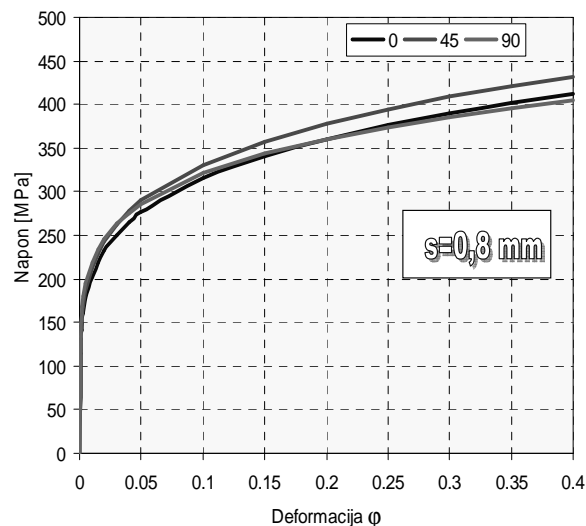
Tabela 3 Karakteristike debljeg lima

U tabeli 4 dat je pregled aproksimativnih funkcija krivih ojačanja s obzirom na ravansku anizotropiju. Grafički prikaz krivih ojačanja je dat na slikama 2 i 3. Treba naglasiti da oba lima imaju veoma dobru plastičnost i relativno malu čvrstoću. Međutim, pokazatelji čvrstoće dati u tabelama 2, 3 i 4 nisu konačni zbog BH efekta koji se aktivira plastičnom deformacijom i procesom pečenja boje i može da rezultira povećanjem čvrstoće oko 20% [6].

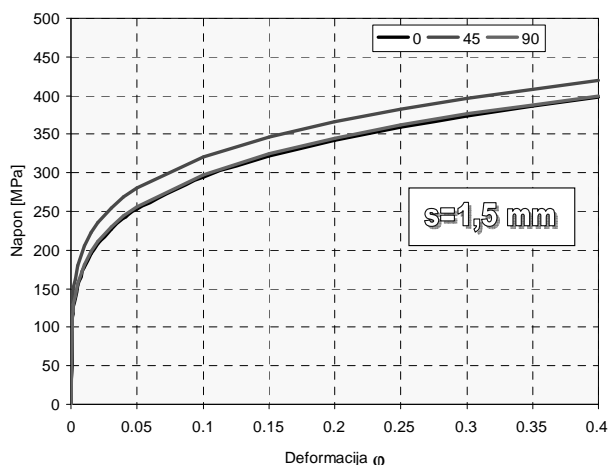
Materijal	Ugao	Analitički oblik krive ojačanja
s=0,8 mm	0°	$K=490,72 \varphi^{0,192}$ $K=202,10+322,20 \varphi^{0,443}$
	45°	$K=514,91 \varphi^{0,192}$ $K=211,49+338,25 \varphi^{0,440}$
	90°	$K=470,58 \varphi^{0,166}$ $K=197,45+303,10 \varphi^{0,395}$
	Xsr	$K=497,78 \varphi^{0,185}$ $K=205,63+325,45 \varphi^{0,429}$
s=1,5 mm	0°	$K=485,54 \varphi^{0,217}$ $K=174,35+325,45 \varphi^{0,540}$
	45°	$K=500,02 \varphi^{0,193}$ $K=183,80+353,38 \varphi^{0,595}$
	90°	$K=486,44 \varphi^{0,214}$ $K=182,26+339,10 \varphi^{0,557}$
	Xsr	$K=493,01 \varphi^{0,204}$ $K=181,05+347,21 \varphi^{0,572}$

Tabela 4 Krive ojačanja osnovnih materijala u analitičkom Obliku

Kod zatezanja epruvete izrađene od TWB sa poprečnim položajem linije zavora ukupna deformacija početne merne dužine l_0 (sl. 1) može da se podeli u tri zone: deformacija tanjeg materijala, deformacija debljeg materijala i deformacija zone zavora. Zona zavora ima znatno veću čvrstoću, malu plastičnost i malu dužinu (reda veličine 1 mm) pa se njeno učešće zanemaruje. Vrednosti deformacija zavise od mehaničkih karakteristika limova, intenziteta ojačanja kao i odnosa debljina.



Slika 2. Krive ojačanja (gornja kriva važi za ugao 45°)



Slika 3. Krive ojačanja (gornja kriva važi za ugao 45°)

Ako se razmotri opšti slučaj deformisanja TWB od različitih materijala na sl. 4 vide se tri faze procesa. Da bi došlo do plastične deformacije i tanjeg i debljeg lima, maksimalna sila koju može da izdrži tanji materijal mora u debljem limu da izazove napon veći od granice tečenja.

Prethodni uslov može da se izrazi na sledeći način:

$$R_{m1} s_{o1} b_0 > R_{p2} s_{o2} b_0 \quad (1)$$

Nejednakost (1) u konkretnom slučaju može da se iskoristi za definisanje potrebnih debljina limova da bi se obe strane TWB plastično deformisale. Ako se fiksira debljina $s_{o1}=0,8$ mm onda:

$$s_{o2} < s_{o1} \frac{R_{m1}}{R_{p2}} = 0,8 \cdot \frac{294,74}{183,36} = 1,29 \text{ mm} \quad (2)$$

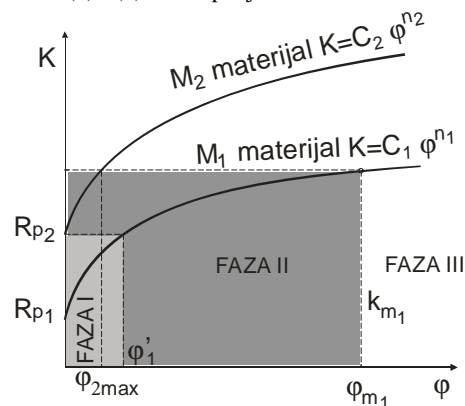
Očigledno, u razmatranom primeru uslov (2) nije ispunjen što znači da se izdužuje samo tanji deo TWB.

Ako se fiksira $s_{o2}=1,5$ mm onda važi:

$$s_{o1} > s_{o2} \frac{R_{p2}}{R_{m1}} = 1,5 \cdot \frac{183,36}{294,74} = 0,93 \text{ mm} \quad (3)$$

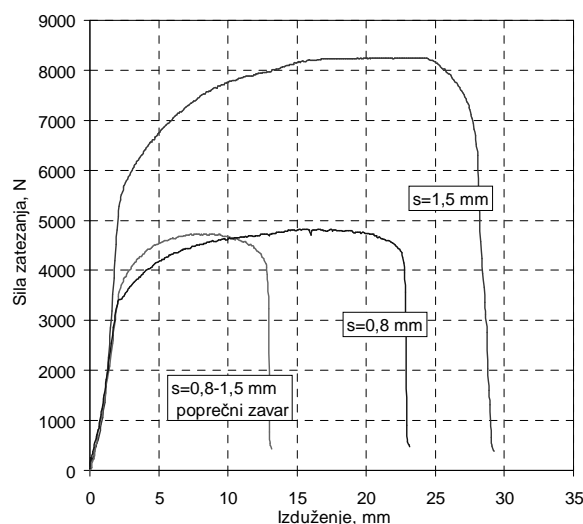
Uslov (3) znači da ako deblji lim ima 1,5 mm, tanji mora da bude minimalne debljine 0,93 mm da bi se trajno deformisale obe strane TWB.

Kako uslovi (2) i (3) nisu ispunjeni deformiše se samo tanja



Slika 4. Faze zatezanja TWB

zona TWB, što se i vidi na sl. 5. Maksimalna ostvarena sila zatezanja za TWB približno je jednaka maksimalnoj sili za tanji lim. Izduženje je znatno manje.



Slika 5 Zavisnost sila zatezanja od izduženja

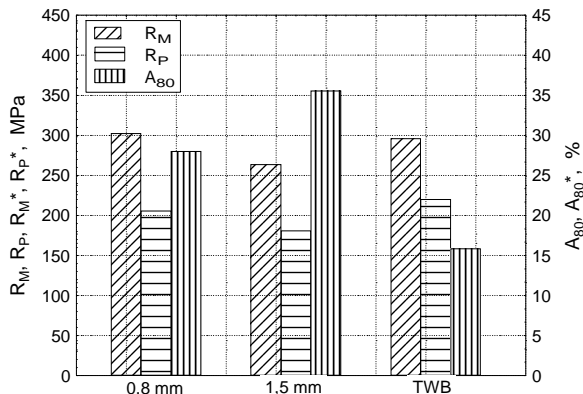
Treba naglasiti da se pri oblikovanju delova složenih geometrija dubokim izvlačenjem plastično deformišu i jedan i drugi lim zbog drugačijih naponsko deformacionih uslova (geometrija, tribološki uslovi itd.), [7]. Neodgovarajuće tumačenje rezultata ispitivanja zatezanjem može dovesti do greške.

Ako su poznate mehaničke karakteristike nezavarenih osnovnih materijala, nije moguće odrediti karakteristike TWB. U slučajevima kad se plastično deformiše samo tanji materijal, naponske karakteristike (na pr. zatezna čvrstoća i granica tečenja) važe sa manjom razlikom i za TWB. Ako se deformišu oba lima to nije slučaj. Karakteristike deformacija (kao što su ravnomerno izduženje A_g i maksimalno izduženje A_{80}) se u svakom slučaju bitno razlikuju. Zato se kod TWB ne može govoriti o izduženjima definisanim u standardima. Zbog toga su odgovarajuće vrednosti u tabeli 5 i na sl. 6 označene zvezdicama.

U konkretnom ispitivanju, razaranje (lom epruvete) se dogodilo približno na polovini rastojanja između linije zavora i početka proširenja tanjeg dela epruvete.

	R_M , MPa	R_p , MPa	A_{80} , %
Lim 0,8 mm	302,2	205,64	27,99
Lim 1,5 mm	263,36	181,05	35,56
TWB	295,93	220	15,86

Tabela 5 Osnovne mehaničke karakteristike



Slika 6. Osnovne mehaničke karakteristike

Zavisno od odnosa koji karakterišu kvalitet materijala i odnosa debljina limova, mogući su različiti slučajevi plastičnog deformisanja delova epruvete od TWB limova pri zatezanju. U slučaju da su oba dela epruvete od istog materijala i iste debljine dolazilo bi do ravnomernog izduženja obe polovine epruvete jer bi se zavar zbog veće čvrstoće i malih dimenzija neznatno deformisao. Kada postoji razlika u karakteristikama materijala ili debljini lima (ili i jedno i drugo) situacija je složenija i treba pažljivo analizirati rezultate ispitivanja zatezanjem.

3. ZAKLJUČAK

Tailor Welded Blanks (TWB) limovi predstavljaju anizotropan i izrazito nehomogen materijal. U postupku definisanja obradivosti ovakvih limova plastičnim deformisanjem (najčešće dubokim izvlačenjem) prvi i veoma značajan eksperiment je ispitivanje jednoosnim zatezanjem. Obično se sastoji iz tri dela. Prvi je ispitivanje tanjeg materijala, drugi – ispitivanje debljeg i treći – ispitivanje TWB lima. Umesto promenljive debljine, može da bude razlika u karakteristikama materijala i stanju površine.

U ovom radu su, ukratko, izloženi rezultati ispitivanja TWB od limova različitih debljina sa analizom uslova deformisanja. U okviru rezultata određene su: osnovne mehaničke karakteristike (zatezna čvrstoća R_M , granica tečenja R_p i maksimalno izduženje A_{80}), eksponent deformacionog ojačanja (n-faktor), koeficijent normalne anizotropije (r-faktor) i krive ojačanja (dva tipa analitičkih eksponencijalnih aproksimacija). Sve karakteristike su određene vodeći računa o ravanskoj anizotropiji, tako da su epruvete isecane u tri pravca u odnosu na referentni pravac valjanja (0° , 45° , 90°). Definisane su i osrednjene vrednosti i Δr – faktor koji predstavlja razliku između maksimalne i minimalne vrednosti r faktora.

Pokazano je da je test jednoosnog zatezanja nezamenljiv i u ovom slučaju. Dati su uslovi plastičnog deformisanja obe polovine epruvete od TWB i naglašena ograničenja koja se pre svega odnose na nemogućnost definisanja karakteristika TWB na osnovu poznatih karakteristika osnovnih limova. Definisanje karakteristika TWB nije moguće u smislu postojećih standarda. Zavarena zona je izrazito mala zbog poznatih osobina postupka laserskog zavarivanja i ima čvrstoću znatno iznad čvrstoće osnovnih materijala, tako da, praktično, ne učestvuje u deformisanju. Treba, na kraju, naglasiti da osobine procesa jednoosnog deformisanja ne treba generalizovati na opštiji slučaj plastičnog deformisanja pri dubokom izvlačenju i savijanju koji dominiraju kod složenih karoserijskih otpresaka. Karakteristike imaju univerzalnu vrednost ali osobenosti deformisanja ne. Primer se vidi u ovom radu kada se plastično deformiše samo tanja polovina epruvete. To ne znači da se kod složenih otpresaka deformiše samo tanji lim, nego upozorava na pažljivu analizu i pravilno korišćenje dobijenih rezultata.

U okviru sveobuhvatnijeg istraživanja, čiji je jedan deo ukratko prezentiran u ovom radu, analizirano je i jednoosno zatezanje TWB sa uzdužnim položajem linije zavaru u odnosu na podužnu osu epruvete, odnosno, na pravac delovanja sile. Naredno istraživanje (koje je u toku) obuhvatiće jednoosno zatezanje TWB sa kosim položajima linije zavaru prema uzdužnoj osi epruvete, odnosno pravcu delovanja zatežuće sile.

4. LITERATURA

- [1] Babić Ž.: *Deformabilnost „tailored blanks” pri dubokom izvlačenju*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2004.
- [2] Babić Ž.: *Razvlačenje „tailored blanks” od materijala različite debljine*, Zbornik 31. SPM SCG, str. 153-158, Kragujevac, 2006.
- [3] Brabie G., Chirita B., Chirila C.: *Determination of the weld metal properties and behaviour in the case of tailor-welded blanks using the parallel tensile test and image-analysis method*, Archives of civil and mechanical engineering, 41-47, 2 (2004).
- [4] Abdullah K. et al.: *Tensile testing for weld deformation properties in similar gage tailor welded blanks using the rule of mixtures*, Journal of Mat. Process. Techn., 91-97, 112 (2001).
- [5] Panda S. K. et al.: *Characterization of tensile properties of tailor welded IF steel sheets and their formability in stretch forming*, Journal of Mat. Process. Techn., 321-332, 183 (2007).
- [6] Aleksandrović S., Stefanović M., Mandić V., Vujinović T.: *Perspektive primene i aktuelna pitanja obradivosti limova povišene čvrstoće*, Zbornik DEMI 2003., str. 79-84, Banja Luka, RS, BiH, 2003.
- [7] Stefanović M.: *Tribologija dubokog izvlačenja*, monografija, JDT i Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.

Web sajtovi:

- [1] www.autosteel.org

Autori: Babić, Ž., Aleksandrović, S., Stefanović, M., Šljivić, M.

Bozalo, G., Vilotić, D., Plančak, M., Stefanović, M.

PARAMETRI PROFILISANJA PRI VIŠEFAZNOM OBLIKOVANJU U-PROFILA POMOĆU VALJAKA

Rezime: Oblikovanje pomoću valjaka je veoma produktivan proces izrade profila od lima. Proizvodi dobijeni oblikovanjem lima pomoću valjaka imaju široku primenu, npr. u auto industriji, industriji nameštaja, građevinarstvu i sl. Oblikovanje pomoću valjaka je postupak gde se savijanje izvodi postepeno u nekoliko faza oblikovanja od nedeformisane ravne trake do konačnog profila. Brzina obrade lima ovim procesom je vrlo velika. Cilj ovog rada je istraživanje promene ugla savijanja, dužine zone deformacije i uzdužne deformacije u zavisnosti od visine bočne strane profila. To je značajno jer rezultati mogu biti upotrebljeni za određivanje broja faza oblikovanja, priraštaja ugla savijanja i rastojanja između valjaka pri konstruisanju mašina za oblikovanje pomoću valjaka.

Cljučne reči: Profilno savijanje pomoću valjaka, Dužina zone deformacije, Uzdužna deformacija, Ugao savijanja, Visina profila

PARAMETERS FORMING PROCESS IN ROLL FORMING U-CHANNEL

Abstract: Roll forming is a highly productive sheet metal forming process. Roll forming products could be found in many applications, for example vehicles, furniture and in the building industry. Roll forming is a bending process where the bending occurs gradually in several forming steps from an undeformed to a finished profile. Sheet metal roll forming speed with this process is very high. The objective of this study is to research the change in the bend angle, deformation length and longitudinal strain when the flange length increases. This is important because it can be used to determine the number of forming steps and bend angle increment and distance between rollers when designing the roll forming machine.

Key words: Roll forming, Deformation length, Longitudinal strain, Bend angle, Flange length

1. UVOD

Oblikovanje profila pomoću valjaka je jedna od metoda izrade profila od lima hladnom deformacijom. To je postupak višefaznog kontinualnog oblikovanja profila različitog oblika i dimenzija od različitih materijala (čelični lim, lim od obojenih metala i njihovih legura, pocinkovani lim, obojeni lim, lim presvučen plastičnim prevlakama, perforirani lim i dr.). Oblik poprečnog preseka profila koji se izrađuje savijanjem pomoću valjaka može biti veoma različit. Osnovna karakteristika profilisanja pomoću valjaka je postupnost formiranja zadatog oblika (višefazno oblikovanje) koje se postiže prolaskom obratka kroz veći broj jedinica savijanja.

Masovna proizvodnja pojedinačnih profila i talasastih limova izvodi se na mašinama za profilisanje pomoću valjaka. Proizvodnost ovih mašina kreće se i do 180 m/min. Pri ovakvoj obradi traka od lima prolazi kroz seriju profilisanih valjaka, a savijanje se postupno obavlja na svakoj pojedinačnoj poziciji. Odsecanje profila na potrebnu dužinu vrši se pokretnim ("letećim") makazama.

Hladno oblikovani profili primenjuju se kao zamena za toplovaljane profile i po kvalitetu imaju čitav niz prednosti. Hladno oblikovani profili omogućuju najracionalnije iskorišćenje materijala s obzirom na nosivost. Primena hladno oblikovanih profila uslovljena je razvojem novih konstrukcija u oblasti automobilske industrije, vazduhoplovne tehnike, železnice, poljoprivrednih mašina, aparata za domaćinstvo, elektroindustriji i drugih oblasti tehnike.

Razvoj i primena postupka obrade hladnim deformisanjem zasniva se na prednostima samog procesa deformisanja:

- dobijanje proizvoda poboljšanih mehaničkih osobina (povećanje granice tečenja, čvrstoće, žilavosti, i dr.),
- visok kvalitet površina (mogu se dobiti obratci kvaliteta IT 6),

- visoka tačnost oblika i dimenzija,
- visoka produktivnost procesa,
- ušteda materijala,
- niska cena po jedinici proizvoda.

Jedno od osnovnih pitanja pri projektovanju tehnologije profilisanja pomoću valjaka je veličina ugla savijanja po fazama savijanja.

Pregledom specijalizovane literature iz oblasti profilnog savijanja pomoću valjaka ustanovljeno je da ugao savijanja značajno utiče na broj operacija oblikovanja i na troškove proizvodnje. Racionalna proizvodnja profila zahteva maksimalne vrednosti ugla savijanja po fazama oblikovanja.

Faktori koji značajno utiču na ugao savijanja su: oblik i dimenzije profila, debljina lima, vrste materijala itd. Detaljniji podataka o uglovima savijanja po fazama oblikovanja nema u dostupnoj literaturi. Ovaj problem delimično se rešava simulacijom procesa profilisanja, uz upotrebu veoma skupog specijalizovanog softvera.

Mašine za savijanje pomoću valjaka su često ograničene brojem stanova za profilisanje. Sa stanovišta ekonomičnosti vrlo je bitno smanjiti broj faza na minimalan broj, odnosno odrediti maksimalnu vrednost ugla savijanja po pojedinim fazama, kako bi se umanjio broj faza oblikovanja i smanjili troškovi alata.

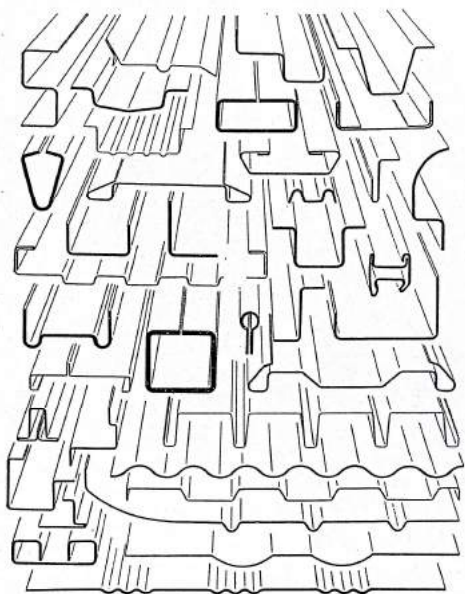
Cilj istraživanja čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu je eksperimentalno određivanje ugla savijanja po fazama profilisanja pri oblikovanju U-profila.

Eksperimentalno istraživanje ugla savijanja obavljeno je u realnim uslovima profilisanja na mašini za profilisanje DREISTERN, Nemačka.

Dobijeni rezultati se mogu koristiti kao preporuka ugla savijanja pri projektovanju tehnologije profilisanja U- profila pomoću valjaka.

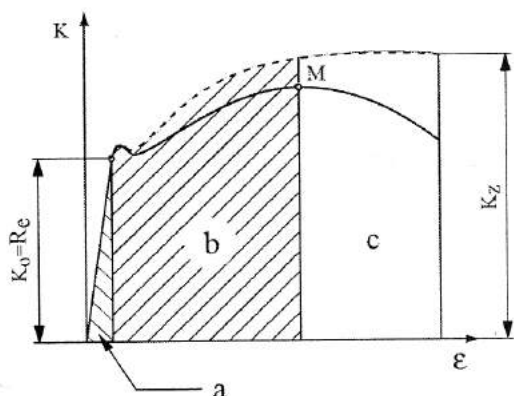
2. TEORIJSKE OSNOVE PROFILISANJA POMOĆU VALJAKA

Savijanjem pomoću valjaka izrađuju se veoma različiti oblici poprečnog preseka profila. U obradne sisteme za profilisanje pomoću valjaka lako se uključuju i drugi agregati koji omogućuju izvođenje dodatnih operacija kao što je perforiranje lima, spajanje zavarivanjem i savijanjem i dr. Pojedinačni profili mogu biti: otvoreni i zatvoreni, ravnokraki i raznokraki, kutijasti, koritasti, ugaoni, profili L, U, C, Z oblika itd. Talasasti limovi se izrađuju sa naizmeničnim i pojedinačnim talasima, a mogu imati uzdužna i poprečna ojačanja (orebrenja).



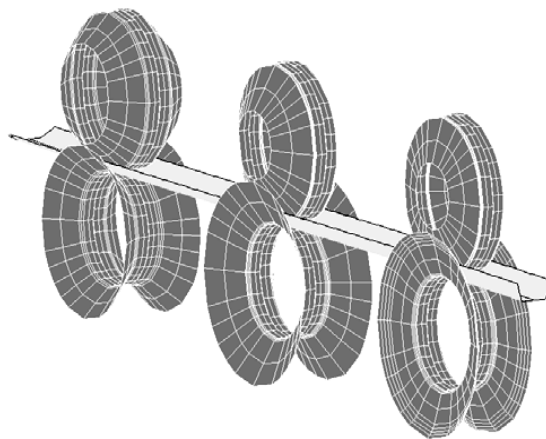
Slika 1. Poprečni preseki profila koji se izrađuju savijanjem pomoću valjaka [3]

Sa stanovišta primene savijanja u tehnologiji plastičnog deformisanja značajno je područje elastično-plastične i plastične deformacije. Elastično-plastično savijanje pojavljuje se u slučaju većih radijusa savijanja, na primer pri kružnom savijanju pomoću valjaka, dok tzv. čisto plastično savijanje nastaje savijanjem u alatima sa malim radijusima savijanja.



Slika 2. Deformacije pri savijanju
a – elastične, b – elastično-plastične, c – plastične [1]

Postupnost formiranja zadatog oblika (višefazno oblikovanje) je osnovna karakteristika profilisanja pomoću valjaka koje se postiže prolaskom obratka kroz veći broj jedinica za savijanje (slika 3).



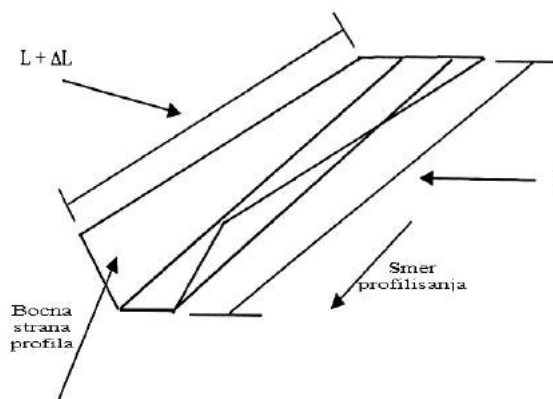
Slika 3. Postupno formiranje profila pomoću valjaka [4]

Vrsta profila	Faze obrade	Ugao savijanja za režim profilisanja	
		pojedinačni $\Delta\alpha^\circ$	kontinualni $\Delta\alpha^\circ$
U-profil	prva	8 - 10	20
	sledeća	12 - 14	15 - 20
	poslednja	2 - 8	15

Tabela 1. Orijentacione vrednosti ugla savijanja [2]

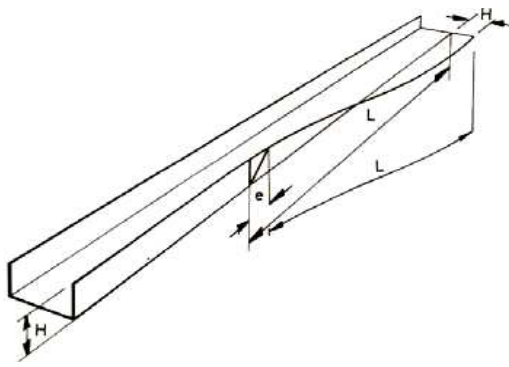
U tabeli 1 dati su podaci o uglu savijanja za pojedine faze obrade (prva, sledeća, poslednja) pri oblikovanju U-profila profilisanjem pomoću valjaka.

Pri profilnom savijanju pomoću valjaka dolazi do povećanja dužine ivice trake lima između dve faze profilisanja (slika 4). Tu dužina se naziva dužina zone deformacije i veća je od dužine u zoni savijanja. Traka se podužno isteže na delu bliže ivicama, tj. profil je opterećen i na krajevima. Značaj poznavanja dužine zone deformacije za određeni profil je u tome što se na osnovu nje određuje i ugao savijanja po fazama profilisanja i rastojanje između dve susedne koraka. Sa povećavanjem granice razvlačenja dolazi do smanjenja maksimalnih uzdužnih deformacija i smanjenja dužine zone savijanja. Maksimalna uzdužna deformacija i dužina zone deformacija opadaju sa porastom debljine lima.



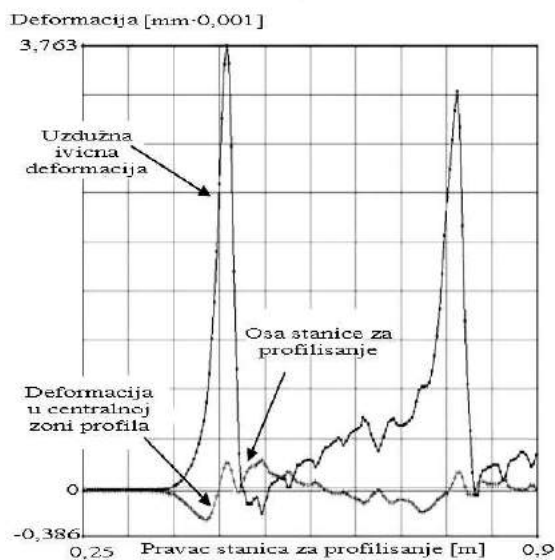
Slika 4. Izduženje trake ΔL između dva faze profilisanja

Traka na ivica ima veću dužinu u fazi savijanja nego traka na ivici pre savijanja. Ta razlika ima za rezultat izduženje (e) na ivici trake. Na slici 5 sa (H) je označena visina stranice, sa (L) dužina zone savijanja i sa (e) izduženje ruba trake.



Slika 5. Izduženje trake

U radu [4] izvršena su eksperimentalna istraživanja deformacija u procesu profilnog savijanja. Rezultati ovih istraživanja dati su na slici 6. Uzdužna ivična deformacija (izduženje) javlja se između stanica za profilisanje i ima brz rast do maksimalne vrednosti neposredno ispred sledeće stanice za profilisanje. Uzdužna deformacija ima maksimalne vrednosti tačno ispred tačke kontakta između gornjih i donjih valjaka. Ova deformacija naglo opada približavanjem osi stanice za profilisanje. Deformacija u centralnoj zoni profila (izduženje i sabijanje) je takođe prikazana na slici 6, i ona je manjeg inteziteta jer se javlja i sabijanje.



Slika 6. Istorija deformacije za deformacije u centralnoj zoni profila i uzdužne ivične deformacije prikazane u dve stanice profilisanja [4]

Izraz za dužinu zone deformacije (L), dat je u radu Lindgren-a [4], i glasi

$$L = \sqrt{\frac{8a^3 \Delta\theta}{3t}} \quad (1)$$

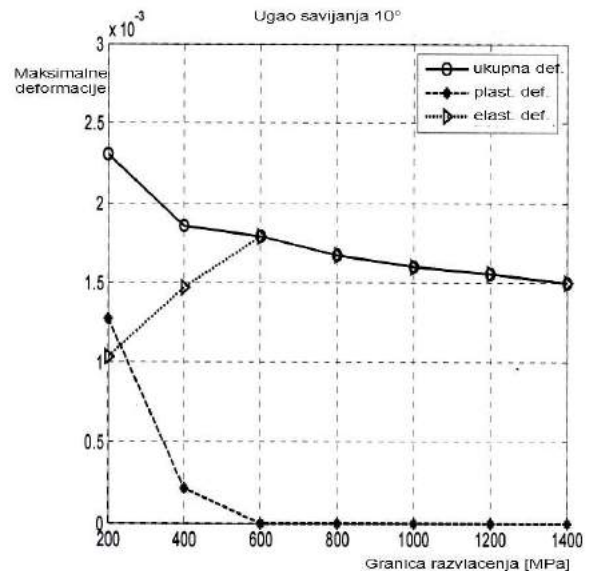
gde ($\Delta\theta$) je priraštaj ugla savijanja, (t) je debljina materijala i (a) je visina U-profila.

Uzdužna stvarna deformacije (izduženje) na ivici bočne strane prema [4], je

$$\varepsilon = \sqrt{1 + 2\left(\frac{a}{L}\right)^2 (1 - \cos\theta)} - 1 \quad (2)$$

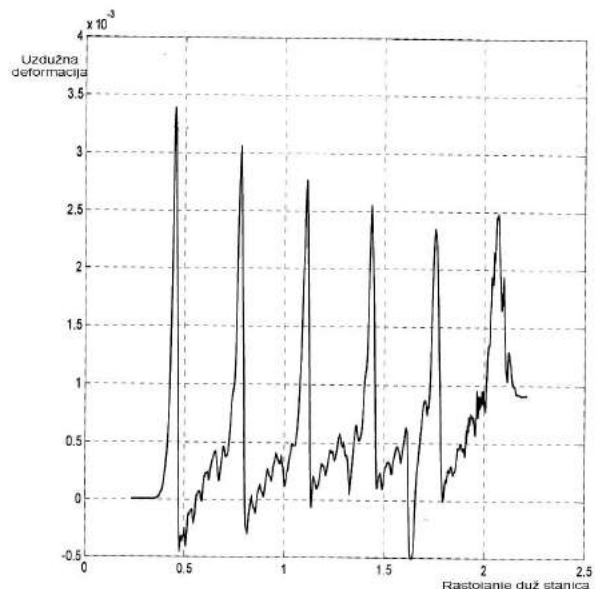
Ovde je deformacija prikazana kao jedoobrazna u zoni deformacije i nezavisna od osobina materijala.

Ukupna deformacija se sastoji od elastičnih i plastičnih deformacija. Ona opada kada granica razvlačenja raste (u ovom slučaju ugao savijanja je 10°) slika 7.



Slika 7. Zavisnost ukupne deformacije od granice razvlačenja za ugao savijanja 10° [4]

Na slici 8 prikazane su vrednosti maksimalne deformacije dobijeni u radu Lindgren-a [4]. Priraštaj ugla savijanja je konstantan (15°), za ukupno savijanje $0^\circ - 90^\circ$.



Slika 8. Rezultati simulacije u radu Lindgren-a [4]

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Postupak obrade lima pomoću valjaka je postupak masovne proizvodnje sa velikom tačnošću. Ipak, pri oblikovanju lima pomoću valjaka mogu se pojaviti greške na konačnom profilu, kao što je uvijanje, prošireni krajevi, uvijeni zadnji delovi, talasavost bočne strane profila i sl. Greške se javljaju zato što postupak nije dobro projektovan, i to zbog malog broja faza profilisanja usled kojih zaostali naponi proizvode nepoželjne i nekontrolisane deformacije.

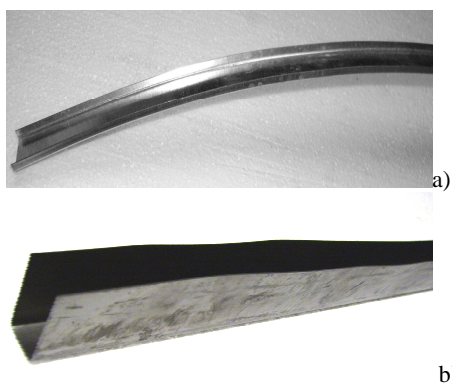
U ovom eksperimentu vršeno je ispitivanje uticaja visine kraka profila na mogućnost oblikovanja i kvalitet pri savijanju U-profila, u realnim uslovima eksploatacije (slika 9).

Na slici 10a prikazana je jedna od grešaka profilisanja, talasavost bočne strane U-profila.



Slika 9. Realni uslovi izrade U-profila

Oblikovanjem profila sa malom visinom zbog veće uzdužne deformacije (izduženja) bočne strane dolazi do povijanja kompletnog profila prema dole (slika 10b). Povećanjem bočne strane profila to povijanje se smanjuje.



Slika 10. Greške profila oblikovanog pomoću valjaka

Eksperimentalnim istraživanjem (slika 11) su utvrđene granične vrednosti visine bočne strane U-profila pri kojima ne dolazi do pojave talasavosti. Korišćene su četiri faze profilisanja (0° - 20° - 45° - 70° - 90°) i tri debljine lima (tabela 2).

Debljina trake (t)	Širina prilika (b)	Ukupan broj faza profilisanja	Eksperimentalna maksimalna visina profila (a)
0,5 mm	30 mm	4	20 mm
1,0 mm	30 mm	4	30 mm
1,5 mm	30 mm	4	40 mm

Tabela 2. Maksimalna visina profila (a) u zavisnosti od debljine trake



Slika 11 . Pripremak (a), traka u zahvatu valjaka (b) i konačan U- profil (c)

Primenom izraza (1) izračunava se visina profila (a):

$$a = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot t \cdot L^2}{8 \cdot \Delta \theta}} \quad (3)$$

Za konkretne eksperimentalne uslove ($L = 190$ mm, $\Delta \theta = 20^{\circ} = 0,349$ rad) teoretske vrednosti visine U-profila izračunate izrazom (1) date su u tabeli 3.

Debljina trake (t)	Širina prilika (b)	Ukupan broj faza profilisanja	Izračunata visina profila (a)
0,5 mm	30 mm	4	26,86 mm
1,0 mm	30 mm	4	33,85 mm
1,5 mm	30 mm	4	38,75 mm

Tabela 3. Visina profila (a) u zavisnosti od debljine trake izračunata iz izraza (3)

Eksperimentalni rezultati su bolje poklapaju sa teoretskim rezultatima (jednačina 3) za veće visine profila.

4. ZAKLJUČAK

Za optimalno projektovanje procesa profilnog savijanja pomoću valjaka kao i za pravilno određivanje broja faza i konstrukciju valjka neophodno je poznavati sve relevantne parametre procesa deformisanja. Neki od tih parametara su ugao savijanja, dužina zone savijanja i uzdužna deformacija.

Na osnovu rezultata ispitivanja prikazanih u ovom radu sledi:

- maksimalna uzdužna deformacija i dužina zone deformacija opadaju sa porastom debljine lima,
- maksimalna uzdužna deformacija i dužina zone deformacija rastu sa priraštajem ugla savijanja,
- dužina zone deformacija se povećava sa porastom visine profila,
- pri profilisanju sa konstantnim uglom savijanja po fazama maksimalna uzdužna deformacija opada,
- maksimalna visina profila se povećava sa povećanjem debljine lima za isti broj koraka profilisanja,
- maksimalna uzdužna deformacija se smanjuje a dužina zone deformacija se povećava sa povećanjem granice razvlačenja.

Ovi rezultati mogu biti upotrebljeni u definisanju broja faza profilnog savijanja pomoću valjaka za oblikovanje U-profila, sa minimalnom plastičnom deformacijom na ivici bočne strane profila.

5. LITERATURA

- [1] Plančak, M., Vilotić, D.: *Tehnologija plastičnog deformisanja*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [2] Plančak, M., Vilotić, D., Vujović, V.: *Tehnologija plastičnosti u mašinstvu II*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1992.
- [3] Тришевский и др.: *Производство гнутых профилей*, Металлургия, Москва, 1982.
- [4] Lindgren, M.: *Modelling and simulations of roll forming process*, Dalarna University, Borlange, 2005.
- [5] Musafija, B.: *Obrada metala plastičnom deformacijom*, Svjetlost, Sarajevo, 1972.

Autori: Dipl. ing. maš. Gordan Bozalo, Fabrika svetiljki JIT-TEHNIC, Branka Erića bb, 22240 Šid, Srbija, Tel.: +381 64 822-7908, +381 22 711-450, Fax: +381 22 716-519,

Prof. dr Dragiša Vilotić, Prof. dr Miroslav Plančak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2349, Fax: +381 21 454-495,

Prof. dr Milentije Stefanović, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel.: +381 34 336-001.

E-mail: g.bozalo@jit-tehnic.co.rs
vilotic@uns.ns.ac.yu
plancak@uns.ns.ac.yu
stefan@kg.ac.yu

Jelača, R., Vilotić, D., Plančak, M.

ANALIZA SABIJANJA VALJKA POMOĆU KALUPA SA DVOSTRUKIM KANALIMA

Rezime: Slobodno sabijanje valjka predstavlja elementarnu operaciju koja se izvodi u hladnom ili toplom stanju i često predstavlja početnu fazu oblikovanja kod tehnoloških procesa zapreminskog deformisanja. Alati koji se koriste u ovom procesu mogu biti različitog oblika, što se direktno odražava na naponsko-deformaciono stanje i deformabilnost materijala.

U ovom radu analizirano je naponsko-deformaciono stanje pri sabijanju valjka kalupima sa dvostrukim kanalima. Dobijeni rezultati upoređeni su sa eksperimentom i vrednostima dobijenim metodom konačnih elemenata za materijal Č4146 (EN:100Cr6).

Cljučne reči: Naponsko-deformaciono stanje, Deformaciona sila, Sabijanje valjka, Kalupi sa dvostrukim kanalima

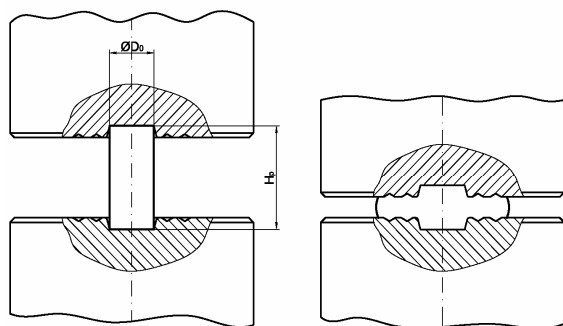
ANALYSIS OF CYLINDER UPSETTING PROCESS BY DIES WITH TWO CONCENTRIC CHANNELS

Abstract: Upsetting of cylinder is one of the elementary bulk metal forming operation which can be performed in cold or hot state. This operation can be performed by dies different than flat, which influences on stress-strain state and metal formability. This paper describes stress-strain analysis at cold upsetting by dies with two concentric channels. Theoretical Slab method has been used to obtain stress distribution over die – workpiece contact surface and forming load. Experiments have been performed using steel specimens Č4146 (EN:100Cr6).

Key words: Forming load, Stress-strain state, Cylinder Upsetting, Dies with concentric Channels

1. UVOD

Sabijanje valjka ravnim pločama predstavlja elementarnu operaciju zapreminskog oblikovanja. Pored ravnih ploča sabijanje valjka je često izvedeno primenom alata različitog oblika: cilindrični, sferični, konusni, izdubljeni, [1,2,3,7,8,9,10]. Mnogi od ovih modela zastupljeni su u različitim operacijama zapreminskog deformisanja kao što su istiskivanje i kovanje. Takođe koriste se u određivanju dijagrama granične deformabilnosti.



Slika 1. Sabijanje valjka kalupima sa dvostrukim kanalima

U okviru ovoga rada izvršena je analiza naponsko-deformacionog stanja i parametara procesa pri sabijanju valjka od materijala Č4146 (EN 100Cr6) pomoću kalupa sa dvostrukim kanalima.

Teorijsko utvrđivanje naponskog stanja, izvedeno je metodom rešavanja približne jednačine ravnoteže – metoda ravnih preseka. Na osnovu naponskog stanja određena je deformaciona sila, a dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima analize metodom konačnih elemenata [9] i eksperimentom. Eksperimentalna provera rezultata izvedena

je na presi Sach and Kiselbach nominalne sile 6,3 MN u Laboratoriji za tehnologije plastičnog deformisanja Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

2. Teorijska analiza procesa sabijanja valjka pomoću kalupa sa dvostrukim kanalima

Određivanje kontaktnih napona, pri sabijanju valjka pomoću kalupa sa dvostrukim kanalima, izvršeno je primenom metode ravnih preseka, uz uvođenje sledećih pretpostavki:

1. Spoljne izvodnice valjaka ostaju ravne tokom procesa sabijanja
2. Tangencijalni kontaktni napon proporcionalan je normalnom kontaktnom naponu (σ_n) i koeficijentu trenja (μ): $\tau_k = \mu \sigma_n$
3. Radijalni napon σ_r ne menja se po visini obratka

Kontaktni naponi po zonama deformacije (od I do IX, slika 2.) određivani su na osnovu jednačina ravnoteže, uz primenu odgovarajućeg uslova plastičnog tečenja i graničnih uslova.

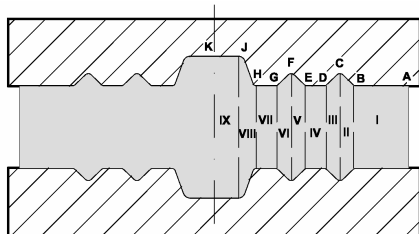
Zona I odgovara modelu slobodnog sabijanja valjka ravnim pločama, uz granični uslov da na spoljašnjem poluprečniku ne postoji radijalni napon ($\sigma_r = \sigma_R = 0$).

Zona II predstavlja elementarni model sabijanja konusno-konkavnim alatom sa graničnim uslovima ($\sigma_r = \sigma_{rB}$).

Zona III predstavlja takođe model sabijanja konusno-konkavnim alatom ali sa suprotnim nagibom konusa i graničnim uslovom ($\sigma_r = \sigma_{rC}$).

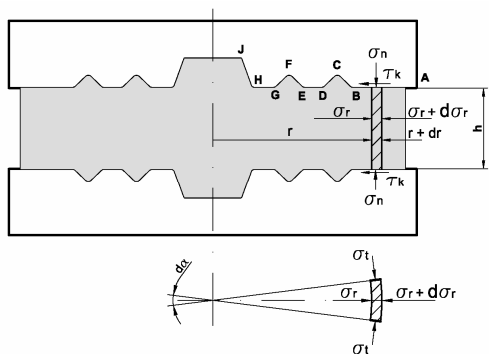
Zona I, II, III, predstavljaju tri karakteristična modela koji se dalje ponavljaju, pri čemu zona IV odgovara modelu u

zoni I sa graničnim uslovom ($\sigma_r = \sigma_{rD}$), zona V odgovara modelu u zoni II pri čemu je granični uslov ($\sigma_r = \sigma_{rE}$), zona VI odgovara modelu u zoni III sa graničnim uslovom ($\sigma_r = \sigma_{rF}$), zona VII odgovara modelu zone I sa graničnim uslovom ($\sigma_r = \sigma_{rG}$), zona VIII odgovara modelu zone II sa graničnim uslovom ($\sigma_r = \sigma_{rH}$) i zona IX koja predstavlja model sabijanja ravnim pločama.



Slika 2. Model sabijanja valjka podeljen po zonama

Na narednim slikama su prikazane komponente napona, a potom i rešenja diferencijalnih jednačina ravnoteže za karakteristične zone obratka.



Slika 3. Naponske komponente u zoni I

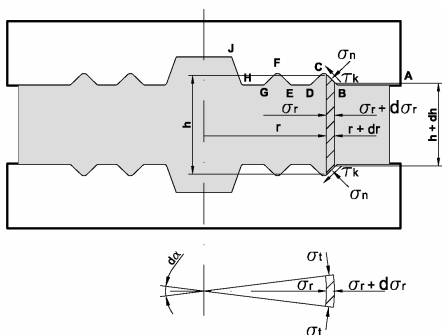
Komponente napona u zoni I date su na slici 3, a distribucija normalnog kontaktnog napona je određena izrazom:

$$\sigma_n = K \cdot e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)} \quad (1)$$

K – deformacioni otpor

R – poluprečnik valjka

r – trenutni poluprečnik obradka



Slika 4. Naponske komponente u zoni II

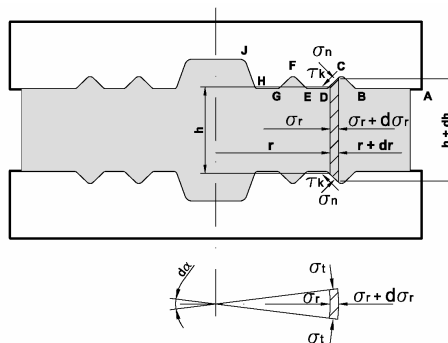
Komponente napona u zoni II date su na slici 4, a distribucija normalnih kontaktnih napona u ovoj zoni određena je izrazom:

$$\sigma_n = \frac{1}{\mu} \left[\left(\frac{H_C - 2 \cdot (r - r_C) \operatorname{tg} \beta}{H_C - 2 \cdot (r_B - r_C) \operatorname{tg} \beta} \right)^{\mu \operatorname{ctg} \beta} \cdot (K \operatorname{tg} \beta + \mu \sigma_{nI_B}) - K \operatorname{tg} \beta \right] \quad (2)$$

H_C – visina valjka u tački C

r_C – poluprečnik valjka u tački C

r_B – poluprečnik valjka u tački B, β – ugao



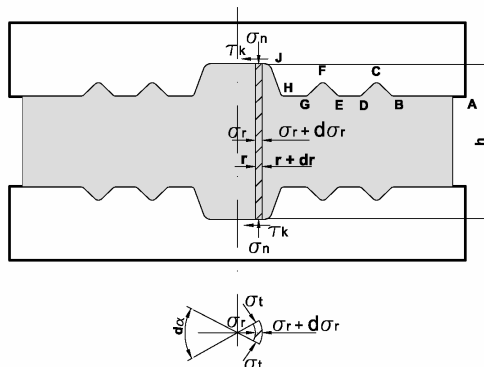
Slika 5. Naponske komponente u zoni III

Komponente kontaktnih napona u zoni III date su na slici 5, a rešenje za raspored normalnog kontaktnih napona u ovoj zoni ima oblik:

$$\sigma_n = \frac{1}{\mu} \left[K \operatorname{tg} \beta - \left(\frac{H_D + 2(r_C - r_D) \operatorname{tg} \beta}{H_D + 2(r - r_D) \operatorname{tg} \beta} \right)^{\mu \operatorname{ctg} \beta} \cdot (K \operatorname{tg} \beta - \mu \sigma_{nII_C}) \right] \quad (3)$$

H_D – visina valjka u tački D

r_D – poluprečnik valjka u tački D



Slika 6. Naponske komponente u zoni IX

Komponente napona u zoni IX prikazane su na slici 6. Distribucija normalnog kontaktnih napona u zoni IX ima oblik:

$$\sigma_n = \sigma_{nVIII_J} \cdot e^{\frac{2\mu}{h}(r_J - r)} \quad (4)$$

σ_{nVIII_J} – vrednost normalnog napona u tački J

r_J – poluprečnik valjka u tački J

Deformaciona sila pri sabijanju valjka kalupima sa koncentričnim kanalima određena je integracijom normalnih napona na kontaktnoj površini alata sa obradkom:

$$F_{uk} = \sum_{i=1}^9 F_i = \sum_{i=1}^9 \int_A \sigma_n \cdot dA \quad (5)$$

Pri proračunu kontaktnih napona i deformacione sile, korišćena je kriva tečenja koja je određena eksperimentalno metodom Rastegajeva i aproksimirana sledećim izrazom:

$$K = 423,44 + 600,2 \cdot \varphi_e^{0,1303} \quad (6)$$

gde je:

φ_e – efektivna deformacija

Efektivna deformacija određivana je kao prosečna vrednost deformacije na osnovu početnih i konačnih dimenzija obradka.

Pri tečenju materijala do kraja zone VIII efektivna deformacija je određena izrazom:

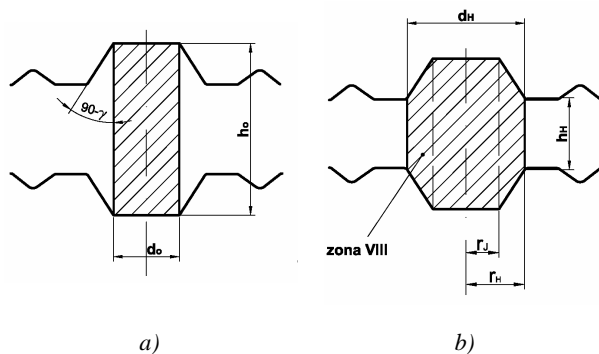
$$\varphi_1 = \ln \frac{h_0}{h} \cong \ln \frac{d_H^2}{d_0^2} \quad (7)$$

Pri daljnjem sabijanju valjka i tečenju materijala od zone VIII ka ostalim zonama, efektivna deformacija se određuje sledećim izrazom:

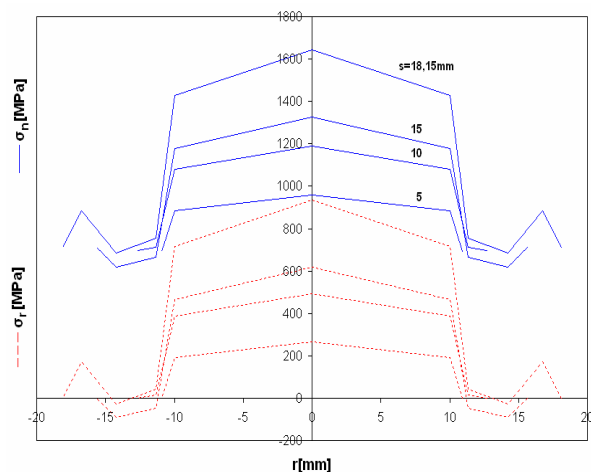
$$\varphi_i = \varphi_1 + \ln \frac{h_H}{h_i} \quad (8)$$

h_H - visina u tački H pri isticanju materijala do kraja zone VIII

h_i - trenutna visina obratka u tački do koje je istekao materijal



Slika 7. Pripremak pre i nakon popune zone VIII
a) Pripremak postavljen u alat b) Materijal ispunio zonu VIII



Slika 8. Naponsko stanje pri različitim vrednostima hoda prese s za pripremak Ø20x35mm

3. Eksperimentalna ispitivanja

Eksperimentalna provera rezultata dobijenih teorijskom analizom odnosi se na proveru deformacione sile i izvedena je na presi *Sach and Kiselbach* nominalne sile 6,3 MN u Laboratoriji za tehnologije plastičnog deformisanja FTN,

Novi Sad. Ispitivani su uzorci prečnika Ø20mm i visina 35, 40 i 50mm.



Slika 9. Alat (a) i mašina (b) za eksperimentalna ispitivanja

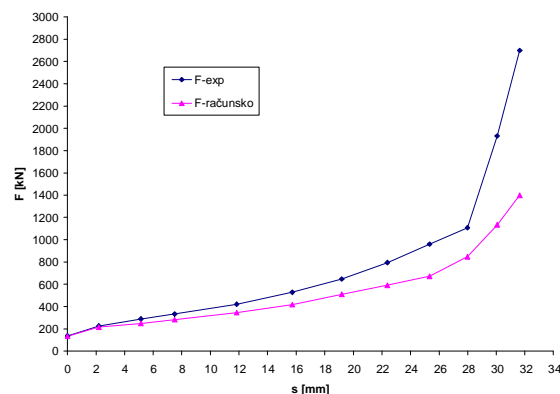
Sabijanje uzoraka vršeno je po fazama do pojave pukotina na spoljnoj površini obratka. Kao sredstvo za podmazivanje korišćeno je mineralno ulje.



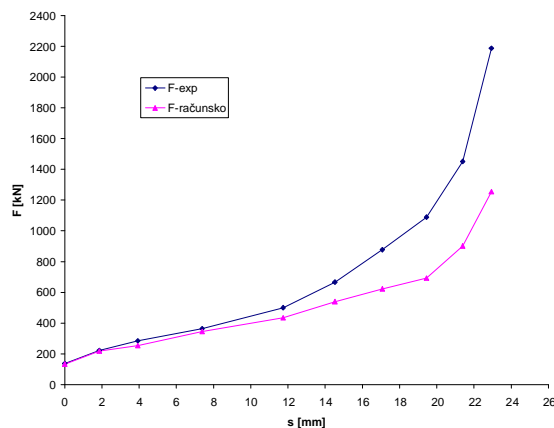
Slika 10. Uzorci Ø20x50mm i Ø20x40mm posle sabijanja

4. Uporedna analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata

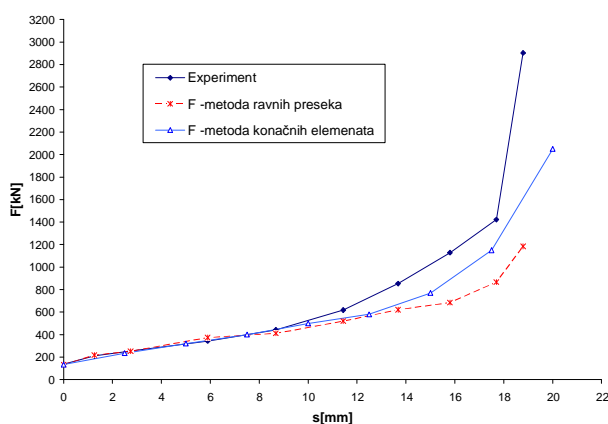
Primenom razvijenog teorijskog rešenja za kontaktne napone određena je deformaciona sila za uzorke Ø20x35, Ø20x40, Ø20x50 mm. Provera rezultata izvršena je eksperimentalno na uzorcima izrađenim od Č4146, koji su sabijani na hidrauličnoj presi pomoću kalupa sa dvostrukim kanalima, slika 9 a).



Slika 11. Dijagram deformacione sile za uzorak Ø20x50mm



Slika 12. Dijagram deformacione sile za uzorak Ø20 x 40mm



Slika 13. Dijagram deformacione sile pri sabijanju uzoraka Ø20 x 35mm

Teorijski i eksperimentalni rezultati se dobro poklapaju u početnoj fazi sabijanja valjka, dok su odstupanja značajnija u drugom delu procesa.

4. ZAKLJUČAK

Metode slobodnog sabijanja valjka alatima različite geometrije veoma su značajne u zapreminskom deformisanju jer često predstavljaju faze koje se javljaju pri oblikovanju složenih delova.

U ovom radu izvršena je analiza naponsko-deformacionog stanja pri sabijanja valjka pomoću kalupa sa dvostrukim kanalima, metodom ravnih preseka.

Postavljenim matematičko-fizičkim modelom za slučaj sabijanja valjka kalupima sa dvostrukim kanalima, određene su komponente kontaktnih napona a potom deformaciona sila u zavisnosti od hoda alata. Odstupanja teroijski izračunate deformacione sile od eksperimentalnih podataka su na zadovoljavajućem nivou, odnosno na nivou koji je uobičajen za metodu ravnih preseka i procese sabijanja i kovanja.

Rezultati dobijeni metodom konačnih elemenata na uzorcima Ø20 x 35mm [9] takođe pokazuju određena odstupanja u odnosu na eksperimentalne vrednosti.

Metoda ravnih preseka daje solidne rezultate za komponente kontaktnih napona i deformacionu silu u procesima sabijanja, a za složenije procese oblikovanja u hladnom i toplom stanju, treba koristiti metodu konačnih elemenata.

5. LITERATURA

- [1] Gelei S.: *Određivanje naponsko deformacionog stanja, parametara procesa i istorije defromacije kod sabijanja valjka pomoću sferičnih alata*, Diplomski rad, Novi Sad, 1996.
- [2] Grbić S.: *Određivanje naponsko-defromacionog stanja, parametara procesa i defromabilnosti materijala pri sabijanju valjka konusnim kalupima*, Diplomski rad, FTN Novi Sad 1998.
- [3] Jelača R.: *Analiza procesa sabijanja valjka pomoću izdubljeno ožljebljenih alata*, Diplomski rad, FTN Novi Sad 2005.
- [4] Lange K.: *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, Inc., ISBN 0-07-036285-8, 1985.
- [5] Musafija B.: *Obrada metala plastičnom deformacijom*, Mašinski fakultet Sarajevo 1976.
- [6] Plančak M., Vilotić D.: *Tehnologija plastičnog defromisanja*, FTN Novi Sad 2003.
- [7] Vilotić D.: *Ponašanje čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima zapreminskog deformisanja*, FTN, Novi Sad, 1987.
- [8] Vilotić D., Plančak M., A. Bramly and F. Osman: *Investigation of upsetting of cylinder by conical dies*, Journal for Technology of Plasticity, Vol 27 (2002).
- [9] Vilotić D., Plančak M., Kuzman K., Čupković Đ.: *Finite Element Analysis of cold upsetting of cilinder by different dies*, ICTP8, Verona, 2005.
- [10] Vilotić D., Plančak M., Mandić V., Stefanović M., Čupković Đ.: *FEM analysis of upsetting process by cylindrical dies with experimental verification*, Journal for Technology of Plasticity, 2003, Vol. 28, No. 1 - 2, str. 83- 98,
- [11] Vujović V.: *Tehnologija plastičnosti u mašinstvu*, I Deo, FTN Novi Sad 1990.

Napomena:

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja na projektu "Razvoj i primena savremenih pristupa projektovanju tehnologije kovanja radi povećanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje", koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije, evid. broj TR-14050.

Autori:

Radovan Jelača, dipl. inž. proizvodnog mašinstva, Srednja mašinska škola, Novi Sad, Bulevar kralja Petra I 38, Tel.:+381 21 6333 221

Prof. dr Vilotić Dragiša, **prof. dr Miroslav Plančak**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485 23 49

E-mail: radovan_jelaca@yahoo.com

vilotic@uns.ns.ac.yu

plancak@uns.ns.ac.yu

Kraišnik, M., Vilotić, D., Plančak, M., Stefanović, M.

UTICAJ GEOMETRIJE ALATA I GEOMETRIJE PRIPREMKA NA DEFORMABILNOST MATERIJALA U PROCESIMA HLADNOG SABIJANJA VALJKA

Rezime: Za uspešno i racionalno projektovanje tehnologije plastičnog deformisanja konstruktorima i tehnolozima moraju biti na raspolaganju informacije o ponašanju materijala u različitim uslovima obrade. U tom smislu dijagram granične deformabilnosti, koji predstavlja zavisnost efektivne granične deformacije od pokazatelja naponskog stanja, pruža najveće mogućnosti.

U ovom radu su analizirani modeli sabijanja valjka ravnim i izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala sa aspekta ostvarivanja maksimalnih iznosa deformacije. Cilj istraživanja bio je potpunije definisanje dijagrama granične deformabilnosti uvođenjem novih modela sabijanja valjka, kao i utvrđivanje uticaja geometrije alata (modela sabijanja) i geometrije priprema na naponsko-deformaciono stanje i deformabilnost materijala. Istraživanja su realizovana na uzorcima od Č 4146.

Cljučne reči: Deformabilnost materijala, sabijanje valjka, geometrija alata, geometrija priprema.

INFLUENCE OF THE GEOMETRY OF TOOLS AND GEOMETRY OF THE WORKPIECE ON THE FORMABILITY OF MATERIAL IN PROCESSES OF COLD UPSETTING OF CYLINDER

Abstract: In order for technologist and constructors to accomplish successful and rational designing of the technology of plastic deformation, the must have available data on behaviour of material under different conditions of processing. In this sense the forming limit curve which presents the dependencies between the effective limit deformation and the indicator of the stressed state provides best possibilities.

In this paper upsetting of the cylinder by flat and hollow plates with and without concentric canals, keeping the aspect of accomplishing maximum amount of deformation, have been analysed. Goal of the research was to more fully define the forming limit curve through introduction of new models for upsetting of cylinder, as well as to determine the influence of the geometry of tools (compression model) and initial geometry of the workpiece to stress-deformation state and formability of the material. Research was performed on samples the 100Cr6 steel.

Key words: Formability, upsetting of cylinder, geometry of tools, geometry of specimen

1. UVOD

Deformabilnost je osobina materijala koja izražava mogućnost trajne promene oblika u određenim uslovima obrade bez pojave pukotine, lokalizacije deformacije, ili nekog drugog neželjenog oblika oštećenja strukture obratka. Veličina efektivne deformacije u trenutku nastanka neželjenog deformisanja, kao numerička vrednost deformabilnosti materijala, zavisi od: vrste materijala, polazne strukture, temperature obrade, brzine deformacije, naponskog stanja i drugih faktora [4, 6]. Međutim, ako se istraživanje deformabilnosti ograniči na određeni materijal sa prethodno definisanim strukturnim stanjem, u uslovima hladne obrade, pri konvencionalnom deformisanju, može se konstatovati da ova osobina zavisi od realizovanog naponskog stanja u zoni deformisanja obratka.

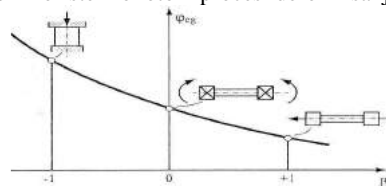
Geometrija alata i geometrija priprema su osnovne komponente obradnog sistema koje utiču na razvoj i formiranje određenih komponenti napona. Generisano naponsko stanje u određenom periodu procesa deformisanja odlučujuće zavisi od navedenih komponenti, pri čemu je potrebno naglasiti da se geometrijski oblik kontaktnih površina alata u toku jedne faze deformisanja ne može menjati, a da se geometrijski oblik i dimenzije obratka kontinuirano menjaju u toku obrade. Dakle, naponske komponente se formiraju i menjaju u toku procesa deformisanja u zavisnosti od konstantne geometrije alata i promenljive geometrije obratka (priprema), što generalno utiče na pogoršavanje uslova obrade i umanjuje mogućnost

ispoljavanja potencijala deformabilnosti materijala.

Istraživanja prezentovana u ovom radu realizovana su na uzorcima od Č 4146 i imaju za cilj dopunu metodologije određivanja dijagrama granične deformabilnosti uvođenjem novih modela deformisanja – sabijanje valjka izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala, kao i utvrđivanje uticaja geometrije alata (modela sabijanja) i geometrije priprema na naponsko-deformaciono stanje i deformabilnost materijala.

2. DGD I NAPOSKO-DEFORMACIONO STANJE

Dijagram granične deformabilnosti (DGD) predstavlja grafičku interpretaciju zavisnosti granične deformacije (φ_e^s) od pokazatelja naponskog stanja (β). Metodologija za određivanje DGD koja se koristi u radu bazirana je na primeni tri osnovna modela deformisanja: jednoosno zatezanje ($\beta=+1$), jednoosno sabijanje valjka ($\beta=-1$), i čisto uvijanje ($\beta=0$). Ova metodologija eksperimentalno je potvrđena u [3,4,6], gde se za definisanje položaja pojedinih tačaka DGD koriste monotoni procesi deformisanja.



Slika 1. Dijagram granične deformabilnosti – osnovni modeli

Primenom osnovnih modela deformisanja, pokazatelj naponskog stanja (β) ostaje konstantan u toku obrade, ali ako se za detaljnije definisanje DGD koriste nemonotoni, dominantni procesi tehnologije plastičnog deformisanja, za određivanje srednje vrednosti β -faktora (β_{sr}) mora se primeniti metodologija Kolmogorova [2].

$$\beta_{sr} = \frac{1}{\varphi_e^g} \int_0^{\varphi_e^g} \beta(\varphi_e) d\varphi_e \quad (1)$$

Za definisanje položaja novih modela sabijanja valjka u DGD neophodno je identifikovati naponsko-deformaciono stanje u kritičnoj zoni obratka (presek spoljašnje površine uzorka i ekvatorijalne ravni). Za rešavanje ovog problema primenjena je metodologija bazirana na proporcionalnosti devijatora napona i devijatora deformacije [4,6], na osnovu čega su definisani analitički izrazi za određivanje komponenti napona:

$$\sigma_z = -K \left[1 + \frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} + \left(\frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} ; \sigma_\theta = \sigma_z \left(\frac{1+2\cdot\alpha}{2+\alpha} \right) \quad (2)$$

gde je α koeficijent određen odnosom:

$$\alpha = \frac{d\varphi_\theta}{d\varphi_z} \approx \frac{\varphi_\theta}{\varphi_z} \quad (3)$$

pri čemu su φ_θ i φ_z komponente logaritamskih deformacija u pravcu osa θ i z .

Pokazatelj naponskog stanja β određuje se prema izrazu:

$$\beta = \frac{\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z}{K} = \frac{\sigma_\theta + \sigma_z}{K} \quad (4)$$

Efektivna deformacija na spoljašnjoj površini valjka određena je izrazom [4,6]:

$$\varphi_e = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{1 + \alpha + \alpha^2} \cdot \varphi_z \quad (5)$$

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U cilju opsežnih istraživanja uticaja geometrije alata (modela sabijanja) i geometrije priprema na deformabilnosti Č 4146 u procesima hladnog sabijanja valjka korišćeni su modeli sabijanja valjka ravnim pločama i izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala. Za realizaciju eksperimenata izrađeni su cilindrični uzorci čije su početne dimenzije date u tabeli 1.

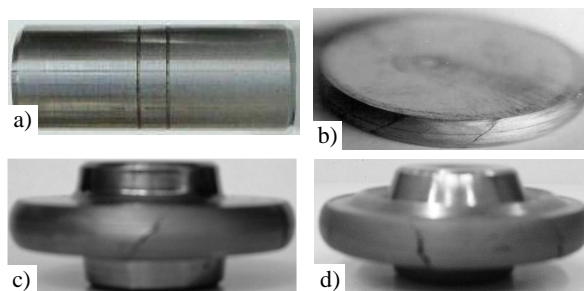
Sabijanje valjka ravnim pločama			
d_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0 / d_0	Br. uzoraka
20	25	1,25	3 (RP _{1,2,3})
Sabijanje valjka izdubljenim pločama			
d_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0 / d_0	Br. uzoraka
20	35	1,75	3 (A _{1,2,3})
20	40	2,00	3 (B _{1,2,3})
20	50	2,50	3 (C _{1,2,3})
Sabijanje valjka izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima			
d_0 [mm]	h_0 [mm]	h_0 / d_0	Br. uzoraka
20	35	1,75	3 (D _{1,2,3})
20	40	2,00	3 (E _{1,2,3})
20	50	2,50	3 (F _{1,2,3})

Tabela 1. Dimenzije priprema

Svi procesi sabijanja valjka realizovani su inkrementalno, u više faza sabijanja. Eksperimentalni rezultati obrađeni su prema metodologiji prikazanoj u radu [6], a zatim su unešeni u DGD, prethodno definisan pomoću tri osnovna modela. Eksperimentalna istraživanja su izvršena na hidrauličnoj presi trostrukog dejstva Sack und Kisselbach nominalne sile

6,3 MN, instalisane u Laboratoriji za tehnologiju plastičnog deformisanja - Institut za proizvodno mašinstvo Novi Sad.

Na slici 2 prikazan je izgled uzoraka pre i posle sabijanja.



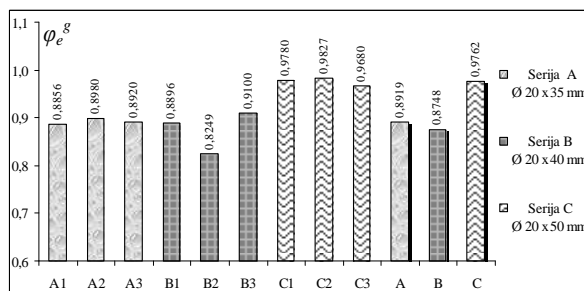
Slika 2. Uzorci pre i posle sabijanja: a) pripremak, b) ravne ploče, c) izdubljene ploče, d) izdubljene ploče sa koncentričnim kanalima

Za potrebe određivanja naponsko-deformacionog stanja u kritičnoj zoni, pre početka sabijanja na svim uzorcima su u ekvatorijalnom pojasu slobodne površine mehaničkim putem nanete tanke linije na međusobnoj udaljenosti od $z_0=4$ mm (slika 2-a). Koristeći navedene izraze (1-5), a na osnovu izmerene visine pojasa z_i i prečnika uzorka d_i u svakoj fazi sabijanja, moguće je odrediti sve elemente neophodne za konstrukciju DGD [3].

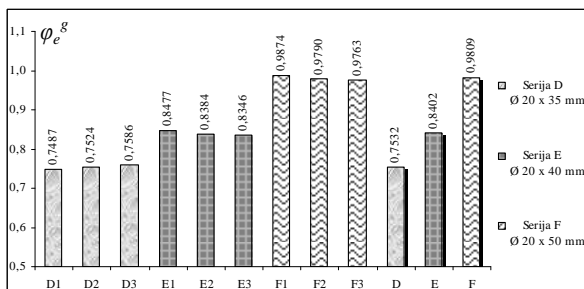
3.1 Uticaj dimenzija priprema na deformabilnost materijala

Uticaj dimenzija priprema na deformabilnost materijala ispoljava se posredno, preko generisanja određenog naponskog stanja u zoni deformisanja, čije promene se neposredno prate preko varijacije β -faktora. Za identifikaciju ovog uticajnog faktora, u toku eksperimentalnih istraživanja primenom novih modela deformisanja, koristili su se cilindrični uzorci konstantnog prečnika sa tri promene početne visine.

Na slikama 3 i 4 date su vrednosti ostvarenih graničnih deformacija pri sabijanju valjka izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala. Rezultati se odnose na pojedinačno ispitane uzorke, pri čemu su date i prosečne vrednosti za određenu seriju ispitivanja.

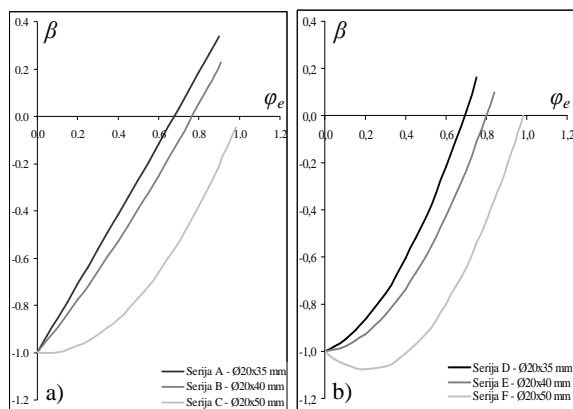


Slika 3. Vrednosti graničnih deformacija pri sabijanju valjka izdubljenim pločama



Slika 4. Vrednosti graničnih deformacija pri sabijanju valjka izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima

Rezultati istraživanja su pokazali da su najveće vrednosti graničnih deformacija ostvarene pri sabijanju uzoraka najvećih početnih visina (serija C - izdubljene ploče i serija F – izdubljene ploče sa koncentričnim kanalima). Ovakav rezultat je posledica realizovanog naponskog stanja u kritičnoj zoni obratka (negativne vrednosti pokazatelja naponskog stanja za sve vreme sabijanja – slika 5), sa čime su stvoreni povoljniji uslovi deformisanja i povećana mogućnost ispoljavanja potencijala deformabilnosti.



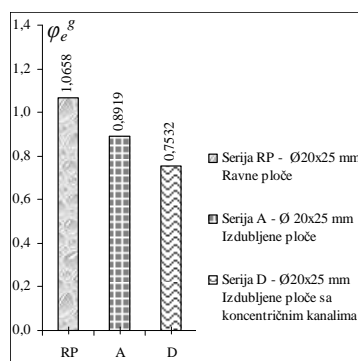
Slika 5. Zavisnost $\beta=f(\varphi_e)$ pri sabijanju valjka: a) izdubljenim pločama; b) izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima

3.2 Uticaj geometrije alata na deformabilnost materijala

Za celovitu analizu ponašanja materijala sa aspekta ostvarivanja maksimalnih iznosa graničnih deformacija u procesima hladnog sabijanja valjka analiziran je uticaj geometrije alata na deformabilnost materijala.

Geometrija alata, koja zapravo definiše određeni model sabijanja, posredno, preko realizovanog naponskog stanja u zoni deformisanja u znatnoj meri utiče na mogućnost ispoljavanja potencijala deformabilnosti. Uticaj ovog faktora identifikovan je kod svih eksperimentalnih istraživanja sabijanja valjka, što se odrazilo na položaj pojedinih tačaka u dijagramu granične deformabilnosti.

Za potrebu dalje analize, na slici 6 dat je komparativni pregled vrednosti graničnih deformacija ostvarenih primenom različitih modela sabijanja valjka. Rezultati se odnose na set uzoraka identičnih početnih dimenzija, sa čime je eliminisan uticaj geometrije priprema na naponsko stanje u zoni deformisanja.



Slika 6. Vrednosti graničnih deformacija za uzorke istih početnih dimenzija

Najveće vrednosti graničnih deformacija ostvarene su pri sabijanju valjka ravnim pločama. Ovakav rezultat se mogao i očekivati, jer se kod ovog procesa sabijanja nesmetanom tečenju materijala suprostavlja samo uticaj trenja na kontaktnim površinama.

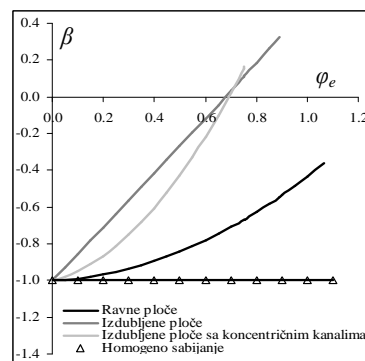
Međutim, pri sabijanju valjka izdubljenim pločama, zbog udubljenja u pločama alata, dolazi do ometanog tečenja

metala u radialnom pravcu, što se reflektuje na naponsko stanje u zoni deformisanja kroz pojačano dejstvo zateznih komponenti u meridijalnoj ravni uzorka. Posledica ovakvog naponsko-deformacionog stanja je umanjena sposobnost materijala da se deformiše bez oštećenja. Zbog toga su i ostvareni iznosi graničnih deformacija manji u odnosu na vrednosti dobijene pri sabijanju valjka ravnim pločama.

Najnepovoljniji slučaj u pogledu realizovanog naponskog stanja u zoni deformisanja uzorka sa aspekta deformabilnosti, a shodno tome i najmanja vrednost ostvarene granične deformacije, prisutna je kod sabijanja valjka izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima. U početku realizacije ovog procesa, sabijanje uzorka odvija se na identičan način kao u prethodnom slučaju, ali kada uzorak pri svom radialnom širenju dospe do prvog od ukupno dva koncentrična kanala u gornjoj i donjoj ploči alata dolazi do intenzivnog ometanja tečenja materijala. Dalje deformisanje uzorka je otežano, potrebna je veća deformaciona sila, a u zoni deformisanja pojačava se intenzitet zateznih komponenti napona. Konačan rezultat ovakvog stanja je pogoršanje uslova obrade, ispoljeno kroz smanjenje deformabilnosti materijala, što je direktna posledica definisane geometrije alata, odnosno primenjenog modela sabijanja valjka.

Zapažanja saopštena u prethodnoj analizi u potpunosti podržavaju promene pokazatelja naponskog stanja β u zavisnosti od efektivne deformacije φ_e . Na slici 7 data je grafička interpretacija ovih zavisnosti za sve korištene modele sabijanja valjka u poređenju sa procesom homogenog sabijanja. Rezultati se odnose na uzorke istih polaznih dimenzija.

Zavisnosti $\beta=f(\varphi_e)$ kod svih modela sabijanja valjka, osim procesa homogenog sabijanja, podržavaju opštu tendenciju povećanja β -faktora u toku sabijanja uzoraka. Efekti ovih promena najmanje su izraženi pri sabijanju valjka ravnim pločama, zbog čega je u ovom slučaju ostvarena najveća vrednost granične deformacije. Kod ostalih modela sabijanja valjka povećanje pokazatelja naponskog stanja u toku sabijanja je izraženije, što se odražava na veličinu granične deformacije.



Slika 7. Zavisnost $\beta=f(\varphi_e)$ za uzorke istih početnih dimenzija

3.3 Dijagram granične deformabilnosti za Č 4146

Kao polazna osnova za definisanje dijagrama granične deformabilnosti korišćeni su osnovni modeli deformisanja: slobodno sabijanje valjka, jednoosno zatezanje i čisto uvijanje. Srednje vrednosti graničnih deformacija za ove modele prikazane su u tabeli 2.

Model deformisanja	B	φ_e^g
Jednoosno zatezanje	+1,000	0,1290
Čisto uvijanje	0,000	0,4471
Slobodno sabijanje valjka	-0,7763	1,0658

Tabela 2. Granične deformacije osnovnih modela

U tako određen dijagram unete su srednje vrednosti pokazatelja naponskog stanja (β_{sr}) i graničnih deformacija (φ_e^g), dobijenih sabijanjem valjka izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala (tabela 3).

Model deformisanja	Seriya	β_{sr}	φ_e^g
Sabijanje valjka izdubljenim pločama	A - Ø20x35 mm	-0,3448	0,8919
	B - Ø20x40 mm	-0,4561	0,8748
	C - Ø20x50 mm	-0,6980	0,9762
Sabijanje valjka izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima	D - Ø20x35 mm	-0,5680	0,7532
	E - Ø20x40 mm	-0,6228	0,8402
	F - Ø20x50 mm	-0,7890	0,9809

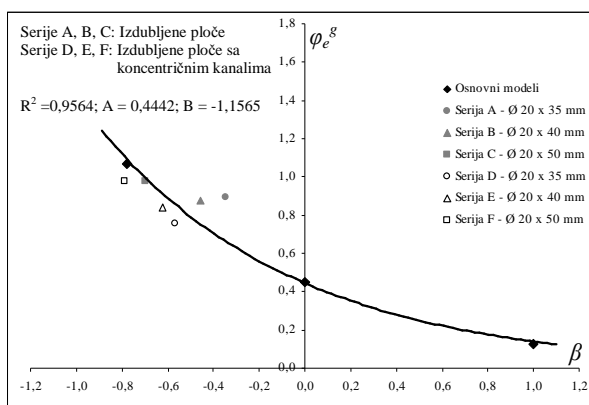
Tabela 3. Granične deformacije novih modela sabijanja

Regresionom analizom određena je istorija deformisanja $\beta=f(\varphi_e)$ u obliku polinoma $\beta=a\varphi_e^2+b\varphi_e+c$ [3].

Svi uređeni parovi (β_{sr} , φ_e^g) aproksimirani su eksponencijalnom regresionom zavisnošću u obliku:

$$\varphi_e^g = A \cdot e^{B \cdot \beta} \quad (6)$$

što na slici 8 predstavlja grafičku interpretaciju zavisnosti granične deformacije od pokazatelja naponskog stanja, tj. dijagram granične deformabilnosti. U gornjoj jednačini koeficijenti A i B su određeni metodom najmanjih kvadrata.



Slika 8. Dijagram granične deformabilnosti za Č 4146

4. ZAKLJUČAK

Istraživanja ponašanja materijala u obradnom sistemu sa aspekta ostvarivanja maksimalnog iznosa graničnih deformacija imaju izuzetno veliki značaj, jer omogućavaju stvaranje uslova za proširenje primene obrade plastičnim deformisanjem, sa čime se direktno utiče na smanjenje potrošnje materijala, energije i vremena izrade, što u značajnoj meri može doprineti snižavanju ukupnih troškova proizvodnje.

Na osnovu svih eksperimentalnih istraživanja deformabilnosti materijala u procesima hladnog sabijanja valjka izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala može se zaključiti da novi modeli deformisanja omogućavaju dobijanje dodatnih informacija o ponašanju materijala u odnosu na osnovne modele, pokrivaju dosta široko područje pokazatelja naponskog stanja, te da postoji opravdana potreba za njihovim uključivanjem u metodologiju određivanja dijagrama granične deformabilnosti.

Ukupni rezultati eksperimentalnih istraživanja deformabilnosti Č 4146, dobijeni sabijanjem valjka ravnim i izdubljenim pločama sa i bez koncentričnih kanala, pokazuju visok uticaj geometrije alata (modela sabijanja) i početne

visine uzorka na vrednost granične deformacije.

U tom pogledu, zbog manje vrednosti zatezne komponente napona u zoni deformisanja, pri sabijanju valjka ravnim pločama za 16,3 % ostvarena je veća deformabilnost u odnosu na sabijanje valjka izdubljenim pločama, odnosno za 29,33 % u odnosu na sabijanje valjka izdubljenim pločama sa koncentričnim kanalima.

Varijacija početne visine uzorka, kod oba nova modela sabijanja valjka, značajno utiče na vrednost graničnih deformacija. Eksperimentalno je utvrđeno da se veće granične deformacije realizuju korišćenjem uzoraka veće početne visine.

Rezultati ovih eksperimentalnih istraživanja nedvosmisleno potvrđuju hipotezu da su geometrija alata i geometrija priprema međusobno veoma zavisne, i u okviru obradnog sistema imaju značajan uticaj na generisanje naponskog stanja u zoni deformisanja obratka, a sa tim direktno utiču i na deformabilnosti materijala.

Dobijeni rezultati mogu se koristiti u praksi pri projektovanju tehnologije hladnog kovanja, hladnog istiskivanja, hladnog valjanja navoja i zupčanika, zatim kod hladnog valjanja prstenastih delova, itd.

Napomena:

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja na projektu "Razvoj i primena savremenih pristupa projektovanju tehnologije kovanja radi povećanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje", koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije, evid. broj TR-14050.

5. LITERATURA

- [1] Alexandrov, S., Vilotić D., Goldstein R., Chikanova N.: *The Determination of the Workability Diagram*, Journal Mechanics of Solids, Vol. 34, No. 4, pp. 118-125, 1999., by Allerton Press, Inc.
- [2] Kolmogorov, V.L.: *Plastičnost i razrušenje*, Metalurgija, Moskva, 1977.
- [3] Krašnik, M.: *Prilog istraživanju deformabilnosti materijala u procesima hladnog sabijanja valjka*, Magistarski rad, FTN Novi Sad, 2008.
- [4] Vilotić, D.: *Ponašanje čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja*, FTN Novi Sad, 1987.
- [5] Vilotić, D., Plančak, M., Grbić, S., Alexandrov, S., Chikanova, N.: *An Approach to Determining the Workability Diagram Based on Upsetting Tests*, Journal Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Vol.1, No 26, pp. 305-310, 2003.
- [6] Vujović, V., Shabaik A. H.: *A new Workability Criterion for Ductile Metals*, Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 108, pp. 245-249, July 1986.

Autori: **Mr Milija Krašnik**, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, Vuka Karadžića 30, 71123 Istočno Sarajevo, Republika Srpska, BiH; **Prof. dr Dragiša Vilotić**, **Prof. dr Miroslav Plančak**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija; **Prof. dr Milentije Stefanović**, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija.

E-mail: milijakraisnik@yahoo.com
vilotic@uns.ns.ac.yu
plancak@uns.ns.ac.yu
stefan@kg.ac.yu

Lasco Umformtechnik GmbH, Germany

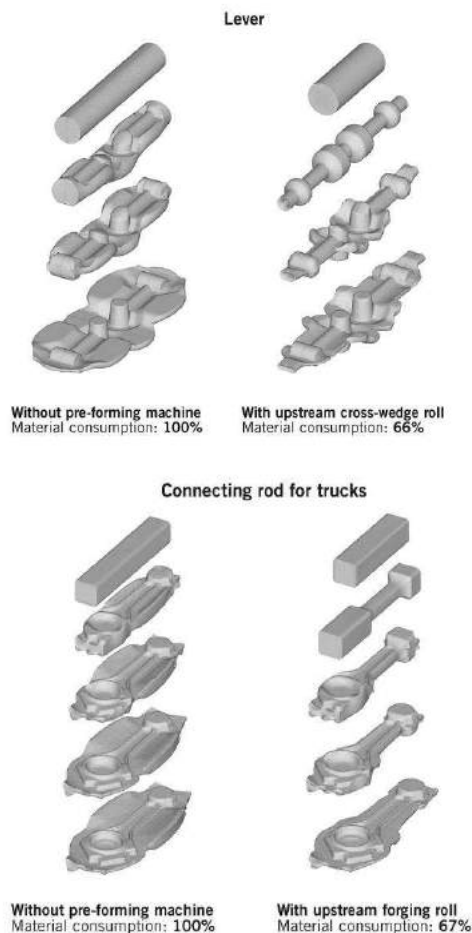
NEW MACHINE CONCEPT FOR PRE-FORMING BY ROLLS

Abstract: The increasing demands in the massive forming industry regarding the reproducible quality of the forging parts and the most effective material utilisation are primarily met by CNC-controlled automated manufacturing cells. The near-to-net-shape and economical material distribution in these manufacturing cells is getting more and more important. LASCO meets these demands of the market by its own machine conception for initial material distribution by rolls in addition to its range of presses.

Key words: Roll forming machine, CNC, Lasco

1. INTRODUCTION

Principally the world markets ask for a permanent improvement in the quality of forgings at constant prices regardless of the prices increase on the International steel market. Amongst others the automation of complete forging lines enables the suppliers to meet this tendency. For decades LASCO has offered the requested forging aggregates with automating possibilities to their customers. In order to obtain the same automating degree also for the material distribution by rolls a new machine concept has been developed for the production of pre-forms and finished forms.



Picture 1. Efficient material distribution with rolling machines

30-50 % of the unit costs of die-forged components account for material costs. These expenses can be reduced considerably by an optimum pre-forming process. Therefore it is absolutely necessary that already in an early phase of production the pre-distribution of material is adjusted as closely as possible to the final shape. Picture 1 shows what savings of material are possible by the use of rolling processes. In addition an optimum material distribution reduces the material flow in the forging die and increases the operating life of the die.

Solutions were found in close collaboration with one of LASCO's regular customers. On the basis of the customer's practical experience for many years with cross wedge rolls and the competence of LASCO in the machine building technology requirement specifications have been prepared. The available technology in the market did not fulfil the technical requirements in many aspects. In the development phase a basic machine concept with separate drives for each roller was defined. Consequently the advantageous solid basic machine concept can be used for a roll with counter-rotating rollers as well.

The designed LASCO cross wedge roll and forging rolls fulfill all practical expectations.

2. DEFINITION OF REQUIREMENTS FOR CROSS WEDGE ROLLS AND FORGING ROLLS

In order to achieve the mentioned objectives the following conditions were an integral part of the requirement specifications:

- Machine concept with minimum maintenance and repair.
- Simplification of the drive concept (no gear coupling of rollers).
- Precise synchronous rotation of the rolls (max. angular deviation of the rolls $\pm 0.2^\circ$).
- Variable and programmable forming speed depending on the angularity of the rolls.
- High stiffness of the basic frame to absorb the forming forces and the technological thermal expansion effects to maintain narrow tolerances at the rolling part.
- Low tool changing and setting-up times.
- Measurement and correction of the roller gap with high precision (± 0.1 mm).
- High parallelism in the roller gap.
- Large setting range for the roller gap.
- Programming of all product-specific machine parameters.
- Temperature compensation (heating/cooling) of rollers.

3. TECHNICAL DESCRIPTION AND SOLUTIONS OF TECHNICAL PROBLEMS

3.1 Drive

This drive concept has been designed to eliminate the disadvantages of the rigid gear coupling of the roller drives. This was realised with separate torque motors with connected gear compact units (picture 2). The electronic synchronisation of both roller drives ensures a maximum roller angle deviation of 0.2°. The high dynamics and control accuracy of the motors permit the programming of rotational speed profiles. Both rollers dispose of absolute encoders for measuring the angle positions in order to approach the start-up and tool-changing positions automatically. Technological angular corrections can also be controlled.

The standard machine concept with its separate direct drive of the rollers ensures a change of the rotational direction (synchronous and counter rotation) and therefore permits its use as of both cross wedge roll and forging roll with its almost similar technical design. In special cases a multi-purpose roll allows the application of both operations and offers substantial advantages to the operator regarding series changes.

Compared to conventional drives, the LASCO drive unit is disentangled to a large degree improving operation, setting-up process (tool change) and maintenance of the machine.

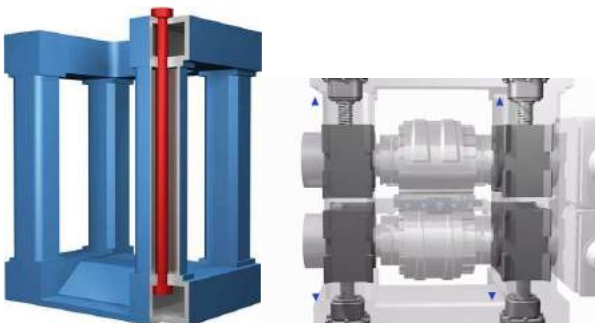


Picture 2. Single roller drive

3.2 Base frame and position of rollers

The roller frame (picture 3) is conceived in multi-part design, pre-stressed by tie rods and optimally dimensioned for its application. Massive bearings for the rollers are mounted into the frame. The vertical position of the rollers corresponds to its traditional and proven design. The rollers are synchronously adjustable in height.

The guides for the bearing supports are screwed into the frame. The guide rails can be adjusted. The U-shaped cross head is open to the front for the roller change.



Picture 3. Basic frame and position of rollers

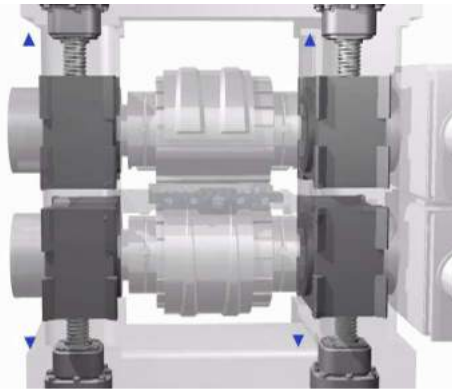
3.3 Bearing supports

Each roller is supported at each side by twin-row spherical roller bearings designed for extra reliability. When a roller change is necessary, the bearing supports in the right-hand up-right is hydraulically withdrawn so that the adaptations can be released and the rollers removed by the integrated roller change manipulator. The rollers are hydraulically clamped in axial position in order to ensure the rigidity during operation. The hydraulic bolster also neutralises the thermal expansion of the system. This excludes restrain and axial blocking of the rollers.

3.4 Roller gap adjustment

The roller gap adjustment (picture 4) is carried out synchronously and symmetrically to the reference plane of the machine with four electrically-driven positionable spindle drives. Thereby, the position of the work piece axis is maintained for the workpiece loading (cross wedge roll).

The system is provided with measuring equipment having high-resolution absolute sensors that monitor the position of the rollers. The actual values of the roller positions are measured under operating load (maximum load) short before the forming process ends. Adjustment of rollers is carried out in idle running between two cycles.



Picture 4. Roller gap adjustment

3.5 Rollers

The rollers are fitted with cross keyways that ensure precise fixing and centralising in the machine. The torque needed for the forming process is applied through stable drivers on the rollers. The tools are attached to the roller periphery using T-slots.

3.6 Hydraulic roller clamping

The rollers are clamped automatically without an auxiliary tool. The rollers are hydraulically clamped and unlocked, which ensures a high degree of safety. A roller change is completed in a very short time (about 5 to 10 minutes per roller).



Picture 5. Hydraulic clamping of rollers

3.7 Roller change device

The integrated roller change device (picture 6) permits a quick tool change by using the movable lifting device on the top of the roll. The rollers are lifted with two ropes after reaching the tool changing position. A changing device is situated in front of the roll to deposit the rollers with the lifting device moving on guideways to the front.



Picture 6. Roller change device

3.8 Tool heating system

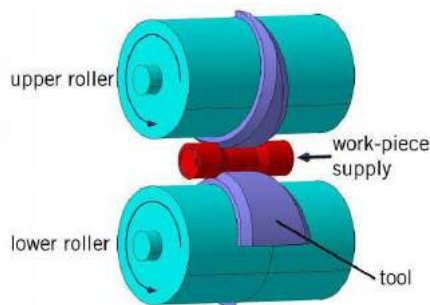
In order to ensure a steady rolling process the tools are kept at constant temperature by heavy-duty cartridge heaters which are housed in the roller bodies.

When production is started the heating system can be used for pre-heating the rollers, keeping the workpiece temperature and the friction coefficient at the tool in narrow limits.

The parameters of the roller heating system (nominal temperature, limit, ON/OFF, etc.) are transmitted to the central control system of the cross wedge roll by profibus DP and are processed and visualised. The max. pre-heating temperature is 200°C.

4. PROCESS DESCRIPTION OF CROSS WEDGE ROLL

The cross wedge roll is designed for the pre-forming and net shape forming of symmetrically rotating steel and aluminium forgings. The practical application of cross wedge rolling with roller bodies is of extreme importance compared to other processes, e. g. flat die-rolling.



Picture 7. Principle of cross wedge rolling process

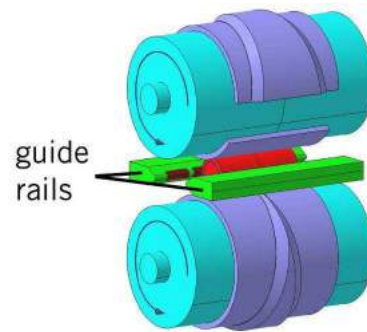
The cross wedge roll (picture 8) is designed for the pre-forming and net-shaping of symmetrically rotating steel and aluminium forgings. Round bars heated up to forming temperature are fed into the cross wedge roll. They are rolled between two synchronously rotating rollers equipped with tools, and thus receive their requested final shape. The cross wedge roll supports the round bars by two guiding rulers exactly positioned in the geometric centre between the two rollers. The finished part is ejected through a gap between the rotating roller tools and conveyed to further processing by transporting devices.



Picture 8. LASCO cross wedge roll QKW 700

4.1 Guide rails

Especially at the beginning of the forming process the guide rails (picture 9) keep the rolled product in centric position. Both guide rails are positioned in the geometrical centre of the rolled product.



Picture 9. Guide rails

4.2 Automatic workpiece feed

The automatic workpiece feed (picture 10) takes the heated blanks from the heater and puts them on a guide system. A servo-driven rod pushes the blank axially to the start position between the two rollers. By the use of these servo drives the workpiece can be positioned accurately.



Picture 10. Automatic workpiece feed

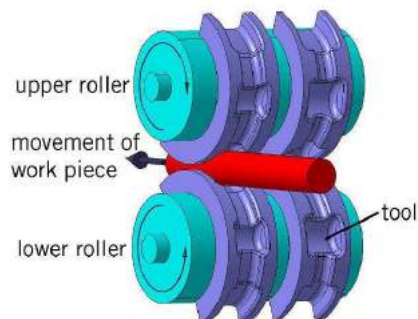
Type	QKW 500	QKW 700	QKW 1000
Roller diameter [mm]	500	700	1.000
Roller width [mm]	500	700	1.000
Roller gap adjustment [mm]	40	60	80
Billet diameter max. [mm]	50	70	110
Billet length max. [mm]	300	400	560

Chart 1: LASCO cross wedge roll types

The most important data of the LASCO cross wedge roll series is shown on chart 1. Currently, the billet sizes which can be forged range from about 25 mm up to 110 mm diameter and lengths up to 900 mm. If requested, bigger billet sizes are also possible.

5. PROCESS DESCRIPTION OF FORGING ROLL WITH FORGING ROLL MANIPULATOR

LASCO RCW series forging rolls are designed such that the stretching process is completed in several passes (roller groove). The blank entering from the heating unit is fed sequentially to the individual passes by a forge-rolling manipulator. The blank is pre-formed analogous to the contours of the individual roller grooves (picture 11). Between the individual passes the forging roll manipulator arbitrarily rotates the blank by up to 180° around its longitudinal axis. As the rollers can be removed from the forging roll for a tool or groove change, it is possible to work with completely circular, closed roller grooves and/or with grooves in the form of circular segments.



Picture 11. Principle of forge rolling

6. TECHNICAL DESCRIPTION

The standard machine is based on the cross wedge roll conception from LASCO (picture 12). The drive concept with two separate drives permits the necessary counter rotation of the rollers without any problems. This concept ensures an optimum adaptation of the roller speed to the forming process. The rollers and the roller adjustment are designed to meet the technological requirements of forge rolling.



Picture 12. LASCO forging roll with forging roll manipulator

To be able to take advantage of all the benefits of the flexible drive system, a specially modified industrial robot is used as a manipulator. The manipulator gripper is fitted with a compensating member that balances out the changes in billet length caused by the forming process and a further compensating member that prevents the reactive forces resulting from the forming process affecting the robot. The

manipulator and the rollers work in master-slave mode during the rolling process with the angle of roller rotation acting as the master signal. This mode of operation allows shock-free working and ensures almost zero wear compared to mechanical, rigidly coupled drive systems.

Picture 13 shows a forging roll which is designed for the production of pre-forms for crankshafts. A more complicated geometry is possible with an excellent material distribution at the blanks saving much material. Otherwise the material would flow into the flash when using no forging roll. The automatic tool change is completed with a tool set-up station which ensures an uncomplicated and reliable change of the tool segments.



Picture 13. Forging roll RCW 900 for the production of crankshafts

Picture 14 is an example of a specially designed forging roll for rolling blanks made from aluminium. The process parameters during rolling of aluminium must be kept tightly in order to achieve optimum results.

The tools are permanently heated to a temperature of 200 °C via electrically-heated rolls. Additional heating units allow a constant surface temperature of the tool at 250 °C. The tools are sprayed with lubricant in cycles by a spraying device to prevent aluminium from sticking to the steel tools.



Picture 14. Special forging roll type RCW 450 So designed for the production of aluminium blanks

In special cases the multi-purpose roll of the LASCO machine concept can be used for both rolling and cross wedge rolling processes. LASCO is the only company offering this solution.

Type	RCW 460	RCW 560	RCW 900
Outside diameter of tool [mm]	460	560	930
Clamping width of tool [mm]	560	700	1.120
Thickness of billetmax. square[mm]	63	80	125
Billet length max. [mm]	315	400	630

Chart 2: LASCO forging roll series

7. ADVANTAGES OF FORGING ROLLS

- Considerable material savings.
- Improved workpiece surface because of descaling.
- Improved die life in the subsequent forging process due to descaling and reduction of material flow in the die.
- Minimum maintenance required.
- Reliable absorption of forming forces.
- Solid basic machine concept to absorb forming forces and heat-dependent expansion effects.
- Infinitely variable adaptation of the roller speed to the workpiece-specific process requirements.
- Synchronization of both rollers independent of the gear coupling.
- All thermal expansion effects are eliminated to a very large degree with the use of a temperature-dependent and heat-dependent roller bearing.
- The roller change is carried out without using a tool.
- The temperature adjustment of the rollers permits a very high repeatability of the pre-forming process.
- For the investment in new equipment a smaller main forming unit may be used due to the forming energy which is supplied to the pre-form.

8. ADVANTAGES OF LASCO CROSS WEDGE ROLLS

- The roller change is completed in about 5 to 10 minutes per roller.
- Precision of the roller gap adjustment ± 0.1 mm.
- Controllable guide rails for the round bar with overload protection.
- Cycle times between 4 and 5 seconds in continuous operation
- Roller gap adjustment at constant centre axis of the workpiece
- The close tolerances permit to use the LASCO rolls effectively as main forming aggregate without any further forming processes, e. g. for stepped axles, wheel hubs etc.

9. ADVANTAGES OF LASCO FORGING ROLLS

- It is possible to convert the machine to a cross-wedge roll.
- It is possible to use of complete circular, closed roller grooves or with grooves in the form of circular segments.
- Use of a standard 6-axis industrial robot as manipulator.
- The LASCO manipulator gripper is fitted with a compensating member that balances out the changes in blank length.
- Flexible adaptation between speed of workpiece movement and speed profile of the roller.
- The manipulator and the rollers work in a master-slave mode.

Author: LASCO Umformtechnik GmbH, Hahnweg 139
96450 Coburg, Germany, tel. +49 9561 642-0
E-mail: lasco@lasco.de

Marković, S.

RAZVOJ OBLIKA MAŠINSKIH PROIZVODA U ZAVISNOSTI OD TEHNOLOGIJE IZRADE

Rezime: Analiza tehnološkičnosti oblika mašinskih delova predstavlja analizu posmatranog dela sa stanovišta mogućnosti njegove izrade određenim tehnološkim metodom. Ona obuhvata analizu tri segmenta: geometrije konstrukcije dela, materijala i moguće veličine serije.

Tehnologijom livenja se postiže vrlo složena konfiguracija dela, a spoljni izgled se poboljšava izražajnim materijalom, bojom i dimenzijama elemenata. Obradom deformisanjem proizvode se delovi čije dimenzije su od dela milimetra do nekoliko metara. Osnovne metode u obradi lima su: odsecanje, prosecanje, probijanje, istiskivanje, savijanje, duboko izvlačenje, reljefna obrada, kombinovana obrada... Racionalna primena obrade deformisanjem zahteva pravilno konstruisanje delova, odnosno oblikovanje konstrukcija koje će biti pogodno za obradu ovom tehnologijom, jer savijanjem se, na primer, mogu oblikovati vrlo složene konfiguracije delova. Hladno istiskivanje omogućuje izradu delova u obliku posude i delova tipa osoviniće promenljivog preseka. Oblik metalnih delova podvrgnutih termičkoj obradi treba tako izabrati da ne dođe do pojave preteranih zaostalih napona, deformacija i vitoperenja i da se izbegne nastajanje prslina u materijalu. To se postiže ublažavanjem koncentracije napona u kritičnim presecima delova i smanjenjem nesimetričnosti delova.

Ključne reči: Mašinski proizvodi, oblik, tehnologija izrade, tehnološkičnost.

DEVELOPMENT OF THE SHAPE OF MECHANICAL PRODUCTS DEPENDING ON THE MANUFACTURING PROCEDURE

Abstract: The analysis of technological suitability consists of the analysis of the given machinery part regarding the possibility of its manufacturing by a certain technological method. The analysis comprises three sections: geometry of the construction of the piece, material and possible sizes of the series.

The casting technology is used for obtaining very complex configuration of the part and the outer appearance is improved by expressive material, colour and dimensions of the elements. Deformation processing is used for producing the parts the dimensions of which vary from a part of a millimetre to several metres. The basic methods for processing sheet metal are: cutting off, slotting, punching, extruding, bending, deep drawing, embossing and combined processing. Rational application of deformation processing requires proper construction of the parts, i.e. shaping constructions suitable for this processing technology since, for example, very complex configurations of the parts can be obtained by bending. Cold extruding allows manufacturing parts with the shape of a pot and the parts such as the shaft with variable cross-section. The shape of the parts subjected to heat treatment should be such as to prevent the occurrence of excessive residual stresses, distortions, deformities and cracks in the material. This is achieved by reducing the stress concentration in the critical sections of the parts as well as by reducing the lack of symmetry in parts.

Key words: Mechanical products, shape, manufacturing technology, technological suitability.

1. UVOD

Pojam forme (oblika) u industrijskom dizajnu znači krajnji i ukupan spoljni izgled određenog proizvoda nastalog putem serijske proizvodnje. Forma je jedan od elemenata industrijskog dizajna proizvoda i određena je materijalom, načinom izrade, bojom i vrlo često ornamentom. Skup ovih elemenata forme doprinosi estetskoj vrednosti proizvoda. Cilj industrijskog dizajna kao stvaralačke delatnosti nije da proizvod izgleda lepo, već da zadovoljava zahteve kao što su: funkcionalnost, ekonomičnost, psihološka prilagodljivost čoveku, kreiranje i osiguranje harmonične veze između proizvoda i čoveka, kao korisnika, i drugi zahtevi među kojima su ekološki i estetski [5].

Tehnološkičnost oblikovanja se postiže prilagođavanjem konstrukcionih detalja potrebama pojednostavljenja postupka izrade, vodeći računa da se ne ugrozi funkcija, čvrstoća, izgled, ili neka druga karakteristika mašinskog dela.

Oblik mašinskog dela mora biti prilagođen tehnologiji izrade, što znači da zavisi i od tehnološkog nivoa proizvođača. Uspostavljanje veze između oblika mašinskog dela i tehnologija izrade cilj je ovog rada.

Pri konstruisanju mašinskih delova potrebno je definisati i način njihove izrade, kako bi se moglo pristupiti proračunu i definisanju konačnog oblika. Način izrade zavisi od više faktora, a pre svega od:

- oblika dela,
- veličine dela,
- odgovornosti dela,
- mehaničkih karakteristika materijala,
- broja komada,
- potrebne tačnosti dimenzija,
- potrebne površinske hrapavosti,
- estetskog izgleda,
- cene.

Oblik mašinskog dela je tehnološkičan ukoliko je pogodan za izradu predviđenom tehnologijom. Svaka od tehnologija izrade, na više ili manje složen način, može dovesti do odgovarajućeg oblika mašinskog dela, koji zadovoljava funkciju i druge uslove. Prihvatljiviji je onaj oblik do kojeg se dolazi na tehnološki jednostavniji i jeftiniji način. Jednostavnost oblika sa ovog aspekta postiže se prilagođavanjem konstrukcijskih detalja potrebama

pojednostavljenja postupka izrade s tim da se ne ugrozi funkcija, čvrstoća ili neki drugi sličan uslov. Usklađivanje konstrukcijskih detalja u vezi sa oblikom mašinskog dela realizuje se tek pošto je utvrđen osnovni oblik, materijal i način izrade.

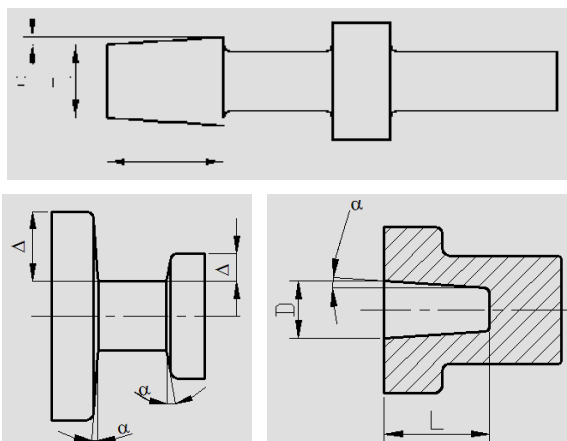
Osnovne tehnologije za izradu mašinskih delova su livenje, kovanje, zavarivanje i rezanje. U okviru svake od njih postoje klasična i nova rešenja. Klasične tehnologije se oplemenjuju novim rešenjima (novim tehnologijama) koje omogućuju pojednostavljenje postupka, pojeftinjenje, smanjenje škarta i podizanje nivoa kvaliteta. Osim navedenih osnovnih (konvencionalnih) tehnologija koriste se i posebne (specijalne) tehnologije koje se zajednički nazivaju nekonvencionalne tehnologije. One tehnologije koje nastaju kao neposredni rezultat većih naučnih dostignuća i zaokreta su visoke tehnologije.

2. MAŠINSKI PROIZVODI IZRAĐENI KOVANJEM

Kovanje je postupak izrade mašinskih delova plastičnom deformacijom u toplom stanju. Najčešće polazni oblici su okrugli, kvadratni i drugi profili izrađeni tehnologijom valjanja u toplom stanju. Valjanjem se dobija usmerena vlaknasta struktura koja se pri obradi rezanjem preseca. Umesto da budu presečena, kovanjem se vlakna savijaju i zgušnjavaju u zoni koncentracije napona. Postupkom kovanja, u posebnim slučajevima, izrađuju se i zupci zupčanika. U podnožju zubaca zupčanika, vlakna su zgusnuta, a to su mesta gde su naponi najveći. Nosivost ovako izrađenih mašinskih delova je znatno veća od rezanih.

Visok kvalitet, odnosno čvrstoća, mašinskih delova koji se izrađuju kovanjem, čine ovu tehnologiju veoma pogodnom.

Oblik dela mora obezbediti uslove da kovanje bude što jednostavnije i da se pri tom kalup što manje troši odnosno da su oštećenja što manja. Nagib površina u odnosu na ravan koja je upravna na ravan razdvajanja mora biti takav da pri kovanju ne dođe do zaglavlivanja otkovka u kalupu (slika 1). Radijusi zaobljenja ivica u kalupu preko kojih klizi (teče) materijal pri presovanju moraju biti dovoljno veliki (slika 2). Rebra kod kovanih delova nisu poželjna. Prihvatljiva su samo ona rebra koja leže u ravni razdvajanja, s tim da ne budu male debljine.



Slika 1. Kovački nagibi na: cilindričnim delovima otkovka dužine veće od 30% njihovog prečnika, a koji dublje zalaze u šupljinu oblikača: od $\alpha = 0,25^\circ$ (za

$$\frac{L}{D} = 0,3 \div 1,3) \text{ do } \alpha = 1^\circ \text{ (za } \frac{L}{D} = 3,3 \div 4,3) \text{ (gore);}$$

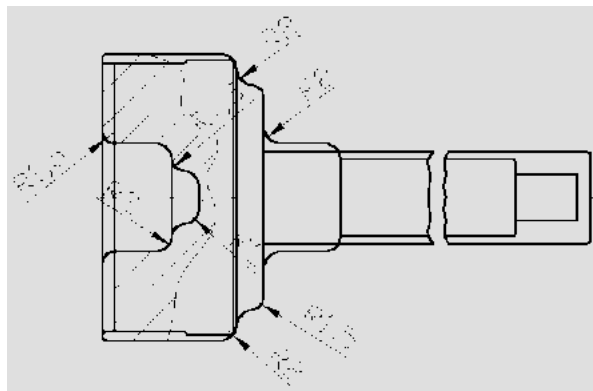
zidovima dubljih izreza koji se obrazuju u dubokim kružnim udubljenjima kalupa: od $\alpha = 1^\circ$ (za

$\Delta \leq 10 \text{ mm}$) do $\alpha = 10^\circ$ (za $\Delta > 80 \text{ mm}$) (levo);

zidovima dubokih otvora koji se utiskuju

utiskivačima: od $\alpha = 0,25^\circ$ (za $\frac{L}{D} = 0,5 \div 1,5$) do

$\alpha = 2^\circ$ (za $\frac{L}{D} = 7,5 \div 8,5$) (desno)



Slika 2. Kovački prelazi

Pri oblikovanju otkovaka potrebno je pridržavati se odgovarajućih ograničenja. To se, pre svega, odnosi na [2]:

- Kovačke nagibe,
- Prelaze,
- Oblikovanje vratila i osovine, koji na kraju ili u sredini imaju obod (zadebljanje),
- Sužavanje u uzdužnom preseku otkovka, koje ograničava tečenje metala pri kovanju u smeru suprotnom od kretanja probijača,
- Udubljenja na kraju oboda, koja se nalaze sa strane zahvatnog dela kalupa,
- Debljinu zidova.

3. MAŠINSKI PROIZVODI IZRAĐENI LIVENJEM

Tehnologija livenja je jedna od najstarijih. Omogućuje izradu vrlo složenih oblika na racionalan i često jednostavan način. U pokušajima usavršavanja i prilagođavanja odgovarajućim uslovima, razvijeno je više pristupa odnosno varijanti livenja. To su livenje u pesku, livenje u metalnim kalupima (kokilama), livenje pod pritiskom, centrifugalno livenje, livenje u vakuumu i druge specifične i nove metode livenja. Livenje u pesku je najstarije i koristi se za izradu delova složenijeg oblika, većih dimenzija manjih serija. Pesak usporava odvođenje toplote pri hlađenju što vrlo pozitivno deluje na poboljšanje kvaliteta liva. Livenje u metalnim kalupima (kokilama) omogućuje da se u jednom kalupu može odliti veliki broj komada za razliku od peščanog kalupa, koji je za jednokratnu upotrebu. Livenje pod pritiskom se uglavnom primenjuje za legure lakih metala, za delove složenog oblika koji se izrađuju u velikim serijama. Centrifugalno livenje se primenjuje za osno simetrične oblike. Oblikovanje delova mašina i uređaja livenjem daje velike prednosti. One se prvenstveno ogledaju u [3]:

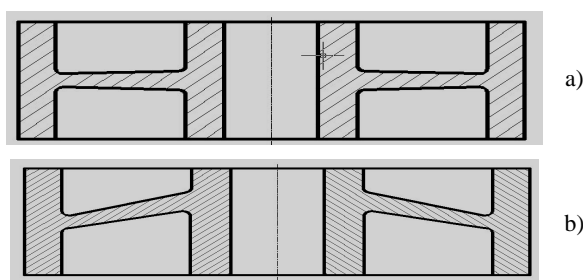
- velikoj slobodi oblika,
- smanjenju utroška materijala,
- velikoj proizvodnosti raznovrsnih oblika...
- Produktivnost izrade odlivaka u neposrednoj je zavisnosti od oblika odlivaka. Zbog toga se oblikovanje vrši na osnovu:
- traženog kvaliteta,
- veličine serije,
- raspoložive opreme i drugih faktora.

Da bi se odlivci kvalitetno oblikovali neophodno je voditi računa o:

- složenosti kalupa,
- debljini zidova,
- rebrima (ojačanjima),
- unutrašnjim površinama i otvorima,
- koncentraciji materijala,
- izradi i postavljanju nalivaka i odušaka,
- skupljanju materijala,
- montaži i demontaži,
- finaliziranju i mašinskoj obradi.

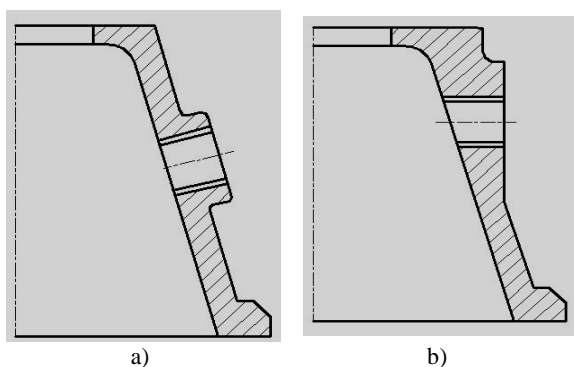
Pri oblikovanju zidova potrebno je imati u vidu njihov raspored pri livenju. Treba izbjegavati velike horizontalne površine okrenute pri livenju naviše, pošto na njima mogu da se zadrže gasovi, troska i druge nemetalne primese, koje se obrazuju u kalupu i izdvajaju iz metala [1].

Na slici 3.a prikazan je oblik odlivka (remenice) koji nije kvalitetan, jer nije obezbeđeno ravnomerno skupljanje materijala. Neophodno je izvršiti neznatnu izmenu oblika odlivka, koja će to omogućiti (slika 3.b).



Slika 3. Oblikovanje remenice izrađene livenjem sa stanovišta skupljanja materijala: a) nepovoljno; b) povoljniji oblik

Oblik odlivka prikazan na slici 4.a nije kvalitetan zbog mogućih teškoća prilikom mašinske obrade otvora. Preporučljiva je njegova neznatna izmena na način prikazan na crtežu 4.b.



Slika 4. Oblikovanje odlivka sa naknadnom mašinskom obradom: a) neracionalno; b) racionalnije

4. MAŠINSKI PROIZVODI IZRAĐENI ZAVARIVANJEM

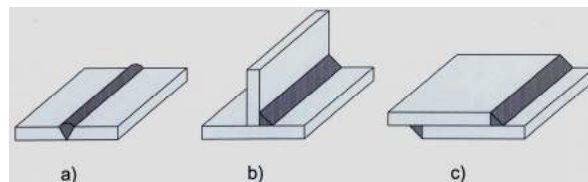
Mašinski delovi se izrađuju zavarivanjem onda kada je potreban mali broj komada složenog oblika i velike čvrstoće. U poređenju sa drugim konstrukcijama, zavareni mašinski delovi su kompaktniji sa gušće raspoređenim šavovima i većim zaostalim naponima, koji se uklanjaju žarenjem. Cilj žarenja je da se smanje zaostali naponi i omogući potpuno iskorišćenje nosivosti osnovnog materijala, tako da nosivost po jedinici mase bude veća u poređenju sa delovima koji su izrađeni drugim tehnologijama.

Zavareni spojevi su kontinualni, velike dužine i, po

pravilu, ostvaruju se automatskim postupkom, elektrolučno u zaštiti troske. To je jedan od uslova da se postigne najviši nivo kvaliteta. Noseće zavarene konstrukcije su grede, stubovi i rešetke od štapova odgovarajućeg profila i dužine, zavareni na krajevima. Zbog velikih gabarita ove konstrukcije se ne mogu žariti. Zavarene konstrukcije od limova su posude pod pritiskom, rezervoari, cevi, brodska korita...

Spojevi limova, rebara, prstenova... ostvaruju se topljenjem njihovih krajeva i dodatnog materijala (elektrode). Rastopljeni materijal, zajedno sa neposrednom okolinom koja je pri tom zagrejana do usijanja, predstavlja zavarena šav. Oblik šava zavisi od debljine spojenih delova odnosno od načina izvođenja šava. Za male debljine primenjuju se I-šav i ugaoni šav, za veće debljine V-šav, zatim H-šav i na kraju U-šav i dvostruki U-šav.

Zavareni spojevi mogu biti suočeni (slika 5.a), ugaoni (slika 5.b) i preklapni (slika 5.c). Suočene zavarene spojeve čine zavareni delovi koji leže u ravni - sučeljavaju se. Kod ugaonih zavarenih spojeva, zavareni delovi su pod uglom, najčešće pod 90° . Preklapni zavareni spojevi nastaju preklapanjem samih spojenih delova ili preklapanjem delova koje treba spojiti dodatnim preklapnim limom.



Slika 5. Zavareni spojevi: a) sučeonni, b) ugaoni, c) preklapni

Razvoj oblika zavarenih delova podrazumeva rešavanje problema u vezi sa rasporedom nosećih površina osnovnog materijala i nosivošću zavarenih spojeva odnosno šavova. Kod zavarenih mašinskih delova noseće površine osnovnog materijala mogu se rasporediti tako da budu optimalno iskorišćene.

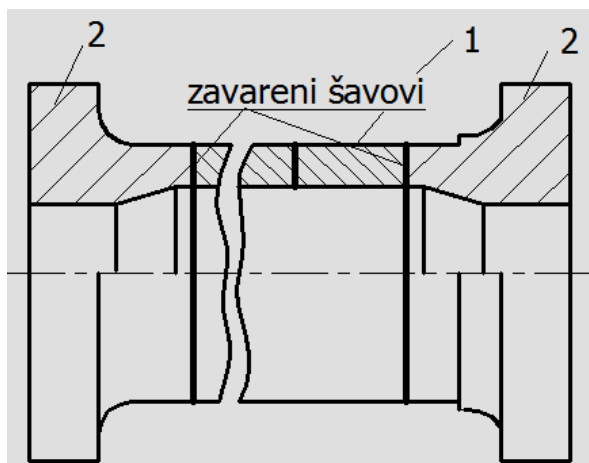
Raspored nosećih površina osnovnog materijala definiše se po osnovu sledećih kriterijuma. U prvom redu mora biti zadovoljena funkcija mašinskog dela. Oblik mora biti uklupljen u ukupnu strukturu mašinskog sistema, odnosno raspoloživi prostor, i postignuta korelacija sa drugim delovima sistema. U okviru ovih ograničenja noseće površine treba rasporediti tako da se sa maksimalnim iskorišćenjem materijala zadovolji čvrstoća (nosivost) ili krutost. Zidovi mogu biti male debljine, mogu se raspoređivati prema potrebi, nisu potrebni nagibi, opasnost od nagomilavanja materijala ne postoji, ograničenja u vezi sa vađenjem modela iz kalupa ne postoje, ograničenja u vezi sa debljinom, visinom i rasporedom rebara zbog iskivanja takođe ne postoje. Visoka racionalnost mase i nosivost zavarenih mašinskih delova rezultat su velike slobode u raspoređivanju nosećih površina profila i limova od čelika. Debljina i oblik šava su parametri značajni za nosivost zavarenog spoja koji je tehnološki ograničen. Debljina šava ne može biti veća od debljine spojenih delova. Veća debljina predstavlja nagomilavanje materijala, grešku oblika i izvor koncentracije napona. Od oblika šava i zavarenog spoja zavisi stepen koncentracije napona. Dužina šava je ograničena dužinom konture delova koji se spajaju. Sučeonni zavareni spoj se dobija sučeljavanjem čeonih kontura koje se ne mogu povećati. Kod preklapnih zavarenih spojeva mogućnosti za povećavanje dužine šava su veće.

Lokacija delova pre zavarivanja je jedno od značajnih svojstava tehnološkiosti mašinskih zavarenih delova. Pre zavarivanja delovi treba da budu stabilno i tačno postavljeni i u značajnoj meri sprečeni da menjaju položaj pri skupljanju.

Tehnološka rešenja za otklanjanje zaostalnih napona i deformacija sastoje se u sledećih nekoliko mera:

- Pre početka zavarivanja limovi moraju biti postavljeni suprotno od očekivanih deformacija tako da posle zavarivanja i skupljanja dođu u ispravan položaj.
- Druga mogućnost je da se dugački šavovi ne zavaruju u kontinuitetu već na preskok kako bi se onemogućio kumulativni proces uvećanja deformacije usled skupljanja.
- Žarenje zavarenih mašinskih delova je obavezna mera za otklanjanje zaostalih napona. U peć za žarenje se unosi zavareni mašinski deo ili grupa delova, zagreje se do belog usijanja i u ovom stanju zadržava više sati.

Veoma je korisno da se delovi složenih oblika izrađuju spajanjem zavarivanjem nekoliko otkovaka, ili zavarivanjem kovanih (1) i livenih (2) elemenata (slika 6).



Slika 6. Deo složenog oblika izrađen od dva odlivka i jednog otkovka, spojenih zavarivanjem

5. MAŠINSKI PROIZVODI IZRAĐENI REZANJEM

Rezanjem se izrađuju mašinski delovi u prethodnoj fazi ako su jednostavnijeg oblika, veće čvrstoće i ako je broj komada takav da zadovolji uslove ekonomičnosti proizvodnje. Tehnologija rezanja je znatno važnija za realizaciju završne obrade dodirnih površina mašinskih delova koji su izrađeni livenjem, kovanjem, zavarivanjem ili rezanjem.

Rezanjem se obrađuju cilindrične i ravne površine kao i površine specifičnog oblika. Osnovne tehnološke operacije rezanja su struganje, glodanje, rendisanje, bušenje, brušenje i provlačenje. Obrada struganjem može biti uzdužna (spoljašnja i unutrašnja), poprečna (čeona), usecanje i odsecanje, obrada zavojnih površina... Glodanjem se obrađuju ravne površine i površine složenog oblika. Rendisanjem se obrađuju veće ravne površine i usecaju žljebovi. Bušenjem se izrađuju i obrađuju otvori. Brušenje je postupak završne obrade i može biti ravno, cilindrično (spoljašnje i unutrašnje) i specijalno. Provlačenjem se izrađuju profilisani otvori, kao i delovi složene konfiguracije u većim serijama [1].

Polazni polufabrikati za prethodno oblikovanje mašinskih delova rezanjem su vruće valjane šipke, blokovi, ploče... Željeni oblik se dobija uklanjanjem viška materijala odnosno njegovim pretvaranjem u strugotinu.

U završnoj fazi se obrađuju one površine mašinskih delova koje su u dodiru sa drugim delovima odnosno kod

kojih mora biti obezbeđena dovoljna tačnost oblika, položaja, dužinskih mera i odgovarajuća hrapavost. Pri obradi (izradi) mašinskih delova u prethodnoj fazi (livenjem, kovanjem, zavarivanjem ili rezanjem), na ovim površinama se ostavlja sloj materijala odgovarajuće debljine za završnu obradu.

6. ZAKLJUČAK

Ukoliko je oblik dela složen, onda će se on, kod velikih serija, najverovatnije izrađivati livenjem, a kod manjih zavarivanjem. U slučaju da je mašinski deo izložen statičkom i relativno mirnom opterećenju onda će se za izradu koristiti sivi liv, a kod manjeg opterećenja silumin. Kod dinamičnog opterećenja koristiće se čelični liv, nodularni liv... Delovi jednostavnog oblika u manjim serijama izrađuju se rezanjem, a kod većih livenjem, presovanjem, kovanjem i sličnim postupcima. Kada je deo velikih dimenzija onda se on izrađuje zavarivanjem, a kod manjih gabarita nekim drugim postupkom. Odgovorni delovi se, po pravilu, izrađuju kovanjem. Broj komada (veličina serije) ima izuzetno veliki uticaj na izbor postupka izrade, jer se kod velikih serija moraju koristiti visokoproduktivni načini izrade: livenje, kovanje, presovanje, valjanje i drugi. U slučaju potrebe za visokom tačnošću dimenzija, deo će se izrađivati rezanjem iz šipke, ploče i priprema dobijenih livenjem, kovanjem... Kada postoji potreba za visokim kvalitetom površinske hrapavosti, onda će se deo izrađivati rezanjem, brušenjem i poliranjem. Ukoliko je cena odlučujući faktor, od kojeg zavisi izbor postupka izrade, onda će se kod manjih serija delova složenijeg oblika koristiti zavarivanje, a kod većih livenje.

7. LITERATURA

- [1] Grupa autora: *Inženjersko tehnički priručnik*, knjiga 5, "Rad", Beograd, 1976.
- [2] Kuzmanović S.: *Zbirka zadataka iz konstruisanja, oblikovanja i dizajna*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2003.
- [3] Marković S., Jovićić S., Tanasijević S., Josifović D.: *The technologicality of shaping the castings*, Proceedings the International symposium about desing in mechanical engineering „KOD 2008“, Novi Sad, 15+16.april 2008.
- [4] Marković S.: *Quality shaping of a machinery system – the first step toward a quality product*, 35. Nacionalna konferencija o kvalitetu „Festival kvaliteta 2008“, Zbornik radova, Kragujevac, 13+15. maj 2008.
- [5] Marković S.: *Technologicality of shaping plastic parts*, „Machine design“, Faculty of technical sciences Novi Sad, ADEKO – Association for design, elements and constructions, Novi Sad, 2008.
- [6] Ognjanović M.: *Razvoj i dizajn mašina*, Mašinski fakultet, Beograd, 2007.
- [7] Charlotte & Peter Fiell: *Design 20th Century*, Taschen, Köln-London-Los Angeles-Madrid-Paris-Tokyo, 2006.

Autor: Dr Svetislav Lj. MARKOVIĆ, profesor, Visoka škola tehničkih strukovnih studija Čačak, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, Tel.: +381 64 4 60 60 60.
E-mail:svetom@nadlanu.com

Miletić, O., Todić, M.

UTICAJ TRIBOLOŠKIH EFEKATA KONTAKTNIH POVRŠINA NA FENOMEN OJAČAVANJA

Rezime: Fenomonološki problem teorije plastičnosti čine uslovi nastanka plastičnog tečenja što materijal u tom trenutku dovodi u stanje primarne idealne plastičnosti. Međutim, pošto je proces blizak izotermičkom procesu, nema razojačavajućih efekata. Primjenjena je eksperimentalno-numerička metoda određivanja zavisnosti specifičnog deformacionog otpora od deformacije. Eksperimentalna verifikacija veličina izvršena je sa aluminijском legurom AlMg3 pri nelinearnom ojačavajućem efektu.
Ključne riječi: fenomenološki problem, izotermički proces, plastično tečenje, ojačavajući efekti

INFLUENCE OF TRIBOLOGY EFFECTS OF CONTACT AREAS ON PHENOMENON OF REINFORCEMENT

Abstract: Phenomenon problem of theory of plasticity, which makes conditions of making of plastic flow which material in that moment, brings in condition of primary ideal plasticity. However, because process is close to isothermal process, there is no disappointing effect. We applied experimental-numerical method of defining of conditionality of specific deformation resistance from deformation. Experimental verifying of sizes is made with aluminum admixture AlMg3 at nonlinear reinforcement effect.
Key words: phenomenon effect, isothermal process, plastic flow, and effects of reinforcement.

1. UVOD

U procesu hladne obrade presovanjem javlja se istoimena naponska šema svestranog pritiska. Ovo izaziva visoke vrijednosti sferičnog tenzora napona, pa je za ostvarivanje plastičnosti potrebno postići visoke energetske parametre procesa. Realni proces se zasniva na fenomenu ojačavanja materijala i tribološkim efektima na kontaktnim površinama alata i obratka.

2. DEFORMACIONO OJAČAVANJE

Na osnovu eksperimentalnih rezultata dobijenih sabijanjem probnih uzoraka, mogu se konstruisati krive deformacionog ojačavanja. Uzorci su isjecani iz trake i to: u pravcu valjanja (duž x-ose), poprečno na pravac valjanja (duž y-ose) i okomito na površinu trake (duž z-ose).

Korišćena je eksperimentalna metoda neposredne provjere fenomena sekundarne plastičnosti koja dozvoljava minimalnu deformaciju usljed spoljašnjeg trenja [1]. U eksperimentima su korišćena po tri probna uzorka u obliku valjčica istog prečnika ali različitih visina. Slobodno sabijanje uzoraka vršeno je između paralelnih ravnih površina u uslovima suvog trenja. Tokom procesa mjerena je deformaciona sila u zavisnosti od hoda tiskača.

Za razmatranje ojačavanja uzima se dimenzionalni odnos uzoraka iz optimalnog intervala krutosti oblika [1], [4] (tabela 1.):

$$4 > \frac{d_0}{h_0} > 1 \quad (1)$$

Tabela 1. Dimenzije i materijal uzorka oblika valjčica ($d_0=8,5$ mm)

Materijal	Pravac isjecanja uzorka	visina h_0 mm	Odnos d_0/h_0 mm
-----------	-------------------------	-----------------	--------------------

AlMg3	x-osa	8,00	1,063
		6,20	1,371
		2,50	3,400
	y-osa	8,05	1,056
		6,05	1,405
		2,50	3,400
	z-osa	8,20	1,037
		6,15	1,382
		2,60	3,270

Proces sabijanja je realizovan na hidrauličnoj presi nominalne sile $F=630$ kN.

Koristeći podatke iz zapisnika i dijagrama sile sabijanja može se odrediti radni pritisak procesa u funkciji deformacije sabijanja (tabela 2),

$$p = p(\varepsilon) = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \frac{h}{h_0} = \frac{4F}{\pi d_0^2} (1 - \varepsilon) \quad (2)$$

gdje su:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_0 - h}{h_0} \text{ - relativne deformacije sabijanja,}$$

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \text{ - površina poprečnog presjeka priprema,}$$

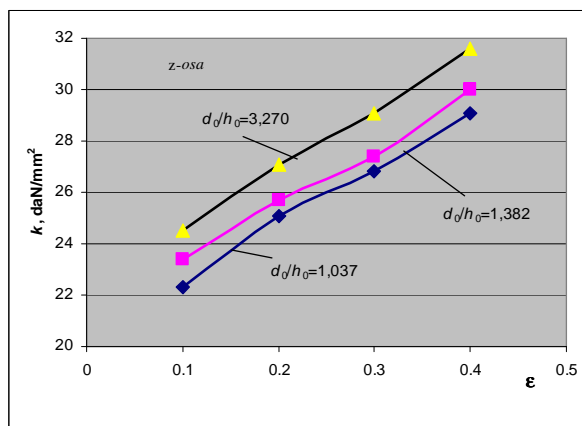
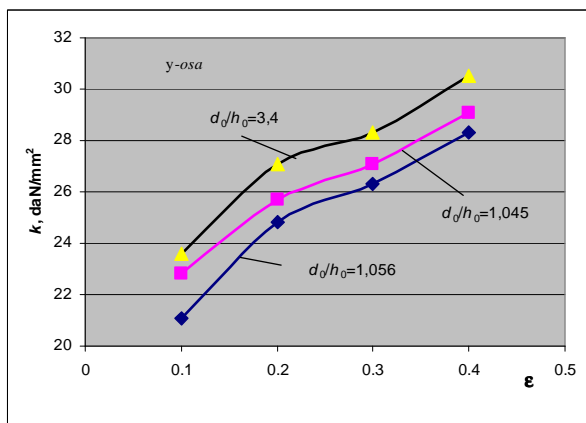
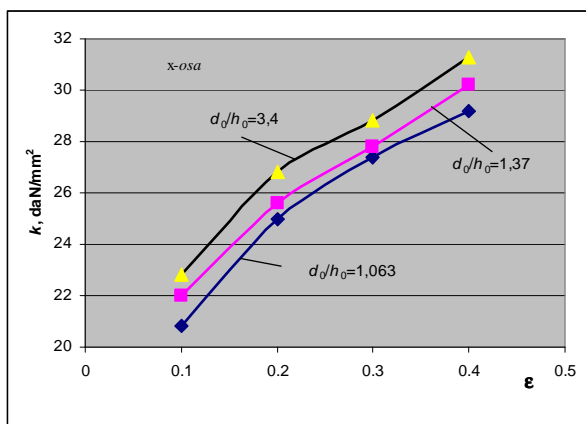
A - površina poprečnog presjeka obratka.

Tabela 2. Zavisnost radnog pritiska od deformacije sabijanja i krutosti oblika priprema

ε	$p(\varepsilon, d_0/h_0)$, daN/mm ²
---------------	---

	x-osa			y-osa			z-osa		
	1,063	1,371	3,400	1,056	1,045	3,400	1,037	1,382	3,270
0,1	20,8	22	22,8	21,1	22,8	23,6	22,3	23,4	24,5
0,2	25	25,6	26,8	24,8	25,7	27,1	25,1	25,7	27,1
0,3	27,4	27,8	28,8	26,3	27,1	28,3	26,8	27,4	29,1
0,4	29,2	30,2	31,3	28,3	29,1	30,5	29,1	30,0	31,6

Tribološke karakteristike procesa sabijanja zavise ne samo od stanja kontaktnih površina i podmazivanja, nego i od krutosti oblika probnih uzoraka. Znači, zbog toga se zapaža intenzivniji porast sile sabijanja za veće vrijednosti odnosa D_0/h_0 . Funkcija $p(\epsilon)$ obuhvata i efekt deformacionog ojačavanja i ojačavanje-krutost oblika, slika 1.



Slika 1. Radni pritisak za uslove suvog trenja

Iz dijagrama $p(\epsilon)$ je očito da su vrijednosti radnog pritiska veće, pri istoj deformaciji sabijanja, za veće vrijednosti odnosa d_0/h_0 , što je uzrokovano tribološkim konstalacijama procesa sabijanja.

Da bi se dobila kriva ojačavanja, neophodno je iz procesa isključiti uticaj spoljašnjeg kontaknog trenja na funkciju radnog pritiska. Za odvajanje uticaja spoljašnjeg trenja od fizikalnog procesa ojačavanja potrebno je odrediti funkcionalnu zavisnost radnog pritiska i krutosti oblika obratka $p=p(d/h)$.

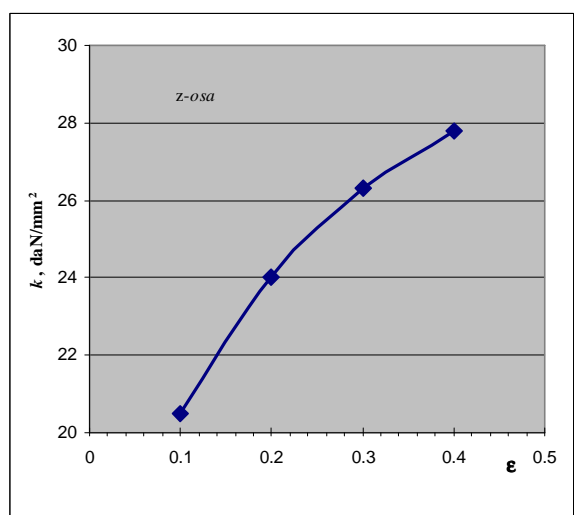
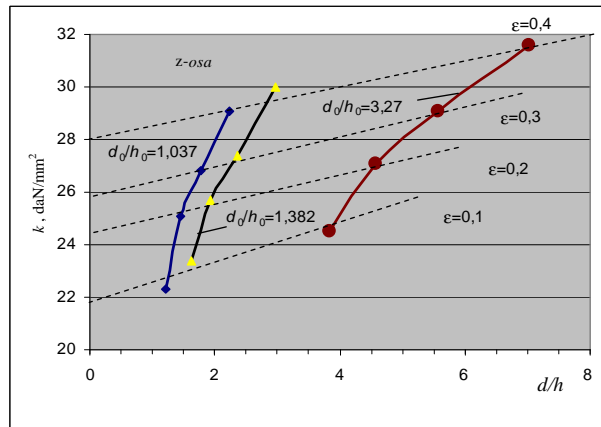
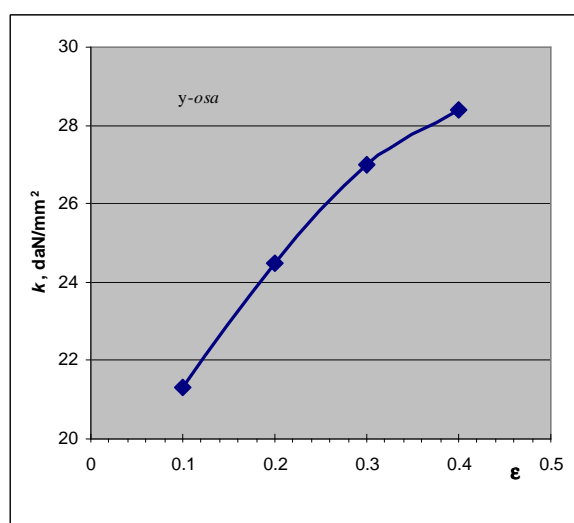
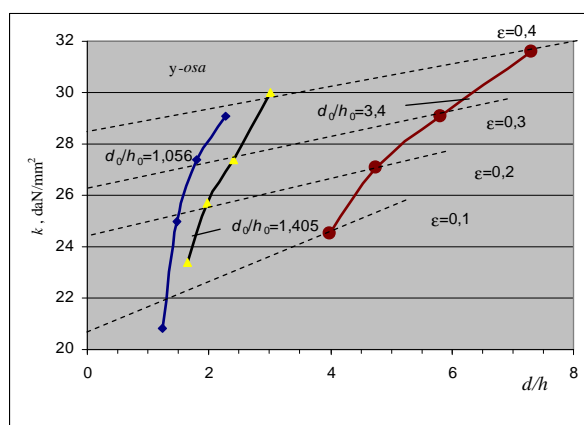
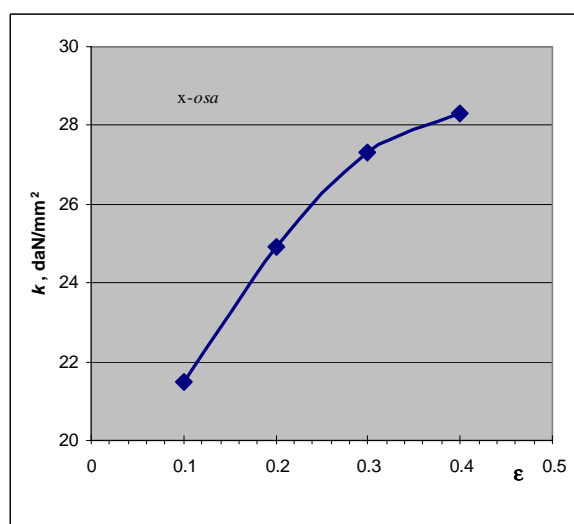
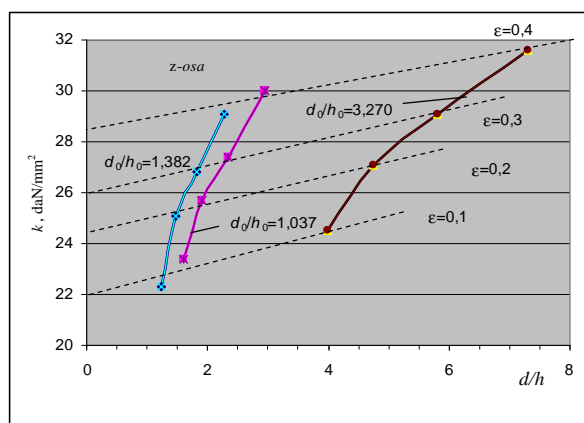
Zavisnost između krutosti oblika obratka, krutosti oblika priprema i deformacije sabijanja određuje se iz uslova postojanosti zapremine (zanemaruje se bočna ispupčenja uzorka), tabela 3:

$$\frac{d}{h} = f\left(\frac{d_0}{h_0}, \epsilon\right) = \frac{d_0}{h} \frac{1}{(1-\epsilon)\sqrt{1-\epsilon}} \quad (3)$$

Tabela 3. Zavisnost krutosti oblika obratka, priprema i deformacije sabijanja

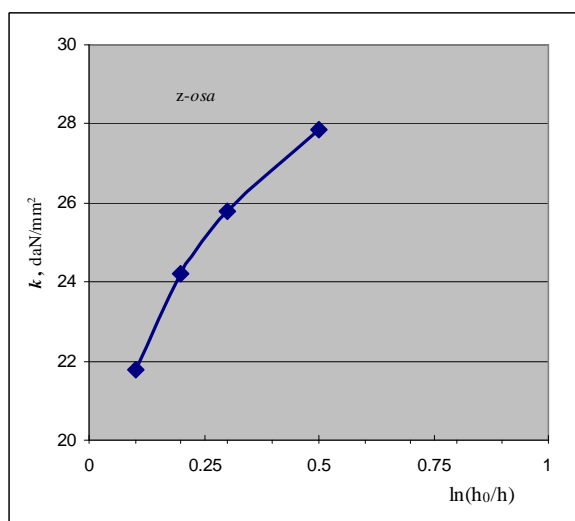
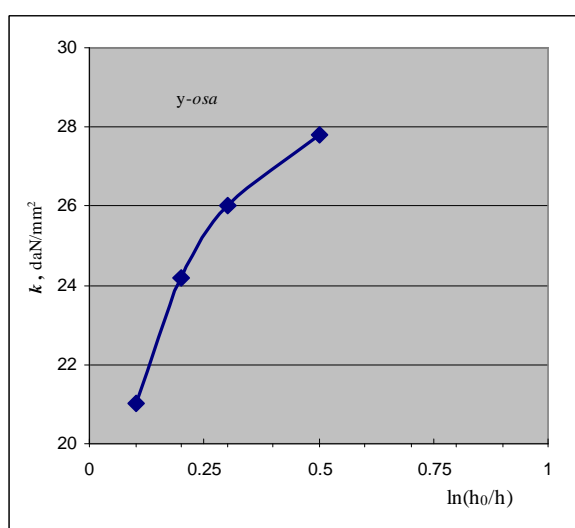
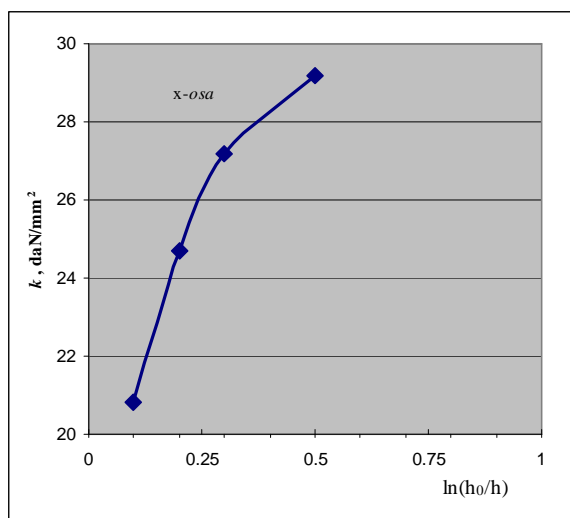
deformacije sabiranja																
0,4	0,6	0,216	0,465	2,151	2,286	2,947	7,313	$d/h=d_0/h_0(1/(1-\epsilon)^{3/2})$								
								d_0/h_0			y-osa			z-osa		
								1,063	1,371	3,400	1,056	1,045	3,400	1,037	1,382	
0,1	0,9	0,729	0,254	1,171	1,245	1,604	3,981	1,236	1,645	3,981	1,214	1,618	3,829	3,270		
0,2	0,8	0,513	0,716	1,397	1,485	1,914	4,750	1,475	1,963	4,750	1,449	1,931	4,568			
0,3	0,7	0,343	0,586	1,706	1,813	2,337	5,800	1,801	2,397	5,800	1,769	2,358	5,579			
0,4	0,6	0,216	0,465	2,151	2,286	2,947	7,313	2,271	3,022	7,313	2,231	2,973	7,034			

Prenošenjem vrijednosti funkcije $p(\epsilon)$ u koordinatni sistem $p=p(d/h)$ dobija se dijagram ove zavisnosti, slika 2.



Slika 2. Zavisnost $p(d/h)$ za materijal AlMg3

Na dijagramu $p(d/h)$, slika 2, ekstrapolacijom radnog pritiska za istu deformaciju sva tri probna uzorka, na nultoj vrijednosti krutosti oblika ($d/h=0$) eliminiše se uticaj kontaktnog trenja, gdje odgovarajuće ordinate predstavljaju specifični deformacioni otpor za dotični stepen deformacije, na osnovu čega se može konstruisati dijagram ojačavanja pri sabijanju, slika 3.



Slika 3. Dijagram ojačavanja pri sabijanju $k=k(\epsilon)$ i $k=k(\ln(h_0/h))$ za AlMg3

Iz ovih dijagrama se vidi da su male razlike u vrijednostima specifičnog deformacionog otpora, respektivno u pravcima x, y, z.

Ovim se potvrđuje mogućnost određivanja stvarnih napona plastičnog tečenja, sabijanjem pri sobnoj temperaturi i sa relativno malim brzinama deformacije.

3. ZAKLJUČAK

Korišćena je eksperimentalna metoda neposredne provjere fenomena sekundarne plastičnosti uz tribološke provjere fenomena sekundarne plastičnosti uz tribološke karakteristike procesa, koje zavise ne samo od stanja kontaktnih površina i podmazivanja nego i od optimalnog intervala krutosti oblika probnih uzoraka.

Ekstrapolacijom radnog pritiska sabijanja, eliminišući uticaj kontaktnog trenja, dobijaju se stvarne vrijednosti specifičnog deformacionog otpora, što omogućuje konstrukciju dijagrama ojačavanja.

S obzirom na istoimenu naponsku šemu, jedan od najbitnijih faktora projektovanja tehnološkog procesa predstavlja određivanje radnog pritiska procesa.

4. LITERATURA

- [1] Šafman L.A., *Teorija i rasčoti procesa holodnoj šampovki*, Mašinstroenije, Moskva, 2001.
- [2] Todić M., Miletić O., *Position effect of the composition layer during punction and stamping out*, Žurnal svarocnoe proizvodstvo, str. 79-85, Lipce, Rosija, 2004.
- [3] Todić M., Miletić O., Blagojević D., *Significanse of geometrical and mechanical parameters on delamination at bending of two-layer composite*, Gabrovo, Bugarska, 2008.
- [4] Miletić O., *Tehnologija mašinogradnje*, Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, 1999.
- [5] Miletić O., *Konstitutivne relacije procesa neprekidnog profilisanja kompozitne ljuske i ploče*, Mašinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, 2002.

Autori: Prof. Dr Ostoja Miletić, Dr Mladen Todić, Mašinski fakultet Banjaluka, RS, BiH.

E-mail: miletic@urc.bl.ac.yu

todic@urc.bl.ac.yu

Movrin, D., Vilotić, M., Plančak, M.

INKREMENTALNO DEFORMISANJE LIMA

Rezime: Tehnologija plastičnog deformisanja okarakterisana je permanentnim razvojnim i inovacionim aktivnostima čime se otvaraju nove mogućnosti praktične primene ove tehnologije. Jedan od takvih primera je i inkrementalno deformisanje lima sferičnim alatom.

U ovom radu prikazana je tehnologija inkrementalnog deformisanja lima alatom sa sferičnim vrhom. Inkrementalno deformisanje lima se može koristiti za dobijanje složenih 3D konfiguracija. Najnovija istraživanja su fokusirana na dobijanju delova složenih 3D konfiguracija uz korišćenje numeričkih (CNC) mašina i što jednostavnijih univerzalnih alata. Tehnologija inkrementalnog deformisanja je veoma fleksibilna i pogodna kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje kao i kod rapid prototyping-a i rapid tooling-a.

Ključne reči: Inkrementalno deformisanje, lim, žig, numeričko upravljanje

INCREMENTAL SHEET METAL FORMING

Abstract: Metal forming technology is characterized by permanent development and innovation, which opens new possibilities for applying this technology. One of these examples is incremental single point forming by spherical dies.

In this paper, incremental single point sheet metal forming technology is shown. Incremental single point forming can be used for manufacturing of complex 3D configurations. The newest researches are focused at manufacturing complex 3D configuration by the numerical (CNC) machines and the simple universal tools. Incremental single point forming is very flexible technology, which is useful for small batch manufacturing, as well as for rapid prototyping and rapid tooling.

Key words: Incremental forming, Sheet-metal, Punch, Numerical control

1. UVOD

Inkrementalno deformisanje sferičnim alatima je moderna metoda obrade deformisanjem koja otvara nove mogućnosti u obradi lima. U poređenju sa klasičnim tehnologijama obrade lima (duboko izvlačenje, hidromehanička obrada...), ova tehnologija je u prednosti zbog toga što koristi jednostavan alat kojim se parcijalnim zahvatom dobijaju delovi složenog oblika, što dovodi i do smanjenja troškova proizvodnje. Inkrementalno deformisanje zapravo nije novi metod u obradi lima jer su neke konvencionalne tehnologije obrade lima takođe bazirane na parcijalnoj obradi jednostavnim alatom, kao npr. rotaciono izvlačenje. Međutim ovom metodom mogu se dobiti samo aksijalno simetrični delovi dok su mogućnosti obrade lima inkrementalnim deformisanjem mnogo veće (dobijanje kutijastih i nesimetričnih delova). Glavna mana ove tehnologije jeste dužina trajanja procesa izrade dela, pa se

ova tehnologija može koristiti samo kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Na slici 1 dati su primeri aksijalno simetričnih, kutijastih i nesimetričnih delova dobijenih ISMF tehnologijom.

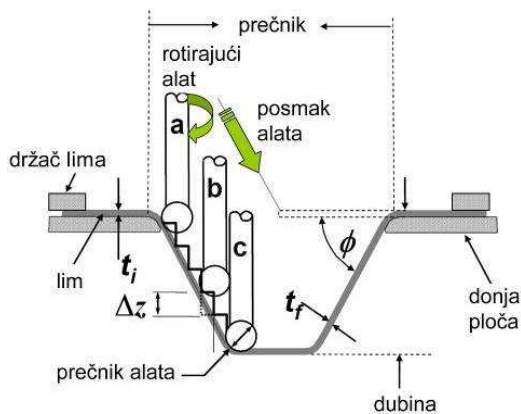
U ovom radu prikazana je tehnologija inkrementalnog deformisanja lima, sa pregledom osnovnih parametara procesa i osvrtom na tačnost delova dobijenih ovom tehnologijom.

2. OSNOVE PROCESA

Tehnologija inkrementalnog deformisanja lima poznata je i kao „dieless“ tehnologija. Kao alata za formiranje koristi se cilindar sa glatkim (poliranim) sferičnim vrhom sl.2, koji se postavlja u rotirajuću glavu mašine. Alat se izrađuje od tvrdih materijala kao što je volfram karbid ili od alatnih čelika koji su u cementiranom stanju.

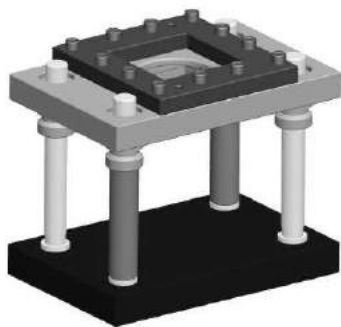


Slika 1 Primer složenog dela dobijenog inkrementalnim deformisanjem lima [11]

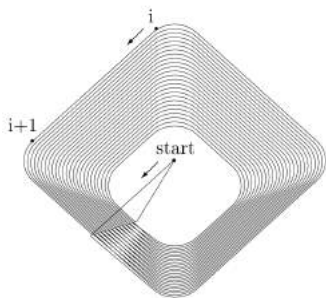


Slika 2 Šematski prikaz inkrementalnog deformisanja lima [6]

Lim (radni komad) je fiksiran u donji alat pomoću nazubljenog držača kako bi se onemogućilo njegovo klizanje iz alata (sl.3). Držač se pomoću stubova odvaja od radnog stola mašine na udaljenost koja je veća od dubine finalnog dela. Ceo sklop je fiksiran na radni sto mašine. Upravljanje kretanjem žiga tokom procesa inkrementalnog deformisanja lima se vrši pomoću računara tj. upravljačke jedinice mašine po određenoj (unapred zadatoj) putanji. Zona deformacije je lokalizovana na maloj površini i nalazi se neposredno ispod sferičnog alata. Potrebno je napomenuti da pri ovoj obradi zapravo dolazi do smanjenja debljine lima, a to smanjenje direktno zavisi od nagiba zida obratka. Držač lima i lim ostaju fiksirani tokom celog procesa deformisanja, dok sferični alat vrši rotaciju oko svoje uzdužne ose. Deo se dobija nizom inkrementalnih koraka sve dok se ne dobije finalni oblik, kako po dubini tako i po posmatranom poprečnom preseku (sl.2). Takođe, potrebno je napomenuti da je podmazivanje tokom procesa deformisanja vrlo važno zbog smanjenja trenja na mestu kontakta sferičnog alata i lima (obratka). Za većinu eksperimentalnih istraživanja koja su predstavljena u radovima raznih autora, kao mašina za deformisanje korišćena je CNC glodalica. Primer putanje sferičnog alata pri izradi dela oblika piramide prikazan je na slici 4.

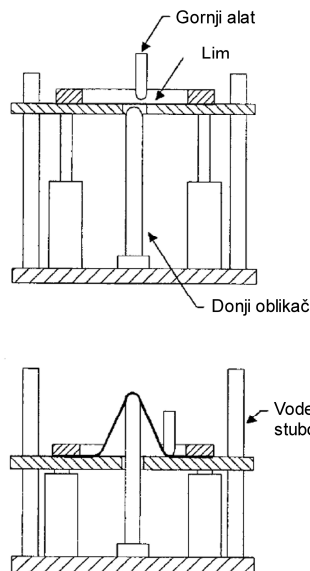


Slika 3 CAD model donjeg alata [8]



Slika 4 Primer putanje sferičnog alata pri izradi dela oblika zarubljene piramide [3]

Razvijeno je i drugo konstrukcijsko rešenje donjeg (potpornog) alata na Queen's University u Kanadi, koje je prikazano na slici 5. Razlika u odnosu na prethodno rešenje je ta što se u ovom slučaju na donji deo alata dodaje oblikač, oko kog se formira gotov komad. Takođe, držač lima je u ovom slučaju pokretan i upravljao pomoću dva pneumatska cilindra [5]. Ovakvom promenom konstrukcije alata menja se i putanja sferičnog alata u odnosu na putanju prikazanu na slici 4. U ovom slučaju obradak se formira od njegovog dna ka gornjem delu.



Slika 5 Donji alat sa oblikač [5]

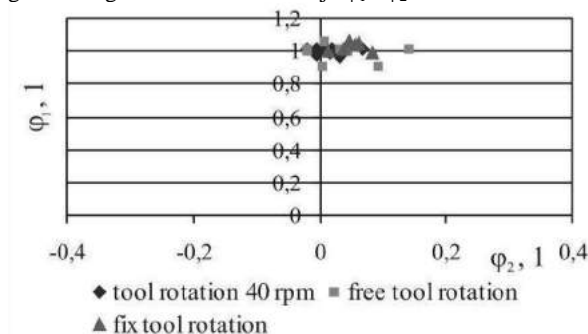
3. REŽIMI OBRADE I NJIHOV UTICAJ NA VELIČINU DEFORMACIJE I SILU

Radi postizanja što boljeg kvaliteta obratka, vremena izrade dela, a samim tim i smanjenja troškova proizvodnje, potrebno je odrediti režime obrade i poznavati njihov uticaj na pojedine parametre procesa kao što su veličinu deformacije, deformacionu silu, trenje i dr.

Evidentno je da proces inkrementalnog deformisanja lima, po načinu dobijanja dela, veoma liči na proces obrade glodanjem (završno glodanje), pa su i režimi obrade slično definisani. Samim tim i mašina koja se najčešće koristi u svrhu istraživanja je CNC glodalica. Osnovni režimi obrade kod inkrementalnog deformisanja lima su:

- broj obrtaja alata,
- pomak alata,
- vertikalni pomak („dubina obrade“),
- prečnik sferičnog dela alata.

Na slici 6 prikazan je uticaj broja obrtaja alata na veličinu glavnih logaritamskih deformacija ϕ_1 i ϕ_2 .



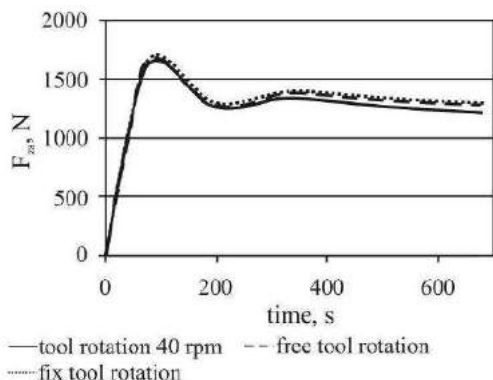
Slika 6 Uticaj broja obrtaja alata na veličinu glavnih logaritamskih deformacija ϕ_1 i ϕ_2 [8]

Eksperiment je izveden sa tri različita parametra:

- broj obrtaja 40 o/min,
- slobodnom rotacijom alata,
- bez rotacije alata.

Uprkos neznatnom uticaju broja obrtaja alata na veličinu deformacije, vizuelnim pregledom se može primetiti da pri obradi bez obrtanja alata postoje veći tragovi alata na površini obratka, što je uzrokovano povećanim trenjem na mestu kontakta alat-obradak. U slučaju kada postoji rotacija alata prisutno je trenje kotrljanja koje je znatno manje od trenja u prethodnom slučaju, pa je samim tim i površina obratka imanja manju hrapavost [8].

Sa istim režimima obrade utvrđen je i uticaj broja obrtaja na veličinu deformacione sile (slika 7).



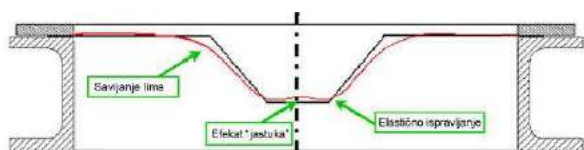
Slika 7 Uticaj broja obrtaja alata na veličinu sile [8]

Detaljan opis uticaja parametara na veličinu deformacije i deformacionu silu može se pronaći u radu [8], a o problematici i načinu merenja sile u radu [4].

4. TAČNOST DELOVA DOBIJENIH INKREMENTALNIM DEFORMISANJEM

Prilikom procesa dizajniranja, veoma je bitno doneti ispravne odluke o određenim tolerancijama pojedinih dimenzija delova. Ovo je naročito važno ako je proizvod deo nekog sklopa, zbog njegove ugradnje u taj sklop [7]. Kao i kod svake druge obrade i kod inkrementalnog deformisanja lima postoje određena ograničenja po pitanju tačnosti koja je potrebno poznavati da bi se dobio što tačniji komad.

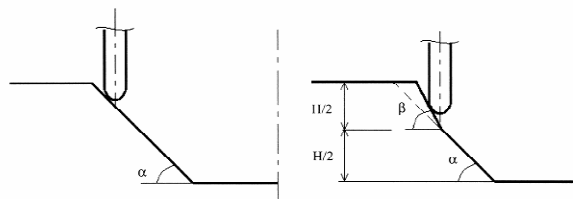
Na slici 8 prikazane su geometrijske greške koje se javljaju pri obradi inkrementalnim deformisanjem lima. Prikazan je najjednostavniji primer ove obrade sa obratkom oblika zarubljene kupe, učvršćenim u donji alat bez donjeg formirača. Mogu se uočiti tri tipa grešaka na finalnom delu, posle prestanka dejstva alata. Prva greška se javlja usled savijanja lima na gornjem delu obratka (prelaz omotača kupe u osnovu). Druga se javlja po prestanku dejstva alata, kada dolazi do elastičnog ispravljanja (springback), pa je finalna dubina obratka manja od dubine postignute tokom obrade. Treća greška je takozvani efekat „jastuka“, koji se javlja na nedeformisanom delu obratka, odnosno dnu. Ova greška izaziva konkvavnost dna [7].



Slika 8 Greške geometrije obratka pri obradi inkrementalnim deformisanjem lima [7]

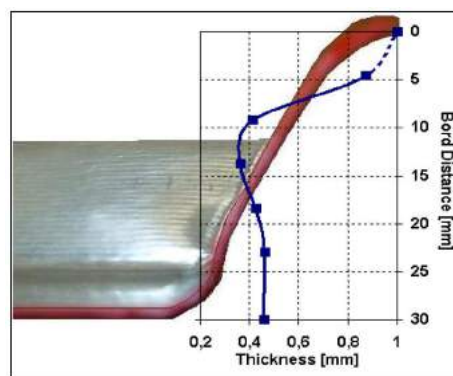
U svetu su vršena razna istraživanja u cilju poboljšanja finalnih dimenzija dela. Jedan od predloga poboljšanja

tačnosti dali su Ambrogio, Consantino u dr. [1]. Ublažavanje prethodno pomenutih efekata vršili su optimizovanjem putanje alata slika 9. Promenom putanje alata, najviše se isključuje efekat savijanja pa je kontura obratka bliža idealnoj konturi.



Slika 9 Modifikacija putanje alata radi povećanja tačnosti [1]

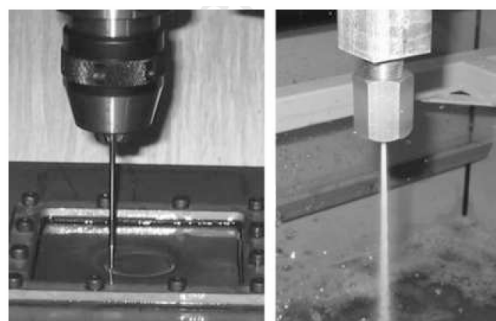
Delove dobijene ovom tehnologijom karakteriše neravnomerna debljina zida [2]. Prema teoriji, debljina zida obratka bi trebala da bude konstantna i da zavisi od početne debljine lima i nagiba zida obratka. Međutim, eksperimentom je pokazano da se debljina zida menja duž profila obratka, a najmanje vrednosti ima oko sredine visine (slika 10).



Slika 10 Distribucija debljine zida obratka [2]

5. PRAVCI DALJEG RAZVOJA

Prethodno prikazani primeri inkrementalnog deformisanja lima predstavljaju najjednostavniji način ove obrade. Na Fakultetu za strojništvo iz Ljubljane, vršena su istraživanja upotrebe vodenog mlaza umesto gornjeg alata (alata sa polusferičnim vrhom, slika 11).



Slika 11 Uporedni prikaz obrade krutim alatom i vodenim mlazom [9]

Glavni parametar procesa, kod inkrementalnog deformisanja krutim alatom je kinematika alata, koja definiše veličinu sile kojom alat deluje na lim, dok su kod obrade vodenim mlazom glavne karakteristike pritisak i rastojanje mlaznice od obratka. Vodeni mlaz u odnosu na kruti alat ima prednost kod većih vertikalnih pomaka i manjih uglova nagiba zida obratka. Oprema potrebna za ovu obradu je komplikovanija zbog pumpi potrebnih za dobijanje odgovarajućeg pritiska. Istraživanja su pokazala da je postoji

tačan raspon pritiska vodenog mlaza koji omogućava obradu inkrementalnim deformisanjem. Ako je pritisak manji neće doći do obrade, a ako je veći dolazi do sečenja materijala [9].

Na slici 12 prikazan je industrijski robot koji vrši inkrementalno definisanje lima umesto CNC glodalice. Na ovaj način postiže se ušteda vremena menjanja lima u nosačima, jer se zbog fleksibilnosti kretanja robota držač lima može postaviti na dva mesta. Dok robot vrši obradu na jednom mestu radnik može da menja lim na drugom i obrnuto (može se reći da je obrada u kontinuitetu). Takođe, moguće je da se u različitim nosačima izrađuju dva potpuno različita dela.



Slika 12 Primena robota u inkrementalnom deformisanju lima [10]

6. ZAKLJUČAK

Kao što se iz priloženog može videti osnovne prednosti inkrementalnog deformisanja lima su [7]:

- Priprema procesa praktično nema troškova (univerzalni alati);
- Kretanja alata je potpuno kontrolisano računarom, a pogodna mašina za ovu vrstu obrade je CNC glodalica;
- Veoma velika fleksibilnost procesa (prilikom promene vrste radnog komada dovoljno je samo promeniti program na mašini);
- Proces je pogodan za rapid prototyping;
- Granična deformabilnost je veća nego pri konvencionalnim obradama.

Naravno, inkrementalno deformisanje lima ima i svoje nedostatke [7]:

- Sporost procesa obrade. Deformacija je lokalizovana na malom području ispod žiga, što uzrokuje dugačku putanju alata, naročito kod kompleksnih oblika. Korišćenjem mašina nove generacije, koje mogu da postignu visoke vrednosti režima obrade, vreme obrade je moguće smanjiti na nekoliko minuta;
- Pošto je obradak prilikom obrade „jednostavno“ učvršćen, po prestanku dejstva gornjeg alata na njega, dolazi do elastičnog ispravljanja koje utiče na tačnost dobijenog dela.

7. LITERATURA

- [1] Ambrogio, G., Costantino, I., De Napoli, L., Filice, L., Fratini, L., Muzzupappa, M.: *Influence of some relevant process parameters on the dimensional accuracy in incremental forming: a numerical and experimental investigation*, Journal of Material Processing Technology, pp. 501-507, vol. 153-154, 2004.
- [2] Ambrogio G., Filice, L.A.: *Simple Strategy for Improving Geometry Precision in Single Point Incremental Forming*, Proceedings of the 8th International Conference on Technology of Plasticity (ICTP 2005), pp. 357-358 Verona, Italy, 2005.
- [3] Bambach, M., Hirt, G., Junk, S.: *Modeling and experimental evaluation of the incremental CNC sheet metal forming process*, VII International conference on Computational Plasticity COMPLAS 2003, pp.1-16, Barcelona, Spain, 2003.
- [4] Dufloy, J., Tunckol, Y., Szekeres, A., Vanherck, P.: *Experimental study on force measurements for single point incremental forming*, Journal of Materials Processing Technology, pp. 65-72, Vol. 189, 2007.
- [5] Hagan, E., Jeswiet, J.: *A review of conventional and modern single-point sheet metal forming methods*, Proc. Instn Mech. Engrs, Vol 217 Part B: J. Engineering Manufacture, pp. 213-225, IMechE 2003.
- [6] Ham, M., Jeswiet, J.: *Single Point Incremental Forming and the Forming Criteria for AA3003*, pp. 341-244, Annals of the CIRP Vol. 55/1, 2006.
- [7] Micari, F., Ambrogio, G., Filice, L.: *Shape and dimensional accuracy in Single Point Incremental Forming: State of the art and future trends*, Journal of Materials Processing Technology, pp. 390-395, vol. 191, 2007.
- [8] Petek, A., Kuzman, K., Kopač, J.: *Forces and deformation analysis of incremental sheet metal forming*, 11th International Scientific Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, Poland 2005.
- [9] Petek, A., Jurisevic, B., Kuzman, K., Junkar, M.: *Comparison of alternative approaches of single point incremental forming processes*, Journal of Materials Processing Technology
- [10] ROBOSHAPING – Innovative matrixfreie inkrementelle Blechum - formung mit Industrie – roboter, catalog
- [11] <http://www.mech.kuleuven.be/pp/research/spif>

Autori: Dejan Movrin, Marko Vilotić, Prof. dr Miroslav Plančak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2334, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: movrin@uns.ns.ac.yu
markovil@uns.ns.ac.yu
plancak@uns.ns.ac.yu

Plančak, M., Vilotić, D., Movrin, D., Milutinović, M., Lužanin, O., Skakun, P.

NEKI ASPEKTI SAVREMENIH TRENDOVA U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE KOVANJA

Rezime: U sve složenijim uslovima savremenog globalnog tržišta potrebno je kvalitetan proizvod dobiti za što kraće vreme uz prihvatljive troškove proizvodnje. Kovanje u mnogim slučajevima predstavlja tehnologiju koja zadovoljava gornje uslove i zbog toga je veoma prisutna u oblasti proizvodnog mašinstva. Glavne prednosti kovanja su niski naponi tečenja materijala i dobre mehaničke osobine otkovka. Nedostaci procesa su relativno niska tačnost i kvalitet površine kao i povećan utrošak energije (toplo kovanje).

Rad prikazuje karakteristične primere kovanja kroz koje se mogu uočiti neki od savremenih pristupa u analizi i projektovanju procesa kovanja.

Cljučne reči: kovanje, projektovanje, novi trendovi.

SOME CONTEMPORARY TRENDS IN FORGING PROCESS DESIGN

Abstract: Hot and cold forging operations are highly utilized technology for production of workpieces of different size and complexity and with superior workpiece mechanical properties. This technology is characterized by low flow stress of materials which enables ease of manufacturing. But, relatively poor dimensional accuracy and high energy consumption (heating) are the main drawbacks of forging technology.

Current paper provides an insight into some of the new trends in the analysis and design of forging technology. A number of characteristic examples are elaborated dealing with tooling, process development and simulation of the forging process.

Key words: Forging design, Contemporary Trends

1. UVOD

Toplo kovanje u otvorenom kalupu predstavlja jednu od najznačajnijih tehnoloških metoda obrade deformisanjem. Zahvaljujući svojim komparativnim prednostima u odnosu na druge tehnološke metode (mogućnost izrade delova kompleksne geometrije, veoma dobre mehaničke osobine dobijenih delova, niski naponi tečenja i dr.) kovanje se koristi u širokom dijapazonu proizvoda, različitih oblika (procenjuje se da na svetu postoji više od 600 000 različitih alata za kovanje), težine (od 1gr do preko 1t) i iz različitih materijala. Posebno treba istaći primenu kovanja u autoindustriji gde se ova obrada koristi za dobijanje vrlo odgovornih delova kao što su klipnjača motora, poluosovine i dr.

Kod klasičnog toplog kovanja tačnost i kvalitet površine su na relativno niskom nivou pa se aktivne funkcionalne površine otkovka moraju naknadno obrađivati. Ovaj nedostatak tehnologije toplog kovanja utiče na to da se u većoj meri primenjuje tzv. kovanje u zatvorenom kalupu tj. kovanje bez venca, kod kojeg je tačnost otkovka povišena. Pored toga kod hladnog kovanja moguće je primeniti „Net-shape Forming“ paradigmu u cilju dobijanja preciznih delova sa kvalitetnim površinama.

U ovom radu prikazani su neki aspekti savremenih trendova u analizi i projektovanju procesa toplog kovanja čiji je cilj optimizacija procesa kovanja i povećanje konkurentnosti ove tehnologije.

2. NEKI SAVREMENI TRENDOWI U ANALIZI I PROJEKTOVANJU PROCESA KOVANJA

Kovanje je jedna od najstarijih obrada koje je čovek koristio u cilju izrade oruđa, oružja, posuda, ukrasa i sl. Tokom vremena ova obrada se postepeno usavršavala da bi danas dostigla nivo visoko sofisticirane tehnologije obrade metala.

U svetskim istraživačkim laboratorijama intenzivno se i dalje istražuje tehnologija kovanja, a u cilju daljih poboljšanja performansi otkovaka, smanjenja utroška energije, poboljšanja iskorišćenja materijala i dr. Pri tome se sva ta istraživanja mogu podeliti u tri grupe:

- Teoretska istraživanja (korišćenje klasične teorije plastičnosti uz određene pretpostavke i simplifikacije graničnih i drugih uslova.)
- Numerička istraživanja (korišćenje 3D softvera koji su namenjeni za analizu procesa zapreminskog deformisanja. Ovi softveri su uglavnom bazirani na metodi konačnih elemenata).
- Eksperimentalna istraživanja (ova vrsta istraživanja koristi se kao svojevrsna verifikacija predhodne dve vrste metoda).

Proces projektovanja tehnologije kovanja zavisi od većeg broja uticajnih faktora od kojih su najvažniji:

- Veličina (težina) otkovka
- Oblik (kompleksnost) otkovka
- Veličina serije
- Vrsta materijala otkovka
- Zahtevana tačnost otkovka
- Postojeća oprema (mašine, alati, transportni uređaji, peći za zagrevanje i td.).

U okviru jednog rada ograničenog obima nije moguće detaljno prikazati i analizirati svaki od ovih uticajnih faktora. U daljem tekstu daje se jedan broj primera savremenog pristupa u analizi i projektovanju procesa kovanja.

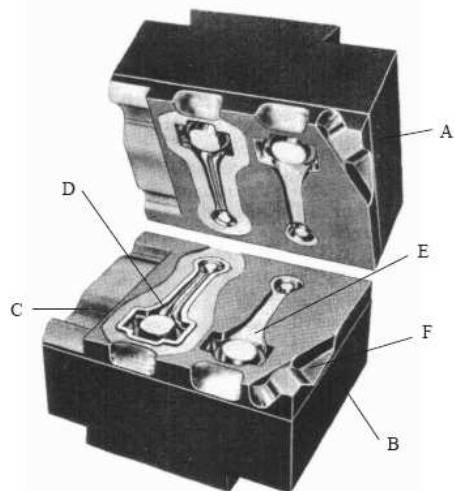
Primer 1:

Jedan isti proizvod (otkovak) moguće je dobiti različitim tehnološkim postupcima. Karakterističan primer u tom smislu je kovanje vrlo odgovornog elementa svakog motora sa unutrašnjim sagorevanjem – klipnjače. Klipnjača se u svetu proizvodi u velikim količinama, procene se kreću oko

500 miliona komada godišnje! Pri tome se najveći broj klipnjača dobija upravo kovanjem u otvorenom kalupu. Postoji nekoliko različitih tehnoloških postupaka kovanja klipnjače od kojih se u radu egzemplarno prikazuju dve.

U prvom slučaju klipnjača se kuje u jednom alatu sa četiri pozicije. Na slici su označene pojedine pozicije kao i redosled operacija kovanja tj. fotografije obratka nakon svake faze.

a)

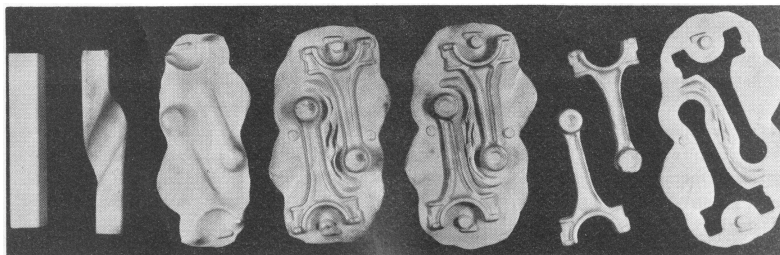


A – gornji kalup
B – donji kalup
C – Pripremna gravura
D – završna gravura
E – prethodna gravura
F – pripremna gravura

1 – polufabrikat
2 – pripremno kovanje
3 – prethodno kovanje
4 – gotov otkovak pre odsecanja venca (završno kovanje)
5-gotov otkovak posle odsecanja venca



b)



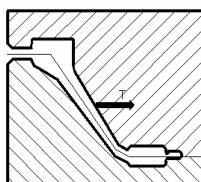
Slika 1. Kovanje klipnjače: varijanta a) i b)

Drugi postupak kovanja prikazuje istovremeno kovanje dve klipnjače u pet operacija. Na ovaj način povećava se produktivnost procesa kao i bolje iskorišćenje materijala. Treba, međutim, primetiti da je za kompletiranje klipnjače potrebno izraditi u posebnoj operaciji kovanja gornji deo klipnjače.

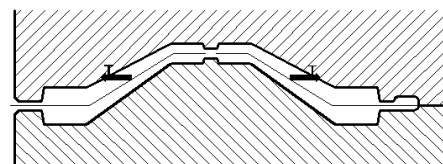
Primer 2:

Za uspešno sprovođenje procesa preciznog kovanja u zatvorenom kalupu potrebno je posebnu pažnju posvetiti optimizaciji konstrukcije alata (kalupa). Važnost ovog postupka posebno je izražena kod kovanja nesimetričnih otkovaka gde usled pojave horizontalnih komponenti sile kovanja može doći do netačne obrade pa i do oštećenja alata. Na slici 2 prikazan je slučaj kovanja jednog nesimetričnog otkovka pri čemu se pojavljuje horizontalna komponenta sile. Ova komponenta može usloviti neželjeno horizontalno kretanje između gornjeg i donjeg kalupa. Pri tome dolazi do netačnosti otkovka, a u određenim slučajevima može doći i do oštećenja alata. Ovo se može predupređiti istovremenim kovanjem dva nesimetrična otkovka u jednom (slika 2b). U tom slučaju se horizontalne komponente međusobno potiru. Drugi način sprečavanja negativnog dejstva horizontalne komponente sile kovanja je sama konstrukcija alata, tj. postavljanje svojevrsnih vodica na alat (hx1.5h sl.2 c).

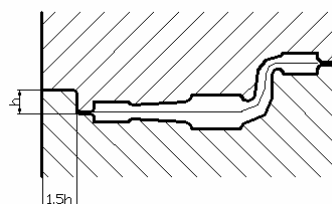
a)



b)

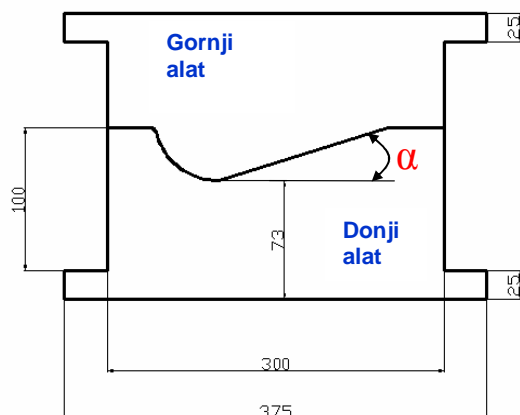


c)



Slika 2 Horizontalne sile u procesu kovanja nesimetričnih otkovaka [2]

U radu [2] detaljno je prikazan postupak određivanja veličine i pravca delovanja dodatne komponente horizontalne sile u toku procesa kovanja. Na slici 3 je šematski prikazan proces kovanja nesimetričnog otkovka pri čemu se pojavljuje dodatna komponenta horizontalne sile.

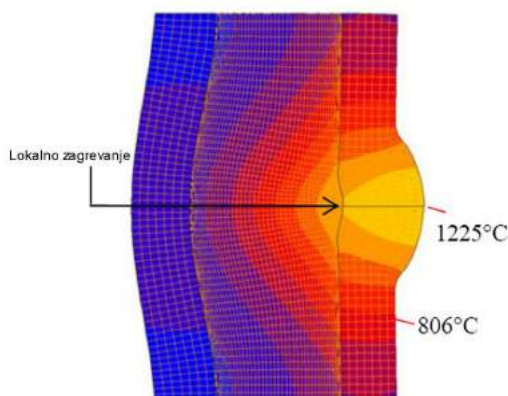


Slika 3 Kovanje nesimetričnog otkovka [2]

Ta komponenta određena je numeričkom metodom KE (paket MSC Super Forge), a vertikalna eksperimentalno. Dokazano je da na veličinu horizontalne sile u najvećoj meri utiče nagib ravnice otkovka u odnosu na horizontalu (α). Pri tome je dokazano da je za vrednost ugla $\alpha \approx 10^\circ$ ta sila najmanja. Veličina horizontalne sile se u toku procesa kovanja menja, a njena apsolutna vrednost se kreće do 10% od vertikalne sile kovanja. Dobijeni rezultati predstavljaju veoma korisne ulazne podatke za optimalnu konstrukciju alata i projektovanje procesa kovanja.

Primer 3:

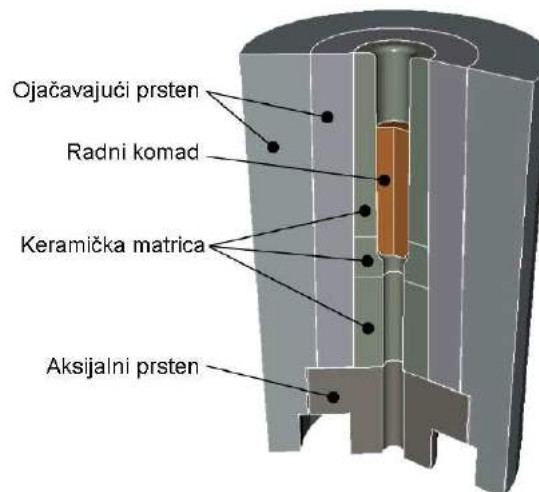
Jedan od važnih nedostataka tehnologije kovanja je povećani utrošak energije koja je potrebna za zagrevanje otkovka. Zbog toga je jedan broj istraživanja procesa kovanja usmeren ka smanjenju utroška energije i to primenom principa lokalnog zagrevanja. Ovim procesom želi se iskoristiti prednost tople i hladne obrade. Osnovna ideja je da se pripremak lokalno zagreva (ovo zagrevanje može se ostvariti ili laserom ili putem elektromagnetne indukcije po onim zonama zapremine gde se odvija najintenzivnije deformisanje) dok je ostali deo zapremine u nezagrejanom stanju. Na taj način ostvaruje se značajna ušteda energije, [4]. Na slici 4 prikazan je raspored temperature na jednom otkovku koji je lokalno zagrejan.



Slika 4 Lokalno zagrevanje priprema

Primer 4:

U oblasti materijala i izrade alata za zapreminsku obradu vrše se intenzivna istraživanja. Jedan karakterističan primer u domenu alata za hladno kovanje je primena industrijske keramike u izradi radnih delova alata. To donosi značajne prednosti, pre svega povećanje otpornosti alata na habanje, kao i smanjenje trenja. Međutim, obzirom na osetljivost keramike na zatezne napone, konstrukcija alata mora biti takva da se delovi alata od keramike za vreme obrade izlože isključivo pritisnim naponima. To se može postići npr. prednaprežanjem radnih delova alata pre same obrade.



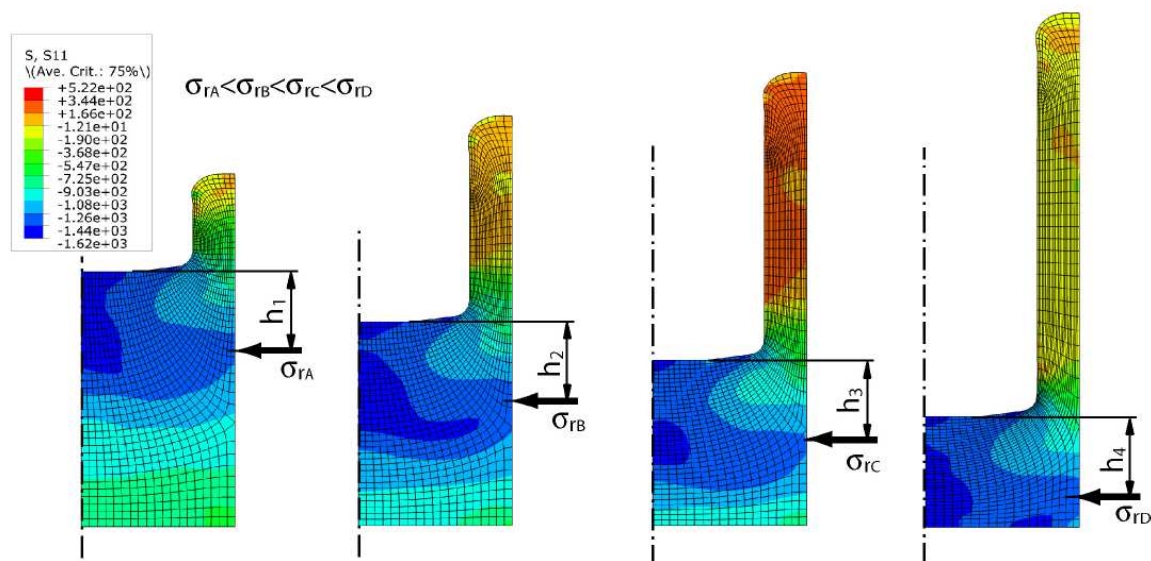
Slika 5 Keramička matrica [2]

Jedan takav primer dat je na slici 5 gde je prikazana matrica za hladno kovanje (istiskivanje) čiji je radni deo izrađen od keramike. Radi sprečavanja pojave zateznih napona oko matrice su postavljena dva prednapregnuta prstena u radialnom i jedan u aksijalnom pravcu [1]. Istraživanja su pokazala da se ovakvom konstrukcijom znatno povećava životni vek alata ali i tačnost radnih komada.

Primer 5:

Kako je u uvodnom delu rada napomenuto, numerička analiza predstavlja standardni deo svake detaljnije analize procesa kovanja. U tu svrhu se koriste softverski paketi sForming (SuperForge), sForming (Super Form), Abaqus itd. Na slici 6 su prikazani rezultati jedne takve analize procesa suprotno-smernog hladnog istiskivanja, pri čemu je cilj bio odrediti kontaktne napone između radnog dela i zida alata. Prikazane su četiri faze procesa, sa naznakom lokacije pojave maksimalnog radialnog napona. Rezultati ukazuju da se u procesu maksimalna vrednost radialnog napona menja kako po intenzitetu tako i po lokaciji. Maksimalni radialni napon uvek se pojavljuje na kraju procesa i to na određenim rastojanjima od dna obratka (h_4) [6]. Za numeričku analizu korišćen je paket Abaqus 6.4. Rezultati numeričke analize verifikovani su eksperimentalnim istraživanjima.

Merenja aksijalnih napona na zidu matrice izvršena su na specijalnom alatu koji je u tu svrhu posebno konstruisan i izrađen. Merni deo alata je tzv. merni pipak (pin load cell) koji je ugrađen u zid matrice [6]. Ova merenja izvršena su u Laboratoriji za deformisanje, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Potrebno je napomenuti da se za potrebu simulacije i modeliranja procesa kovanja mogu koristiti i druge numeričke metode. Jedna od njih je i UBET (Upper Bound Element Technique), koja se bazira na primeni gornje granice.



Slika 6 Radijalni naponi u obratku u procesu suprotnosmernog istiskivanja – FEM analiza

3. ZAKLJUČAK

Tehnologija kovanja predstavlja značajan segment u okviru svih proizvodnih tehnologija. Ona omogućava dobijanje vrlo širokog spektra različitih proizvoda koji se koriste u različitim granama industrije. U svetu su prisutna intenzivna istraživanja tehnologije kovanja i to njenih različitih segmenata: alati, mašine i ostala oprema za kovanje, materijal obratka, tehnološki proces kovanja, ekološki aspekti primene kovanja i dr. U ovom radu dat je prikaz nekih karakterističnih postupaka kovanja i to u alternativnim varijantama. Pored toga ukazano je na neke nove pravce istraživanja kojima se omogućava optimizovanje procesa kovanja sa stanovišta uštede energije i konstrukcije alata.

Napomena:

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja na projektu "Razvoj i primena savremenih pristupa projektovanja tehnologije kovanja radi povećanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje", koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije, evid. broj TR-14050.

4. LITERATURA

- [1] Engel, U., Arbak, M., Wagner, K., Volkl, R: *New materials and surface finishing methods for cold forging tools*, ICIT 2007, pp.13-19, Bled, Slovenija, Septembar 2007.
- [2] Kocanda, A., Czyzewski, P.: *Determination of side forces in a forging die*, ICIT 2007, pp.57-62, Bled, Slovenija, Septembar 2007.

- [3] Osman, F: *Forging of complex geometries with differential heating*, Journal of Material Process Technology, vol. 80-81, pp.179-183
- [4] Ozmen, M., Okman, O., Huwiler, H., Tekkay, A. E.: *Forming of complicated shape by local heating*, Advanced Technology of Plasticity, pp.278-280, Verona, Italia, 2005.
- [5] Plančak, M., Vujović, V., Vilotić, V.: *Load prediction in close die forging process*, Metallurgy and New Materials Research, vol II, pp.97-107, 1994.
- [6] Plančak, M., Kuzman, K., Vilotić, D., Čupković, Đ.: *Loading of dies in cold extrusion – FE simulation and experimental verification*, ESAFORM 2006, pp. 491-494, Glasgow, United Kingdom, April 2006.

Autori: Prof. dr Miroslav Plančak, Prof. dr Dragiša Vilotić, Dejan Movrin dipl.ing, Mr Mladomir Milutinović, Mr Ognjan Lužanin, Mr Plavka Skakun, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2337, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: plancak@uns.ns.ac.yu
vilotic@uns.ns.ac.yu
movrin@uns.ns.ac.yu
mladomil@uns.ns.ac.yu
luzann@uns.ns.ac.yu
plavkas@uns.ns.ac.yu

Šljivić, M., Nunić, Z., Radonjić, R.

IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOŠKE VARIJANTE KOMBINOVANOG OBLIKOVANJA IZRADAKA IZ TRAKE

Rezime: U radu je prikazan način izbora optimalne tehnološke varijante za dobijanje izratka iz trake kombinovanim postupcima obrade (prosijecanje, probijanje, savijanje, duboko izvlačenje, kovanje). Izbor optimalne tehnološke varijante je vršen između tri projektovane tehnologije (CATIA softverski paket), primjenom Break-Even analize. Mjerodavni faktori koji su služili za izbor tehnološke varijante su količina proizvoda i troškovi. Troškovi su izračunati za svaku tehnologiju i sastoje se od troškova za alat i pribor kao i troškova koji se povećavaju u zavisnosti od proizvodnje.

Analiza je pokazala koja je tehnološka varijanta optimalna u odnosu na uticajne faktore.

Ključne riječi: kombinovano oblikovanje, optimalna tehnološka varijanta, Break-Even analiza, uticajni faktori.

CHOOSING OPTIMAL TECHNOLOGICAL VARIANT OF COMBINED FORMING PRODUCTS FROM SHEET METAL STRIP

Abstract: In this science work is showed way for choosing optimal technological variant for obtaining products from sheet metal strip by combined treatment techniques (blanking, bending, deep drawing, forging). Choosing of optimal technological variant is preferred between three of projected technologies (by CATIA software package), by using Break-Even analysis. Competent factors which are used for choosing technological variant are quantity of products and costs. We are calculating costs for each technology and they consists from costs for tool and access, and also from costs which are growing in depends with production quantity.

Analysis is shown which technological variant is optimal in depend of influencing factors.

Key words: Combined forming, optimal technological variant, Break-Even analysis, influencing factors.

1. UVOD

Po obliku i složenosti dijelova koje je potrebno izraditi za razne potrebe u industriji, domaćinstvu pa do avionske industrije, veliki broj izradaka koji se radi iz lima zahtijeva kombinovano višepoziciono oblikovanje, gdje je potrebno objediniti veći broj različitih operacija. Veoma je važno da se pažljivo analizira dio koji se želi raditi po svim osnovama, od složenosti, pravilnog određivanja redoslijeda operacija i potrebnog broja komada. Samo ako analiza pokaže opravdanost, može se ulaziti u projektovanje kombinovanog oblikovanja, jer su ovi alati složeniji, a po izradi i održavanju skuplji od alata raspoređenih po pojedinim operacijama.

Najvažniji osnovni faktori koji su mjerodavni pri odlučivanju o projektovanju kombinovanog oblikovanja su:

- veličina proizvodne serije.
- zahtjevi u pogledu oblika, složenosti i tolerancije izratka,
- ekonomska opravdanost izrade.

Optimizaciju procesa kombinovanog oblikovanja karakterišu funkcije:

- cilja i kriterijuma optimizacije,
- stanja i ograničenja.

Osnovni kriterijum su minimalni troškovi. U našem slučaju funkcija stanja je tehnološki sistem, a funkciju ograničenja predstavlja zadana količina obradaka u jedinici vremena odnosno ritam proizvodnje.

Kvalitativan i kvantitativan izbor optimalne varijante kombinovanog oblikovanja, koristeći navedeni prilaz optimizaciji procesa i uvođenjem funkcije cilja, odnosno kriterijuma minimalnih troškova, a vodeći računa o funkciji stanja i ograničenja izvršen je izbor optimalne tehnologije kombinovanog oblikovanja jednog karakterističnog izratka iz trake.

2. UTICAJNI FAKTORI U PROCESU KOMBINOVANOG OBLIKOVANJA

Najuticajniji faktori u procesu kombinovanog oblikovanja su:

- sistem alat-mašina,
- materijal i
- tribološki uslovi, prikazano na slici 1.

Svi ovi parametri djeluju integralno tako da proces kombinovanog oblikovanja čine složenim, a izbor tehnološke varijante direktno utiče na vrijeme izrade i cijenu koštanja. Optimalna varijanta biće ona koja za date uslove izrade određenog izratka pokaže traženi kvalitet i ekonomsku prihvatljivost.

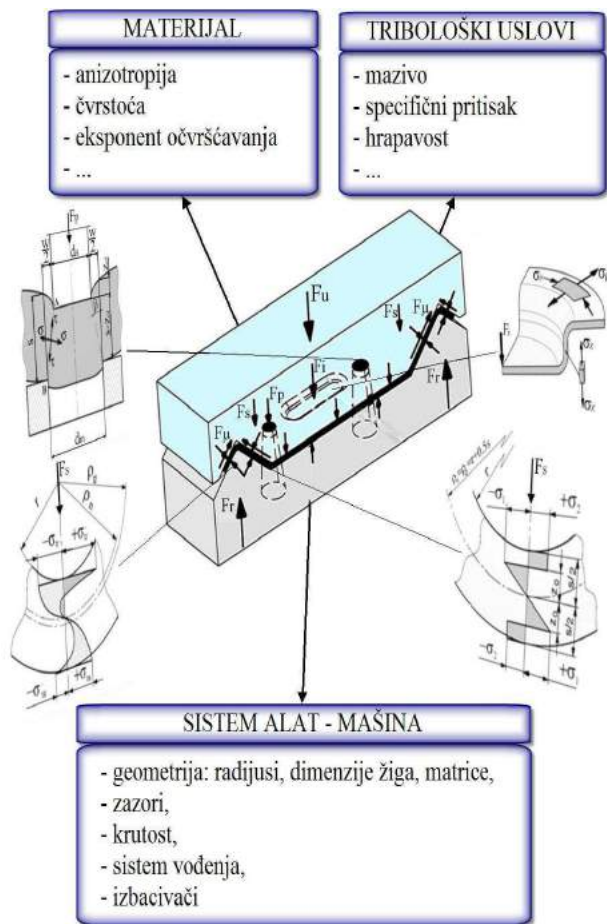
Vrijednost deformacione sile kombinovanog oblikovanja u zavisnosti od uticajnih faktora, slika 1, može se dati u obliku matematičkog modela:

$$F = f(R_m, n, r, \mu, p, d, z, f, i) \quad (1)$$

gdje su:

- materijal: R_m -zatezna čvrstoća, n -eksponent očvršćavanja,
- r -faktor normalne anizotropije,
- tribološki uslovi: μ -koeficijent trenja, p -specifični pritisak,
- sistem alat-mašina: d -geometrija radnih elemenata alata, Z -zazori, f -krutost, i -sistem izbacivanja.

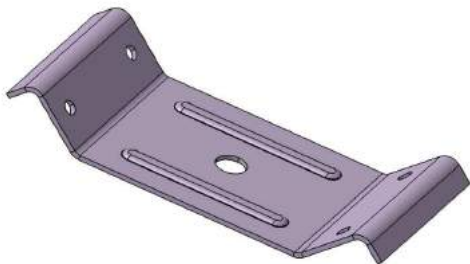
Stabilnost procesa izrade s obzirom na kvalitet izratka, broj komada u jedinici vremena, krutost sistema i vijek trajanja alata je najvažniji indikator uspješnosti kombinovanog oblikovanja.



Slika 1. Uticajni faktori kod procesa kombinovanog oblikovanja

3. IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOŠKE VARIJANTE

Izbor optimalne tehnološke varijante izvršen je za oblik izratka prikazan na slici 2.



Slika 2. Izgled izratka

Kod odlučivanja o varijanti ekonomski prihvatljivog tehnološkog postupka mora se u potpunosti sprovesti objektivna tehničko-tehnološka analiza i sistematizacija, koje isključuju subjektivno i intuitivno odlučivanje. Na izbor optimalne tehnološke varijante utiču kriterijumi proizvoda i kriterijumi tehnološke metode.

U kriterijume proizvoda ubrajaju se:

- konstrukcioni oblik,
- opterećenje izratka u sklopu,
- vrsta materijala,
- zahtijevani kvalitet,
- količina proizvoda.

U kriterijume tehnološke metode spadaju:

- utrošak materijala,
- potrebna energija,

- učinak (broj komada / jedinici vremena),
- fleksibilnost,
- automatizacija,
- kvalitet (TQ)
- CIM,
- Standardi ISO,...

Iz navedenih kriterijuma može se zaključiti da je potrebno projektovati što ekonomičniju tehnologiju za proizvodnju datog proizvoda, odnosno da se proizvede što više komada u jedinici vremena sa što manjim angažovanjem sredstava i sa što manjim brojem učesnika u procesu rada. Ujedno se moraju zadovoljiti i zahtjevi koje je postavio konstruktor proizvoda, što znači da ta tehnologija mora da proizvede izradak pri čemu će zahtjevi koji se odnose na konstrukcioni oblik, opterećenje izratka u sklopu, vrstu materijala, kvalitet i potrebnu količinu biti zadovoljeni.

Da bi tehnologija bila što ekonomičnija, potrebno je da se dobije proizvod sa što manjim utroškom materijala i energije, a da bude što veći učinak po jedinici vremena i da tehnologija bude što fleksibilnija, odnosno da u određenom trenutku može da odgovori i drugim zahtjevima koji se odnose na isti ili druge proizvode.

Pored navedenih kriterijuma, na izbor optimalne tehnološke varijante koju uslovljava konstrukcija alata i drugih pristroja može da utiče i oblik priprema (ulazne sirovine).

Pošto se ovdje radi o proizvodu od lima, uticajan faktor može da bude smjer valjanja lima, koji će usloviti pravilno postavljanje izratka na traku. Smjer valjanja lima nema neki poseban uticaj kod prosijecanja i probijanja, dok je taj uticaj posebno izražen kod savijanja (moguće je ostvariti veći stepen deformacije ukoliko je linija savijanja okomita na smjer valjanja lima).

U slučaju masovne proizvodnje pri izboru optimalne tehnološke varijante potrebno je izvršiti detaljnu analizu troškova proizvodnje. Pod troškovima proizvodnje podrazumijevaju se cjenovno-finansijski iskazane vrijednosti svih fizičkih utrošaka. Polazeći od toga da se elementi proizvodnje kao upotrebne vrijednosti u toku proizvodnje troše, tako formirane troškove možemo podijeliti na:

- troškove predmeta rada,
- troškove sredstava za rad,
- troškove radne snage.

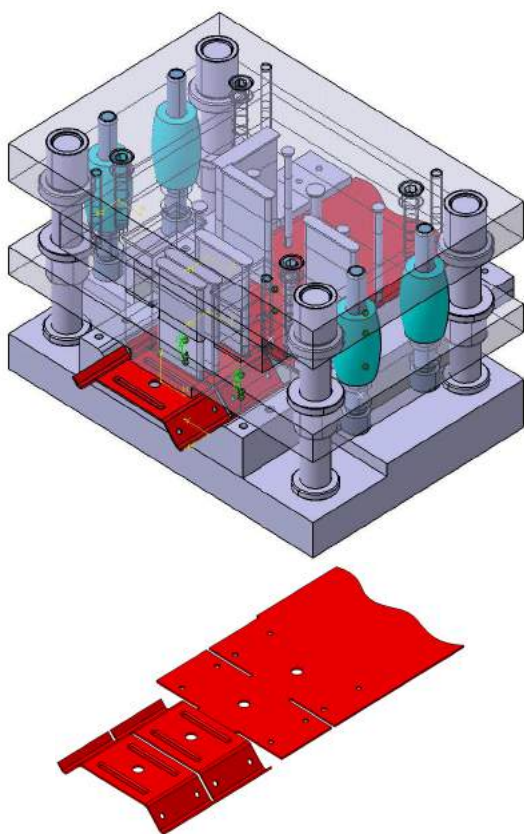
Sumiranjem svih troškova dobija se cijena proizvoda. Prilikom ove analize treba razlikovati cijenu proizvoda od cijene koštanja izrade proizvoda.

Detaljnou analizom svih navedenih troškova za određene tehnološke varijante može se doći do optimalne tehnološke varijante, odnosno varijante koja ima najveću ekonomsku isplativost.

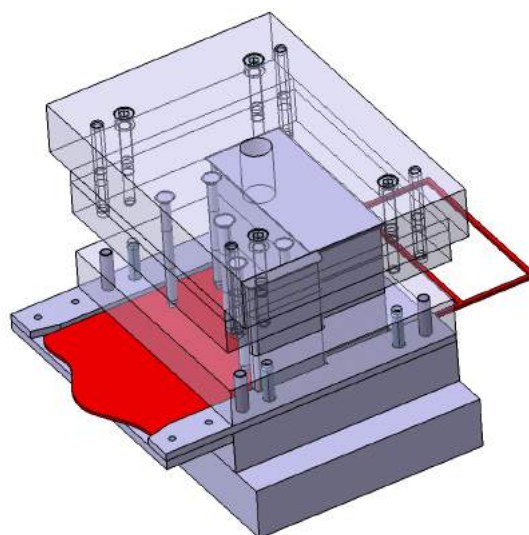
Kod malih proizvodnih sistema (proizvodni sistemi koji imaju mali broj učesnika u procesu rada i male proizvodne kapacitete) ova analiza se može znatno pojednostaviti, te uticajne kriterijume za izbor optimalne varijante može tehnolog iskustveno ili na osnovu nekih preporuka izabrati.

Koristeći softverski paket CATIA konstruisane su tri varijante alata koje ujedno predstavljaju tri tehnološke varijante za dobijanje traženog proizvoda:

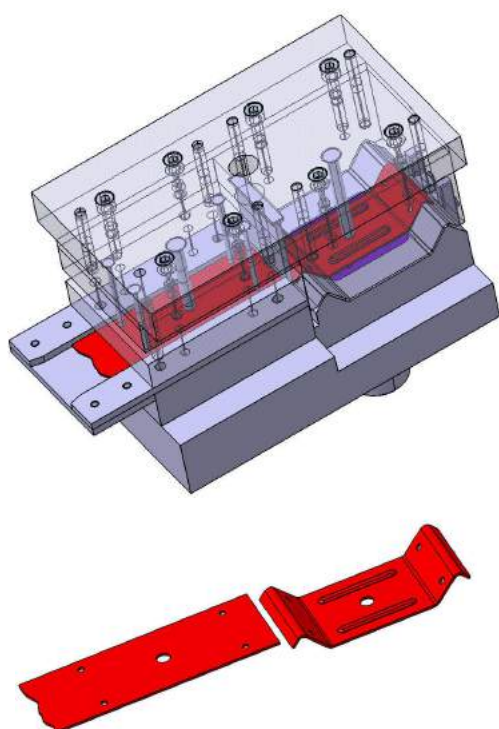
1. Prva tehnološka varijanta: kombinovani alat sa bočnim nožem i preciznim sistemom vođenja, prikazano na slici 3.
2. Druga tehnološka varijanta: kombinovani alat sa oblikovanjem iz trake iste širine kao i izradak, slika 4. i
3. Treća tehnološka varijanta: dva odvojena alata, prikazano na slici 5.



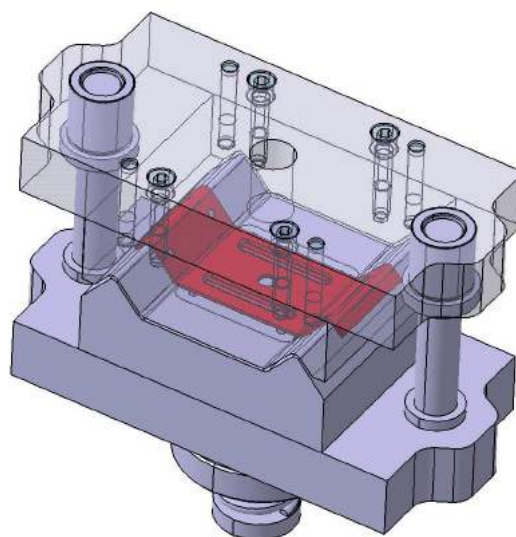
Slika 3. Prva tehnološka varijanta



a)



Slika 4. Druga tehnološka varijanta



b)

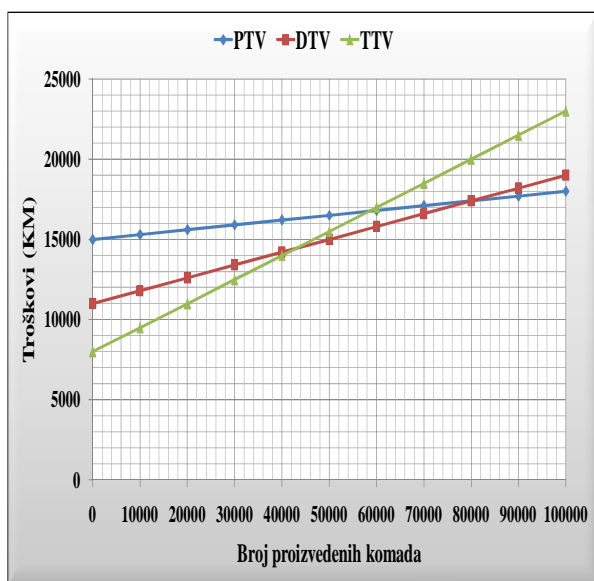
Slika 5. Treća tehnološka varijanta:
a) alat za prosjecanje i probijanje,
b) alat za savijanje i plitko izvlačenje

Optimalna tehnološka varijanta određena je izračunavanjem troškova koji se sastoje od utroška na izradu alata i pristroja, utroška energije i materijala i utroška koji se odnose na plate učesnika u procesu rada. Ovi troškovi su zavisni od proizvodne količine i vremena proizvodnje te će zbog toga biti različiti za različite tehnološke varijante.

Korištena je Break-Even analiza preko koje je ustanovljena optimalna tehnološka varijanta. Na slici 6. prikazan je dijagram za Break-Even analizu triju tehnoloških varijanti na osnovu troškova za koje je definisana ekonomična tehnologija.

Dijagram je konstruisan na osnovu planiranih troškova koji se sastoje od ulaganja u investiciju (vrijednost alata i pristroja za određenu tehnološku varijantu) i troškova po količini proizvedenih komada koji se odnose na utrošak materijala, utrošak energije i plate učesnika u procesu rada.

Odsječak na ordinati koji odgovara "nula" proizvedenih komada predstavlja predviđenu vrijednost alata i pristroja za datu varijantu.



PTV - prva tehnološka varijanta

DTV- druga tehnološka varijanta

TTV- treća tehnološka varijanta

Slika 6 . Izbor ekonomične tehnologije [5]

Prva tehnološka varijanta podrazumijeva veoma kompleksnu konstrukciju alata za kombinovane tehnološke operacije pomoću koga se jedan gotov izradak može dobiti poslije jednog hoda obradnog sistema. Analiza je pokazala da ovakva konstrukcija nije isplativa za količine koje su manje od 80000 komada/god.

Druga tehnološka varijanta se sastoji od jednostavnije konstrukcije alata ali je potreban pomoćni pristroj za izbacivanje izratka iz alata. Konstrukcija pomoćnog pristroja može biti riješena na principu pneumatskih cilindara koji će služiti kao izbacivači, ili na principu polužnog mehanizma. U prvom slučaju troškovi po komadu su uvećani za vrijednost pomoćnog pristroja i utrošak komprimiranog vazduha za rad pneumatskih cilindara. Poređenjem ove tehnološke varijante sa ostale dvije, uočava se da je ona isplativa za količine koje se kreću između 40.000 i 80.000 komada/god.

Treća tehnološka varijanta podrazumijeva dva odvojena alata, pri čemu prvi vrši razdvajanje priprema za savijanje, a drugi savijanje i plitko duboko izvlačenje izratka. Ova dva alata nemaju kompleksnu geometrijsku konfiguraciju i ne zahtijevaju tačnost izrade sastavnih elemenata kao što je to slučaj u prvoj varijanti, te su zbog toga jeftiniji za izradu, što je i prikazano na dijagramu. Međutim, u ovom slučaju imamo najveći rast troškova u zavisnosti od povećanja količine koji se može opravdati dužim vremenom izrade proizvoda nego u prethodne dvije varijante. Ako ovu varijantu uporedimo sa ostale dvije tehnološke varijante, sa dijagrama se uočava da je ona ekonomski opravdana za količinu koja je manja od 40.000 komada/god.

4. ZAKLJUČAK

Izrada proizvoda iz lima kombinovanim tehnološkim operacijama kao što su prosijecanje, probijanje, nasijecanje, savijanje, duboko izvlačenje i dr. zauzima značajno mjesto u mašinskoj industriji. Za projektovanje alata potrebno je koristiti gotove softverske pakete i simulacione metode.

Izbor optimalne tehnološke varijante izvršen je na osnovu Break-Even analize. Analiza je pokazala da prva tehnološka varijanta, slika 3, (alat sa bočnim nožem i pokretnom vodećom pločom) nije isplativa za količine koje su manje od 80.000 komada/god. Tek preko 80.000 kom./god. ova tehnološka varijanta je ekonomski isplativa.

Druga tehnološka varijanta, slika 4, kombinovani alat koji se sastoji od jednostavnije konstrukcije i pomoćnog pristroja za izbacivanje izratka iz alata, ekonomski je opravdana za količine koje se kreću između 40.000 i 80.000 kom./god.

Treća tehnološka varijanta, slika 5, koja se sastoji od dva odvojena alata, isplativa je za količine manje od 40.000 kom./god.

5. LITERATURA

- [1] Aleksandrović, S.: *Sila držanja i upravljanje procesom dubokog izvlačenja*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2005.
- [2] Liewald, M.: *Neure Entwicklungen in der Blechumformung*, Institut für Umformtechnik Universität Stuttgart, 2006.
- [3] Liewald, M.: *New Developments in Sheet Metal Forming*, Institute for Metal Forming Technology, Universität Stuttgart, 2008.
- [4] Mandić, V.: *Virtuelni inženjering*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2007.
- [5] Nunić, Z.: *Doprinos optimizaciji procesa kombinovanog oblikovanja tankostijenih izradaka iz lima*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2008.
- [6] Stefanović, M.: *Tribologija dubokog izvlačenja*, Jugoslovensko društvo za tribologiju i Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.
- [7] Šljivić, M., Stanojević, M.: *Osnove proizvodnih tehnologija*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2003.
- [8] Šljivić, M.: *Alati za obradu deformisanjem*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 1990.
- [9] Šljivić, M., Radonjić, R.: *Tehnologija obrade lima*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2008.

Autori: Šljivić, M., Nunić, Z., Radonjić, R., Mašinski fakultet, Banja Luka.

Trbojević, I., Vilotić D., Lužanin, O., Movrin, D.

RAZMATRANJE MOGUĆNOSTI AUTOMATIZACIJE U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE KOVANJA

Rezime: Tradicionalni principi projektovanja u tehnologiji kovanja, kakvi se još uvek primenjuju u našim fabrikama, teško mogu obezbediti otkovke koji zadovoljavaju sve uslove savremenog tržišta. Novi principi uglavnom se zasnivaju na informacionim tehnologijama, čija primena i u ovoj tehnologiji postaje važan uslov ostvarenja konkurentne cene i visokog kvaliteta. U radu se daje prikaz osnovnih principa klasičnog projektovanja tehnologije, na relativno jednostavnom primeru kovanja delova oblika posude, uz isticanje trenda razvoja i primene preciznog kovanja. Na kraju se razmatra mogućnost uvođenja automatizacije u projektovanju tehnologije kovanja.

Ključne reči: kovanje, projektovanje tehnologije, automatizacija, oblik posude.

CONSIDERATION OF POSSIBILITIES FOR AUTOMATED PROCESS PLANNING OF HOT FORGING

Abstract: Principles of traditional process planning, which are still widely used in domestic factories cannot produce forgings which meet all modern market demands. Novel principles are mostly based on information technologies which play prominent role in providing competitive price and high quality of forged products. Reviewed are basic principles of conventional process planning, illustrated by a relatively simple example of cup-shaped forgings and the trends in precision forging are emphasized. The paper concludes with the prospects of design automation in hot forging technology.

Key words: hot forging, process planning, automation, shape of cup.

1. UVOD

Kovanje ima značajnu zastupljenost u našoj metalskoj industriji, sa jasnim perspektivama dalje primene i razvoja, i pored toga što su poslednjih godina neke kovačnice prestale sa radom. Ova tehnologija je nezamenljiva u izradi brojnih delova većih gabaritnih mera, ali ima široku primenu i u izradi manjih delova različite složenosti oblika.

U radu se govori o metodologiji projektovanja tehnologije kovanja i mogućnosti automatizovanja ovog procesa, uz primenu savremenih načina verifikacije usvojenih rešenja. Tradicionalni principi projektovanja i osvajanja tehnologije, kakvi se još uvek primenjuju u našim fabrikama, teško mogu obezbediti otkovke koji zadovoljavaju sve uslove i zahteve savremenog tržišta. Novi principi projektovanja zasnivaju se na informacionim tehnologijama, čija primena u tehnologiji kovanja, kao i u mnogim drugim delatnostima, postaje jedan od važnijih uslova razvoja i opstanka.

Sa znatnim kašnjenjem u odnosu na tehnologije obrade rezanjem, razni sistemi računarske podrške (CAx) našli su primenu i u tehnologijama obrade deformisanjem, najpre u postupcima obrade lima, a u novije vreme sve više i u tehnologiji kovanja.

Računarska podrška može se primenjivati u svim fazama stvaranja proizvoda, počev od parametarskog dizajniranja (CAD), preko automatizovanog projektovanja tehnološkog procesa (CAPP) i provere rešenja simulacijom uz pomoć numeričkih metoda (FEM, FVM i sl.), do automatizovanog projektovanja alata i njihove brze izrade na kompjuterski upravljanim mašinama (CAD/CAM).

U razvijenim zemljama ovi sistemi nalaze primenu u oblasti kovanja već duži niz godina, dok su kod nas slabo zastupljeni u praksi, mada se na pojedinim fakultetima ulažu značajni napor i u cilju proširenja njihove primene.

U skladu sa osnovnom idejom o razvoju i primeni savremenih pristupa, u radu se ukazuje na potrebu i mogućnost razvoja automatizovanog projektovanja u oblasti

tehnologije kovanja u našim uslovima, i to na relativno jednostavnom primeru delova oblika posude, uz prethodni prikaz osnovnih principa klasičnog postupka projektovanja. Istovremeno se, u skladu sa novim trendovima, ističe i potreba razvoja primene preciznog kovanja.

2. STRUKTURA UOBIČAJENOG POSTUPKA PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE KOVANJA

Strukturu klasičnog procesa projektovanja tehnologije kovanja čine sledeće brojne aktivnosti:

- A – usvajanje tehnološke metode,
- B – usvajanje tehnološke varijante,
- C – definisanje oblika i dimenzija otkovka,
- D – određivanje oblika i dimenzija priprema,
- E – definisanje faza pripremnog oblikovanja,
- F – određivanje parametara procesa i izbor opreme,
- G – projektovanje, izrada i isprobavanje alata,
- H – korekcija projektovanog rešenja.

A – Usvajanje tehnološke metode

Uopšteno gledano, proces projektovanja tehnologije počinje razmatranjem glavnih ulaznih podataka na osnovu kojih se donosi odluka o usvajanju najpovoljnije tehnološke metode za izradu dela, ukoliko postoji više mogućnosti. To su:

- crtež radnog dela,
- materijal radnog dela,
- veličina serije i
- raspoloživa oprema.

Radionički crtež obrađenog radnog dela pruža podatke o elementima važnim za analizu tehnološkičnosti oblika, o tolerancijama izrade, gabaritnim merama i sl.

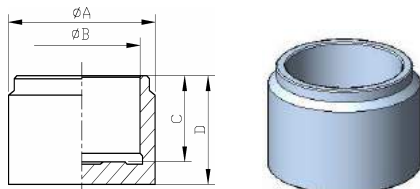
Podaci o vrsti materijala potrebnog za izradu radnog dela neophodni su za ocenu obradivosti - deformabilnosti, kao bitnom elementu u projektovanju tehnologije.

Veličina serije ima veliki uticaj na izbor optimalne tehnologije, posebno kada je u pitanju dilema između tako

različitih tehnologija kao što su obrada rezanjem i obrada deformisanjem. Odluka se lako donosi u slučaju ekstremnih veličina serije (malih ili velikih), dok neke srednje serije mogu dovesti do dileme koja se razrešava odgovarajućom tehnokonomskom analizom.

Oprema koja stoji na raspolaganju za korišćenje može uticati da se opredelimo za tehnološku metodu koja u datim uslovima i nije optimalna ali je ekonomski opravdana.

Za ilustraciju faza projektovanja tehnologije odabran je oblik posude, ili konkretnije, šoljica igličastog ležaja (slika 1). Na takav izbor je uticala činjenica da se šoljice igličastog ležaja proizvode u nekim našim firmama i to u više tipova i veličina, u serijama koje su relativno male ali imaju optimističku tendenciju porasta.



Slika 1. Šoljica igličastog ležaja

Na osnovu analize oblika dela na slici lako je zaključiti da u određenim uslovima mogu biti optimalne tri tehnologije:

- obrada skidanjem strugotine – za male serije,
- hladno kovanje – za veće serije i manje dimenzije,
- toplo kovanje – za veće serije i veće dimenzije.

U skladu sa temom projekta i uz pretpostavku da se radi o većim dimenzijama, a u perspektivi i većim serijama, za dalje razmatranje se usvaja kao optimalna tehnologija toplog kovanja.

B – Izbor varijante tehnologije kovanja

Kovanje može da se izvodi kao:

- slobodno ili
- u kalupu.

Slobodno kovanje se koristi za dobijanje delova grubog i jednostavnijeg oblika u maloserijskoj ili pojedinačnoj proizvodnji, uz primenu univerzalnih kovačkih alata, sa ponavljanjem udara.

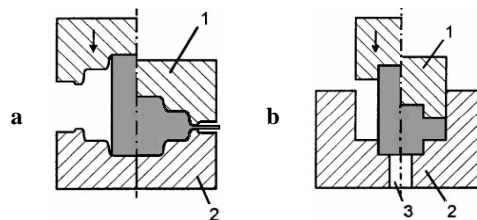
Kovanje u kalupu koristi se u serijskoj proizvodnji, obezbeđuje veću produktivnost i veću tačnost oblika i dimenzija, a izvodi se na dva načina:

- u otvorenom ili
- u zatvorenom kalupu.

Kovanje u otvorenom kalupu ima dominantnu primenu u našim kovačnicama. Izvodi se uglavnom na jednostavnijoj univerzalnoj kovačkoj opremi, čekićima ili kovačkim presama. Osnovne karakteristike otvorenog kovanja su izraženiji radijusi zaobljenja i kovački nagibi, koji olakšavaju popunjavanje kalupa i vađenje otkovka, kao i obavezno postojanje venca, koji nastaje istiskivanjem viška materijala po celom obimu obratka u predelu podeone ravni. Ovi faktori negativno utiču na iskorišćenje materijala, a za uklanjanje venca neophodan je i dodatni alat za opsecanje po konturi otkovka. Klasičan primer složenog obratka izrađenog ovom metodom predstavljen je na slici 2 u vidu otkovka klipnjače, dok je na slici 3a dat šematski prikaz otvorenog alata.



Slika 2. Otkovak klipnjače - sa vencem [2]

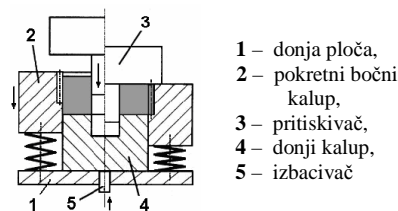


Slika 3. Kovanje u otvorenom (a) i zatvorenom alatu (b)
1 – gornji kalup, 2 – donji kalup, 3 – izbacivač [2]

Kovanje u zatvorenom kalupu (slika 3b) izvodi se bez bočnog isticanja viška materijala, bez kovačkih nagiba (ili su oni minimalni) i sa manjim radiusima zaobljenja, što sve skupa obezbeđuje bolje iskorišćenje materijala i veću preciznost izrade, sa kvalitetom mera koje mogu biti bliske ugradbenim (Near Net Shape Forming).

Za ovu varijantu tehnologije nije potreban alat za odsecanje venca, ali je konstrukcija alata za oblikovanje nešto složenija - zahteva veću preciznost u projektovanju i izradi. Isto tako, potrebna je i veća preciznost definisanja zapremine i izrade priprema. Obavezna je primena izbacivača, a pojačano trenje na bočnim površinama utiče na smanjenje trajnosti alata zbog povećanog habanja. Pored nabrojanih faktora za ovu varijantu kovanja potrebne su i savremenije mašine sa više dejstava, što sve skupa verovatno utiče na njenu slabu zastupljenost u našim kovačnicama.

Na slici 4 prikazan je složeniji zatvoreni alat za precizno kovanje cilindričnih zupčanika sa pravim ili kosim zupcima. Položaj pokretnog bočno ozubljenog kalupa 2 održava se u ovom slučaju pomoću opruga.



Slika 4. Zatvoreni alat za kovanje cilindričnih zupčanika [2]

Na slici 5 predstavljeno je nekoliko primera složenih otkovaka dobijenih preciznim kovanjem u zatvorenim alatima (zupčanici, krivajna poluga, deo tipa posude složenog oblika).



Slika 5. Primeri otkovaka kovanih u zatvorenom alatu [2]

Iz prethodnog kratkog prikaza može se izvući zaključak o potrebi ili neophodnosti veće primene kovanja u zatvorenim alatima, u cilju ostvarenja boljeg iskorišćenja materijala, boljeg kvaliteta izrade i niže konačne cene.

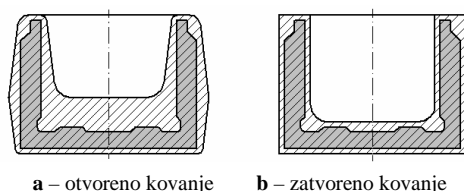
C – Definisanje oblika i dimenzija otkovka

Za slučaj kovanja u otvorenom kalupu najpre se, na osnovu crteža sa obrađenim merama, usvajaju osnovni elementi konstrukcije otkovka:

- podeona ravan,
- dodaci za obradu,
- radijusi zaobljenja i
- kovački nagibi,

a zatim se konstruiše kontura i definišu dimenzije otkovka. Otkovak šoljice igličastog ležaja mogao bi da izgleda kao na

slici 6a.



Slika 6. Otkovak šoljice

Za slučaj kovanja u zatvorenom kalupu, otkovak izgleda kao na slici 6b. Nema podeone ravni ni kovačkih nagiba, samo se na konturi profila dodaju odgovarajući dodaci za završnu obradu i definišu dimenzije otkovka.

D – Određivanje oblika i dimenzija priprema

Za osnosimetrične obratke priprema najčešće ima oblik valjka, a izrađuje se odsecanjem iz šipke. Najpre se usvaja prečnik priprema (D_0) - sa tendencijom ka manjim vrednostima, a visina (H_0) se izračunava na osnovu zapremine otkovka, vodeći računa o dozvoljenom odnosu H_0/D_0 . Presek priprema može da bude i kvadratni, za slučaj da je odnos H_0/D_0 bliži gornjoj granici dozvoljenog intervala.

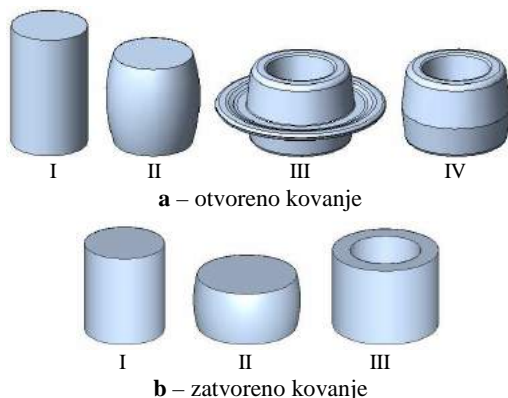
E – Definisanje faza pripremnog oblikovanja

Definisanje faza oblikovanja, posebno pripremnog oblika koji prethodi završnom kovanju, predstavlja veoma važan deo projekta tehnologije. Predoblik treba da bude takav da obezbedi potpuno popunjavanje kalupa u završnoj operaciji, sa normalnim opterećenjem alata. Svaki obradak drugačijeg oblika predstavlja problem za sebe i treba ga pažljivo rešavati, pri čemu značajnu ulogu ima iskustvo tehnologa.

Za slučaj delova jednostavnijeg osnosimetričnog oblika, kao što je npr. oblik posude prema slici 1, operacije (ili faze) oblikovanja su, prema slici 7:

- I - izrada priprema (posle čega sledi zagrevanje),
- II - pripremno kovanje,
- III - završno kovanje,
- IV - odstranjivanje venca (kod otvorenog kovanja).

Operacija I izvodi se lomljenjem (na lomilici) ili sečenjem (na strugu ili testeru), dok se operacije II, III i IV, izvode istovremeno u jednom višefaznom alatu na kovačkoj presi.



Slika 7. Faze kovanja dela oblika posude

U klasičnom sistemu osvajanja tehnologije kovanja konačno definisanje faza oblikovanja najčešće se rešava probanjem i eksperimentisanjem posle izrade alata, što može biti vrlo neracionalno.

F – Definisanje parametara procesa i izbor opreme

Osnovni parametri procesa koji su neophodni za izbor mašine su deformaciona sila i deformacioni rad, i potrebno ih je odrediti za svaku operaciju oblikovanja. Određuju se pomoću adekvatnih proverenih izraza iz stručne literature.

Provera izabrane mašine prema kriterijumu veličine

radnog prostora vrši se u ovoj fazi na osnovu približno procenjenih gabaritnih mera alata za usvojenu varijantu tehnologije.

G – Projektovanje, izrada i provera alata

Na osnovu definisanih faza (operacija) oblikovanja sa svim potrebnim dimenzijama obratka, pristupa se izradi projektnog rešenja alata, posle čega sledi detaljno konstruisanje, vodeći računa o radnom prostoru i ostalim karakteristikama izabrane mašine, sa mogućom korekcijom izbora.

Sledi izrada alata i na kraju njegova provera u proizvodnim uslovima.

H – Korekcija projektovanog rešenja

Nakon analize rezultata praktične provere alata uvode se odgovarajuće korekcije i postupak se može ponavljati dok se ne dobije ispravan obradak. Na kraju se najbolje rešenje, kao konačno, unosi u tehnološku dokumentaciju.

3. SAVREMENE MOGUĆNOSTI PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE KOVANJA

Na osnovu prethodnog izlaganja lako se može zaključiti da je projektovanje tehnologije kovanja kompleksan proces koji obuhvata veći broj različitih pitanja, za čije rešavanje je potreban odgovarajući nivo znanja i iskustva, i koji uglavnom zahteva značajan utrošak vremena, a u mnogim slučajevima i eksperimentalnu proveru. U takvim uslovima često se usvajaju rešenja koja tek zadovoljavaju, iako je očigledno da nisu najbolja. Sve ovo je povezano sa povećanim troškovima osvajanja tehnologije, kao i sa pitanjem ispunjenja zahtevanih rokova, koji u savremenim uslovima postaju sve kraći.

Prema tome, osnovni zahtevi koji se postavljaju u uslovima savremene proizvodnje otkovaka svode se na:

- smanjenje vremena projektovanja tehnologije,
- smanjenje troškova osvajanja tehnologije,
- poboljšanje kvaliteta otkovaka,
- smanjenje vremena projektovanja i izrade alata.

Najbolji, ili bolje reći jedini put ka ispunjenju ovih zahteva je u primeni računarske podrške, koja u odgovarajućim uslovima može da omogućiti:

- automatizaciju postupka projektovanja tehnologije, uz korišćenje adekvatnih softverskih rešenja (CAPP),
- optimizaciju oblika u pripremnoj fazi kovanja i poboljšanje kvaliteta otkovka, korišćenjem specijalnog softvera za simulaciju procesa (FEM, FVM i dr.), čime se eliminišu troškovi probnih alata i
- automatizaciju projektovanja alata i njihovu brzu izradu na kompjuterski upravljanim mašinama, uz primenu odgovarajućih softverskih paketa (CAD/CAPP/CAM).

Računarska podrška u projektovanju tehnologije kovanja ne može se uvek primeniti na isti način i u istom obimu, pa je za svaki tehnološki zadatak potrebna detaljna analiza.

Bolje sagledavanje domena primene računara omogućuje grupisanje tehnoloških zadataka, koje se može izvesti na dva načina:

- prema tehnološkoj složenosti i
- prema ponavljanju.

U prvu grupu mogu se svrstati:

- jednostavni tehnološki zadaci koji se lako rešavaju,
- složeni zadaci za koje već postoje slični rešeni primeri i
- složeni zadaci koje treba rešavati u svim detaljima.

Prema kriterijumu ponavljanja tehnološki zadaci mogu biti:

- pojedinačni (koji se ne ponavljaju),
- oni koji se ponavljaju u okviru jednog istog oblika, sa većim brojem različitih veličina i
- oni koji se ponavljaju u grupi delova sličnog oblika.

Primena softvera za simulaciju procesa moguća je,

uslovno, u svim pomenutim varijantama tehnoloških zadataka radi postizanja optimalnih rešenja, međutim, u slučaju rešavanja novog zadatka složenijeg tipa, ona bi trebalo da postane neophodna i obavezna. Za tu svrhu na našim fakultetima postoje odgovarajući softverski paketi, i oni se već koriste u značajnoj meri.

Softversko rešavanje problema automatizacije projektovanja tehnološkog procesa može biti racionalno samo u slučaju tehnoloških zadataka koji se ponavljaju, bilo da se radi o istom obliku dela, ili o grupi delova sličnog oblika, sa većim brojem veličina.

Isti zaključak važi i za automatizaciju projektovanja alata, koja je tesno povezana sa projektovanjem tehnologije.

U stranoj literaturi je opisano više softverskih sistema za automatizovano projektovanje tehnologije kovanja (ekspertni sistemi), i to za grupe sličnih delova određenog oblika [4]. Međutim, čak i kada bi se našao takav gotov sistem za rešavanje nekog našeg konkretnog problema, pitanje je kako do njega doći i po kojoj ceni.

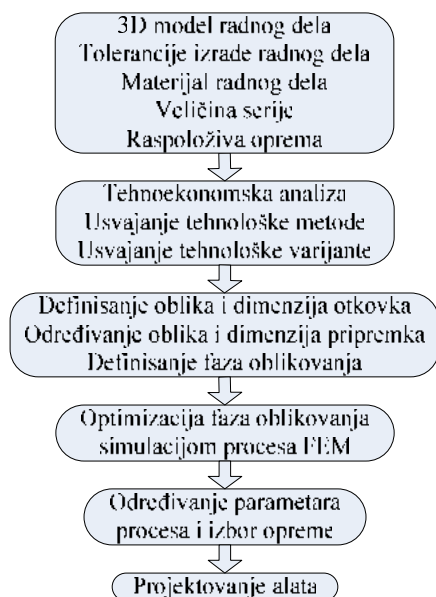
Mišljenja smo da i u našim uslovima može da se učini pokušaj izrade softvera za automatizovano projektovanje tehnologije kovanja i to na relativno jednostavnom primeru delova oblika posude, konkretno šoljice igličastog ležaja, koja se proizvodi u više tipova i veličina. Familija delova oblika posude mogla bi se proširiti i delovima oblika prstena, zbog tehnološke sličnosti. Prsten se dobija iz oblika posude dodavanjem operacije probijanja dna. Ima široku zastupljenost na primeru prstenova kotrljajnih ležaja, koji se proizvode u velikom broju tipova i veličina.

U kasnijoj fazi ovakva aktivnost bi se mogla proširiti i na izradu softvera za automatizovano projektovanje alata.

Ova razmišljanja naravno nisu vezana za projekat u čijem okviru se radi ovaj rad, s obzirom na njegovu kratkoročnost.

4. MODEL AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE KOVANJA

Ovde se daje samo blok - šema (struktura) uopštenog modela sistema za automatsko projektovanje tehnologije kovanja, koja predstavlja polaznu osnovu za dalji rad na izradi odgovarajućeg softverskog rešenja. Sadrži šest blokova, poređanih po logičnom redosledu, prema slici 8:



Slika 8. Blok šema sistema za automatizovano projektovanje tehnologije kovanja

U prvom bloku unose se od strane korisnika glavni ulazni podaci, u drugom se odvija postupak usvajanja tehnološke

varijante, u trećem se definišu faze oblikovanja, zatim sledi njihova optimizacija metodom simulacije, potom određivanje parametara procesa i na kraju projektovanje potrebnih alata.

Sve treba da se odvija automatski, uz mogućnost biranja nekih varijabilnih veličina ili varijanti u pojedinim blokovima. Eksperimentalna provera alata je isključena.

5. ZAKLJUČAK

Novi trendovi u tehnologiji kovanja kreću se u pravcu razvoja primene preciznog kovanja, i sve veće primene informacionih tehnologija.

Računarska podrška u projektovanju tehnologije kovanja omogućuje:

- automatizaciju postupka projektovanja tehnologije,
- optimizaciju tehnološkog procesa primenom simulacije,
- smanjenje troškova osvajanja tehnologije,
- veliko skraćanje vremena osvajanja tehnologije,
- automatizaciju projektovanja alata i njihovu brzu izradu.

Izrada softverskih rešenja za automatizaciju projektovanja tehnologije kovanja moguća je i u našim uslovima, uz neophodnu saradnju sa proizvođačima otkovaka.

6. NAPOMENA

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja na projektu "Razvoj i primena savremenih pristupa projektovanja tehnologije kovanja radi povećanja kvaliteta otkovaka i smanjenja troškova proizvodnje", koji finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije, evid. broj TR-14050.

7. LITERATURA

- [1] Tomov, B. I., Gagov, V. I., Radev, R. H.: *Numerical simulations of hot die forging processes using finite element method*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 153-154, pp. 352-358, 2004.
- [2] Doege, E., Bohnsack, R.: *Closed die technologies for hot forging*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 98, pp.165-170, 2000.
- [3] Behrens, B. A.: *Finite element analysis of die wear in hot forging processes*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 57, pp. 305-308, 2008.
- [4] Caporalli, A., Gileno, L.A., Tonini Button, S.: *Expert system for hot forging design*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 80-81, pp. 131-135, 1998.
- [5] Vujović V.: *Tehnologija plastičnosti u mašinstvu*, FTN, Novi Sad, 1990.
- [6] Devedžić, G., Ivanović, L., Erić, M.: *Trendovi primene CAD/CAM sistema u inženjerstvu i edukaciji*, 30. SPM SCG, str. 111 - 118, Vrnjačka Banja, 2005.
- [7] Mandić, V.: *Optimizacija prethodnog oblika u višepozicionom toplom kovanju primenom FE simulacije*, 30. SPM SCG, str. 145 - 150, Vrnjačka Banja, 2005.
- [8] Trbojević, I., Lužanin, O., Milutinović, M.: *Softver za automatsko projektovanje faza oblikovanja priprema u procesu toplog valjanja prstena složenog preseka*, 31. SPM SRBIJE, str. 498-501, Kragujevac, 2006.
- [9] Trbojević, I., Lužanin, O., Movrin, D.: *Analysis of material - saving substitution technology for manufacture of bushing for cardan joint needle bearing*, KOD 2008, pp. 427-432, 2008.

Autori: Ilija Trbojević, Dragiša Vilotić, Ognjan Lužanin, Dejan Movrin, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Laboratorija za tehnologiju plastičnog deformisanja.

E-mail: trbojev@uns.ns.ac.yu ; vilotic@uns.ns.ac.yu
lužanin@uns.ns.ac.yu ; movrin@uns.ns.ac.yu

Vilotić, M., Plančak, M., Gerić, K., Movrin, D.

EKSPERIMENTALNA ANALIZA TVRDOĆE MATERIJALA PRI VIŠEFAZNOM ROTACIONOM IZVLAČENJU CILINDRIČNOG OBRADKA

Rezime: Rotaciono izvlačenje predstavlja tehnologiju oblikovanja aksijalno-simetričnih delova od lima, koja zauzima značajno mesto u okviru oblikovanja parcijalnim zahvatom. U ovom radu prikazani su rezultati ispitivanja tvrdoće uzoraka dobijenih rotacionim izvlačenjem u tri faze, bez promene debljine materijala od Č.0148. Ispitivanje tvrdoće je vršeno u pravcu valjanja lima i normalno na pravac valjanja.

Ključne reči: rotaciono izvlačenje, tvrdoća materijala

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MATERIAL HARDNESS IN MULTI STAGE SPINNING PROCESS OF CYLINDRICAL SPECIMEN

Abstract: Metal spinning process represents technology of forming axially symmetric sheet metal parts, which still takes significant place in area of partial metal forming. In this paper, results of material hardness analysis of parts produced by three spinning phases without material thickness changing made of Č.0148 are displayed. Hardness analysis is conducted in the direction of sheet metal rolling and perpendicular to the direction of sheet metal rolling.

Key words: metal spinning, material hardness

1. UVOD

Rotaciono izvlačenje (ili rotaciono tiskanje) predstavlja tehnologiju oblikovanja sa parcijalnim zahvatom delova od lima, obično aksijalno-simetričnog oblika sa ravnim, nagutim ili krivolinijskim izvodnicama.

Pri rotacionom izvlačenju kao polazni materijal koristi se kružna ploča od lima ili posuda prethodno oblikovana dubokim izvlačenjem. Proces se izvodi na mašinama koje po svojoj konstrukciji i osnovnim kretanjima liče na strugove, stim što su robusnije konstrukcije zbog većih sila u odnosu na struganje metala. Današnje savremene mašine za rotaciono izvlačenje su mašine sa CNC sistemom upravljanja, a od proizvođača ovih mašina posebno se ističe nemačka firma Lefeld – Leico.

Delovi koji se dobijaju ovom tehnologijom su slični ili identični sa delovima dobijenim dubokim izvlačenjem, te otuda potreba da se ove dve tehnologije međusobno porede u pogledu tehničkih mogućnosti i ekonomičnosti proizvodnje.

Zbog parcijalnog zahvata alata i materijala pri rotacionom izvlačenju sile u procesu su relativno male, a takođe zbog parcijalnog oblikovanja, vreme obrade je znatno duže u odnosu na proces oblikovanja dubokim izvlačenjem.

Osnovni tehnološki problem pri rotacionom izvlačenju je pitanje utvrđivanja broja faza oblikovanja, koje će obezbediti izradu kvalitetnog radnog komada. U slučaju da je broj faza oblikovanja manji od optimalnog, nastaju problemi pri izradi delova koji se manifestuju u faltanju materijala i pojavi razaranja.

Kako se rotaciono izvlačenje najčešće izvodi u hladnom stanju, to je prisutno intenzivno ojačavanje materijala i povećanje mehaničkih svojstava, što se može utvrditi ispitivanjem tvrdoće materijala. Cilj ovog rada je upravo bio utvrđivanje promene tvrdoće materijala po fazama oblikovanja cilindričnog obratka, odnosno u funkciji stepena deformacije.

Eksperimentalna analiza tvrdoće materijala izvršena je na cilindričnim uzorcima prečnika 43,5 mm (I faza), 33,8 mm (II faza) i 27,8 mm (treća faza) koji su dobijeni rotacionim izvlačenjem od lima debljine 0,8 mm od Č 0148. Praćenje

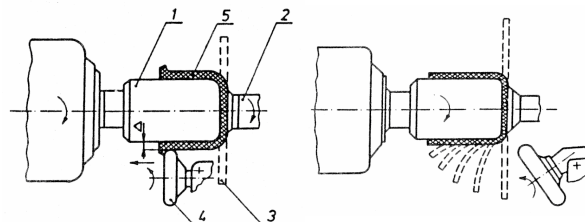
tvrdoće na uzorcima vršeno je u dva pravca, uzduž i normalno u odnosu na pravac valjanja.

2. METODE ROTACIONOG IZVLAČENJA

Podelu rotacionog izvlačenja moguće je izvesti na različite načine, u zavisnosti od usvojenog kriterijuma. Najčešće se podela vrši prema geometrijskom obliku obratka i načinu njegovog dobijanja. Prema tom kriterijumu rotaciono izvlačenje se deli na rotaciono izvlačenje bez promene debljine materijala i rotaciono izvlačenje sa promenom debljine materijala.

Osnovna karakteristika rotacionog izvlačenja bez promene debljine materijala je da se debljina lima u toku procesa ne menja (slika 2.1).

Ako krajnji cilindrični oblik nije moguće dobiti iz jedne operacije, onda se primenjuje postupak višefaznog oblikovanja. Pripremak za narednu operaciju je obradak iz prethodne operacije. Kod većih stepena deformacije rotaciono izvlačenje se izvodi u nekoliko faza. Broj potrebnih faza zavisi od geometrije obratka i vrste materijala. Nakon procesa izvlačenja, kao završna faza kompletne operacije je odsecanje ivica obratka.

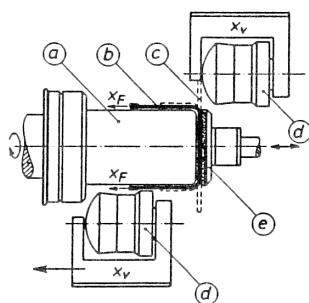


1 – kalup (trn), 2 – držač, 3 – kružna ploča,
4 – valjčić, 5 – obradak

Slika 2.1. Rotaciono izvlačenje cilindričnih oblika bez promene debljine materijala [4]

Rotaciono izvlačenje sa promenom debljine materijala razlikuje se od prethodno opisanog po tome što se za vreme

procesa oblikovanja dela prema kalupu vrši i smanjenje debljine materijala (slika 2.2).



Slika 2.2. Istosmerno rotaciono izvlačenje sa promenom debljine materijala [4]

U pogledu oblika delova rotacionim izvlačenjem se dobijaju aksijalno-simetrični delovi različite geometrije (slika 2.3): cilindrični, stepenasti, konusni, sferični, kombinovani i dr.



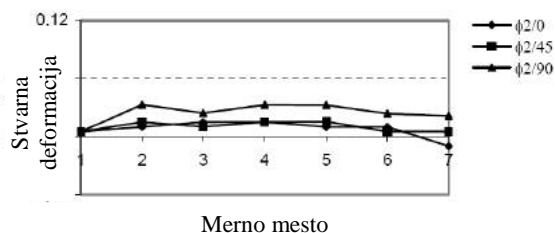
Slika 2.3. Delovi dobijeni rotacionim izvlačenjem [8]

3. PRIKAZ AKTUELNIH ISTRAŽIVANJA U OBLASTI ROTACIONOG IZVLAČENJA

U nastavku su ukratko prikazani rezultati aktuelnih istraživanja tehnologije rotacionog izvlačenja na osnovu dostupne literature.

U radu [6] analizirane su deformacije pri oblikovanju tri različita oblika obratka (sferični, konusni i ovalni) postupkom rotacionog izvlačenja od tri različita materijala: STN 42 5301 – 11321.1 (0,1%C- materijal M1), STN 42 5315 – 17241.1 (0,12%C – materijal M2) i Al99,5 (min 99,5% Al; 0,3%Si – materijal M3).

Merenje deformacija vršeno je metodom merne mreže u različitim pravcima obratka koji je određen uglom u odnosu na pravac valjanja lima (0° , 45° , 90°). Na slici 3.1 prikazan je rezultat merenja deformacija kod konusnog obratka uzduž izvodnice. Dijagram pokazuje relativnu ujednačenost deformacija uzduž izvodnice obratka i određeni uticaj pravca merenja u odnosu na pravac valjanja lima.

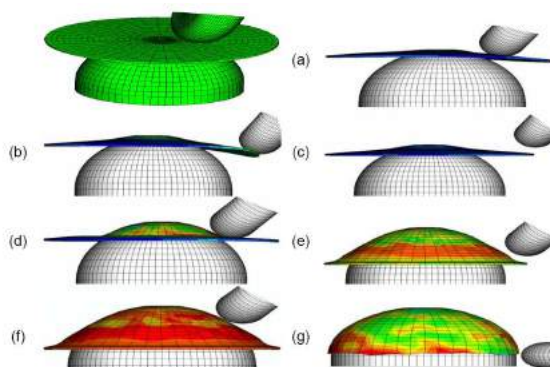


Slika 3.1. Izmerene deformacije ϕ_2 , (materijal M2) [6]

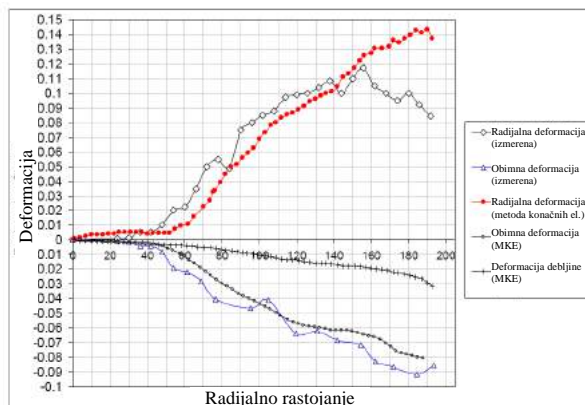
U radu [5] analizirano je deformaciono stanje pri oblikovanju sferičnog obratka rotacionim izvlačenjem (slika 3.2) primenom numeričke simulacije (program Abaqus) uz

eksperimentalnu verifikaciju. Proces oblikovanja bio je višefazni, a prikazani rezultati se odnose na završnu fazu oblikovanja. Materijal priprema je Al 99,00, a radijus alata $R_t=15\text{mm}$. U analizi je varirana debljina materijala.

Na slici 3.2 su prikazana simulacija procesa rotacionog izvlačenja po fazama, a na slici 3.3 su prikazani uporedni rezultati određivanja deformacija – numeričkom simulacijom i merenjem pomoću koordinatne mreže. Očigledno je dobro slaganje numeričkih i eksperimentalnih rezultata.



Slika 3.2. Simulacija procesa rotacionog izvlačenja metodom konačnih elemenata [5]



Slika 3.3. Poređenje rezultata deformacija određenih metodom konačnih elemenata i eksperimentom [5]

U radu [2] razmatrana je problematika kvaliteta i tačnosti delova dobijenih rotacionim izvlačenjem. Kao glavni uticajni faktori identifikovani su: kontaktni pritisak, tangencijalni kontaktni napon, brzina klizanja alata, mehaničke osobine materijala i metod podmazivanja. Osnovna vrednost ovih istraživanja je ta što se po prvi put uspostavlja veza između kvaliteta površine pri rotacionom izvlačenju u zavisnosti od parametara procesa (kontaktni pritisak, brzina klizanja, radijus alata itd.).

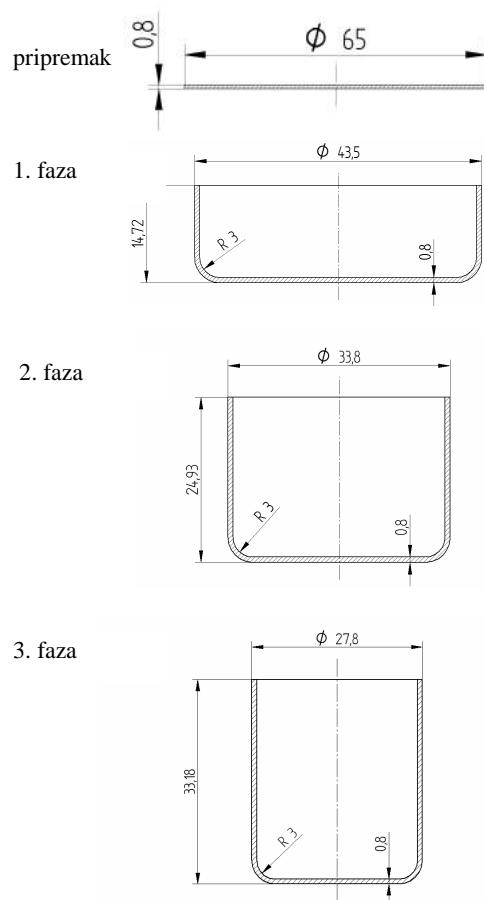
Na osnovu pregleda aktuelnih istraživanja tehnologije rotacionog izvlačenja može se zaključiti da problematika napona, deformacija, mehaničkih osobina i kvaliteta obratka zauzima centralno mesto kada je reč o ovoj tehnologiji.

4. EKSPERIMENTALNA ANALIZA TVRDOĆE PRI ROTACIONOM IZVLAČENJU

Cilj eksperimentalnih ispitivanja, čiji su rezultati prikazani u ovom poglavlju, bio je utvrđivanje tvrdoće materijala po poprečnom preseku obratka, po fazama oblikovanja. Da bi se ocenio uticaj anizotropije lima na tvrdoću obratka, ispitivanja su vršena u dva pravca: a) u pravcu valjanja lima i b) u pravcu upravnom na pravac valjanja.

Oblikovanje cilindrične posude dimenzija $\phi 27,8 \times 33,2 \text{ mm}$

rotacionim izvlačenjem u tri faze izvedeno je na strugu uz pomoć odgovarajućih trnova i valjčića. Dimenzije obratka po fazama date su na slici 4.1, materijal priprema je čelik Č.0148, a debljina lima je 0,8 mm. Izgled oblikovanih delova po fazama dat je na slici 4.2, a postupak rotacionog izvlačenja prikazan je na slici 4.3.



Slika 4.1. Dimenzije obratka po fazama



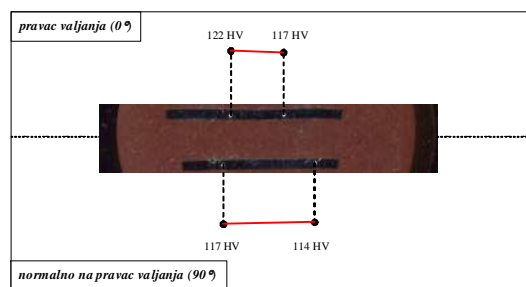
Slika 4.2. Izgled oblikovanih delova po fazama



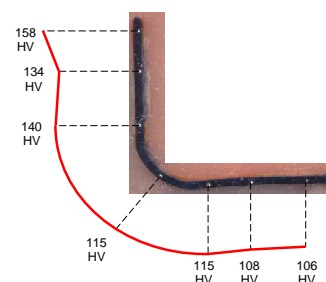
Slika 4.3. Rotaciono izvlačenje na strugu

Drugi deo eksperimenta predstavlja merenja tvrdoće

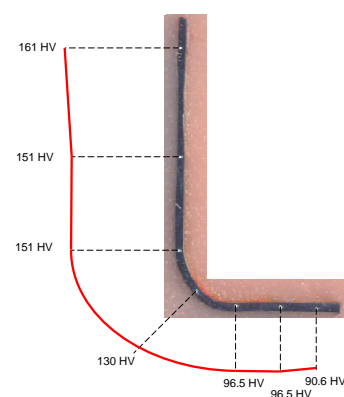
metodom Vickers HV-5 duž zone deformacije u karakterističnim tačkama. Radi toga su isečeni delovi oblikovanih posuda sa orijentacijom od 0° i 90° u odnosu na pravac valjanja, postavljeni u odgovarajuće prstenove i zaliveni smolom.



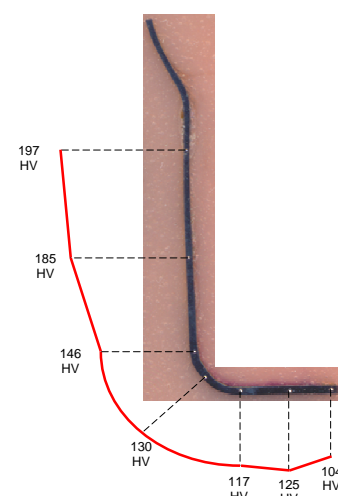
Slika 4.4. Nulta faza – priprema



Slika 4.5. Prva faza – pravac valjanja (0°)



Slika 4.6. Druga faza – pravac valjanja (0°)



Slika 4.7. Treća faza – pravac valjanja (0°)

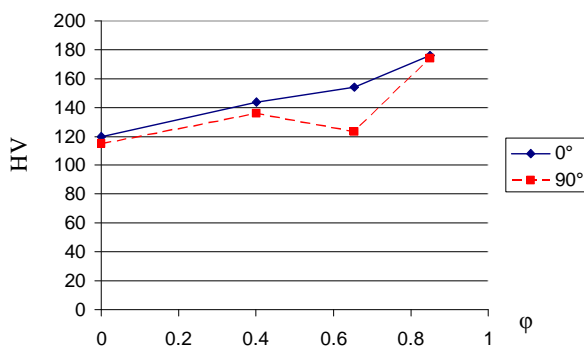
Na slikama 4.4, 4.5, 4.6 i 4.7 prikazani su rezultati

merjenja tvrdoće u karakterističnim zonama obratka po fazama oblikovanja u pravcu valjanja. Identična merjenja izvršena su i za pravac normalan na pravac valjanja. Sumarni rezultati prikazani su na dijagramu (slika 4.8). Radi sveobuhvatnije analize eksperimentalnih rezultata podaci o tvrdoći su prikazani u zavisnosti od stepena deformacije.

Pri rotacionom izvlačenju ostvarene su značajne vrednosti prosečne logaritamske deformacije po pojedinim fazama:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \ln \frac{D_0}{d_1} = \ln \frac{65}{43,5} = 0,40163 \\ \varphi_2 &= \ln \frac{D_0}{d_2} = \ln \frac{65}{33,8} = 0,65393 \\ \varphi_3 &= \ln \frac{D_0}{d_3} = \ln \frac{65}{27,8} = 0,84935\end{aligned}\quad (1)$$

Prosečne vrednosti tvrdoće materijala u zidu obratka za oba posmatrana pravca po fazama oblikovanja, koje su izračunate na osnovu podataka sa dijagrama (slika 4.8), date su u tabeli 4.1.



Slika 4.8. Zavisnost prosečne tvrdoće zida obratka od stepena deformacije

Na osnovu dijagrama (slika (4.8) može se zaključiti da tvrdoća raste porastom stepena deformacije, odnosno povećanjem rednog broja faze oblikovanja. Iz dijagrama takođe sledi zaključak da je tvrdoća u presecima pod uglom orijentacije od 90° u odnosu na pravac valjanja, manja za 3 – 5 % u odnosu na vrednosti u pravcu valjanja, izuzev rezultata koji se odnosi na fazu oblikovanja 2. Pad tvrdoće u drugoj fazi oblikovanja jedino se može opravdati značajnim stanjenjem zida konkretnih uzoraka, što uzrokuje teškoće i nepreciznost u merenju metodom Vikersa.

Faza oblikovanja	Deformacija φ_i	Tvrdoća pri orijentaciji 0° [HV]	Tvrdoća pri orijentaciji 90° [HV]
0.	0,0	120	115
1.	0,40163	144	136
2.	0,65393	154	123
3.	0,84935	176	174

Tabela 4.1. Tvrdoća materijala po pojedinim fazama

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu uvida u raspoloživu literaturu zaključeno je da je tehnologija rotacionog izvlačenja i dalje veoma aktuelna u pogledu primene, posebno u automobilske industriji, avio industriji, kosmičkoj tehnici, raketnoj tehnici, rasveti itd. Ovom tehnologijom izrađuju se delovi različitih dimenzija (pretežno srednjih i većih) uglavnom u slučaju manjih i srednjih serija, mada je prisutna tendencija ka masovnijoj

proizvodnji, na primer u proizvodnji lustera i reflektora.

Naučno-istraživački rad iz oblasti rotacionog izvlačenja karakteriše analiza procesa sa stanovišta naponsko-deformacionog stanja i mogućnosti numeričke simulacije procesa, sve sa ciljem da se ustanovi optimalan broj faza oblikovanja i postigne što viši kvalitet proizvoda u pogledu tačnosti dimenzija i kvaliteta površina. Osim toga, vrše se dalja istraživanja radi stvaranja novih sistema upravljanja procesom rotacionog izvlačenja.

Izvedena eksperimentalna ispitivanja rotacionog izvlačenja cilindrične posude prečnika 27,8 mm od Č.0148 u tri faze, pokazala su da zadati deo praktično nije moguće dobiti u tri faze, jer su se pojavljivali ozbiljni problemi u trećoj fazi (faltanje i razaranje materijala). Prosečna tvrdoća materijala u zidu obratka postepeno se povećava sa povećanjem stepena deformacije, odnosno povećanjem rednog broja faze oblikovanja. Takođe je očigledna, mada ne velika razlika u tvrdoći posmatrano sa aspekta orijentacije mernog preseka. Naime, tvrdoća je veća u presecima paralelnim sa pravcem valjanja u odnosu na preseke orijentisane pod (90°) u odnosu na pravac valjanja.

Dalja istraživanja problematike tvrdoće treba usmeriti na veće debljine lima sa variranjem broja faza oblikovanja. Takođe bi bilo neophodno izvršiti detaljnija ispitivanja deformacionog stanja po fazama oblikovanja.

6. LITERATURA

- [1] Bewlay, B.P., General Electric Global Research, Furrer, D.U., Ladish Company: *Spinning - Metalworking: Sheet Forming*, ASM Handbook, Volume 14B, 2006.
- [2] Groche, P., Schäfer, R.: *Analysis of the geometrical tolerances and surface roughness of the spinning process*, Institute for Production Engineering and Forming Machines, Technische Universität Darmstadt
- [3] Jaromír, A.: *Spinning force characteristics in forming steel blanks*, Edith Cowan University School of Enterprise and Technology, Faculty of Regional Professional Studies, South West Campus Bunbury, Australia.
- [4] Plančak, M., Vilotić, D., Vujović, V.: *Tehnologija plastičnosti u mašinstvu II*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1992.
- [5] Razavi, H., Biglari, F. R., Torabkhani, A.: *Study of Strains Distribution in Spinning Process Using FE Simulation and Experimental Work*, Tehran International Congress on Manufacturing Engineering (TICME2005), Tehran, Iran, December 12-15, 2005.
- [6] Šugárová, J., Šugár, P.: *Strain distribution after metal spinning operations*, 1st international workshop "Advanced methods and trends in production engineering", Faculty of Environmental and Manufacturing,
- [7] Xinyu, L., Shihong, Z., Hongliang, H., Jizhe, L., Lixin, Z., Zhiqiang, L.: *Three Dimensional FE Analysis on Flange Bending for TC4 Alloy during Shear Spinning*, J. Mater. Sci. Technol., Vol.22, No.6, 2006.
- [8] <http://www.metspincc.co.za/page.php?2>
- [9] <http://www.leifeldspinning.com>

Autori: Prof. dr Miroslav Plančak, prof. dr Katarina Gerić, Marko Vilotić, dipl. ing, istraživač, Dejan Movrin, dipl. ing., istraživač, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

E-mail: plancak@uns.ns.ac.yu
gerick@uns.ns.ac.yu
markovil@uns.ns.ac.yu
movrin@uns.ns.ac.yu

Wohlmuth, M.¹, Schafstall, H.²

PRODUCTION ENGINEERING AT THE CROSSROADS – PROCESS SIMULATION IN METAL FORMING WILL BE KEY IN THE GLOBAL COMPETITION

Abstract: Process simulation in production engineering changed its role during the last years dramatically. While it was still a very special simulation tool for research departments some years ago – mostly used by big companies – it became more and more a standard engineering tool also for small and medium enterprises (SME) with broad usage in shop floor related design departments. The research study of Aberdeen Group [1] describes the global competition pressure of manufacturing shops and shows the strategies to be successful in this competitive market situation. One of the essential strategies will be the adoption of simulation tools. After presenting the fundamentals of the Aberdeen research results, the paper will show the benefits of process simulation based on some metal forming applications. All examples are performed with Simufact.forming, a special purpose process simulation solution for the metal forming industry.

Key words: Process simulation, SIMUFACT, Metal forming

1. INITIAL SITUATION

The profile of the forming industry has changed considerably over the last years. The forming enterprise is not solely a part supplier, manufacturing after the customer's drawings, anymore. In fact, systems provider and development partners are much more sought-after.

Moreover, the requirements towards the complexity of the geometries grow, the quality standards increase, the used materials get harder to handle and eventually the drastically reduced development times, e.g. in automotive industry, significantly influence the delivery time of formed parts. All this gets intensified by the fact that almost every manufacturing company has to deal with international competition.

These changed determining factors have a grave influence on the development methodology and tools in the design and development departments of forming companies. It became obvious that a modern innovative company cannot exclusively rely on the knowledge of experienced employees and time- and cost-intensive try-out on production machinery.

2. THE ABERDEEN STUDY

In 2007, Aberdeen Research tried to evaluate the top pressures for enterprises in metalworking today. The survey among a representative number of companies resulted in the following figures (Table 1):

Pressure	Response
Price Competition	60%
Foreign Competition	35%
Off-Shoring of Product Manufacturing	35%
Customer requirements	28%
Product Design Geometry is Increasing in Complexity	20%

Table. 1: Pressure factors on forging shop floors

According to this, 60% of the respondents declared the biggest pressure to be the price competition. This leads to a very aggressive pricing and bidding in order to receive a contract.

To resist this pressure, different strategies and tactics that are applied by the companies can be identified. As a result,

the manufacturing enterprises can be divided into three categories, according to the Aberdeen Group:

- Best in class
- Industry average
- Laggard

Five key performance indicators define the affiliation to a category:

- Quotation accuracy
- On-time delivery of quotation
- Manufacturing scrap cost target
- On-time delivery to customer
- Quality

The difference in quantity is shown in Figure 1, whereas the percentage stands for the completion of a goal or an objective (quotation accuracy and on-time delivery of quotation were merged into one).

To improve any of the criteria, according to Aberdeen, three tactics are used:

1. Increasing the efficiency (in manufacturing and process-development)
2. Offering value-added services (analog to the mentioned change from part supplier to system and development partner)
3. Focusing on niche markets (and therefore increase of complexity in manufacturing)

Aberdeen introduces the PACE model, in which the interrelation in competition are displayed impressively. Table 2 shows the situation for price competition.

At first sight it does seem that simulation is not of big importance. However, process simulation in metal forming has to be discussed in a wider context than only in the technological sense. By taking a closer look at the PACE table, one can notice that most of the capabilities and enablers are closely associated to simulation.

Today – and this applies to the “best in class” companies – simulation is a standard procedure for analyzing the feasibility of a forming process in the offering procedure. The simulation eliminates unexpected obstacles and problems which could influence the quality or even question the ability to deliver a product after signing the contract.

Even the tool development and process design is based on standardized defaults and automated procedures in these companies. The process simulation has become an essential part of engineering.

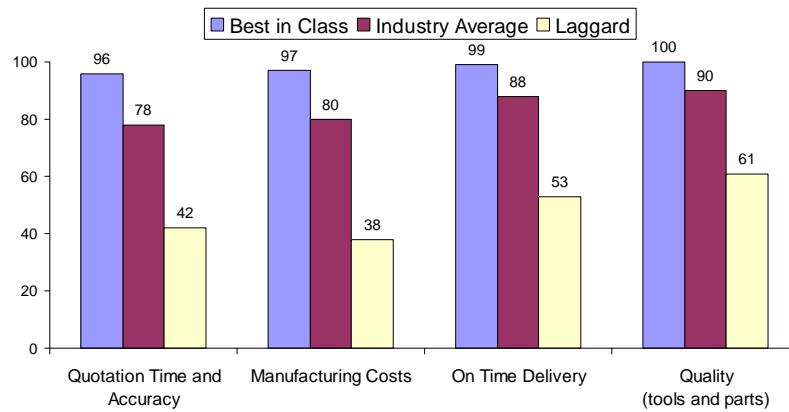


Fig. 1. Key Performance Indicators

<u>Pressure</u>	<u>Actions</u>	<u>Capabilities</u>	<u>Enablers</u>
<ul style="list-style-type: none"> Price Competition 	<ul style="list-style-type: none"> Increase efficiency Offer value-added services Focus services on niche markets 	<ul style="list-style-type: none"> Project Management Expertise Standardized quotation processes Formalized design processes Automate tool design tasks Employ specialized tool designers roles Virtual prototyping Capture tooling design knowledge Centralize and control design information 	<ul style="list-style-type: none"> CAX with specialized user interface CAD with automated tool design capabilities Usage of libraries for commonly used objects Applications to exchange data between CAX Simulation Fast machining capabilities Centralized data management

Source: Aberdeen Group, 2007

Table 2. PACE model

The message is: a modern, competitive metal forming company can only stand out from the industry average – not even mentioning the laggards – if innovative engineering tools like process simulation are consequently used! The criterion “Virtual Prototyping”, as mentioned in the PACE table, is eventually nothing else than simulation: the transfer of physical try-out from production machinery at the shop floor into the computer of the design department.

In addition, the PACE table shows criteria that do not seem to have anything to do with simulation at all: *project management, capture tooling design knowledge, centralize and control design information*. Simufact Engineering supports this concept with the solution Simufact.project. It has been shown that simulation cannot be limited to model generation, analysis and postprocessing. Process simulation has to be linked to manufacturing and integrated into the complete IT environment of the development or design department. It is of outstanding importance that the insights from the real process, information about tool life and details about tool failure are transmitted to the workplace of the simulation engineer. Only this way, processes and tools can be optimized continuously and effectively. To ensure this, Project Management Systems, in which also the experiences with the different tools are archived and stored, are essential.

3. CASE STUDIES

The first case study is a forging process for the manufacturing of brass tube fittings. The tool designing engineers had little experience with multiple forging, where up to nine parts are forged at the same time in one die. The

material flows of the single products influence each other; this can lead to undesired flow behavior and finally forging defects. In addition, the lack of experience was compensated through excessive material usage and thus tremendous material scrap.

After using the material flow simulation, complex workpieces nesting in a die could be handled and the material usage could be drastically reduced for many processes, sometimes by up to 30%. Cost savings of multiple hundreds of thousands Euros was reported by the customer.

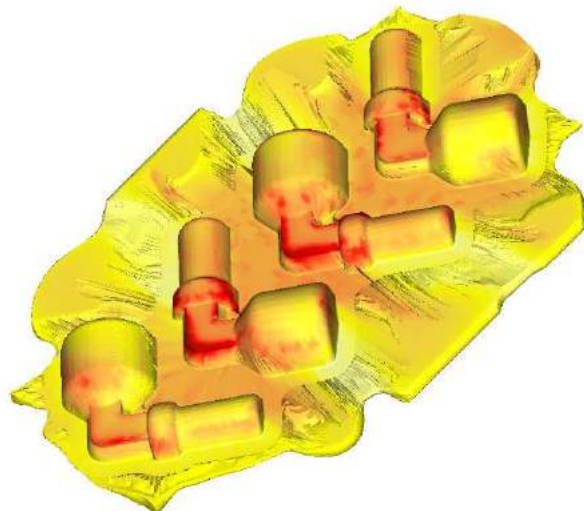


Fig. 2. Simulation of multiple forging of brass tube fittings

The second example is a forging from a hammer forging process. The object is a huge crankshaft, forged on a 630 kJ hammer, a machine that can handle forgings up to 3500 kg. Crankshafts of this size are usually used for the engines of large container ships or in power generation systems. What is typical for these large components is that only a small number of forming operations is done, but these have to be forged in several heats. In addition to the always present problem of material usage and the associated reduction of flash, the problem with components of this size is that they can hardly be manufactured without surface defects. They require a complex and therefore cost-intensive mechanical finishing. For this particular crankshaft, a considerable reduction of surface defects could be reached by changing the preform shape and making slight modifications for the flash line, which lead to a significant increase in efficiency for crankshaft manufacturing.

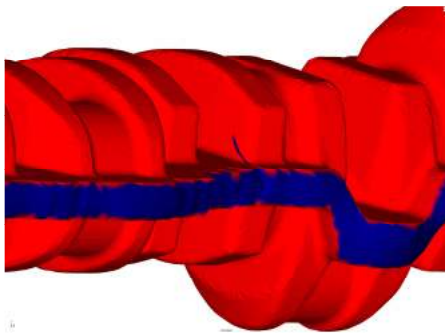


Fig. 3. Forging of a crankshaft with surface defect

The following industry example comes from the area of cold forming, being a process for the forming of a gearing part. Manufacturing takes place in multiple stages on a crank press.

The last years brought a boom in cold forming of gears. Partially, hot forging parts were substituted; partially processes were set up completely from scratch for cold forming. The advantages of manufacturing these parts through cold forming lie in the higher accuracy, which means that gears can be formed net-shaped ready-to-use, without the need for mechanical finishing. It is undisputed that forming gears is one of the more challenging areas of metal forming, especially cold forming. Huge loads occur in the tools, which leads to a short, sometimes even uneconomic tool life. In practice, dies are often reinforced the wrong way, so the desired effect, the increase of tool life, cannot be achieved. Process simulation is an effective way to optimize these forming processes. Material flow is of minor importance here, although it has to be considered that a change in material flow, which means a modification of preform shapes, may have significant effect on the tool load in the critical stages.

From the simulation's perspective, these problems are primarily about analyzing the stress distribution in a composite of tools with a real-life load along a complete forming process. The following pictures (Figure 4) illustrate impressively how the reinforcement can be optimized by looking into the tool, leading to a longer and thus more economic tool life.

Another interesting area of application for process simulation is cogging, which is mainly used for products with high demands concerning the microstructure. The most challenging part of the simulation seems to be microstructure analysis. This is not basically wrong, because without a realistic microstructure simulation, the calculation of a cogging process does not make sense.

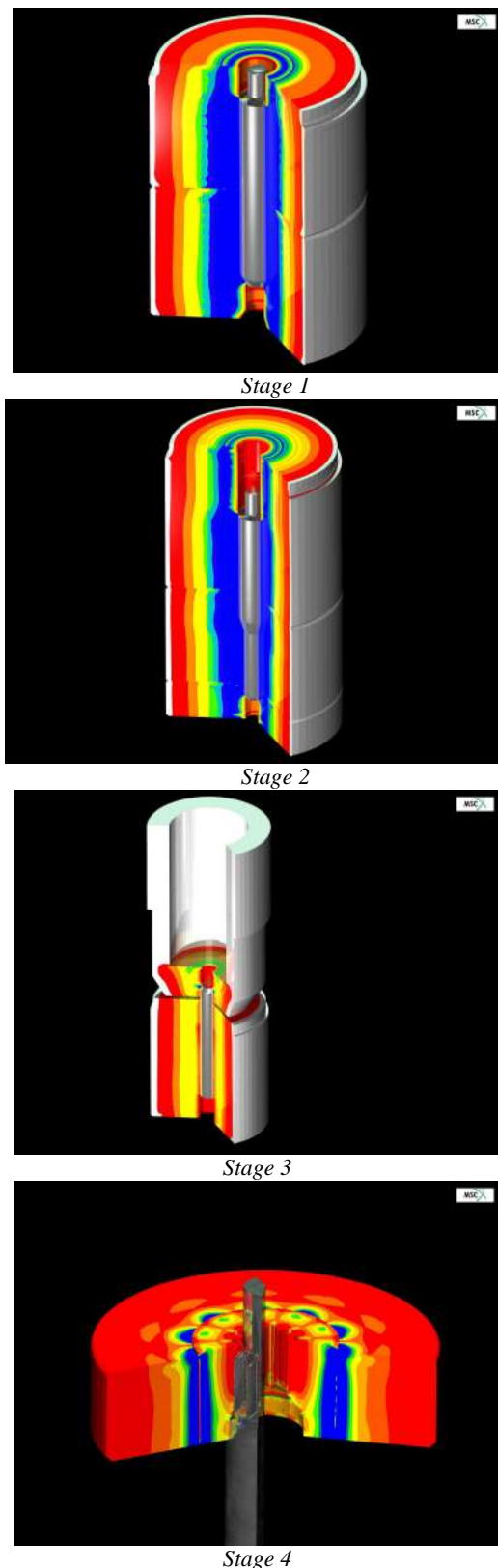


Fig. 4. Simultaneous simulation of reinforced tools (cold forming)

A single stroke might be rated as trivial, since it is only a simple upsetting. However, often more than one hundred single strokes are needed for the manufacturing of a product, whereas the process is characterized by many parameters such as stroke depth, feed and rotation of the workpiece. It is almost impossible to set up and economically calculate a process like this manually in a simulation program. Only with

a fully automated pass plan module, as it is available for Simufact.forming 8.1, a fully automated and economic simulation of such processes becomes possible. Figure 5 shows the simulation of a cogging where the manipulator has been considered with its complete kinematics. The result is a highly efficient process simulation, with realistic first class simulation results and minimal simulation effort.

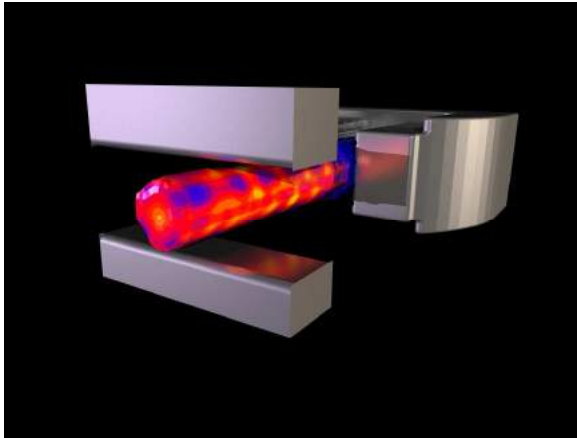


Fig. 5. Fully automated simulation of a cogging process

The next example is a rod extrusion application. Significant improvements concerning this manufacturing process, which is viewed as extremely difficult, have been implemented in the software in the last months. Especially the synergy effects between the complementary technologies Finite Elements and Finite Volume pay off.

The biggest problem with real-life rod extrusions is the geometry after the recipient. This is not so much affecting the profile but rather elbow bending and torsion effects. While the elbow effect of the rod extrusion product can be attributed to problems in tool design, elastic effects in the material are responsible for the torsion. The simulation of a rod extrusion process with a rigid-plastic material approach produces inadequate results. Figure 6 shows the simulation of a rod extrusion, calculated with an elastic-plastic material definition.

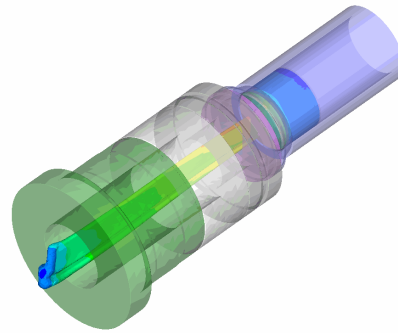


Fig. 6. Simulation of rod extrusion

The benefit of simulations for operators of rod extrusion plants comes from the reduction of expensive tools and complex tests that are needed to get a proper product. Simulation significantly reduces testing.

4. SUMMARY

This article showed that the competitiveness of a metal forming company is directly connected to how it is positioned in terms of technological innovations, meaning whether it belongs to the “best in class” enterprises. To reach this goal, certain strategies and measures have to be applied. Among others, this includes the usage of modern CAE tools such as process simulation, integrated in a complete project and data management environment.

With some industrial case studies it was shown how simulation can be used beneficially to optimize forming processes and thus making manufacturing more efficient. Simulation helps to reduce product costs in metal forming and thus increases the competitiveness of the companies that use process simulation.

5. REFERENCES

- [1] Jackson, Chad: *The 21st Century Mould and Die Shop*, Benchmark Res. Report, Aberdeen Group, March 2007.

Authors:

Michael Wohlmuth, 1CEO, Simufact Engineering GmbH,
dr Hendrik Schafstall, 1CTO, Simufact Engineering GmbH,
 Tempowerkring 3, D-21079 Hamburg, Germany, Tel.: +49
 40 790 1620, Fax : +49 40 790 162 22

E-mail: michael.wohlmuth@simufact.de

E-mail: hendrik.schafstall@simufact.de

NANOTEHNOLOGIJE I MAŠINSTVO – JUČE, DANAS I SUTRA

Rezime: U radu je dat pregled razvoja nanotehnologija u poslednjih desetak godina. Dato je objašnjenje pojma nanotehnologije i šta se danas pod tim podrazumeva, dat je pregled ulaganja i glavnih pravaca istraživanja u svetu i kod nas. Takođe je analizirana veza između nanotehnologija i mašinstva sa procenom koliko mašinstvo utiče na razvoj nanotehnologija i koliko može biti uključeno u buduća nanoistraživanja. Na kraju je prikazano šta radi Centar za Nanotehnologije pri Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu.

Ključne reči: nanotehnologije, mašinstvo, pravac razvoja

NANOTECHNOLOGIES AND MECHANICAL ENGINEERING – YESTERDAY, TODAY AND TOMORROW

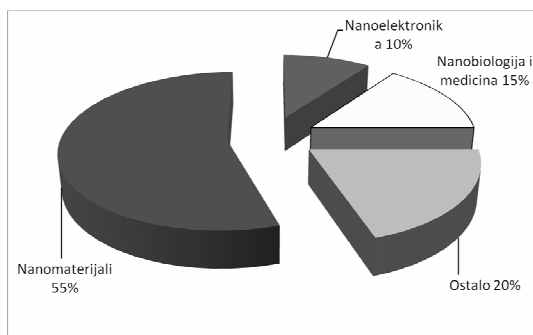
Abstract: Paper presents review of research developments in the field of nanotechnology in the last ten years. Paper gives meaning of the term nanotechnology and what the term includes today. Special attention is given to explain connection between nanotechnologies and mechanical engineering and its contribution for the future nanotechnology research. At the end activities of Center for Surface Engineering and Nanotechnology are presented, field of investigation, projects and education efforts.

Key words: nanotechnologies, mechanical engineering, research trends

1. UVOD

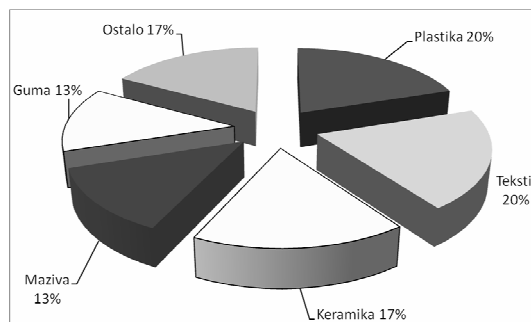
Nanotehnologije su naglo izbile u prvi plan naučne javnosti onog momenta kada je predsednik SAD Klinton 2001 godine odobrio budet od 422 miliona dolara samo za projekat Nanotehnologije. Toliki budet je odmah ukazao na značaj ove tematike za strateške interese SAD, tako da je i sledeći predsednik Buš već 2003 godine povećao godišnji budet za nanotehnologije na 849 miliona dolara. Naravno da je iza tih predloga stajao skup najvećih naučnika amerike i NNI (National Nanotechnology Initiative). Već 2003 je procenjeno da su u svetu izdvojena sredstva od 4 milijarde dolara za naučne fondove i približno 1 milijarda dolara samo od industrije. Odmah je otvoreno pitanje – šta je razvoj nanotehnologije doneo novog tako da ga ne mogu ignorisati ni finansijski ni ekonomski planeri najvažnijih država sveta.

Odmah je reagovala Kina usvajajući nacionalnu politiku i strategiju razvoja nanotehnologija za period od 2001. do 2010. godine. Tu su razrađene mere za forsirani razvoj i primenjena istraživanja u nanotehnologijama, formiranje nanotehnoloških centara i formiranje inovativnog nacionalnog sistema za eksploataciju mogućih industrijskih primena. Važan je podatak da je u tom procesu angažovano 49% mladih istraživača i da su najviše zastupljena istraživanja u oblasti nanomaterijala [2] – slika 1.



Slika 1. Područja razvoja nanotehnologija i udeo u finansiranju

Oblast razvoja nanomaterijala je najviše finansirana, ali i tu ima raznih podprojekata, od razvoja nanolubrikanata, nanokeramike pa do nanoplastičnih materijala sposobnih da se izuzetno očvrstu procesima jonske implantacije, tako da prevaziđu čvrstoću čelika. Šta se istraživalo i koliko intenzivno finansiralo kod materijala dato je na slici 2 [3].



Slika 2. Oblasti razvoja nanomaterijala

Nanotehnologije su dobile veliku pažnju i u Južnoj Koreji i to prvenstveno za razvoj elektronike, senzora i nanomaterijala [3], a nacionalni savet Koreje je deklarirao da mora formirati 12.600 NT eksperata do 2010 godine, što uključuje razrađeni sistem edukacije i uvođenje novih interdisciplinarnih studija.

Evropski komesar za nauku Busquin Phillippe je u Lisabonu 2000 objavio kreiranje nauke u funkciji "knowledge – based economy" koja će biti u stanju da stvori ekonomiju Evrope sposobnu za najoštriju konkurenciju na svetskom tržištu do 2010. Stoga je kreiran FP6 program gde je planirano oko 400 miliona evra godišnjeg ulaganja u oblast nanotehnologija. Međutim, u Evropi je iskrsnuo veliki problem nedostatka naučnika. Na primer u Evropi ima 5.1 istraživač na svakih 1.000 radno aktivnih stanovnika, dok je u SAD 7,4 i Japanu 8,9. Ako se u obzir uzmu samo zaposleni u kompanijama, tada je EU u još gorjoj situaciji jer ima svega 2,5 istraživača na 1.000 zaposlenih dok SAD imaju 7 a Japan 6,3. Stoga EU posvećuje posebnu pažnju edukaciji eksperata

za nanotehnologije, ali i promeni profila postojećih naučnih istraživača.

U periodu 2002. do 2006. godine u Okviru FP6 programa grubo bi se mogle definisati ključne oblasti istraživanja:

- Istraživanje procesa i razvoj alata za izradu biomolekularnih mehanizama i mašina (uključujući i samo-sklopive mehanizme)
- Aktivnosti na interfejsu između bioloških i nebioloških sistema.
- Formiranje interfejsa kod pametnih prevlaka
- Nanodimenzionalno inženjerstvo sa ciljem stvaranja novih materijala i komponenti
- Razvoj opreme za merenje fenomena na nivou atoma i molekula
- Hemijsko i katalitičko ponašanje novih ekoloških materijala
- Novi procesi fleksibilnog inteligentnog inženjerstva za proizvodnju novih materijala i sklopova
- Optimizacija životnog ciklusa u industrijskim sistemima
- Integracija nanotehnologija za poboljšavanje bezbednosti i kvaliteta života, posebno u oblasti zaštite zdravlja i kontrole životne sredine.

Danas skoro sve evropske zemlje imaju Nacionalne Inicijative za Nanotehnologije, koje su formirane od 1986 u engleskoj do srpske koja je još u fazi nastajanja. Nanoinicijativa Srbije je pokrenuta 2005 godine ali se odmah pojavio jak lobi koji je blokirao rad. U Srbiji postoje grupe istraživača iz oblasti fizike, hemije, tehnologije, materijala i inženjerstva površina koje rade u oblasti nanotehnologija, ali nema jasno definisane strategije na nivou društva koji su prioriteta i gde treba ulagati.

Kada se uporede prethodni talasi tehnoloških inovacija, nauka i biznis nanotehnologija predstavljaju veću i dublju promenu i izazove. Naučnici su tek naznačili šta je moguće ostvariti u ovoj oblasti [4]. Sa gledišta potencijalnih investitora postoji pitanje koliko se komplikacija može pojaviti do dobijanja industrijskog proizvoda i koliki su rokovi potrebni do lansiranja nove tehnologije u industrijskim uslovima. Nedavni primeri iz Silikonske doline pokazuju koliko nove tehnologije mogu biti pokretač razvoja čovečanstva, ali isto tako pokazuju da se sa dobrom organizacijom vreme realizacije nove ideje može dramatično skratiti. Sa druge strane postavlja se pitanje koliko u tim uslovima traje određena tehnologija u praksi i dali se uložena sredstva mogu povratiti. Do sada je više bilo ulagano u razvoj nanotehnologija nego što je realizovana zarada na novim tehnologijama.

Ovde se mora uzeti u obzir da uticaj nanotehnologija na razvoj tehnike i čovečanstva uopšte ima multidimenzionalni aspekt. Karakter novih tehničkih otkrića ima izraženo prisutvo fundamentalnih otkrića više nego ikad dosada. Razvojni centri su više nego ikada povezani međusobno po celom svetu i više naučnika raznih profila radi istovremeno na jednom projektu. Recimo EU insistira na umrežavanju naučnih kapaciteta i to je čak osnovni uslov dobijanja najvažnijih projekata.

2. GDE SU NANOTEHNOLOGIJE DANAS

Šta se najviše istražuje u nanotehnologijama teško je nabrojati, sa obzirom na ogroman broj projekata koji je u toku u različitim državama. Međutim treba bar navesti najvažnije oblasti koje su nosioci razvoja i povezivanja nauke i privrede u svetu.

Najkvalitetniji pristup razvoju nanotehnologija ima SAD [5] sa obzirom da je jaka grupa naučnika okupljena od strane vrha administracije u poziciji da u ime predsednika predlaže budžet, raspodelu po oblastima i institucijama, o čemu svedoči dokument – Istraživanje i razvoj koji vode ka revoluciji u industriji i tehnologiji – Dodatak Predsedničkom predlogu budžeta za 2008. Materijal je u ime predsednika SAD sastavio National Science and Technologz Council, Subcomity on Nanoscale Science, Engineering and Technology i potpisano je 70 članova. U tabeli 1. dat je pregled sredstava koje je Kongres dodelio samo za istraživanje u oblasti nanotehnologija. U izornoj tabeli su data sredstva za 13 institucija ali je ovde prikazano samo 6 najznačajnijih. To su:

- **NSF** - National Science Foundation
- **DOD** – Departmen of Difense
- **DOE** – Department of Energy
- **DHHS (NIH)** – Department of Health and Human Services (National Institute of Health)
- **DOC (NIST)** – Department of Commerce (National institutes for Standards and Technology)
- **NASA** – National Aeronautics and Space Administration

	2006	2007	2008
NSF	359,7	373,2	389,9
DOD	423,9	417,2	374,7
DOE	231,0	235,32	331,5
DHHS (NIH)	191,6	193,8	202,9
DOC	77,9	84,2	96,6
NASA	50	25	24
Ukupno	1.351,2	1.353,9	1.444,8

Tabela 1. Pregled sredstava (u milionima dolara) za finansiranje nanotehnologija u SAD za period 2006–2008 god.

Iz ove tabele se jasno vidi da samo Kongres SAD dodeljuje sredstva koja je EU planirala za petogodišnji period, što nije proporcionalno ekonomskom potencijalu i potrebama EU. Vidljivo je da se zadnjih godina smanjuju izdvajanja za Ministarstvo odbrane (DOD) a istovremeno bitno rastu sredstva za Ministarstvo Energetike (DOE). Kongres je prepolovio sredstva za NASA ali je vidljivo povećao sredstva za DOC (NIST).

Interesantno je pogledati šta se to trenutno finansira po oblastima istraživanja – Tabela 2. Dok Ministarstvo za nauku (NSF) i Ministarstvo za odbranu (DOD) skoro polovinu sredstava troše za fundamentalna istraživanja, NASA uglavnom finansira istraživanje nanomaterijala i istraživanje nanouredaja i sistema.

Ministarstvo ya Energetiku (DOE) ključna ulaganja ima u razvoj laboratorija - opremu i instrumente.

Društvene dimenzije uvođenja nanotehnologija se posebno reflektuju u pogledu zaštite čovekove sredine, zdravlja i bezbednosti [6]. Tu takođe spadaju i sredstva namenjena edukaciji, prekvalifikaciji radne snage, kao i istraživanjima u ekonomskoj , etičkoj, pravnoj i drugim sferama koje moraju biti prilagođene uticaju novih otkrića u nanonauci.

Šta se trenutno dešava u Evropi. U toku je završetak 418 projekata koji imaju vezu sa nanonaukom. EU nema institucije kao SAD već se projekti dodeljuju prema konkursima, na kojima mogu da konkurišu i istraživači van EU, kao naprimer iz Srbije. Postoji tri projekta vezana za nanotehnologije koje EU finansira u Srbiji.

	Osnovni fenomeni i procesi	Nanomaterijali	Nanouređaji i sistemi	Razvoj uzređaja, metrologije i standardi	Nano-proizvodnja	Glavni razvojni centri i nabavka instrumenata	Društvene dimenzije	NNI ukupno
NSF	142.7	60.2	51.1	14.5	26.9	31.6	62.9	389.9
DOD	179.1	91.7	70.6	8.3	1.0	23.0	1.0	374.7
DOE	85.4	99.8	13.5	26.7	2.0	100.6	3.5	331.5
DHHS (NIH)	53.3	16.5	114.9	6.7	1.7	0.1	9.7	202.9
DOC(NIST)	27.1	8.0	13.5	26.4	11.1	4.5	6.0	96.6
NASA	1.0	12.0	10.0	0.0	1.0	0.0	0.0	24.0
Ukupno	491.8	290.7	277.4	83.6	44.0	159.8	97.5	1 444.8

Tabela 2. Planirana sredstva po oblastima i institucijama za 2008 god.

Šta je to što bi bilo posebno interesantno za projekte EU. Može se reći da je za inženjstvo posebno interesantno finansiranje:

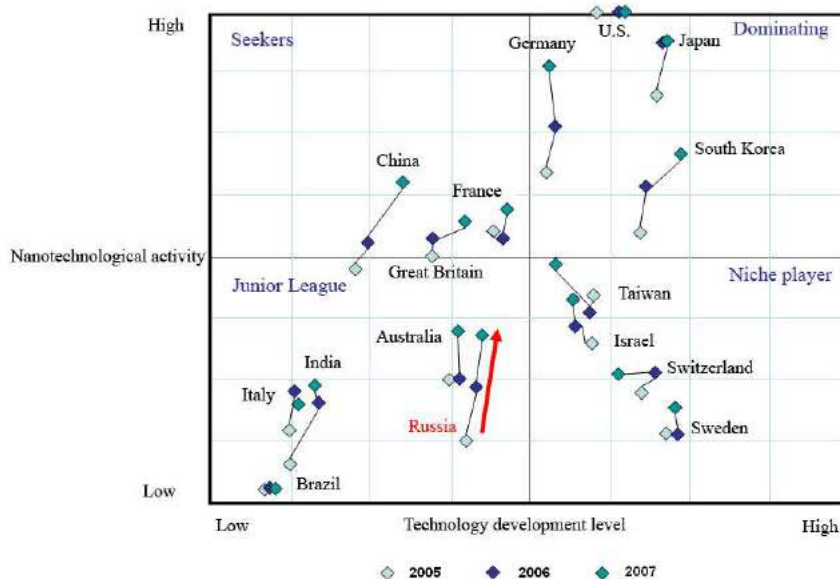
- Nanotehnologije i nanonauka novih pametnih multifunkcionalnih materijala i novih procesa proizvodnje.
- Rukovanje i upravljanje instrumentima koji rade sa pojedinačnim atomima ili molekulima dimenzija do 10 nm.
- Proširivanje fundamentalnih znanja o materijalima
- Razvoj novih "user friendly" uređaja i tehnologija, njihovo uvođenje u fabrike budućnosti
- Novi pameću oplemenjeni materijali za makrodimenzionalnu primenu
- Nove proizvodne tehnologije za visokovredne proizvode, koristeći nanodimenzionalno precizno inženjstvo
- Nove generacije fleksibilnih tehnologija spajanja
- Industrijski relevantna proizvodnja nanočestica

Druge zemlje sveta, kao naprimer Indija imaju svoje specifične pristupe oko prioriteta istraživanja. Kao primer - Prof. Katesh Katti sa Misuri Univrziteta USA, je dao izjavu 11 jula 2008 da je Indija potpuno spremna za prodor u nanotehnologije koje će dramatično poboljšati standard i uslove života pošto će pronaći rešenje za ključne probleme

zdravlja, poljoprivrede i menadžmenta vode.“ Ocena prof. Katti-ja je da je Indija i finansiski i sa naučnim potencijalima među najspremnijim državama na svetu za prodor u nanotehnologije [7].

Japan je trenutno vodeći svetski proizvođač u oblasti superčvrstih kompozita, o čemu svedoči podatak da se trup supervelikih aviona Erbas 380 i Boeinga rade u Japanu. Međutim, visoki rezultati u osvajanju industrijske proizvodnje novih nano materijala su posledica japanskog specifičnog pristupa transfera naučnih rezultata u industriju i vezivanja kapitala za konkretne projekte. Velike kompanije kao Mitcubishi , Hitachi, Soni i sl. imaju sopstvene razvojne projekte koje na adekvatan način podupire država, tako da se samo deo ulaganja u razvoj nanotehnologija vrši preko univerziteta i naučnih instituta. Japan, kao i Koreja imaju prioritete da razvijaju nanomaterijale, senzore, elektroniku sa ciljem da zadrže dominaciju na svetskom tržištu.

Kina jako ulaže u nanotehnologije i to u kontinuitetu od 2001 godine. U velikoj meri kineski programi liče na američke, sa time da se teže može doći do tačnih podataka o trenutnim ulaganjima. Međutim, Kina jako brzo prodire u oblast nanomaterijala, nanoelektronike i nanosenzora, kao i svemirske tehnologije.



Slika 3. Grafička prezentacija dinamike razvoja nanotehnologija i nanoindustrije u svetu.

Interesantan je primer Rusije, koja je i pored velikih transformacija u društvu i promena u sistemu upravljanja društvom, uspeła da zadrži vodeće mesto u nekim bitnim oblastima nanotehnologija. Februara 2007 Institut Kurčatov je pobedio na tenderu da bude glavni organizator i koordinator za Nanotehnologije u Rusiji.

Agencija Novosti je objavila 4. jula 2007 da je Ruski parlament usvojio zakon o formiranju Ruske korporacije za Nanotehnologije. Definisani su odnosi između vlade, biznisa i nauke u vezi implementacije državne politike u nanotehnološkim istraživanjima i industrijskoj primeni. Takođe su definisani novi odnosi u organizaciji i finansijskoj podršci nanotehnološkim projektima.

Na sastanku novoformirane korporacije premijer Putin je obećao veliku podršku države u smislu nabavke najsavremenije opreme, formiranja i obuke kadrova kao i organizacione pomoći. Ministar Sergej Ivanov, zadužen za nauku i razvoj, obećao je da će Rusija u periodu do 2015 uložiti u razvoj nanotehnologije oko 7.5 milijardi evra.

Agencija Rosia Today je objavila 05.02.2008. da Ruska korporacija za Nanotehnologije planira poboljšanje saradnje sa privatnim biznisom u cilju bolje komercijalizacije naučnih rezultata. Postoji veliko nepoverenje u isplativost ulaganja u nanofabrike kod ruskih biznismena. Stoga Ruska korporacija za Nanotehnologije planira u prvoj fazi klastere u kojima će raditi zajedno naučnici i preduzetnici. To bi u razumnom roku trebalo da obezbedi vidan napredak u mikroelektronici, proizvodnji aviona, vojnoj industriji, medicini i skoro svim ostalim oblastima koji utiču na kvalitet života.

U aprilu 2008 je direktor Ruske svemirske agencije – Leonid Melamed - posetio SAD u cilju saradnje na novim svemirskim projektima. On je istakao da će ruska agencija uložiti velika sredstva u razvoj nanotehnologija sa ciljem da zadrži vodeće mesto u nekim segmentima svemirske tehnologije.

U avgustu 2008 došlo je do prve privatno – državne investicije u preduzeće za izradu nanooptike. Investicija od 20 miliona evra treba da realizuje za 4 godine sa idejom da se naprave lakši i mnogo jeftiniji objekti za optičke uređaje. Ovo je odlična ilustracija šta se dešava u Rusiji danas i koliki značaj rusko rukovodstvo polaže u razvoj nanotehnologija.

Na slici 3 je dat grafički izgled dinamike promene nanoaktivnosti i nivoa tehnološkog razvoja za vodeće zemlje sveta. Jasno se vidi da su Japan i Koreja u bitnoj prednosti u pogledu razvoja tehnologije ali i velike istraživačke aktivnosti. Švedska i Švajcarska imaju razvijenu tehnologiju ali nizak nivo aktivnosti što će rezultirati sa bitnim usporanjem nanotehnološkog razvoja.

3. ŠTA JE NANOTEHNOLOGIJA

Još uvek se postavljaju pitanja – šta tačno znači reč Nanotehnologija. Postoji određena konfuzija oko toga šta se sve podrazumeva pod nanotehnologijama. Većina definicija se vrti oko toga da se nanotehnologija odnosi na procese i upravljanje fenomenima koji imaju dimenziju manju od 100 nm (u poređenju sa debljinom ljudske vlasi kose od 80.000 nm) /8/. Pri tome je veoma bitno iz koje oblasti naučnik potiče, pošto hemičari imaju drugačiji pogled od fizičara ili mašinstava.

Verovatno je najbolja definicija Nanotehnologije: “Kreiranje, karakterizacija, proizvodnja i primena struktura, naprava ili sistema uz pomoć kontrolisane manipulacije u nanodimenzionalnim razmerama (dimenzija atoma, molekula ili makromolekula) sa čime se proizvodi struktura, naprava ili sistem sa najmanje jednom novom superiornom karakteristikom ili osobinom”

Nanometar je toliko mali da ga je teško i zamisliti, ali radi poređenja on je 7.000 puta manji od crvenog krvnog zrnca ili tri puta veći od molekula vode.

Nano tehnologije nam danas omogućuju da postavimo atome ili molekule u tačno određeni položaj i da time dramatično menja osobine poznatih materijala. Smanjenjem zrna metala ispod 10 nm rezultuje sa dramatičnim promenama osobina – i do 7 puta tvrdi i čvršći. Kod nanomaterijala se javlja uticaj dva efekta – povećanje relativne površine zrna (dovodi do jače hemijske reaktivnosti) i kvantni efekat (koji rezultuje sa promenama optičkih, magnetnih ili električnih osobina). Čestica koja ima prečnik 30 nm ima oko 5% atoma na površini zrna, dok čestica koja ima 3 nm u prečniku ima oko 50% atoma na površini zrna. Ovde sada jako dominiraju površinski fenomeni između dva susedna zrna ili dva različita materijala, što rezultuje dramatičnim promenama u fizičkim, hemijskim i mehaničkim osobinama materijala.

Tipičan je primer zlato koje je u normalnom obliku inertno, naglo postaje visokoefikasni katalizator ako se usitni na čestice 10 do 100 nm.

Aluminijum u komadu se lako plastičnom deformacijom pretvara u foliju koja se koristi za zamotavanje hrane, ali ako se usitni do dimenzije nanočestica, postaje efikasan dodatak u eksplozivima.

Nanomaterijali se koriste kao superprovodnici. Ako se u nanotubu ubaci atomi ugljenika u tačno definisanom rasporedu, može se drastično povišiti tvrdoća i čvrstoća, i to bitno iznad čelika, a da se istovremeno postigne provođenje struje bolje od bakra i da se potpuno spreči provođenje toplote [9].

Nanotehnologije su se tek pojavile kao mogući pokretač razvoja industrije, ali sa ogromnim perspektivama. Na primer proizvodi koji su povezani sa nanotehnologijama, vredeli su 2004 godine svega 0,1% od globalnog proizvoda, ali prema umerenim prognozama već 2014. godine činiće oko 15% globalne proizvodnje po vrednosti.

4. KOJA JE VEZA IZMEĐU NANOTEHNOLOGIJA I MAŠINSTVA

Nanotehnologije su po pravilu interdisciplinarne ali naša tema je da ukažemo koje veze postoje između nanotehnologija i mašinstva. Tako se postavlja pitanje, da li je moguće konstruisati vrhunske avione ili svemirske letilice bez novih nanomaterijala. Sigurno je da konstrukcija i izrada aviona spada u mašinstvo ali postoji niz dilema koliko je prethodni primer uklopiv u definiciju nanotehnologija. Stoga se po našem mišljenju treba objasniti veza narednih pojmova sa razvojem nanotehnologija.

- Ultraprecizno mašinstvo - ultraprecision machining
- Izrada ultrapreciznih instrumenata i mašina – production of nanoinstruments and equipment
- Nanorobotika - nanorobotics
- Nanomehanizmi - nanomechanism
- Nanofabrike - nanofabrication
- Obrada i proizvodnja nanomaterijala – nanomaterial production
- Nanomodifikacije - nanomodification
- Nanointerfejsi – nanointerfaces

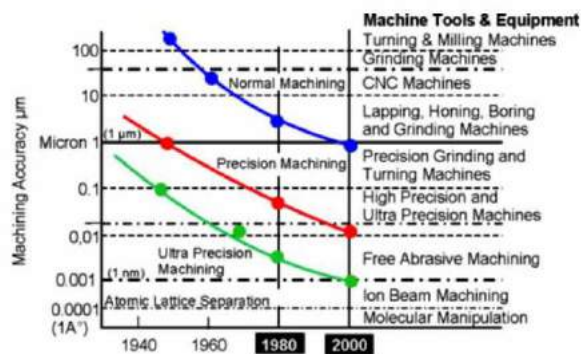
4.1. Ultraprecizno mašinstvo - ultraprecision machining

Ultraprecizno mašinstvo je nastalo kao normalan tok razvoja mašinstva, u skladu sa trendom koji je Taniguchi najavio u svom radu [10] - vidi sliku 4. Danas postoje instituti koji se bave samo sa ovom problematikom, kao naprimer - Ultra-Precision Machining Research Center, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China. Eksperti ovog centra su nedavno objavili pregled aktuelnog stanja u ovoj oblasti [11] gde su istakli da se ultraprecizno mašinstvo nezaobilazna tehnologija u izradi komponenata najvišeg kvaliteta u pogledu tačnosti, kvaliteta i integriteta

površine. Najtipičniji primer koji su istakli je obrada napredne keramike i stakla (za primenu u optici, mehanici ili elektronici) gde se traži najviša tačnost oblika i kvalitet površine, danas i do veličine reda angstroma do 1 nm, ali gde je potrebno izbegnuti bilo kakvo oštećenje podpovršinskog sloja radnog predmeta. Stoga je i mehanizam uklanjanja materijala od suštinskog značaja.

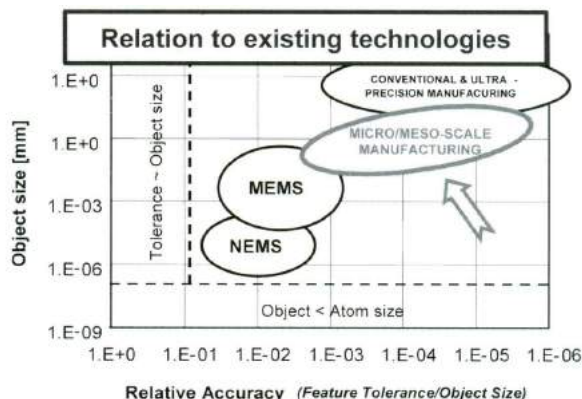
Trend minitimizacije proizvoda, pre svega vezan za razvoj mikroelektronike i senzora, ali danas jako prisutne vojne industrije, telekomunikacija, svemirskih programa, medicine i td. otvorili su prostor za proizvodnju ultrapreciznih mašina. Danas su na tom planu jako odmakli Japan i Nemačka, ali odmah iza njih su Koreja, SAD, Kina, Švajcarska i td. Ultraprecizno mašinstvo je veoma važna tehnologija jer [12]:

- Omogućava široko polje korišćenja u razvoju nanonauke i nanotehnologija, pošto je most između nanosveta i makrosveta;
- Ona potpuno menja dosadašnja shvatanja kako, kada i gde će proizvod biti izrađen – na primer u sred operacionog zahvata na operacionom stolu, u svemirskom brodu itd.
- Ona je strateška tehnologija jer će omogućiti da se prevaziđu komparativne prednosti SAD – smanjenjem investicionih ulaganja, smanjenjem prostora i energije potrebne za rad, dobijanjem pokretljivosti itd.



Slika 4. Tanigučijev model razvoja u pogledu tačnosti obrade

Danas se kod stručnjaka pravi razlika između pojmova ultrapreciznog mašinstva i micro/meso-scale mašinstva vezano za odnos dimenzije objekta i relativne tačnosti - slika 5 [13]



a 5. Oblast mikro obrade u zavisnosti od dimenzija predmeta i potrebne tačnosti.

Prema svim rezultatima i istraživanjima budućnost razvoja ultrapreciznog mašinstva nije sporna, ali se mogu naznačiti glavni problemi koje u ovoj oblasti treba rešavati:

- Poboljšanje nanotačnosti u dimenzijama i obliku 3D objekata veoma malih dimenzija

- Potreba za multi-funkcionalnim mašinama, odnosno mašinama koje rade dva ili više procesa, naprimer mašine koje mogu da obrađuju i mere istovremeno.
- Rešavanje problema sa rukovanjem, fiksiranjem i repozicioniranjem kod delova veoma malih dimenzija
- Montaža je danas veći problem od izrade kod mnogih proizvoda. Izrada uređaja za nanomanipulaciju.
- Razvoj metrologije je neophodan, posebno za in-situ kontrolu.
- Smanjenje cene opreme
- Istraživanje i bolje razumevanje uticaja nanodimenzionog opsega na ponašanje i kvalitet procesa izrade
- Uticaj kvaliteta i strukture materijala predmeta obrade na fenomene ultrapreciznog mašinstva.
- Definisanje IP (intellectual property) problema, koji sada usporava saradnju i razmenu ideja na relaciji istraživač-proizvođač opreme-korisnik opreme.

Očigledno je da u narednom periodu ima dosta posla vezanih za razvoj u ovoj oblasti.

Potreba za dobijanje vrhunskog kvaliteta površine predmeta dovelo je do razvoja nanomašinstva i to pre svega nanofinishing (nanofinishing) tehnologija. To je oblast sofisticiranih minijaturnih tehnoloških procesa koji dramatično utiču na kvalitet obrađene površine. Tu spadaju do sada proverene tehnologije [13]:

Proces	Radni predmet	Ra (nm)
Brušenje		Do 25
Lepovanje		Do 13
AFM sa SiC	Kaljeni čelik	50
MAF	Nerdajući čelik	7,6
MFP sa CeO ₂	Si ₃ N ₄	4,0
MRF sa CeO ₂	Staklo	0,8
EEM sa ZrO ₂	Silicijum	ispod 0,5
IBM	WC	0,1

Gde su: AFM (Abrasive Flow Machining) sa SiC abrazivom, MAF – Magnetic Abrasive Finishing; MFP – Magnetic Float Polishing - sa česticama CeO₂; MRF – Magnetorheological Finishing sa česticama CeO₂; EEM – Elastic Emission Machining – sa ZrO₂ abrazivom; IBM – Ion Beam Machining.

Posebno interesantna tehnologija je FIB na bazi fokusiranog jonskog snopa. Ona je interesantna za više oblasti primene, od nanofinishing tehnologije, preko izrade gravura (slika 6.) do pripreme uzoraka za HR SEM analizu, koju smo koristili u našim dosadašnjim istraživanjima i koja daje stvarno izuzetne nove mogućnosti nanodijagnostike. FIB tehnologija je idealna za izradu gravura ili kalupa sa mikro ili nanodimenzijama, a prikazana gravura na slici 7 je zahtevala oko 30 minuta za izradu uz pomoć komputera i mikroskopa [14]



Slika 6. FIB – focused ion beam – je idealan za izradu gravure dimenzija ispod 100 nm na različitim materijalima.

4.2. Izrada ultrapreciznih instrumenata i masina – production of nano-instruments and equipment

Postoji oko 40 vrsta mernih uređaja koji mere nanoveličine ili služe za nanomanipulacije. Sama konstrukcija je pre svega oblast fizike, hemije, elektronike, senzora itd., ali je izrada ovih uređaja dobrim delom vezana za ultraprecizno mašinstvo [8].

4.3. Nanorobotika - nanorobotic

Nanorobotika je deo jako izraženog trenda ka minitimizaciji robota sa ciljem da mogu da rade i u sredinama koje su minimalnih dimenzija, kao naprimer krvni sudovi čoveka i sl. Sa druge strane oni su interesantni, zbog male težine i male energije, kako svemirskoj tehnologiji tako i vojnoj idudtriji. Pregledom baze naučnih saopštenja Scopus pronašli smo svega 43 rada i 9 patenata vezanih za pojam nanorobot. Najviše citirani radovi se odnose na primenu nanorobotske manipulacije pri izradi nanodijamantskih sklopova [15] i na problematiku NEMS odnosno nanosklapanja (nanoassembly) [16].

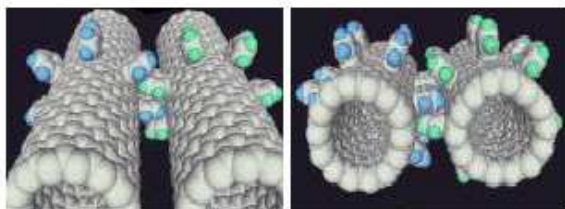
Posebno je interesantan rad koji je objavljen 2008 a već je više puta citiran, koji daje predlog nove arhitekture nanorobota namenjenih medicinskoj dijagnostici [17]. Veoma bitan rad u ovoj oblasti je objavio Freitas [18] sa kompletnim pregledom stanja u oblasti medicinskih nanorobota.

Važno je napomenuti da je pravac razvoja nanorobotike u budućnosti orijentisan na druge oblasti inženjerstva, tako da se teško može uklopiti sa mašinstvom.

4.4. Nanomehanizmi - nanomechanism

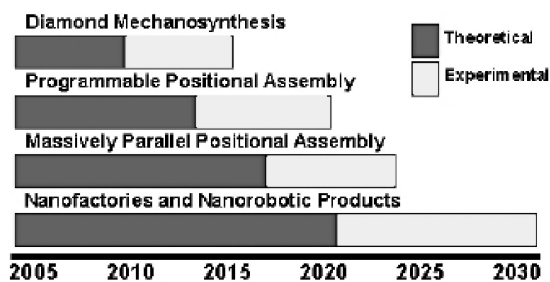
Kada se istraži baza naučnih referenci Scopus može se naći 40 članaka i 9 patenata pod pojmom nanomehanizmi + inženjerstvo. Jedan od tih radova ima impresivan broj citiranosti – 140 puta – što svedoči o interesantnosti ove problematike. Taj rad [19] predstavlja ideju da se DNA arhitektura iskoristi za izradu nanomolekularnih mašina. Upola manje citiran ali veoma zapažen rad se odnosi na reverzibilne molekularne ventile [20].

Dijamantska mehanosinteza (DMS) ili fabrikacija putem molekularnog pozicioniranja označava postupke formiranja lokalnih kovalentnih veza uz pomoć preciznih mehaničkih sila, sa ciljem da bi se izgradila diamanoidna struktura. To se radi uz pomoć komputera i sofera koji mogu da upravljaju procesom u nanodimenzionalnom opsegu. Da bi smanjio uticaj okoline pri pozicioniranju, potrebno je ostvariti ultravisoki vakuum i zatim ispuniti prostor nekim plemenitim gasom. Atom po atom se slažu u oblike nanoležajeva, nanozupčanika (slika 7 i sličnih nanoelemenata, koji se posle mogu spajati u razne nanokonstrukcije. Postoji težnja da se ovakvi elementi rade putem hemijskih postupaka sa samosklapajućim fenomenom ali to više sigurno nije ni blizu mašinstva.



Slika 7. Nanozupčanici sačinjeni DMS tehnologijom

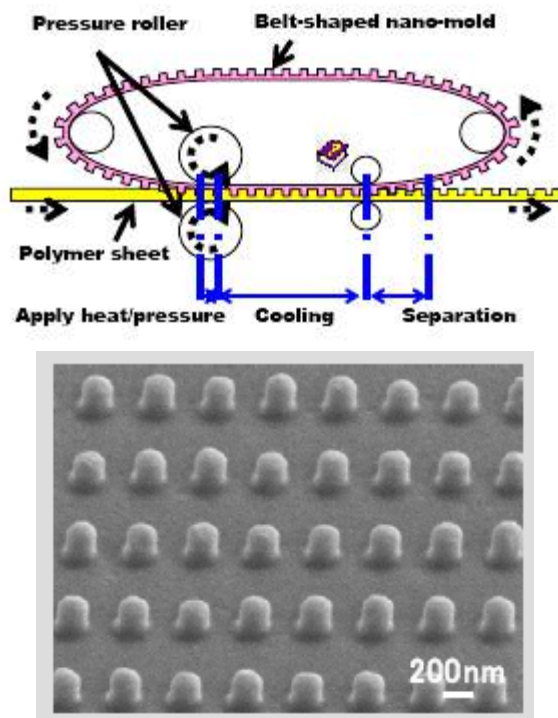
DMS materijali poseduju visoku tvrdoću i čvrstoću, pa tako nanomehanizmi mogu da rade dugo i u najtežim uslovima. Hemijski su inertni i pogodni za rad u ljudskom organizmu, u svemiru, unutar hemijskih i nuklearnih reaktora te stoga imaju veliku budućnost – slika 8, ali će biti potrebno još dosta vremena do realizacije na komercijalnom nivou.



Slika 8. Od DMS postupka do nanofabriki do 2030 godine

4.5. Nanofabrike – nanofabrication

Nanomanufacturing se odnosi na napredne tehnologije u prerađi konvencionalnih materijala uz upotrebu velikih uređaja ali koristeći nadimenzionalne fenomene za proizvodnju malih jednostavnih proizvoda kao naprimer nanočestica. Molekular manufacturing ima potpuno drugačiji pristup jer se podrazumeva korišćenje nanodimenzionalnih mašina da bi se proizvela inženjerski heterogena atomski precizna struktura uz pomoć direktne manipulacije. Suština je da se proizvede kompleksni proizvod sa manjim ili većim dimenzijama, sa atomskom preciznošću.



Slika 9. Nova tehnologija firme Hitachi /nn1/ za proizvodnju nanodimenzionalnih elemenata.

Hitachi Plant Technologies u saradnji sa Ikegami Mold Engineering su razvili novu tehnologiju za masovnu proizvodnju nanodimenzionalnih proizvoda sa 100 puta većom produktivnošću od prethodnog postupka [21]. To se postiže korišćenjem nanopreciznih kalupa integrisanih u beskrajnu traku sa segmentima zagrevanja, presovanja, hlađenja i vađenja proizvoda. Ovo je tipičan primer primene nanofabrikacije odnosno nanomanufacturing tehnologije.

Tehnologije molecularmanufacturing su takođe veoma perspektivne ali treba još dosta vremena za njihovu industrijsku primenu – slika 8. Međutim, sasvim je sigurno da se ta tehnologija nalazi na spisku prioritetnih nanoistraživanja, pre svega u Japanu.

4.6. Obrada i proizvodnja nanomaterijala – nanomaterial production

Kada pogledamo sliku vlati kose sa bakarnom žicom koja prolazi kroz rupu na kosi, trebamo se zapitati – šta je ovde nanotehnologija. Ključ je u bakru proizvedenim po nanotehnologiji praha sa čime se postiže 50 puta veća deformabilnost (na sobnoj temperaturi) i sa time mogućnost izrade tako tanke žice da može da prođe kroz kosu. Ovo je otkriće Ke Lua iz Kineske akademije nauka iz 2002 godine. Takav bakar isovremeno ima 10 puta veću čvrstoću od klasično proizvedenog bakra a da istovremeno zadrži elektroprovodljivost.

Razvoj novih materijala suštinski utiče na inženjerska dostignuća. Na primer, novi nanokompoziti su omogućili proizvodnju trenutno u svetu najboljeg vojnog lovca Berkut (Suhoj) i oko 30% ugrađenog materijala na njemu, izrađeno je uz pomoć nanotehnologija [7]. Predviđa se razvoj superčvrstog kompozita – tri do 5 puta lakšeg od čelika i isto toliko čvršćeg, da bi se ostvarila konstrukcija lifta koji će teret sa zemlje podizati u svemirskoj stanici.

Generalno, razvoj novih materijala će bitno uticati i na razvoj mašinstva u narednom periodu. Razvoj materijala će biti jedan od najvažnijih pravaca razvoja nanotehnologija.



Slika 10. Vlat kose sa bakarnom žicom – Kern Precision Inc.

Za primenu supertvrđih prevlaka je osnovano u Evropi udruženje DESHNAF (Deposition of Super-Hard Nano-Composite Films), koje je koordinator akcije podržane od Evropske Komisije "DG Research", u okviru "6th Framework" programa, za razvoj i primenu nano-materijala. Zbog svojih karakteristika supertvrđi nanokompoziti mogu da se koriste u više industrijskih sektora: za alate, mašinske delove, izradu i reparaciju lopatica gasnih turbina itd, svuda gde se traži dobra otpornost na habanje, nizak koeficijent trenja, korozivna postojanost i rad na povišenim temperaturama.

4.7. Nanomodifikacije - nanomodification

Sastavni deo razvoja ultrapreciznog mašinstva je i nanomodificiranje površinskih slojeva alata i delova mašina, sa ciljem da se snizi koeficijent trenja, da se poveća otpornost na habanje, koroziona postojanost itd.

Kao najpovoljnija tehnologija nanomodifikacije nameće se jonska implantacija (II – Ion Implantation) odnosno postupci uranjanja u plazmu PI^3 (Plasma Ion Imersion Implantation). Antifrikcione osobine se mogu bitno povisti postupcima plazma depozicije nanoslojeva i to posebno primenom DLC prevlaka, prevlaka na bazi molibden disulfida ili nanodijamanta.

4.8. Nanointerfejsi - nanointerfaces

Ovo je veoma specifična oblast nanotehnologija koja treba da reši problem kontakta i vezivanja dva potpuno različita materijala na površini alata ili delova mašina. Postoje rezultati koji pokazuju bitan uticaj nanointerfejsa na trajnost i funkcionalnost alata, tako da se određen razvoj mašinstva može očekivati napretkom nauke u ovoj oblasti.

5. PROBLEM EDUKACIJE

Problem edukacije je veoma važan za dalji razvoj nanotehnologija, ali i za rešavanje niza problema vezanih za primenu nanoprodukata. Neke od nanotehnologija mogu biti veoma opasne po ljude i čovekovu sredinu tako da se edukacijom nadležnih mogu bitno sprečiti mogućnosti slučajnih nesreća, namernih terorističkih dejstava ili zloupotreba pojedinaca. Tehnologije povezane sa mašinstvom uglavnom su bezopasne, ali to nije slučaj sa nanogenetikom, nanohemijom, nanomedicinom, nanofarmakologijom itd.

U svetu se naglo razvijaju centri za nanotehnologije i postoje lak pristup ovim informacijama na internetu pa se neće iznositi detalji. Ključni problem za razvoj nanotehnologija nisu samo sredstva koja se ulažu već i ljudski potencijali. Zahvaljujući dobrim uslovima danas SAD raspolažu sa najboljim kadrovskim potencijalo, zatim Japan i td. Prema kineskim izvorima, u skoroj budućnosti će ljudski resursi omogućiti Kini da preuzme prioritet u nanotehnologijama.

U svetu se intenzivno prave planovi o vrstama školovanja kadrova, na nivou doktora nauka (novi doktoranti i prekvalifikacije postijećih), na nivou istraživača specijalista za pojedine nanodiscipline (razni kursevi i vorkšopovi), na nivou studenata (kroz diplomske radove i specijalizacije), i na nivou menadžera koji treba da impliciraju nanonaučne rezultate u privredu. Cifre ljudi koji treba da prođu ovu edukaciju se kreću i do 3 miliona nanoeksperata koje želi da stvori SAD do 2015 godine [22], ali isto toliko i Kina.

FTN – Institut za proizvodno mašinstvo je osnovao Centar za inženjerstvo površina i nanotehnologije – 2005 u decembru. Jedna od aktivnosti centra je širenje znanja o nanotehnologijama, privlačenje mladih za rad u ovoj oblasti. Na FTN – Departman za proizvodno mašinstvo, smer tehnologije u mašinstvu – je uveden kao redovan predmet studija – Nanotehnologije. Nije nam poznat podatak da su drugi fakulteti tehnike ili mašinstva uveli nanotehnologije u redovne studije. Naravno da na istom deparmanu postoje doktorske studije sa predmetima koji obuhvataju razne oblasti nanotehnologija. Veoma je bitna i saradnja sa Institutom Vinča, bez koje nebi bilo moguće realizovati istraživački rad.

6. KOJI SU PRAVCI RAZVOJA U SVETU I KOD NAS

Globalno tržište za nanotehnologije će porasti sa 12,7 milijardi \$ na 27 milijardi \$ u 2013 godini, a porast CAGR (Compound annual grow rate) će biti 16,3%

Nanomaterijali koji trenutno dominiraju sa 87% će do 2013 opasti na 69,2%. Veliki porast se očekuje u oblasti elektronike 30,3%, biomedicine 56,2% i razne potrošne robe 45,9% (CAGR).

Istraživanje sprovedeno od strane Ministarstva ekonomije, trgovine i industrije, Japan – objavljeno 2006 godine – pokazuje da će nanotehnologije proširiti obim plasmana na tržištu u proseku 9,3 puta za period 2030/2005 ali se posebno ističu oblasti materijala sa porastom od 17,5x i oblast kontrole i zaštite čovekove sredine 16x.

Na osnovu ovih podataka je potpuno jasno da će razvoj nanotehnologija biti od primarnog značaja za vodeće države sveta. Stoga sve države imaju jasne planove sa detaljnim rokovima, sredstvima i institucijama koje treba da realizuju državno utvrdjenu strategiju.

Kod nas nema dostupnih podataka o razvoju nanotehnologija. Postoje određeni projekti koji se rade u okviru saradnje sa evropom i to je prilika da bar uhvati određeni kontakt sa razvijenim svetom. Ministarstvo za nauku ima program za povraćaj naučnog kadra iz inostranstva ali iza toga ne stoje potrebna sredstva. Kod nas je procenat izdvajanja za nauku oko 0,3% dok je ciljni procenat

razvijenih zemalja oko 3%.



Slika 11. Puštanje u rad VEECO AFM uređaja.

Načinjen je pokušaj da se određeni centri snabdeju sa najnovijom opremom, tako da je jedan uređaj za nanomerenje stigao u Novi Sad, dok je drugi uređaj za nanotriboška ispitivanja dodeljen mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Na slici 12 je prikazan VEECO AFM uređaj koji ima potpuno kompjuterizovan pristup merenju, prikupljanju podataka i naknadnoj analizi rezultata,

Šta se trenutno istražuje u Novom Sadu. Naučni projekat je lociran na Institutu Vinča, gde se nalazi i veći deo opreme, a radi se na tri odvojene teme:

- Razvoj novih supertvrdih nanoprevlaka
- Razvoj nanointerfejsa za unapređenje prevlaka kod alata i mašinskih delova
- Razvoj postupaka nanomodifikacije sa gledišta primene u ultrapreciznom mašinstvu.

Cilj istraživanja na prvoj temi je da se dobije supertvrđi nanokompozit nc-TiN/Si₃N₄ sa Vickersovom tvrdoćom većom od 40 GPa, sa elastičnom obnovljivošću većom od 80%, što bi omogućilo respektibilnu industrijsku primenu ovog nanokompozita. Supertvrđi nanokompozit treba da ima posebnu veliku otpornost na habanje i to na visokim temperaturama. Učesnici na projektu:

- Leopold-Franzens University of Innsbruck, Austria
- Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic
- Comenius University Bratislava, Slovak Republic
- Tel Aviv University, Faculty of Engineering, Israel
- Jozef Stefan Institute, Slovenia

Istraživanja na drugoj temi baziraju na primeni Ion Beam Mixing za dobijanje nanointerfejsa u opsegu 15 do 50 nm, sa čime je postignuta izuzetna adhezija prevlake TiN na raznim tipovima čelika. Primenom IBAD depozicije i kontrolom Ion/Atom odnosa deponuje se tvrdi sloj sa tašno željenom strukturom [23,24]

Nanomodifikacije površine alatnih čelika su vršene uz pomoć ECR uređa i linije miniVinis u centru Nikola Tesla u Vinči. Testiranje nanomodifikovanih alata i merenje nanomorfoloških promena rađeno je na FTN – Departментu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu. Dobijeni rezultati su jasno pokazali bitne prednosti nanomodifikovanih alata [25, 26 i 27]

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazanih rezultata može se konstatovati da je oblast nanotehnologija od izuzetnog značaja za razvoj nauke i privrede i da je dovela do dramatičnih promena u mnogim oblastima.

Mašinstvo ima svoje mesto u razvoju nanotehnologija

iako nije na glavnom toku finansiranja i istraživanja, ali sigurno da može da da bitan doprinos. Nanotehnologije su izrazito interdisciplinarne te rezultati koje će dati mašinci mogu biti od bitnog interesa za razvoj mnogih drugih za čovečanstvo važnijih oblasti.

Rezultati nanotehnološkog razvoja će izazvati dramatične promene u oblasti proizvodnje aviona, automobila, mašina, alata i dr. Tako da se na vreme moraju uvesti promene u načinu razmišljanja pa i školovanja mašinskih inženjera.

Treba pažljivo pratiti razvoj nanotehnologija u EU i okruženju i probati uspostaviti saradnju, sa ciljem izmene ideja i iskustava, ali i sa ciljem korišćenja boljih istraživačkih mogućnosti i bolje opreme.

Treba više pažnje posvetiti edukaciji i treba napraviti određene planove na nivou Srbije. Centar za nanotehnologije u Novom Sadu želi da okupi sve zainteresovane u Srbiji, kako za definisanje edukativnog programa, tako i za saradnju u naučno istraživačkom radu.

8. LITERATURA

- [1] The National Nanotechnology Initiative, *Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry*, Supplement to the Presidents 2006 Budget, Mart 2005.
- [2] Schulte J., *Nanotechnology – global strategies, industry trends and applications*, Wiley 2005.
- [3] Lee J.W., Choi W., *Current status of nanotechnology in Korea and research into carbon nanotubes*, p.25 - 43, Nanotechnology Wiley 2005.
- [4] Poole C.P., Owens F.J., *Introduction to nanotechnology*, Wiley 2003.
- [5] Foster L.E., *Nanotechnology – Science, Innovation and opportunity*, Prentice Hall 2006.
- [6] Theodore L., Kunz R.G., *Nanotechnology – environmental implications and solutions*, Wiley, 2005.
- [7] Katti K., *The Hindu, India all set for nanotechnology revolution*, 11 jul 2008.
- [8] Bhushan B., *Springer Handbook of Nanotechnology*, Springer 2007.
- [9] Kelsall R., Hamley I., Geoghegan M., *Nanoscale science and technology*, Wiley 2005.
- [10] Taniguchi Norio, *Current status in, and future trends of ultraprecision machining and ultrafine materials processing*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 32(2), p. 573-582. 1983.
- [11] Yuan. J., Wang. Z., Wen D., Lu. B. I Dai Y., *Review of the current situation of ultra-precision machining*, Chinese Journal for Mechanical Engineering, V. 43, Issue 1, Pages 35-48, January 2007,
- [12] Ehmann K., Bourell D., Hodgson T., Kurfess T., Madou M., Rajurkar K., DeVor R., *Micromanufacturing*, Springer 2007.
- [13] Mahalik N.P., *Manufacturing and Nanotechnology*, Springer 2006.
- [14] www.nanopicoftoday.org, June 23, 2004.
- [15] Garcija-Santamarija F., et al.; *Nanorobotic manipulation of microspheres for on-chip diamond architectures*, Advanced Materials 14 (16), pp. 1144-1147, 2002.
- [16] Requicha A.A., *Nanorobots, NEMS, and nanoassembly*, Proceedings of the IEEE 91 (11), pp. 1922-1933, 2003
- [17] Cavalcanti A., et al.; *Nanorobot architecture for medical target identification*, Nanotechnology 19 (1), art. no. 015103, 2008.
- [18] Freitas, Robert A., *Current Status of Nanomedicine and Medical Nanorobotics*, Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, Volume 2, Number 1, pp. 1-25(25), March 2005

- [19] Alberti P., Mergny J.L., *DNA duplex-quadruplex exchange as the basis for a nanomolecular machine*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 100 (4), pp. 1569-1573, 2003
- [20] Nguyen T.D., et al.; *A reversible molecular valve*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102 (29), pp. 10029-10034, 2005.
- [21] *News Realise Digest*, Hitachi Research Laboratori, NRD 06-1110, 10.11. 2006.
- [22] Levašov E.A., i dr.; *Funkcionani nanostrukturni materijali i prevlake*, Seminar u Beogradu, 01.10.2007
- [23] B. Škorić, D. Kakaš, A. Miletić and G. Favaro, *Tribological performance of duplex coating with ion implantation after-treatment*, European Conference on Tribology – EUROTRIB 2007, Ljubljana, p.657-665, 2007.
- [24] B. Škorić, D. Kakaš, G. Favaro, N. Bibic, A. Miletić and M. Mitric, *Micro and Nano Characterization of Thin Hard Films Deposited by PVD and IBAD and Ion Implanted*, European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis (ECASIA), Brisel, 2007,
- [25] B. Škorić, D. Kakaš, G. Favaro and A. Miletić, *Characterization of thin hard films using micro and nano analysis*, 4th International Conference on Nanosciences and Nanotechnologies-NANOVED2007, Bratislava, p.22., 2007
- [26] B. Skoric, D. Kakas, G. Favaro and A. Miletić, *The Micro and Nano Characterization of Thin Hard Films*, International Conference on Functional Nanocoatings, Budapest, p.107., 2008
- [27] B. Skoric, D. Kakas, A. Miletić, G. Favaro, *The Nano Modification of Duplex Hard Coatings with Nitrogen Ion Implantation*, 5th European Topical Conference on Hard Coatings, Lisabon, p.140., 2008
- [28] B. Škorić, D. Kakaš, A. Miletić and G. Favaro, *Characterization of thin hard films using micro and nano analysis*, 10th European Vacuum Conference, Balaton, 2008.
- [29] Kakaš D., Škorić B., Miletić A., Kovačević L., *Nanointerface analysis of hard coatings deposited by IBAD*, Proceedings of Conference EMC 2008, Aachen september 2008,
- [30] B. Skoric, D. Kakas, M. Rakita, N. Bibic and D. Perusko, *Vacuum* **76**, p. 169., 2004
- [31] Kakaš D., Novakov T., Vilotić M., *Nanomodifikacije – u susret ultrapećnom mašinstvu*, Proc of 8th Intern. Conference – DEMI 2007, Banja Luka, p.15-20. 2007
- [32] Kakaš D., Novakov T., Vilotić M., Kovačević L., Bohne W., Gregory M., Nešković N., Dobrosavljev A., Helle W., *Nanomodification of forming tool surfaces by ion implantation*, Journal for Technology of Plasticity, 1-2, pp. 1-17. 2006
- [33] Kakaš D., Škorić B., Novakov T., Rakita M., Bohne W., Gregory M., Nešković N., Dobrosavljev A., *Nanomodification of steel surface by krypton*, Proc. 1th Intern. Workshop on Nanoscience & Nanotechnology, Belgrade, Serbia and Montenegro, November 15-18, pp.186-190. 2005

Autori: Prof. dr Kakaš Damir, Prof. dr Škorić Branko,
 Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka,
 Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja
 Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija,
 E-mail: kakasdam@uns.ac.yu

Baloš, S., Šidanin, L., Gerić, K.

UTICAJ MIKROTALASNOG ZRAČENJA NA SAVOJNU ČVRSTOĆU AUTOPOLIMERIZUJUĆEG PMMA BIOPOLIMERA

Rezime: Autopolimerizujući polimetilmetakrilat (PMMA-biopolimer) koristi se za reparature proteza, podlaganje proteza i dr. Ovaj materijal ima lošije mehaničke osobine u odnosu na PMMA-biopolimer namenjen za izradu baze proteze, što se u literaturi objašnjava većim udelom zaostalog monomera. Smanjenje količine zaostalog monomera se može postići naknadnim zagrevanjem u vodi ili mikrotalasnim zračenjem. Cilj rada je utvrđivanje efekta mikrotalasnog zračenja na savojnu čvrstoću autopolimerizujućeg PMMA Simgal-R. Efekat smanjenja zaostalog monomera, kao i pojava kristalnosti u strukturi ispitani su metodom diferencijalne skenirajuće kalorimetrije (DSC). Dokazano je da je povećanje savojne čvrstoće proporcionalno smanjenju zaostalog monomera i povećanju kristalnosti uzorka.

Ključne reči: autopolimerizujući PMMA, savojna čvrstoća, zaostali monomer, kristalnost

THE INFLUENCE OF MICROWAVE IRRADIATION ON FLEXURAL STRENGTH OF AUTOPOLYMERIZING PMMA BIOPOLYMER

Abstract: Autopolymerizing polymethylmethacrylate (PMMA biopolymer) is used for denture repair, relining, etc. This material possesses lower mechanical properties than PMMA-biopolymer used for denture basis, which is explained by higher residual monomer content. Decreasing off residual monomer content can be achieved by post heat treatment in water or by microwave irradiation. The scope of this paper is to determine the effect of microwave irradiation on flexural strength of autopolymerizing PMMA Simgal-R. Residual monomer content, as well as crystallinity were determined by differential scanning calorimetry (DSC). It has been shown that both lower residual monomer and crystallinity influence the increase in flexural strength.

Key words: autopolymerizing PMMA, flexural strength, residual monomer, crystallinity

1. UVOD

Polimetilmetakrilat (PMMA) biopolimer, pripada velikoj grupi akrilatnih polimera i namenjen je, između ostalog za izradu zubnih proteza. Postoje dve osnovne vrste PMMA: PMMA u obliku praha, koji se koristi za izradu baze proteze i polimerizuje se na povišenoj temperaturi i pritisku i autopolimerizujući dvokomponentni PMMA, koji se sastoji od praha i tečnosti [1]. Mešanjem ove dve komponente, dolazi do hemijske reakcije nakon koje dolazi do polimerizacije.

Autopolimerizujući PMMA se koristi za reparaturu oštećenih zubnih proteza, podlaganje u slučaju povlačenja desni, ortodontske aparate i dr. Međutim, u odnosu na jednokomponentni PMMA namenjen za izradu baze proteze, koji se polimerizuje na povišenoj temperaturi i pritisku, autopolimerizujući PMMA ima slabije mehaničke osobine. Prema podacima iz literature, razlog ovog fenomena je zbog udela zaostalog monomera [2-4]. Veći udeo zaostalog monomera kod dvokomponentnog PMMA se javlja usled nepotpunog mešanja praha i tečnosti. Potpuno mešanje je nemoguće, zbog gubitka viskoznosti, usled velike brzine reakcije polimerizacije. Zaostali monomer se u takvom materijalu ponaša kao šupljina, odnosno izaziva koncentraciju napona unutar materijala, snižavajući njegove mehaničke osobine u značajnoj meri. Pored toga, zaostali monomer može da izazove iritaciju, crvenilo i alergijsku reakciju sluzokože usne duplje.

Smanjenje zaostalog monomera se može postići naknadnim zagrevanjem, u vodi ili mikrotalasnim zračenjem. Zbog jednostavnosti, manjeg utroška energije i brzine odvijanja procesa, mikrotalasno zračenje se smatra

pogodnijom metodom [2-4].

U ovom radu, ispitivan je uticaj mikrotalasnog zračenja na savojnu čvrstoću autopolimerizujućeg PMMA biopolimera, kao dominantnu, odnosno najvažniju mehaničku osobinu za praktičnu primenu. Međutim, kako PMMA nakon polimerizacije ima amorfnu strukturu, potrebno je pored zaostalog monomera, proveriti postojanje i ispitati sadržaj i uticaj kristalne faze nastale nakon mikrotalasnog zračenja na mehaničke osobine. Iz tog razloga, korišćena je diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (DSC – Differential Scanning Calorimetry) kao standardna metoda koja obezbeđuje utvrđivanje relativnog sadržaja zaostalog monomera i kristalnosti [5].

2. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Materijal korišćen u eksperimentalnom istraživanju je komercijalni autopolimerizujući akrilat galenika Simgal-R, koji je najrasprostranjeniji materijal ove vrste na našem tržištu. Sastoji se od praha, sastava: polimer, benzoil peroksid i neorganski pigmenti, i tečnosti, sastava metilmetakrilat monomer i tercijarni amin. Mešanje praha i tečnosti izvršeno je u odnosu 2:1, prema preporukama proizvođača. Nakon mešanja, uzorci su odliveni u kalupu od elastomera. Potrebne dimenzije uzoraka i kvalitet površine postignuti su brušenjem SiC brusnim papirima različite granulacije, od 150, preko 400 do 1000. Dimenzije uzoraka za ispitivanje savojne čvrstoće su 6x2,5x50 mm. Za svako mernu tačku je korišćeno najmanje pet uzoraka. Prva merna tačka su bili netretirani uzorci, dok su ostali uzorci bili izloženi mikrotalasnom

zračenju. Svaka serija od pet uzoraka, postavljena je na obrtno sto mikrotalasne pećnice (Elin MW8020MG izlazne snage 800 W i frekvencije 2450 W) i izložena je zračenju sa sledećim parametrima: 150 W/15 min, 250 W/9 min, 350 W/6,5 min, 450 W/5 min i 550 W/4 min. U skladu sa tim, uzorci su označeni na sledeći način: 0 za netretirani uzorak, 150/15, 250/9, 350/7, 450/5 i 450/4. Parametri su tako odabrani, da se uzorci izlažu jednakoj energiji mikrotalasnog zračenja, od 135 KJ.

Savojna čvrstoća je ispitana na mehaničkoj kidalici Toyoseiki AT-L-118B, opremljenoj alatom za savijanje u tri tačke, sa rastojanjem oslonaca od 40 mm. Rezultati savojne čvrstoće su obrađeni metodom ANOVA (Analysis of Variance), sa vrednošću signifikantnosti od $P < 0,05$. Ukoliko je dobijena vrednost $P < 0,05$, razlika savojne čvrstoće tretiranog u odnosu na netretirani uzorak je signifikantna, odnosno značajna.

Diferencijalna skening kalorimetrija (DSC) je izvršena na uređaju TA Instruments Q200, sa opsegom ispitivanja 20 do 300 °C, brzinom zagrevanja 10 °C/min i osetljivošću 10 mV/cm. Udeo kristalne faze izračunat je pomoću izraza:

$$K = \frac{\Delta H}{\Delta H_{100\%}} \cdot 100 \%$$

gde je: K udeo kristalne faze [%],

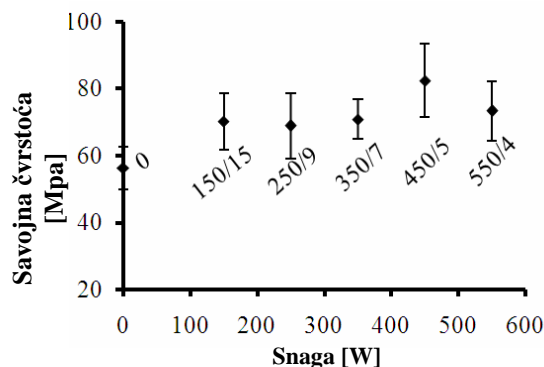
ΔH entalpija topljenja uzorka [Jg^{-1}],

$\Delta H_{100\%}$ entalpija topljenja teoretskog kristalnog PMMA

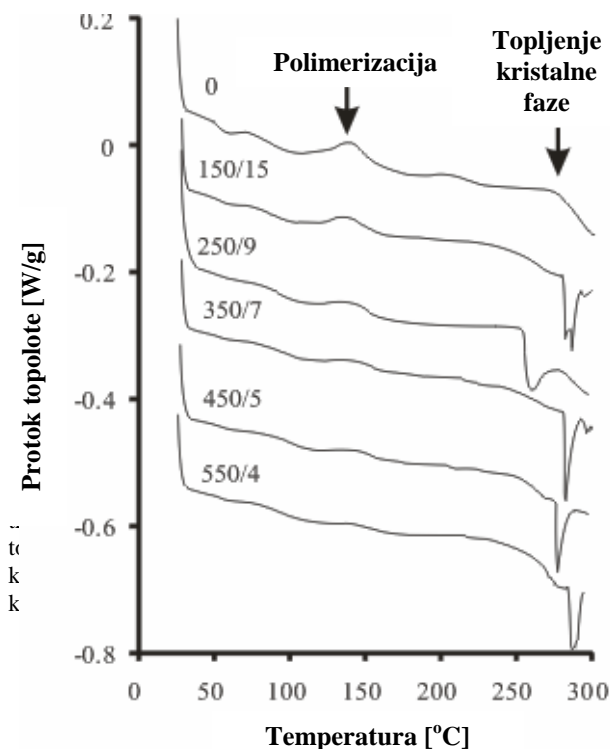
Prema literaturnim podacima entalpija topljenja teoretskog kristalnog PMMA iznosi 84 Jg^{-1} [6].

3. REZULTATI

Rezultati savojne čvrstoće, kao i rezultati statističke analize ANOVA prikazani su u tabeli 1. Zbog bolje preglednosti, dobijeni rezultati su prikazani i u obliku dijagrama, slika 1. Na osnovu ovih rezultata, može se zaključiti da je za sve uzorke povećanje savojne čvrstoće nakon mikrotalasnog tretmana signifikantno, tj. značajno, osim za 250/9. Međutim, povećanje savojne čvrstoće, uprkos jednakoj energiji zračenja, nije isto za sve korišćene parametre. Najveće povećanje dobija se za snagu zračenja 450 W u trajanju od 5 minuta i iznosi 46 %.



Slika 1. Savojna čvrstoća u zavisnosti od snage zračenja



Slika 2. DSC krive sa pikovima polimerizacije i topljenja kristalne faze

Tabela 1 Rezultati savojne čvrstoće, standardne devijacije i statističke analize

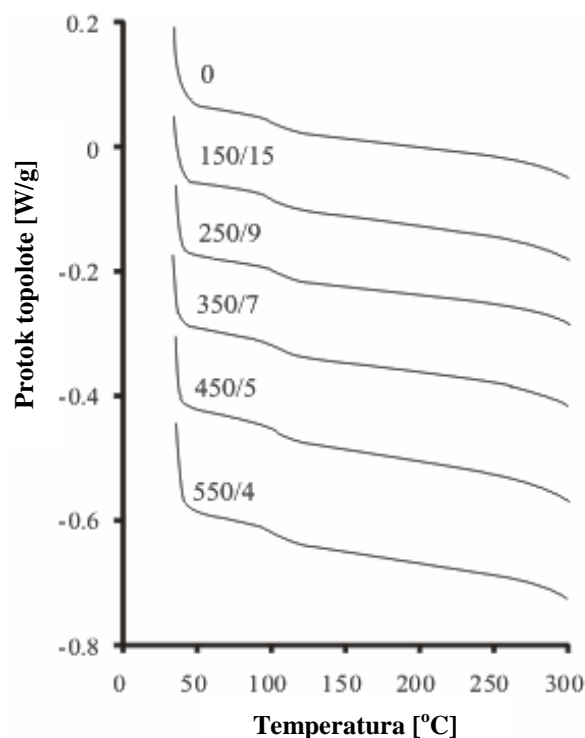
Uzorak	Srednja vrednost savojne čvrstoće [MPa]	Standardna devijacija [MPa]	Vrednost P
0	56.22	6.45	
150/15	70.22	8.40	0.0377
250/9	68.88	9.78	0.0852
350/7	70.84	5.91	0.0275
450/5	82.33	10.97	0.00763
550/5	73.29	8.95	0.0365

Rezultati diferencijalne skening kalorimetrije prikazani su sumarno na slici 2, gde se vidi pozitivan pik polimerizacije i na krivama koje prikazuju ponašanje tretiranih uzoraka, negativan pik topljenja kristalne faze.

Tabela 2

Uzorak	Entalpija polimerizacije [Jg^{-1}]	Entalpija topljenja [Jg^{-1}]	Udeo kristalne faze [%]
0	4.212	-	0
150/15	3.073	5.573	6.634
250/9	2.733	5.809	6.915
350/7	2.657	5.422	6.455
450/5	1.884	6.328	7.533
550/4	0.888	6.686	7.959

Na slici 3 prikazane su DSC krive dobijene na istim uzorcima kao i krive na slici 2, ali nakon hlađenja uzoraka. DSC krive drugog prolaza ne pokazuju nikakve pikove, tj. naknadne transformacije, čime je dokazano da su se u DSC uređaju tokom prvog prolaza (slika 2) odvijale sve transformacije i da je opseg temperatura ispitivanja dovoljan.



Slika 3. Drugi prolaz DSC analize. Dobijene krive su veoma slične, bez pozitivnih i negativnih pikova.

4. DISKUSIJA

Na osnovu dobijenih rezultata DSC analize, može se primetiti da se mikrotalasnim zračenjem pored smanjenja zaostalog monomera, što nedvosmisleno doprinosi povećanju savojne čvrstoće, pojavljuje i kristalna faza u strukturi PMMA. Kristalna faza se u polimerima javlja preraspodelom polimernih lanaca, koji na određenim mestima zauzimaju uređen oblik. Na taj način, nakon mikrotalasnog zračenja dolazi do promene strukture materijala, gde se čista amorfna struktura zamenjuje mešovitom amorfno - kristalnom strukturom. Kristalna faza, iako zauzima relativno mali ukupni zapreminski i maseni udeo, doprinosi mehaničkim osobinama PMMA biopolimera, mehanizmom preuzimanja dela opterećenja sa amorfne matrice. Po tome je ovako modifikovan PMMA vrlo sličan partikulitnim kompozitnim materijalima ojačanim keramičkim česticama. Posebna pogodnost mikrotalasnog tretmana PMMA biopolimera u odnosu na dobijanje partikulitnog kompozitnog materijala sa keramičkim česticama na bazi PMMA je neuporedivo jednostavniji i jeftiniji postupak.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu dobijenih rezultata savojne čvrstoće i DSC analize, može se zaključiti da se mikrotalasnim tretmanom autopolimerizujućeg PMMA može postići:

- povećanje savojne čvrstoće i do 46 %, gde ključnu ulogu imaju snaga i trajanje zračenja. Veće procentualno povećanje se dobija u slučaju korišćenja veće snage zračenja.
- mehanizam povećanja savojne čvrstoće tesno je povezan ne samo sa smanjenjem zaostalog monomera, već i pojave kristalne faze
- naknadni mikrotalasni tretman predstavlja vrlo brz, jednostavan, jeftin i dostupan način poboljšanja mehaničkih osobina autopolimerizujućeg PMMA biopolimera.

6. LITERATURA

- [1] Jerolimov V., Osnove stomatoloških materijala, Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2005.
- [2] Blagojevic V, Murphy VM. Microwave polymerization of denture base materials. A comparative study. J Oral Rehabil, 1999; 26:804-808.
- [3] Vergani CE, Seiko Seo R, Pavarina AC, dos Santos Nunes Reis JM. Flexural strength of autopolymerizing denture relines resins with microwave postpolymerization treatment. J Prost Dent, 2005; 93:577-583.
- [4] Vanessa M. Urban, Ana L. Machado, Regina V. Oliveira, Carlos E. Vergani, Ana C. Pavarina and Quezia B. Cass. Residual monomer of relines acrylic resins: Effect of water-bath and microwave post-polymerization treatments, Dent Mater, 2007; 23:363-368
- [5] Z. Petrović, Praktikum iz fizičke hemije molekula, Tehnološki fakultet u Novom Sadu, Novi Sad, 1992.
- [6] Привалко ВП. Справочник по физической химии полимеров 2 – Свойства полимеров в блочном состоянии, Академия наук украинской ССР, Институт химии высокомолекулярных соединений, Киев наукова думка, Киев, 1984, СССР

Autori: Sebastian Baloš, asistent-pripravnik, Prof. dr Leposava Šidanin, Prof. dr Katarina Gerić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: sebab@uns.ns.ac.yu
lepas@uns.ns.ac.yu
gerick@uns.ns.ac.yu

Budai, Z., Nádházi, L., Tiba, Zs.

STRUCTURAL TEST OF ADHESIVE BONDING APPLIED IN FIXING FLAT CABLE

Abstract: The components tested are installed into surveillance cameras applied all over the world, so they have to work reliably under extreme operating condition. The aim of the test is to ascertain whether the adhesive of Loctite 4860 can applied comply with the requirements.

Key words: adhesive bonding, loctite 4860

1. INTRODUCTION

The ferrite loop bonded on the flat cable has an interference filter function (Figure 1). Due to fixing of the loop to the camera, the position of the cable bonded in the loop is given. The applied adhesive as in general in industrial application is reactive polymers. It changes from liquids to solids through various chemical polymerization reactions.

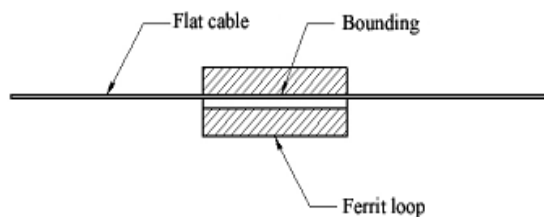


Fig. 1.a Flat cable bonded in the Ferrite loop

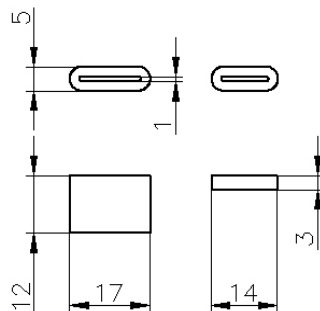


Fig. 1.b Measure of the Ferrite loop

2. OBJECTIVE

The equipment can be seen on the figure works similarly as a tensile-strength tester, but the tensile force can be developed with the application of threaded fastener actuating by manpower (Figure 2). The test specimen is subjected to tensile load until the fracture occurs. The elongation of the test specimen is measured by the inductive displacement transducer, the force acting on the test specimen is measured by force transducer fitted on the holder. Recording of data are made by a Hottinger amplifier, and the evaluation of the measuring results are carried out made by the Catman 5.0 evaluating program.

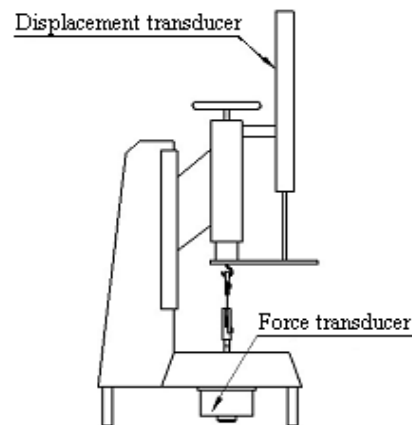


Fig. 2. The gauge containing the holder and the measuring elements



Fig. 3. The clamping of the Flat cable bonded in the ferrite loop for the tensile test

Due to the connecting surface of the flat cable and the ferrite loop, the loads acting on a bonded joint will result in various types of stresses. In this single overlapping joint, because of the eccentric forces, not only shear stress is arising, but tensile stress as well [2]. The eccentric force exerts bending moment inducing additional tensile stress, especially at the end of the bond.

To increase the strength of the bonding there are two possibilities:

- Increasing of the joint width. We increased it up to the width of the flat cable.
- Increasing of the joint length. It does not simply mean

increase the joint length as much as possible, because the failure load does not increase proportionally with the joint length or bond area. It is because the joint starts to break at the stress peak at the end of the overlap where the adhesion strength of the adhesive is exceeded. We applied the joint length of 12 mm as the optimum of the joint overlap.

Pre-treatment of surfaces to be bonded [1]

Correct surface pre-treatment is necessary for optimum bonding. Adhesion is improved by

- removing unwanted surface films by degreasing. The complete removal of oil, grease, dust and other residual dirt from the bond surface is required for the best possible adhesive joint. Solvents that evaporate without residues are suitable for this.
- building up a new active surface by coating with Loctite 7458 primers

Feeding of the adhesive happens with a hand when the ferrite loop and the cable get into a suitable position. The adhesive gets between the surfaces of the cable and the loop as a result of a capillary effect, and after that the cross-linkage comes into existence.

3. APPLIED EQUIPMENTS

Work piece:	OMO- H AWM 2896 80C type ferrite loop
Gauge:	Hottinger DMC 9012 A
Force transducer:	MOM ETP 7923
Displacement transducer:	MKD IWT 402
Thermometer:	RAINER ST laser sensor (-32°C ... 500°C)
Cooler:	household refrigerator (-35 °C) FREEZE IT 20 type spray for cooling the holder

4. METHOD OF MEASUREMENT

In the case of a measurement on the room temperature the test specimen was clamped in the equipment (Figure 3). The tensile test started after setting the initial state of the system. The temperature was checked with the laser thermometer before a measurement. To the cold measurement the test specimen was cooled down to -35 °C. After cooling the holder with application of the freezing spray, the test specimen was taken in. Before starting the test, the temperature of the all equipment was checked. If it was above -30 °C, it had to be cooled down to the appropriate temperature. The temperature measured immediately after the occurrence of the tear was taken as an authoritative temperature and it was documented in the test log. Some of the measurement record can be seen in the following figures (Figure 4-Figure 6).

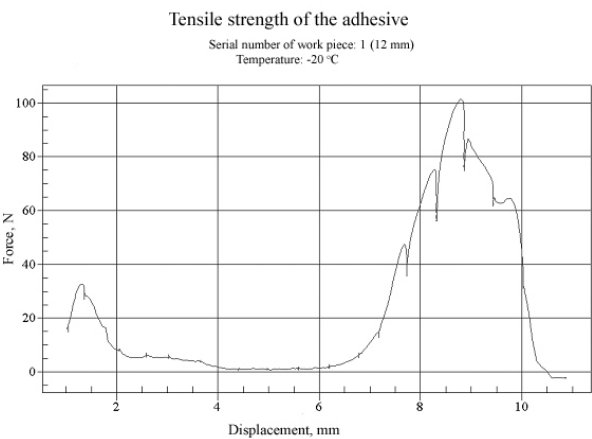


Fig. 4. Measuring result at -20 °C

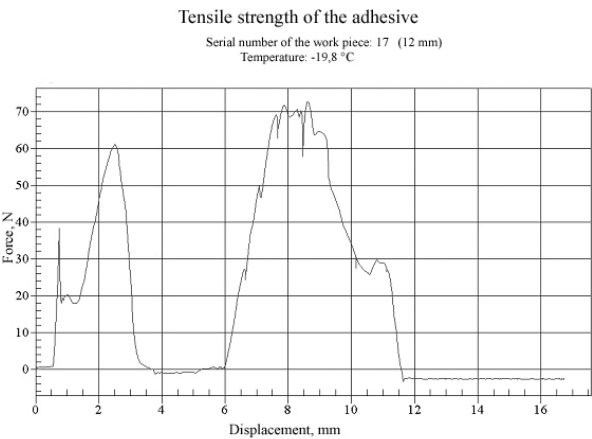


Fig. 5. Measuring result at -20 °C

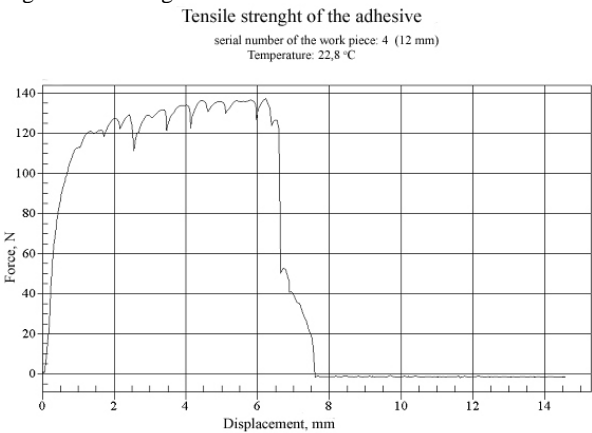


Fig. 6. Measuring result at +23 °C

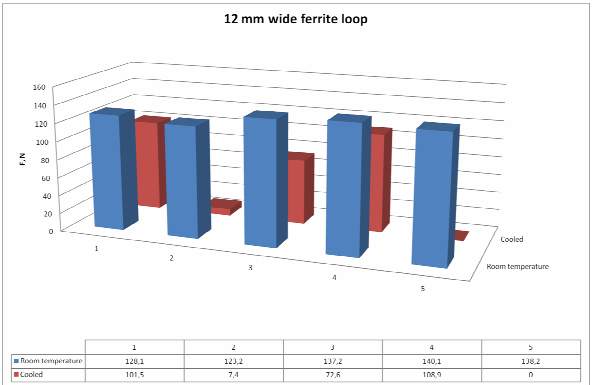


Fig. 7. Aggregate chart of measurement results of 12 mm wide bond

5. RESULT

The results of the tensile test show, the strength of bonding does not depends significantly on the temperature (Figure 7). The bonding did not get injured in the great majority of the cases, but the cable tore after a critical strain of the wire and the insulating. Those cases, at which the adhesive between the loop and the cable comes unstuck, the additional tests indicated that the volume of the adhesive was not enough between the two surfaces. These problems are avoidable with the development of the technology. Consequently, the adhesive of Loctite 4860 satisfy the requirements.

6. REFERENCES

- [1] Loctite: *Worldwide Design Handbook* 2nd Edition
- [2] SZABÓ I. – KÁTAI L. – MOLNÁR L.: *Átlapolt ragasztott kötések vizsgálata*
In: Gép, LV. ed., 2004. 3. vol., p.17-19.

Authors: Zoltán Budai, László Nádházi, Zsolt Tiba
Faculty of Engineering, University of Debrecen, H-4028
Debrecen, Ótemető u. 2-4., Phone: +36 52 415-155/77772,
Fax: +36 52 415-155/77713
E-mail: budai@mfk.unideb.hu,
nadhazi@mfk.unideb.hu,
tiba@mfk.unideb.hu

Čukić, R., Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N.

TEHNO-EKONOMSKA OPRAVDANOST REPARATURNOG I PROIZVODNOG NAVARIVANJA DELOVA VELIKE MASE

Rezime: U ovom radu se razmatra tehnno-ekonomska opravdanost i isplativost primene reparaturnog i proizvodnog zavarivanja i navarivanja na nekim odgovornim delovima tehničkih sistema velike mase i složene geometrije, kao što su batovi kovačkih čekića, veliki zupčanici ekscentar presa i udarne grede rotacionih drobilica. Budući da su ovi delovi izloženi teškim radnim uslovima, najčešće se izrađuju od čelika i livenog gvožđa, odnosno skupih i zakaljivih materijala. Zato je neophodno propisati posebnu tehnologiju reparature, koja se najčešće proverava prethodnim modelskim ispitivanjima i konačno verifikuje u stvarnim radnim uslovima. Analizom dobijenih rezultata, bira se najpovoljnija tehnologija reparature i ona prenosi na realne delove. Ekonomski aspekt primene ovih novih naprednih tehnologija reparature je očigledan i ogleda se u velikim uštedama u odnosu na cenu novih delova. Pokazalo se da nema boljeg načina da se neka nova tehnologija prihvati nego što je merljiv tehnno-ekonomski rezultat, koji će između ostalog biti potvrđen i uspešnim navarivanjem ovih veoma odgovornih i skupih delova tehničkih sistema složene geometrije i velike mase.

Cljučne reči: reparatura, navarivanje, tehnologija, tehnno-ekonomska analiza.

TECHNO-ECONOMICAL JUSTIFICATION OF REPARATION AND PRODUCTION HARD FACING ON MASSIVE PARTS

Abstract: In this paper it is considered techno-economical justification of application of reparation and production welding and hard facing of some reliable massive parts of technical systems, with complex geometry, such as bats of stamp tools, heavy gears of either eccentric presses or impact beams of grinding machinery. Since these parts are exposed to hard operating environments, these are often made of steel or cast iron, that is made of expensive and temperable materials. Consequently it is necessary to prescribe special repair technology, which is usually stipulated by prior model testing and justified in real operating environment. Testing results indicate the most suitable repairing technology to be applied to real parts. Economical effect of application of these new advanced repair technologies obvious and lead to big saving in comparison to prices of new parts. It is shown that the best way to imply some new technology to expose obvious techno economical result, which may be justified with successful hard facing of these reliable expensive massive parts of technical systems with complex geometry.

Key words: reparation, hard facing, technology, techno-economical analysis.

1. UVOD

U radu se ukazuje na brojne prednosti primene reparaturnih tehnologija umesto kupovine novih delova. Sistematskim istraživanjima u laboratorijskim i realnim radnim uslovima, mogu se razviti nove tehnologije navarivanja visokohabajućih delova čime se postižu višestruke koristi: preduzeće dobija pouzdanu tehnologiju pomoću koje će da smanji troškove i vreme zastoja radnog procesa zbog nabavke novih delova, smanjuje se rizik, što dalje podiže nivo opšte ekonomije i konkurentnost privrede. Pored direktne koristi za firme koje podržavaju uvođenje ovih novih-proizvodnih tehnologija, ne manje su važni i indirektni efekti, zbog pozitivnog primera koje će slediti i druge iste ili slične firme.

U radu se, na primeru udarne grede rotacione drobilice, analizira i modifikovana *cost-benefit* metoda [2, 3, 5]. Pokazuje se da primena naprednih tehnologija reparaturnog i proizvodnog navarivanja, pored direktnih ekonomskih koristi, ima i očigledne šire ekonomske efekte. U ovom slučaju upoređuju se postojeće i nove tehnologije regeneracije, nabavka i izrada novog dela, prema godišnjem obimu proizvodnje. Eksperimentalna istraživanja na ovom delu sprovedena su u radnim uslovima jednog našeg građevinskog preduzeća-preduzeće korisnik.

Pri tehnno-ekonomskoj analizi druga dva analizirana oštećena mašinska dela (bat kovačkog čekića i zupčanik

ekscentar prese) jasno je dokazana opravdanost i isplativost primene reparaturnog zavarivanja i navarivanja.

2. ZNAČAJ REPARATURNOG ZAVARIVANJA

Osnovni cilj ovog rada jeste da se našim industrijskim preduzećima, na izloženim primerima, ukaže da je uglavnom tehnno-ekonomski opravdano reparirati delove navarivanjem. Primenom reparaturnog zavarivanja pohabanih i polomljenih delova mašina i alata ostvaruju se brojne prednosti u odnosu na kupovinu novih delova (ostvaruju se velike uštede u materijalu i novcu, smanjuje se veliko magacinsko opterećenje nepotrebnim i suvišnim rezervnim delovima, smanjuju se veliki izdaci za nabavku rezervnih delova, skraćuje se vreme zastoja u proizvodnji zbog nabavke deficitarnog i skupog dela, radni vek repariranog dela po pravilu nadmašuje radni vek novog dela, troškovi reparature su višestruko niži u odnosu na troškove nabavke novog dela, moguća je i primena preventivnog navarivanja u održavanju, znatno se smanjuju ili potpuno eliminišu zastoji u proizvodnji i tsl.) [1, 2, 3, 4, 10].

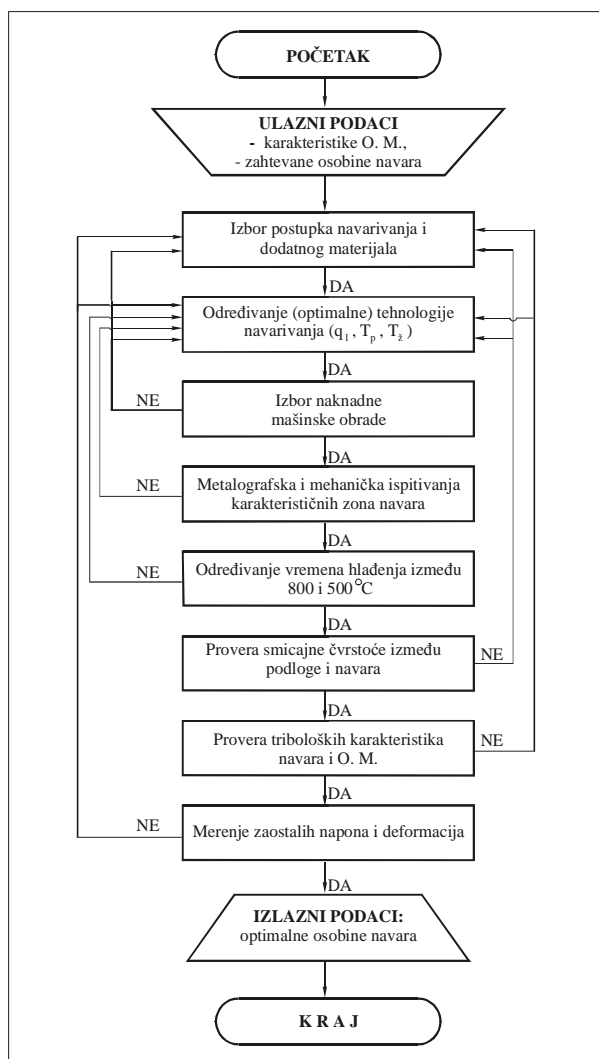
Efekti regeneracije biće veći ako se na bazi detaljnih istraživanja, proces modelira i organizuju radionice u posebno opremljenim istraživačkim centrima i proizvodnim preduzećima. Pokazalo se da rdave rezultate postižu firme koje silom prilika i na brzinu pristupaju regeneraciji. One po pravilu ne raspolažu adekvatnom opremom i pogotovo

stručnim kadrom, što znači da reparaturu nekih odgovornih i unikatnih delova mogu uspešno i pouzdano izvesti samo specijalizovane radionice na nekim institutima i fakultetima.

Značaj predložene inovacione tehnologije reparaturnog zavarivanja može se sagledati i preko karakteristika tržišta-nabavke: uvoznici i zastupnici proizvođača gotovih delova formiraju cene koje su opterećene carinama i transportnim troškovima. Osim toga, neki od kritičnih delova izrađuju se kao primarni železarski proizvodi, uglavnom rađeni po porudžbini, što dodatno povećava troškove i produžava rok isporuke.

3. PROCEDURA IZBORA NAJPVOLJNIJE TEHNOLOGIJE REPARATURE

Izbor najpovoljnije tehnologije reparature sastoji se iz većeg broja složenih faza i eksperimentalni deo najčešće se odvija prema uprošćenom algoritmu datom na slici 1 [1, 10].



Slika 1. Algoritam eksperimentalnih istraživanja pri reparaturnom navarivanju [10]

Pri ispitivanju stanja pohabanih delova treba najpre utvrditi:

- da li je habanje nastupilo normalnom eksploatacijom ili zbog mehaničkog oštećenja,
- koliki je stepen habanja koji je presudan za odluku da li je racionalno primeniti regeneraciju ili pak deo odbaciti i
- proceniti veličinu očekivane deformacije i zaostalih napona.

Osim toga, dalje uzimamo u obzir bezbedonosne razloge

koji se odnose na reparaturu veoma odgovornih delova motornih vozila (npr. upravljački i kočioni sistem), dizalica i tsl. koje po pravilu ne treba navarivati jer cena reparature prevazilazi cenu novog dela (zbog skupe kontrole).

Pošto smo utvrdili stepen i karakter habanja, poznavajući osnovni materijal (O.M.) regenerisanog dela i uslove rada dolazimo do pretpostavki kako se odvija tehnološki proces.

Na osnovu gornjih podataka i detaljne tehno-ekonomske analize biramo metode regeneracije, uzimajući u obzir i lokalne mogućnosti preduzeća. Rukovodimo se pre svega zahtevom da se dobiju tražene osobine regenerisanog elementa (tvrdoća, mikrostruktura, žilavost, mogućnost završne obrade i dr).

Posle toga moguće je izabrati dodatni materijal za navarivanje. U nekim slučajevima reparature radnih delova potrebno je primeniti dve ili više vrste dodatnog materijala zbog nanošenja posrednog sloja između navara i podloge. Time se ublažuju velike razlike u termo-fizičkim osobinama podloge i prevlake.

Dalje sledi izbor procesnih parametara regeneracije, prema veličini regenerisanog dela, osobinama osnovnog i dodatnog metala i eksploatacionim zahtevima.

Završna faza planiranja pre opita navarivanja jeste ocena o neophodnosti primene posebnih mera, kao npr. pregrevanja ili zagrevanja u toku procesa ili pak naknadne termičke obrade.

Za verifikaciju predloženih tehnologija, izvode se uporedna ispitivanja u laboratorijskim i radnim uslovima, a u nekim slučajevima i uporedna ispitivanja nenavarenih-uvoznih i novih-navarenih delova. Laboratorijske probe se odnose na mikrostrukturu, raspodelu tvrdoće i tribološke testove, a radna ispitivanja na određivanju veka trajanja tako repariranih delova.

Ovde se detaljnije bavimo samo tehno-ekonomskom analizom reparaturnog zavarivanja i navarivanja delova građevinske mehanizacije i opreme za kovanje i presovanje, ali se sličan model može upotrebiti i pri reparaturi i razvoju optimalnih tehnologija regeneracije delova motornih vozila, šinskih vozila, poljoprivredne mehanizacije i dr.

4. PRIMERI IZVEDENIH REPARATURA

Ovde se razmatra opravdanost primene reparaturnog navarivanja i ukazuje na isplativost reparature delova velike mase i složenog oblika. Reč je o reparaturnom zavarivanju i navarivanju oštećenih i naprslih batova kovačkih čekića (sl. 2), velikih zupčanika ekscentar presa (sl. 3) i udarnih greda rotacionih drobilica (sl. 4) [1, 6, 7, 8].

Ovaj rad se prvenstveno bavi analizom ekonomskih prednosti primene tehnologija navarivanja, dok je kompletan tehnološki postupak utvrđivanja najpovoljnije tehnologije reparature svakog konkretnog dela prikazan u nekim našim već objavljenim radovima [6, 7, 8, 9].

4.1 Reparatura naprslog bata kovačkog čekića

Kao što je spomenuto, kompletna tehnologija regeneracije oštećenih batova kovačkih čekića (mase oko 6000 kg) prikazana je u nekim našim ranijim radovima [6, 7, 8], a ovde ćemo se osvrnuti samo na ekonomske pokazatelje regeneracije bata kovačkog čekića.



Slika 2. Izgled regenerisanog bata kovačkog čekića

Relevantni su za upoređivanje sledeći podaci:

A. Cena nabavke novog dela, prema najpovoljnijoj ponudi, iznosi oko: 83987 € (ova cena uključuje: cenu novog dela, porez, carine i troškove špediterskih usluga i transporta);

B. Ukupni troškovi reparature: 4912 €

- Identifikacija i otkrivanje oštećenja: 240 €;
- Mašinska obrada oštećenih površina: 960 €;
- Određivanje tehnologije reparature: 768 €;
- Modelska ispitivanja 384 €;
- Navarivanje realnog radnog dela: 1600 €;
- Troškovi mašinske obrade navara: 960 €.

Na osnovu navedenih podataka možemo zaključiti da su ukupni troškovi reparature višestruko niži od cene novog dela (manji od 6%). Prema tome, analiza "kupiti" ili "reparirati" očigledno je rešena i bez detaljnije analize dodatnih pozitivnih efekata koja regeneracija bata omogućuje [2, 7]. Regenerisani bat je neprekidno u proizvodnom procesu od februara 2002.

4.2 Reparatura velikih zupčanika – ozubljena glavčina ekscentar prese

Tehno-ekonomska analiza reparaturnog zavarivanja i navarivanja oštećenih zuba ozubljene glavčine spojnice mase oko 500 kg (sl. 3) izvodi se pošto je reparatura već izvedena jer je u pitanju unikatan deo koji se nije mogao lako nabaviti na tržištu [2, 7].



Slika 3. Izgled ozubljene glavčine spojnice

Urađena je komparativna analiza posle četvorogodišnjeg uspešnog rada reparirane ozubljene glavčine spojnice.

Kao relevantni podaci za upoređivanje uzimaju se:

A. Cena nabavke novog dela: 26500 € (ova cena uključuje: cenu novog dela, troškove poreza, carine, špediterskih usluga i transporta);

B. Ukupni troškovi reparature: 3380 €

- Identifikacija oštećenja: 80 €;
- Mašinska obrada oštećenih površina: 192 €;
- Izbor tehnologije reparature: 120 €;
- Modelska ispitivanja: 288 €;
- Navarivanje realnog dela: 800 €;
- Troškovi proizvodnih usluga: 1900 €.

Na osnovu navedenih podataka možemo zaključiti da su ukupni troškovi reparature znatno niži od troškova nabavke novog dela (manji od 13%) [2].

U ekonomskoj analizi "kupiti" ili "reparirati", na primeru ova dva napred analizirana dela, nije urađena detaljna procena celovitih efekata koju je moguće izvesti pomoću *benefit-cost* (BC) analize, koja bi dala preciznije i jasnije prednosti primene ove napredne tehnologije [2, 3, 5].

4.3 Regeneracija udarnih greda rotacionih drobilica

Udarne grede (sl. 4) služe da svojom mehaničkom energijom razbijaju i usitnjavaju kameni agregat za nasipanje puteva. Na rotor drobilice montiraju se četiri grede (rade oko 12 sati/dan). Imaju dve radne površine što omogućuje da se posle habanja jedne radne površine, okretanjem grede, iskoristi i druga radna površina, čime se produžava njihov radni vek. Masa jedne udarne grede je oko 300 kg, dok je masa segmenta obloge rotacione drobilice oko 30 kg. Reč je o delovima izrađenim od skupog austenitnog manganskog čelika [1, 8, 11].



Slika 4. Izgled udarnih greda

Najveći problem pri drobljenju kamena je veoma kratak vek udarnih greda. Praćenjem procesa proizvodnje kamenih agregata došlo se do podataka da je radni vek novih udarnih greda pri drobljenju kamena oko 140 radnih sati uz korišćenje obe radne površine. Tada, usled intenzivnog procesa udarnog abrazivnog habanja dolazi do gubitka materijala oko 10% od ukupne mase udarnih greda. To znači da kad gubitak mase materijala dostigne maksimalno 30 kg po gredi, treba zameniti sve četiri grede u kompletu. U dosadašnjem radu drobilica oštećene grede su odbacivane kao otpadni materijal.

Nabavna cena, prema najnovijim podacima preduzeća korisnika, sa svim pratećim troškovima za jednu udarnu gredu je oko 2000 €, što znači da je za jednu kompletnu zamenu potrebno 8000 €. U toku jedne godine mora se izvesti najmanje šesnaest zamena kompleta udarnih greda, pa je za nabavku 64 komada potrebno obezbediti 128000 €.

Analizom troškova dodatnog materijala, zavarivačkih i drugih radova, došlo se do podataka da su troškovi reparaturnog navarivanja jedne udarne grede manji od 25% cene jedne nove grede [2, 3]. Posle neprekidnog rada novih udarnih greda od 72 h dolazi do tolikog oštećenja da više nije moguće nastaviti proizvodni proces, već se mora obaviti njihovo okretanje da bi se iskoristila druga radna površina. Rezultati izmerenih gubitaka materijala navarenih i nenavarenih udarnih greda su dobijeni praćenjem proizvodnog procesa za

vreme od 60 radnih sati dati su u radovima [1, 2, 3, 8].

Za ekonomsku analizu potrebno je odrediti očekivani radni vek navarenih greda. Prema našim dosadašnjim istraživanjima, pri izboru najpovoljnijeg dodatnog materijala (E Mn17Cr13) i eksploatacionog parametra "gubitak mase", procenjeni radni vek udarnih greda iznosi $T_{rg} = 356.8$ h [3, 11].

Sveobuhvatna istraživanja (modelska i eksperimentalna) pokazala su da je verovatnoća radnog veka reparirane udarne

grede $p_{ug} = 0.76$.

Prema tome prosečni očekivani vek eksploatacije udarne grede $T_{eg} = 271.2$ h.

Uporedna benefit-cost analiza [5] može se izvršiti za 3 od ukupno 16 zamena pri čemu se ne uzimaju u obzir troškovi koji se ponavljaju u jednoj i u drugoj varijanti, a očekivani vek eksploatacije navarene udarne grede je približno duplo veći od nove nenavarene grede (tab. 1).

Tablica 2. Uporedna analiza troškova zamene

Troškovi	Nove udarne grede	Navarene udarne grede
Cena kompleta, €	$3 \times 4 \times 2000 = 24000$	$1 \times 4 \times 2000 = 8000$
Troškovi navarivanja, €	-	$2 \times 4 \times 500 = 4000$
Likvidacioni ostatak, €	$-(2 \times 1080 \times 0.875) = -1890$	-
UKUPNO, €	22110	12000

* Zbog posledica proizašlih iz kvalitativne analize obračunske cene uzimaju se prema odgovarajućoj proceni koja se razlikuje od tržišne, što je karakteristika benefit-cost analize.

Kriterijum sadašnje neto koristi dat je izrazom: $K_{ns} = n \times (K_s - T_s)$, gde su:

K_{ns} - kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi za godinu dana,

K_s - ukupno diskontovana korist,

T_s - ukupno diskontovani troškovi, pri čemu je diskontni faktor $r = 1$ (za godinu dana) i

n - ukupan broj ciklusa u toku jedne godine.

$K_{ns} = 6 \times (22110 - 12000) = 10110$ €.

U kvalitativnoj analizi treba proceniti neto korist koja proističe iz sledećih troškova:

a) *Nepredviđeni troškovi* - U realnim uslovima postoji mogućnost pojave nepredviđenih troškova pa je potrebno istražiti na koji način će oni biti tretirani sa stanovišta diskontovanih troškova. Oni su ovde obuhvaćeni analizom očekivanog radnog veka eksploatacije udarne grede pri čemu je uzeto da je verovatnoća p_{ug} minimalne vrednosti.

b) *Interni efekti* - Tehnologija navarivanja udarne grede povećava produktivnost rada drobilice, zato što će se pogodnom zamenom kompleta bitno skratiti vreme zastoja u proizvodnji (skraćeno vreme zamene i manji broj zamena kompleta greda), poboljšano je planiranje, smanjene su zalihe, potreba za manjim magacinskim prostorom i smanjeno angažovanje radne snage.

c) *Eksterni efekti* - Postupak navarivanja dovodi do povećanih zahteva u pogledu radne snage i boljeg korišćenja kapaciteta što je značajno u situaciji povećanog viška kapaciteta u tranzicionim ekonomijama. Takođe, povećava se kvalitet prerađene primarne sirovine za ugradnju u saobraćajnice.

d) *Multiplikacioni efekti* - Posle uspešne primene tehnologije navarivanja u ovoj oblasti moguće je formirati bazu znanja i koristiti je u održavanju delova i u drugim oblastima (rudarstvo, poljoprivreda, vodoprivreda i dr.).

Međutim, navedene neto koristi (a-d) nisu procenjene, već su samo navedene kao očigledne prednosti bez kvantitativnih efekata.

5. ZAKLJUČAK

Sa stanovišta tehno-ekonomske analize, tehnologija reparaturnog zavarivanja jeste kompleksan skup različitih vrsta obaveznih procedura, koje se moraju sprovesti, da bi reparatura bila uspešna.

Pravilnim izborom i primenom tehnologije reparaturnog

navarivanja postižu se brojne prednosti u odnosu na ugradnju novih delova. Tu se pre svega misli na produženje radnog veka analiziranih delova, povećanje produktivnosti, skraćanje vremena zastoja, smanjivanje troškova zaliha i ostale koristi proistekle primenom zavarivačkih tehnologija. Pravilan izbor tehnologije navarivanja povezan je sa složenom procedurom provere kvaliteta navara, što ukazuje na to da se reparaturni radovi mogu izvoditi samo u specijalizovanim radionicama za regeneraciju, koje raspolažu adekvatnom opremom i odgovarajućim stručnim kadrom. Očekivana neto korist za analizirane delove je izrazito visoka, bez obzira na to što kod svih primera nisu uzeti u obzir dodatni eksterni i interni efekti.

6. LITERATURA

- [1] Mutavdžić, M.: *Reparaturno navarivanje delova mašina i uređaja građevinske mehanizacije*, radna verzija magistarske teze u rukopisu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2006., Kragujevac.
- [2] Čukić, R., Lazić, V., Jovanović, M., Mutavdžić, M., Rakić, S.: *Tehno-ekonomska opravdanost reparaturnog zavarivanja i navarivanja različitih delova tehničkih sistema*, XII Naučno-stručna Konferencije o Železnici sa međunarodnim učešćem - ŽELKON '06, Niš, Zbornik radova, str. 325-328.
- [3] Čukić, R., Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N.: *Tehno-ekonomski efekti reparaturnog i proizvodnog navarivanja delova građevinske mehanizacije*, "Zavarivanje 2006", 2006., Zlatibor.
- [4] Wasserman, R.: *Kako se štede milioni reparaturnim zavarivanjem u mašinskom održavanju*, Castolin Eutectic, Institut za unapređenje tehnike reparaturnog zavarivanja i tehnike zavarivanja u mašinskom održavanju, Bor, 2003.
- [5] Smith, L. J., Keith, M. R., Stephens, W. S.: *Accounting Principles*, New York, Mc Graw – Hill.
- [6] Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Josifović, D., Ratković, N.: *Development and application of welding technologies for regeneration of damaged working parts of forging presses and hammers*, Welding and Joining Technologies for a Sustainable Development and Environment, 2006., Timisoara, Romania, pp. 341-346.
- [7] Lazić, V., Jovanović, M., Adamović, D., Ratković, N.,

- [8] Nedeljković, B.: *Reparaturno navarivanje oštećenih zuba glavčine kovačke prese, Održavanje u funkciji zaštite životne sredine*, "KOD 2005", Bar.
- [9] Mutavdžić, M., Lazić, V., Jovanović, M., Josifović, D., Krstić, B.: *Izbor optimalne tehnologije reparaturnog navarivanja udarnih greda rotacionih drobilica, Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, Originalni naučni rad, godina LII, Vol. 52, No. 2/2007, str. 55-67.
- [10] Mutavdžić, M., Čukić, R., Jovanović, M., Milosavljević, D., Lazić, V.: *Model investigations of the filler materials for regeneration of the damaged parts of the construction mechanisation*, Tribology in Industry, Journal of Serbian Tribology Society, 3&4/2008.
- [11] Lazić, V.: *Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2001., Kragujevac.
- [12] Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N., Adamović, D., Vulović, R.: *Procena otpornosti na habanje navarenih slojeva izvedenih manganskom elektrodom*, Tribologija u industriji, Originalni naučni rad, Godina XXII, Oktobar-Decembar 2002, Br. 3&4, str. 10-17.

Autori: Čukić, R., Lazić, V., Jovanović, M., Ratković, N.
Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac. **Mutavdžić, M.**, Preduzeće za puteve Kragujevac a.d. Tanaska Rajića 16, 34000 Kragujevac.

E-mail:vlazic@kg.ac.yu

Erić, O., Rajnović, D., Šidanić, L., Brdarić, T.

ODREĐIVANJE OPSEGA PROCESIRANJA LEGIRANOG CuNiMo ADI MATERIJALA

Rezime: ADI (Austempered Ductile Iron - izotermalno transformisani nodularni liv) predstavlja grupu novih materijala koji se dobijaju izotermalnom transformacijom nodularnog liva pri čemu nastaje jedinstvena mikrostruktura – ausferit, koja se sastoji iz visokougleničnog zaostalog austenita i igličastog ferita sa grafitnim nodulama smeštenih u osnovi. Optimalni odnos između mikrostrukture i projektovanih mehaničkih osobina (čvrstoće, duktilnosti, žilavosti, otpornosti na habanje i zamora) ADI materijala može se postići ako se proces austemperovanja vodi u ograničenom vremenskom i temperaturnom okviru tzv. opsegu procesiranja ("processing window"). Cilj rada je bio da se ispita uticaj različitih parametara austemperovanja na mikrostrukturne i mehaničke osobine, i kinetiku procesa austemperovanja ADI materijala legiranog sa Cu, Ni i Mo. Na osnovu kinetike procesa izotermalne transformacije definisan je optimalni opseg procesiranja za datu leguru. Opseg procesiranja legure je širok i otvoren, ali je pomeren u levo ka kraćim vremenima izotermalne transformacije.

Cljučne reči: austemperovani nodularni liv, izotermalna transformacija, zaostali austenit, ausferit, optimalni opseg procesiranja

DETERMINATION OF PROCESSING WINDOW FOR ALLOYED CuNiMo ADI MATERIAL

Abstract: ADI (Austempered Ductile Iron) materials belong to the group of new materials which are processed by isothermal transformation of nodular cast iron when the unique microstructure – ausferite is obtained. Ausferite consists of high carbon retained austenite and acicular ferrite with graphite nodules dispersed in the matrix. Optimum ratio between microstructure and projected mechanical properties of ADI materials (strength, ductility, fracture toughness, wear properties and fatigue) may be achieved if the process of austempering is performed in a restricted time and temperature frame, known as the „processing window“. The aim of the paper was to investigate the effect of different austempering parameters on microstructural and mechanical properties, and kinetics of austempering in order to establish the optimal processing window for CuNiMo alloyed ADI material. The processing window is wide and open, but it is moved to the left, i.e. to shorter times of isothermal transformation.

Key words: austempered nodular iron, austempering, isothermal transformation, retained austenite, optimal processing window

1. UVOD

ADI materijali predstavljaju novu porodicu materijala čije mehaničke osobine zavise od izbora hemijskog sastava i parametara termičke obrade. U poslednje vreme, zahvaljujući dobroj kombinaciji mehaničkih i fizičkih osobina značajno se povećao interes za proizvodnju i razvoj ovih materijala koji poseduju izvanrednu kombinaciju čvrstoće, žilavosti loma i otpornosti na habanje što se može postići strogom kontrolom mikrostrukture [1]

Za svaku vrstu ADI materijala potrebno je odrediti optimalni opseg procesiranja u cilju dobijanja optimalnih osobina. Uopšte, opseg procesiranja proizilazi iz mikrostrukturnih karakteristika, mehaničkih osobina ili predviđanja merenjem zapreminskog udela zaostalog austenita u kombinaciji sa kriterijumom za opseg procesiranja. Kriterijum koji su prilagodili Darwish i Elliott [2] odnosi se na početak optimalnog opsega procesiranja i predstavlja udeo izotermalno netransformisanog austenita nakon prvog stadijuma izotermalne transformacije. Sadržaj ovog mikrokonzituenta određuje se kvantitativnim metalografskim metodama. prema ovom kriterijumu, opseg procesiranja je definisan između vremena t_1 i t_2 . Vreme izotermalne transformacije, t_1 , kada zapreminski udeo netransformisanog austenita iznosi 1% predstavlja početak opsega procesiranja, tj. vreme početka prvog stadijuma izotermalne transformacije [3-4]. Vreme t_2 koje označava kraj optimalnog opsega procesiranja, tj. početak drugog stadijuma

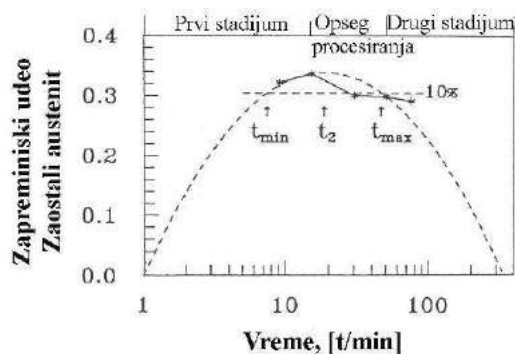
izotermalne transformacije definisano je kao vreme za koje je količina karbida koja se u strukturi izdvaja u drugoj fazi reakcije tolika da ne izaziva pad duktilnosti.

Međutim, nije moguće da se oceni napredovanje druge faze reakcije na osnovu izgleda mikrostrukture. U predhodnim studijama vreme t_2 definisano je korišćenjem empirijske formule. Izračunavanje ovog vremena izvedeno je povlačenjem linije paralelne sa X-osom na krivoj koja predstavlja zavisnost zapreminskog udela zaostalog austenita od vremena izotermalne transformacije. Kao što se može videti sa slike 1, ova linija preseca krivu sa obe strane pri vremenu t_{min} i t_{max} , a u odnosu na 90% od maksimalne vrednosti zapreminskog udela zaostalog austenita. Vreme t_2 odgovara zatvaranju opsega procesiranja izračunatog na osnovu sledeće jednačine:

$$\ln t_2 = (\ln t_{min} + \ln t_{max}) / 2 \quad (1)$$

Literaturni podaci ukazuju da se optimalne osobine ADI materijala postižu pravilnim izborom legirajućih elemenata i primenom odgovarajuće termičke obrade u ograničenom vremenskom i temperaturnom okviru u tzv. "opsegu procesiranja".

Cilj ovog rada bio je da, polazeći od rezultata istraživanja u svetu i sopstvenih rezultata istraživanja, definiše se optimalni opseg procesiranja ADI materijala legiranih sa bakrom, niklom i molibdenom



Slika 1 Zapreminski udeo zaostalog austenita u zavisnosti od vremena izotermalne transformacije [5]

2. EKSPERIMENT

Za ispitivanje su odlivene 25,4mm "Y" probe nodularnog liva dobijene komercijalnim postupkom livenja u srednjefrekventnoj indukcionoj peći.

Hemijski sastav liva u mas% je: 2.83C; 2.92Si; 0.2Mn; 0.02P; 0.01S; 1.3Cu; 0.13Cr; 1.3Ni i 0.29Mo. Iz donjih delova Y proba isečene su epruvete za mehanička ispitivanja koje su potom termički tretirane. Austenitizacija epruveta je izvršena u zaštitnoj atmosferi argona, na temperaturi od 900°C u trajanju od 2 sata. Sa temperature austenitizacije, epruvete su brzo ohlađene na temperature izotermalne transformacije koja je izvršena u sonom kupatilu. Izotermalna transformacija vršena je na temperaturama od 300, 350 i 400°C, u trajanju od 2, 3, 4, 5 i 6 časova.

Mikrostruktura je ispitivana pomoću svetlosne mikroskopije i rendgenostrukturne analize. Mikrostruktura ADI materijala je ispitivana na uzorcima koji su isečeni iz šarpijevih epruveta i potom pripremljeni standardnom metalografskom tehnikom (brušenje, poliranje, nagrizanje nitalom) na svetlosnom mikroskopu "Leitz-Orthoplan". Količina zadržanog austenita je određena difrakcijom X zraka na uređaju "Simens D 500" sa monohraskom Co-K α zračenjem. S obzirom da je kod austemperovanih nodularnih livova na crno-belim fotografijama veoma teško identifikovati prisustvo različitih mikrokonstituenata, urađeno je tzv. termičko bojenje [10]. Izotermalno netransformisani austenit pojavljuje se kao svetlo plav, visoko-ugljenični, reaktivni austenit kao purpurno crven, ausferitni ferit kao svetlo braon (bež), eutektički karbidi bele boje, dok je martenzit izrazito plav.

Pored ispitivanja mikrostrukture, izvršena su i sledeća mehanička ispitivanja: ispitivanje zatezanjem epruveta sa početnim prečnikom od 6mm na mehaničkoj kidalici ($F_{max}=50kN$) u skladu sa SRPS EN 10002 i određivanje energije udara na epruvetama bez zareza, dimenzija 10x10x55 mm, na Šarpijevom klatnu ($A_0 = 150 J$) u skladu sa SRPS EN 10045. Najmanje tri epruvete su korišćene kod svakog mehaničkog ispitivanja.

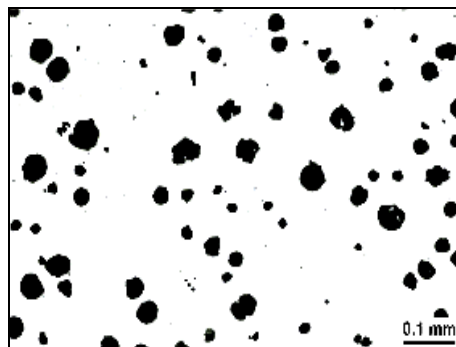
3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Mikrostrukutra u livenom stanju

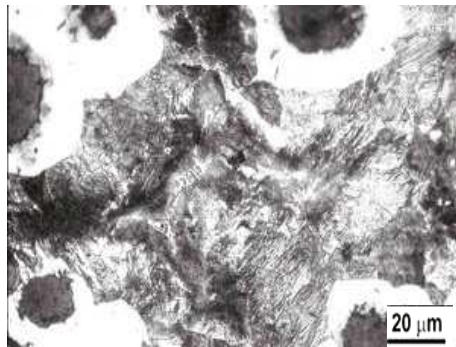
Mikrostruktura nodularnog liva korišćenog za izotermnu transformaciju u ADI matrijal prikazana je na slici 2.

Nodule su ravnomerno raspoređene, sa stepenom sferoidizacije preko 90%, gustina nodula je 60-75 nodula po mm², a prosečna veličina nodula je 17 μ m, slika 2a. Mikrostruktura metalne osnove je perlitno feritna (65% perlita) uz prisustvo male količine (1%) slobodnih karbida izlučenih po granicama eutektičke čelije, slika 2b.

Mehaničke osobine nodularnog liva su: zatezna čvrstoća $R_m=837 MPa$, konvencionalni napon tečenja $R_{p0.2}=604 MPa$, izduženje $A=3,4 \%$ i energija udara $K0=9,3 J$.



a) polirano



b) nagriženo

Slika 2 Mikrostruktura polaznog nodularnog liva

3.2 ADI materijal –Mikrostruktura

Mikrostruktura ADI materijala prikazana je na slici 3a-f.

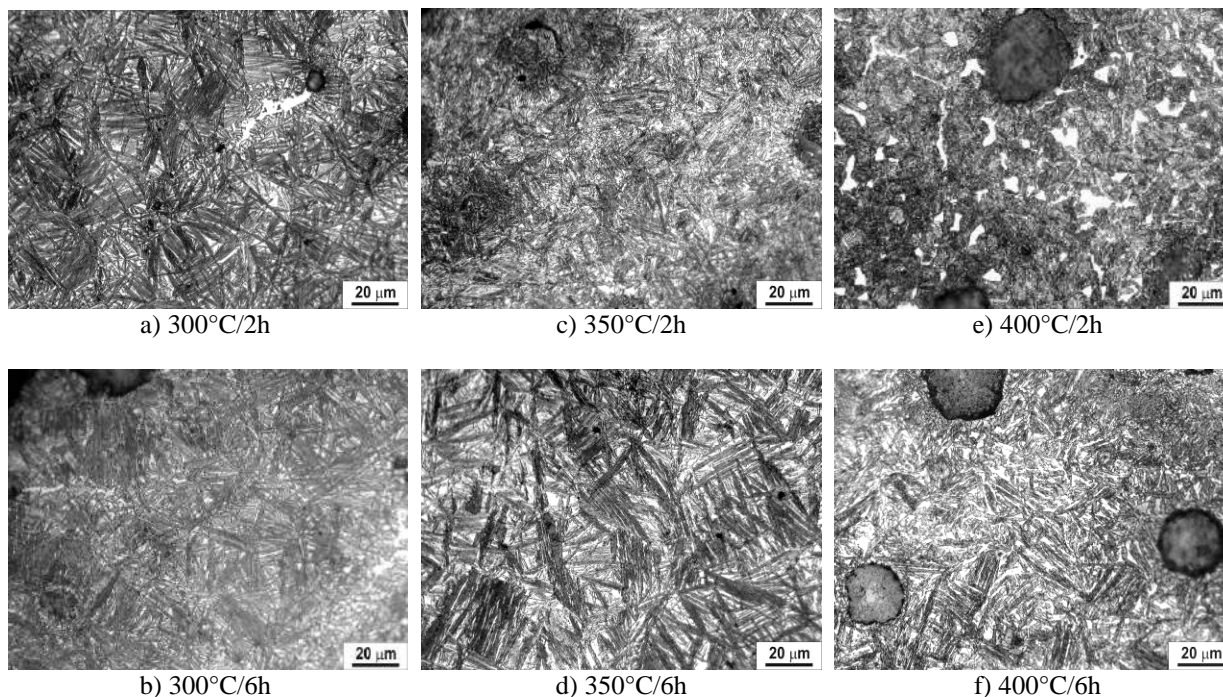
Pri izotermalnoj transformaciji na 300°C u mikrostrukтури ovih uzoraka pored igličastog ferita i zaostalog austenita vide se i ostrvca karbida (bela polja) kojih ima više pri kraćim vremenima izotermalne transformacije (slika 3a). Zapreminski udeo zaostalog austenita se smanjuje pri dužem vremenu izotermalne transformacije slika 3b. Najveća vrednost (10 Vol.%) zaostalog austenita postignuta je posle dva sata izotermalne transformacije.

Posle izotermalne transformacije na 350°C u vremenskom intervalu od 2 do 6 sati nije u potpunosti (100%) postignuta ausferitna mikrostruktura zbog male koncentracije karbida koji su prisutni u mikrostrukтури (slika 3c-d). Ostrvca karbida na granici eutektičkih čelija identifikovana su u svim uzorcima. Najveći sadržaj zaostalog austenita (13Vol.%) u vidu platoa postignut je u vremenskom intervalu između 3 i 4 sata.

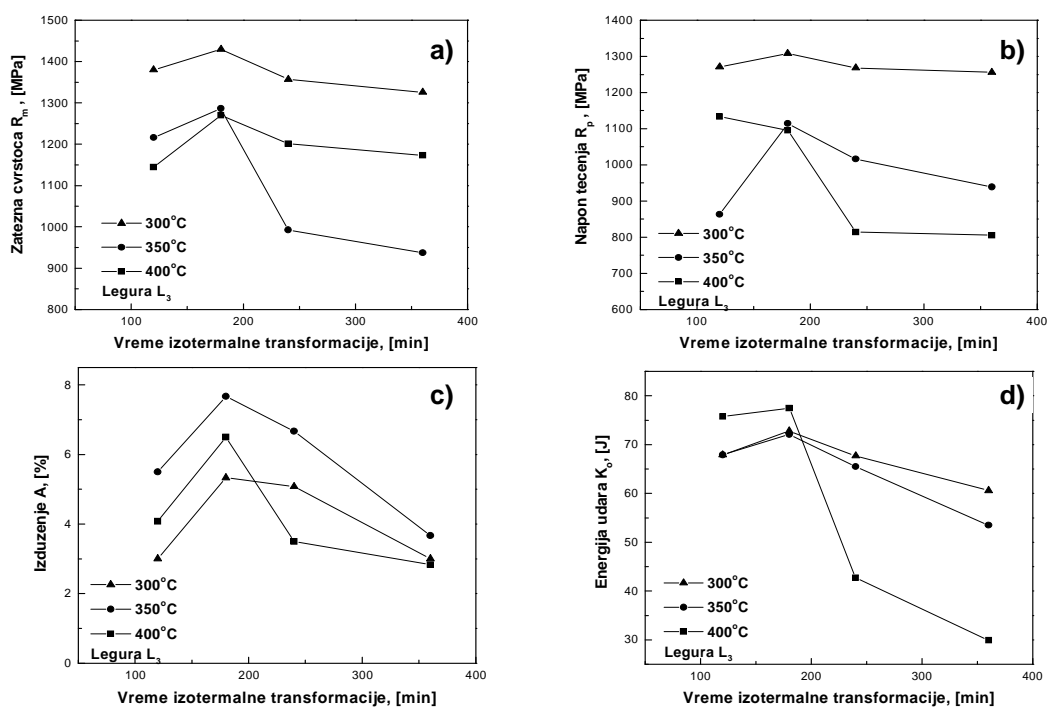
Mikrostruktura nakon izotermalne transformacije na 400°C za vreme od 2 do 6 sati prikazana je na slici 3e-f. Kod uzoraka izotermalno transformisanih u vremenskom intervalu između 2 i 4h pored finog pločastog i gusto izdvojenog ferita i zaostalog austenita prisutno i dosta slobodnih karbida. Rezultati pokazuju da izotermalnom transformacijom u intervalu između 2 i 4 sati nije postignuto izdvajanje ausferitne mikrostrukture. Kod ovih uzoraka maksimum zapreminskog udela zaostalog austenita (13Vol.%) dostignut je nakon 4 sata izotermalne transformacije. Nasuprot tome, posle 6 sati izotermalne transformacije (slika 3f) dobijena je mikrostruktura koja se sastoji od finih pločica ferita, zaostalog austenita i sitnih slobodnih karbida. Takođe se može zapaziti da se jedan deo zaostalog austenita počeo da razlaže na ferit i karbide.

3.3 ADI material - Mehaničke osobine

Mehaničke osobine (zatezna čvrstoća, konvencionalni napon tečenja 0,2%, izduženje i energija udara) ADI matrijala predstavljene su preko dijagrama 6a-d.



Slika 3a-f Mikrostruktura CuNiMo ADI materijala nakon izotermalne transformacije, SM



Slika 4 a-d Mehaničke osobine ADI materijala

a) zatezna čvrstoća, b) konvencionalni napon tečenja, c) izduženje, d) energija udara

Porastom temperature izotermalne transformacije dolazi do smanjenja vrednosti zatezne čvrstoće i napona tečenja a vrednosti izduženja se povećavaju. Ova pojava se može objasniti uticajem temperature izotermalne transformacije na zapreminski udeo zaostalog austenita u mikrostrukturi.

Vrednosti energije udara rastu sa vremenom izotermalne transformacije i nakon određenog vremena dostižu maksimalne vrednosti da bi daljim produžavanjem vremena vrednosti počele da opadaju. Maksimalne vrednosti energije udara su postignute za vreme izotermne transformacije od 180 minuta i iznose: 73J na 300°C, 72J na 350°C i 77J na temperaturi izotermalne transformacije od 400°C.

3.4 Optimalni opseg procesiranja

Pojam opseg procesiranja za ADI materijal koji je uveo Rundman [11] predstavlja vremenski interval austemperovanja u kome se postižu optimalne mehaničke osobine, posebno duktilnost. Početak i kraj opsega procesiranja su definisani na osnovu eksperimentalnih veličina t_1 i t_2 . Kriterijum po kome je određen početak opsega procesiranja (t_1) je zapreminski udeo izotermalno netransformisanog austenita čija kritična vrednost je iznosila 3%. Primenom kvantitativne metode analize slike određen je ovaj mikrokonstituent.

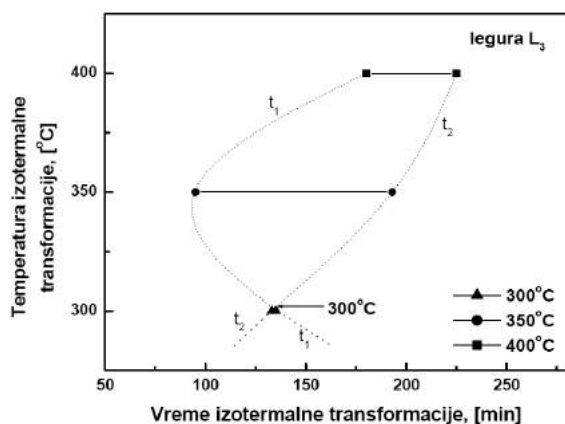
Kriterijum na osnovu kojeg je definisan kraj opsega procesiranja (t_2) je 90% od maksimalne vrednosti zapreminskog udela zaostalog austenita u austemperovanoj mikrostrukturi.

Opseg procesiranja ispitivanih legura na 300, 350 i 400 °C u vremenskom intervalu od 2 do 6 sati izotermalne transformacije određen je na osnovu izračunatih vrednosti t_1 i t_2 (Tabela 1). Opseg procesiranja je zatvoren na 300, a otvoren na 350 °C i 400 °C

Tabela 1 Opseg procesiranja pri različitim temperaturama izotermalne transformacije

Temperatura izotermalne transformacije [°C]	300	350	400
t_1	135	95	180
t_2	133	193	225
Optimalni opseg procesiranja	Zatvoren	Otvoren	Otvoren

Rezultati prikazani na slici 5 pokazuju promene t_1 i t_2 izračunate na osnovu gore navedene procedure za ispitivanu leguru u zavisnosti od temperature izotermalne transformacije. Opseg procesiranja je zatvoren na 300 °C. Nasuprot tome, opseg procesiranja za temperaturu 350 °C jeste širok ali je pomeren ulevo ka kraćim vremenima izotermalne transformacije. Na 400 °C opseg procesiranja je otvoren.



Slika 5 Opseg procesiranja za CuNiMo ADI materijal

4. ZAKLJUČAK

Kod CuNiMo ADI materijala, postignute su mehaničke osobine koje zadovoljavaju ASTM standard za ADI materijale, iako mikrostruktura nije potpuno ausferitna usled malog prisustva slobodnih karbida. Pojava slobodnih karbida koncentracije od svega 1% u mikrostrukturi ukazuje da je sadržaj molibdena od 0,29% u polaznom nodularnom livu bio previsok.

Na osnovu kinetike procesa izotermalne transformacije definisan je optimalni opseg procesiranja. Za ispitivani ADI materijal proces je zatvoren na temperaturama izotermalne transformacije nižim od 300 °C, a iznad ove temperature proces je otvoren. Opseg procesiranja na 350 °C je širok i pomeren ulevo ka kraćim vremenima izotermalne transformacije. Pri izotermalnoj transformaciji na 400 °C opseg procesiranja je i dalje otvoren.

5. LITERATURA

- [1] Sidjanin L., Smallman. R. E., Boutorabi S.M.: "Microstructure and fracture of aluminium austempered ductile iron investigated using electron microscopy", Materials Science and Technology, Vol.10, 711-720, 1994.
- [2] Rouns T.N., Rundman K.B., Moore D.J.: "Effect of Manganese on Structure and Properties of Austempered Ductile Iron", Trans., AFS. 48, 255-264, 1986.
- [3] Rundman K.B., Dubensky W.J.: "An electron microscope study the carbide formation in austempered ductile iron", AFS Transactions, Vol.93, 389-394, 1985.
- [4] Lee S. S., CHeng-HSu, Chang Ch., Feng H.-P: "Influence of Casting Size and Graphite Nodule Refinement on Fracture Toughness of Austempered Ductile Iron", Metallurgical and Materials Transactions; 29A, 10, 2511-2521, 1998.
- [5] Bayati H., Phd thesis, University of Manchester, Manchester, 102, 1996.
- [6] Baydogan M, Cimenoglu H: "The Effect of Austempering Time on Mechanical-Properties of a Ductile Iron", Scandinavian Journal of Metallurgy, Vol 30, Iss 6, 391-395, 2001.
- [7] Zahiri S.H., Pereloma E.V., Davies C.H. J.: "Application of bainite transformation model to estimation of processing window boundaries for Mn-Mo-Cu austempered ductile iron", Materials Science and Technology, Vol.17, 1563-1568, 2001.
- [8] Chester N.A., Bhadeshia H.K.D. H.: J. Phys. (France) IV, C5, 41-45 1997.
- [9] Sidjanin L., Smallman. R. E., Boutorabi S.M.: "Microstructure and fracture of aluminium austempered ductile iron investigated using electron microscopy", Materials Science and Technology, Vol.10, 711-720, 1994
- [10] Sidjanin L., Smallman., R. E.: "Metallography of bainitic transformation in austempered ductile iron", Materials Science and Technology, Vol 8. Iss. 12, 1095-1103, 1992.
- [11] Rouns T.N., Roundman K.B. R.: "Constitutions of austempered ductile iron and kinetics of austempering", AFS Res., 851-874 1987.

Autori:

dr Olivera Erić, Tanja Brdarić, Institut „Kirilo Savić“, Vojvode Stepe 51, 11000 Beograd, Tel.: +381 11 3976-058, Fax: +381 11 2469-514.

E-mail: olivera.eric@iks.rs
tanja.brdaric@iks.rs

Dragan Rajnović, Prof. dr Lepasava Šidanin, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2338, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: draganr@uns.ns.ac.yu
lepas@uns.ns.ac.yu

Глушкова, Д. Б., Тарабанова, В. П., Черняева, А. В.

УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Резюме: Исследовано влияние вакуумно-плазменного покрытия на триботехнические свойства подшипников коленчатых валов. Покрытие баббитов на сталеалюминиевый подшипник уменьшает износ коленчатого вала, а также снижает коэффициент трения при повышенных нагрузках и температурах.

1. ВВЕДЕНИЕ

Подшипники коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания работают в тяжелых условиях переменных нагрузок, скоростей скольжения, температур и других неблагоприятных факторов, что обуславливает сложный комплекс требований к качеству их изготовления и свойствам используемых подшипниковых материалов.

2. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В настоящее время одним из наиболее перспективных материалов для вкладышей подшипников коленчатых валов высокофорсированных дизельных двигателей тепловозов являются антифрикционные материалы на алюминиевой основе. Они обладают относительно высокой прочностью, хорошо сопротивляются коррозионно-усталостным разрушениям, износу, экологичны в производстве и эксплуатации, сравнительно дешевы и, имея малый удельный вес, требуют небольшого расхода металла [1]. Опыт эксплуатации сталеалюминевых вкладышей с антифрикционным слоем из сплава АМО1-20 показывает, что их общий срок службы при работе в паре с нормализованным высокопрочным чугуном коленчатого вала дизеля Д100 превышает 1,5 млн. км пробега тепловоза, что характеризует их достаточно высокую надежность и работоспособность на уровне современных требований. В то же время установка сталеалюминевых подшипников требует увеличения зазоров в сопряжении во избежание задиров и схватывания с шейкой вала повышенного износа и повреждения вкладышей. Бронзобаббитовые подшипники с рабочим слоем из баббита Б2 обладают хорошими приработочными и антифрикционными характеристиками, однако ресурс их работы для современных двигателей недостаточен. Использование сочетания повышенных характеристик коррозионно-усталостной прочности и износостойкости сталеалюминевых подшипников с высокими антифрикционными противозадирными и приработочными характеристиками баббитов может быть достигнуто применением баббита в качестве антифрикционного покрытия.

3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе исследовали образцы, изготовленные из биметаллической полосы-сталь 10-алюминиевый подшипниковый сплав АМО1-20, на рабочую

поверхность которых методом вакуумно-плазменного напыления наносили покрытия баббитов толщиной 20-30 мкм. В качестве электродов использовали отливки баббитов Б2 и Б16, напыление производили типа «БУЛАТ».

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытания по определению триботехнических характеристик покрытий проводили на машинах трения СМЦ-2 и 2070СМТ-1 при скорости скольжения 1,3 м/с в диапазоне общих нагрузок 0,2-2,0 кН. Смазки осуществляли маслом М14И₂ по методу окунания подвижного контртела.

В качестве контртел при испытаниях использовали «диски» диаметром 50 мм, изготовленные из высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита (ВЧШГ) коленвала тепловозного дизеля Д80 в нормализованном состоянии. Определяя износостойкость, зависимость коэффициентов трения ($f_{тр}$) от нагрузки при начальной температуре масла 70°C и зависимость коэффициента трения от температуры масла в диапазоне 70-150°C при нагрузке 5 МПа. Микротвердость поверхностей трения образцов вкладышей определяли после испытаний при нагрузке 150 г.

Результаты испытаний на износостойкость, проведенных на машине трения СМЦ-2 при давлении 5 МПа в течение 10 ч представлены в таблице 1.

№ п/п	Покр тие	Износ вкладыше й, мм ³	Износ вала, г	H _ц ¹⁵⁰	Коэффи циент трения
1	-	0,30	0,025	60	0,008
2	Баббит Б2	0,37	0,020	70	0,010
3	Баббит Б16	0,36	0,001 7	75	0,012

Таблица 1. Результаты испытаний баббитовых вакуумно-плазменных покрытий на износ

Анализ полученных результатов показывает, что износ образцов вкладышей с покрытиями больше, чем без покрытий, а изнашивающая способность по отношению к контртелу у исследованных баббитовых покрытий меньше, чем у сплава АМО1-20. Значения коэффициентов трения, баббитовых покрытий выше, чем у сплава АМО1-20, а соотношение их величин проявляет тенденцию к корреляции с микротвердостью поверхностных сплавов.

Очень важным является поведение подшипников в

нагруженном состоянии и при повышенных температурах, которые развиваются в процессе эксплуатации.

Испытания по определению зависимостей коэффициентов трения от нагрузки показали, что сплав АМО1-20 в приработочном состоянии при нагрузках ниже 1,4 кН имеет меньшие значения $f_{тр}$ однако, при последующих нагружениях коэффициент трения сплава АМО1-20 увеличивается и превышает значения коэффициентов трения баббитов.

Зависимости коэффициентов трения от температуры для сплава АМО1-20 и баббита Б2 представлены на рисунке 1.

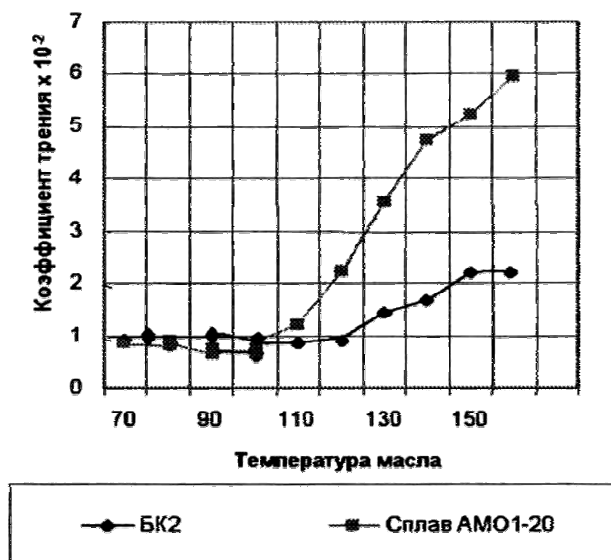


Рис. 1. Зависимости коэффициентов трения от нагрузок (а) и температуры смазки (б) при испытаниях неупрочненного ВЧШГ

Анализ хода кривых показывает, что с повышением температуры выше 110°C происходит резкое возрастание коэффициента трения сплава АМО1-20, коэффициент трения баббитового покрытия Б2 возрастает в меньшей

степени и при более высокой температуре. Снижение коэффициента трения баббитового покрытия в интервале температуры масла 80-110°C может способствовать уменьшению тепловыделений в контакте при трении, что облегчает условия работы подшипников и приводит к самоорганизации в контакте ужесточения условий работы.

5. ВЫВОДЫ

1. Нанесение вакуумно-плазменного баббитного покрытия на биметаллическую ленту приводит к уменьшению износа вала, уменьшению коэффициента трения при повышенных нагрузках и температурах.
2. Проведенные исследования показали целесообразность использования баббитовых покрытий для сталеалюминиевых подшипников коленчатых валов.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Буше, Н.А., *Решенные и нерешенные задачи по совместимости трибосистем* // Трение и износ. - 2003, т. 14, № 1, с. 25-33.
- [2] Костюк, Г.И., *Физико-технические основы напыления покрытий ионной имплантацией, ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий*. Харьков, АИНУ, 2002, с. 1030.

Автори: доц., к.т.н. Диана Борисовна Глушкова, доц., к.т.н. Валентина Павловна Тарабанова, студентка Анна Валериевна Черняева, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина.

E-mail: ktm@khadi.kharkov.ua
diana@khadi.kharkov.ua

Јањуш, З., Илић, П.

ПРОМЈЕНА ЖИЛАВОСТИ РЕЦИКЛИРАНОГ ТЕРМОПЛАСТА

Резиме: Полимерни материјали имају изузетно широку примјену у различитим областима технике и људских потреба (у грађевинарству, прехранбеној индустрији, производњи различите амбалаже, намјештаја и покућства, електротехници и електроници, пољопривреди, хемијској, аутомобилској, авио и војној индустрији и сл. У раду су приказани резултати промјене жилавости рециклираних термопласта. Сврха је да се полимерни отпад прикаже као сировина или на други начин искористљив материјал. Конкретни подаци даће могућност формирања обрасца за израчунавање жилавости кроз циклусе рециклаже, што може помоћи у даљим истраживањима и анализама.

Кључне ријечи: термопласт, рециклажа, жилавост.

CHANGE IN RECYCLED THERMOPLASTIC TOUGHNESS

Abstract: Polymeric materials have very wide use in different fields of technics and human needs (in civil engineering, food industry, production of various packages, furniture and home furnishings, electrotechnics and electronics, agriculture, chemical, car, airplane and military industry, etc). This paper shown the results of changes of recycled thermoplastic toughness. The purpose is to show polymeric waste as raw material or material exploitable in some other way. Concrete data will give a possibility to form a pattern for calculation of toughness through recycling cycles, which can be quite helpful in further research and analysis.

Key words: thermoplastic, recycling, toughness.

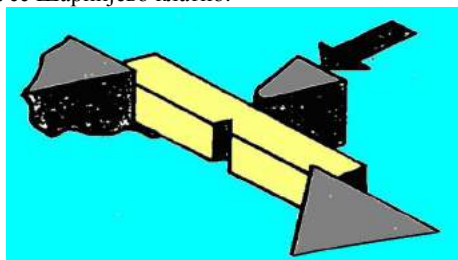
1. УВОД

Рециклажа се најједноставније дефинише као поступак поновне употребе већ кориштених материјала. Полимерни материјали користе се за добијање нових материјала, сировина за материјале или за производњу енергије. Код избора материјала који се поново употребљава важно је између осталог познавати и његове механичке особине.

Механичке особине полимерних материјала директно су зависне од конструкционих и експлоатационих карактеристика производа током примјене и експлоатације. Механичким испитивањем могу се установити: карактеристике чврстоће, пластичности и тврдоће материјала. Механичке особине полимерних материјала одређује њихов хемијски састав, молекулске карактеристике, структурне карактеристике, вријеме трајања оптерећења и температура

2. ИСПИТИВАЊЕ ЖИЛАВОСТИ

Жилавост је способност материјала да се супротстави ударном оптерећењу. Дефинише се као енергија потребна да изазове лом епрувете (слика 1) дефинисаног геометријског облика. Карактеристичне механичке величине су: енергија лома $E_L [J]$ и жилавост материјала $\rho [J/cm^2]$. Уређај за испитивање жилавости материјала назива се Шарпијево клатно.



Слика 1. Приказ начина изазивања лома епрувете

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО

Експериментом је истраживан утицај вишеструке рециклаже термопласта на промјену енергије лома/жилавости циклуса. Промјене механичких особина праћене су на три материјала упоредо, кроз пет циклуса рециклаже [1].

За експеримент су кориштена три основна материјала: полиетилен (polyethylene PE-LD, Chemopetrol,a.s, Litvinov Czech Republic), полистирен (polystyrene PS, DiOKI d.d., Zagreb Croatia), полипропилен (polypropylene PP, Hipol, Chemical industry, Odžaci SiCG).

Испитивање жилавости је вршено у лабораторији за контролу квалитета предузећа „Јелшинград - ливница челика“ А. Д. Бања Лука, априла 2005. год.

Подаци о мјерној машини:

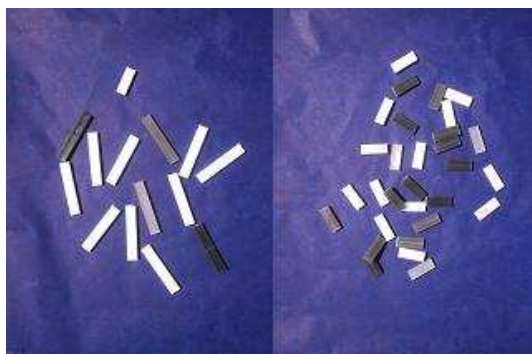
- Назив мјерила: Уређај за испитивање жилавости - Шарпијево клатно,
- Произвођач мјерила: Алфред Амслер, Њемачка,
- основна метролошка својства: тип 30 PH 130, мјерни опсег од 0 J до 294,19 J, класа тачности +/- 1% OP.
- Мјерило испуњава услове машине за мјерење механичких особина стандардом JUS M.ZO.504.

Димензије епрувете за испитивање жилавости:

- Дужина епрувете $l = 55mm$,
- Ширина епрувете $b = 10mm$,
- Дебљина епрувете $s = 4mm$,
- Дубина жлијеба $h = 0,5mm$.

За један циклус вршено је испитивање три епрувете, а као мјеродаван резултат усваја се средња вриједност мјерене величине.

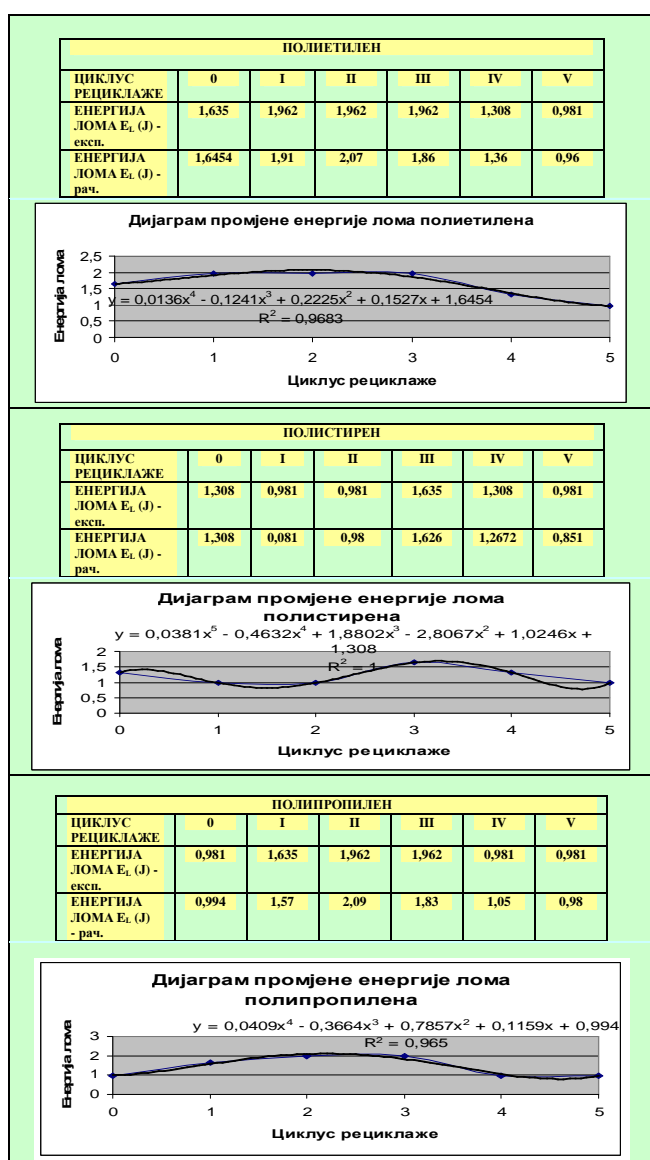
Енергија лома добија се директним читавањем са мјерног инструмента, а жилавост материјала израчунавањем по обрасцу: $\rho = E_L / A_0$, гдје је: A_0 – површина попречног пресека.



Слика 2. Припремци прије и после испитивања

4. РЕЗУЛТАТИ МЈЕРЕЊА

Промјене жилавости/енергије лома рециклираног термопласта приказане су табеларно и графички, на слици бр. 3.



Слика 3. Приказ резултата испитивања

Промјене је могуће описати полиномским функцијама четвртог или петог степена облика:

$$(1) E_L = aN^5 + bN^4 + cN^3 + dN^2 + eN + f,$$

Гдје је: E_L – енергија лома,
 N – циклус рециклаже и
 a, b, c, d, e, f – параметри.

Анализа резултата вршена је регресионом методом. На следећој слици дата је приказ резултата добијених експериментом упоредо са резултатима добијеним рачунским путем [1].

5. ЗАКЉУЧАК

Промјене енергије лома/живости у функцији циклуса рециклаже могу се представити полиномским функцијама четвртог или петог степена [сл. 3].

Обрасци којим се описује промјена величина кроз циклусе рециклаже омогућавају њихово аналитичко израчунавање чиме се пружа могућност препоруке виšekратне употребе материјала.

Анализом експерименталних резултата закључује се да је посматране термопласте са становишта промјене жилавости могуће поново употребљавати до петог циклуса рециклаже.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Јањуш, З.: *Поузданост употребе рециклираног термопласта*, магистарски рад, Машински факултет, Бања Лука.
- [2] Јањуш, З., Шљивић, М.: *The reliability of use of recycled thermoplast*, Journal for Tehnology of plasticity, 27-35, Нови Сад 2006.
- [3] Плавшић, М.: *Полимерни материјали*, Научна књига, Београд, 1996.
- [4] Скакић, Н.: *Теорија вјероватноће и математичка статистика*, Научна књига, Београд, 2001.
- [5] Шљивић, М., Станојевић, М.: *Основе производних технологија*, Машински факултет, Бања Лука, 2003.

Аутори: мр Зоран Јањуш¹, мр Предраг Илић²

¹ Градска управа Бања Лука, Одјељење комуналне полиције, Трг српских владара бр. 1, 78000 Бања Лука, Република Српска, БиХ, Tel.: +387 65 537-406

² Институт заштите, екологије и информатике Бања Лука, Видовданска бр. 43, 78000 Бања Лука, Република Српска, БиХ, Tel.: +387 65 365-154

E-mail: jzoran@spinter.net
pedja_1979@yahoo.co.uk

Ješić, D.

MJERENJE MEĐUSLOJNE ČVRSTOĆE POLIESTERSKIH LAMINATA

Rezime: Staklenim vlaknima ojačane poliesterske smole (poliesterski laminati) su vrlo važni konstrukcijski materijali. Najčešći oblik oštećenja poliesterskih laminata je delaminiranje između slojeva ojačanja i matrice ili između pojedinih slojeva ojačanja. Jedan od važnijih pokazatelja kvalitete laminata je međuslojna čvrstoća.

Ključne reči: Međuslojna čvrstoća, poliesterski laminati, staklena vlakna, metoda kratke grede

MEASURING OF INTERLAMINAR SHEAR STRENGTH OF POLYESTER LAMINATES

Abstract: Glass fibre-reinforced polyester resins (polyester laminates) are very important design materials. The most commonly observed failure modes in polyester laminates is delamination between the reinforcement and matrix or between layers. One of the important indicators for laminate quality is interlaminar shear strength. In the paper the determination of the interlaminar shear strength of polyester laminates by short-beam shear method is presented.

Key words: Interlaminar shear strength, polyester laminates, glass fibres, short-beam shear method

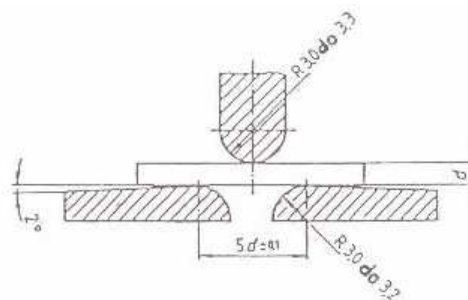
1. UVOD

Materijali koji su predmetom ovoga rada pojavili su se zahvaljujući razvoju polimernih materijala. Ovi materijali pripadaju skupini polimernih kompozita. Pod tim imenom razumijevaju se različitim materijalima (staklena, ugljična, aramidna i druga vlakna) ojačani polimeri (poliesterske, epoksidne, fenolne i druge smole). Staklenim vlaknima ojačane poliesterske smole ili kraće poliesterski laminati zauzimaju sve važniju ulogu u gospodarstvu svake zemlje. Kao osnovni konstrukcijski materijali našli su primjenu u mnogim granama industrije, a posebno u brodogradnji. Osnovna karakteristika poliesterskih laminata je da objedinjuje dobra svojstva komponenata od kojih je napravljen. Kod toga je stakleno vlakno nositelj mehaničkih svojstava, dok je uloga poliesterske smole međusobno povezivanje staklenih vlakana i prenošenje sile s jednog vlakna na drugo. Najčešći oblik oštećenja poliesterskih laminata je delaminiranje (raslojavanje) između slojeva ojačanja i matrice ili između pojedinih slojeva ojačanja. Zato je međuslojna čvrstoća bitna karakteristika poliesterskih laminata o kojoj ovise mehanička svojstva i trajnost konstrukcijskih dijelova izrađenih od tih materijala. Obzirom na značajnost međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata u radu će se pokazati kako i jednostavna ispitivanja mogu dati podatke na osnovi kojih će se konstruktor, prerađivač i korisnik bolje iskorištavati mogućnosti poliesterskih laminata kao konstrukcijskih materijala.

2. ISPITIVANJE MEĐUSLOJNE ČVRSTOĆE

U svijetu se primjenjuju različite metode za ispitivanje međuslojne čvrstoće koje se međusobno razlikuju po obliku i dimenzijama epruveta i po načinu opterećivanja (savijanjem, rastezanjem, itd.).

Ovaj rad opisuje ispitivanje međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata prema metodi BS 2782/3/341 A-1977. Metoda je u mehanici poznatija pod nazivom metoda kratke grede, te predstavlja modificiranu metodu ispitivanja savijanjem na tri točke s vrlo kratkim razmakom oslonaca. Na slici 1 prikazan je oblik epruvete i način djelovanja opterećenja prema toj metodi ispitivanja međuslojne čvrstoće.



Slika 1. Oblik epruvete i način djelovanja opterećenja prema metodi BS 2782/3/341 A-1977

Ispitivanja međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata provedena su na univerzalnom stroju za ispitivanje mehaničkih svojstava polimernih materijala, a brzina ispitivanja je 2.6 mm/min. Mjeri se maksimalna sila loma epruvete. Rezultati se izračunavaju prema izrazu

$$\tau = 0.75 \frac{F_{\max}}{b \cdot d}$$

gdje je :

- τ - međuslojna čvrstoća, N/mm²
- F_{\max} - maksimalna sila kod loma epruvete, N
- b - širina epruvete, mm
- d - debljina epruvete, mm

Laminat za ispitivanje izrađen je ručnim kontaktnim postupkom od nezasićene poliesterske smole na bazi ortoftalne kiseline tip Colpoly 7225 (Color, Medvode, Slovenija) ojačane staklenim ojačanjem 4 × mat ES 33, 450 g/m² (skloplast, Trnava, Slovačka), 6 × roving tkanina 600 g/m² (Keltex, Duga Resa, Hrvatska) i kombinacije 3 × (mat 450 g/m² + roving 600 g/m²). Iz ploča laminata izrezano je po 10 epruveta, dimenzija 100 × 13 × 4 do 5 milimetara koje su ispitivane prema metodi BS 2782/3/341 A:1977 savijanjem epruvete s vrlo kratkim razmakom oslonaca.

U cilju opisivanja poliesterskog laminata provedena su određivanja masenog udjela staklenog vlakna, čvrstoće savijanja Rms i modula elastičnosti savijanja Es.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

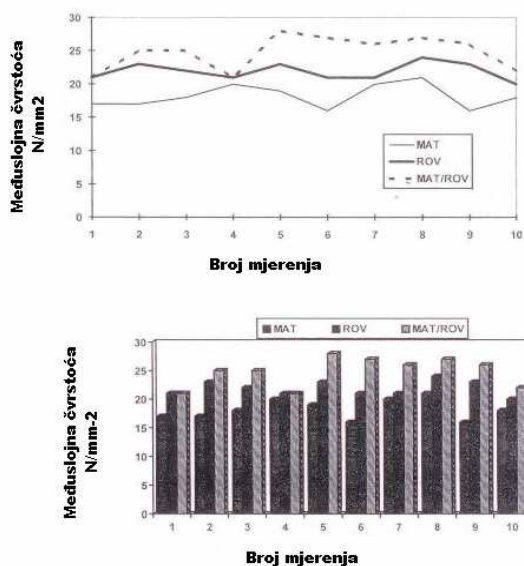
Rezultati ispitivanja međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata navedeni su u tablici 1 i prikazani na slici 2.

Vrsta ojačanja	Maseni udio stakla %	Es N/mm ²	Rms N/mm ²	τ N/mm ²
MAT	33.12	5213	190	18
ROVING	60.09	9005	303	22
MAT/ROV	40.37	4915	243	25

Tabela 1. Sažeti prikaz rezultata ispitivanja

Napomena: Podaci navedeni u tablici 1 aritmetičke su sredine od po deset određivanja.

Rezultati ispitivanja međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata s različitim tipovima ojačanja statistički su obrađeni. Analizom varijance ustanovljene su značajne razlike između mata i kombinacije mat/roving, a najbolje rezultate međuslojne čvrstoće pokazuje kombinacija ojačanja mat-roving što je vidljivo i iz dijagrama na slici 2.



Slika 2. Međuslojna čvrstoća poliesterskih laminata

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata provedenih ispitivanja međuslojne čvrstoće poliesterskih laminata može se zaključiti da vrsta ojačanja utječe na međuslojnu čvrstoću. Značajne su razlike između mata i kombinacije mat/roving, a najbolje vrijednosti međuslojne čvrstoće pokazuje kombinacija mat/rov ojačanja. Jednostavnim metodom ispitivanja međuslojne čvrstoće mogu se dobiti pouzdani rezultati, na osnovi kojih će konstruktor, prerađivač i korisnik bolje iskoristavati mogućnosti poliesterskih laminata u konstrukcijske svrhe.

5. LITERATURA

- [1] Ivanović Z.: *Ispitivanje kvalitete spoja poliesterskih laminata različite starosti*, Magistarski rad, Zagreb, 1984
- [2] Izbicka J.: *Interlaminar shear strength investigation of polymeric composites*, Proceedings of Conference Fibre Reinforced Polymer Composites, Bled, 1989
- [3] Husić Š.: *Metode za određivanje međuslojne smične čvrstoće polimernih kompozita*, Zbornik savjetovanja Matech'96, Opatija, 1996
- [4] BS 2782: Part 3: Method 341A:1977
- [5] Ješić D.: *Suvremeni materijali*, materijal u toku izdavanja, 2008

Autori: dr.sc. Dušan Ješić, TRIBOTEHNIK, Titov trg 6/4, 51000 Rijeka, Croatia, Tel +385 (0)51-335-682
E-mail: dušan.jesic@ri.htnet.hr

Jovanović, D., Nedić, B., Tadić, B.

TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE KERAMIČKIH DVOSLOJNIH PREVLAKA

Rezime: Iako jednoslojne prevlake imaju veliku primenu, u mnogim područjima inženjerstva povećavaju se zahtevi tako da svojstva jednog materijala prevlake nisu dovoljna. Jedan od načina rešavanja tog problema je upotreba višeslojne prevlake koja kombinuje značajna svojstva nekoliko materijala. Korištenjem višeslojnih prevlaka poboljšavaju se tribološka svojstva usled boljeg prijanjanja između prevlake - podloge, povećanja površinske nosivosti, smanjenja površinskih naprezanja i povećanja otpora širenju pukotina. U radu su opisane karakteristike dvoslojnih prevlaka na podlozi od nerđajućeg čelika, i to prevlake Al_2O_3 nanete plazma postupkom a zatim preko nje prevlake ZrO_2 nanete sol-gel postupkom.

Cljučne reči: prevlake, habanje, plazma, sol-gel

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTIC OF DOUBLE CERAMIC COATINGS

Abstract: Although one-layer coatings have big application in many of engineering, properties of one layer are not enough for satisfying all needs. Solution of this problem is usage of multilayer coatings with application of properties of each layer. With application of multilayer coatings is possible improvement of tribological properties with better adhesion of system: base metal-coating, improvement of surface bearing, lowering of surface stress and improvement of crack resistance. The first layer is Al_2O_3 produced by plasma spraying which was deposited on the stainless steel substrate. After that, ZrO_2 layer was deposited on the Al_2O_3 coating by a sol-gel process using dip coating technique.

Key words: coatings, wear, plasma spraying, sol-gel

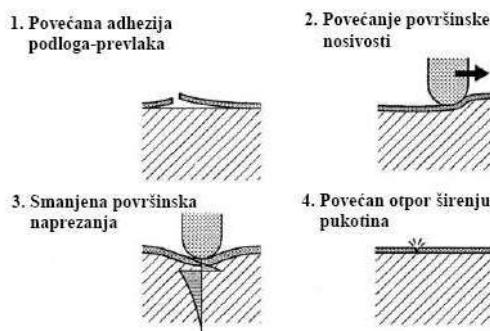
1. UVOD

Trenje i habanje se odvija na dodiru realnih površina, pa je zbog toga najčešće izražena potreba smanjenju trenja i habanja delovanjem samo na površine u dodiru i to kombinovanom toplotno hemijskom obradom (cementacija, boriranje ...) ili prevlačenjem površina drugim materijalom. Na tim osnovama je razvijeno inženjerstvo površina - naučna disciplina unutar koje su nastali i razvijaju se postupci površinske obrade kojima se postižu kombinacije svojstava površinskog sloja i osnovnog materijala, koja se ne mogu postići upotrebom bilo kojega jednorodnog materijala. U današnje vreme postoji velik broj različitih postupaka nanošenja prevlaka na podlogu. Svaki od tih postupaka ima svoje posebnosti koje utiču na strukturu i svojstva prevlaka. Zbog toga se isti materijal prevlake može sasvim drukčije ponašati u praksi, a obzirom na to kojim je postupkom nanosen na podlogu.

2. DVOSLOJNE PREVLAKE

Jednoslojne ili jednokomponentne prevlake imaju veliku primenu, međutim, usled sve većih zahteva za poboljšanje svojstava, ove prevlake nisu dovoljne. Višeslojne prevlake (slika 1) u većini slučajeva su višekomponentne. Taj naziv je obično namenjen prevlakama kod kojih je prisutno mešanje faza, ali ne i prevlaka. U ovom radu su analizirane karakteristike višeslojne prevlaka, dobijena nanošenjem jedne prevlake na drugu prevlaku, odnosno - prevlaka ZrO_2 je naneta na prevlaku Al_2O_3 . Plazma postupkom na čeličnu podlogu naneta je Al_2O_3 prevlaka bez međusloja. S obzirom da plazma postupkom nanešen Al_2O_3 ima površinske pore, postupkom sol-gela nanosi se se ZrO_2 radi popunjavanja tih pora. Laboratorijskim ispitivanjima uzoraka prevlaka na čeličnoj podlozi određuje se uticaj temperature žarenja i broj slojeva ZrO_2 na Al_2O_3 prevlaci i tribomehanička svojstva čitave prevlake. Ispitivanja se odnose na određivanje mikrostrukture prevlake, debljine prevlake, nanotvrdoće

sistema, prionjivosti prevlake, otpornosti na brazdanje sistema prevlaka - prevlaka. Plazma postupak je često korišteni postupak nanošenja keramičkih prevlaka. Keramičke prevlake nanosene ovim postupkom koriste se kod različitih industrijskih delova [1] zbog velikog otpora habanju, jer poseduju visoku tvrdoću i otpornost na visokim temperaturama. Jedan od materijala koji se koristi kod plazma postupka je aluminijum oksid (Al_2O_3). Prevlake Al_2O_3 imaju visoku čvrstoću i tvrdoću, veliku otpornost na habanje i pružaju dobru zaštitu od korozije. Da bi se postigla zadovoljavajuća čvrstoća veze, površini podloge se povećava hrapavost, a često se vrši i prevlačenje vezivnim slojem.



Slika 1. Poboljšanje triboloških svojstava primenom višeslojnih prevlaka

Tvrdoća aluminijum oksidne prevlake je od 1700 do 2000 HV, modul elastičnosti je oko 370 GPa, a maksimalna radna temperatura je između 1600 °C i 1750 °C. Ove osobine se omogućile primenu tog materijala za smanjenje habanja kod elemenata u dodiru i za rad pri visokim temperaturama. Jeftiniji postupak nanošenja tankih tvrdih prevlaka od postupaka prevlačenja u parnoj fazi, koji se veoma često koristi, je sol-gel postupak. Dok je kod

postupaka prevlačenja u parnoj fazi visoka cena opreme za nanošenje, to nije slučaj kod sol-gel postupka, pa se zbog toga pokušava primeniti u svrhu povećanja otpornosti na habanje. Različiti su materijali koji se mogu nanositi postupkom sol-gel, ali najčešće korišten i istraživan je cirkonijum oksid (ZrO_2).

Eksperimentalna ispitivanja, opisana u ovom radu su podeljena u dve etape:

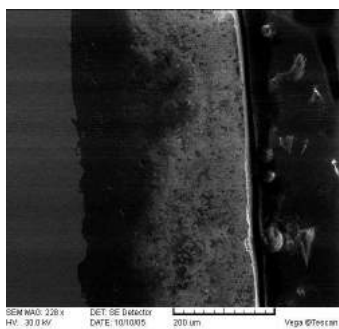
- I - izradu uzoraka, metalografsku analizu i određivanje mehaničkih karakteristika i
- II - tribološka ispitivanja, ispitivanje Ball on disc i ispitivanje čvrstoće prevlake pomoću Scratch test.

Kao podloga za nanošenje prevlake Al_2O_3 odabran je martenzitni nerđajući vatrootporni čelik oznake prema EN-u X22CrMoV12.1, koji se koristi za izradu lopatica parnih turbina. Kako bi se poboljšala tribomehanička svojstva odabranog čeličnog materijala, plazma postupkom je naneta aluminijumova oksidna prevlaka. Ispitivani su uzorci dimenzija 25 x 18 x 18 mm. Površina čelične podloge je ohrapavljena peskarenjem ($R_a = 5.5 - 6 \mu m$) i očišćena radi boljeg prijanjanja prevlake Al_2O_3 u postupku plazma nanošenja. Prema istraživanjima prikazanim u literaturnim navodima [2, 3, 4, 5, 6], za nanošenje prevlake ZrO_2 sol-gel postupkom, podloga, odnosno prethodno naneta Al_2O_3 prevlaka mora biti brušena, glatko polirana (engl. mirror polished) i ultrazvučno očišćena. Na slikama 2 i 3 prikazan je uzorak s aluminijevom oksidnom prevlakom i poprečni presek istog uzorka.



Slika 2. Uzorak s Al_2O_3 prevlakom

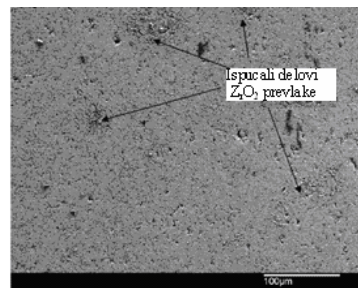
Nakon nanošenja plazma sprej postupkom aluminijum oksidne prevlake, svi uzorci se uranjaju u rastvor cirkonijum oksida radi nanošenja prevlake sol-gel postupkom (ZrO_2).



Slika 3. Poprečni presek uzorka s Al_2O_3 prevlakom

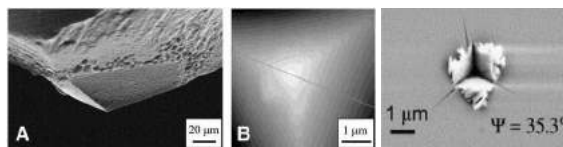
Posle faze geliranja uzorci se suše na vazduhu na temperaturi od 120 °C, a zatim se vrši žarenje. Žarenje se obavlja na temperaturama od 400, 700 i 1000 °C. Makroskopskom analizom prevlaka utvrđeno je da površinske pore Al_2O_3 nisu potpuno ispunjene ZrO_2 i da postoje mesta gde je prevlaka ispucala ili je došlo do odvajanja. Prskotine i otpali delovi vidljivi su samo na pojedinim mestima. Uzrok njihove pojave je najverovatnije: nečistoća površine podloge, pojava riseva pri poliranju podloge, nagli pokreti pri izvlačenju podloge iz gela, i sl. Na slici 4 prikazana je ispucala prevlaka usled navedenih razloga. Tvrdocu i modul

elastičnosti tankih slojeva najčešće nije moguće, zbog male debljine, izmeriti Vickersovom, Rockwellovom ili nekom drugom uobičajenom metodom, zbog čega se koristi metoda nanoutiskivanja.



Slika 4. Ispucali delovi prevlake

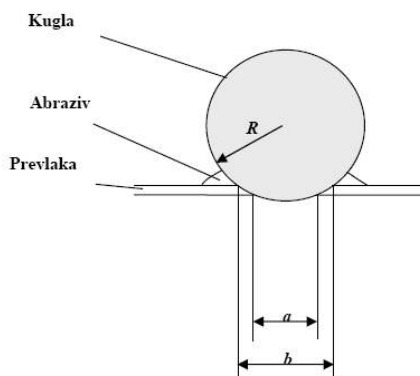
Indentor koji se koristi pri nano ispitivanju je dijamant u obliku trostrane Berkovicheve piramide jer omogućava veću oštrinu vrha nego četvorostani indentori Vickersove i Knoopove metode, slika 5. Princip merenja je zasnovan na utiskivanju indentora poznate geometrije u ispitivani uzorak i kontinuirano beleženje dubine prodiranja za svaku primenjenу silu. Posle postizanja maksimalne sile, sila se postepeno smanjuje sve dok ne dođe do delimičnog ili potpunog elastičnog povraćaja ispitivanog uzorka.



Slika 5. Ispitivanje nanotvrdoće:

- A - dijamantska Berkovicheva piramida,
- B - dijamantska Berkovicheva piramida pogled - odozdo,
- C - otisak u uzorku nakon ispitivanja.

Mikroabrazijsko ispitivanje kao metoda razvijala se zajedno s razvojem i sve većom primenom tankih prevlaka, a najčešće se koristi za ispitivanje prevlaka debljine do 50 μm. Slobodna ili učvršćena kugla poznatih dimenzija u dodiru je s prevlakom i okreće se određenom brzinom uz prisustvo abraziva. Zbog delovanja sile dolazi do habanja prevlake i stvaranja kratera (traga habanja) na površini uzorka (slika 6).



Slika 6. Princip ispitivanja

- a - prečnik traga habanja u osnovnom materijalu, mm
- b - spoljašnji prečnik traga habanja, mm

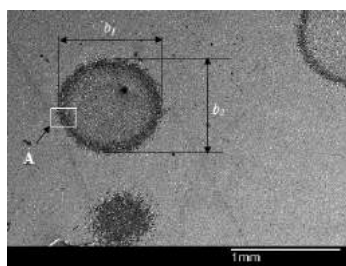
Prateći i mereći promenu dimenzija nastalog traga habanja (kratera) na prevlaci u zavisnosti od vremena ili pređenog puta kugle i znajući prečnik kugle, može se jednostavno izračunati potrošeni volumen prevlake u jedinici

vremena ili po jedinici pređenog puta, a time izraziti i otpornost prevlake prema abraziji.

Analizirana ispitivanja se mogu podeliti na:

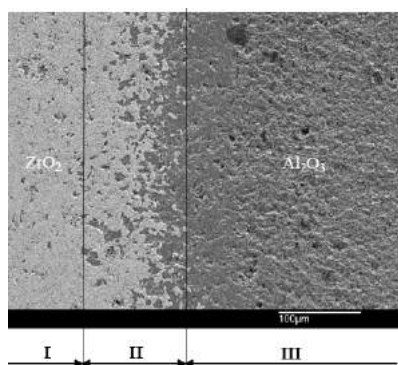
- ispitivanje bez razaranja prevlake i ulaska kugle u osnovni materijal, i
- ispitivanje do razaranja prevlake, tj. do ulaska kugle u osnovni materijal.

Ispitivanja dvostrukih prevlaka trajalo je do 24 obrtaja kuglice za koji se pretpostavilo da će sa sigurnošću doći do razaranja gornje (ZrO_2) prevlake. Ispitivanje je zaustavljano šest puta pre konačnog zaustavljanja kako bi se pratio proces habanja u zavisnosti od pređenog puta. Pri svakom zaustavljanju ispitivanja meren je spoljašnji prečnik traga habanja (kratera) u dva međusobno upravna smera b_1 i b_2 , računata srednja vrednost b (slika 7) i pomoću nje izračunavan je gubitak - smanjenje zapremine.



Slika 7. Trag habanja na $Al_2O_3+ZrO_2$, merena dimenzija otiska b_1 i b_2

Na slici 8 prikazan je deo traga habanja i skica dela traga habanja (kratera) na $Al_2O_3+ZrO_2$ prevlaci nakon ispitivanja otpornosti prema abraziji pomoću učvršćene kugle.



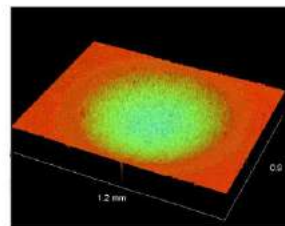
Slika 8. Deo traga habanja (kratera) na $Al_2O_3+ZrO_2$ prevlaci pogled odozgo detalja A sa slike 7., gde je:

- I - prevlaka ZrO_2 ,
- II - deo traga habanja gde ima i ZrO_2 i Al_2O_3 prevlake,
- III - prevlaka Al_2O_3 .

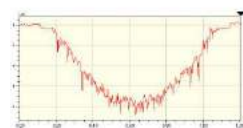
Ispitivanje $Al_2O_3+ZrO_2$ prevlaka na uređaju "PLINTE66-Micro-scale abrasion tester" provedeno je sa sledećim parametrima [1]:

- Kugla - je prečnika 25 mm, materijal je kaljeni čelik, a površina kugle je fino polirana,
- Brzina - obrtanja kugle - 30 o/min.
- Opterećenje - sila kojom su uzorci pri ispitivanju opterećeni - 0,2 N.
- Abraziv - korišten je SiC prah, fabričke oznake "SILCARIDE C6 MACRO", proizvođač garantuje prosečnu veličinu SiC zrna od 6 μm . Prah se meša s destilisanom vodom i smesom Darwac (za sprečavanje taloženja SiC zrna).
- Količina abraziva - kod ispitivanja uzoraka dotok je 104 kapi u minuti.

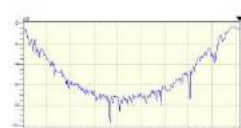
Kod traga habanja (kratera) na slici 9b i 9c vidljiva je razlika u dimenzijama, zavisno od smera merenja. Trag habanja je manji i nepravilniji u y-smeru, koji odgovara smeru obrtanja kugle, što je najverovatnije posledica neujednačene raspodele dotoka abraziva po kontaktnoj površini.



a)



b)

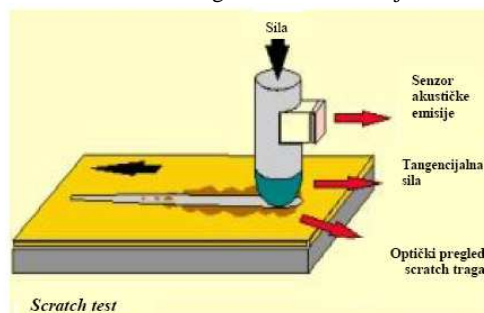


c)

Slika 9. Profil površine nakon ispitivanja meren u dva pravca

Metoda ispitivanja otpornosti prema abraziji pomoću kugle omogućuje tačno merenje broja obrtaja (puta) kuglice i odnesene zapremine prevlake, što je dovoljno za računanje faktora trošenja prevlaka, K.

Ispitivanje brazdanjem ili "Scratch test" (slika 10) daje pouzdane podatke o čvrstoći veze između prevlaka kao i otpornosti tribomehaničkog sistema na abraziju.



Scratch test

Slika 10. Šematski prikaz merenja pomoću scratch testera

Na početku ispitivanja utiskivač, s predopterećenjem, oblikuje sferični otisak i istiskujući plastično deformisani materijal prevlake oko utiskivača u obliku torusa (prstena). Kretanjem utiskivača po podlozi sila opterećenja raste, a sa njome i dubina traga (brazde, žleba) u prevlaci. Ispod utiskivača je plastična i elastična deformacija materijala prevlake, dok je na površini prevlake iza utiskivača samo plastična deformacija. Naprezanja na površini prevlake rezultat su četiri faktora:

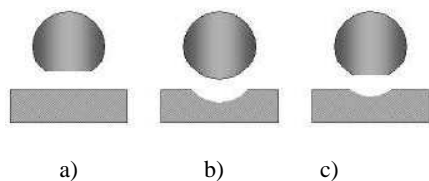
- sile trenja,
- geometrije,
- plastične deformacije i
- zaostalih naprezanja.

Kretanje dijamantskog utiskivača kontinualno rastućom normalnom silom po površini prouzrokuje naprezanja koja stvaraju pukotine i istiskivanje materijala.

Kod ispitivanja "Ball on disc", disk na kojem je učvršćen uzorak okreće se određenom, zadanom brzinom, dok kuglica koja se nalazi u nosaču pritiskuje uzorak poznatom silom. Takav način ispitivanja ostavlja kružni trag na disku (uzorku), tako da se radijus dodira može menjati.

Merenje habanja se vrši u zavisnosti od veličine habanja elemeneta tribopara, merenje habanja se vrši samo kod

kuglice, kod podloge ili kod kuglice i podloge. Primeri tih slučajeva prikazani su na slici 11.



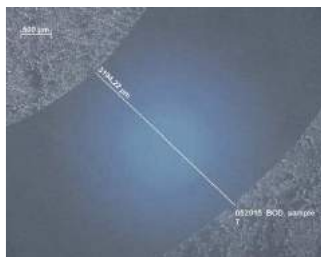
Slika 11. Tri moguća slučaja habanja tribopara, [8]:

- a) habanje kuglice
- b) habanje podloge (uzorka)
- c) habanje i kuglice i podloge

Trenje se meri stalno u toku ispitivanja, dok se habanje određuje analizom mikrostrukture i ispitivanjem profilometrisanjem. Igla profilometra često se koristi za merenje površine poprečnog preseka traga habanja na nekoliko mesta po opsegu traga. Ovim načinom osigurava se tačnije određivanje gubitka zapremine uzorka jer se množi s dužinom traga. Habanje kuglice izračunava se na osnovi traga trošenja na mjestu kontaktne površine. Habanje kuglice, W_k , (slika 12) i habanje površine uzorka, W_u (slika 13) izražava se tzv. faktorom habanja. Faktor habanja je standardizovana veličina zapremine habanja (mm^3) prema putu klizanja (m) i sili (N). Što je manji faktor habanja, veća je otpornost habanju.



Slika 12. Trag habanja na kuglici



Slika 13. Trag habanja na površini uzorka

Karakteristike i ispitivanja su:

- kuglica: materijal Al_2O_3 ,
- prečnik kuglice (mm): 5
- normalna sila (N): 5
- brzina obrtaja motora (o/min): 100
- broj ciklusa: 1000
- brzina klizanja (mm/s): 366,33.

Na svakom je uzorku je izvršeno po jedno merenje pa je posle svakog ispitivanja izmeren trag habanja na kuglici (mikroskopom, slika 12), a profilometrijom je na uređaju UBM LaserScan, UBM Corporation izmerena površina poprečnog preseka traga habanja u četiri smera (dva u smeru ose x i dva u smeru ose y).

ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza ispitivanja prevlaka dobijene s dva različita postupka nanošenja [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Prva prevlaka je Al_2O_3 , nanesena plazma postupkom, a druga prevlaka je ZrO_2 , nanesena sol-gel postupkom. Na osnovu analize sprovedenih eksperimenata može se zaključiti sledeće: površinska poroznost Al_2O_3 prevlake delimično je smanjena jer su se manje pore premostile i iznad njih se oblikovala ZrO_2 prevlaka. Merenjem tvrdoće i modula elastičnosti ZrO_2 prevlaka dobijeni su rezultati u granicama uobičajenih za ovu vrstu ispitivanja. Mikroabrazivna ispitivanja su pokazala da je uticaj ZrO_2 prevlake na Al_2O_3 od vrlo malog značaja, odnosno zanemariv zbog toga što vrlo brzo dolazi do probijanja ZrO_2 prevlake. Kod "Ball on disc" testa, pri određivanju koeficijenta trenja, konstatovan je značajan uticaj prevlake od ZrO_2 na smanjenje koeficijenta trenja u odnosu na ispitni uzorak bez ZrO_2 prevlake. Vrednost koeficijenta trenja kod svih uzoraka $\sim 0,23$, dok je kod prevlaka bez ZrO_2 prevlake $\sim 0,65$. Ovo može biti od izuzetne važnosti kod kliznih parova izađenih od Al_2O_3 keramike koji rade u uslovima bez podmazivanja.

Kao konačni zaključak proizlazi da dvoslojna prevlaka Al_2O_3 - ZrO_2 ima dobra tribološka svojstva koja se odlikuju niskim vrednostima koeficijenta trenja, što omogućuju primenu takve prevlake u tribomehaničkim sistemima gde je bitan što manji koeficijent trenja.

LITERATURA

- [1] J. H. Ouyang, S. Sasaki: Tribological characteristics of low-pressure plasma-sprayed Al_2O_3 coating from room temperature to 800°C , Tribology International 38, 2005,
 - [2] P. Lenormand, D. Caravaca, C. Laberty-Robert, F. Anasart: Thick films of YSZ electrolytes by dip-coating process, Journal of European Ceramic Society 25 (2005), 2643-2646
 - [3] R. Di Maggio, A. Tomasi, P. Scardi: Characterisation of thin ceramic coatings on metal substrates, Materials Letters 31 (1997) 345-349
 - [4] M. Shane, M. L. Mecartney: Sol-gel synthesis of zirconia barrier coatings, Journal of materials science 25 (1990), 1537-1544
 - [5] S. Ahmaniemi, P. Vuoristo, T. Mäntylä, C. Gualco, A. Bonadei and R. Di Maggio: Thermal cycling resistance of modified thick thermal barrier coatings, Surface and Coatings Technology 190 (2005), 378-387
 - [6] Y. Chen and W. Liu: Preparation and tribological properties of sol-gel zirconia thin films stabilized with ceria, Materials Letters 55 (2002), 407-413
 - [7] www.solgel.com/article/nov00/coating.html
 - [8] www.csm-instruments.com
- Mr Desimir Jovanović, ZASTAVA oružje, Trg topolivaca 4, Kragujevac, Srbija
e-mail: zo.tehnologija@nadlanu.com
 - Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Srbija,
e-mail: nedic@kg.ac.yu
 - Prof. dr Branko Tadić, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, Kragujevac, Srbija,
e-mail: tadic@kg.ac.yu

Kakaš, D., Kovačević, L., Terek, P.

PRIMENA RAČUNARSKIH SIMULACIJA ZA POBOLJŠANJE TEHNOLOGIJE KOKILNOG LIVENJA ALUMINIJUMSKIH LEGURA

Rezime: Poroznost predstavlja jedan od najvećih problema pri proizvodnji odlivaka od legura aluminijuma, i kao takva ova livačka greška će se u nastavku pomnije proučiti. Većina istraživanja vezana za ovu problematiku vezana je za male odlivke jednostavnih oblika sa vrlo malim značajem za praktičnu primenu. Veran predstavnik odlivaka kompleksnog oblika jeste klip koji je u ovom radu ispitivan te osim naučnih doprinosa rezultati su od izuzetne važnosti za primenu u praktičnoj proizvodnji. Poroznost prisutna na odlivku ispitivana je svetlosnim i skeniranjem elektronskim mikroskopom nakon čega je izrađeno nekoliko kompjuterskih simulacija procesa livenja iz razloga utvrđivanja uticaja na nastajanje poroznosti na ovom klipu.

Ključne reči: Poroznost, livenje, klip, računarska simulacija

APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION FOR ALUMINUM PERMANENT MOULD CASTING TECHNOLOGY IMPROVEMENT

Abstract: Porosity is one of the big problems in the aluminum alloy casting industry, and as such this casting defect is closely studied. However majority of research is based on simple castings of little or no practical importance. The investigation described in this paper examined the porosity formation in the cast pistons, which were analyzed as a suited representative of a complex shape casting. For this reason, this research besides scientific can have great practical importance. The found porosity was metallographically examined using light microscopy as well as scanning electron microscopy. After microscopy analysis the several computer simulations were carried out in order to study the influences on the porosity formation in cast pistons.

Key words: Porosity, casting, piston, computer simulation

1. UVOD

Evropska automobilska industrija je pod sve većim pritiskom da obezbedi nižu emisiju štetnih gasova. Još 1998. godine obavezali su se evropskoj komisiji da će do kraja 2008. godine dostići granicu od 140g CO₂ po predjenom kilometru. Ova obaveza sada deluje teško ostvarljiva. Smanjenje težine jeste jedan od najefikasnijih metoda za smanjenje potrošnje i smanjenje emisije gasova. Ona se obično postiže korišćenjem materijala sa superiornim odnosom čvrstoće i gustine, kao što je aluminijum. Stoga je potražnja za aluminijumskim odlivcima u neprekidnom porastu [6]. Smanjenje broja livačkih grešaka prisutnih u odlivcima ima direktnog uticaja na troškove proizvodnje te je istaživanje u ovoj oblasti od izuzetnog značaja.

Jedna od najčešćih grešaka kao i glavni uzročnik nastajanja škarta kod aluminijumskih legura jeste greška tipa poroznosti. Tendencija da se greške elimišu u fazi livenja diktira činjenica da se većina grešaka tipa poroznosti detektuje tek nakon procesa skidanja materijala.

Postoji nekoliko načina nastajanja poroznosti, a to su: poroznost usled uvlačenja gasova, gasna poroznost i poroznost usled skupljanja. Poroznost usled uvalačenja gasova nastaje površinskom turbulencijom liva tokom ulivanja u kalup, dok sa druge strane gasna poroznost nastaje usled izlučivanja gasova u tečnom livu tokom faze topljenja. S' obzirom da je vodonik jedini gas koji se u velikim količinama rastvara u legurama aluminijuma vodonične gasne pore su jedine greške ovog tipa u legurama aluminijuma. Tokom očvršćavanja većine legura aluminijuma prisutno je skupljanje tečnog liva, te je potrebno obezbediti adekvatnu količinu tečnog liva za hranjenje odlivka. U suprotnom nastaje poroznost usled skupljanja. Prema Campbellu [1] postoji pet različitih mehanizama hranjenja odlivka: tečno hranjenje, makroskopsko premeštanje, interdendritsko hranjenje, prskajuće i čvrsto hranjenje. Uzimajući u obzir veliku

toplottu provodljivost i širok interval očvršćavanja legura aluminijuma najveći uticaj na stvaranje poroznosti ima interdendritsko hranjenje. Treba naglasiti da je nastajanje poroznosti usled skupljanja često uzrokovano gasnim porama koje deluju kao inicijalna klica pri nastajanju pore.

Iako je poroznost kao greška u odlivcima bila poprilično proučavana tokom prethodnih decenija, ne postoje univerzalna pravila za predviđanje njenog prisustva u odlivcima [3]. Istraživač Lee je u njegovom radu obrazložio da postoji potpuno ne slaganje i suštinska suprotnost između dve grupe autora. Jedna grupa autora tvrdi da se prisustvo poroznosti smanjuje dužim vremenom očvršćavanja odlivka dok su sa druge strane autori koji tvrde suprotno tj. da se količina poroznosti smanjuje bržim vremenom očvršćavanja odlivka.

U poslednjih dvadeset godina postojao je veliki broj pokušaja da se primene računarske simulacije u ovu svrhu, međutim dobijeni rezultati nisu bili baš sasvim tačni. Činjenica je da je uzrok ovome priroda i kompleksnost procesa livenja. Modelovanje procesa livenja je otežano zbog kompleksnosti fizičkih fenomena koji su prisutni, ne samo što se tiče nastajanja poroznosti već i zbog tečenja fluida, faznih promena, makro segregacije kao i prenosa toplote između odlivka i kalupa itd. Svi ovi fenomeni su međusobno povezani i ne mogu se razmatrati odvojeno. Prema tome za rešavanje problematike poroznosti softversko rešenje u sebi treba da sadrži precizne modele za proračun svih ovih fenomena. Savremeni softveri su postali izuzetno moćne alatke međutim oni su još uvek daleko od perfektnih i tačnih rešenja. Stoga se u proizvodnji nekada i dalje pribegava tradicionalnom "Trial and Error" procesu optimizacije. Primena optičke i skeniranjem elektronske mikroskopije je još uvek nužna alatka za otkrivanje vrste i uzroka nastanka poroznosti, kao i primena lokalne EDS analize koja pruža veoma značajne informacije o hemijskim konstituentima. U konkretnoj masovnoj proizvodnji klipova, kombinovanjem prednosti svih prethodno navedenih metoda, pokušala se smanjiti pojava

poroznosti u odlivcima. Stoga dobijeni rezultati i zaključci pored naučnog značaja poseduju i praktičnu primenu u proizvodnji.

2. METODOLOGIJA

Ovaj klip se izrađuje tehnologijom livenja u kokile. Na slici 1. je prikazan izgled odlivka nakon vadenja iz kalupa kao i dva obradjena klipa posle procesa skidanja materijala. Odlivak ima dva grozda odnosno izrađuju se po dva klipa od jednom i na slici se vidi konstrukcija ulivnog sistema i sistema hranioca.



Slika 1. Odlivak klipa i klipovi nakon mašinske obrade

Legura od koje je izrađen klip je legura Aluminijum-Silicijuma čiji sastav je prikazan u tabeli 1.

Element	Si	Cu	Ni	Mg
w, %	11÷13	0.8÷1.5	0.8 ÷1.3	0.8÷1.3
Element	Fe	Ti	Mn	Zn
w, %	do 0.7	do 0.2	do 0.2	do 0.2

Tabela 1. Sastav legure K AlSi12CuNiMg

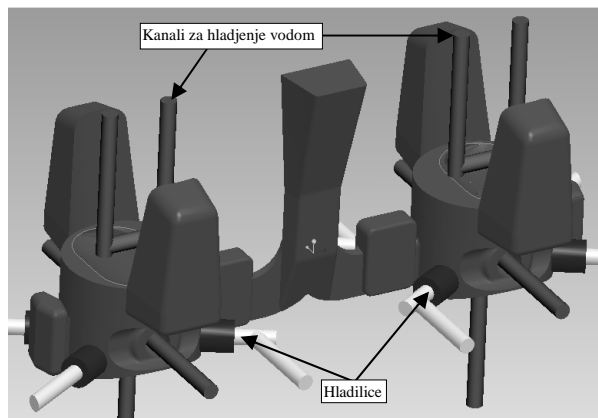
Struktura materijala kao i morfologija poroznosti ispitivana je na poliranim i nagriženim uzorcima iz poprečnih preseka zidova klipa pomoću svetlosnog mikroskopa tipa LEITZ. Dok su se velika uvećanja pora izvodila na skeniranjem elektronskom mikroskopu JEOL JSM 6460 LV sa implementiranim sistemom EDS analize Oxford Instrument energy dispersive X-ray analyzer.

Računarske simulacije procesa očvršćavanja odlivka klipa su izvedene pomoću softvera na bazi metode konačnih elemenata. Termofizičke karakteristike kao i koeficijenti prenosa toplote koji su primenjeni u proračunima prikazani su u tabeli 2.

Termofizičke karakteristike legure	
Likvidus temperatura	565 °C
Solidus temperatura	507 °C
Latentna toplota	500 kJ/kg
Specifična toplota solidus temperature	1.05 kJ/kgK
Koeficijenti prenosa toplote W/m ² K	
Odlivak-kalup	800–1000
Odlivak -kanal za hlađenje vodom	1000–1500
Kalup-hladilica	1000
Hladilica-odlivak	2500-3000
Izolovani hranioci-kalup	20-100
Kalup-okolina	30

Tabela 2. Parametri simulacija

Pri proizvodnji ovog klipa u kokili je primenjen sistem hlađenja vodom koji reguliše način očvršćavanja odlivka. Isto tako su u kalupu ukopane bakarne hladilice, primenjene na zadebljanjima odlivka, slika 2.

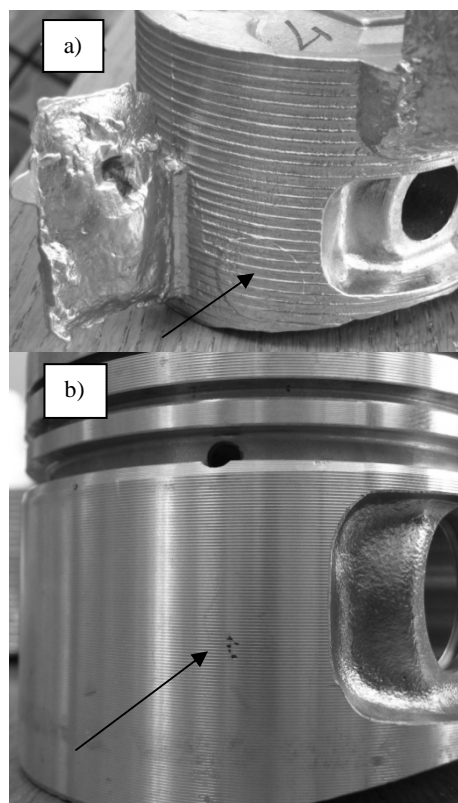


Slika 2. Lokacija kanala za hlađenje vodom i bakarnih hladilica

3. REZULTATI I DISKUSIJA

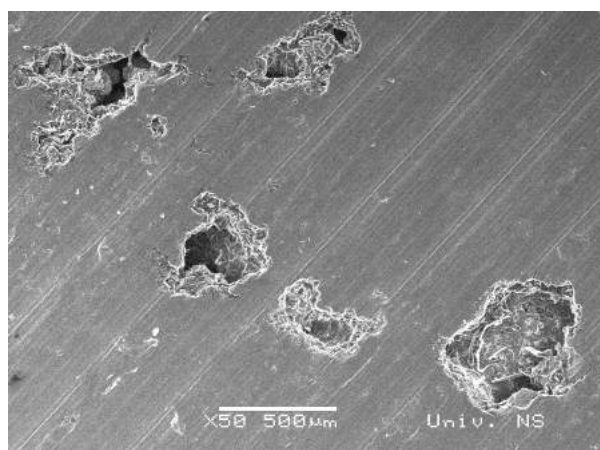
3.1. Eksperimentalan rad

Pojava poroznosti kao greška procesa livenja predstavlja najveći problem pri proizvodnji ovog klipa, slika 3. Kao što se može zaključiti sa slike poroznost se može primetiti tek nakon procesa skidanja materijala. Lokacija njene pojave jeste u neposrednoj blizini ispod površine upravo na mestima gde su postavljene hladilice kod hladnih hranioca. Na slici 3.a) strelicom je prikazana lokacija bakarne hladilice dok je na slici 3.b) prikazana ta ista lokacija na obradjenom klipu sa poroznošću prosečnih dimenzija pora 0,5mm. Ovakva poroznost se pojavila kod 25% proizvedenih klipova što predstavlja škart. Ne postoji garancija da ona nije prisutna i u ostalih 75% izrađenih klipova već ona nije pronađena posle obrade skidanjem materijala.

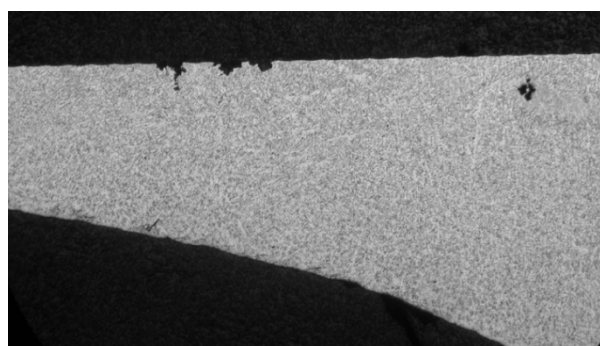


Slika 3. Detalj odlivka i poroznost pronađena posle struganja

Površinska poroznost sa slike 3.a) uvećano je prikazana na slici 4. a uzorci za metalografska ispitivanja isečeni su poprečno na zid klipa preko prikazane poroznosti slika5.

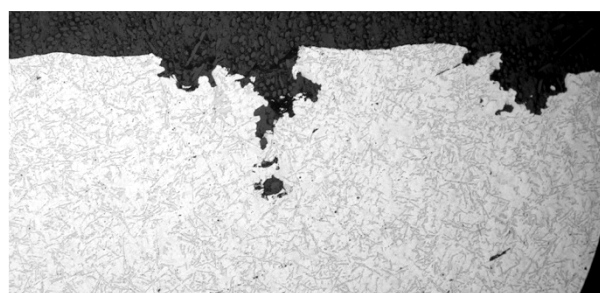


Slika 4. SEM slika pronadjene poroznosti na zidu klipa



Slika 5. Poprečni presek zida klipa

Može se zaključiti da se poroznost pojavljuje u blizini površine te se ona ne može detektovati pre procesa mehaničke obrade klipova, što dokazuje i jedna pora koja je i posle obrade ostala ispod površine. Ono što je evidentno jeste da se poroznost pojavljuje na najtanjem zidu odlivka, dimenzije 4mm.

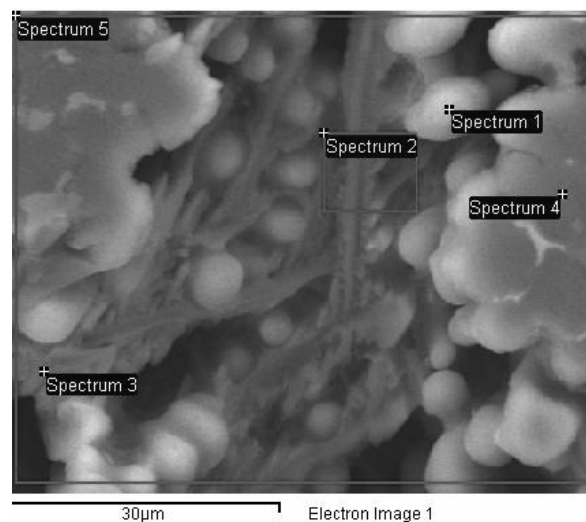


Slika 6. Mikrostruktura zida klipa u okolini poroznosti

Mikrostruktura je ista po poprečnom preseku zida i tipična je za aluminijum-silicijumske legure, slika6. Oblik pora i njihova površina govori da ova poroznost nije nastala usled gasova već zbog skupljanja tečnog metala tokom očvršćavanja. Za detaljniju analizu uzorci sa porama analizirani su na skenirajućem elektronskom mikroskopu.

	Al	Si	Fe	Ni	Cu	Mg	O	Mn
Spectrum1	83.35	1.53	-	-	0.96	-	14.16	-
Spectrum2	66.51	3.22	6.96	11.28	3.69	-	7.34	0.99
Spectrum3	80.3	2.77	0.36	0.49	1.8	0.7	13.57	-
Spectrum4	84.19	1.41	-	0.13	0.96	-	12.96	-
Spectrum5	75.45	5.19	2.69	4.9	3.68	0.54	7.55	-

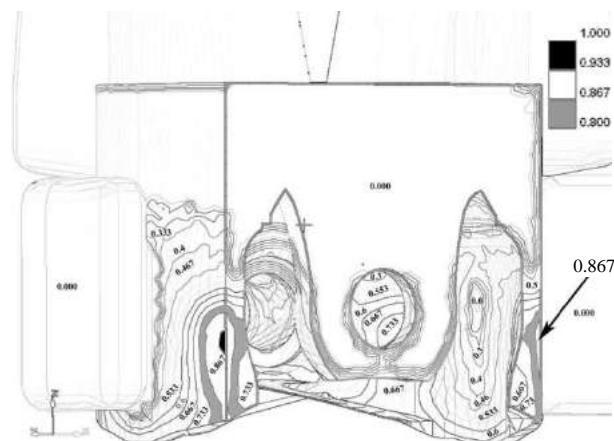
Tabela 3. Hemijska EDS analiza unutrašnjosti pore



Slika 7. Unutrašnjost pore i EDS analiza

Tipičan izgled pora dat je na slici 7. sa koje se može zaključiti da je unutrašnjost pora čisto dendritna. Razmak između sekundarnih grana dendrita govori o velikoj brzini hlađenja i kratkom vremenu očvršćavanja. Hemijski sastav unutar pore prikazan je u tabeli 3. Iz ove analize može se zaključiti da se sastav sekundarne grane dendrita (spectrum 2) bitno razlikuje od kapljica rastopa koje su poslednje očvrsle u ispitivanoj šupljini (spectrum 1 i spectrum 4). To potvrđuje da u ovoj zoni nije bilo dovoljno tečnog liva za hranjenje u trenutku očvršćavanja. Velika količina kiseonika u pori i izvan nje je posledica oksidacije tokom pripreme uzorka za ispitivanje a ne usled rastvorenog gasa u rastopu.

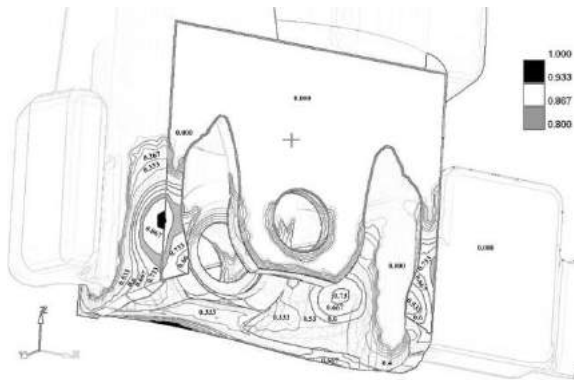
3.2. Računarske simulacije



Slika 8. Udeo čvrste faze 11,4 sec nakon ulivanja-1. varijacija

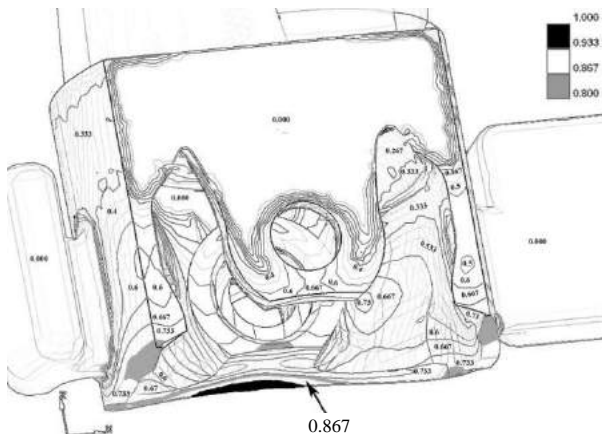
Prva varijacija računarske simulacije-odlivak sa bakarnim hladilicama i ulivkom širine 5mm. Evidentno je da se prvi tragovi očvršćavanja pojavljuju na kontaktu hladilice i odlivka tj. na najtanjem zidu odlivka. U blizini ove zone nalazi se i hranioc koji ima potpuno tečnu fazu u sebi. Na poprečnom preseku zida klipa može se videti da se poroznost formira upravo na mestima gde se prvo pojavljuje 100% očvrsla faza.

Što znači da je poroznost skoncentrisana na spoljašnjem delu zida klipa, slika 8.



Slika 9. Udeo čvrste faze 10,4 sec nakon ulivanja-2. varijacija

Druga varijacija računarske simulacije- je odlivak sa bakarnih hladilicama i ulivkom širine 10mm. Mesto i oblik pojave prve 100% očvrsele faze potpuno se podudara sa prethodnom varijacijom. Glavna razlika ove simulacije je brzina hlađenja i trenutak nastanka prve očvrsele faze 10,4 sec. Ranija pojava očvrsele faze objašnjava se većim ulivkom te i bržim popunjavanjem kalupa tečnim sa livom, slika 9.



Slika 10. Udeo čvrste faze 20,4 sec nakon ulivanja 3. varijacija

Treća varijacija računarske simulacije- odlivak bez bakarnih hladilica sa ulivkom od 10mm. Sa slike 10. se jasno vidi da se prva očvrsla faza pojavljuje na donjem delu klipa i to tek u 20,4 sec od početka ulivanja, što je skoro duplo kasnije u odnosu na prethodne varijacije. Iako je brzina očvršćavanja mala odlivak usmereno očvršćava ka hraniocima i na taj način eliminiše mogućnost za nastajanje poroznosti.

U nastojanju da se obezbedi brže ovršćavanje odlivka i time poveća produktivnost proizvodnje klipova uvedene su hladilice. Prisustvo hladilica unelo je negativan efekat na zonu u kojoj one deluju s' obzirom da su povećale rizik za nastanak poroznosti. Naš eksperimentalni rad je pokazao da prisustvo hladilica nije kritično sa strane toplih hranioca kao sa strane hladnih hranioca. Ovo se može objasniti time da je topao hranioc bliži vetikalnom kanalu i time ima veće temperature liva, a interdendritsko hranjenje je direktno zavisno od temperaturnog gradijenta i brzine hlađenja [3].

4. ZAKLJUČAK

Iz prikazanih rezultata ovog rada mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Poroznost u odlivcima od legura aluminijum-silicijuma predstavlja jednu izuzetno složenu problematiku, pogotovo kada se pojavljuje na finalno obradjenim površinama proizvoda
2. Metalografska analiza pokazala je da se grupa pora pojavljuje ispod površine u zoni dejstva bakarnih hladilica
3. Računarske simulacije procesa očvršćavanja su pokazale bitan uticaj prisustva hladilica na front očvršćavanja odlivka i na intenzitet nastanka poroznosti.
4. Četiri identične hladilice su postavljene da dejstvuju na jedan klip, međutim hladilice locirane bliže hladnom hraniocu su više sklone stvaranju poroznosti od onih bliže toplim hraniocima.
5. Količina poroznosti koja se formira može se regulisati sa različitim dimenzijama ulivaka, odnosno brzinom popunjavanja kalupa, što potvrđuju računarske simulacije.

Na bazi dosadašnjih istraživanja jasno smo konstatovali da je za tačno utvrđivanje uzroka nastanka i eliminacije prisustva pora potrebno kombinovati metode računarske simulacije i detaljno istraživanje putem svetlone mikroskopije, skening elektronske mikroskopije i EDS analize. Da bi se dobio rezultat primenjiv u praksi potrebno je zajedničko istraživanje u industrijskim uslovima i eksperimentalna provera prethodno dobijenih rezultata u centru za livarstvo pri Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

5. LITERATURA

- [1] Campbell J, *Castings*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2003.
- [2] Dash M., M. Makhlof, *Effect of key alloying elements on the feeding characteristics of aluminum-silicon casting alloys*, Journal of Light Metals, vol 1, pp 251-265, 2001.
- [3] Lee Y.W., E. Chang, C.F. Chieu, *Modeling of feeding behavior of solidifying Al-7Si-0.3Mg alloy plate casting*, Metallurgical transactions B, vol 21B, pp 715-722, 1990.
- [4] Minami R., *Research on porosity defects of Al-Si alloy castings made with permanent mold*, PhD dissertation, 2005.
- [5] Shepel S. V., S. Paolucci, *Numerical simulation of filling and solidification of permanent mold castings*, Applied thermal engineering, vol 22, strana 229-248, 2002.
- [6] Wallentowitz H., Leyers J. Parr T. *Materials for future automotive body structures*, Global automotive manufacturing & technology, strana 1-4 2003

Autori: Prof. dr Kakaš Damir, dipl.ing Kovačević Lazar, dipl.ing Terek Pal, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2330

E-mail: kakasdam@uns.ns.ac.yu
lazarkov@uns.ns.ac.yu
terekpal@gmail.com

Којић, Д., Матија, Л., Петров, Љ., Коруга, Ђ.

КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОВРШИНА ПРЕ И ПОСЛЕ ЗАВРШНИХ ОБРАДА ПОМОЋУ МИКРОСКОПИЈЕ АТОМСКИХ СИЛА (ATOMIC FORCE MICROSCOPY - AFM) И МИКРОСКОПИЈЕ МАГНЕТНИХ СИЛА (MAGNETIC FORCE MICROSCOPY – MFM)

Rezime: У овом раду представљамо резултате карактеризација површина различитих материјала (метала, легура и људске коже) добијене методама микроскопије атомских сила и микроскопије магнетних сила (AFM/MFM). Наше анализе јасно указују на могућности анализе топографских особина узорака у опсегу од свега неколико нанометара. Уз примену методе фазног контраста, тачност која се може постићи може бити и мања од једног нанометра. У комбинацији са микроскопијом магнетних сила, долазимо до три комплементарна начина анализе којом се утврђују микро и нано-хрпаваост и магнетизам (у опсегу парамагнетизма и дијамагнетизма) који заједно дају распоред носилаца магнетних особина материјала.

Кључне речи: карактеризација, нанотехнологије, микроскопија атомских сила, магнетизам.

1. УВОД

Циљ овог рада је представљање могућности нанотехнолошке методе Микроскопије Атомских Сила (Atomic Force Microscopy – AFM) у карактеризацији топографских одлика и квалитативних физичких особина површинских слојева материјала. Повољним избором испитиваних узорака (материјала) желимо да покажемо ширину применљивости ове методе како у области техничких тако и у области биомедицинских наука.

Главне предности ове методе, у односу на класичне методе, почивају на трима могућностима:

- високој резолуцији снимања, која може достићи и атомску резолуцију (а упоредљива је са електронском микроскопијом и дифракцијом X-зрацима)
- истовременом упоредном мерењу физичких особина узорака уз приказ њихове топографије (вискоеластичност, електричне и магнетне особине, снимање у флуидима)
- минималном потребом за припремом узорака.

2. МАТЕРИЈАЛ

У овом раду смо се одлучили да одабиром различитих врста материјала покажемо ширину применљивости ове методе на узорке различитих састава и физичко-хемијских особина.

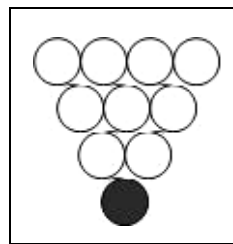
Употребљене су три врсте материјала:

- узорци од метала – циљ је био показати топографију површине код узорака обрађених различитим врстама завршних обрада:
 - уметак од тврдог метала за обраду резањем добијен синтеровањем (произвођач Sandvik),
 - спољна површина кугличног лежача – обрађена брушењем
 - чеона површина микрометарског завртња – обрађена хоновањем
- узорак легуре – PbMnTe – циљ је био показати могућности приказа топографских и магнетних особина
- узорак површинског слоја људске коже – циљ је био показати могућности снимања меких материјала и

приказивање топографских и магнетних особина.

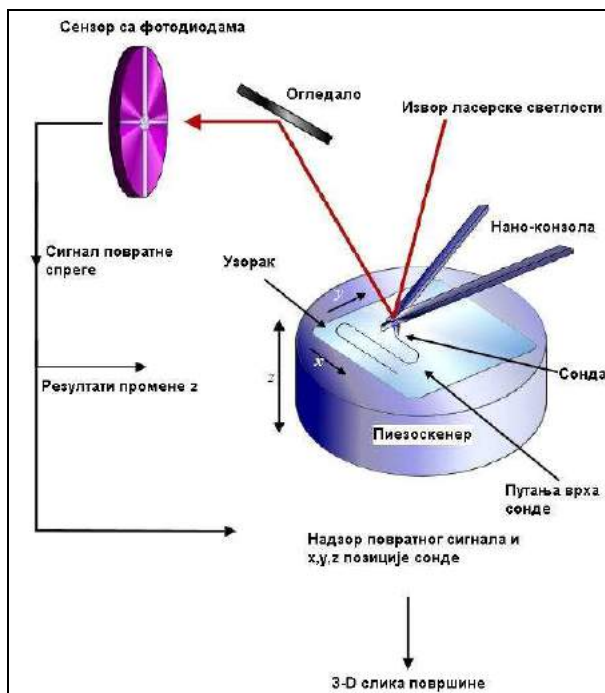
3. МЕТОД

Микроскопија Атомских Сила (Atomic Force Microscope – AFM), је нанотехнолошка метода коју су развили Биниг, Квејт и Гербер још 1986. године [1] и представља модификацију нанотехнолошке методе Скенирајуће Тунелске Микроскопије (Scanning Tunnelling Microscope – STM) [2]. Оба ова инструмента (AFM, STM) припадају класи уређаја који су шире познатији као микроскопи са скенирајућом сондом (Scanning Probe Microscopes – SPM) чији рад је базиран на снимању узорка у режиму тачка-по-тачка. Овај начин рада се код микроскопа атомских сила остварује сондом која на свом крају поседује оштар врх који у идеалном, за сада технолошки недовољно развијеном, случају сачињава само један атом (слика 1.).



Слика 1. Пројектовани изглед врха сонде микроскопа атомских сила. Атоми су представљени кружићима а засенчени кружић представља најистуренији атом врха сонде, који интерагује са атомима узорка.

Током испитивања узорка сонда се доводи у контакт са површином узорка. Врх сонде интерагује са узорком и услед деловања привлачних и/или одбојних сила долази до угибања слободног краја савитљиве нано-конзоле. Угибање нано-конзоле се пажљиво региструје помоћу ласера (слика 2.) односно зрака одбијеног од врха нано-конзоле преко огледала ка сензору са фотодиодама. На основу мерења правца и величине угиба могуће је прецизно реконструисати податке о морфологији површине.



Слика 2. Принцип рада уређаја JEOL-5200.

Узорак се скенира било померањем држача узорка (скенера) у xy -равни било померањем самог врха и нано-конзоле преко области узорка која се скенира. Управљачки систем микроскопа је повратно спрегнут са пиезоелектричним скенером, који управља кретањем узорка у сва три правца x , y и z и коригује позицију у правцу z -осе тако да угиб нано-конзоле увек буде приближно константан. Константност угиба условљава прилагођење скенера топографији узорка што је и циљ, односно метод добијања тродимензионалне визуелизације површине узорка.

Важна особина методе AFM јесте да се подаци о узорку могу добити у условима разноврсних окружења каква су атмосфере различитих гасова и присуство течности, као и у условима контролисане температуре и све то без претходног опсежног припремања површине узорка. То омогућава да се узорци испитују у условима који су блиски или идентични њиховом било природном било експлоатационом стању.

Разликују се два основна режима рада: статички и динамички. Статички режим рада најближе одговара претходном опису методе у коме је нано-конзола у сталном додиру са узорком и „клизи“ по узорку што има за последицу прилагођавање вертикалног померања скенера топографији узорка услед одржања константности угиба нано-конзоле.

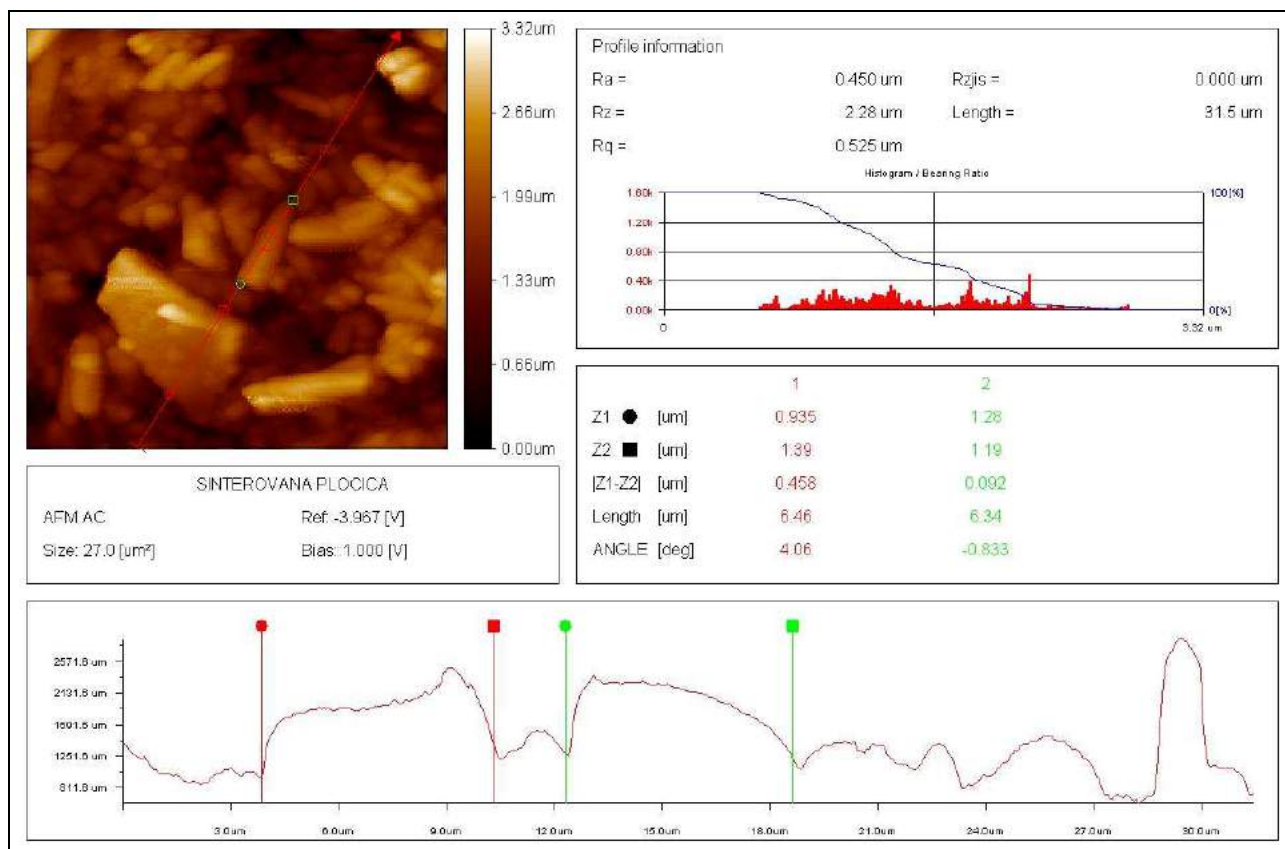
Суштинска разлика статичког и динамичког режима јесте у томе што у динамичком режиму нано-конзола осцилује фреквенцијом блиском резонантној и није у сталном контакту са узорком већ је тај контакт испрекидан тако да конзола „тапка“ по узорку (Tapping Mode). Микроскопија Магнетних Сила (Magnetic Force Measurement – MFM) се спроводи у динамичком режиму и то са посебним конзолама које су пресвучене слојевима хрома и кобалта и које су претходно намагнетисане како би њихове магнетне особине ступале у интеракцију са магнетним особинама узорка. Овом методом се снима градијент магнетног поља узорка. Техника снимања се састоји из тзв. два пролаза: у првом пролазу се снима топографија узорка да би се у другом пролазу сонда кретала на одстојању од узорка, пратећи познату контуру топографије, како би се на довољно великом растојању изоловао утицај одбојних/привлачних сила и регистровало само дејство магнетних сила.

Систем микроскопије атомских сила који је коришћен у овом раду је JSPM-5200, JEOL, Јапан. Нано-конзоле које смо користили су производ фирме MicroMasch и носе ознаку CSC37 за снимање топографије у статичком режиму и NSC36-CoCr за снимање топографије и магнетизма у динамичком режиму.

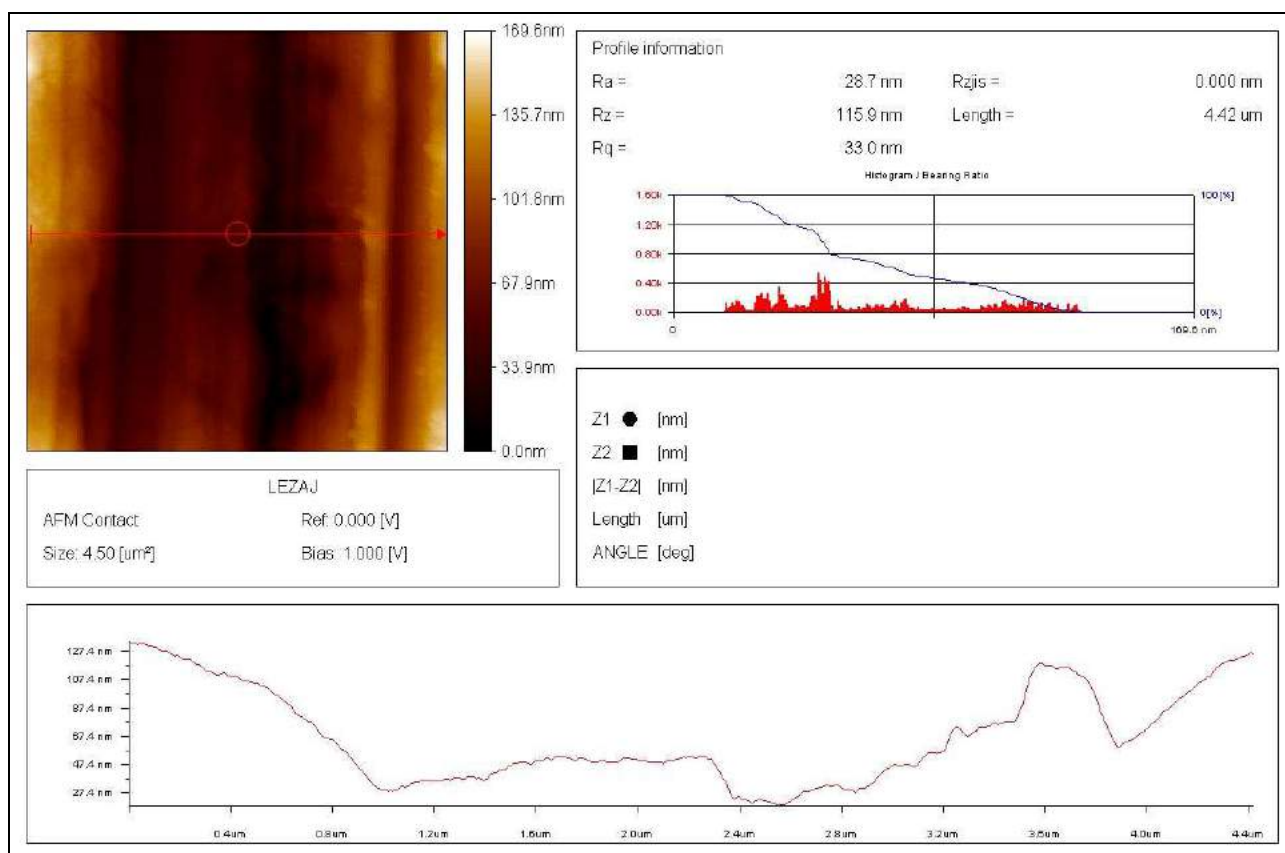
4. РЕЗУЛТАТИ

У наставку дајемо приказе топографије са софтверском анализом погодном изабраних профила на којима се виде нумерички подаци о карактеристикама топографије/градијента магнетног поља.

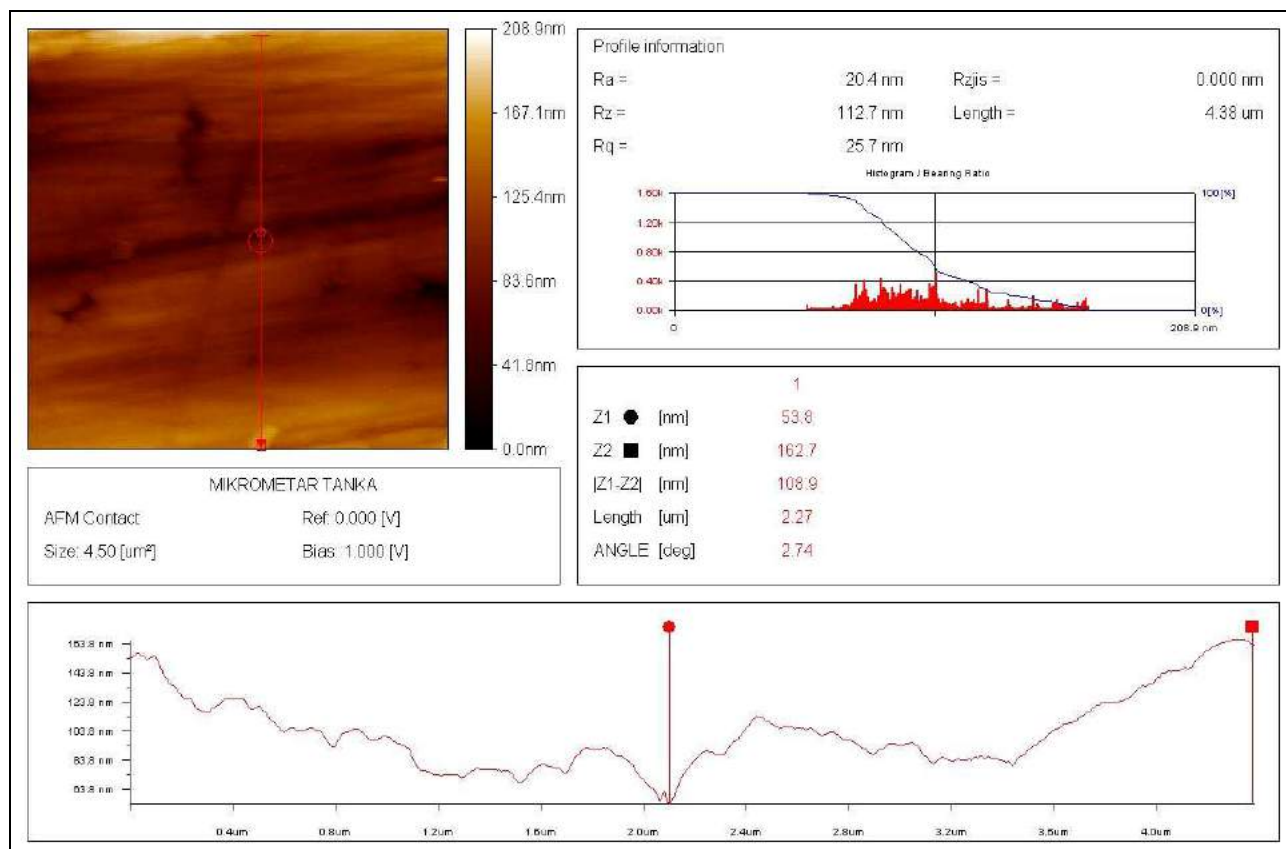
Снимци топографије узорка приказаних на сликама 3, 4 и 5 добијени су у статичком режиму рада док су снимци топографије/магнетизма узорка приказаних на сликама 6а и 7а добијени у динамичком режиму. Упоредно са приказима топографије дата је и димензиона анализа профила ради илустрације прецизности методе.



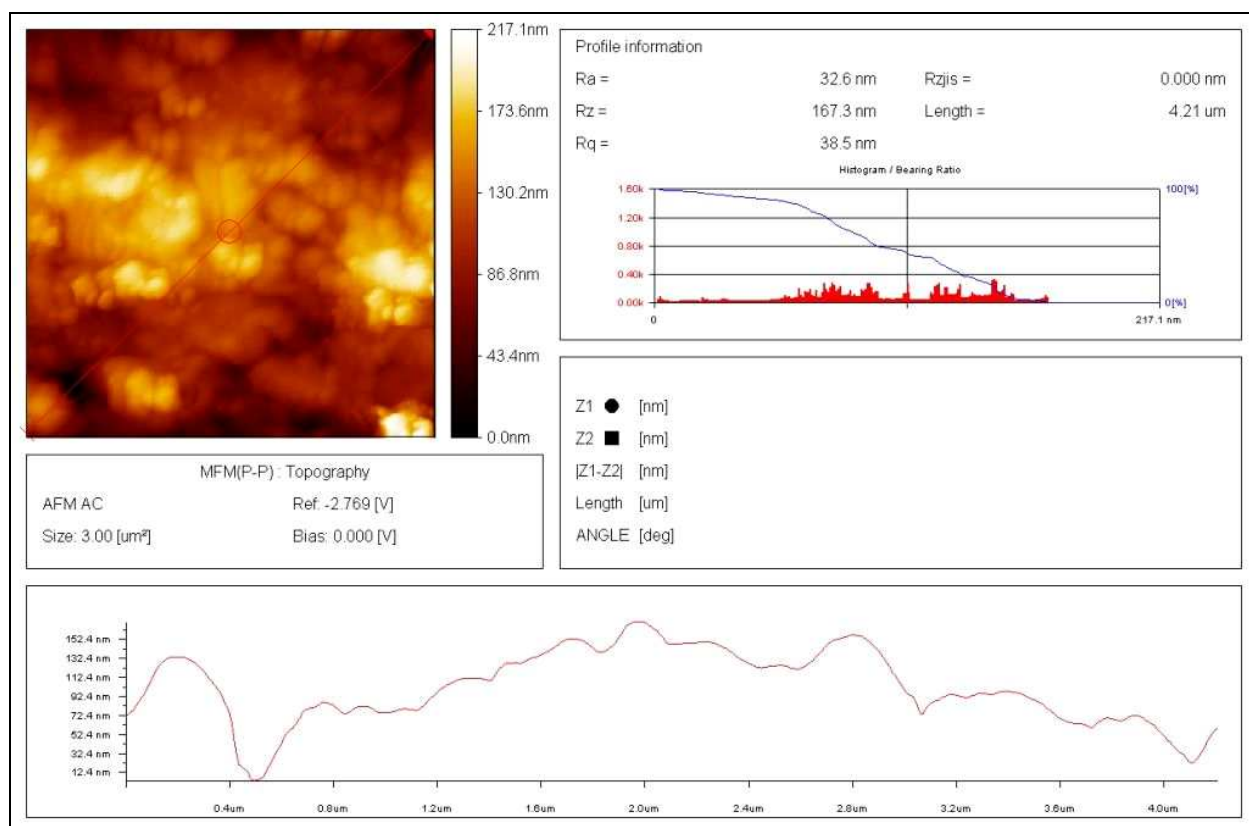
Слика 3. Топографски снимак површине плочице за обраду резањем од синтерованог материјала. Површина скениране области је 27 x 27 μm. У доњем делу слике је приказан профил попречног пресека у дијагоналном правцу.



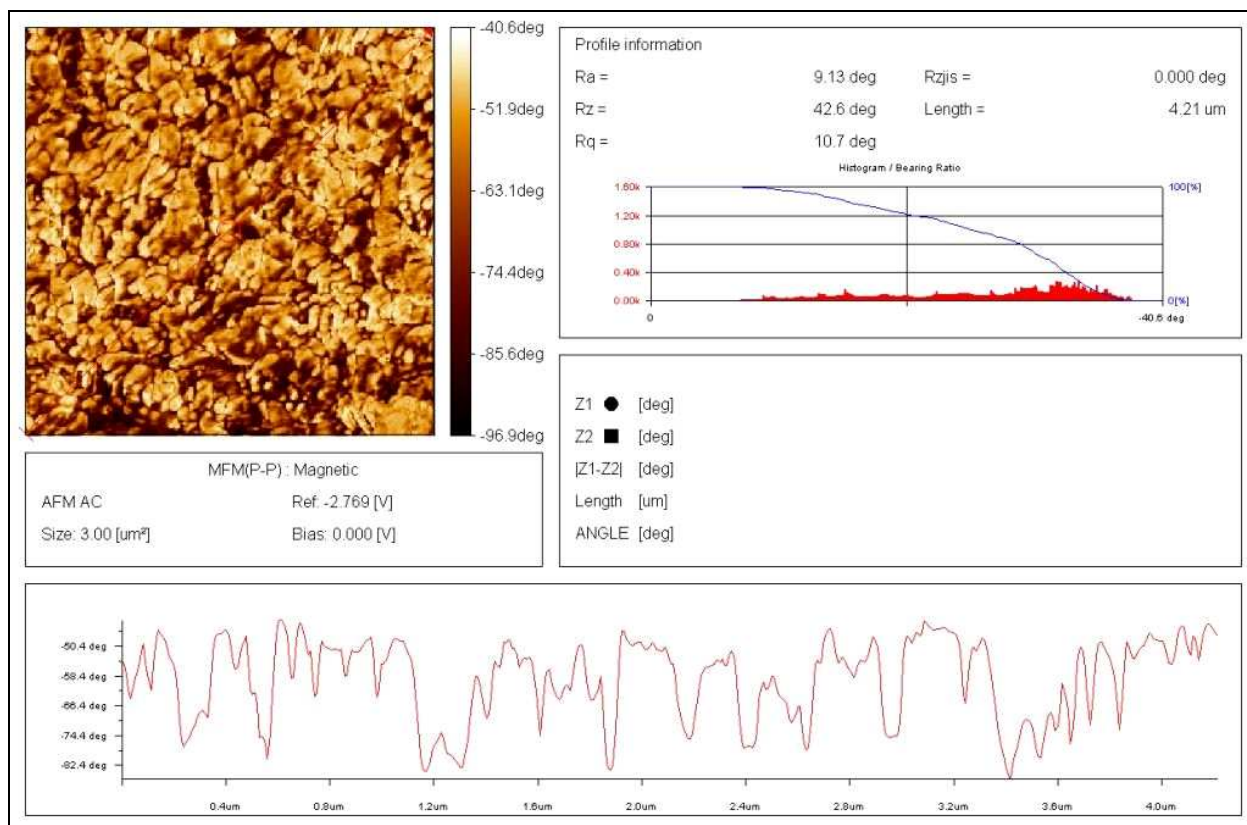
Слика 4. Топографски снимак површине кошуљице кугличног лежaja која је обрађена брушењем. Површина скенираног дела узорка је 4.5 x 4.5 μm. У доњем делу слике је приказан профил попречног пресека у хоризонталном правцу.



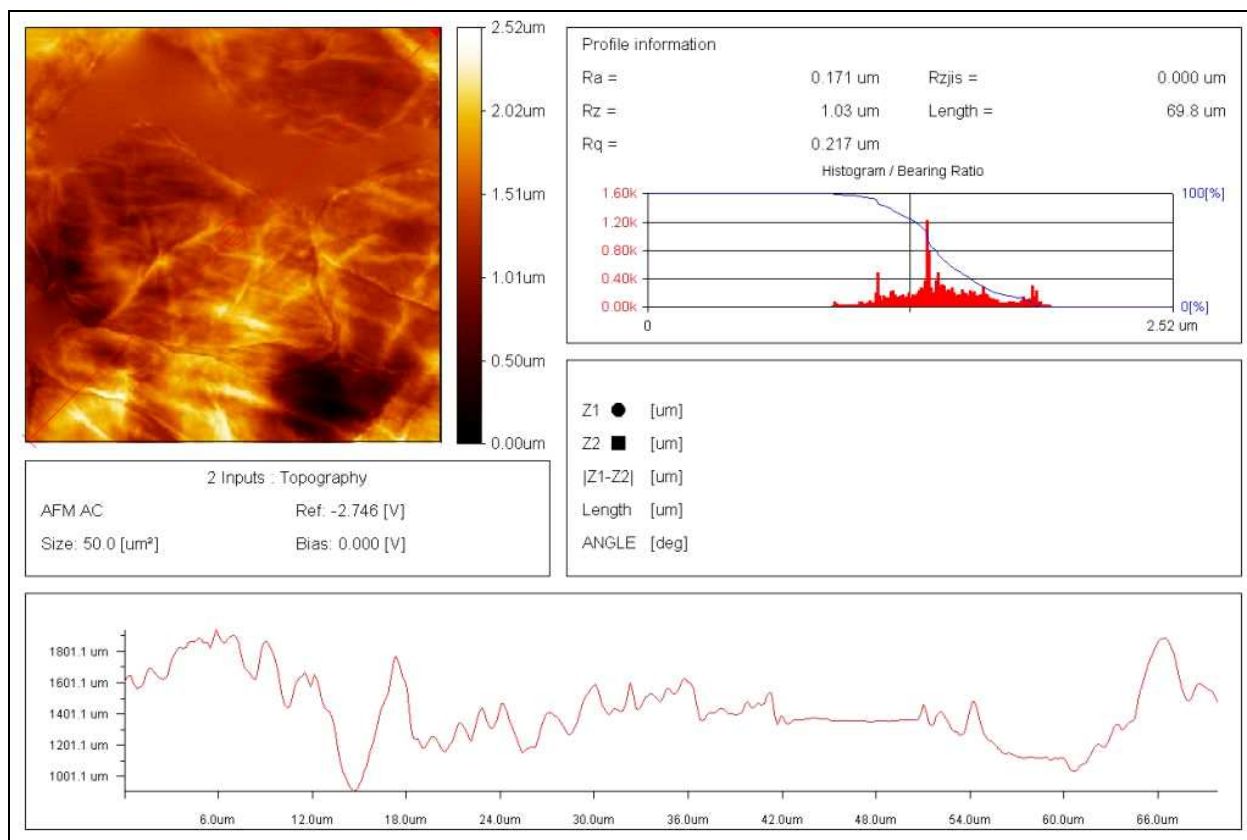
Слика 5. Топографски снимак чеоне површине метрарског завртња обрађене хонованем. Површина скенираног дела узорка је 4.5 x 4.5 μm . У доњем делу слике је приказан профил попречног пресека у вертикалном правцу.



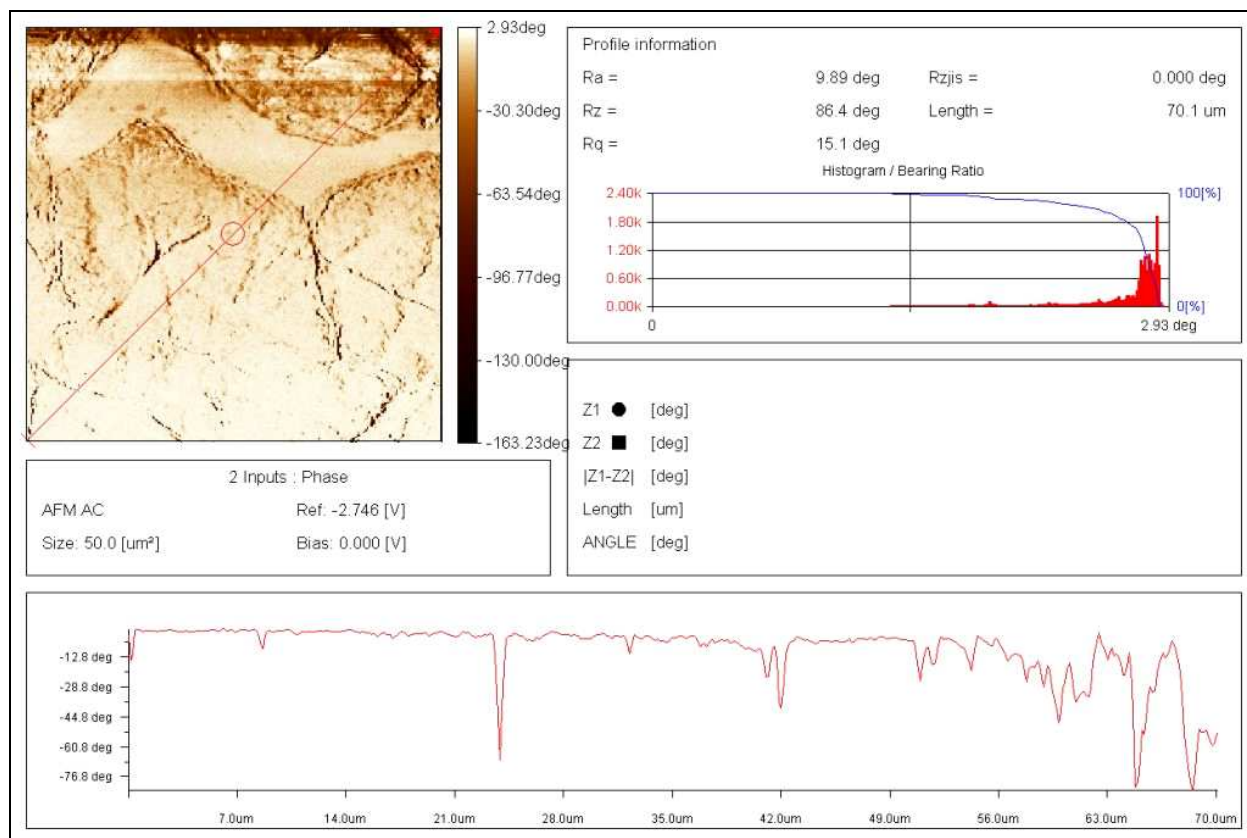
Слика ба. Топографски снимак површине легуре РбМпТе. Површина скенираног дела узорка је 3 x 3 μm . У доњем делу слике је приказан профил попречног пресека у дијагоналном правцу.



Слика 6б. Снимак градијента магнетног поља узорка легуре PbMnTe. У доњем делу слике су приказане вредности градијента магнетног поља на одабраном дијагоналном правцу.



Слика 7а. Топографски приказ хелија са површине људске коже. Површина скенираног дела узорка је 50 x 50 μm . Профил топографије на одабраном дијагоналном правцу је дат у доњем делу слике.



Слика 76. Приказ градијента магнетног поља ћелија површинског слоја људске коже.

5. ЗАКЉУЧАК

Метода микроскопије атомских сила пружа могућности мерења топографских карактеристика са прецизношћу чији се ред величине креће у опсезима нано и пикометра. Са аспекта проучавања завршних обрада металних узорка то значи приказ карактеристика површинских слојева узорка са високом прецизношћу. У спрези са алтернативним режимима снимања, микроскопијом магнетних сила, ова метода је у стању да пружи информације о распореду носилаца магнетних особина материјала и тако пружи додатну структурну карактеризацију материјала са аспекта магнетних особина. Прецизним мерењима утврђено је да је јачина магнетног поља нано-конзоле током мерења износила 72 nT тако да су интеракције са узорком и градијент магнетног поља, у оквиру реда величине, квалитативно описани овим интензитетом поља. Ове изузетно ниске вредности јачине магнетног поља, у спрези са представљеним подацима о градијенту магнетног поља указују на прецизност мерења веома малих величина реманентне магнетизације узорка.

С обзиром на то да је овом методом могуће мерити и електричне и вискоеластичне особине узорка, истичемо да је главна предност ове методе да, осим визуелизације, добијамо и високо прецизна мерења основних физичких величина из величина узорка у опсегу нано и микрометра а са прецизношћу у опсегу нано и пико редова величина. Ове особине показују да се метод микроскопије атомских сила може сматрати системом за карактеризацију материјала који поседује јединствено обједињен скуп квалитета и могућности.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Binnig G., Quate C.F.: *Atomic force microscopy*, Phys. Lett. Rev., 56:9(930-933), 1986.
- [2] Binnig, G. & Rohrer, H.: *Scanning tunnelling microscopy*. Helv. Phys. Acta, (1982), 55, 726-735.
- [3] JEOL *Instruction Manual*, JEOL Ltd., Tokyo, Japan.
- [4] Morita S.: *Roadmap of Scanning Probe Microscopy*, Springer-Verlag, 2007.

Autori: Којић Д., Матија Л., Петров Љ., Коруга Ђ.
NanoLab, Машински Факултет у Београду, Србија,
TeleSkin d.o.o., Београд, Србија
E-mail: dkojic@net.yu

Kosec, B., Brezigar, M., Kosec G., Soković, M.

CASE OF HEAT TREATMENT OF STEEL FORGINGS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract: For economical production of cold formed steel forgings for the automotive industry it is important that they have a long working life. Their corresponding mechanical and thermal properties are achieved by a heat treatment process.

In the Slovenian company ISKRA Avtoelektrika they manufacture, with the processes of cold forming, a great number of a different steel forgings for the Slovenian and European automotive industry. During their exploitation they are exposed to the high mechanical and temperature loads.

As a practical example is an optimisation of the heat treatment procedure for typical cold formed steel forging (pinion) from the ISKRA Avtoelektrika production program.

The practical result of the used heat treatment are the cold formed steel pinions with the surface hardness of approx. 65 HRC, and the case hardened depth of the surface layer with the hardness higher than 551 HV1 approx. 0.7 mm.

On the basis of the results of our technical investigation and corresponding economical studies, the second device (of the same producer, type and capacity) for the heat treatment was installed.

Key words: Steel Forgings, Heat Treatment, Temperature Measurements, Automotive Industry.

1. INTRODUCTION

In the Slovenian company ISKRA Avtoelektrika they manufacture, with the processes of cold forming, a great number of a different steel forgings (Fig. 1) for Slovenian and European automotive industry.



Figure 1. Cold formed steel forgings from ISKRA Avtoelektrika production program.

The cold formed steel forgings are, during their exploitation, exposed to the both: high mechanical and temperature loads.

In the frame of our investigation work, the efficiency and quality of the heat treatment (case hardening) of the one of the most typical cold formed steel forgings from ISKRA Avtoelektrika production program – pinion no. 16.920.633 (Fig. 1; below, the second from the left) has

been analysed. The material of the pinion is 16MnCr5 grade steel (Table 1), produced in Slovenian steelwork Metal Ravne, with well known mechanical and thermal properties.



Figure 2. Device for heat treatment in ISKRA Avtoelektrika.

A device for heat treatment installed in ISKRA Avtoelektrika (Fig. 2) is produced by the company CODERE from Switzerland. It consists of four main parts:

- gas furnace (with pure and high controlled atmosphere),
- primary temperature measuring system (measuring the atmosphere temperature in the furnace),
- manipulating system, and
- hardening vessel (with mineral oil).

Table 1. Chemical composition of 16MnCr grade steel.

	(Wt. %)									
	Element	C	Si	Mn	Cr	Cu	Al	Ni	P	S
Standard		0.14-0.19	<0.40	1.00-1.30	0.80-1.10				<0.035	<0.035
Testing	Analysis 1	0.162	0.241	1.192	1.014	0.049	0.033	0.147	0.013	0.026
Charge	Analysis 2	0.164	0.247	1.167	1.028	0.044	0.035	0.146	0.014	0.027

2. EXPERIMENTAL WORK

For the purpose of temperature measurements of the testing charge a secondary temperature measuring system (see Fig. 2) consisting from three basic elements has been designed:

- even coated Ni-NiCr thermocouples,
- data acquisition module ADAM – 4018, and
- personal computer (with Microsoft Excel program) which recorded the results of the measurements.

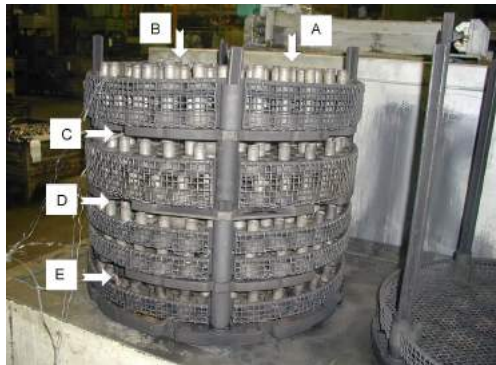
In the frame of our investigation work five testing forgings were bored. Ends (tips) of thermocouples were inserted therein and fixed with wire. Then, in the filling of the basket with the forgings, the five testing forgings were put on precisely defined, pre-selected places in the basket (A, B, C, D and E). Their positions are shown in Fig. 3.

The basket holding the forgings has the form of a cylinder, of dimensions: diameter 780 mm and length 680 mm. The basket can hold approx. 700 forgings, which results in the whole charge mass of some 220 kg, and together with basket approx. 325 kg.

The heat treatment in the case given is case hardening which consists of carburizing and hardening. The prescribed time schedule of the heat treatment process is divided in three phases:

- heating,
- superheating, and
- cooling down (hardening) phase.

The first phase is an even heating of the charge up to



the temperature 920 °C (the prescribed time of heating ranges from 2 to 3 hours). The time set for superheating of the charge in the furnace at 920 °C is 3.5 to 5 hours. The cooling down phase (hardening) of the whole charge follows in the mineral oil (OLMAKAL Rapid 90) with the initial temperature 80 °C approx. 10 minutes.

For the recording of the temperature measurements results a 3-seconds time interval was selected. The ambient temperature cca. 1.5 m from the furnace was measured in the same time intervals on the sixth measuring channel. Complete results of the temperature measurements performed in the heat treatment of the testing charge of the cold formed steel pinions, and detail of the cooling down phase are shown in Fig. 4.

The efficiency and quality of the heat treatment was analysed with the use of:

- chemical analysis,
- hardness measurements,
- measurements of carbon and sulphur content in the case hardened surface layer, and
- metallographic examination methods.

Surface hardness of the testing samples was measured with the Rockwell (HRC) method. All measured values were higher than 62 HRC (between 62.5 and 67.1 HRC).

In the Table 2 are presented the results of the hardness measurements (HV1) through the case hardened surface layer (average values of 10 measurements), and in the Table 3 a carbon and in the Table 4 sulphur content in the case hardened surface layer at different distances from the surface (0.1 to 1.0 mm).

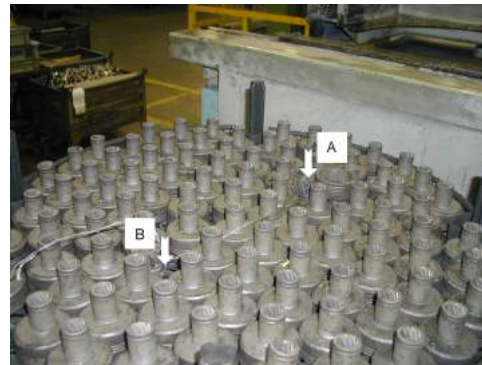


Figure 3. Positions of the samples in the testing charge.

Table 2. Hardness through the case hardened surface layer.

Sample	Hardness (HV1)									
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
A	854	839	838	800	751	684	615	564	524	491
B	846	847	840	824	749	698	630	578	531	498
C	843	805	784	744	658	647	585	548	523	503
D	824	778	740	696	656	602	565	528	509	497
E	861	860	854	827	786	734	669	613	573	534

Table 3. Carbon content in the case hardened surface layer of the samples A, C and E.

Sample	(Wt. %)									
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
A	0.891	0.771	0.745	0.787	0.776	0.744	0.728	0.743	0.724	0.710
C	0.742	0.689	0.658	0.653	0.631	0.569	0.507	0.503	0.448	0.395
E	0.814	0.696	0.683	0.673	0.678	0.599	0.620	0.618	0.630	0.613

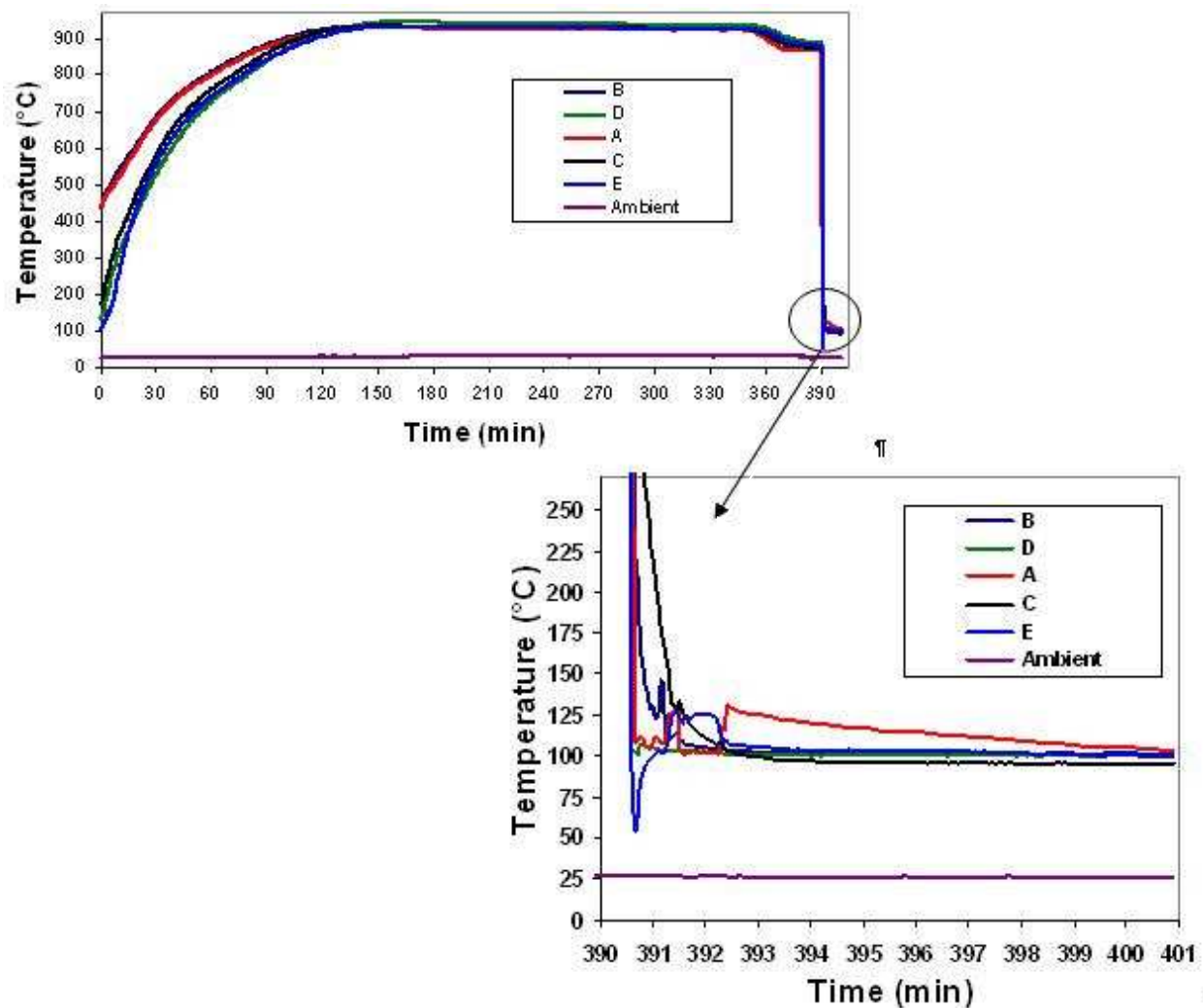


Figure 4. Temperature measurements – testing charge.

Table 4. Sulphur content in the case hardened surface layer of the samples A, C and E.

Sample	(Wt. %)									
	0.1 mm	0.2 mm	0.3 mm	0.4 mm	0.5 mm	0.6 mm	0.7 mm	0.8 mm	0.9 mm	1.0 mm
A	0.072	0.032	0.031	0.032	0.030	0.031	0.031	0.030	0.029	0.026
C	0.052	0.035	0.033	0.028	0.028	0.028	0.028	0.029	0.028	0.028
E	0.057	0.029	0.029	0.028	0.027	0.022	0.021	0.028	0.028	0.027

In the frame of our experimental work also non-destructive metallographic examination by optical microscopy (OM) and scanning electron microscopy (SEM) was applied.

In the Figure 5 is the microstructure (martensitic) of the surface layer of the tooth, and the crack through the surface layer at the tooth of the sample D. The crack length is approximately 650 μm .

3. CONCLUSIONS

A gas furnaces and devices play important role in the heat treatments of various metal parts for the automotive industry. Their thermo technical characteristics have a great influence on the both: product quality and costs.



Figure 5. Sample D – tooth. Surface layer, crack through the surface layer; magn. 500 x; OM.



Figure 6. System for heat treatment after installation of the second device.

In our case the efficiency and quality of the heat treatment procedure were analysed with the use of: chemical analysis, micro hardness measurements, measurements of the carbon and sulphur content in the surface layer, and metallographic examination methods.

The practical result of the before described heat treatment are cold formed steel pinions with the surface hardness of approx. 65 HRC, and the case hardened depth of the surface layer (with hardness higher then 551 HV1) approx. 0.7 mm.

On the basis of the results of our engineering work and economical studies, the installation of the second device (of the same producer, type and capacity), for the heat treatment was done, Fig. 6.

4. REFERENCES

- [1] Adamczyk, J., M. Opiela.: Engineering of Forged Products of Microalloyed Constructional Steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20 (2007) 1-2, 153 – 158.
- [2] Brunčko, M., Anžel, I., Križman, A.: Monitoring of Directional Solidification with Simultaneous Measurements of Electrical Resistance and Temperature, *Materials Characterisation*, 51 (2003) 2-3, 185 – 199.
- [3] Dobrzanski, L.A.: Technical and Economical Issues of Materials Selection, Silesian Technical University, Gliwice, 1997.
- [4] Grabke, H.J.: Carburization, MTI Materials Technology Institute, St. Luis, 1998.
- [5] Jocić, B.: Steels, Slovenian Steelworks, Ljubljana, 1996 (in Slovene).
- [6] Kosec, B., Brezigar, M., Kosec, G., Bernetič, J., Bizjak, M.: Heat Treatment of Cold Formed Steel Forgings for the Automotive Industry, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 22 (2007) 2, 87 – 90.
- [7] Liščić, B., Tensi, H.M., Luty, W.: *Theory and Technology of Quenching*, Springer Verlag, New York, 1992.
- [8] Michalski, L., Eckersdorf, K., McGhee, J.: *Temperature Measurement*, John Wiley & Sons, Chichester, 1991.
- [9] Pavlin, F., Kosec, B., Bizjak, M., Ferfolja, M.C.: Temperature Profile Measurements on Wellman Type Annealing Furnace, *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 46 (1999) 1, 83 - 87.
- [10] Popović, Z.V., Raić, K.T.: *Pećne atmosfere*, Savez inženjera metalurgije Srbije, Beograd, 2006 (in Serbian).
- [11] Raić, K.T.: Control of Gas Carburizing by the Diagram Method, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 22 (1993) 1, 50 – 55.
- [12] Shercliff, H.R.: Modelling and Selection of Surface Treatments for Steels. *Advanced Engineering Materials*, 4 (2002) 6, 397 – 402.
- [13] Thelning, E.K.: *Steel and its Heat Treatment*, Butterworths, London, 1984.
- [14] Trzaska, J., Sitek, W., Dobrzanski, L.A.: Selection Method of Steel Grade with Required Hardenability, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20 (2007) 1-2, 471 - 474.

Authors: **Prof. Dr. Borut Kosec**, University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia Tel.: +386 1 20 00 410, Fax: +386 1 47 04 560. **Matjaž Brezigar**, ISKRA Avtoelektrika d.d., Polje 15, SI-5290 Šempeter pri Gorici, Slovenia. **Dr. Gorazd Kosec**, ACRONI d.o.o., c. B. Kidriča 44, SI-4270 Jesenice, Slovenia. **Prof. Dr. Mirko Sokovič**, University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenia. E-mail: borut.kosec@ntf.uni-lj.si
matjaz.brezigar@iae.com
gorazd.kosec@acroni.si
mirko.sokovict@fs.uni-lj.si

Kovač, P., Radonjić, S.

TEHNOLOGIJA RECIKLAŽE PET AMBALAŽE

Rezime: Za razliku od materijala čije se recikliranje iz ekonomskih razloga vrši još od davnih vremena, recikliranje plastičnih materijala je tehnološki i ekonomski problematično, a u pojedinim područjima još je predmet intenzivnog istraživanja. Koji postupak prerade će se primeniti, zavisi od stepena nečistoće, odnosno sortiranosti otpada i željenog kvaliteta krajnjeg proizvoda. Primenom novih tehnologija reciklaže dobijeni regranulat se može koristiti u ponovnoj izradi ambalaže za pakovanje prehrambenih proizvoda.

Ključne reči: tehnologija, reciklaža, PET ambalaža

RECYCLING TECHNOLOGY FOR PET PACKAGE

Abstract: Recycling of different materials for economical reasons is performed long time ago, but recycling of plastic materials is technologically steel problematic and in some fields is subject of intensive investigation. Which procedure will be applied it depends on impurity and sorting level, or quality of final product. Application of new recycling technologies producer granulate can be used again in production of package for food.

Key words: technology, recycling, PET package

1. UVOD

Za razliku od materijala čije se recikliranje iz ekonomskih razloga vrši još od davnih vremena, recikliranje plastičnih materijala je tehnološki i ekonomski problematično, a u pojedinim područjima još je predmet intenzivnog istraživanja. Koji postupak prerade će se primeniti, zavisi od stepena nečistoće odnosno sortiranosti otpada i željenog kvaliteta krajnjeg proizvoda. Razmatrani postupci prerade predstavljaju samo jedan od načina kojima se ozbiljan ekološki problem plastičnog otpada u Srbiji može u značajnoj meri ublažiti, ali može biti profitabilna industrijska delatnost, što dokazuje praksa razvijenih država u kojima je reciklaža postala ozbiljna grana privrede. Za funkcionisanje organizovanog sistema prikupljanja i prerade plastičnog otpada, pored donošenja sistemskih zakona vezanih za tu oblast, neophodna je izgradnja reciklažne i sakupljačke infrastrukture i savremenih reciklažnih postrojenja, komunikacija sa stručnjacima iz te oblasti i nastavak započetih programa edukacije po ugledu na razvijene države.

2. RECIKLAŽA PLASTIČNOG OTPADA

Postoje tri osnovne komponente u procesu recikliranja, a svaka je podjednako važna za funkcionisanje procesa u celini. To su: **sakupljanje, prerada i tržište** recikliranih proizvoda. Postoji nekoliko kategorija materijala koji se široko recikliraju: staklo, čelik, aluminijum, karton, papir, kao i samo određeni tipovi plastike (PET i HDPE).

Tri su glavna razloga zašto recikliranje plastičnog otpada nije doživelo pun zamah kao drugi materijali:

- Plastični otpad sadrži različite polimere koji su obično međusobno inkompatibilni i zato se moraju razdvajati pre ponovnog korišćenja. Proces odvajanja zahteva sofisticirane tehnike da bi se postigli čisti, potpuno odvojeni polimeri, što je relativno skupno.
- Zbog male težine pojedinačnog proizvoda, plastični otpad je teško sakupljati u isplativim količinama.
- Plastični otpad, kao i ostali otpadi, sklon je zagađenju. Mnogi polimeri apsorbuju zagađivače, pa je često vrlo

teško ponovo uspostaviti njihovo prvobitno stanje. Zato se obnovljeni plastični otpad izbegava koristiti u proizvodnji aplikacija za prehrambene proizvode.

2.1 Mehanički postupci recikliranja plastike

Prerada topljenjem - Regranuliranje termoplasta je jedan od najstarijih i najčešćih postupaka recikliranja otpadne plastike. Sam proces sastoji se od više koraka, uz korišćenje specifične procesne opreme. Nakon sortiranja, usitnjavanja, pranja i razdvajanja plastičnog otpada pomoću posebnih uređaja, izlazni materijal se regranulira, skladišti i dalje koristi kao sirovina u proizvodnji novih plastičnih proizvoda. Mehaničko recikliranje plastike sadrži sledeće osnovne tehnološke operacijama:

1. **Sortiranje** – prvi korak u postupku recikliranja plastike koji se prethodno izvodi u reciklažnim centrima. Pošto je plastični otpad uglavnom heterogen (PET, PVC, HDPE plastika), ručnim ili automatizovanim sortiranjem se iz njega izdvajaju zagađujući i svi ostali materijali, uključujući i razdvajanje različitih vrsta plastike koje se datim programom ne recikliraju.
2. **Mlevenje, pranje i separacija flotacijom** – nakon sortiranja, plastika se melje u granulatu i pere od nečistoća da bi se pripremila za nekoliko narednih postupaka prerade. Prvi od njih je separacija flotacijom, odnosno proces vodenog razdvajanja nepoželjnih vrsta plastike iz toka samlevenog otpada u rezervoaru za flotaciju, usled razlike u gustini.
3. **Sušenje, topljenje, filtriranje i ekstruzija** – komadi samlevene i oprane plastike se suše i tope u ekstruderu pod dejstvom određene temperature i pritiska. Istopljena plastika se zatim filtrira da bi se iz nje uklonile hemijske i fizičke zagađujuće primese, prolazi kroz kalup, da bi se na kraju dobile tanke šipke plastike prečnika 2-5 mm (*spaghetti*).
4. **Granuliranje (peletiziranje)** – zavisno od namene reciklirane plastike, dobijene šipke (kablovi) propuštaju se kroz mašinu za granuliranje (peletizator) sa rotirajućim sečivom koje ih seče na manje delove – granule. Tako dobijeni reciklirani regranulat je polazna

sirovina u proizvodnji novih plastičnih proizvoda. Ako se od istopljene plastike izvlače tanka vlakna za punjenje garderobe ili folije, granuliranje nije potrebno, jer njihovu debljinu određuje oblik kalupa na ekstruderu.

Deponovanje - obzirom da su plastični materijali relativno novi materijali, još uvek ima mnogo otvorenih pitanja u vezi njihovog deponovanja na duži period. Ispitivanja su pokazala da na proces raspadanja ima uticaj debljina plastičnog materijala. Dok su kod folija i tanjih delova nastupili procesi raspadanja, deblji delovi nisu pokazivali vidljive pojave razgradnje. Takođe se ispitivanjima ustanovilo da mikroorganizmi nemaju nikakav uticaj na razgradnju pojedinih vrsta plastičnih materijala kao što su PP i PE, dok kod drugih vrsta, npr. kod polistirena ili poliuretana oni ubrzavaju proces razgradnje.

2.2 Prikupljanje plastičnog otpada

Plastični otpad koji se nađe u čvrstom komunalnom otpadu je zaprljan i pomešan sa ostalim vrstama materijala. Da bi se takav otpad mogao iskoristiti, neophodno ga je prvo prikupiti i pripremiti. U okviru pripreme za recikliranje, plastični otpad je neophodno odvojiti od drugih vrsta otpada, zatim ga identifikovati i razdvojiti po vrstama, usitniti, oprati, osušiti i regranulirati, odnosno preraditi ponovo u ambalažu ili neke druge proizvode

Postupci sakupljanja PET otpada detaljnije su definisani direktivom EU 2004/12/EC kojom se propisuje postupanje sa ambalažom i ambalažnim otpadom. Postoji pet najčešće korišćenih načina prikupljanja PET otpada.

Prvi metod (**Bottle Bills**) je zakonski propisani način sakupljanja plastičnog otpada od strane države, a odnosi se na proizvođače otpada i firme koje se bave reciklažom. Određene firme imaju ugovor sa državom, proizvođačima i prodavnicama pića za sprovođenje programa recikliranja. Ova praksa se pokazala uspešnom u zemljama u kojima već duže vremena postoje zakoni koji regulišu ovu oblast.

Metod **kaucije** - u Skandinavskim zemljama posebno, zatim u Holandiji, Nemačkoj, Švajcarskoj i Austriji, postoji razvijen depozitni sistem i obavezna kaucija na PET boce kao efikasan način za njihovo prikupljanje. Pored većih prodavnica postoje aparati kontejneri za automatizovano prikupljanje boca (**RVM-return vending machine**) koji prilikom vraćanja boce potrošaču izdaju kupon na osnovu koga se može povratiti plaćena kaucija. Na ovaj način postiže se veoma visok procenat vraćanja iskorišćenih PET boca (do 90%) uz njihovu minimalnu kontaminaciju.

Treći i najzastupljeniji metod je **sakupljanje plastičnog otpada sa trotoara (curbside collection)**. U mnogim sredinama omogućeno je prikupljanje ove vrste za individualna domaćinstva, paralelno sa opštom komunalnom službom odnošenja otpada. Kod ovog pristupa sakupljanja otpada, građani stavljaju ispred svojih kuća upakovane plastične boce za recikliranje u kante, kofe ili vreće. Prikupljanje otpadnih PET boca sa trotoara je najpogodnije u naseljima sa individualnim kućama u gusto naseljenim oblastima. Generalno, takav način rada daje dobre rezultate.

Četvrti način sakupljanja PET ali i drugih vrsta otpada su tzv. **centri za odlaganje (drop-off)**. Plastične boce sakupljaju se u posebno izrađenim plastičnim ili metalnim kontejnerima najčešće žute boje koji su postavljeni na određenim mestima u gradu u dogovoru sa urbanistima. To su najčešće mesta na parkinzima, pored škola, parkova, odnosno mesta gde se najviše bacaju iskorišćene PET boce. Pored kontejnera za PET postoje i drugi kontejneri različitih boja za odlaganje ostalih reciklirajućih materijala. Kada se kontejneri napune, PET boce odvoze se na dalju preradu. Ovakav način sakupljanja dao je najbolje rezultate u ruralnim sredinama gde nije moguće primeniti neki drugi metod.

Peti način sakupljanja PET boca je u **centrima za otkup (buy-back centers)**. Plastični otpad otkupljuje se od

stanovništva po tržišnim cenama zavisno od količine i kvaliteta, a ovim poslovima bave se najčešće privatne firme koje otpad dalje prerađuju. Otkupni centri uglavnom zahtevaju da PET boce koje se predaju budu relativno čiste, razvrstane po boji i da je sa njih uklonjen zatvarač jer je on od druge vrste plastike (HDPE).

2.3 Razvrstavanje i baliranje plastičnog otpada

Posle prikupljanja u centrima za predaju ili otkup koji se nalaze u naseljima, PET materijal namenjen recikliranju obično se prevozi do privremenog centra za pretovar (transferna stanica) ili odmah do reciklažnog centra na primarno sortiranje i baliranje.

Prikupljene PET boce mogu se sortirati:

Ručnim odvajanjem PET boca od drugog nepoželjnog otpada iz toka materijala na pokretnim trakama. Radnici na liniji na osnovu izgleda prepoznaju i uklanjaju otpad koji nije za preradu. Svaki radnik može sortirati u proseku 100 kg/h PET otpada. Postoje dva najviše korišćena metoda za ručno sortiranje PET otpada: negativni i pozitivni.

- Kod **negativne metode**, otpadne boce prelaze preko pokretne trake i radnici, koji stoje pored nje, ručno odvajaju sve ono što nije PET. To su komadi drugih vrsta plastike PVC, HDPE, ali i ostaci drugih materijala koji se moraju potpuno odstraniti iz toka prerade.

- Kod **pozitivne metode**, radnici na traci odvajaju svaku PET bocu posebno i odlažu ih na drugu traku koja transportuje otpad direktno u granulator. Istovremeno, radnici odvajaju i boce koje su obojene a koje se posebno prerađuju.

Automatizovanim linijama opremljenim X-ray ili NIR detektorima čija je namena prepoznavanje plastičnih boca koje nisu od PET materijala i njihovo uklanjanje iz toka otpada. Instaliranje ovakvih linija je skupo ali se za kapacitete sortiranja od 1 t/h dobija ušteda od oko 25% energije i radne snage u odnosu na konvencionalno ručno pre-sortiranje PET otpada.

U Evropi radi veći broj ovakvih fabrika za separaciju, dok u Srbiji postoji za sada samo jedno takvo postrojenje u JKP "Čistoća" u Novom Sadu koje radi po evropskim standardima, mada su izrađeni projekti za izgradnju još nekoliko takvih centara u većim gradovima (Beograd, Niš, Vršac, Kraljevo...). Sakupljeni otpad istovara se kamionima direktno u halu gde je smešteno postrojenje za separaciju i baliranje otpada. Po istovaru otpada kreće prva faza procesa u kojoj se specijalnim mašinama otpad gura na pokretnu traku, koja ga prenosi do sortirnice. U sortirnici počinje druga faza procesa gde se iz otpada ručno izdvajaju korisne sirovine, koje se kroz specijalne otvore ubacuju u boksove. Boksovi za izdvojene sirovine nalaze se ispod sortirnice i svaki je predviđen za posebnu vrstu sirovine. Trenutno se izdvajaju papir, plastika, PET ambalaža i metal.

Kada se boks napuni dovoljnom količinom pojedine sirovine, ona se gura specijalnim mašinama na posebnu traku. Korisna sirovina se tako transportuje do prese u kojoj se usitnjava i sabija, a potom balira i vezuje. Ova faza je jedna od najznačajnijih u celom procesu. Svaka vrsta sirovine se posebno obrađuje i balira. Tako se postupa sa papirom, PET ambalažom, plastikom i svim ostalim izdvojenim materijalima.

Ukupne količine izdvojene 2006. godine u JKP "Čistoća" u Novom Sadu, po sledećim parametrima, iznose: **PE folija – 114,3 tone ; Mešana plastika - 14 tona; PET – 340,62 tone.**

Za recikliranje izdvojene plastike koristi se italijansko postrojenje firme RCP i ugovor se zasniva na principu kreditiranja. Po ugovoru, dobijenih 10 tona bala otkupljuje firma RCP po ceni koju sama određuje, što je trgovinska srednja cena. Kako je balirani otpad zaprljan, umesto određene sume za PET, dobijena suma je niža. Ta cena je deo mesečne rate i još uvek nije premašila potrebnu isplatu.



Slika 1. Postrojenje za separaciju i baliranje otpada u JKP "Čistoća", Novi Sad

Na kraju, kao rezultat ovog procesa, dobija se izbalirana sirovina koja je spremna za transport do kupca, odnosno reciklera. Otpad iz kojeg su izdvojene korisne sirovine u sortirnici i koji se više ne može upotrebiti, prolazi ispod magneta koji ima funkciju odvajanja preostalih metala. Izdvojeni metal se takođe ubacuje u poseban boks i dalje prerađuje. Već u prvoj godini rada fabrike ostvaren je zavidan rezultat, koji pokazuje da od 300 tona smeća koje dnevno stigne na Gradsku deponiju u Novom Sadu, gotovo 80% prođe kroz fabriku, a količine izdvojenih sirovina se stalno povećavaju. Efekti rada pokazuju višestruku isplativost ove investicije.

Nakon primarnog sortiranja, PET otpad koji zbog svojih fizičkih karakteristika zauzima veliku zapreminu u odnosu na svoju težinu, šalje se u presu za baliranje. Cilj ovog postupka je smanjenje troškova prevoza plastičnog otpada od reciklažnih stanica do postrojenja za finalnu preradu. Zavisno od vrste i konstrukcije prese, volumen otpada baliranjem smanjuje se 10-15 puta. Presovane PET bale trebalo bi po propisanim standardima i specifikacijama da imaju težinu 300-600 kg.



Slika 1. Baliranje PET ambalaže

3. OSNOVNI PROCESNI UREĐAJI ZA PRERADU RECIKLATA

Recikliranje PET otpada je relativno nov posao i danas se puno ulaže u razvoj tehnologija i uređaja koji bi davali bolje rezultate prerade, uz istovremeno usavršavanje konstrukcija upotrebljenih mašina, jeftiniji tehnološki proces i manju potrošnju energije. Potrebne tehnološke operacije prilikom prikupljanja i prerade različitih vrsta plastičnog otpada propisane su standardima iz te oblasti.

Različiti proizvođači procesne opreme za recikliranje PET otpada razvili su svoje konstrukcije uređaja za sortiranje, granulaciju, pranje, sušenje i ostale postupke prerade. Na većini linija za recikliranje plastike, sortiranje je prvi korak koji se obavlja uz pomoć giljotine za razbijanje baliranih boca, pokretnih traka različitih karakteristika, detektora i separatora metala i rotacionog sita (*trommel*). Nakon sortiranja, plastične boce melju se suvim ili vodenim granulatom i idu na separaciju koja se obavlja pomoću

flotacionih tankova, ciklona ili hidrociklona. Slede različite vrste uređaja za sušenje, kalibriranje, mešanje i doziranje, filtriranje vode za pranje, sve u cilju dobijanja čistih ljuспи veličine 6-12 mm. koje se tope i oblikuju u granule na liniji za peletiziranje. Na kraju, ako se želi dobiti kristalni granulat za proizvodnju novih boca, vrši se oplemenjivanje materijala postupkom polikondenzacije kristala PET-a u tzv. SSP reaktorima, čime se završava proces recikliranja.

3.1 Linija za recikliranje PET ambalaže

Linija za recikliranje PET otpada i dobijanje čistog granulata (*Bottle to bottle* tehnologija), koji ispunjava FDA propise, odnosno koji se dalje može koristiti u proizvodnji ambalaže za prehrambene proizvode, je veoma skupo postrojenje, bar za naše uslove. Da bi njen rad bio finansijski opravdan, mora se obezbediti unapred potrebna količina sirovina za preradu (PET otpad) i sigurno tržište.

3.1.1 Sortiranje

Prva mašina u liniji je **razbijač** baliranog materijala (*bales breaker*) koji služi da otpakuje dopremljene presovane boce. Konstrukcija uređaja sastoji se iz pokretne trake za dopremanje presovanih bala do mosta na kome su postavljena 3-4 valjka za "grebanje" sa međusobno nezavisno, elektomotorno gonjenim vratilima. Postoje i druge konstrukcije ove mašine (*giljotina*), gde se bale razbijaju vertikalnim, periodičnim kretanjem sečiva na mostu.

Sabijene i prilepljene boce se tako razdvajaju, a mašinu opslužuje nekoliko operatera koji odvajaju iskidanu vezivnu žicu sa bala, regulišu brzinu rada ili zaustavljaju mašinu ukoliko dođe do neke nepravilnosti u radu.

Pokretna traka boce, iz kojih su odvojeni metali, transportuje do **rotacionog sita** (*trommel*) koje ima veliki broj funkcija. Prva od njih je odvajanje malih komadića stakla, kamena i sitnih PVC otpadaka nastalih raspadom ovih materijala na suncu. PVC plastika je neotporna na sunčeve zrake, pa dužim stajanjem presovanih bala na suncu ona postaje krta i raspada se. Mehanički se ovde odvajaju i svi oni drugi sitni materijali koji nisu PET, a koji se moraju odstraniti iz toka otpada.

Boce koje izlaze iz bubnja ponovo idu na pokretnu traku gde se vrši njihov konačni pregled odnosno separacija. To uglavnom rade radnici jer su mašine koje bez greške odvajaju 100% samo PET otpad isuviše skupe. Adekvatna obuka osoblja u smislu vizuelne identifikacije karakteristika različitih vrsta plastike je veoma važan faktor u postupku sortiranja.

Za velike kapacitete linija gde radna snaga mnogo košta, praktikuje se *automatsko sortiranje* otpada instaliranjem dve vrste uređaja, *NIR* i *X-ray detektora*. Da bi se smanjio broj potrebnih radnika na traci, ugrađuje se uređaj sa polarizovanim infracrvenim zracima *NIR* (*Near Infrared Rays*) pomoću kojeg se može lako prepoznati koja je boca PET a koja ne.

Ovim uređajem može se odstraniti oko 96% boca koje

nisu od PET plastike. Druga vrsta uređaja su **X-ray detektori** koji prepoznaju i uklanjaju samo PVC boce i njihov učinak je oko 99%. Da bi sortiranje bilo efikasnije, instaliraju se oba uređaja čime se povećava produktivnost ali i cena linije. Praksa je pokazala da je najbolje kombinovati automatsko i ručno sortiranje.

3.1.2 Granulacija

Granulacija je mlevenje PET otpada u granulatorima (mlinovima), da bi se dobili komadići plastike (ljuspe) veličine 6-12 mm, što je standard. Jedan je od osetljivijih delova procesa zbog konstruktivnih karakteristika samog granulatora čija se sečiva brzo habaju i traju veoma kratko, pa se češće moraju menjati. Noževi moraju biti oštri što je moguće duže vremena, u protivnom će komadi materijala posle mlevenja imati nepravilno isečene i neravne ivice za koje se lepe nečistoće, što kasnije otežava njihovo pranje u tankovima za flotaciju i separaciju. Vrsta, dimenzije i kapacitet granulatora koji se koristi za mlevenje plastičnog otpada projektuju se na osnovu potreba linije. Postoje dve vrste granulacije, **mokra** i **suva** a razlikuju se po tipu upotrebljenog granulatora za mlevenje otpada.

Tokom procesa mlevenja, suvi granulator uz pomoć trenja odvaja delimično nalepnice od ljuspi tako da je konačni rezultat samleveni PET, delovi nalepnica od plastike ili papira i komadići drugih tipova plastike (LDPE i PP). Samleveni materijal (odnosi se na suvi granulator) dalje prolazi kroz tzv. **separator nalepnica** odnosno vazdušni ciklon. To je uređaj u kome struja vazduha sa sobom odnosi samlevene nalepnice koje su lakše od PET ljuspi. Pročišćeni PET materijal pada dole u levak do **magacina za prikupljanje**.

3.1.3 Pranje

Sada, kada je PET materijal odvojen od drugih tipova plastike, metala, većeg dela nalepnica i samleven, ide na liniju za pranje. Linija za pranje samlevenog PET otpada ima različite elemente u zavisnosti od toga koliko čist granulat treba da se dobije na kraju procesa. Prilikom pranja, PET ljuspe se u uređaju za pranje moraju na neki način mehanički tretirati određeno vreme, uz prisustvo vruće vode i nekog deterdženta. Sam proces izvodi se u nekoliko koraka uz pomoć više uređaja, dok je finalni deo sušenje materijala.

Samlevene ljuspe koje su mehanički prečišćene, iz magacina pneumatskim transportom idu do dozera i uređaja koji se zove "**wash-dryer**". To je horizontalna centrifuga koja radi sa vodom u prvom delu, dok je drugi deo sušač materijala. Koristi se u cilju odvajanja najvećeg ili celokupnog dela mehaničkih nečistoća koje su još uvek u masi materijala, a moraju se ukloniti pre odlaska na flotaciju.

3.1.4 Peletiziranje

Granuliranje (peletiziranje) je krajnji postupak na reciklažnoj liniji za dobijanje sirovih, amorfni, providnih PET granula (*pellets*). Sastoji se iz termičkog i mehaničkog tretiranja čistih ljuspi koje smo dobili na izlazu sa linije za pranje. PET ljuspe prvo idu u aglomerator gde se fino melju, zatim se u ekstruderu zagrevaju do tačke topljenja, propuštaju kroz fino sito radi otklanjanja eventualnih mehaničkih primesa i na kraju izvlače u štapove koji se hlade vazduhom ili u kadi sa vodenim prskalicama i seku u cilindrične granule željenih dimenzija.

Sledeća i najvažnija mašina u delu linije za granuliranje je **ekstruder**. **Ekstruzija** (istiskivanje) je u suštini metoda kontinualnog brizganja podešena za proizvodnju profila, štapova i cevi. Sirovina koja se neprekidno dovodi iz rezervoara, omekšava se u zagrejanom cilindru. Kontinualnim kretanjem pužnog prenosnika dolazi do istovremenog mešanja mase i njenog transporta ka izlazu iz cilindra. Masa se dalje uvodi u profilisani otvor matrice gde se dodatno zagreva u manjem cilindru. Na izlazu iz matrice proizvod

kontinuirano očvršćava, zadržavajući dati presek. Metoda se primenjuje za izradu profila od polistirena, polietilena, polivinil hlorigida. U ovom slučaju primenjena je za izvlačenje PET plastike u obliku tankih šipki koje se dalje seku u granule.

4. UPOTREBA RECIKLIRANOG PET GRANULATA

U odnosu na novi materijal, regranulat ima približna svojstva, ali oko 30% nižu cenu, pa je njegovo korišćenje u stalnoj ekspanziji što je rezultat upotrebe savremenih tehnologija u recikliranju plastičnog otpada. Postoji više kategorija proizvoda kod kojih se regranulat koristi kao bazna sirovina:

Vlakna – oko 70% reciklirane PET plastike u Evropi koristi se u proizvodnji poliesterskih vlakana za tekstilnu industriju. Dobijeni regranulat se topi i pod pritiskom izvlači u niti čija dužina i debljina zavisi od proizvoda u koji će biti ugrađeni. Vlakna dužine 5-150 mm koriste se kao osnova pri tkanju tekstila, dok se vlakna veće dužine i neravnomerne debljine koriste kao materijal za punjenje vreća za spavanje, igraćaka, zimске garderobe i nameštaja.

Pakovanja – granulat dobijen reciklažom PET otpada široko se koristi u izradi različitih vrsta ambalažnih pakovanja u svim granama industrije. Najširu primenu ima u proizvodnji ambalaže za kućnu hemiju, deterdžente, ali i prehrambenih proizvoda. Pakovanja koja se prave od recikliranog regranulata se ponovo mogu preraditi 5-6 puta i važno je zatvoriti krug upotrebe, reciklaže i ponovnog korišćenja plastičnih pakovanja.

Konstruktivni materijali – za primenu u građevinarstvu i automobilske industriji.

Folije od regranulata su 40% jeftinije od novih aplikacija, a prepoznaju se po tamnijoj sivoj boji. Ostale mehaničke karakteristike izdržljivosti i postojanosti su iste pa se koriste se za izradu džakova, kesa za smeće i hidroizolacionu zaštitu.

Osnove (kord) – za ovu primenu, regranulirani PET mora imati veću otpornost na istezanje i inherentnu viskoznost ($IV \geq 0,85$), što se postiže termičkim postupcima spajanja kratkih lanaca molekula. Od regranulata se prave i različite vrste "plastičnih tkanina" za primenu u industriji i šivenje vreća za transport tekstilnih sirovina

5. ZAKLJUČAK

Razmatrani postupci prerade predstavljaju samo jedan od načina kojima se ozbiljan ekološki problem plastičnog otpada u Srbiji može u značajnoj meri ublažiti, ali može biti profitabilna industrijska delatnost, što dokazuje praksa razvijenih država u kojima je reciklaža postala ozbiljna grana privrede

6. LITERATURA

- [1] Branković, B: "*Postupci i uređaji za recikliranje otpadnog materijala*", Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd, 2002.
- [2] Kovač, P., Radonjić, S.: "*Proizvodi od reciklirane plastike proizvedeni u domaćim pogonima*", Međunarodna konferencija MMA 2006, Novi Sad, 2006

Autori: Prof dr Pavel Kovač, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

Prof dr Snežana Radonjić, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet Čačak, Svetog Save 65, 32000 Čačak
Tel: +381 32 302 763, Fax: 032 342 101
E-mail: pkovac@uns.ns.ac.yu
snezar@tfc.kg.ac.yu

Kuśmierczak, S., Náprstková, N., Holek, M.

GLUING ROUTINES FOR WINDOWS OF RAIL VEHICLES

Abstract: Article describes alternatives and specifications of suitable pasting system for gluing side windows of rail vehicles. Any single alternative is described and compared with each other. And result is optimal solution of pasting system according to quality and proof of glued joint.

Keywords: gluing, side window, material

1. INRODUCTION

Comparing to another technology of jointing (welding, brazing, screwed joint, etc.) gluing was used more occasionally. Thanks to technical progress late glues has a better characteristic and new glues are more power and universal. Nowadays some branch of industry could not go without gluing. Just as production of rail vehicles all around the world.

Manufacturing of rail vehicles consists of large number of different technologies and gluing is only one of them. Just joints by gluing becomes more and more popular and applied. Gluing is very versatile way of jointing of parts of different shapes, thickness and material. Therefore gluing becomes a essential part of rail vehicles manufacturing. Unlike other technologies of jointing, gluing has a lot of advantages.

Despite of other jointing technologies, gluing has a lot of advantages. One of the advantages is look of final parts – this is, according to us – very important nowadays. Especially rail vehicles or other means of transport requires good aerodynamic shape and gluing seems as a best way of jointing parts of body.

To reach required characteristic of glued joint production should be realized at appropriate conditions. It means specific climatic conditions, perfect preparation of glued surfaces and, of course, thoroughly chosen glue. Appropriate glue and preparation of surface is foundation of strength of glued joint. Gluing is highly qualified work and workers must be trained and successfully pass the final exams. Only all satisfied requirements, mentioned above, lead to perfect joint.

To choose appropriate glue we have to respect some constraints. The main constraints are kind of part's material, working load, operating environment and environment where gluing take characteristic – good adherence and cohesion, good electric insulation and easy manipulation requirements. This characteristics preferably fulfils wide range of polyurethane glues. That glues acquits oneself well and therefore are used not only for gluing itself but for jointing.

2. EXPERIMENT

Technique for pasting system of side window for rail vehicles consists of this steps:

- Design and sizing of glued joint.
- Design possible of gluing routines respecting prechosen glues and surfaces settings before gluing.
- Design of testing routines.
- Evaluation of results of test.
- Estimation of possible risks.
- Valuation, selection optimal gluing technology.

2.1 Design and sizing of glued joint

Our task is gluing of glass desk of big side window, dimension of 1750 x 1196 x 6 mm into aluminium frame of vehicle body.

Shape of glued joint

Glass desks are inserted into window frame, see fig.1. In this situation is used lapped joint.

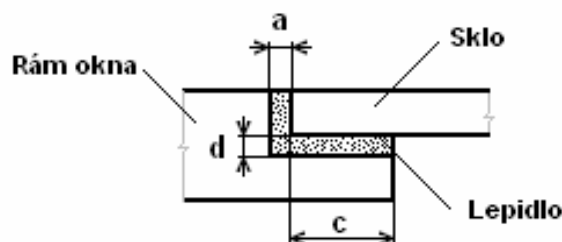


Figure 1. Design of glued bond, a - width of sealing space [mm], c – width of glued plat [mm], d – depth of glued film [mm]

notice: Rám okna = window frame, Sklo = glass, Lepidlo = glue

Sizing of minimal thickness of glued layer

To calculate minimal thickness of glued layer we need to define deformation caused by thermal difference:

$$(1) \quad \Delta s_T = 0,5 \cdot h_s \cdot (\alpha_{AL} + \alpha_{SKLO}) \cdot \Delta T$$

notice: SKLO = glass

Using this formula we received value: $\Delta s_T = 0,67 \text{ mm}$.

Next we need to calculate minimal thickness of glued layer in consideration of prolongation caused by thermal difference:

$$(2) \quad d = \frac{\Delta s}{\text{tg } \gamma}$$

Using this formula we received value: $d = 4,47 \text{ mm}$. This minimal thickness of glued layer we can determine using graph (fig. 2). Mentioned graph says value of minimal thickness of glued layer as equal or greater than 5 mm. This value conforms previous work experience.

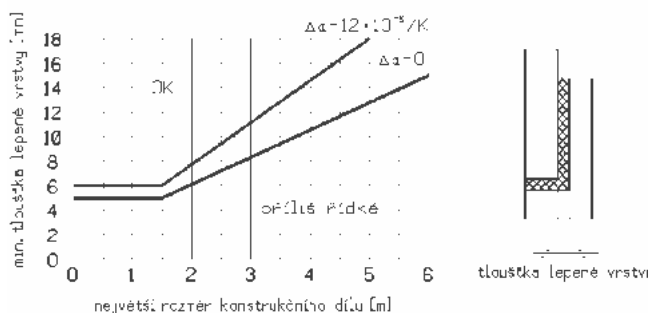


Figure 2. Graph for appointment of minimal thickness of glued layer [1], notice: min. tloušťka lepené vrstvy = minimal thickness of glued layer, the largest dimension of workpiece = největší rozměr konstrukčního dílu, tloušťka lepené vrstvy = thickness of glued layer, příliš řídké = too sparse

Sizing of minimal width of sealing gap

Using graph of minimal sealing gap versus the largest workpiece dimension (fig. 3), coming from experience, requested value of minimal width of sealing gap is equal or greater than 9 mm.

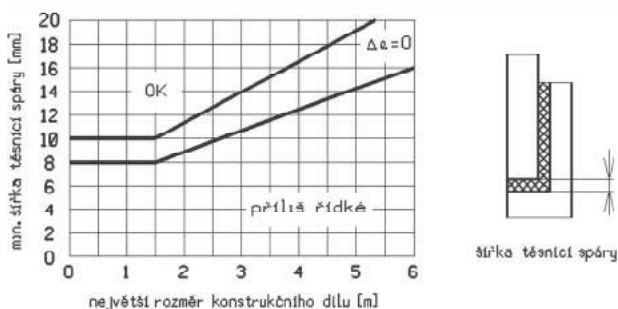


Figure 3. Graph for appointment of minimal width of sealing gap [1], notice: min. šířka těsnicí spáry = minimal width of sealing gap, největší rozměr konstrukčního dílu = the largest dimension of workpiece, šířka těsnicí spáry = width of sealing gap, příliš řídké = too sparse

Sizing of minimal glued area

First of all, we need to calculate total force. We use formula 3.

$$(3) \quad F = p \cdot A = p \cdot h_s \cdot l_s$$

Using formula we receive value: $F=16,95 \text{ kN}$.

Next we need to calculate maximal permissible stress using formula 4:

$$(4) \quad \sigma_{ZUL} = \sigma_{ch} \cdot \frac{f_T \cdot f_M \cdot f_L \cdot f_D \cdot f_G}{S_B}$$

Using this formula we receive value: $\sigma_{ZUL}=0,19 \text{ MPa}$.

And, at the end, we calculate minimal glued area:

$$(5) \quad A_{\min} = \frac{F}{\sigma_{ZUL}}$$

Resulting area is $A_{\min}=89226,32 \text{ mm}^2$

Glued area should be greater than 89226 mm^2 . Considering dimension of glass board, width of glued layer should be equal or greater than 16 mm.

2.2 Selection of glue

We had glues and other agents produced by Dinol or Sika. All of them are described in following paragraphs.

Dinitrol 520 is purification solvent targeted to improvement of adherence of jointed surfaces before gluing using glues produced by Dinitrol. Dinitrol 530 is prime coat which dry surfaces before dab of glue. Dinitrol 515A and Dinitrol 515B are polyurethane hardening, humidity absorbing, constructional glues suitable for dynamically loaded joints of window and bodies of buses, trucks, wagons and rail vehicles etc.. Dinitrol 515A is black paste, but Dinitrol 515B is white paste.

Sika activator is purification and activating solvent targeted to preparation jointed surfaces before gluing by Sikaflex glues. Sika Primer - 206 G+P is black pigmented hardened by moisture fluid solvent intended for preparation of glued surfaces. Purpose is increasing of adherence of glues and UV protection of joints not covered by another protection (ribbon, ceramic frame, coat). Sikaflex 265 is one-component polyurethane, hardened by air moisture constructional glue. It is suitable for dynamically loaded joints of side window and bodies of buses, trucks, wagons and rail vehicles. Thanks to good extinguishness and good UV stability is appropriate for air face gaps.

Dinitrols products requires prime coat instead Sika products do not need it. Possible options of mentioned products are mentioned in table 1.

Gluing routine is simple: dab prime coat on prepared surfaces, apply glues and put workpieces together and, at the end, fill the gaps.

2.3. Testing routines

For glued joints acquires well test of adherence (test of laboratory aging). This test exposes glued joints to controlled environment – according to Sika standard TA 301 (examples are exposed to timely changed climatic condition).

Test examples are similar to sample on fig.4. Shape is defined by norm DIN 50 014. It means, that surfaces of samples correspond with surfaces of freshly produced workpieces. Tested longitude should be at least 50 mm.

Tab. 2 shows results of test of Dinol and Sika products after each of five kind load.

We except two item all other test results with adherence 1. It means fully reliable joints. One combination results with 2 – its adherence satisfies, but there are lower cohesion disturbance (higher percentage of adhesive disturbance). In one case we see detachment of prime coat – it is mentioned by additional letter „P“.

	Dinol	Dinol	Sika	Sika
Surface purificator (activator)	Dinitrol 520	Dinitrol 520	Sika aktivator	Sika aktivator
Prime coat (primer)	Dinitrol 530	Dinitrol 530	Sika Primer - 206 G+P	-
Glue	Dinitrol 515A	Dinitrol 515B	Sikaflex 265	Sikaflex 265

Table 1. Possible product combination

	Surface purificator (activator)	Prime coat (primer)	Glue	Kind of load				
				1.	2.	3.	4.	5.
1.	Dinitrol 520	Dinitrol 530	Dinitrol 515A	1	1	1	1	1
2.	Dinitrol 520	Dinitrol 530	Dinitrol 515B	1	1	1	1	1
3.	Sika aktivator	Sika Primer 206 G+P	Sikaflex 265	2P	2	1	1	1
4.	Sika aktivator	-	Sikaflex 265	1	1	1	1	1

Table 2. Test of adherence

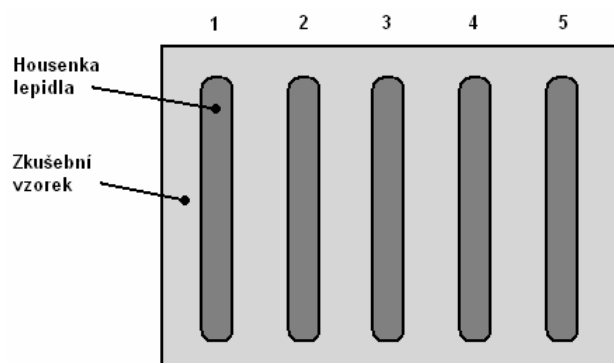


Figure 4. Testing sample for adherence tests [3], notice:
Housenka lepidla = glue seam, Zkušební vzorek = sample

3. CONCLUSIONS

Article describes selection of suitable gluing routine and other auxiliary means produced by Dinol or Sika. Using, that products we set possible variants and then tested for adherence. These tests are considered to be the best way to certify quality of glued joint.

Results of our test proved variant 1 and 2 (Dinitrol) and 4 (Sika). Fourth variant, without prime coat, decreases risks of mistakes concerning work with this prime coat. Additionally it decreases time to dap it and decrease costs.

4. REFERENCES

- [1] Bulletin of working crew of Berlin regional association DVS, *Elastic thick-film gluing in design of rail vehicles*.
- [2] Rybář, J.: „Zavedení lepicí techniky do výroby kolejových vozidel“, Vysoká škola báňská, Ostrava, 2003.
- [3] Siemens. Available on WWW: <http://w1.siemens.com/entry/cc/en/>
- [4] Technical documentation, *proof test of adhesion from TA 301 93 – 04*.

Authors: KUŠMIERCZAK Sylvia, NÁPRSTKOVÁ Nataša, HOLEK Miroslav, FPTM UJEP, Pasteurova7, 400 01 Ústí nad Labem, tel.: +420 475 285 513;
E-mail: kusmierczak@fvtm.ujep.cz, naprstkova@fvtm.ujep.cz

Lazić, V., Jovanović, M., Čukić, R., Nedeljković, B., Vulović R.

REPARATURNO ZAVARIVANJE PRELOMLJENE OSOVINE MOTALICE

Rezime: U ovom radu razmatra se mogućnost reparaturnog zavarivanja prelomljenog vratila motalice za pletenje žičanih strujnih provodnika. Budući da je reč o odgovornom delu motalice, prihvatili smo da propišemo kompletnu tehnologiju reparature ovog veoma oštećenog dela. Posle izvršenog vizuelnog ispitivanja preloma i drugih oštećenja, analizirali smo položaj inicijalne prsline i dinamička i statička opterećenja, koja su dovela do loma vratila. Ocenili smo da se prelomljeno vratilo može reparirati, ali složenom procedurom zavarivanja i termičke obrade.

Ključne reči: zavarivanje, reparatura, EB-umetak, vratilo-osovina motalice.

REPARATORY WELDING OF FRACTURED MANDREL SHAFT

Abstract: In this paper we are concern with possibilities of welding regeneration of fractured mandrel shaft used for spooling of electrical wires. Since that is very reliable part of device we have described complete technology of its reparatory. After visual inspection of fractures and other damages, we have analyzed location of initial crack as well as dynamics and static loads, that caused shaft fracture. Fractured shaft may be repaired with complex procedure of combined welding and thermal treatment.

Key words: welding, reparatory, EB-insert, mandrel shaft-axle.

1. UVOD

Posle detaljne analize mesta preloma i uslova rada ovog dinamički opterećenog dela, propisali smo kompletnu tehnologiju reparature koja obuhvata: predlog postupaka zavarivanja (TIG i REL), izbor dodatnih materijala, način pripreme geometrije žleba na mestu preloma, izvođenje zavarivanja sa tzv. EB-umetkom, proračun parametara zavarivanja za odabrane postupke (TIG za korenske prolaze i REL za prolaze popune i završne prolaze), propisivanje termičke obrade (prethodne i tekuće), redosled zavarivanja, izbor završne mašinske obrade, tekuće i završne vrste kontrole i tsl. Propisana tehnologija reparature sprovedena je u meri koliko je to bilo moguće u proizvodnim uslovima [1].

2. ANALIZA OSNOVNOG MATERIJALA OSOVINE

Hemijskom analizom utvrđeno je da je reč o niskolegiranim čeliku (jednostruko legiranim manganom, koji približno odgovara našem čeliku - Č3100). Procentualni sadržaj pojedinih elemenata dat je u tablici 1 [1, 10].

Mehanička svojstva ovog čelika, za debljinu $s = 16-40 \text{ mm}$, su: $R_m = 470-560 \text{ MPa}$, $R_{0.2} = 280 \text{ MPa}$, $A_5 = 22 \%$.

Niskolegirani čelik ove klase u svom sastavu ima veoma nizak sadržaj ugljenika, dobro je zavarljiv, ali se s obzirom na namenu vratila-osovine preporučuje predgrevanje do 200°C [1, 4, 5, 6, 8].

Tablica 1. Propisan i analiziran hemijski sastav čelika osovine motalice (Č3100) [1, 10]

Hemijski sastav, % (čelik – Č3100)						
	C	Si	Mn	Cr	S	P
Propisan	0.14-0.20	0.20-0.40	0.90-1.20	-	0.050	0.050
Analiziran	0.15	-	0.85	0.090	0.020	-

3. OCENA ZAVARLJIVOSTI

Mada je šuplje vratilo izrađeno od čelika koji spada u klasu relativno dobro zavarljivih materijala, ipak je s obzirom na namenu vratila, dužinu i posebno debljinu zida, neophodno primeniti određene mere predostrožnosti radi ujednačavanja metalurško-mehaničkih svojstava svih zona zavarenog spoja. Te mere se odnose pre svega na predgrevanje, dogrevanje i po potrebi progrevanje (kako celokupnog zavarenog spoja tako i neposredne zone oko njega). Zavarljivost je procenjivana na osnovu raznih literaturnih izraza [4, 5, 6, 8]. Uz velika uprošćenja, zanemarivanjem niza uticajnih faktora, može se prihvatiti da je čelik zavarljiv ako konačna tvrdoća u

ZUT-u ne nadmaši 350 HV, jer se smatra da se do ove vrednosti u fazi hlađenja zavarenog spoja ne formira martenzit. Ova granična tvrdoća odgovara vrednosti $CE = 0.45\%$, pa se usvaja da su čelici sa $CE < 0.45\%$ zavarljivi bez primene posebnih mera, dok su čelici sa $CE > 0.45\%$ uslovno zavarljivi ili nezavarljivi. Iako je vrednost hemijskog ekvivalenta ugljenika po nekim od spomenutih izraza $CE_{(1)} = 0.31$, $CE_{(2)} = 0.31$ i $CE_{(3)} = 0.16$ daleko ispod usvojene kritične granice ($CE = 0.45\%$), ipak je zbog strukturne nehomogenosti zone oko kružnog šava i uslova rada vratila, neophodno primeniti prethodnu i tekuću termičku obradu.

Većina čelika, sklona je pojavi hladnih i toplih prsline, kao i brojnih unutrašnjih grešaka pri zavarivanju. Mere da se one spreče obuhvataju primenu takvih tehnologija zavarivanja koje isključuju transformacionu krtost. Hladne prsline se pojavljuju ako u ZUT-u nastane martenzitna ili donja

bejinitna struktura i istovremeno se pojave velike količine difundovanog vodonika, kao i unutrašnji zatežući zaostali naponi. Dva poslednja faktora uslovljena su konstrukciono-tehnološkim rešenjima, te se na njih ne može znatnije uticati. Stoga, ostaje mogućnost da se spreči pojava struktura kaljenja pri transformaciji, što se uglavnom postiže povećanjem pogonske energije zavarivanja ili predgrevanjem. To znači smanjenjem brzine hlađenja u oblasti najmanje stabilnosti austenita. Gasni mehurovi nastaju ukoliko se zavarivanje izvodi vlažnim i neprosušanim elektrodama.

Metod Seferijana je najviše korišćen metod za proračun temperature predgrevanja navedene klase čelika. Unošenjem podataka za analizirani čelik osovine u formulu Seferijana [4, 5, 6, 8], može se proračunati temperatura predgrevanja i ona za debljinu $s = 27.5 \text{ mm}$ iznosi oko 70°C . Uzimajući u obzir da temperatura predgrevanja ne sme biti viša od M_s temperature (oko $\approx 440^\circ\text{C}$, KH dijagram [7]) i navedene

Tablica 2. Preporučeni parametri zavarivanja

Tehnološki parametri REL zavarivanja					Termička obrada	
Oznaka	d_e, mm	I, A	Vrsta struje	Sušenje elektroda	Prethodna $T_p, ^\circ\text{C}$	Tekuća, $T_{\text{prog}}, ^\circ\text{C}$
EVB 50	3.25	110-140 A	= (+)	400°C/1h	150-200	150-200
EVB 50	4.0	140-180 A	= (+)	400°C/1h	150-200	150-200

5. IZBOR TEHNOLOGIJE REPARATURNOG ZAVARIVANJA

Počinje se od pripreme za izradu kružnog V-žleba mašinskom obradom. Pri tome se bruse sve uočene prsline, tj. izvodi "oslobađanje" svih grešaka i formira žleb za zavarivanje. Preporučeno je da se izvede projektovanje i priprema žleba prema slici 1 i da se izradi tzv. EB-umetak u cilju polaganja korenskog zavara TIG-postupkom [1, 3].

Metod topljivog umetka (EB-umetak) sa korenskim zavarom originalno je primenjen pri izradi veoma odgovornih delova, kod kojih je od suštinske važnosti kvalitet spojeva. Ovaj metod je uglavnom razrađen za sledeće primene: za sklopove pristupačne samo s jedne strane, kad se traži glatka unutrašnja površina bez prokapljina i kada se zahteva bezuslovno visok kvalitet korenskog prolaza (cevni spojevi).

Podrazumeva se da se umetak potpuno pretapa TIG postupkom zavarivanja. Takođe se omogućava deponovanje korenskog zavara koji je gladak i uniforman, čak i kad se zavaruje samo s jedne strane. On obezbeđuje potpuno provarivanje korena u žlebovima pristupačnom samo s gornje strane. Metod umetka je naročito koristan kod sučeonog zavarivanja cevi. Međutim, topljiv umetak mora biti precizno učvršćen i on služi kao podložni prsten i često se specifikira pri zavarivanju cevi.

U mnogim slučajevima izvođenja odgovornih i višeprolaznih šavova sa topljivim umetkom, TIG se primenjuje samo za pripajanje i korenski prolaz. Drugi postupci zavarivanja sa većom količinom deponovanog materijala (brži, produktivniji nego TIG) se primenjuju za preostalo popunjavanje šava.

Tipična procedura za primenu topljivih umetaka jeste spajanje dva preseka cevi u horizontalnom položaju i ona obuhvata sledeće aktivnosti: pažljivo postavljanje kružnih topljivih poluprstena (EB-umetaka) u prethodno pripremljeni V-žleb; pažljivo izvođenje pripojnih šavova spajanjem EB-umetaka i zidova cevi primenom TIG gorionika; jedan od pripojnih šavova mora biti na vezi gde se sučeljavaju krajevi EB-umetaka; posle delimičnog spajanja topljivih

poluprstena i zidova cevi, potrebno je pažljivo izvesti korenski prolaz prema predloženom redosledu zavarivanja i primenom prethodno utvrđenih procesnih parametara zavarivanja (prečnik volframske elektrode: 2.4-3.2 mm, struja

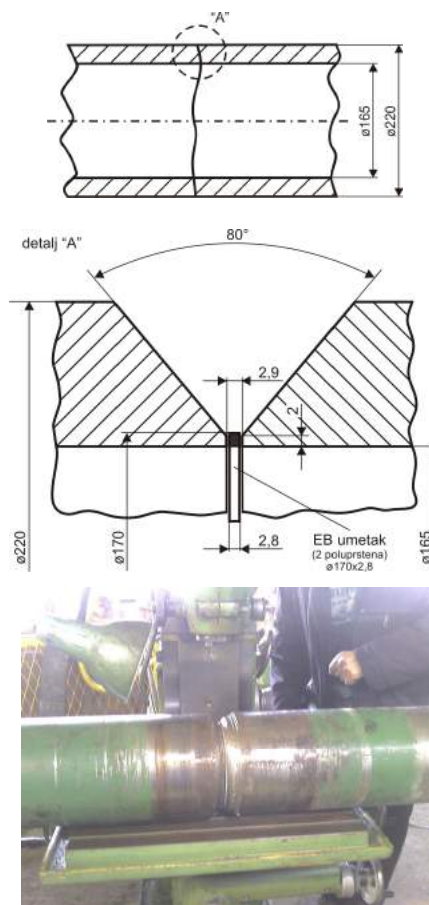
uslove rada dela, to smo konačno usvojili da se temperatura predgrevanja kreće u rasponu: $T_p = 150-200 \pm 10^\circ\text{C}$. Pri tome smo imali u vidu da se sopstveni termički naponi (prelazni i zaostali), moraju svesti na najmanju meru.

4. IZBOR DODATNOG MATERIJALA

Za popunu žleba, posle nanošenja korenskog prolaza TIG postupkom sa topljivim umetkom, preporučuje se REL zavarivanje elektrodom EVB 50 [9 - SZ Fiprom Jesenice].

Preporuka je da se nekoliko početnih prolaza-zavara izvedu TIG-om (vidi sl. 1), zavari ispune bliski korenskom prolazu izvedu elektrodom prečnika $d_e = 3.25 \text{ mm}$, a da se preostali zavari ispune i pokrivni zavari izvedu elektrodom prečnika $d_e = 4.0 \text{ mm}$. U tablici 2 dati su preporučeni parametri zavarivanja u zavisnosti od vrste, odnosno prečnika elektrode.

zavarivanja 100 do 180 A, radni napon 12 do 17 V, polaritet: E-, brzina zavarivanja: $\approx 18 \text{ cm/min}$, protok zaštitnog gasa: $\approx 10 \text{ lit/min}$, veličina mlaznice: 9.5-11 mm; EB-umetak napraviti od niskougljeničnog čelika (Č0146, Č0147, ...) ili od austenitnog nerđajućeg čelika. Pri izradi poluprstena predvideti nastavke na krajevima radi lakšeg postavljanja, koji će biti odsečeni odnosno pretopljeni posle njihovog postavljanja u žleb.



Slika 1. Izgled žleba za zavarivanje osovine sa EB-umetkom

Pored procene zavarljivosti i usvajanja režima termičke obrade, analiziran je i uticaj unosa toplote-pogonske energije zavarivanja na izlazne osobine ZUT-a zavarenog dela (osovine) pomoću odgovarajućih transformacionih dijagrama za taj čelik. Proračunom karakterističnog vremena hlađenja između 800 i 500°C ($t_{8/5}$), za preporučene parametre

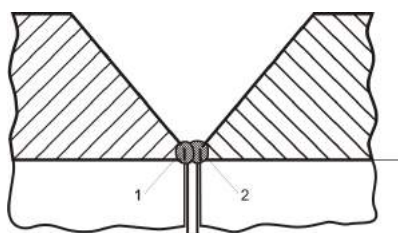
Tablica 3. Parametri zavarivanja REL postupkom i procenjene osobine ZUT-a

d_e, mm	I, A	U, V	$v_z, cm/s$	$q_l, J/cm$	$t_{8/5}, s$	Mikrostruktura ZUT-a	Tvrdoća ZUT-a
3.25	110	24.5	≈ 0.124	17387	11.2-14.15	B+F	210<HV<285
4.0	170	27	≈ 0.160	22950	13.46-17.00	B+F	210<HV<245

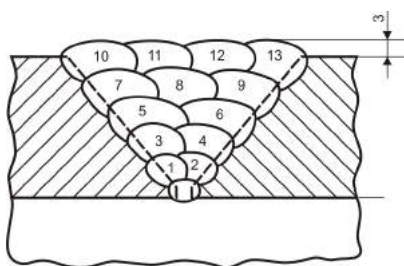
Na osnovu dobijenih rezultata, može se zaključiti da se nezavisno od pogonske energije dobija relativno povoljna mikrostruktura ZUT-a (B+F) i relativno niska tvrdoća. Zato nije neophodno naknadno otpuštanje jer ne nastaju nepovoljne krte strukture koje bi morale da se transformišu u povoljnije strukture. Takođe, povoljna okolnost je i ta što naredni prolazi/slojevi otpuštaju prethodne, a završni neotpušteni slojevi/prolazi se naknadno i mehanički obrađuju.

Preporučuje se da zona preloma osovine bude najpre predgrejana po tačno predviđenoj proceduri. Dakle, tu zonu treba polako zagrevati do postizanja propisane temperature predgreivanja, a potom držati određeno vreme na toj temperaturi – progrevati (dok ceo zid poprečnog preseka cevi ne postigne temperaturu 150-200°C, vidi sl. 6).

Posle predgreivanja, pristupiti nanošenju korenskog zavara TIG postupkom zavarivanja sa EB-umetkom (sl. 2), a potom izvesti popunu žleba REL zavarivanjem (sl. 3). Preporučene parametre zavarivanja prethodno podesiti-proveriti na probnoj ploči. Tek posle postizanja dobrih probnih rezultata, tako određenu tehnologiju "preneti" na realni deo. Za sve vreme reparature potrebno je održavati zadatu temperaturu predgreivanja, tj. deo dogrevati specijalnim grejačima ili gasnim plamenom. Pomoćnim alatima (držačima, pozicionerima, linetama, okretanjem ugaonom brzinom prilagođenoj propisanoj brzini zavarivanja za dati prečnik elektrode i dr.) neophodno je omogućiti da se zavarivanje izvodi u najpovoljnijem položaju za zavarivača ("H"- položaj). Zavarivanje izvesti prema predloženom redosledu zavarivanja (sl. 3 i 4).

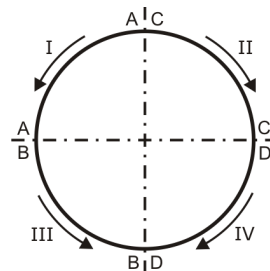


Slika 2. Polaganje korenskih zavara (1 i 2) TIG postupkom zavarivanja



Slika 3. Polaganje zavara ispune REL postupkom zavarivanja (1 do 4 - $d_e = 3.25$ mm; 5 do 13 - $d_e = 4.0$ mm)

zavarivanja, može se proceniti struktura i orijentaciono odrediti tvrdoća u najkritičnijoj oblasti ZUT-a. Unošenjem ovog vremena u rapoloživi KH dijagram za ovaj čelik [7] procenjivali smo strukture i određivali tvrdoću ZUT-a. Na osnovu svega gore iznetog određeni su parametri zavarivanja (tab. 3) kao i proračunato vreme hlađenja [1].



Slika 4. Redosled zavarivanja osovine

Redosled operacija pri izvođenju reparature

- pripremiti žleb prema slici 1;
- izraditi dvodelni EB-umetak prema zadatim dimenzijama i od preporučenog materijala - niskougljeničnog čelika (npr. Č0146, Č0147, ...) ili austenitnog čelika;
- obezbediti dva aparata za zavarivanje: TIG za izvođenje korenskog zavara i REL sa jednosmernom strujom za izvođenje zavara popune-ispune;
- obezbediti uslove za nesmetano izvođenje propisane termičke obrade: predgreivanja, dogrevanja i progrevanja (pomoću elektrotoporskih ili indukcionih grejača ili propanskih gorionika ili oks-acetilenskog plamena), kao i sredstvo za pouzdanu kontrolu temperature;
- nabaviti bazične elektrode (EVB 50) prečnika 3.25 i 4.0 mm, prosušivati ih po odgovarajućem režimu da bi se odstranila vlaga iz obloge (najmanje po jedno pakovanje navedenih prečnika, od oko 5 kg pojedinačno);
- korenski zavar izvesti TIG postupkom pomoću EB-umetka (sl. 2), a zavare ispune nanositi - polagati predloženim elektrodama najpre prečnika 3.25, a zatim 4.0 mm (sl. 3);
- primeniti odgovarajuću tehnologiju blok-sekvenci pri zavarivanju-popuni žleba i pri izradi završnih slojeva zavarivanjem (sl. 4);
- tek nanete zavare-navarene gusenice blago iskivati u odgovarajućem temperaturnom intervalu, primenom specijalnog alata sa zaobljenim vrhom, čime se obezbeđuju najpovoljnije izlazne mehaničke osobine (povećana udarna žilavost). Iskivanje treba da poravna površinu zavara, ali bez usecanja u nju. Da bi se očuvala udarna žilavost, zavare iskivati pri temperaturi iznad 480°C;
- troska se najpre obija na mestu nastavka zavara, a zatim potpuno uklanja čeličnom četkom posle svakog prolaza – sloja i konačno izduvava komprimovanim vazduhom;
- temperaturu predgreivanja povremeno kontrolisati-proveravati termo-kredama, a stalno kontrolisati digitalnim instrumentom sa termoparom ili beskontaktnim instrumentom za merenje temperature;

- neophodno je povremeno (ili neprekidno) dogrevanje (bolje propanskim gorionikom nego oksi-acetilenskim plamenom), da bi se održala zadata temperatura;

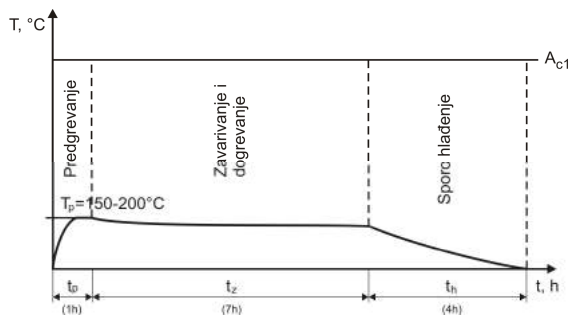
Posle izvedene kompletne reparature zavarivanjem- navarivanjem, regenerisani deo treba kraće vreme progrevati i zatim sporo hladiti do sobne temperature (pokriti celu zonu zavara azbestnim pokrivačima ili celu zonu zavarenog spoja pokriti toplim peskom (sl. 5));



Slika 5. Izgled mesta hlađenja zavarenog spoja

Za ovu vrstu odgovornih spojeva obavezna je kontrola: prethodna, tekuća i završna. U prethodnu kontrolu spadaju proveru osnovnog i dodatnog materijala, ocena stanja zavarivačke opreme, uvid u osposobljenost zavarivača i proveru dimenzija žleba i saosnosti jednog i drugog dela prelomljene cevi. U tekuću kontrolu treba svrstati sledeće: proveriti da li se pravilno upotrebljavaju predviđene elektrode po vrsti i prečniku, kao i režimu sušenja, da li je pravilno odabran napon i polaritet struje, da li se poštuje redosled polaganja pojedinih zavara i odsečaka, da li se dosledno čisti troška posle svakog zavara; Završna kontrola obuhvata: vizuelnu kontrolu, kontrolu pomoću lupe, magnetnog fluksa, penetrantnih tečnosti i ultrazvučne defektoskopije.

Kompletan termički ciklus reparature prikazan je na slici 6, a izgled repariranog i mašinski obrađenog dela na slici 7.



Slika 6. Kompletan ciklus reparature osovine motalice



Slika 7. Izgled reparirane osovine motalice

6. ZAKLJUČAK

Ceo postupak reparature prelomljene osovine, uz ranija stečena iskustva pri reparaturi batova, zupčanika ekscentar prese, ramova presa i nekih radnih delova građevinskih mašina, omogućio nam je da modeliramo ovaj složeni postupak kao putokaz za buduće reparaturne radove na delovima sličnog oblika i dimenzija [2]. Ipak, bez obzira na ovu činjenicu, svakoj pojedinačnoj reparaturi mora se prići na poseban način, a ne kao rutinskom zadatku. Primenom najnovijih saznanja, savremenih tehnologija i dodatnih materijala, realno je očekivati i višestruke povoljne efekte regeneracije delova (koji se ogledaju pre svega u uštedi skupog uvoznog dela - osnovnog materijala, skraćanju vremena zastoja, rekonstrukcije nekih tehničkih rešenja i dr.).

U cilju uspešne reparature osovine motalice, mišljenja smo da kompletan postupak regeneracije i termičke obrade treba izvoditi prema ovde predloženoj tehnologiji, uz konsultaciju i eventualni nadzor lica koja su ovu tehnologiju ovde predložili.

Sprovođenjem ovako definisane tehnologije, osovina motalice je uspešno regenerisana, a mašina - motalice je uspešno osposobljena za rad. Primenom ove napredne proizvodne tehnologije, značajno je skraćeno vreme zastoja, sniženi troškovi nabavke i izrade nove osovine, sniženi troškovi reparature koja je sprovedena u sopstvenom pogonu, tj. ostvareni su značajni tehnno-ekonomski benefiti.

7. LITERATURA

- [1.] Jovanović, M, Lazić, V.: *Reparatura oštećene osovine motalice zavarivanjem* – Elaborat, HOLDING "Kablovi" a.d., Februar 2008, Jagodina.
- [2.] *Reparaturno navarivanje oštećenih zuba glavčine kovačke prese*, Održavanje u funkciji zaštite životne sredine, "KOD 2005", Bar.
- [3.] Metals Handbook: *Welding and brazing* ASM, Metals Park Ohio, USA, 1979.
- [4.] Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.: *Tehnologija zavarivanja-priručnik*, samostalno autorsko izdanje, Kragujevac, 1996.
- [5.] Jovanović, M., Lazić, V.: *Praktikum REL i MAG/MIG zavarivanja*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2007.
- [6.] Jovanović, M., Lazić, V.: *Praktikum gasnog (GPZ) i argonskog (TIG) zavarivanja*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008.
- [7.] Seyffarth, P., Kusch, G.: *Schweiß - ZTU - Schaubilder*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1982.
- [8.] Grupa autora: *Poradnik inżyniera-Spawalnictwo*, WNT, Warszawa, 1983.
- [9.] Katalozi i prospekti proizvođača elektroodnog materijala: SŽ Fiprom- Jesenice, FEP-Plužine, Elvaco-Bijeljina, Esab-Goteborg, Lincoln Electric-SAD, ...
- [10.] Standardi: JUS, DIN, UNI, IVECO.

Autori: V. Lazić, Error! Bookmark not defined. M. Jovanović, R. Čukić, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Dr Branislav Nedeljković, Zastava automobili, PC Cenlab Zastava, Trg topolivaca 4, 34000 Kragujevac, Mr Radun Vulović, Zastava automobili, Direkcija kontrole, Trg topolivaca 4, 34000 Kragujevac.

Lazić, V., Vuković, M., Jovanović, M., Aleksandrović, S., Živković, M.

DEFINISANJE PARAMETARA TAČKASTOG ZAVARIVANJA PRI IZRADI ODGOVORNIH SKLOPOVA AUTOMOBILA

Rezime: U ovom radu sprovedena su opsežna teorijska, eksperimentalna i numerička istraživanja u cilju utvrđivanja najpovoljnije tehnologije tačkastog zavarivanja odgovornih sklopova automobila. Pre izbora tehnologije zavarivanja, najpre su određena najvažnija mehanička svojstva osnovnog materijala u različitim pravcima i na većem broju epruveta. Mikrostruktura tačkastog spoja je određivana na metalografskim šlifovima, pripremljenim iz tačkasto zavarenih spojeva. Ispitivanja zatezanjem i „metodom na moment uvijanja“ su poslužila za izbor najpovoljnijeg režima tačkastog zavarivanja, kao i za verifikaciju i poboljšanje numeričkog modela.

Ključne reči: tačkasto zavarivanje, režim zavarivanja, eksperiment, numerička metoda.

SPOT WELDING PARAMETERS DETERMINATION DURING FABRICATION OF RELIABLE AUTOMOTIVE ASSEMBLIES

Abstract: Detailed theoretical, experimental and numerical investigations are carried out in this paper with the aim to determine the most appropriate technology of spot welding of reliable automotive assemblies. Before choosing the weld technology, we first determined the most important mechanical properties of the base material in different directions and on a great number of test workpieces. Microstructure of the spot welded joint is determined on metallographic samples obtained from the spot welded joints. The tensile test and "torsional moment method" were used in choosing the most suitable spot welding regime, they were also used for verification and improvement of the numerical model.

Key words: welding spot resistance, regime welding, experiment, numerical method.

1. UVOD

U ovom radu, kao što je spomenuto, sprovedena su opsežna teorijska, eksperimentalna i numerička istraživanja u cilju definisanja optimalnih parametara tačkastog zavarivanja pri izradi odgovornih sklopova automobila na preklapno tačkasto zavarenim spojevima i različitim debljinama limova. Teorijska i eksperimentalna istraživanja poslužila su kao osnova za verifikaciju, razvoj i dogradnju primenjenog numeričkog modela.

Takođe, na zavarenim spojevima izvedena su i metalografska ispitivanja radi utvrđivanja oblika i geometrije zavarenog spoja, merenja tvrdoće i ocene mikrostrukture karakterističnih zona tačkasto zavarenog spoja.

Pored ovih uobičajenih-standardnih ispitivanja, u ovom radu je posebno opisan novi originalni metod kontrole kvaliteta preklapnog tačkastog spoja, pri čemu je kriterijum kvaliteta bio izmereni moment uvijanja, odnosno prečnik prekinutog mesta spoja livenog jezgra (sočiva).

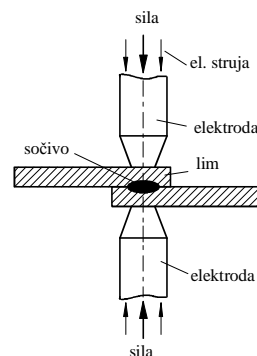
Za date uslove eksperimentalnih istraživanja, uporedo su izvođeni i numerički proračuni metodom konačnih elemenata radi provere saglasnosti numerički dobijenih rezultata sa eksperimentalnim. Zadatak je bio da se ustanovi korelacija ove dve metode radi utvrđivanja najpovoljnije tehnologija tačkastog zavarivanja [1, 3, 4, 5].

2. OSNOVI TAČKASTOG ZAVARIVANJA

Elektrootporsko tačkasto zavarivanje ima najveću primenu pri izradi školjki automobila, kabina kamiona i drugih proizvoda od tankog lima. Postupak se svrstava u termo-mehaničke metode zavarivanja (sl. 1), jer se čvrst spoj između preklapljenih delova ostvaruje kombinovanim dejstvom toplote i sile pritiska. Mada se najviše izrađuju spojevi od dva lima, moguće su i kombinacije sa više limova. U

svakom slučaju kroz pritegnute delove se propušta električna struja velike jačine, niskog napona i u toku veoma kratkog vremena.

Probna zavarivanja preklapnih spojeva izvođena su na osnovu usvojenih preporučenih parametara zavarivanja: prečnika vrha elektrode (d_e , mm), jačine struje zavarivanja (I_z , A), vremena zavarivanja (t_z , per) i sile na elektrodama (F_z , daN). Posle zatezanja i kidanja probnih uzoraka definitivno su usvajani parametri zavarivanja ili je izvođena njihova korekcija. Kriterijum je bio taj da sila kidanja mora nadmašiti minimalnu standardnu silu za datu debljinu i vrstu materijala [8, 9, 10, 11, 13].

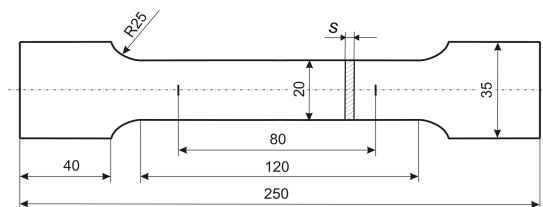


Slika 1. Shema tačkastog zavarivanja

3. ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA OSNOVNOG MATERIJALA

Pre izbora tehnologije zavarivanja, najpre su određena najvažnija mehanička svojstva osnovnog materijala u različitim pravcima i na većem broju epruveta. Određivani su: zatezna jačina, napon tečenja, izduženje, modul elastičnosti,

kao i "n" i "r" faktor [12]. U našem slučaju probne uzorke smo sekli iz table lima u tri pravca: u pravcu valjanja lima (0°), pod uglom (45°) u odnosu na pravac valjanja lima i upravno na pravac valjanja lima (90°) (sl. 2).

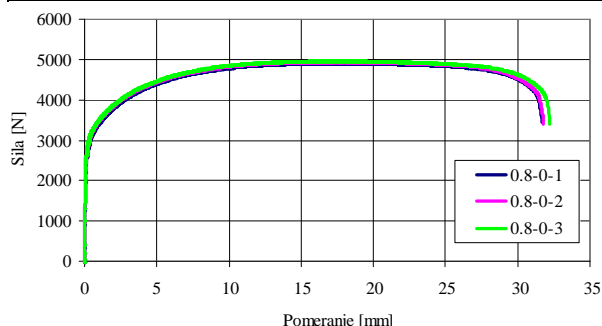


Slika 2. Izgled i dimenzije epruvete za određivanje mehaničkih karakteristika materijala

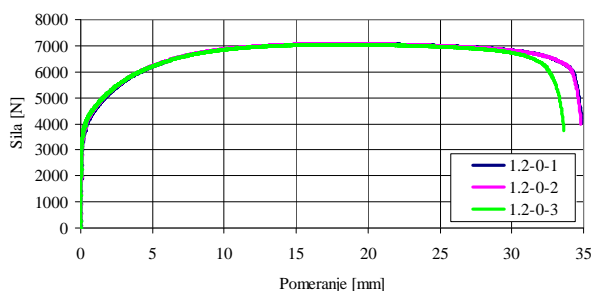
Srednje vrednosti dobijenih rezultata ispitivanja zatezanjem prikazane su u tablici 1, a na slikama 3 i 4 su prikazane grafičke zavisnosti sila-pomeranje za dve različite debljine lima i za samo jedan karakterističan pravac valjanja lima (0°) [1].

Tablica 1. Najvažnije mehaničke karakteristike ispitivanih materijala-Č0146P3 (srednje vrednosti) [1]

Materijal	Ugao, $^\circ$	R_p , MPa	R_m , MPa	R_p/R_m , -	A, %	n, -	r, -	E, MPa
s = 0.8 mm	0°	179.13000	305.07333	0.58717	39.74000	0.20367	1.86700	185300
	45°	193.49000	314.93333	0.61438	36.98000	0.19533	1.54600	207200
	90°	187.63667	302.29667	0.62070	38.38000	0.19433	2.27567	194466
	X_{sr}	188.43667	309.30916	0.60916	38.02000	0.19716	1.80867	198541
s = 1.2 mm	0°	155.99667	291.10000	0.53589	42.94667	0.22333	1.96200	164233
	45°	155.82667	297.18000	0.52435	40.41667	0.22000	1.65667	193166
	90°	153.70000	285.62667	0.53811	41.22333	0.21867	2.36300	173266
	X_{sr}	155.33750	292.77167	0.53067	41.25084	0.22050	1.90958	180958



Slika 3. Dijagram sila-pomeranje (s = 0.8 mm-Č0146P3- 0°)



Slika 4. Dijagram sila-pomeranje (s = 1.2 mm-Č0148P3- 0°)

4. DEFINISANJE OSNOVNIH PARAMETARA TAČKASTOG ZAVARIVANJA

Osnovni parametri tačkastog zavarivanja biraju se na osnovu iskustvenih preporuka u zavisnosti od vrste materijala, broja delova u sklopu i njihove debljine. Budući da su pri eksperimentima zavarivani preklopni spojevi od dva lima iste debljine (s = 0.8 i 1.2 mm), početni parametri zavarivanja birani su na osnovu preporuka datih u literaturi

[8, 9, 10, 11, 13]. Posle preklopnog tačkastog zavarivanja epruveta - uzoraka, (20×100 mm za s = 0.8 mm i 25×100 mm za s = 1.2 mm), isti su zatezani na mehaničkoj kidalici. Za kriterijum kontrole kvaliteta usvojena je maksimalna sila kidanja spoja, oblik i prečnik tačke-sočiva, makro i mikrostruktura, tvrdoća po preseku zavarenog spoja i dr. U zavisnosti od dobijenih rezultata izvođena je korekcija parametara zavarivanja odnosno njihovo definitivno usvajanje za dalja eksperimentalna istraživanja. Usvojeni parametri zavarivanja dati su u tablici 2.

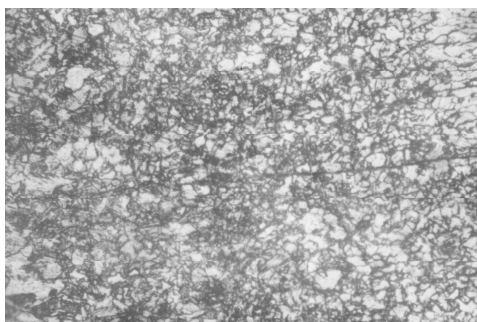
Tablica 2. Parametri tačkastog zavarivanja

Debljina lima, mm	Parametri tačkastog zavarivanja				
	d_e , mm	I_z , A	t_{zs} , per	F_z , daN	F_r , daN
0.80	5.5	6600	14	125	430
1.20	6.2	8000	20	180	720

Pri zatezanju zavarenih spojeva sile razaranja bile su znatno veće od preporučenih. U slučaju spojeva ostvarenih od limova debljine s = 0.8 mm vrednosti sile razaranja bile su: 450, 452, 463, 433, 461, 454, 469, 470, 476 i 480 daN (10 zavarenih uzoraka). U slučaju spojeva ostvarenih od limova debljine s = 1.2 mm vrednosti sile razaranja bile su: 762, 742, 753, 752, 721, 722, 734, 732, 764 i 774 daN (10 zavarenih uzoraka) [1].

5. METALOGRAFSKA ISPITIVANJA

Mikrostruktura je određivana na metalografskim šlifovima, pripremljenim iz tačkasto zavarenih spojeva. Mikrostruktura metala tačke ocenjena je kao Vidmanštetenova, O.M. kao sitnozrna feritna sa neznatnim učešćem perlita, dok je mikrostruktura ZUT-a prikazana na slici 5 [1, 6].



Usitnjena, normalizovana feritna struktura sa neznatnim učešćem

Slika 5. Mikrostruktura ZUT-a tačkasto zavarenog spoja

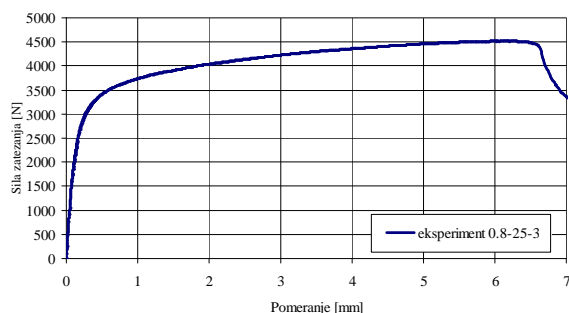
6. MEHANIČKA ISPITIVANJA TAČKASTO ZAVARENOG SPOJA

6.1 Ispitivanje zatezanjem

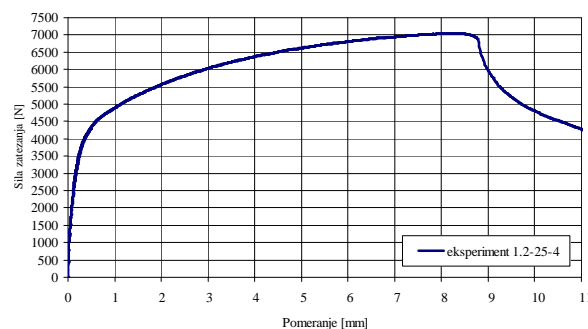
Posle određivanja mehaničkih svojstava OM i usvajanja režima tačkastog zavarivanja, pristupilo se elektrootporskom tačkastom zavarivanju različitih preklopnih spojeva. Zavareni spojevi su ispitivani radi utvrđivanja svojstava otpornosti i sposobnosti deformacije. Za ova ispitivanja pripremljene su epruvete debljina 0.8 i 1.2 mm i širina: 20, 25, 30, 35, 40, 45 i 50 mm. Posle izvođenja preklopnog tačkastog zavarivanja većeg broja uzoraka (sl. 6) pristupilo se njihovom zatezanju (sl. 7 i 8).



Slika 6. Izgled uzoraka-epruveta pre i posle kidanja



Slika 7. Dijagram sila - pomeranje; zatezanje tačkasto zavarene epruvete debljine 0.8 mm i širine 25 mm



Slika 8. Dijagram sila - pomeranje; zatezanje tačkasto zavarene epruvete debljine 1.2 mm i širine 25 mm

6.2 Ispitivanje uvijanjem

Za potrebe ispitivanja uvijanjem krstasto zavarenih spojeva (sl. 9) neophodno je odrediti veličinu maksimalnog momenta uvijanja, odnosno prečnik tačke (sočiva) i na osnovu tih vrednosti doneti zaključak o kvalitetu izvedenog spoja. Krstasto zavarene epruvete su uvijane pomoću specijalno konstruisanog alata [1]. Na taj način je proveravan moment uvijanja i prečnici sočiva. Na slici 10 prikazan je jedan razoreni tačkasto zavareni krstasti spoj. Prema obliku prekida spoja, kao i prema izmerenom momentu može se ustanoviti najpovoljniji režim zavarivanja.



Slika 9. Izgled krstasto zavarenih uzoraka-epruveta



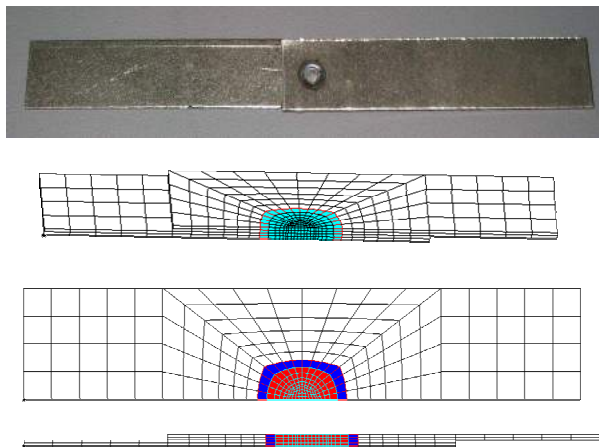
Slika 10. Izgled razorenog krstasto zavarenog tačkastog spoja

7. REZULTATI NUMERIČKIH ISPITIVANJA

Analizirana su dva tačkasta preklopna spoja od jednakih debljina limova 0.8 i 1.2 mm, širine 24.9 mm i dužine $L = 45$ mm. Razmatrana je geometrijski i materijalno nelinearna analiza zavarenog spoja. Usvojeno je da su prečnici zavarenih tačaka 6 i 7 mm. Epruvete su modelirane sa solidima (976) kao paraboličnim elementima [1, 2, 3, 4, 7]. Zbog ravanske simetrije, modelirana je samo polovina modela uz primenu odgovarajućih graničnih uslova simetrije. Korišćen je Misesov elastoplastični materijalni model sa

izotropnim ojačanjem [1, 2, 4, 6, 7].

Materijalni podaci za Ramberg - Osgood krivu ojačanja su: $E = 200000 \text{ MPa}$, $\nu = 0.3$, $\sigma_y = \sigma_{yv} + C_y \bar{\epsilon}_p^n$, $\sigma_{yv} = 188.44 \text{ N/mm}^2$, $C_y = 357.26 \text{ N/mm}^2$ i $n = 0.3945$ [1, 2, 4]. Zona metala tačke (šava) ojačana je sa $C_y = 520 \text{ N/mm}^2$ i $n = 1$. Geometrija modela je data je u radu [1], dok je mreža konačnih elemenata prikazana na slici 11.

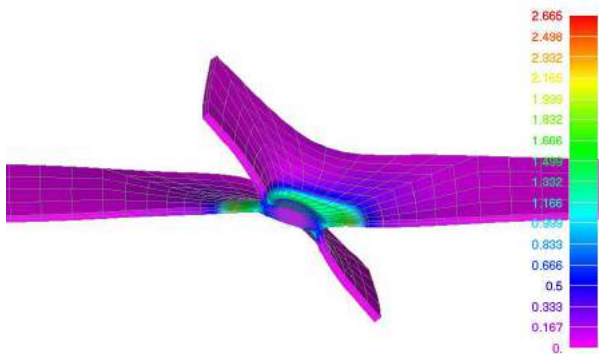


Slika 11. Mreža konačnih elemenata; zona metala šava i okološavna zona (ZUT i O.M.)

Izgled deformisane epruvete i polje efektivnog napona na deformisanoj konfiguraciji u 70-om koraku prikazan je na slici 12. Polje efektivne plastične deformacije je dato na slici 13.

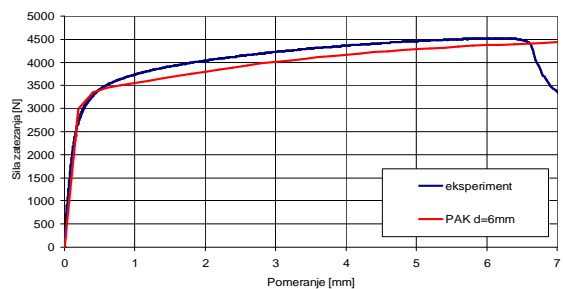


Slika 12. Polje efektivnog napona

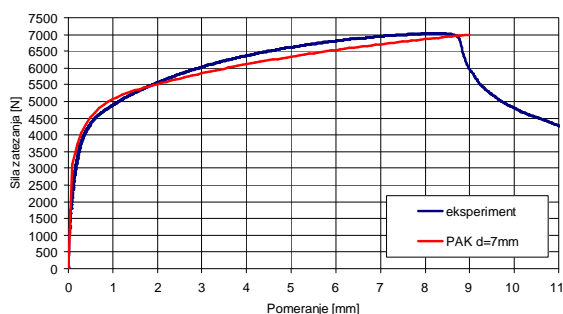


Slika 13. Polje efektivne plastične deformacije

Uporedni dijagrami sila-pomeranje prikazani su na slici 14. Sa slike se vidi da su vrednosti sila dobijenih numeričkim proračunom za prečnik zavarene tačke $d\bar{D} = 6 \text{ mm}$ i $d = 7 \text{ mm}$ za oko 5 % niže od vrednosti sila dobijenih eksperimentom [1].



a) $s = 0.8 \text{ mm}$



b) $s = 1.2 \text{ mm}$

Slika 14. Dijagram sila-pomeranje pri kidanju preklopno tačkasto zavarenih epruveta debljine 0.8 mm

8. ZAKLJUČAK

Provera kvaliteta tačkasto zavarenog spoja izvedena je eksperimentalnim i laboratorijskim metodama. Ispitivanja zatezanjem i „metodom na moment uvijanja“ su pokazala da je odabrana najpovoljnija tehnologija tačkastog zavarivanja koja se može preneti i na realne delove. U cilju verifikacije numeričkih modela, izvršena je komparacija dobijenih rezultata sa eksperimentalnim rezultatima. Verifikacijom rezultata proračuna došlo se do ocene o valjanosti razvijene metodologije i mogućnosti da se razvijeni softver pouzdano koristi u praksi za rešavanje problema nosivosti tačkasto zavarenih spojeva i konstrukcija, odnosno posredno i za izbor i definisanje parametara tačkastog zavarivanja pri izradi odgovornih podsklopova i sklopova automobila.

9. LITERATURA

- [1] Vuković, M. *Eksperimentalna ispitivanja i numerička analiza čvrstoće tačkasto zavarenih spojeva i konstrukcija*, magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2006.
- [2] Kojić, M., Bathe, K., J. *Inelastic Analysis of Solids and Structures*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [3] Lazić, V., Vuković, M., Jovanović, M., Aleksandrović, S., Vulović, R.: *Ocena kvaliteta tačkasto zavarenog spoja standardnim i novim metodama kontrole sa razaranjem-deo 1*, 25 Savetovanje sa međunarodnim učešćem ZAVARIVANJE 2008, Subotica. Rad usmeno izložen, objavljen u celosti na CD-u (red. br. 86) i u Zborniku rezimea radova, str. 119.
- [4] Lazić, V., Vuković, M., Jovanović, M., Živković, M., Aleksandrović, S.: *Eksperimentalno-numeričko određivanje najpovoljnije tehnologije tačkastog zavarivanja odgovornih sklopova automobila-deo 2*, 25 Savetovanje sa međunarodnim učešćem

- [5] ZAVARIVANJE 2008, Subotica. Rad usmeno izložen, objavljen u celosti na CD-u (red. br. 87) i u Zborniku rezimea radova, str. 120.
 - [6] Lazić, V., Živković, M., Vuković, M.: *Experimental – numerical method of determination of the most appropriate technology of spot welding*, extended abstract title, 25th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics held in Ceske Budejovice, Czech Republic, September 24th-27th, 2008.
 - [7] Lazić, V.: *Prilog proračunu temperaturskih polja pri tačkastom zavarivanju*, magistarska teza, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 1990.
 - [8] Janota, M.: *Procesy a riadenie odporoveho zvarania*, Bratislava, 1985.
 - [9] Metals Handbook: *Welding and brazing* ASM, Metals Park Ohio, USA, 1979.
 - [10] Majstorović, A., Jovanović, M.: *Osnovi zavarivanja, lemljenja i lepljenja*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
 - [11] Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V.: *Tehnologija zavarivanja-priručnik*, samostalno autorsko izdanje, Kragujevac, 1996.
 - [12] Sedmak, A. i dr.: *Mašinski materijali-drugi deo*, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
 - [13] Devedžić, B.: *Plastičnost i obrada metala deformisanjem*, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
 - [14] Standardi i prospekti: JUS, DIN, PN, Fiat-Iveco, Zastava,
- Autori: V. Lazić, M. Jovanović, S. Aleksandrović, M. Živković**, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, **34000 Kragujevac**, **M. Vuković**, Zastava automobili – Fabrika Preseraj, Trg toplolivaca 4, 34000 Kragujevac.

Мартынчук, В. П., Полонский, Л. Г.

ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМ НАКОНЕЧНИКОВ ИНДЕНТОРОВ ДЛЯ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Аннотация: В публикации раскрывается развитие форм наконечников инденторов для измерения твердости. Освещены аспекты, имеющие методологическое значение для усовершенствования машиностроительной отрасли через развитие исследований механических характеристик конструкционных материалов.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными заданиями.

Актуальным вопросом сегодня является изучение и систематизация большого технического наследства, накопившегося за последнее столетие в машиностроении, и в особенности в метрологии. В данной статье рассматривается развитие форм наконечников инденторов, которые используют для определения твердости материалов.

1.2 Анализ последних исследований и публикаций

Сейчас существуют только отдельные исследования исторических фактов, имеющих отношение к усовершенствованию приборов для измерения твердости материалов, в которых упоминаются изобретатели тех или иных форм наконечников и т. п.

1.3 Нерешенные раньше части общей проблемы.

В истории машиностроения отсутствуют исследования посвященные раскрытию производственно-технических причин изменения формы наконечников инденторов для измерения одной из важнейших механической характеристики металлов – их твердости.

1.4 Формулирование целей статьи.

Цель настоящей работы – определение причин, вызвавших изменение формы наконечников инденторов и исследование направлений их развития.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ

Твердость металла является одним из важнейших его свойств. Особое значение сведения о твердости металлов имеют в таких отраслях машиностроения, как авиа- и судостроение, военная промышленность.

С точки зрения механики твердость представляет локальное сопротивление упругим и пластическим деформациям при внедрении в плоскость испытуемого материала жесткого наконечника (индентора) и выражается средним контактным давлением (кгс/мм^2) на поверхности невосстановленного отпечатка или средней работой, затрачиваемой на вытеснение единицы объема материала из-под наконечника ($\text{кг}\cdot\text{мм/мм}^3$).

В результате длительных и систематических экспериментальных исследований определены некоторые формы инденторов, ставшие стандартными при испытании на твердость. К ним относятся шарик, конус с углом заострения 120° , пирамида с квадратным основанием и углом между противоположными гранями 136° . Было предложено и много других форм, часть из которых нашла некоторое распространение, например, ромбическая пирамида Кнупа, трехгранная пирамида

Берковича и некоторые др.

Одним из первых инденторов, который использоваться для определения твердости, был напильник. Еще в 1640 г. испанец Альваро Алонсо Барба (1569–1662) предложил определять твердость материалов путем воздействия на исследуемое тело стальным напильником.

Позже, в 1811 г., немецкий геолог Фридрих Моос (1773–1839) разработал шкалу твердости минералов, которая предполагала для определения твердости использование царапания ногтем, медной монетой, лезвием ножа, стеклом, тем же напильником.

В 1881 г. Генрих Герц предложил для определения твердости метод, заключающийся в сдавливании полусферы и плоскости испытуемого материала до появления следов пластической деформации.

В 1900 г. шведский инженер-металлург Иоганн Август Бринелль (1849–1925) предложил в качестве индентора сферу. Это был, по сути, первый метод, который, пережив поколения, используется для определения твердости и по сей день во всем мире.

3. СФЕРИЧЕСКИЙ ИНДЕНТОР

Для реализации своего метода определения твердости Бринелль предложил использовать индентор, представляющий собой шарик. Позже теоретически и на практике было доказано, что такая форма индентора обеспечивает симметричную картину распределения напряжений, возникающих в процессе измерения. Стандарты определяют сейчас отношение d/D в пределах $0,25d \dots 0,50d$ (в среднем – $0,35$) (d – диаметр отпечатка; D – диаметр наконечника, мм), что отвечает достаточно большим деформациям, возникающим при испытаниях и стойкости, связанной отношениями диаметров отпечатка и шарика, а угол вдавливания шарика равен 44° , угол заострения отпечатка – 136° (рис. 1).

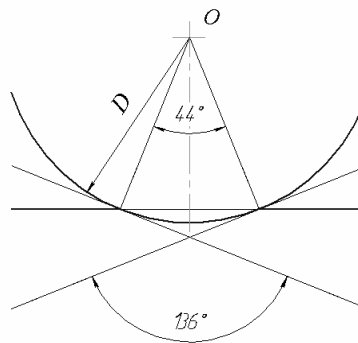


Рис. 1. Схема вдавливания сферического индентора

Вдавливание шарика рационально использовать для получения диаграмм твердости при нагрузке, возрастающей от 0 до P_{\max} , что отвечает увеличению диаметра отпечатка от 0 до d , глубине отпечатка от 0 до $h_{\text{отп}} = R$ (R – радиус шарика) и степени деформации d/D от 0 до 0,5. Если деформацию характеризовать отношением $h_{\text{отп}}/d$, то степень деформации будет изменяться от 0 при $P = 0$ к $R/D = 0,5$ при глубине вдавливания до экватора шарика. Значение среднего угла вдавливания шарика 44° в некоторой степени приближительное, однако, интервал d/D в пределах 0,25...0,50 практически наиболее целесообразен. На диаграммах твердости мягких сталей максимум твердости отвечает пределу прочности $\sigma_B \approx 0,33HB$.

Данный метод имеет некоторый недостаток – это нарушение геометрического и механического подобия отпечатков по мере углубления индентора под действием нагрузки, что приводит к неточным результатам.

4. КОНУС

В 1907 г. Лудвик предложил метод, в котором использовал стальной конус с углом заострения 90° . Но широкого применения он не получил. В 1919 г. британский металлург Стэнли Пикет Роквелл (1886–?) разработал метод, позже названный его именем, где использовал в качестве индентора конус с углом заострения 120° или стальные шарики диаметром $1/2''$ (0,039 мм), $1/4''$, $1/8''$ или $1/16''$.

Стандартному бринелевскому отпечатку с его средним углом $\varphi = 44^\circ$ отвечает конус с углом заострения $\varphi_K = 136^\circ$ (рис. 2). Твердость, получаемая при определении ее таким конусом, будет близка к значениям твердости по Бринеллю.

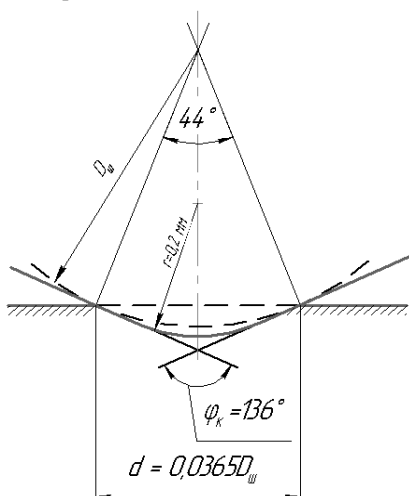


Рис. 2. Схема вдавливания конусного индентора (r – радиус округления вершины конуса)

В дальнейшем, благодаря округлению вершины алмазного 136° -градусного конуса радиусом 0,2 мм так, как это сделано в алмазном 120° -градусном конусе Роквелла, получили новый наконечник, еще более долговечный при массовых испытаниях. Такой наконечник при испытании закаленных сталей и твердых сплавов позволил получать числа твердости, близкие к обычным значениям твердости по Роквеллу, поскольку при этом малые отпечатки формируются, в основном, сферической частью и только их края – конусом с углом 136° , чуть большим конуса Роквелла (120°).

В 1925 г. английскими инженерами Р.Л. Смитом и Г.Е. Сендлендом разработан еще один метод определения твердости который широко востребован сегодня. В

качестве индентора они использовали алмазную пирамиду с квадратным основанием и углом при вершине между гранями 136° , работавшую при нагрузках в 1..120 кгс (рис. 3).

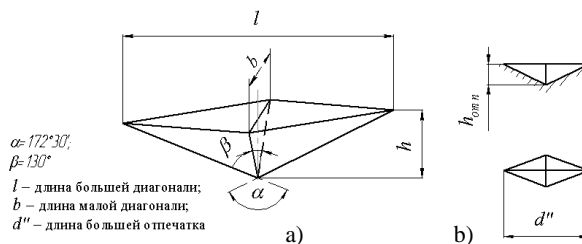


Рис. 4. Четырехгранная пирамида с ромбическим основанием: а – параметры заострения алмазных наконечников; б – форма отпечатка.

Измерение твердости производят с нагрузками от 0,005 до 3,500 кг, отпечатки при возрастании нагрузки сохраняют геометрическое подобие. Испытание такими наконечниками нашло распространение при измерении микротвердости очень тонких поверхностных слоев и особо хрупких материалов, например, стекла, фарфора, эмалей с нагрузками до 1 кг, когда стандартный пирамидальный наконечник (136°) с квадратным основанием не позволяет получить достаточно больших отпечатков без трещин. Это преимущество индентора Кнупа обусловлено малой глубиной вдавливания ($d/h = 30$ по сравнению с $d/h = 7$ для квадратной пирамиды Смита и Сендленда).

Симметрия индентора характеризуется двумя зеркальными плоскостями симметрии в одной двойной поворотной оси симметрии. Анизотропия твердости при этом определяется через изменение длины большей диагонали при различной ориентировке индентора на грани кристалла или через измерение на разных гранях. Однако, значения твердости по Кнупу значительно отличаются от твердости по Виккерсу и Бринеллю, и для обычных измерений пользоваться пирамидой Кнупа нецелесообразно. Кроме того, напряженное состояние вокруг отпечатка характеризуется ухудшенной симметрией, а изготавливать ромбическую пирамиду Кнупа труднее, нежели квадратную 136° -градусную пирамиду.

В конце 1940-х гг. Берковичем была разработана еще одна форма наконечника. Это алмазная пирамида с основанием в виде равностороннего треугольника; ребра пирамиды образуют с осью угол $76^\circ54'$, а грани – 65° (рис. 5). Преимуществом такой формы индентора является его остроконечность, т. е., отсутствие гребня на вершине, неизбежного для пирамид Виккерса и Кнупа. Наличие гребня приводит к нарушению геометрического подобия отпечатков, приводящему к отклонению микротвердости от действительных ее значений в области микроотпечатков.

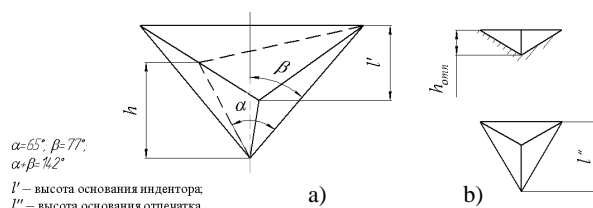


Рис. 5. Трехгранная пирамида с основанием в виде равностороннего треугольника: а) параметры заострения алмазных наконечников; б – форма отпечатка

Основными преимуществами трехгранного наконечника являются простота его изготовления и остроконечность, позволяющая измерять микротвердость очень твердых тел, например, алмазов, когда отпечатки могут иметь размеры, близкие, в случае четырехгранного индентора, к величине гребня. Правильная треугольная форма отпечатков такого индентора более предпочтительна при измерении микротвердости на гранях кристаллов с тройной и шестерной поворотной осью симметрии. Поэтому такой индентор расширяет возможности оценки анизотропии кристаллов. Он удобен также для измерения твердости методом царапания.

5. БИЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ИНДЕНТОР

Бицилиндрический индентор (рис. 6) сконструирован специально для измерения микротвердости особо тонких поверхностных слоев, например, тонких пленок на оптических стеклах. Он имеет поверхность,

образованную двумя цилиндрами радиусом 2 мм, оси которых пересекаются под углом 136° . Такая форма индентора представляет лезвие с углом заострения 136° , равным углу между гранями в стандартной квадратной пирамиде. Индентор оставляет веретенообразные отпечатки в виде сильно вытянутых линз с четкими концами. Отношение d/h достигает 80. По этим двум причинам, а также благодаря нечувствительности формы отпечатков к наклону оси, бицилиндрический индентор значительно эффективнее индентора Кнупа для исследования особо тонких поверхностных слоев.

Недостатком индентора является нарушение геометрического подобия отпечатков с увеличением глубины вдавливания, что, однако, не существенно влияет на величину твердости при малых глубинах вдавливания, для которых предназначен бицилиндрический индентор.

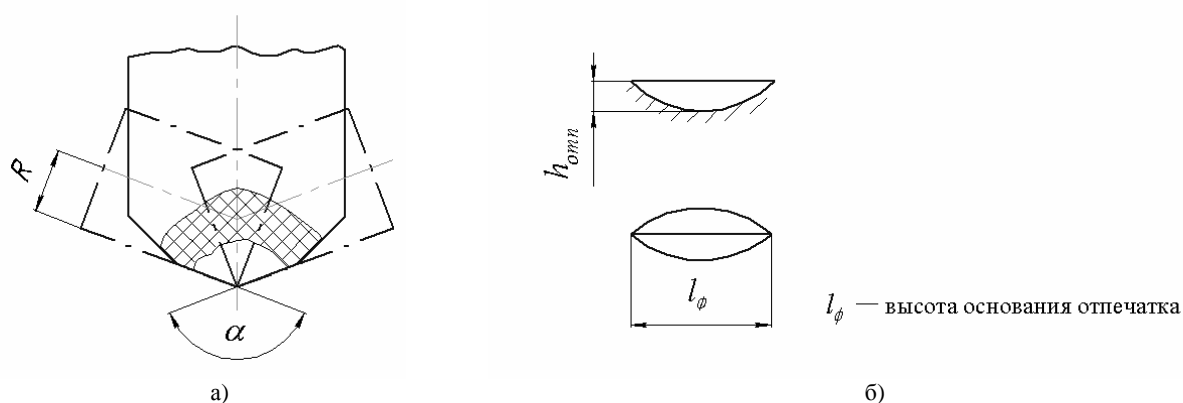


Рис. 6. Бицилиндрический индентор: а – параметры заострения алмазных наконечников ($\alpha=136^\circ$, $R = 2$ мм – радиус цилиндра); б – форма отпечатка

На протяжении уже достаточно длительного времени использование методов измерения твердости материалов появилось достаточно много форм наконечников инденторов.

Путем изменения формы наконечника осуществляются попытки найти универсальную форму, позволяющую наиболее точно определить твердость. Однако, эти попытки пока что не дали видимого результата, хотя переходом на наконечники в виде многогранной пирамиды с ромбическим и треугольным основанием удалось добиться равномерного распределения остаточных деформаций по краям отпечатка, что позволило повысить в определенных случаях точность измерения. Однако, доминирующими продолжают оставаться традиционные методы, испытанные на практике наконечники в виде шарика, четырехгранной пирамиды и конуса

Autori: студент Мартыничук В.П., докт. техн. наук, проф. Полонский Л.Г., Житомирский государственный технологический университет

Milosavljević, A., Petronić, S.

UTICAJ PROCESA PUZANJA NA MIKROSTRUKTURU TERMOPOSTOJANIH LEGURA NIKLA

Rezime: Izbor i identifikacija odgovarajućeg materijala, koji na visokim temperaturama, u uslovima agresivnih radnih sredina, poseduje optimalne mehaničke osobine i dobru površinsku stabilnost, veliki je izazov za naučnike. Pošto eksploatacioni uslovi zahtevaju visoke radne temperature i napon, potreban je materijal koji ima visoku otpornost prema puzanju. U ovom radu date su teorijske postavke vezane za otpornost prema puzanju, mehanizam nastanka prslina i loma, potkrepljene eksperimentalnim rezultatima i analizama.

Ključne reči: termopostojane legure nikla, mehanizam puzanja, gustina dislokacija, intermetalna jedinjenja, karbidi

THE INFLUENCE OF CREEP DEFORMATION ON THERMO-RESISTANT NICKEL ALLOYS

Abstract: A selection and identification of suitable structural materials to accommodate optimal mechanical behaviour and good surface stability at elevated temperature and aggressive service environment constitute a significant challenge to material scientists. As the exploiting conditions require high operating temperature and stress, the high creep resistant material is needed. In this paper theoretical analysis related to the creep resistance are introduced, substantiated with experimental data and analysis.

Key words: thermo-resistant nickel alloy, creep mechanism, dislocation density, intermetal compound, carbides.

1. UVOD – PRIMENA SUPERLEGURA NIKLA

U savremenom tehničkom svetu superlegure nikla se najviše primenjuju za izradu delova namenjenih radu na visokim temperaturama, od kojih se očekuje dobra otpornost na koroziju i oksidaciju i optimalne mehaničke osobine.

Oblasti primene superlegura nikla su:

- avionske gasne turbine: diskovi turbina, komore za sagorevanje, kućišta, osovine, izduvni sistemi, lopatice turbine, mlaznice, vazdušne kočnice,
- parovodna turbinska postrojenja: lopatice, zavrtnji, zagrejači vazduha, diskovi,
- metaloprerađivački procesi,
- kosmička vozila,
- oprema za visokotemperaturne procese,
- oprema nuklearnih postrojenja,
- rezervoari na niskim temperaturama
- kao materijal za navarivanje prilikom laserskog procesa oblaganja (uspešno zamenjuju dosad korišćene stelite – legure kobalta, jer su kobalt i bor nepoželjni u nuklearnoj industriji).[1]

2. MIKROSTRUKTURA I PROCES PUZANJA

2.1 Mikrostruktura superlegura nikla

Mikrostruktura niklovih superlegura se sastoji od velikog zapreminskog udela (obično oko 70%) kristalografski uređene FCC taložne faze γ' umetnute u austenitnu γ matricu. Ovakva mikrostruktura je posebno pogodna za primene kod opterećenja na visokim temperaturama. Sem navedenih faza mikrostruktura legura nikla se sastoji i od karbida, TCP faza (σ , μ , δ , Laves i η itd) a u ponekim legurama sa dodatkom niobijuma i γ'' tetragonalna faza. [2,3] Kada je proizvedena u formi monokristala mehaničke osobine su još bolje, pogotovo otpornost na puzanje.

2.2 Puzanje superlegura nikla

Puzanje može da se smatra mikromehaničkim procesom za koji je karakteristično istovremeno dejstvo:

- Deformacionog ojačavanja,
- Oporavljanja i rekristalizacije
- Oštećenja materijala mehanizmom nastanka, rasta i sjedinjavanja šupljina.

Deformaciono ojačavanje smanjuje brzinu puzanja, dok ga ostali mehanizmi ubrzavaju pa njihov međusobni odnos određuje oblik krive puzanja.[4] Kriva puzanja se sastoji iz tri stadijuma: primarnog, sekundarnog i tercijalnog. U primarnom delu dolazi do opadanja brzine puzanja što se pripisuje dominantnom dejstvu deformacionog ojačavanja. U sekundarnom delu brzina puzanja je konstantna usled ravnoteže između deformacionog ojačavanja i procesa omekšavanja i oštećenja. U tercijalnom stadijumu dolazi do povećanja brzine puzanja jer je dominantan proces oštećenja.[4]

Oblik krive puzanja zavisi od vrste materijala, napona i temperature. Brzina deformacije puzanjem raste sa povećanjem napona i temperature. Pri malim naponima i niskim temperaturama gubi se sekundarni i tercijalni deo, dok se pri velikim naponima i visokim temperaturama primarni i sekundarni bitno sužavaju ustupajući mesto tercijalnom stadijumu.

U prvom stadijumu kretanje dislokacija je veoma brzo i barijere kretanju izazvane deformacionim ojačavanjem su prevaziđene oporavljanjem, ustvari smanjuje se brzina. Prema tome, početna brzina puzanja je visoka, ali se brzo smanjuje do konstantne vrednosti. U drugom stadijumu proces nagomilavanja dislokacija i stvaranja dislokacionih petlji je uravnotežen procesom uspinjanja dislokacija i njihovim poprečnim klizanjem. Dobija se linearna zavisnost i nagib sekundarnog dela krive puzanja je jednak sekundarnoj brzini puzanja. Tercijalni stadijum odgovara formiranju unutrašnjih praznina i ovo vodi brzom lomu.[5]

Oblik krive puzanja za bilo koji materijal zavisi od temperature i napona u bilo kom vremenu pošto su ovo glavni

faktori kontrole deformacionog ojačavanja i procesa oporavljanja. Sa povećanjem temperature brzina puzanja se povećava zato što se procesi omekšavanja (na primer, uspinjanje dislokacija) odvijaju mnogo lakše, povećavaju difuziju jer su termički aktivirani procesi.

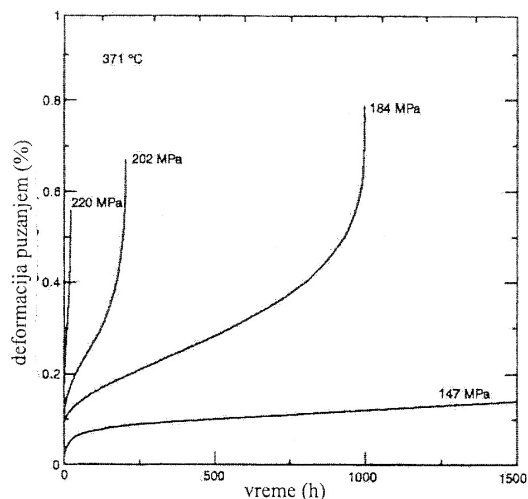
Očekuje se dalje da je brzina puzanja usko povezana sa Arrheniusovom jednačinom:

$$\dot{\epsilon}_s^0 = A e^{-\frac{H}{RT}} \quad (1)$$

gde je $\dot{\epsilon}_s^0$ sekundarna brzina puzanja, H je aktivaciona energija puzanja, R je univerzalna gasna konstanta, T je apsolutna temperatura i A je konstanta.

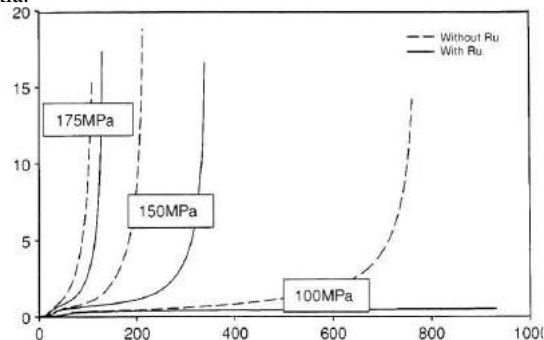
Treba naglasiti da A i H nisu prave konstante, njihove vrednosti zavise od napona, temperature i metalurških vrednosti.[5]

Na slici 1. date su krive puzanja za čist nikl testiran pod uslovima opterećenja: temperatura 371°C i naponi od 147 do 220 MPa. Jasno se vidi da deformacija usled puzanja osetno zavisi od primenjenog napona. Dalje, za svaku krivu puzanja prva faza puzanja (primarno puzanje) ustupa mesto sekundarnom puzanju gde je brzina deformisanja puzanjem konstantna. Početak loma je povezan sa odstupanjem od stabilnog stanja. Tokom treće faze brzina deformacije puzanjem se povećava sa povećanjem deformacije pre konačnog loma. [6]



Slika 1. Krive puzanja (u uslovima konstantnog napona) za čist nikl testiran na 371°C [6]

Na slici 2. date su krive puzanja za dve monokristalne legure nikla, ispitivane na 1100°C osnovnog sastava Ni-12Co-2,5Cr-9W-6,4Re-6Al-5,5Ta-0,15Hf. Prva je bez dodatka Ru, a druga je legirana sa 2% Ru. Vidi se jasno poboljšanje otpornosti na koroziju postignuto legiranjem nikla.



Slika 2. Krive puzanja za monokristalne legure nikla, testirane na 1100°C, druga je legirana sa 2% Ru [6]

Druga faza puzanja, stabilno stanje, kod nikla može biti objašnjeno pretpostavkom da modeli omekšavanja i otvrdnjavanja, odnosno poništavanja i umnožavanja dislokacija, rade na brzinama koje su balansirane pa je gustina dislokacija konstantna. Zatim, na dovoljno visokim temperaturama, puzanje se, u čistim metalima kao što je nikl, javlja kombinovanim uspinjanje + klizanje mehanizmom - ako klizanje dislokacija naiđe na prepreku onda malo uspinjanja može da ih oslobodi dozvoljavajući dalje klizanje. Dislokaciono klizanje je odgovorno za veći deo deformisanja mada je prosečna brzina određena stepenicom uspinjanja.[7] Za većinu metala kod puzanja preko 0,6T_m, uspinjanje se javlja difuzijom atoma rešetke. U trećem stadijumu puzanja pojavljuju se drugi mehanizmi degradacije; npr. smanjenje poprečnog preseka zbog kavitacije na granicama zrna. [6]

2.3 Jednačine brzine deformacije puzanjem

Pretpostavimo da je karakteristična dimenzija dislokacione substrukture u drugom stadijumu λ ; ako je dislokaciona gustina ρ sledi da je prema prvoj aproksimaciji $\dot{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{\rho}}$. Članovi λ i ρ su u tom slučaju promenljive stanja

koje su karakteristike metalurškog oštećenja izazvanog u strukturi. Akumulirana gustina dislokacija ρ je proporcionalna deformaciji puzanjem, ϵ , tako da je

$$\dot{\rho} = M\dot{\epsilon} \quad (2)$$

gde je M konstanta dislokacionog umnožavanja. Zakon je primenjiv za okrupnjavanje dislokacione ćelijske strukture odgovorne za omekšivanje puzanjem, u saglasnosti sa okrupnjavanjem kontrolisanom difuzijom rešetke koje je analogno trodimenzionalnom rastu zrna, može se očekivati

$$\lambda^3 - \lambda_0^3 = KDt \quad (3)$$

gde je t vreme, D koeficijent difuzije, K kinetička konstanta i λ_0 početna vrednost λ . Ovo ima eksperimentalnu podršku kao što je u literaturi [8] npr pokazano da je za granice zrna pod malim uglom aktivaciona energija ne zavisi od same difuzije. Brzina puzanja u drugom stadijumu ukazuje na konstantnu subzrnastu strukturu tako da su ρ i λ nepromenljive u vremenu, povećanja $d\rho_{\text{otvrdnjavanja}}$ i $d\rho_{\text{omekšavanja}}$ usled povećavanja deformacije i veličine subzrna $d\lambda$ su takve da

$$d\rho_{\text{totalno}} = d\rho_{\text{otvrdnjavanja}} + d\rho_{\text{omekšavanja}} = 0 \quad (4)$$

znači jednake ali suprotnog znaka.

Sada, $d\rho_{\text{otvrdnjavanja}}$ je jednako $Md\epsilon$ i $d\rho_{\text{omekšavanja}}$ je jednako

$$-2\rho\sqrt{\rho d\lambda} = \frac{2\rho\sqrt{\rho K D t}}{2\lambda^3} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{\lambda^3} \times \frac{K D t}{M} \quad (5)$$

Odnosno, brzina deformacije je obrnuto proporcionalna petom stepenu veličine subzrna. Napon koji daje ovu brzinu deformacije treba da savlada prepreke na putu λ ; to je približno jednako Orvanovom naponu, $G\lambda_0/\lambda$. Stavljajući da je napon σ jednak ovoj tvrdnji i kombinovanjem sa gornjom jednačinom može da se pokaže da je:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \frac{2}{3} \left(\frac{\sigma}{G} \right)^5 \frac{K D}{M \lambda^5} \quad (6)$$

Treba primetiti da je brzina puzanja proporcionalna koeficijentu difuzije D i obrnuto proporcionalna konstanti množenja dislokacija M. Iskazujući D preko aktivacione energije Q i eksponencijalnog člana u početnom trenutku, D_0 i stavljajući da je

$$A = 2kD_0 / (3Mb^5) \quad (7)$$

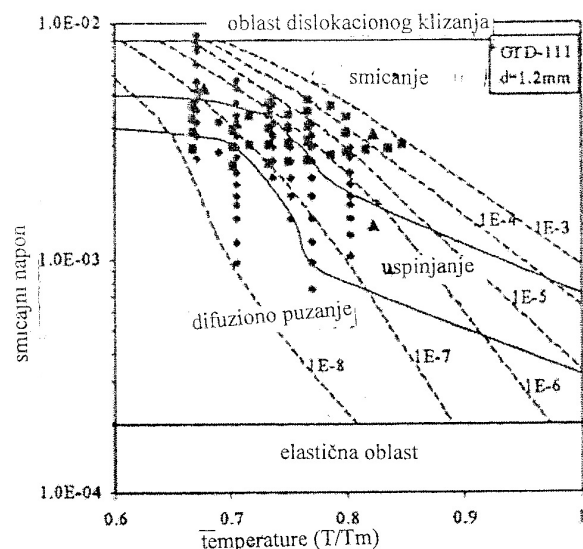
dobijamo:

$$\frac{d\epsilon}{dt} = A \left(\frac{\sigma}{G} \right)^n \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right) \quad (8)$$

Brzina puzanja je, u proseku, kod FCC struktura jedan ili dva reda veličina manja nego kod BCC. Kod HCP metala je još manja, ali se pretpostavlja da je to zbog ograničenog broja mogućih kliznih sistema.[9,10] Ovo vodi daljoj podršci izbora nikla kao osnovnog metala za superlegure.

2.4 Mapa deformacionih mehanizama

Različite aktivacione energije puzanja definišu tri mehanizma puzanja koja rade u širokom opsegu temperature i napona. Dve veće aktivacione energije, koje se često vezuju za višefazne legure, zajedno sa puzanjem zavise od kretanja dislokacija. Kada je napon dovoljno velik i talog i matrica imaju iste kristalne strukture, dislokacije u matrici mogu da preseku čestice taloga. Kada je uspinjanje dislokacija vodeći proces, aktivaciona energija je jednaka samodifuzionoj aktivacionoj energiji. Samodifuzionu aktivacionu energiju za superlegure nikla je 257 – 283 kJ/mol [11]. Oblast sa malim nagibom se odnosi na difuziono puzanje. Na slici 3 je prikazana mapa deformacionih mehanizama za superleguru GTD-111. Mape deformacionih mehanizama su korisne za određivanje mehanizama puzanja.



Slika 3. Mapa deformacionih mehanizama za leguru GTD-111 sa prosečnom veličinom zrna 1,2mm. $T_m = 1523^\circ\text{C}$. Znaci predstavljaju brzinu puzanja u sekundi: \blacklozen , podaci dobijeni iz konstantne temperature/promenljiv napon, \blacksquare , podaci dobijeni iz konstantnog napona/promenljive temperature, \wedge , podaci dobijeni iz konstantne temperature/konstantan napon. Korišćen je TEM. [13]

Mapa deformacionog mehanizma visoke temperature pokazuje region visoko naponske plastičnosti upravljan klizanjem dislokacija, regiona smicanja i uspinjanja i region puzanja difuzijom na granici zrna pri niskim naponima.[12] Normalizovan prag napona za difuziono puzanje (σ/μ) se određuje koristeći jednačinu:

$$\sigma/\mu \sim bb/L$$

u kojima je L prostor prepreka (γ' čestica) na granicama zrna i bb Burgesov vektor za dislokacije na granici zrna.[13]

2.5 Neusklađenost rešetaka γ i γ' faza

Važnu ulogu u procesu puzanja ima neusklađenost rešetke definisana sledećom jednačinom:

$$\delta = 2(a_\gamma - a_{\gamma'}) / (a_\gamma + a_{\gamma'}) \quad (9)$$

gde su a_γ i $a_{\gamma'}$ parametri rešetaka γ i γ' faza.

Pokazalo se da je otpornost na puzanje najbolja kada je neusklađenost rešetaka minimalna i kada je zapreminski udeo γ' koliko je moguće veći. Sa povećanjem temperature neusklađenost rešetke se povećava usled različitih koeficijenata termičkog širenja γ i γ' faza. Takođe, sa povećanjem temperature jedan deo γ' čestica menja morfologiju, izdužuje se i rešetka dobija tetragonalni oblik. Sada se neusklađenost definiše:

$$\delta_c = 2(c_{\gamma'} - a_{\gamma'}) / (c_{\gamma'} + a_{\gamma'}) \quad (10a)$$

$$\delta_a = 2(a_{\gamma'} - a_{\gamma}) / (a_{\gamma'} + a_{\gamma}) \quad (10b)$$

gde je $c_{\gamma'}$ konstanta rešetke c tetragonalne γ' faze. Sada neusklađenost može biti određena u c i a pravcima.

Pri malim deformacijama puzanja neusklađenost je mala, i γ' faza još uvek ima kubnu simetriju. Vrednost δ je manja od početne u nedeformisanom stanju. Kako se vreme i deformacija puzanjem povećavaju tako se pojavljuje tetragonalna distorzija γ' faze koja vodi ka različitim vrednostima neusklađenosti u a i c pravcu.

Vrednost δ_c je uvek pozitivna i povećava se sa povećanjem vremena puzanja i deformacije i dostiže veliku vrednost pri lomu (npr. ~0,36% za IN738LC).

Vrednost δ_a se smanjuje sa povećanjem deformacije/vremena puzanja, menja znak iz pozitivnog u negativni pri srednjoj deformaciji puzanjem, i onda postepeno povećava do vrednosti pri lomu koja je otprilike ista kao originalna δ vrednost.[14]

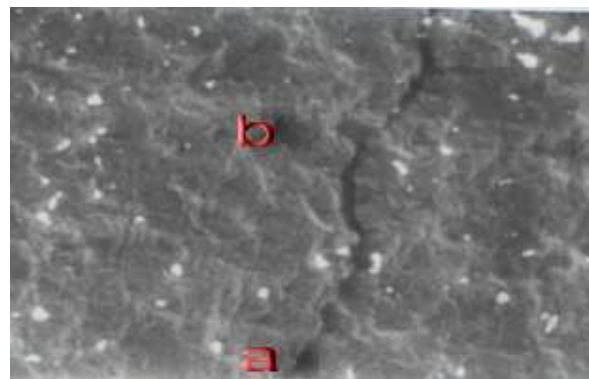
3. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Hemijski sastav ispitivane legure dat je u Tabeli 1, a uveden je hemijskim mokrim postupkom.

El	Ni	Cr	Co	Mo	W	Fe	Mn	Si	Al
%	47	19,8	1,5	9	0,6	20,3	0,2	0,8	0,8

Tabela 1. Rezultati određivanja hemijskog sastava legure Hastelloy X mokrim postupkom

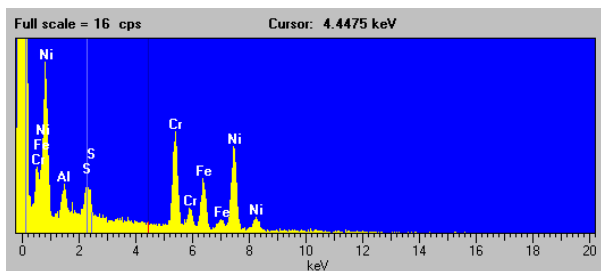
Uzorci su isečeni iz lajnera komore za sagorevanje koja je u eksploatacionim uslovima bila 100000h. Na slici 4. SEM mikroskopom snimljena je prslina, a elektronskom difrakcionom analizom (EDAX) ispitivan je sastav legure na mestu a i b. Rezultati elektronske difrakcione analize sa mesta a dati su u Tabeli 2, a rezultati sa mesta b u Tabeli 3.



Slika 4. SEM prslina superlegure Hastelloy X. Označena mesta, a i b, su mesta na uzorku ispitivana EDAX-om

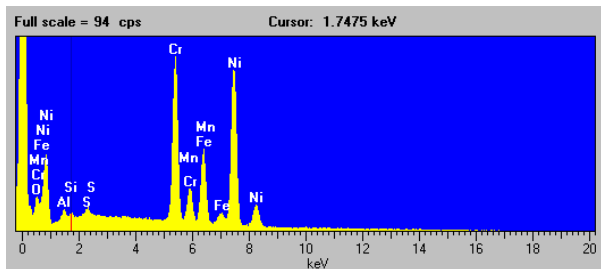
Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%
Al K	ED	0.610	0.95	5.87	0.68	11.06
S K	ED	0.894	0.94	5.63	0.61	8.92
Cr K	ED	1.026	1.00	24.84	1.16	24.26
Fe K	ED	1.006	1.00	15.97	1.18	14.52
Ni K	ED	0.946	1.00	47.68	1.59	41.24
Total		100.00		100.00		

Tabela 2. Rezultati elektronske difrakcione analize sa mesta a na Slici 4



Elmt	Spect	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%
Al K	ED	0.586	0.95	1.20	0.12	2.45
Si K	ED	0.698	1.03	0.58	0.10	1.14
S K	ED	0.898	0.94	0.57	0.11	0.97
Cr K	ED	1.051	1.00	25.85	0.36	27.31
Mn K	ED	1.033	1.00	2.65	0.27	2.65
Fe K	ED	1.030	1.00	15.57	0.34	15.32
Ni K	ED	0.959	1.00	53.58	0.49	50.15
Total		100.00		100.00		

Tabela 3. Rezultati elektronske difrakcione analize sa mesta b na Slici 4



Poznato je [15,16] da mehanizam ojačavanja legure Hastelloy X prati izdvajanje γ' (Ni_3Al) faze iz presičenog čvrstog rastvora γ . Čvrst rastvor γ ima austenitnu matricu sa intersticijskim rastvorenim atomima (Co, Cr, Mo, Fe, Mn). U toku procesa puzanja dolazi do okrupnjavanja faze γ' kada se gubi koherentnost $\gamma/\gamma', \gamma'$ se izdužuje i deo ove faze dobija tetragonalni oblik rešetke [12]. Takođe, porast čestica γ' izaziva osiromašenje osnove pa je moguće i formiranje splavova. U uslovima puzanja moguće je i formiranje NiAl i Fe_3Al faza koje se negativno odražavaju na proces puzanja. Međutim, prisustvo Mn u leguri utiče na povećanje stabilnosti γ osnove, tj. austenitnog čvrstog rastvora.

Posmatrajući sastav u Tabeli 2. veliki maseni udeo Al na mestu a svedoči o izdvajanju Ni_3Al faze sa verovatnoćom da je velike zapremine i nepovoljnog morfološkog oblika, što je moglo da utiče na mogućnost stvaranja inicijalne prsline. Takođe, stvoreni su karbidi Cr, najverovatnije po granicama zrna, a mogućnost izdvajanja TCP faza po granicama zrna, takođe je značajna zato što ubrzava proces puzanja. Svakako, na stvaranje prskotine od posebnog je značaja prisustvo FeS

faze jer je koncentracija S velika.

Analiziranjem sastava legure Tabela 3 vidi se da je u tački b manja koncentracija aluminijuma, a takođe i sumpora. Moguće je da Mn vezuje S stvarajući jedinjenje MnS koje je povoljnije.

4. LITERATURA

- [1] Petronić, S.: *Primena mikroskopskih i fraktografskih ispitivanja na povećanje površinske stabilnosti superlegura nikla*, specijalistički rad, Mašinski fakultet u Beogradu, 2005.
- [2] Počuča, E.: *Primena superlegura nikla i promene koje se javljaju pri različitim temperaturama* - magistarski rad, Masinski fakultet u Beogradu, 2004.
- [3] Mughrabi, H., Tetzlaff, U.: *Microstructure and High-Temperature Strength of Monocrystalline Nickel-Base Superalloys*, Advanced Engineering Materials 2000, 2, No. 6, pg. 319-326.
- [4] Marković, A.: *Istraživanje pojave zaostalih napona u niskolegiranim niskougljenicnim celicima za rad na povišenim temperaturama i njihov uticaj na otpornost prema puzanju*, doktorska disertacija, Masinski fakultet u Beogradu, 2001
- [5] Hearn, E.J.: *Mechanics of Materials 2*, University of Warwick, United Kingdom, Butterworth & Heinemann, 1997., pg. 262-272.
- [6] Reed, Roger C.: *The Superalloys, Fundamentals and Applications*, USA: Cambridge University Press, New York, 2006
- [7] Weertman, J.: *Creep of indium*, Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 218, 1960, pg 207 – 218.
- [8] Wining, M., Gottstein, G. and Shindlerman, L.S.: *On the mechanisms of grain boundary migration*, *acta Materialia*, 50, 2002, pg. 353-363.
- [9] Mukherjee, A.K., Bird, J.E. and Dorn J.E.: *Experimental correlation for high-temperature creep*, Transactions of the American Society for Metals, 62, 1969, pg. 155-179.
- [10] Evans, R.W. and Wilshire, B.: *Creep of Metals and alloys*, The Institute of Metal, London, 1985.
- [11] Daleo, J.A., Wilon, J.R., *Presented at the International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition*, Birmingham, United Kingdom, June 10-13, 1996.
- [12] Frost, H.J., Ashby, M.F.: *Deformation Mechanism Map*, Pergamon Press, Elmsford, New York, 1982.
- [13] Sajjadi, S.A., Nategh, S.: *A high temperature deformation mechanism map for the high performance Ni-superalloys GTD-111*, Material Science and Engineering A307, 2001, pg. 158 – 164.
- [14] Li, J. And Wahi, R.P.: *Investigation of γ/γ' Lattice Mismatch in the Polycrystalline Nickel-base Superalloy IN738LC: Influence of Heat Treatment and Creep Deformation*,
- [15] Počuča, E., Milosavljević, A., Srećković, M., Prokić-Cvetković, R., Kutin, M., Radaković, Z., Nesić, I.: *Structural Changes in Ni-based superalloy as a result of Structural element Welding*, Welding and Joining, Tel Aviv 2005.
- [16] Milosavljević, A., Petronić, S., Kovačević, K., Prokić-Cvetković, R., Nesić, I., Popović, O., Pljakić, R., Kutin, M.: *Fine-structural investigations of nickel based superalloys after various heat treatments*, The Eighth Yugoslav materials research society conference YUCOMAT 2006, Herceg Novi, SCG, pp.144, 2006.

Autori: Prof.Dr Milosavljević Anđelka, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za tehnologiju materijala, **Petronić Sanja**, Inovacioni centar, Mašinski fakultet u Beogradu.

Mitrović, S., Babić, M., Živić, F., Bobić, I.

NANOTRIBOLOŠKA ISPITIVANJA KOMPOZITA SA OSNOVOM OD ZA-27 LEGURE OJAČANE ČESTICAMA Al_2O_3

Rezime: U radu su prikazani rezultati nanotriboloških ispitivanja domaćih kompozitnih materijala sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 veličina $250\ \mu m$ u količinama od 3, 5 i 10 mas.%. Tribološka ispitivanja su izvršena na ball on block nano tribometru sa lineranim kretanjem. Tokom ispitivanja varirana su četiri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (10 mN, 50 mN, 100 mN i 120 mN) i tri nivoa brzine klizanja (10 mm/s, 20 mm/s i 30 mm/s), u uslovima bez podmazivanja.

Ispitivani kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 dobijeni su kompokasting postupkom. Kao ojačivač korišćen je prah Al_2O_3 veličine čestica $250\ \mu m$. Čestice Al_2O_3 su infiltrirane tokom mešanja metalne osnove u poluočvrslom stanju. Čestice su infiltrirane u količinama od 3, 5 i 10 mas%.

U radu je dat izgled mikrostruktura dobijenih kompozitnih materijala i njihova mikrogeometrija.

Na osnovu sprovedenih triboloških ispitivanja formirane su analitičke i grafičke zavisnosti promene koeficijenta trenja od uslova ispitivanja (brzine klizanja i normalnog opterećenja) za ispitivane materijale.

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja pokazuju da je promenom masenog udela čestica ojačivača Al_2O_3 moguće uticati na tribološke karakteristike ispitivanih kompozita sa osnovom od ZA-27 legure.

Ključne reči: kompoziti, legura ZA-27, Al_2O_3 , koeficijent trenja, nanotribologija.

NANOTRIBOLOGY INVESTIGATIONS OF COMPOSITES BASED ON ZA-27 ALLOY REINFORCED BY Al_2O_3 PARTICLES

Abstract: Results of tribological investigations of composites based on ZA-27 alloy, reinforced with Al_2O_3 particles of $250\ \mu m$ size, with three different mass shares percentage as follows: 3 %, 5 % and 10 %, are presented in this paper. Tribological investigations are realised on ball on block nanotribometer with linear reciprocating module setup. Four levels of normal contact loads are varied during testing (10 mN, 50 mN, 100 mN and 120 mN) and three levels of speed (10 mm/s, 20 mm/s and 30 mm/s), with no lubrication.

Tested composite materials with ZA-27 alloy base, reinforced with Al_2O_3 particles are obtained by compocasting method. Al_2O_3 powder, with $250\ \mu m$ size of particles, is used for reinforcement. Al_2O_3 particles are infiltrated during the mixing of metal base in semi-solid phase. Particles are infiltrated in quantities of 3, 5 and 10 mass percentage.

All the tests were statistically processed and represented by the corresponding diagrams. By analysis of the obtained results of the tribological investigations for the composite materials the correlation dependencies were obtained in the exponential form.

The tested composite materials, reinforced by the Al_2O_3 particles exhibit significantly smaller friction coefficient, with respect to the substrate.

Results of experimental investigations show that by the change of the mass share of Al_2O_3 particles, can positively influence in the sense of improving the tribological characteristics of the tested composites with the ZA-27 alloy as a substrate.

Keywords: composites, ZA-27 alloy, Al_2O_3 particles, friction coefficient, nanotribology.

1. UVOD

Poslednjih desetak godina kao jedan od naprednih tribomaterijala sve više se istražuju kompoziti zbog svojih dobrih mehaničkih i triboloških svojstava. Pravilnom supstitucijom materijala sa adekvatnim kompozitnim materijalom, moguće je smanjiti tribološke gubitke, kako direktne tako i indirektno, i na taj način ostvariti uštede, čiji efekti mogu biti značajni.

Kompoziti sa metalnom matricom (MMC – Metal Matrix Composites) predmet su interesovanja iz razloga što su sposobni da obezbede veću otpornost na habanje, više temperaturne granice od njihovih osnova, povećanu čvrstoću, krutost, toplotnu provodljivost i dimenzijonu stabilnost. Kod kompozita sa metalnom matricom osnovu (matricu) najčešće čini legura, rede čist metal, a ojačivač se sastoji od ugljeničnih, metalnih ili keramičkih dodataka.

Kao jedna od legura koja se može uspešno koristiti za izradu kompozita sa metalnom matricom jesu i legure cinka sa povećanim sadržajem aluminijuma. Legura ZA-27 smatra se najperspektivnija za dobijanje kompozitnih materijala, jer je pogodna kao osnova za primenu više metoda za dobijanje

kompozita. Pored toga pogodna je za termičku obradu i plastičnu preradu, tako da je moguće naknadno uticati na mehaničke osobine dobijenih proizvoda.

Analizom očvršćavanja ZA-27 legure, utvrđeno je da je kompokasting postupak optimalan način dobijanja kompozita sa osnovom od ZA-27 legure. Ovaj postupak karakterističan je po tome što se keramički ojačivači dodaju tokom mešanja metalne osnove koja je u poluočvrslom stanju. Prednost ovog postupka je u tome što se za njegovo izvođenje čestice ojačivača ne moraju prethodno pripremati, tj. može se ostvariti sa česticama koje nisu kvašljive u rastopima metala. Dalja prerada materijala dobijenih kompokasting postupkom moguća je primenom tehnologija kao što su livenje pod pritiskom, presovanje, valjanje i kovanje [1].

2. EKSPERIMENTALNI DEO

2.1 Mikrostruktura i mikrogeometrija

Ispitivani kompozitni materijali sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al_2O_3 dobijeni su kompokasting postupkom koji je izvršen mešanjem u izotermnom režimu.

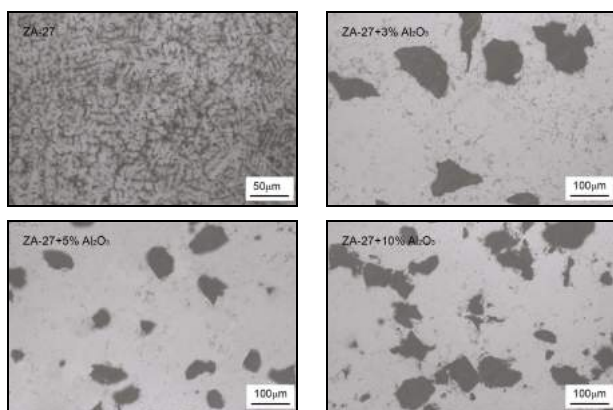
Kao ojačivač korišćen je prah Al_2O_3 veličine čestica $250\text{ }\mu\text{m}$ koji je infiltriran u metalnu osnovu u polučvrstom stanju. Čestice su infiltrirane u količini od 3, 5 i 10 mas.%. Dobijeni uzorci su naknadno toplo presovani da bi se umanjila poroznost. Iz otpresaka su zatim, izrađivani uzorci za tribološka ispitivanja.

U tabeli 1 dat je hemijski sastav osnovnog materijala ZA-27 legure.

Osnova	Elementi, %				
	Al	Zn	Cu	Fe	Mg
ZA-27	28.47	67.77	2.51	0.145	0.011

Tabela 1. Hemijski sastav ZA-27 legure

Izgled mikrostrukture ZA-27 legure i dobijenih kompozitnih materijala prikazan je na slici 1.



Slika 1. Mikrostrukture kompozita ZA-27+ Al_2O_3

Struktura uzorka ZA-27 legure livenog u čeličnoj kokili je tipično dendritna. Velika usitnjenost dendritnih grana posledica je znatnog termalnog pothlađenja tokom procesa livenja. Primetna je izrazita ravnomernost dendritne strukture, što ukazuje na povoljan odnos mehaničkih osobina. Takođe, međudendritna faza bogata cinkom ravnomerno je raspoređena u strukturi (bez pojave ostrvaca, većih zona i sl.) što obično ukazuje na dobar kako površinski, tako i zapreminski raspored centara kristalizacije u fazi očvršćavanja, odnosno na dobro postavljen proces očvršćavanja.

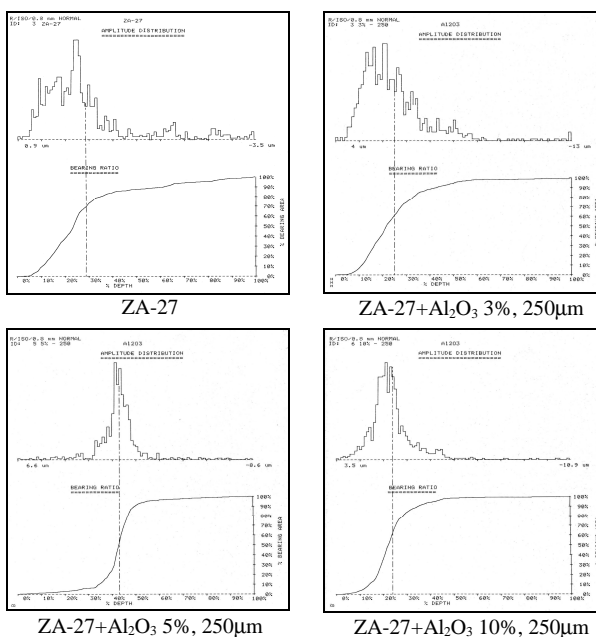
Strukture uzoraka kompozita su morfološki slične. Osnovni razlog ovakve morfologija je u izmeni režima očvršćavanja usled parametara primenjenog kompokasting postupka. Naime, u zonu poluočvrlog stanja, tačnije u temperaturni interval radnih temperatura primenjenog kompokasting postupka, rastop ZA-27 legure doveden je veoma laganim hlađenjem (brzina hlađenja od $5^\circ\text{C}/\text{minuti}$). Da rastop nije podvrgnut procesu mešanja u poluočvrstom stanju, struktura na sobnoj temperaturi bi se sastojala od grubih, veoma izraslih dendrita. Međutim, zbog dejstva sila smicanja tokom kompokasting postupka došlo je do stvaranja krupnih, eliptičnih primarnih čestica, oblika velikih zrna. Drugim rečima, došlo je do transformacije dendritne u nedendritnu strukturu.

Sam raspored ojačivača, koji se može uočiti kada se sagledaju mikrostrukture, ukazuje na tendenciju da se veća količina čestica smešta u oblast međudendritne faze. To je razumljivo, budući da se izvodi mešanje poluočvrstog rastopa ZA-27 legure koji na radnoj temperaturi postupka ima dosta tečne faze, koja pruža manji otpor infiltraciji ojačivača. Pri hlađenju čestice ostaju zarobljene. Interesantno je da ima dosta čestica ojačivača koje su smeštene unutar primarnih dendrita, što ukazuje i na njihovu relativno veliku enegiju koju su primile od mešača.

Mikrogeometrija kontaktnih površina ispitivanih kompozitnih materijala predstavljena je u radu preko osnovnih parametara hrapavosti (R_a , R_z , R_{max}), tabela 2, i krivih nošenja profila, slika 2.

	Maseni udeo, %	Veličina čestica, μm	R_a , μm	R_z , μm	R_{max} , μm
Osnova	ZA-27		0.59	1.46	3.12
Ojačivač	Al_2O_3	3	0.83	2.39	6.03
		5	0.43	1.78	3.48
		10	0.93	3.32	6.51

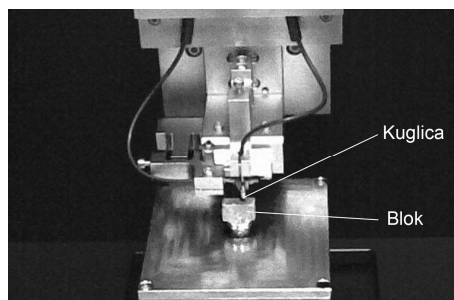
Table 2. Parametri hrapavosti kompozita ZA-27+ Al_2O_3



Slika 2. Krive nošenja i dijagrami raspodela amplituda ispitivanih kompozita

2.2 Tribološka ispitivanja

Tribološka ispitivanja izvršena su na ball-on-block nanotribometru (slika 3), u uslovima bez podmazivanja na sobnoj temperaturi.



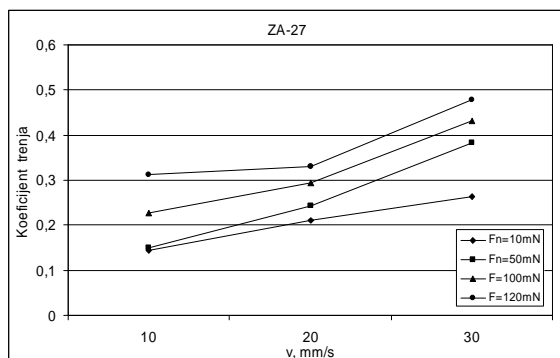
Slika 3. Nanotribometar ball-on-block

Ispitivanja su vršena sa linernim oscilatornim kretanjem. Kontaktni par sastojao se od kuglice prečnika $D_b=1.5\text{ mm}$ i bloka širine $b_b=6.35\text{ mm}$, dužine $l_b=15.75\text{ mm}$ i visine $h_b=10.16\text{ mm}$. Kuglica je izrađena od čelika, a blokovi od ispitivanih ZA-27 + Al_2O_3 kompozita.

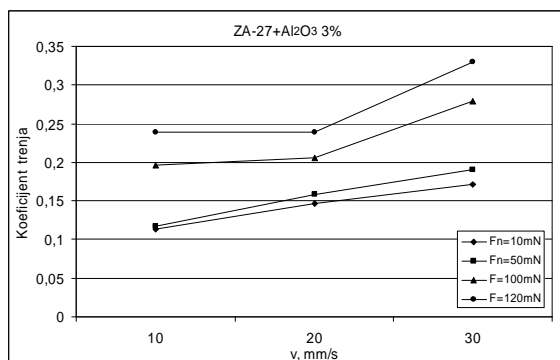
Ispitivanja su vršena uz variranje četiri nivoa normalnog kontaktnog opterećenja (10 mN, 50 mN, 100 mN i 120 mN) i tri nivoa brzine klizanja (10 mm/s, 20 mm/s i 30 mm/s), u uslovima bez podmazivanja. Tokom triboloških ispitivanja meren je samo kao osnovni tribološki parametar koeficijent trenja.

3. REZULTATI TRIBOLOŠKIH ISPITIVANJA

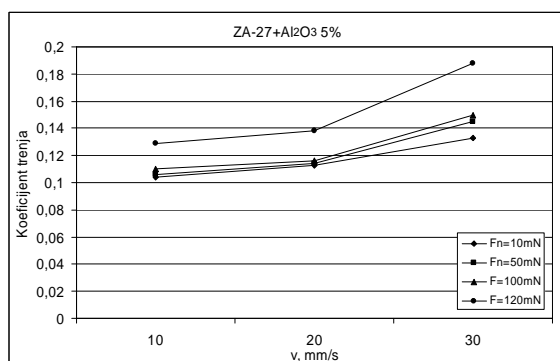
Na osnovu sprovedenih triboloških ispitivanja formirane su dijagramske zavisnosti promene koeficijenta trenja od uslova ispitivanja, slike 4-7. Dijagrami pokazuju postojanje znatnog uticaja parametara uslova kontakta (v i F_n) na frikciono ponašanje svih ispitivanih kontaktnih parova. Kod svih ispitivanih materijala izražen je sličan karakter tih uticaja ali na različitim nivoima. Sa porastom brzine klizanja i normalnog kontaktnog opterećenja raste koeficijent trenja.



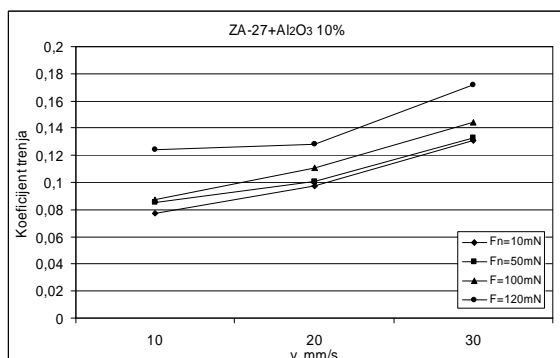
Slika 4. Koeficijent trenja, ZA-27



Slika 5. Koeficijent trenja, ZA-27+Al₂O₃ 3%



Slika 6. Koeficijent trenja, ZA-27+Al₂O₃ 5%



Slika 7. Koeficijent trenja, ZA-27+Al₂O₃ 10%

Uticaj parametara uslova kontakta (brzine klizanja i normalnog opterećenja) na koeficijent trenja može se iskazati analitičkim zavisnostima (regresionom funkcijom) u obliku:

$$f = C \cdot F_n^x \cdot v^y$$

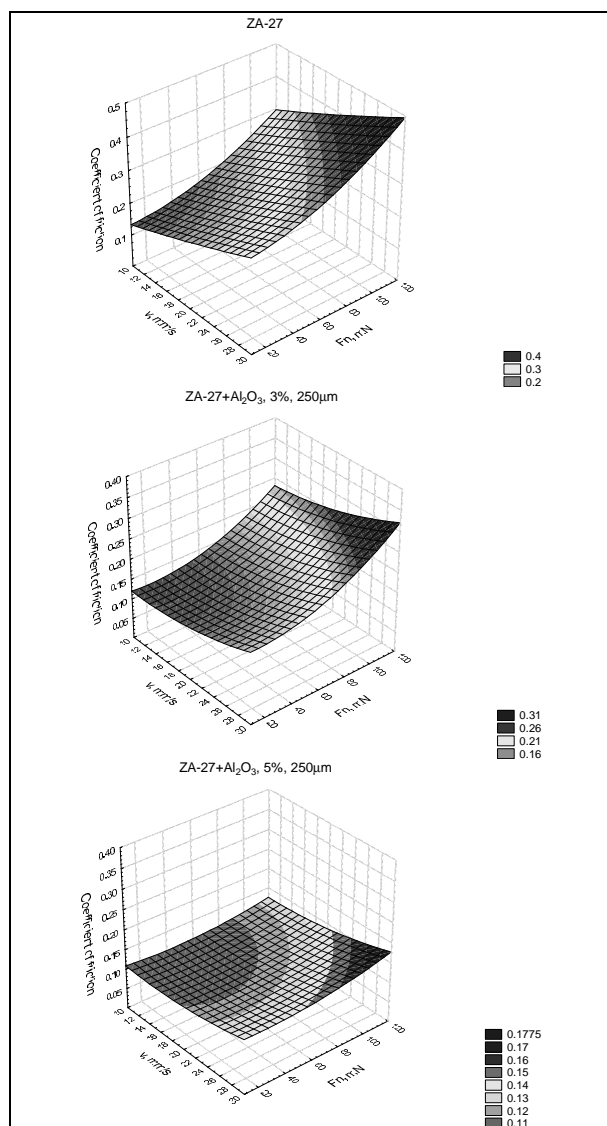
Konstante C i eksponente x i y uz koeficijente korelacije date su u Tabeli 3.

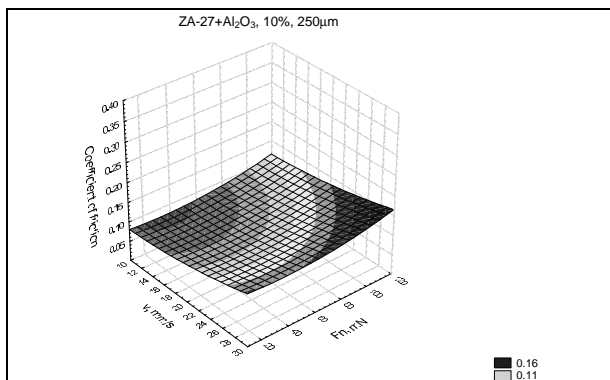
Koeficijent trenja $f = C \cdot F_n^x \cdot v^y$		C	x	y
ZA-27		0.0189	0.2642	0.5705
Reinforcer	Al ₂ O ₃ 3%	0.0237	0.2760	0.3450
	Al ₂ O ₃ 5%	0.0391	0.0825	0.2951
	Al ₂ O ₃ 10%	0.0229	0.1034	0.4107

Tabela 3. Koeficijent trenja, $f = C \cdot F_n^x \cdot v^y$

Dobijene analitičke zavisnosti ukazuju, još jasnije, na prikazane odnose frikcionih karakteristika kontaktnih parova. U cilju sagledavanja uticaja brzine klizanja i normalnog kontaktnog opterećenja na koeficijent trenja legure ZA-27 i kompozitnih materijala sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al₂O₃ formirani su 3D dijagrami zavisnosti koeficijenta trenja od brzine klizanja i normalnog opterećenja. Ovi dijagrami su prikazani na slici od 8.

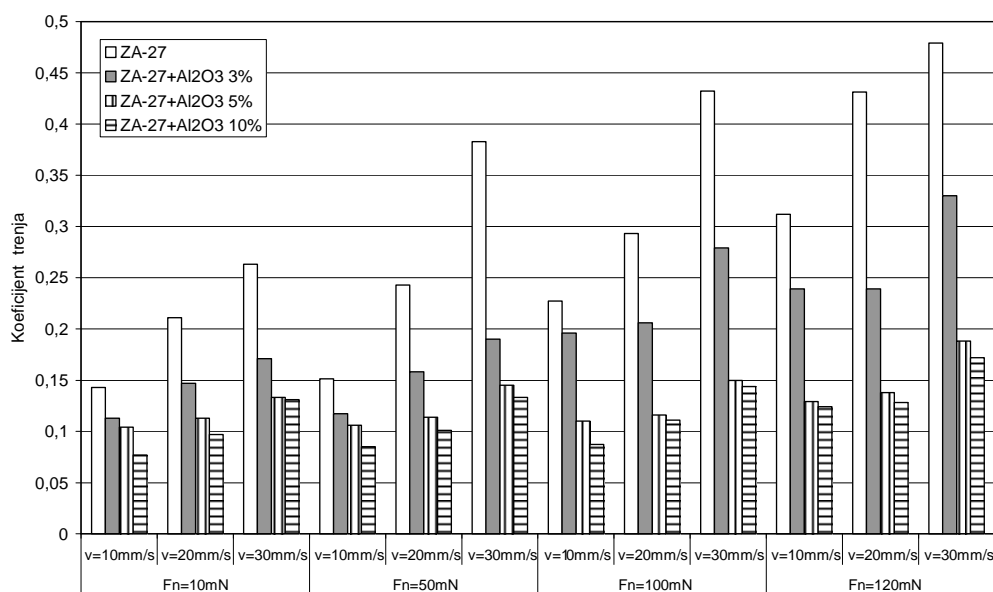
Grafičke zavisnosti promene koeficijenta trenja od brzine klizanja i normalnog opterećenja aproksimirane su eksponencionalnim regresionim funkcijama.





Slika 8. Koeficijenti trenja, ZA-27+Al₂O₃

Na slici 9 dat je uporedni prikaz nivoa koeficijenata trenja kompozitnih materijala za različite uslove kontakta, koji jasno odlikava rang frikcionih svojstava ispitivanih materijala.



Slika 9. Koeficijent trenja ZA-27+Al₂O₃ u zavisnosti od brzine klizanja i normalnog opterećenja

4. ZAKLJUČAK

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja pokazuju da je promenom masenog udela čestica ojačivača Al₂O₃ moguće uticati na tribološke karakteristike ispitivanih kompozita sa osnovom od ZA-27 legure.

Ispitivanjem triboloških karakteristika kompozitnih materijala sa osnovom od ZA-27 legure ojačane česticama Al₂O₃ dolazi se do zaključaka:

- Svi ispitivani kompozitni materijali imaju znatno niži koeficijent trenja u odnosu na osnovu ZA-27 leguru za sve uslove ispitivanja.
- Povećanje masenog udela čestica ojačivača Al₂O₃ pozitivno utiče na frikционе karakteristike. Ovo je posebno izraženo pri većim brzinama klizanja i većem normalnom opterećenju.
- Najbolje frikционе karakteristi uočene su kod kompozita sa najvećim masenim udelom čestica Al₂O₃ od 10 mas.%

5. LITERATURA

[1.] Bobić I., Jovanović M. T., Ilić N., Microstructure and Strength of ZA 27-Based Composites Reinforced with Al₂O₃ Particles, Materials Letters, 2003.

Prikazani dijagram pokazuje jednoznačan uticaj normalnog kontaktnog opterećenja na koeficijent trenja kod svih ispitivanih materijala. Generalno, koeficijent trenja raste sa porastom brzine klizanja i normalne sile. Razlike u nivoima koeficijenata trenja ispitivanih materijala za sve uslove imaju isti karakter.

Najveće vrednosti koeficijenata trenja odgovaraju najvećoj brzini klizanja ($v=30 \text{ mm/s}$) i najvećim vrednostima normalnog opterećenja ($F_n=120 \text{ mN}$). Pri najmanjoj brzini klizanja ($v=10 \text{ mm/s}$) zabeležene su najniže vrednosti koeficijenata trenja za sve ispitivane materijale.

Povećanjem masenog udela čestica ojačivača Al₂O₃ pozitivno utiče na frikционе karakteristike. Ovo je naročito izraženo pri većim brzinama klizanja i većem opterećenju, kada je moguće povećanjem masenog udela čestica ojačivača Al₂O₃ smanjiti koeficijent trenja i do 60% u odnosu na osnovu - leguru ZA-27.

Uočljivo je da u svim ispitivanim uslovima najbolje frikционе karakteristike pokazuje kompozitni materijal sa česticama Al₂O₃ veličina 250 µm u količini od 10 mas.%.

- [2.] Mitrović S., Babić M., Bobić I., ZA-27 Alloy Composites Reinforced with Al₂O₃ Particles, Tribology in industry, vol. 29, No. 3&4, 2007.
- [3.] Mitrovic S., Tribological Properties of Composites With Base Matrix of The Za-27 Alloy, Ph.D. Dissertation, Kragujevac, 2000.
- [4.] Babić M., Mitrović S., Tribološke karakteristike kompozita na bazi ZnAl legura, Monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2007.
- [5.] Ashby M. F., Jones D.R.H., Engineering Materials 1&2, An Introduction to their Properties and Applications, Elsevier Science, 2002.
- [6.] Kok M., Production and mechanical properties of Al₂O₃ particle reinforced 2024 aluminium alloy composites, Journal of Materials Processing Technology 161, 381-387, 2005.

Autori: Doc. dr Mitrović Slobodan, Prof. dr Babić Miroslav, Mr Živić Fatima, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, dr Bobić Ilija, Institut za nuklearne nauke „Vinča“.

E-mail: boban@kg.ac.yu, babic@kg.ac.yu, zivic@kg.ac.yu, ilijab@vin.bg.ac.yu

Мошенок, В. И. , Тарабанова, В. П. , Черняева, А. В.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ НА ЖАРОПРОЧНЫЕ СВОЙСТВА ДЕТАЛЕЙ ТУРБИН

Резюме: Исследовано влияние типа структуры жаропрочной стали на длительную прочность, длительную пластичность, характер разрушения.

Ключевые слова: длительная прочность, длительная пластичность, феррит, бейнит, излом.

1. ВВЕДЕНИЕ

Хромомолибденованадиевые стали широко применяются в турбиностроении для деталей, работающих при повышенных температурах в условиях ползучести. В процессе термообработки этих деталей формируется разнообразная структура. Однако характер разрушения Cr-Mo-V-сталей при ползучести в зависимости от их структуры до настоящего времени не изучен в достаточной мере. Этому вопросу посвящено данное исследование.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Были исследованы отливки из стали 15X1M1Ф после термообработки, состоящей из двух нормализаций (первая при 1030-1050, вторая при 980-1020°C) при 730°C. Скорости охлаждения из аустенитного состояния были расширены за пределы характерных для нормализации и соответствовали значениям от 45 до 8670 град/ч.

После указанной термообработки основными структурными составляющими в стали являются феррит и бейнит, соотношение которых зависит от скорости охлаждения из аустенитного состояния. При скоростях охлаждения до 150 град/ч в стали формируется преимущественно ферритная структура (бейнита не более 5%), а при скоростях охлаждения 1590-8670 град/ч – чисто бейнитная. Для сталей с указанными типами структуры были проведены испытания на длительный разрыв при температуре 565°C.

Характер разрушения при длительном разрыве изучался на световом микроскопе на шлифах, вырезанных вблизи излома образцов, а также на изломах образцов на электронном микроскопе с использованием методики микрофрактографии [1,2]. Для оценки площади, занятой трещинами, вблизи излома образцов, испытанных на длительный разрыв, применялся метод планиметрирования фотографий микроструктур (измерение проводилось на площади шлифа $12 \cdot 10^{-2}$ мм² не менее, чем на 100 полях зрения) при увеличении 300. Площадь трещин определялась как величина

$$\frac{S_T}{S_n} \cdot 100\%, \text{ где } S_n - \text{площадь поля зрения шлифа, } S_T -$$

площадь, занятая трещинами в данном поле зрения. На этой же площади шлифа подсчитывалось количество трещин.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Зависимость длительной пластичности стали с бейнитной структурой от продолжительности испытаний представляет собой кривую с минимумом (фиг. 1). Уровень характеристик длительной пластичности зависит от типа исходной структуры, структурных изменений и характера разрушений в процессе ползучести.

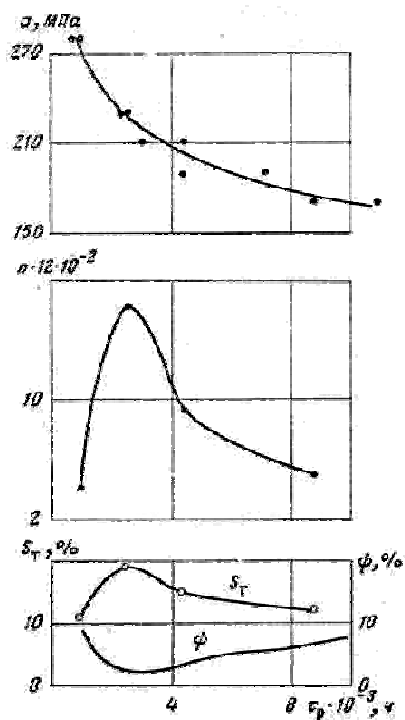
Снижению пластичности соответствует укрупнение карбидов по границам зерен, обособление полей в бейните. Прохождение кривой $\Psi=f(\tau)$ через минимум связано с ярко выраженной неоднородностью структуры. При повышении пластичности наблюдается перерождение бейнита в однородную феррито-карбидную смесь [3].

Структурные изменения неизбежно сказываются на характере разрушения. Для нисходящей ветви указанной кривой характерны крупные трещины, которые распространяются как по зерну, так и по границам зерен.

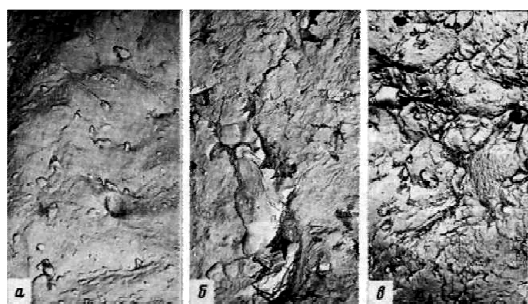
Они направлены под углом 90° к приложенной нагрузке. Возникновение трещин подобного вида, как правило, инициируется межзеренным скольжением [4]. Для изломов образцов на указанном участке кривой характерны как вязкие, так и хрупкие области внутри- и межзеренного разрушения. Вид участков межзеренного излома, инициированного карбидами, показан на фрактограмме фиг. 2а.

Минимуму кривой соответствуют тонкие трещины с заостренными краями, что характерно для хрупкого разрушения. В изломах образцов, соответствующих минимуму пластичности, почти отсутствуют участки вязкого разрушения. Преобладают неоднородные изломы сложного строения. Участки внутриверхнего скола чередуются с зоной вытяжки. Наблюдаются впадины, уступы, вырывы (фиг. 2б).

На восходящей ветви кривой $\Psi=f(\tau)$ после 10 000 ч испытаний преобладают трещины с заоваленными краями, что свидетельствует об увеличении пластичности металла и развитии релаксации напряжений вблизи трещин. Большое количество трещин вблизи излома имеет межзеренный характер. На поверхности разрушения образцов видны семейства мелких и крупных пор, на первый взгляд создающих впечатление вязкого разрушения [5]. На дне некоторых пор располагаются карбиды. Между семействами пор наблюдаются сглаженные участки межзеренного излома и зоны среза (фиг. 2в). Участки межзеренного разрушения занимают около 60% поверхности излома.



Фиг. 1. Зависимость относительного сужения, количества трещин и площади, занимаемой ими, стали с бейнитной структурой от продолжительности испытаний

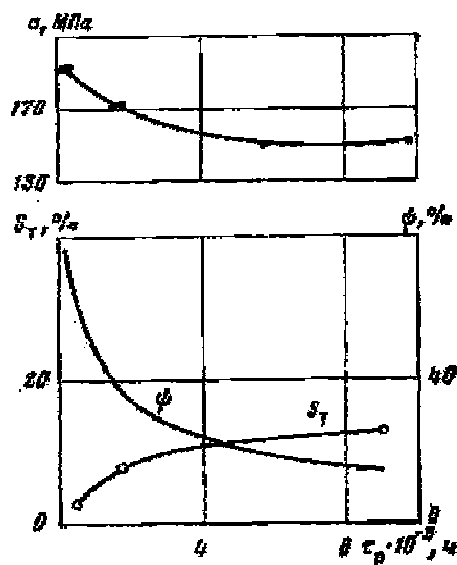


Фиг. 2. Фрактограммы изломов стали с бейнитной структурой

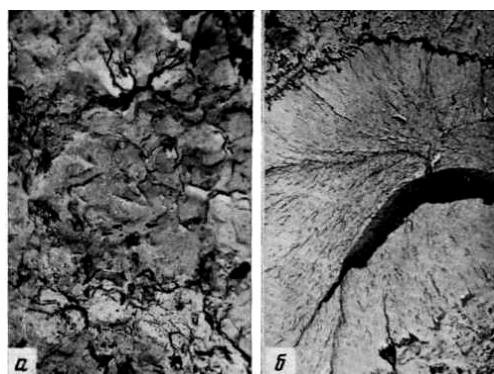
На фиг. 1 приведены зависимости количества трещин вблизи излома и площади, занимаемой ими, от продолжительности испытаний. Из сопоставления указанных зависимостей с кривой $\Psi=f(\tau)$ следует, что максимальное количество трещин и максимальная площадь, занятая ими, соответствуют минимуму пластичности.

Кривая $\Psi=f(\tau)$ для стали с ферритной структурой в пределах времени эксперимента в отличие от таковой для стали с бейнитной структурой не проходит через минимум (фиг. 3). На кривой $\Psi=f(\tau)$ (фиг. 3) можно выделить два участка, отличающиеся степенью снижения пластичности: первый - интенсивного снижения и второй - замедленного снижения. Снижение пластичности стали в первую очередь связано с укрупнением карбидов по границам зерен. Снижение пластичности сопровождается изменением характера трещин. Преобладающие на первом участке кривой внутризеренные трещины, расположенные по направлению приложенной нагрузки, постепенно сменяются межзеренными трещинами, ориентированными под углом 45° к приложенной нагрузке. Однако межзеренные трещины после времени эксперимента до 10 000 ч еще не становятся преобладающими.

Возникновение межзеренных трещин следует связывать с интенсивным укрупнением карбидов по границам зерен, облегчающим зарождение разрушения.



Фиг. 3. Зависимость относительного сужения и площади, занимаемой трещинами, стали с ферритной структурой от продолжительности испытаний



Фиг. 4. Фрактограммы изломов стали с ферритной структурой

В изломах образцов с высокой пластичностью (первый участок кривой $\Psi=f(\tau)$) преобладают вязкие участки чашечного строения (фиг. 4а). По мере снижения пластичности наряду с вязким внутризеренным разрушением появляются типичные признаки вязкого межзеренного и хрупкого разрушения. В изломах стали с пониженной пластичностью (второй участок кривой $\Psi=f(\tau)$ $\tau=10\ 000$ ч) участки межзеренного разрушения занимают 30% поверхности излома. На фрактограммах после указанного времени обнаруживаются участки излома типа речного узора, по характеру которого можно предположить, что очаг разрушения зарождается на стыке зерен (фиг. 4б).

На фиг. 3 показаны зависимости длительной пластичности и площади, занятой трещинами вблизи излома стали с ферритной структурой, от продолжительности испытаний. Видно, что существенному увеличению площади, занятой трещинами, соответствует интенсивное снижение пластичности. Однако в стали с ферритной структурой возрастание доли межзеренного разрушения, появление участков хрупкого внутри- и межзеренного излома

происходят после более продолжительных испытаний, чем в металле с бейнитной структурой.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изломы металла с бейнитной структурой менее однородны. Участки хрупкого скола имеют различный характер. В металле с бейнитной структурой развитие скола ограничивается субграницами. В металле с ферритной структурой скол развивается свободно, не встречая особых препятствий внутри зерна. В изломах металла с ферритной структурой карбиды встречаются редко, в изломах же металла с бейнитной структурой их большое количество. По-видимому, роль карбидов при разрушении зависит от свойств матрицы. В металле с ферритной структурой напряжения у карбидов благодаря пластичной матрице легко релаксируют и разрушение происходит по объемам металла, прилегающим к карбидам. В металле с бейнитной структурой они вызывают локализацию деформации и разрушения на границе карбид-матрица.

Площадь участков межзеренного разрушения в изломе металла с бейнитной структурой после испытаний одинаковой продолжительности в два раза больше, чем в изломе металла с ферритной структурой. В металле с бейнитной структурой после испытаний продолжительностью 10 000 ч наблюдается типичная для испытаний на длительный разрыв при повышенных температурах картина межзеренного разрушения путем порообразования, тогда как для металла с ферритной структурой такие участки излома после указанной продолжительности отсутствуют.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Металлография железа. *Атлас микроструктур* (под ред. Тавадзе Ф. Н.), ч. 1. М.: Металлургия, 1972, с. 1273
- [2] Браун М. П., Веселянский Ю. С. и др. Фактография, прокаливаемость и свойства сплавов. Киев: *Наукова думка*, 2006, с. 104.
- [3] Трусов Л. П., Мищенко Л. Д., Дьяченко С. С. *Длительная пластичность металла отливок стали 15Х1М1ФЛ в зависимости от структурного состояния*. – *Теплоэнергетика*, 1997, № 3, с. 88.
- [4] Маклин Д. *Механические свойства металлов*. М.: Металлургия, 2005, с. 431.
- [5] Джон Р. Лоу. Микроструктурная картина разрушения. – В кн.: *Разрушение твердых тел*. М.: Металлургия, 2004, с. 7.

Autori: **Василий Иванович Мощенок** – проф., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина,

Валентина Павловна Тарабанова – доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина

E-mail: ktm@khadi.kharkov.ua
diana@khadi.kharkov.ua
ktm@khadi.kharkov.ua
diana@khadi.kharkov.ua

Nedić, B., Vesić, N.

UTICAJ TEHNOLOŠKIH PARAMETARA IZRADE NA KOLORIMETRIJSKE KARAKTERISTIKE

Rezime: U radu je prikazan deo rezultata eksperimentalnih ispitivanja uticaja variranja tehnoloških parametara prerade plastičnih masa brizganjem na fotometrijske i kolorimetrijske karakteristike transparenta svetlosne opreme. Nepravilnim izborom tehnoloških parametara prerade, odnosno neadekvatnim izborom vrednosti temperatura, pritiska, brzina i vremena, uočavaju se greške koje znatno umanjuju kvalitet dobijenih delova.

Cljučne reči: kolorimetrija, svetlosna oprema, plastične mase, tehnološki parametri prerade

THE IMPACT OF THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PRODUCTION ON COLORIMETRY CHARACTERISTICS

Abstract: Experimental research analyzed the influence of variation of technological parameters of fabrication by injection on photometric and colorimetric characteristics of light equipment. If the choice of technological parameters like temperature, pressure, speed or time is inadequate, errors that significantly lowers the quality of manufactured parts can be spotted.

Key words: colorimetry, light equipment, plastic, plastics processing

1. UVOD

Da bi se odabrao optimalan polimer za određenu primenu potrebno je raspolagati podacima o osobinama polimera i tehnološkim mogućnostima njihove prerade.

Osnovni činioci koji uslovljavaju izbor polimera su:

- mehaničke osobine (žilavost, čvrstoća, otpornost na habanje...),
- toplotne osobine (specifični toplotni kapacitet, zapaljivost, sadržaj toplote),
- električne osobine (dielektrična čvrstoća, probojnost),
- optičke osobine (transparentnost, refleksija),
- hemijske osobine (otpornost na delovanje kiselina i baza),
- osobine površine (hrpavost, sjaj, boja),
- dimenziona stabilnost (dopuštena odstupanja),
- tehnološki parametri izrade (sposobnost punjenja kalupne šupljine, mogućnost potiskivanja otpreska iz kalupne šupljine i dr.).

Injekciono brizganje polimera ima široke mogućnosti u pogledu upotrebljenog materijala za preradu, oblika, osobina i dimenziona stabilnosti proizvoda. Usled tih mogućnosti i zahteva koji se postavljaju u pogledu kvaliteta i dimenzionalne stabilnosti proizvoda od osnovne je važnosti poznavanje parametara prerade koji utiču na kvalitet proizvoda, kao i problema koji se javljaju u procesu brizganja, a koji su u stanju da dovedu do odstupanja od propisanih zahteva za proizvod.

Dobijanje kvalitetnog dela određuje izgled površine otpreska, struktura materijala, dimenziona stabilnost i osnovne osobine polimera.

Plan ispitivanja je zasnovan na teorijski potvrđenoj činjenici da je kvalitet otpreska rezultat karakteristika polimera i tehnoloških parametara njegove prerade injekcionim brizganjem. Najuticajnije veličine u sistemu injekcionog brizganja polimera su temperatura kalupne šupljine, pritisak u kalupnoj šupljini, temperatura rastopa polimera i brzina ubrizgavanja. Cilj ovih eksperimentalnih ispitivanja je da se ukaže da su tehnološki parametri prerade polimera od bitnog uticaja na

fotometrijske i kolorimetrijske karakteristike i da moraju biti u strogo definisanim granicama da bi bili zadovoljeni zahtevi propisani od strane Internacionalne komisiji za osvetljenje (CIE), 1931.

2. USLOVI ISPITIVANJA

Realizovana ispitivanja su obuhvatala variranje tehnoloških parametara prerade i van preporučenih granica, minimuma-maksimuma, i ispitivanje kolorimetrijskih karakteristika dobijenih transparenta zadnjeg grupisanog svetla za vozilo "Zastava Florida", slika 1.

Takode, sagledano je koji od parametara obrade ima najveći uticaj na kvalitet dobijenog transparenta.

Pri svakoj promeni režima obrade urađena su postupkom brizganja po dvadeset uzoraka. Merenja fotometrijskih i kolorimetrijskih karakteristika su vršena na tri slučajno izabrana uzorka transparenta crvene boje, stop svetla, za svaki od ukupno sedamnaest variranih režima obrade.

Proizvod se dobija tako što se najpre na jednoj mašini vrši izrada belog transparenta, a odmah nakon toga, na drugoj mašini, vrši izlivanje crvenog transparenta.



Slika 1. Ispitivani uzorak zadnjeg grupisanog svetla

Osnovne karakteristike procesa pri izradi proizvoda postupkom brizganja date su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne karakteristike procesa

Tehnologija brizganja svetlosne opreme		
Naziv dela	Zadnje grupisano svetlo automobil "Zastava Florida"	
Mašina	ENGEL 700/200	
Proizvođač materijala	DIAKON ITALIA	
Vrsta materijala	PMMA - granulat crvene boje	
Varirani režimi obrade		
Parametar prerade	Opseg merenja	
	min	max
Temperatura cilindra, °C	220	260
Pritisak ubrizgavanja, bar	80	160
Brzina ubrizgavanja, m/s	20	60
Vreme brizganja, s	25	59

U tabeli 2 date su granične vrednosti koordinata za sve tri boje transparentata propisane od strane međunarodne komisije za osvetljenje CIE.

Tabela 2. Trihromatske koordinate boje

CRVENA	granica ka žutom:	$y \leq 0,335$
	granica ka purpurnom:	$z \leq 0,008$
BELA	granica ka plavom:	$x \geq 0,310$
	granica ka žutom:	$x \leq 0,500$
	granica ka zelenom:	$y \leq 0,150 + 0,640x$
	granica ka zelenom:	$y \leq 0,440$
	granica ka purpurnom:	$y \geq 0,050 + 0,750x$
AMBER	granica ka crvenom:	$y \geq 0,382$
	granica ka crvenom:	$y \geq 0,138 + 0,580x$
	granica ka zelenom:	$y \leq 1,29x - 0,100$
	granica ka belom:	$y \geq -x + 0,966$
	spektralna vrednost:	$y \leq -x + 0,992$

Za proveru gore navedenih kolorimetrijskih karakteristika koristi se svetlosni izvor na temperaturi boje od 2856 K koji odgovara standardnom iluminantu A Međunarodne komisije za osvetljenje (CIE).

Eksperimentalna ispitivanja su realizovana u akreditovanoj laboratoriji preduzeća "21. Oktobar", Kragujevac, na savremenoj mernoj opremi koju čine univerzalni goniometar sa ugaonim podešavanjem po horizontali i vertikalni, standardni CIE izvor svetlosti "A" (halogena sijalica sa užarenim vlaknom) i uređaj za merenje fotometrijskih i kolorimetrijskih karakteristika, luminans kolorimetar TOPCON BM7, slika 2.



Slika 2. Osnovni delovi uređaja TOPCON BM7

TOPCON BM7 luminans-kolorimetar je jedan u nizu serija uređaja koji pored definisanja koordinata boje, može meriti i fotometrijsku veličinu – luminanciju kao i temperaturu boje nekog predmeta.

Osnovni princip rada uređaja se sastoji u tome da reflektovani svetlosni snop sa objekta dolazi na ulaz kolorimetra i preko sistema sočiva, filtera i odgovarajućih pretvarača dolazi na silicijumsku fotodiodu odakle se preko pretvarača na izlazu uređaja dobija digitalni zapis koji se očitava na displeju u obliku x, y hromatskih koordinata boje.

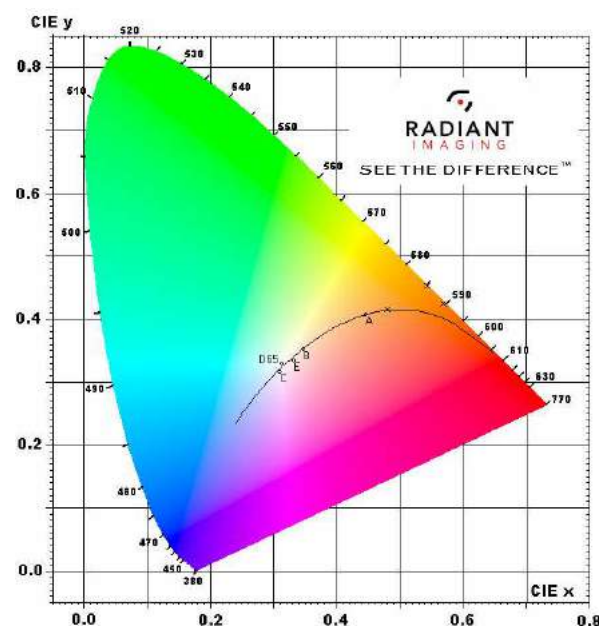
3. REZULTATI ISPITIVANJA

Analiza dobijenih rezultata merenja sa aspekta fotometrijskih i kolorimetrijskih karakteristika ima za cilj da prikaže odstupanja hromatskih koordinata boje i fotometrijske veličine luminancije variranjem vrednosti tehnoloških parametara prerade u širokom opsegu.

Tabela 3. Primer dobijenih rezultata merenja koordinata boja i luminancije za ispitivani transparent

Crveni transparent	granica prema žutom:	y≤0,335	
	granica prema purpurnom:	z≤0,008	
Režim 1			
Temperatura brizganja, °C	240/6		
Pritisak brizganja, bar	115		
Dopunski pritisak, bar	38		
Vreme brizg. + dodatno vreme, s	26+9		
Brzina ubrizgavanja, mm/s	20		
Rezultati izmerenih koordinata boje i luminancije			
Uzorak	1	2	3
x	0,6856	0,6732	0,6765
y	0,3086	0,3212	0,3177
L	5,225x10 ³	7,227x10 ³	5,249x10 ³

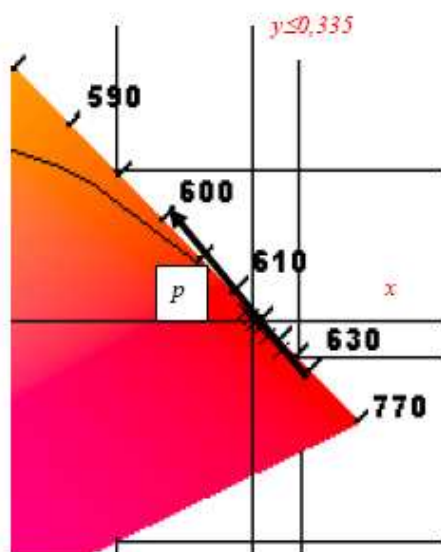
Dobijeni rezultati merenja su dati u tabelama i prikazani na dijagramu boja trihromatskim koordinatama boja u xy-ravni. Na slici 3 prikazan je dijagram spektralnih boja u xy ravni. Vidljivo područje spektra između 380 i 780 nm talasne dužine svetlosti predstavljeno je na tzv. potkovičastom dijagramu boja, gde je sa "A" označen standardni izvor svetlosti, definisan standardom.



Slika 3. Dijagram hromatičnosti

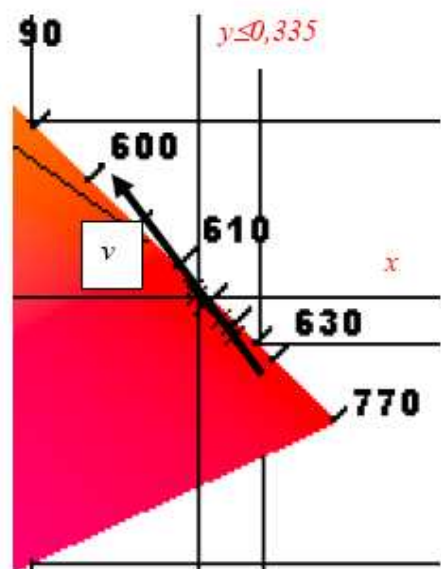
Na slici 4 prikazan je uticaj pritiska ubrizgavanja na kolorimetrijske karakteristike pri brzini ubrizgavanja 20 m/s, ispod granične vrednosti minimuma, temperaturi cilindra 260°C i vremenu brizganja 26+9 s.

Sa porastom pritiska ubrizgavanja u rasponu od 80 bara (režim obrade 9) do 160 bara (režim obrade 4), uočavaju se promene koordinata boje i trend odstupanja koordinata od propisanih vrednosti pri maksimalnom pritisku od 160 bara, čime se potvrđuje uticaj variranja pritiska ubrizgavanja na kvalitet boje.



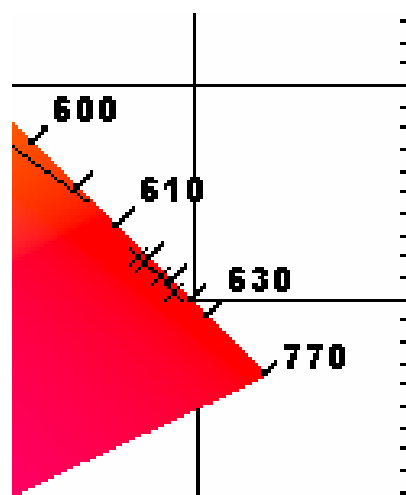
Slika 4. Uticaj variranja pritiska ubrizgavanja na hromatske koordinate boje

Uticaj brzine ubrizgavanja na kvalitet i tačnost boje prikazan je na slici 5. Porastom brzine ubrizgavanja od minimum 20 m/s do maksimum 60 m/s, pri zadržavanju konstantnog pritiska, vremena i temperature ubrizgavanja, prikazan je trend kretanja koordinata boje. Pri maksimalnoj brzini od 60 m/s dolazi do odstupanja granične vrednosti prema žutoj.



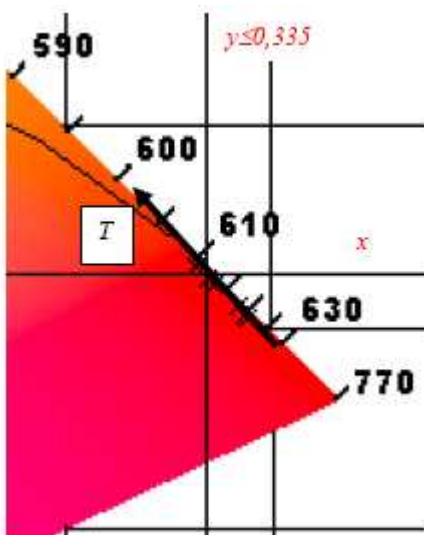
Slika 5. Uticaj variranja brzine ubrizgavanja na hromatske koordinate boje

Uticaj temperature ubrizgavanja na kvalitet i tačnost boje uz zadržavanje konstantnih vrednosti vremena, pritiska i brzine ubrizgavanja, prikazan je na slici 6. U ovom slučaju pritisak i brzina ubrizgavanja su 80 bara i 20 m/s. Nisu uočene značajne promene koordinata boje van propisanih vrednosti.



Slika 6. Uticaj variranja temperature ubrizgavanja pri minimalnim vrednostima pritiska i brzine na hromatske koordinate boje

Sa druge strane variranjem temperature ubrizgavanja pri konstantnim većim vrednostima pritiska, 160 bara i brzine ubrizgavanja 40 m/s, dolazi do grešaka boje. Pri temperaturi od 260°C koordinate boje ne zadovoljavaju standard i ne mogu se ucrtati na dijagramu boja, slika 7.



Slika 7. Uticaj variranja temperature ubrizgavanja pri maksimalnim vrednostima pritiska i brzine ubrizgavanja na hromatske koordinate boje

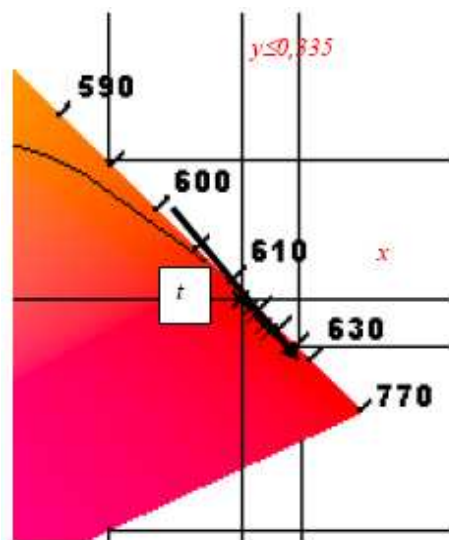
Na slici 8 prikazan je uticaj vremena brizganja na kolorimetrijske karakteristike uzoraka. Vreme brizganja je varirano od 25 s do 59 s. Porastom vremena brizganja koordinate crvene boje imaju trend ka purpurnoj. Zaključuje se da bilo koji zastoj u procesu proizvodnje utiče na kvalitet boje sa aspekta kolorimetrijskih karakteristika.

Analizom rezultata merenja može se uočiti sledeće:

- Niska temperatura brizganja podrazumeva nedovoljnu tečljivost materijala, tj. nepotpuno ulivanje kalupne šupljine, što prouzrokuje znatno preliivanje i zaglavlivanje viška mase u materijalu (greška obrade); Merenjem kolorimetrijskih i fotometrijskih karakteristika uočava se greška boje, tj. uticaj niske temperature i pritiska brizganja odražava se negativno na boju otpreska;
- Naglim uvećanjem vremena brizganja uočavaju se promene u rezultatu u vidu sitnih pora i mehurova (greška

obrade); Koordinate boje za dati režim nalaze se van predviđenih i ne mogu se ucrtati na dijagramu boja;

- Nagli skok pritiska uz maksimalnu temperaturu ubrizgavanja dolazi do preliivanja boje, što utiče na pojavu grešaka pri merenju koordinata boja.



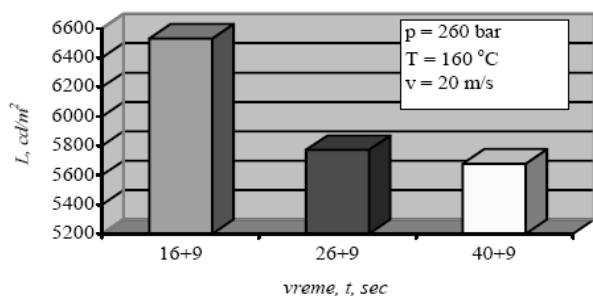
Slika 8. Uticaj vremena brizganja na hromatske koordinate boje

Uticaj variranja tehnoloških parametara prerade na fotometrijsku veličinu - luminanciju prikazan je na sledećim slikama.

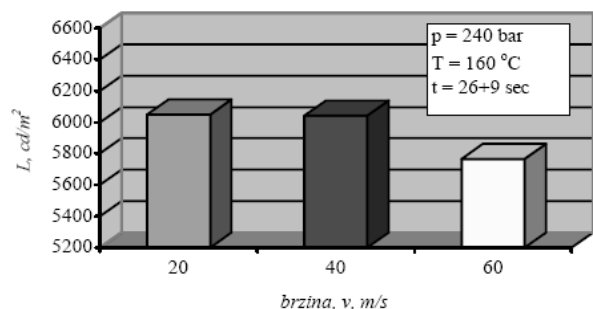
Promenom režima obrade uočene su značajne promene luminancije ispitivanih transparentata, zapažen je trend promena, što ukazuje na nove nepoznanice i oblast budućih istraživanja kojima treba posvetiti punu pažnju.

Analizom rezultata može se zaključiti da je uticaj na luminanciju znatan:

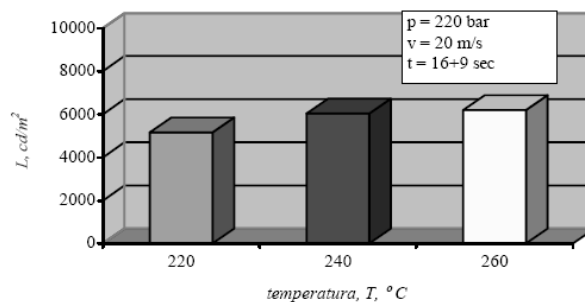
- variranje vremena, brzine i temperature brizganja značajno utiču na luminanciju, dok promena pritiska u variranim režimima nema značajniji uticaj.



Slika 9. Uticaj vremena brizganja i dodatnog vremena na luminanciju



Slika 10. Uticaj brzine brizganja na luminanciju



Slika 11. Uticaj temperature brizganja na luminanciju

4. ZAKLJUČAK

I danas kada se teži skraćenju vremena izrade kod brojnih, novih alata, posebno kod uređaja za temperiranje alata, postupak brizganja koji je trajao više desetina sekundi, svodi se na nekoliko sekundi.

Ako se ima u vidu da znatno smanjenje brzine brizganja, skraćenje vremena, povećanje temperature brizganja, dovodi do znatnih promena vrednosti luminancije, istraživanja u ovoj oblasti imaju velikog značaja.

Rezultati tih istraživanja su posebno interesantni za proizvođače boja i pigmenta, proizvođače alata, a takođe i projektante delova od plastičnih masa.

Tehnološki parametri prerade kod novih savremenih alata i procesa brizganja sigurno imaju uticaja na izbor sastava smese plastične mase, boja i pigmenta, ukoliko se to vrši pri ekstruzionom brizganju.

Ekspерiment u celini pokazuje značaj poznavanja uticaja tehnoloških parametara prerade, pre svih brzine i pritiska ubrizgavanja na fotometrijske i kolorimetrijske karakteristike.

Promena tehnoloških parametara u dozvoljenim granicama ukazuje na promenu boje. Međutim, variranjem parametara prerade van graničnih vrednosti uočavaju se promene boje u toj meri da se koordinate boje nalaze izvan dijagrama boja.

Ekspерimentalna ispitivanja samo potvrđuju teorijski značaj boje u svim oblastima interesovanja uključujući i automobilsku industriju i značaj boje u domenu svetlosne opreme.

LITERATURA

- [1] Vesić, N., Uticaj tehnoloških parametara prerade na fotometrijske i kolorimetrijske karakteristike delova od plastičnih masa, magistarska teza, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2007.
- [2] Vesić, N., Značaj boje u tehnološkom lancu izrade proizvoda, 31. Savetovanje proizvodnog mašinstva SCG, Kragujevac, 2006.
- [3] Nedić, B., Vesić, N., Vasiljević, D., Boja, kolorimetrija i plastične mase, monografija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2008.
- [4] Precise Color Communication, Konica Minolta Sensing, Japan, 1998.
- [5] Robert A., Charvat, Coloring of Plastics, Wiley-Interscience, Cleveland, Ohio, 2004.
- [6] Vretenar P., Osnovi tehnologije optičkih elemenata, Mašinski fakultet, Sarajevo, 1998.

Autori: **Prof. dr Bogdan Nedić**, Mašinski fakultet, Kragujevac, Sestre Janjić 6, 034 332 810, nedic@kg.ac.yu
Mr Nataša Vesić, Zastava automobili, Kragujevac, Trg topolivaca 4, 034 323 144, nacco@verat.net

Rajnović, D., Erić, O., Šidanin, L.

PRELAZNA TEMPERATURA NODULARNOG LIVA I ADI MATERIJALA

Rezime: Prelazna temperatura je parametar materijala i predstavlja vrednost kada energija udara počinje naglo da opada, tj. kada materijal postaje krh. Poznavanje ovog parametra je veoma značajno, naročito kod primene materijala u temperaturno zahtevnim uslovima. Iz tog razloga u ovom radu je izvršeno ispitivanje prelazne temperature u intervalu od -196 do $+150^{\circ}\text{C}$ za nodularni liv i ADI materijal legiran sa Cu i legiran sa Cu i Ni. Utvrđeno je da ADI materijali imaju veće vrednosti energije udara i nižu prelaznu temperaturu u odnosu na nodularni liv za ispitivani temperaturni opseg. Morfologija prelomljene površine nodularnog liva je usled perlitne mikrostrukture na svim ispitivanim temperaturama pretežno krta, dok se kod ADI materijala morfologija loma postepeno menja od potpuno duktilne na višim temperaturama, preko mešovite na prelaznoj temperaturi pa sve do potpuno krte na niskim temperaturama.

Ključne reči: nodularni liv, ADI materijal, mikrostruktura, prelazna temperatura, morfologija loma

THE DUCTILE TO BRITTLE TRANSITION TEMPERATURE OF DUCTILE IRONS AND ADI MATERIALS

Abstract: The ductile to brittle transition temperature is very important criterion used for selection of materials in some applications, especially in low temperature conditions. For that reason, in this paper transition temperature of as-cast and austempered copper and copper+nickel alloyed ductile iron in temperature interval from -196 to $+150^{\circ}\text{C}$ have been investigated. The ADI materials have higher impact energies compared to ductile irons in as-cast condition and the transition curves for ADIs are shifted toward lower temperatures. The fracture mode of ductile iron is influenced by a dominantly pearlite matrix, exhibiting mostly brittle fracture through all temperatures of testing. On the other hand, with decrease of temperature fracture mode for ADI materials changes gradually from fully ductile to fully brittle.

Key words: ductile iron, ADI material, microstructure, ductile to brittle transition temperature, fracture mode

1. UVOD

Nodularni liv predstavlja vrstu livenog gvožđa kod kojeg se grafit izdvaja u vidu nodula (sfera). Ovakav oblik grafita je veoma povoljan, usled čega nodularni liv poseduje dobre mehaničke karakteristike. Pored toga, nodularni liv se u odnosu na druga livena gvožđa odlikuje i veoma čistim hemijskim sastavom (nizak sadržaj sumpora i fosfora) što omogućava njegovu dalju termičku obradu i poboljšavanje njegovih osobina. Izotermnim poboljšanjem nodularnog liva dobija se ADI materijal (Austempered Ductile Iron) tj. austemperovani nodularni liv sa jedinstvenom mikrostrukturom – ausferitom. Izotermna transformacija se odvija u dva dela. Prvi deo predstavlja austenitizaciju na temperaturi $850\div 950^{\circ}\text{C}$, u trajanju do 2h, radi maksimalnog zasićenja austenita ugljenikom iz grafitnih nodula. Drugi deo predstavlja brzo hlađenje do temperature izotermne transformacije $250\div 400^{\circ}\text{C}$, i zadržavanje na toj temperaturi, u trajanju od 1÷6h. Tokom drugog dela zasićeni austenit transformiše se u ausferitni ferit i zadržani, ugljenikom obogaćeni, stabilni, austenit. Dobijena mikrostruktura se naziva ausferit. Dužim zadržavanjem prekoračuje se optimalni period procesiranja (processing window), te dolazi do transformacije ugljenikom obogaćenog austenita u termomehaničko stabilniji ferit i karbide, što rezultuje drastičnim padom mehaničkih osobina [1-3].

Izborom odgovarajućih parametara izoternog poboljšanja može se dobiti ADI materijal sa visokom čvrstoćom, duktilnošću, žilavošću loma, otpornošću na zamor i habanje, kao i dobrom obradivošću rezanjem. Širok dijapazon osobina, kao i manja težina za 10% u odnosu na

čelik i niži troškovi proizvodnje (do 50%) omogućili su da se ADI materijal koristi kao zamena za velike delove koji se obično izrađuju kao čelični otkovci [4].

Šta više, delovi izrađeni od nodularnog liva ili ADI materijala se često koriste za mašine i uređaje koji rade u ekstremnim temperaturnim uslovima, odnosno na otvorenom prostoru tokom cele godine. Zato, pored karakteristika materijala na sobnoj temperaturi neophodno je poznavati osobine i ponašanje materijala i na niskim i na povišenim temperaturama.

Poznavanje prelazne temperature na kojoj energija udara opada sa smanjenjem temperature predstavlja jedan od bitnih pokazatelja u kojim temperaturnim uslovima materijal može da se koristi. Postoji više načina definisanja, a samim tim i načina određivanja prelazne temperature: i) uslov 50% apsorbovane energije udara (algebarska srednja vrednost energije udara gornjeg i donjeg praga); ii) uslov 50% udela krto i duktilnog loma na prelomljenoj površini i; iii) uslov minimalne energije udara (zahtevana vrednost npr. 27J).

U skorašnje vreme rađena su istraživanja ponašanja nodularnog liva i ADI materijala sa sniženjem temperature [5-7]. Međutim, u istraživanjima nije uočena veza između prisustva zadržanog austenita sa površinski centriranom kubnom (PCK) strukturom i njegovog uticaja na promenu ponašanja nodularnog liva u termički tretiranom stanju (ADI materijal). Iz tog razloga, u ovom radu je izvršeno ispitivanje prelazne temperature na osnovu energije udara dobijene u temperaturnom intervalu od -196 do $+150^{\circ}\text{C}$. Ispitivanje je izvršeno na nodularnom livu legiranom sa Cu i na nodularnom livu legiranom sa Cu i Ni u livenom i termički tretiranom stanju (ADI materijal).

2. EKSPERIMENT

Za ispitivanje su korištena dva nodularna liva sa hemijskim sastavom u mas.% datim u tabeli 1, u livenom (NL) i termički tretiranom (ADI materijal) stanju.

Tabela 1 Hemijski sastav polaznog nodularnog liva [mas.%]

Materijal	C%	Si%	Mn%	Cu%	Ni%	Mg%	P%	S%
NL Cu	3,64	2,49	0,30	0,46	-	0,066	0,014	0,014
NL Cu+Ni	3,48	2,19	0,26	1,57	1,51	0,060	0,020	0,012

Epruvete za mehanička ispitivanja su izrađene iz donjih delova odlivenih Y-proba od nodularnog liva. Nakon mehaničke obrade epruveta izvršen je njihov termički tretman. Postupak se sastojao iz austenitizacije epruveta u zaštitnoj atmosferi argona, na 900°C u trajanju od 2 časa i izotermne transformacije u sonom kupatilu na 350°C u trajanju, od 2 časa za NL Cu i 3 časa za NL Cu+Ni. Parametri termičkog tretmana su izabrani na osnovu prethodnih istraživanja [8] sa ciljem da se dobije ADI materijala sa najvećim sadržajem zadržanog austenita a samim tim i sa najvećom duktilnošću.

Za određivanje prelazne temperature korišteno je ispitivanje energije udara prema Šarpiju (JUS EN 10045) na epruvetama bez zareza, dimenzija 10×10×55 mm, pri čemu su ispitane najmanje tri epruvete za datu temperaturu iz ispitnog intervala od -196 do +150°C. Za postizanje niskih temperatura ispitivanja korišteno je hladno kupatilo sa smešom etil alkohola i tečnog azota u kome su epruvete držane 10 min u skladu sa preporukama iz standarda. Nakon postizanja željene temperature, epruvete su u kratkom vremenu (manje od 5 s) prelomljene. Za postizanje povišenih temperatura korištena je peć sa gasnom sredinom (vazduh), u kojoj su epruvete držane 30 min na odgovarajućoj temperaturi i potom, takođe za kratko vreme prelomljene. Pored energije udara izvršeno je i ispitivanje zatezanjem (JUS EN 10002) na sobnoj temperaturi, kao i merenje Vickersove tvrdoće (JUS C.A4.030).

Mikrostruktura nodularnog liva i ADI materijala je ispitivana na uzorcima koji su isečeni iz Šarpijevih epruveta i potom pripremljeni standardnom metalografskom tehnikom (brušenje, poliranje, nagrizanje nitalom) na svetlosnom mikroskopu „Leitz-Orthoplan“. Količina zaostalog austenita u ADI materijalu je određena difrakcijom x-zraka na uređaju

„Siemens D-500“ sa monohromatskim Co-K α zračenjem. Morfologija loma prelomljenih uzoraka ispitivanih udarnim opterećenjem, posmatrana je skening elektronskim mikroskopom „JEOL JSM-6460LV“, pri naponu od 25 kV.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Mikrostruktura

Mikrostruktura ispitivanog materijala u poliranom i nagriženom stanju prikazana je na slikama 1a-c i 2a-c.

Kod svih uzoraka, grafitne nodule su ravnomerno raspoređene u osnovi (slika 1a i 2a) i imaju sledeće karakteristike: prosečni udeo grafita u zapremini od 10,5%, stepen sferodizacije nodula preko 90%, gustina nodula od 50 do 80 nodula/mm² i veličina nodula od 40 do 55 μ m.

Mikrostruktura metalne osnove nodularnog liva legiranog sa Cu (NL Cu) se sastoji iz perlita i ferita (pretežno perlitna, sa manje od 10% ferita), slika 1a, dok je mikrostruktura nodularnog liva legiranog sa Cu i Ni (NL Cu+Ni) potpuno perlitna, slika 2b.

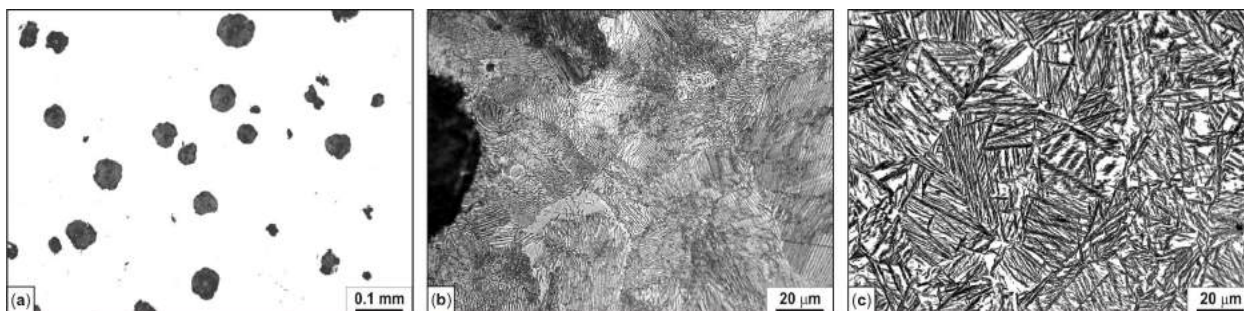
Mikrostruktura ADI materijala, u oba slučaja (ADI Cu i ADI Cu+Ni), dobijena nakon austemperovanja nodularnih liva je slična, slika 1c i 2c. Mikrostruktura je potpuno ausferitna, tj. sastavljena iz ausferitnog ferita i zadržanog, ugljenikom obogaćenog, stabilnog austenita. Međutim, ausferitni ferit kod ADI materijala legiranog sa Cu ima više acikularni (igličasti) izgled, dok je kod ADI materijala legiranog sa Cu i Ni morfologija ausferitnog ferita više pločasta, sa kraćim i širim ausferitnim pločicama. Količina zadržanog austenita u mikrostrukturi ADI materijala iznosi 16,6 i 19% za ADI materijal legiran sa Cu i za ADI materijal legiran sa Cu i Ni, respektivno.

3.2 Mehaničke osobine na sobnoj temperaturi

Vrednosti mehaničkih osobina na sobnoj temperaturi, odnosno rezultati ispitivanja zatezanjem, energije udara i Vickersove tvrdoće dati su u tabeli 2. Austemperovanje poboljšava sve mehaničke osobine nodularnog liva, usled promene mikrostrukture iz pretežno perlitne kod NL u ausferitnu kod ADI materijala [3, 8].



Slika 1 Mikrostruktura nodularnog liva i ADI materijala legiranog sa Cu (SM)
a) grafitne nodule, b) nodularni liv: perlit i manje od 10% ferita, c) ADI materijal: ausferit



Slika 2 Mikrostruktura nodularnog liva i ADI materijala legiranog sa Cu i Ni (SM)
a) grafitne nodule, b) nodularni liv: perlit, c) ADI materijal: ausferit

Tabela 2 Mehaničke osobine na sobnoj temperaturi

Materijal	Zatezna čvrstoća, R_m [MPa]	Napon tečenja, $R_{p0,2\%}$ [MPa]	Izduženje, A [%]	Energija udara [J]	Tvrdoća HV_{10}
NL Cu	510	771	5,0	21,4	270
ADI Cu	995	1110	7,9	106,1	480
NL Cu+Ni	674	876	3,2	20,5	296
ADI Cu+Ni	901	1073	11,1	122,1	402

3.3 Energija udara i prelazna temperatura

Energije udara sa standardnim odstupanjem rezultata za nodularni liv i ADI materijal u temperaturnom intervalu od -196 do +150°C su date dijagramski, slika 3. Sa dijagrama se može uočiti da se prilikom ispitivanja javljaju tri oblasti: gornji prag (konstantne visoke vrednosti energije udara), donji prag (konstantne niske vrednosti energije udara) i prelazna oblast sa padom energije udara od gornjeg ka donjem pragu.

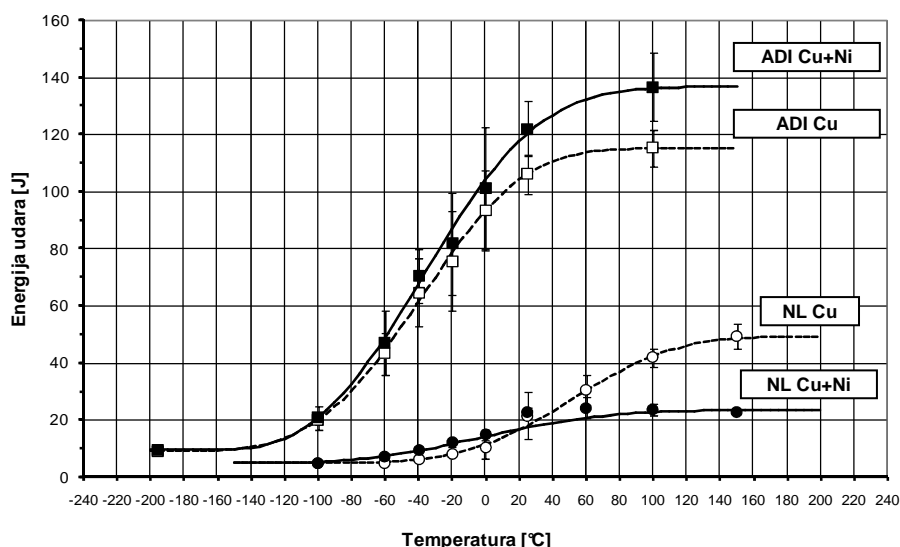
Matematički model zavisnosti energije udara od temperature ispitivanja je određen prema metodologiji predloženoj od strane Todinova et al. [9, 10]. Sam model je dat jednačinom (1):

$$E = E_L + (E_U - E_L) \{1 - \exp[-k(T - T_0)^m]\} \quad (1)$$

gde je: E - energija udara, E_L - energija udara donjeg praga, E_U - energija udara gornjeg praga, k i m - koeficijenti oblika jednačine, T_0 - koeficijent položaja, T - temperatura

Na osnovu izračunatih koeficijenata datih u tabeli 3, izračunata je prelazna temperatura preko jednačine (1) za trenutak kada je pri udaru apsorbirano 50% energije udara, tj. prelazna temperatura je određena za onu energiju koja predstavlja algebarsku sredinu energija udara gornjeg i donjeg praga ($E_{0,5}$). Vrednosti izračunate prelazne temperature ($T_{0,5}$) na osnovu odgovarajućih energija udara ($E_{0,5}$) su takođe navedeni u tabeli 3.

ADI materijali u odnosu na nodularne livove imaju veće energije udara i krive prelazne temperature su im pomerene ka nižim vrednostima, slika 3. Ovako ponašanje ADI materijala može da se objasni prisustvom zadržanog austenita u ausferitnoj mikrostrukturi. Kao što je poznato [11], materijali sa pck kristalnom strukturom (austenit) zadržavaju duktilnost i na niskim temperaturama dok materijali sa zck strukturom (ferit) postaju naglo krti. Na osnovu izloženog može se konstatovati da prisustvo austenita u količini od 16,5 i 19% u mikrostrukturi ADI materijala legiranog sa Cu i sa Cu+Ni, respektivno, povećava otpornost prema krtom lomu ADI materijala na niskim temperaturama.



Slika 3 Energije udara za nodularni liv i ADI materijal u temperaturnom intervalu ispitivanja

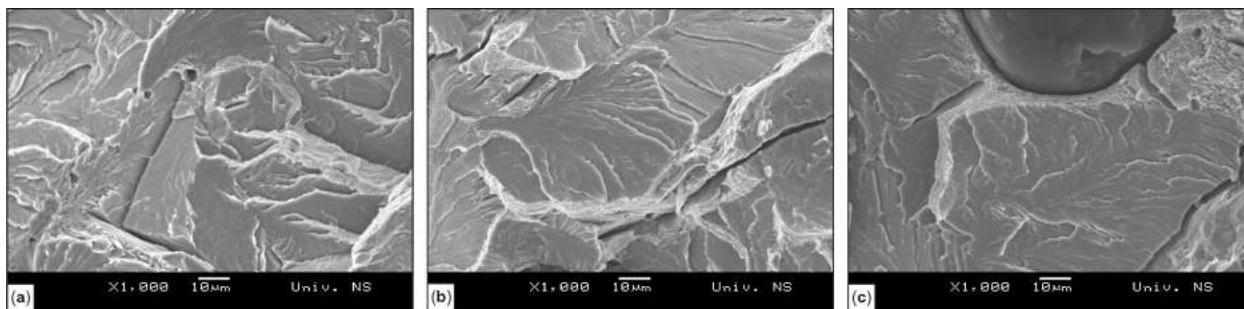
Tabela 3 Koeficijenti jednačine zavisnosti energije udara od temperature i vrednosti prelazne temperature i energije

Materijal	Donji prag, E_L [J]	Gornji prag, E_U [J]	T_0 [°C]	k	m	Prelazna	
						Energija, $E_{0,5}$ [J]	Temperatura, $T_{0,5}$ [°C]
NL Cu	4,96	49,29	-99,51	$1,448 \times 10^{-8}$	3,525	27,13	+51,50
ADI Cu	9,09	115,28	-188,04	$1,456 \times 10^{-8}$	3,533	62,18	-38,98
NL Cu+Ni	4,86	23,44	-140,68	$5,466 \times 10^{-7}$	2,839	14,15	+0,37
ADI Cu+Ni	9,51	136,79	-165,27	$5,092 \times 10^{-7}$	2,898	73,15	-34,40

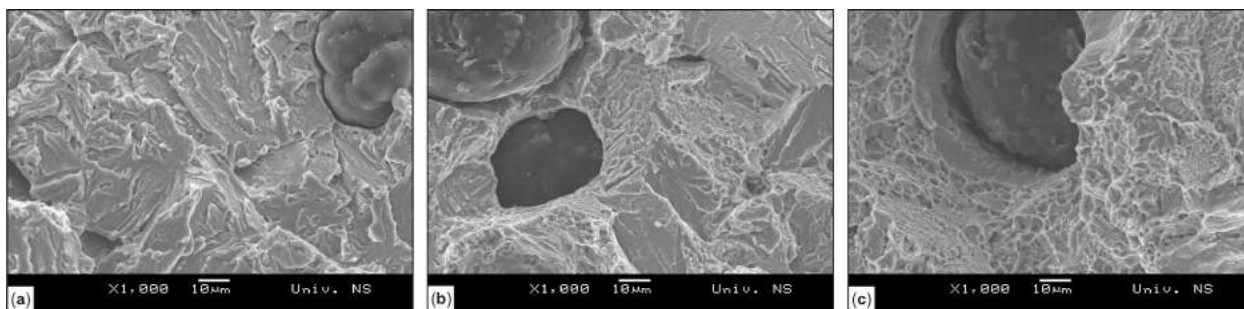
3.4 Morfologija loma

Karakteristične morfologije loma prelomljenih Šarpijevih epruveta od nodularnog liva legiranog sa Cu i Ni, na donjem pragu, prelaznoj temperaturi i gornjem pragu prikazane su na slici 4a-c. Na donjem pragu, pri temperaturi od -100°C, lom je tipični transkristalni krti lom sa ravnima cepanja i rečnim šarama, slika 4a. Povećanjem temperature do 0°C (blisko prelaznoj temperaturi) na prelomljenoj površini se pored

krtog loma javlja i mestimična pojava duktilnog loma sa karakterističnim jamicama, slika 4b. Na gornjem pragu (+150°C) lom je i dalje krt, ali uz povećanje udela duktilnog loma, slika 4c. Sličan karakter loma se javlja i kod nodularnog liva legiranog samo sa Cu, sa tom razlikom što je udeo duktilnog loma u prelaznoj oblasti i na gornjem pragu veći nego u slučaju legiranja sa Cu i Ni. Pretežno krti lom nodularnih livova je verovatno uslovljen perlitnom mikrostrukturom koja se na svim temperaturama ispitivanja ponaša prvenstveno krt.



Slika 4 Morfologija loma nodularnog liva legiranog sa Cu i Ni (SEM)
a) Donji prag (-100°C), b) Prelazna oblast (0°C), c) Gornji prag (+150°C)



Slika 5 Morfologija loma ADI materijala legiranog sa Cu i Ni (SEM)
a) Donji prag (-196°C), b) Prelazna oblast (-40°C), c) Gornji prag (+100°C)

Morfologija loma ADI materijala je približno identična u oba slučaja, tj. za ADI legiran samo sa Cu i za ADI legiran sa Cu i Ni. Izgled površine loma u zavisnosti od temperature prikazana je na slici 5a-c za slučaj ADI-ja legiranog sa Cu i Ni. Lom na donjem pragu (-196°C) je potpuno krt. nastao mehanizmom kvazicepanja, slika 5a. U prelaznoj oblasti, pri temperaturi od -40°C morfologija loma je mešovita, sastavljena u podjednako meri od područja krtog i duktilnog loma, slika 5b. Nakon dostizanja temperature gornjeg praga (+100°C) lom je potpuno duktilan sa karakterističnim jamica, slika 5c.

4. ZAKLJUČAK

Austerempovanjem nodularnog liva dolazi do poboljšanja svih vrednosti mehaničkih osobina: zatezne čvrstoće, napona tečenja, izduženja, energije udara i tvrdoće.

Kod ADI materijala dolazi do pomeranja tačke prelazne temperature ka nižim temperaturama i do povećanja vrednosti energije udara u celom temperaturnom intervalu ispitivanja.

Pored toga, kod ADI materijala je uočeno poklapanje prelazne temperature i sa uslovom o podjednakom udelu krtog i duktilnog loma na prelomljenoj površini, dok kod nodularnog liva to nije slučaj jer se u celom temperaturnom intervalu ispitivanja materijal ponaša prvenstveno krto.

Autori:

Dragan Rajnović, Prof. Dr Lepasava Šidanin, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2320, Fax: +381 21 454-495, E-mail: draganr@uns.ns.ac.yu, lepas@uns.ns.ac.yu;

Dr Olivera Erić, Institut „Kirilo Savić“, Vojvode Stepe 51, 11000 Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 397-6026, E-mail: olivera.eric@iks.rs

5. LITERATURA

- [1] Sidjanin, L., Smallman, R.E.: *Metallography of bainitic transformation in austempered ductile iron*, Materials Science and Technology, 8, 1095-1103, 1992
- [2] Shih, T.S., Chang, C.H., Hwang, L.Z.: *Mechanical Properties and Microstructures of Austempered Alloyed Ductile Irons*, AFS Transactions, 107, 793-808, 1991
- [3] Eric, O., Rajnovic, D., Zec, S., Sidanin, L., Jovanovic, M.T.: *Microstructure and fracture of alloyed austempered ductile iron*, Materials Characterization, 57, 211-217, 2006
- [4] Harding, R.A.: *The production, properties and automotive applications of austempered ductile iron*, Kovove Materialy, 45, 1-16, 2007
- [5] Riabov, M.V., Lerner, Y.S., Fahmy, M.F.: *Effect of Low Temperatures on Charpy Impact Toughness of Austempered Ductile Iron*, Journal of Materials Engineering and Performance, 11, 496-503, 2002
- [6] Ratto, P.J.J., Ansaldo, A.F., Fierro, V.E., Agüera, F.R., Alvarez Villar, H.N., Sikora, J.A.: *Low Temperature Impact Test in Austempered Ductile Iron and Other Spheroidal Graphite Cast Iron Structures*, ISIJ International, 41, 4, 372-380, 2001
- [7] Fierro, V.E., Sikora, J.A., Agüera, F.R., Alvarez Villar, H.N., Ansaldo, A.F., Ratto, P.J.J.: *Fractomechanical Properties of As-Cast and Austempered SG Cast Iron Between 40°C and +20°C*, Materials Research, 5, 2, 137-141, 2002
- [8] Eric, O., Jovanovic, M., Sidanin, L., Rajnovic, D., Zec, S.: *The austempering study of alloyed ductile iron*, Materials and Design, 27, 617-622, 2006
- [9] Todinov, M.T.: *Fitting impact fracture toughness data in the transition region*, Materials Science and Engineering, A265, 1-6, 1999
- [10] Todinov, M.T., Novovic, M., Bowen, P., Knott, J.F.: *Modeling the impact energy in the ductile: brittle transition region of C-Mn multi-run welds*, Materials Science and Engineering, A287, 116-124, 2000
- [11] Smallman, R.E., Bishop, R.J.: *Metals and Materials*, Butterworth-Heinemann Ltd, 301-302, 1995

Temeljkovski, D., Rančić, B., Nusev, S., Stojadinović, G.

PRIKAZ APARATA ZA ELEKTROKONTAKTNO ZAVARIVANJE BAKARNIH PROVODNIKA ZA KOLEKTOR ELEKTROMOTORA

Rezime: U radu je dat prikaz aparata za elektrokontaktno zavarivanje bakarnih provodnika za kolektor elektromotora. Istraživanjem i proučavanjem osnovnih parametara elektrootpornog zavarivanja došlo se do ideje za neophodnošću konstruisanja takvog aparata koji bi omogućio: zavarivanje rotora ručnog alata i kućnih aparata, maksimalna prilagođenost radioničkim uslovima rada, jednostavno rukovanje i jednostavna i brza obuka izvršioca. Efikasnost u radu mora da bude omogućena velikom i lakom mehaničkom prilagodljivošću različitim rotorima kako po dužini tako i po prečniku osovine rotora, uležištenje rotora treba da bude izmenljivo tj. svaki oslonac treba da ima mogućnost podešavanja kako po visini tako i po dužini.

Ključne reči: elektrokontaktno zavarivanje, bakar, kolektor rotora

REVIEW OF A MACHINE WITH ELECTRO CONTACT WELDING COPPER CONDUCTOR OF ELECTRICITY FOR COLLECTOR ELECTRIC MOTOR

Abstract: In this paper are show machine with electro contact welding copper conductor of electricity for collector electric motor. Research and study basis parameter electro contact welding to come to idea for necessary for construct that machinery which make and welding rotor hand tools and home machine. Maximal to adapt workshop condition and easy to handle and simple and quick training performer. Effective in the work must to be to enable a big and easy mechanical adaptable different rotors how to diameter shaft rotors, bearings rotors to be necessary shanged, that is every supports that is to have possibility adapt how to height and length.

Key words: electro contact welding, copper, collector of rotors.

1. UVOD

Za razliku od zavarivanja topljenjem, zajedničke karakteristike svih vidova zavarivanja pritiskom jesu :

- da se materijal delova na mestu spajanja ne nalazi u rastopljenom već u razmekšanom stanju, u tzv. čvrstoj fazi,
- da se zavarivanje izvodi bez upotrebe dodatnog materijala.

Kod zavarivanja pritiskom materijal može biti i zagrejan, toplota ovde samo pomaže formiranju spoja, ali temperatura na mestu spajanja po pravilu ne prelazi 0.8 od temperature topljena. Kao važna posledica takvog stanja materijala na spojenom mestu, pri zavarivanju u čvrstoj fazi u najvećoj meri ne eliminiše negativan uticaj toplote na materijal u celini, koji se kod zavarivanja topljenjem uopšte ne može izbeći. Upravo ta činjenica jeste jedan od glavnih razloga što cela grupa postupaka zavarivanja pritiskom ima veliku primenu, naročito u slučajevima kada se zahtevaju visoke i stabilne mehaničke karakteristike spoja.

Takođe važna karakteristika većine postupaka zavarivanja u čvrstoj fazi jeste njihova pogodnost za automatizaciju celog procesa.

U današnje vreme bez korišćenja različitih vidova zavarivanja pritiskom su nezamislive mnoge važne grane industrije kao što su auto industrija, avio industrija, elektronika, kosmonautika...

Zavarivanjem pritiskom u celini i danas širi svoje polje primene i što je veoma važno a to je opšta tendencija svuda gde je to moguće postupci zavarivanja u čvrstoj fazi zamenjuju različite načine zavarivanja topljenjem.

Kod svih vidova zavarivanja u čvrstoj fazi kako je na početku rečeno temperatura materijala na mestu spajanja delova ne prelazi tačku topljenja. Osim toga ostvarivanje monolitnog spoja svuda je u principu potpuno isto. Međutim, ono po čemu se oni međusobno razlikuju jeste najpre toplotni izvori koji se koriste za zagrevanje materijala na mestu spajanja,

zatim tehniološki režimi zavarivanja, stepen deformacije materijala na mestu spajanja i drugi parametri.

2. ELEKTROOTPORNO ZAVARIVANJE

Zavarivanje električnim otporom se zasniva na korišćenju pojave zagrevanja provodnika kroz koji teče električna struja tj. na korišćenju Džulovog efekta. Toplota koja se oslobađa pri prolasku električne struje kroz neki provodnik, može se prikazati poznatim izrazom

$$Q = R I^2 t \text{ (J)} \quad (1)$$

gde su: R - otpor provodnika,
I - jačina struje i
t - vremenski interval u kome protiče struja kroz provodnik.

Naravno, na zagrevanje materijala ne troši se celokupna ovako oslobođena toplota. Jedan njen deo se gubi usled provođenja, zračenja i konvekcije a tek ostatak služi za zagrevanje i omekšavanje materijala na mestu formiranja zavarenog spoja. Ta količina toplote se može izračunati iz relacije

$$Q = 0.24 R I^2 t \text{ (J)} \quad (2)$$

jer kako je poznato samo oko 0.24% oslobođene toplote može direktno da se koristi za zagrevanje materijala.

Pošto su metali dobri provodnici električne struje, otpor proticanju struje koji se javlja na kontaktu zavarivanih delova po pravilu je veoma mali. Iz tog razloga, da bi elektrootporno zavarivanje moglo da se realizuje, u cilju oslobađanja potrebne količine toplotne energije moraju da se koriste struje veoma velike jačine od 100 do preko 300000 A.

Međutim, zbog potrebe za tako velikom jačinom struje

može se zaključiti da korišćenje jednosmerne struje praktično ne dolazi u obzir jer bi njeno dejstvo na prekidačke elemente uređaja za zavarivanje dovelo do njihovog topljenja i havarije.

Osim toga, takva struja bi imala i štetno dejstvo na čoveka koji na takvoj mašini radi. To su glavni razlozi što se za elektrootporna zavarivanje ne koristi jednosmerna već naizmenična struja i to napona od samo 0.5 – 10 V.

Vremenski interval u kome se pri elektrootpornom zavarivanju formira zavareni spoj (tj. vreme proticanja struje) je veoma kratko i kreće se od 0.05 do nekoliko sekundi, zavisno od vrste materijala i drugih činilaca.

3. TAČKASTO ZAVARIVANJE

Tačkasto zavarivanje ja principijelno veoma jednostavno. Ono se izvodi tako što se najpre između elektroda posebnog oblika i izrađenih od materijala koji dobro provode električnu struju, postavlja kolektor i bakarni provodnik ispod lamele koji se zavaruju. Zatim se mahaničkim putem (pomoću opruga) ili na neki drugi način (hidrauličnim ili pneumatskim putem) ostvaruje određeni pritisak vrhova elektroda na delove koji se zavaruju.

Iza toga uključuje se električna struja. Struja ide preko elektroda a zbog postojanja otpora na kontaktu zavarivanih delova razvija se toplota, materijal koji se nalazi između elektroda se razmekšava a usled stalnog delovanja pritiska on se meša. Tada se strujno kolo prekida ali elektrode još izvesno vreme pritiskuju kolektor a onda se rasterećuju i spojeno mesto se hladi. Toplota na materijal elemenata koji se zavaruju deluje samo na onom mestu gde kroz njega prolazi struja, tj. na delu koji se nalazi između vrhova elektroda. Upravo samo na tom mestu se on dovodi do rastopljenog stanja i posle hlađenja tu se formira zavareni spoj. Spojno mesto ima karakterističan oblik, oblik tačke ili sočiva po čemu je ovaj vid zavarivanja i dobio naziv.

U osnovi elektrootpornog zavarivanja uopšte leži korišćenje pretvaranja električne energije u toplotu.

Veličina električnog otpora pri elektrootpornom zavarivanju pa samim tim i pri tačkastom zavarivanju u velikoj meri zavisi i od temperature materijala : njegova vrednost u toku procesa formiranja spoja se menja.

Međutim, bez obzira na veliki broj uticajnih faktora koji postoje pri tačkastom zavarivanju, ceo ciklus formiranja zaverene tačke može se uslovno podeliti na tri karakteristične faze.

Prvu fazu predstavlja period vremena u kome kolektori bivaju pritiskani nakon silom F_c . U tom periodu pod dejstvom pritiska nastaje fizičko zbliženje dodirnih površina na mestu spajanja i uspostavljanje adekvatnog kontakta između njih čime se obezbeđuju potrebni uslovi za protok električne struje.

Druga faza počinje uključivanjem strujnog kola. Od tog trenutka materijal između elektroda se zagreva i postaje sve plastičniji. Pošto na tako razmekšani materijal preko elektroda istovremeno deluje i pritiska sila, na tom mestu se površina realnog kontakta između limova stalno povećava. Ova faza traje sve dok se materijal limova između elektroda ne zagreje do blizu tačke topljenja usled čega se na tom mestu obrazuje takozvano liveno jezgro metala. Upravo u ovoj fazi nestaju svi kontakti otpori i ostaje da deluje samo električni otpor zagrejanog i razmekšanog materijala lamele na kolektoru.

Treća faza ciklusa tačkastog zavarivanja počinje od trenutka prekidanja strujnog kola i završava se hlađenjem jezgra do sobne temperature. Međutim, posle prekida strujnog kola dakle na početku treće faze, pritisak elektroda se odmah ne isključuje. Sila pritiska još izvestan vremenski period treba da deluje na spojnom mestu pa se tek nakon toga zavarivani delovi rasterećuju.

Sve tri faze se odvijaju automatski, na osnovu unapred određenih parametara zavarivanja izabranih na osnovu svojstava materijala koji se zavaruju. Time se obezbeđuje

odakvatno mešanje materijala na spojnom mestu i odgovarajuća svojstva zavarenog spoja. U tom slučaju zavarena tačka ima optimalne dimezije.

3.1. Osnovni parametri tačkastog zavarivanja

Sila kojom elektrode pritiskaju mesto koje se zavaruje može se odrediti na više načina, ali se u te svrhe najčešće koriste empirijski izrazi pomoću kojih je moguće odrediti njene orijentacione vrednosti.

Pored sile pritiska elektroda, drugi važan parametar tačkastog zavarivanja jeste jačina struje. Ona se najčešće bira na osnovu izabranog režima zavarivanja, pri čemu postoje dve vrste – meki i tvrdi režim zavarivanja. Za meki (blaži) režim zavarivanja gustina struje treba da se kreće u granicama 80-160 A/mm², a za tvrdi (oštriji) režim – od 160-400 A/mm².

Meki režim zavarivanja podrazumeva korišćenje manje gustine struje ali je zato vreme njenog prolaska duže. Kao rezultat takvog ciklusa zavarivanja dobija se zavarena tačka u obliku eliptičnog sočiva. Nasuprot mekom režimu oštri, stroži, režim zavarivanja se odlikuje velikom jačinom struje i kratkim vremenom rada.

Režimi zavarivanja se mogu odrediti na više načina (eksperimentalno, računski ili kombinovano – računski i eksperimentalno). Upotrebljivost određenog režima zavarivanja u datim uslovima uvek mora eksperimentalno da se proveriti na probnim uzorcima koji se posle zavarivanja ispituju različitim metodama.

Treći važan parametar tačkastog zavarivanja jeste vreme trajanja procesa; ono je kratko i kreće se od 0,05 do nekoliko sekundi.

Pritisak elektroda ne sme biti previsok, jer bi u tom slučaju kontakti otpor bio premali, a time i količina toplote nedovoljna za izvođenje zavarivanja.

Površine zavarivanja i naleganja elektroda moraju biti metalno čiste.

3.2. Prednosti ovog zavarivanja

- Manje trošenje elektroda.
- Manje deformisanje površine radnih komada zbog manjeg specifičnog pritiska elektroda.
- Broj i oblik spojeva može se po volji menjati.
- Produktivnost je veća.
- Moguće zavarivanje i nečistijih površina izborom odgovarajućih parametara.

Jačina struje kreće se do 2000A, a napon zavarivanja do 3V. Struja praznog hoda kreće se i do 0,2A.

Kod elektrokontaktnog zavarivanja bakarnog provodnika za kolektor elektromotora zavarivanje se vrši pritiskom volfram elektrodama koje ostavljaju svoj geometrijski oblik u kolektor elektromotora. Uključivanjem struje zavarivanja, na mestu dodira radnih komada razvija se dovoljna količina toplote, zbog velikog kontaktnog otpora, te se mesto kontakta topi i dolazi do sjedinjavanja bakra.

Najznačajniji parametri kod elektrokontaktnog zavarivanja su:

- struja zavarivanja.
- vreme zavarivanja i
- pritisak elektrode.

Struja zavarivanja je proporcionalna površini zavarivanja. Ne može se tačno reći koliko iznosi, jer to u mnogome zavisi od ostalih parametara zavarivanja. Orijentaciono za čelike iznosi (250-500) A/mm² zavarene površine, kod vremena zavarivanja $t=0,2$ sek.

Vreme zavarivanja se ne odabira prema površini zavarivanja već prema debljini bakarnog provodnika i prema količini odvedene toplote kroz zavarene površine. Uopšteno se uzima da to vreme iznosi od 0,05 do 5 sek.

Pritisak elektroda se bira tako da se postigne pritisak od (70-100) N/mm² ($7 \times 10^4 - 10 \times 10^4$ KPa) zavarene površine.

Nasuprot otporu, provodnost provodnika karakteriše

njegovu sposobnost da provodi električnu struju. Ukoliko je veća električna provodnost provodnika utoliko je manji njegov otpor i utoliko bolje on provodi električnu struju.

Provodnost G je veličina obrnuto srazmerna oporu R

$$G = 1/R \quad (3)$$

Električni otpor provodnika se menja sa temperaturom. Metalni provodnici pri porastu temperature, uz neznatne izuzetke, povećavaju svoj otpor. Između porasta otpora i njegove temperature u granicama do 100°C postoji potpuna srazmernost.

Za određivanje otpora provodnika u zavisnosti od temperature se koristi sledeći obrazac:

$$R_2 = R_1 + \alpha R_1 (t_2 - t_1) \quad (4)$$

gde su: R_1 - otpor provodnika pri temperaturi t_1 ,

R_2 - otpor provodnika pri temperaturi t_2 i

α - koeficijent proporcionalnosti koji se naziva temperaturni koeficijent otpora, $C_u = 0,00445$

3.3. Elektrode za tačkasto zavarivanje

Elektrode za tačkasto zavarivanje imaju važnu ali sasvim drugačiju ulogu u poređenju sa elektrodama koje se koriste kod zavarivanje topljenjem. Njihov osnovni zadatak kod tačkastog zavarivanja se sastoji u tome da uz najmanji mogući sopstveni otpor, omoguće dovodenje potrebne količine struje na mesto ostvarivanja spoja, sa jedne strane a sa druge – one istovremeno moraju da prenesu potrebnu mehaničku silu kojom treba da se ostvari odgovarajući pritisak na mestu spajanja.

Pored ova dva osnovna zadatka, elektrode pri tačkastom zavarivanju služe i za odvođenje toplote iz zone zavarivanja u toku prolaska struje kao i posle njenog isključenja.

Može se dakle zaključiti da su elektrode koje se koriste kod tačkastog zavarivanja specifični i veoma opterećeni delovi, kako u termičkom tako i u mehaničkom pogledu. Pošto se u toku rada zagrevaju one moraju da se hlade.

Takvo stanje utiče na njihov vek trajanja, što je naročito izraženo kod velikoserijske i masovne proizvodnje. Najopterećeniji deo elektrode je njen vrh – on je zapravo njen radni deo koji, pored opisanih zadataka, u toku rada mora da zadrži određene geometrijske karakteristike, a on se kao najopterećeniji – najviše troši.

Elektrode se izrađuju tako što se posebno radi telo elektrode – držač, a posebno njen vrh. Pošto geometrijske karakteristike vrha elektrode u toku rada trpe velike promene, prema potrebi one mogu da se koriguju oštrenjem a kada to nije moguće vrh elektrode se jednostavno zamenjuje.

Elektrode za tačkasto zavarivanje imaju cilindričan oblik dok se vrh elektroda može da radi u različitim oblicima – on može imati zaobljeni, konični (oni su najčešći) ili neki drugi oblik.

Materijal za izradu vrhova elektroda, osim dobre provodnosti električne struje, mora da poseduje dobru toplotnu provodnost, zatim mora da ima visoka i stabilna električna i mehanička svojstva na povišenoj temperaturi (pogotovu tvrdoću); on mora da bude otporan na koroziju i što je od posebne važnosti – taj materijal ne sme da se jedini ili legira sa osnovnim materijalom koji se zavaruje.

U poslednje vreme se u SAD vrhovi elektroda rade od specijalnog sinterovanog materijala, tzv. volfram-kadmijum elektroda.

Ako je poznata sila koja može da se ostvari na elektrodama, za izračunavanje prečnika tela elektrode D , koji treba koristiti često se koristi empirijski izraz

$$D = (0,4-0,6) \cdot F_e \quad (5)$$

gde je: F_e – maksimalna sila pritiska elektrode.

Sa druge strane, dozvoljena sila kojom se data elektroda može opteretiti, dobija se pomoću izraza:

$$F_e = (4-5) \cdot D^2 \quad (6)$$

gde je: D (mm) – prečnik tela elektrode

3.4. Materijali za izradu elektroda

Volfram je element VI grupe periodnog sistema D.I. Mendeljeva. Između teškotopljivih metala ima najveće vrednosti: temperature topljenja, modula elastičnosti i koeficijenta provodljivosti toplote. Kristališe u prostorno centriranu rešetku, ali ima i dve alotropske modifikacije (α i β), pri čemu je alotropski preobražaj $\alpha \rightarrow \beta$ na 630°C . Pri temperaturi 20°C ima visoku hemijsku postojanost u vodi i vazduhu. Na temperaturi od $400 \div 500^\circ\text{C}$ intenzivno oksidiše, stvarajući poroznu oksidnu prevlaku koja ne štiti metal od dalje oksidacije. Sa vodonikom ne reaguje ni na visokim temperaturama. Pri sobnoj temperaturi volfram je postojan na dejstvo: sone, sumporne, azotne i fluorovodonične kiselina, kao i u carskoj vodi. Otporan je i na dejstvo baza pri normalnim temperaturama, dok u zagrejanoj baznoj sredini gradi jedinjenja.

Volfram se dobija na više načina, ali najčešće postupkom metalurgije praha, gde se redukovanjem praha WO_3 u atmosferi vodonika na 3000°C , dobija prah volframa, koji se naknadno presuje i sinteruje. Plastično se deformiše samo utoplom stanju, pri temperaturi od $1650 \div 1200^\circ\text{C}$. Čvrstoća mu se povećava naročito u procesu plastičnog deformisanja, Primera radi, pri rastezanju žice različitih prečnika menja se čvrstoća, i to:

- za žicu $\varnothing 0,635$ mm – čvrstoća iznosi $R_m = 1575$ Mpa;
- za žicu $\varnothing 0,127$ mm – čvrstoća iznosi $R_m = 2100$ Mpa;
- za žicu $\varnothing 0,025$ mm – čvrstoća iznosi $R_m = 4270$ Mpa;

Mehanička svojstva volframa zavise od stepena njegove čvrstoće, stanja metala i uslova ispitivanja. Svojstva mu pogoršavaju prisutni elementi: O_2 , N_2 , Fe , P , Si i dr. Maksimalna tehnička čistoća volframa je $99,95\%$ i u takvom stanju je veoma krt. U prečišćenom volframu se plastičnost povećava od $12 \div 15\%$. Prelaz iz krtog u plastično stanje zavisi od stepena njegove čistoće.

Po čvrstoći pri visokim temperaturama je najbolji od svih metala ove grupe. Promena katkotrajne čvrstoće volframa u zavisnosti od temperature data je na slici 10.41.

Zajedno sa molibdenom se koristi za izradu termoparova, koji se primenjuju u temperaturskom području od $1200 \div 2000^\circ\text{C}$.

Volfram se, bez obzira na relativno visoku gustinu ($19,3 \text{ g/cm}^3$) i malu plastičnost pri niskim temperaturama, zbog visoke temperature topljenja (3410°C), visokog modula elastičnosti ($400\,000 \text{ Mpa}$) i veoma visoke vatrootpornosti (dobro izdržava temperature od 2000°C) koristi za izradu legura.

Postoji veliko interesovanje za legure na bazi volframa, kao osnovnog konstrukcionog materijala, čije su radne temperature veće od 2000°C . Njegovo osnovno preimućstvo, kao i njegovih legura je visoka vatrootpornost, otpornost na habanje i teškotopivost.

4. KARAKTERISTIKE APARATA ZA ELEKTROKONTAKTNO ZAVARIVANJE

Aparat za elektrokontaktno zavarivanje bakarnih provodnika za kolektor elektromotora je namenjen za elektrokontaktno zavarivanje rotora ručnog alata i kućnih aparata. Maksimalno je prilagođen radioničkim uslovima rada. Jedinstven je za rukovanje a obuka je veoma laka i brza.

Efikasnost u radu je omogućena velikom i lakom mehaničkom prilagodljivošću različitim rotorima, kako po dužini, tako i po prečniku osovine.

Uležištenje rotora je izmenljivo, tj. svaki oslonac ima mogućnost podešavanja kako po visini tako i po dužini.

Nakon postavljanja rotora u ležište, vrš se fino pripajanje izabrane elektrode na mestu gde treba da se izvrši elektrokontaktno zavarivanje.

Pritisak elektroda ne sme biti prevelik, jer bi u tom slučaju kontaktni otpor bio premali, a time i količina toplote nedovoljna za izvođenje zavarivanja.

Površine zavarivanja i naleganja elektroda moraju biti metalno čiste.

Kod elektrokontaktnog zavarivanja bakarnog provodnika za kolektor elektromotora zavarivanje se vrši pritiskom volfram elektrodama koje ostavljaju svoj geometrijski oblik u kolektor elektromotora. Uključivanjem struje zavarivanja, na mestu dodira radnih komada razvija se dovoljna količina toplote, zbog velikog kontaktnog otpora, te se mesto kontakta topi i dolazi do sjedinjavanja bakra.

Najznačajniji parametri kod elektrokontaktnog zavarivanja su :

- struja zavarivanja,
- vreme zavarivanja i
- pritisak elektrode.

Prednosti ovog zavarivanja:

- manje trošenje elektroda
- manje deformisanje površine radnih komada zbog

manjeg specifičnog pritiska elektrode

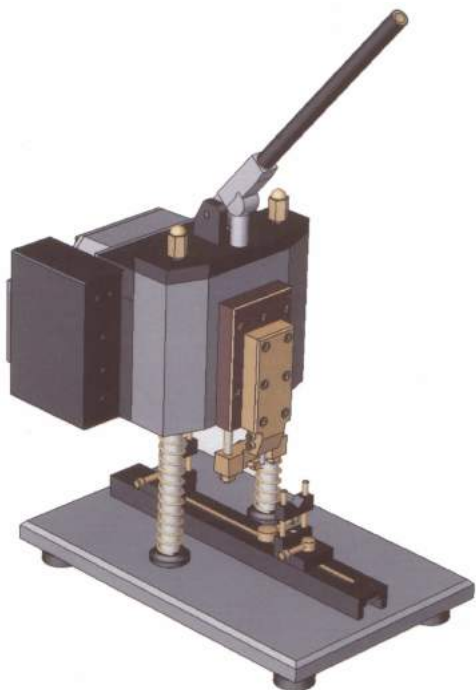
- oblik spojeva može se po volji menjati
- produktivnost je veća
- moguće zavarivanje i nečistijih površina izborom

odgovarajućih parametara

- jačina struje zavarivanja kreće se do 2000 A, a napon zavarivanja do 3 V i struja praznog hoda kreće se do 0.2 A.

5. OSNOVNI PODACI O APARATU ZA ELEKTROKONTATNO ZAVARIVANJE BAKARNIH PROVODNIKA ZA KOLEKTOR ELEKTROMOTORA

Na slici 1. prikazan je aparat za elektrokontaktno zavarivanje bakarnih provodnika za kolektor elektromotora čije su osnovne karakteristike:



Slika 1. Aparat za elektrokontaktno zavarivanje

- Masa rotora od 0.1-2.5 Kg
- Maksimalni prečnik rotora 70 mm

- Prečnik osovine rotora od 4-18 mm
- Rastojanje između stubova 136 mm
- Napajanje 220 V, 50 Hz, 50 W, a minimalni napon mreže 190 V
- Dimenzije mašine 390x390x250 mm
- Težina 38 Kg
- Efikasnost rada od 1-5 min zavisno od uvežbanosti izvršioca i stanja rotora
- Radni uslovi - sobni uslovi.

6. PLAN EKSPERIMENTA ZA UTVRĐIVANJE OPTIMALNIH PARAMETARA APARATA ZA ELEKTROKONTAKTNO ZAVARIVANJE

U narednom periodu planira se eksperimentalna verifikacija parametara aparata za elektrokontaktno zavarivanje i određivanje njihovih optimalnih parametara. U tu svrhu biće korišćena tenzometrijska metoda pri čemu će merni lanac biti sastavljen od sledećih parametara:

- tenzometrijski davač ili merna traka,
- pojačavač mernog signala $1\mu V \rightarrow 1V$ (HBM), KWS 506 C i
- merni računar HEWLETT PACKARD 9133 (ima analogni digitalni konvertor i pretvara analogne u digitalne podatke).

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog u ovom radu može se zaključiti da:

1. Prikazani aparat za elektrokontaktno zavarivanje bakarnih provodnika za kolektor elektromotora je maksimalno prilagođen radioničkim uslovima rada.

2. Jedinstven je za rukovanje a obuka je veoma laka i brza.

3. Efikasnost u radu je omogućena velikom i lakom mehaničkom prilagodljivošću različitim rotorima, kako po dužini, tako i po prečniku osovine.

4. Planirana eksperimentalna istraživanja imaju za cilj da se definišu osnovni parametri zavarivanja, tj. da se definišu najoptimalniju oblast zavarivanja koja daje odličan kvalitet zavarivanja (kako mehanički tako i električni).

8. LITERATURA

- [1] Blagojević, A.: *Zavarivanje*, Glas, Banja Luka, 1990.
- [2] Đurđanović, M.: *Osnovi teorije i tehnologija zavarivanja*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 1995.
- [3] Nikolić, N.: *Elektrotehnika*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [4] Rančić, B.: *Sistemi za merenje, prikupljanje i obradu podataka*, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2005.
- [5] Marinković, V., Radovanović, R.: *Priručnik za laboratorijske vežbe iz obrade materijala rezanjem*, Mašinski fakultet u Nišu, niš, 2005.

Autori: Prof. dr Temeljkovski Dragan, Prof. dr Bojan Rančić, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Katedra za infomaciono proizvodne tehnologije i menadžment, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, Tel.: +381 18 500-630, +381 18 500-627, Fax: +381 18 588-244

Prof. dr Stojanče Nusev, Univerzitet Sveti Kliment Ohridski, Tehnički fakultet, Ivo Lola Ribar bb, 7000 Bitola, Republika Makedonija, Tel.: +389 47 207-701

Dipl.maš.inž Goran Stojadinović, JP Ništan, Pmoćnik direktora za održavanje, Branka Krsmanovića 1, 18000 Niš, Srbija, Tel.: +381 18 226731, Fax +381 18 232-441.

E-mail: temelj@masfak.ni.ac.yu
bojanr@masfak.ni.ac.yu
stojance.nusev@uklo.edu.mk
nisstan.@medianis.net

Velemir, S., Vilić, D., Plančak, M., Skakun, P., Milutinović, M.

HLADNO OBLIKOVANJE PLASTIKE

Rezime: Oblikovanje viskoznog (istopljenog) polimera pod pritiskom u temperiranom kalupu predstavlja konvencionalni način oblikovanja termoplasta. Međutim, moguća je i primena metoda koje nisu uobičajene za preradu termoplasta, kao što su metode koje se koriste u tehnologiji plastičnog deformisanja metala.

U ovom radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja hladnog oblikovanja termoplastičnih materijala. Primenjene su metode slobodnog sabijanja i istiskivanja. Korišćeni su uzorci izrađeni od poliamida (PA) i polietilena (PE). U eksperimentu je registrovana promena deformacione sile za svaki uzorak. Eksperimentalne vrednosti deformacione sile upoređene su sa teoretskim vrednostima. Parametri procesa određeni su po metodologiji koja se koristi u tehnologiji plastičnog deformisanja metala.

Ključne reči: termoplast, hladno oblikovanje

COLD FORMING OF PLASTICS

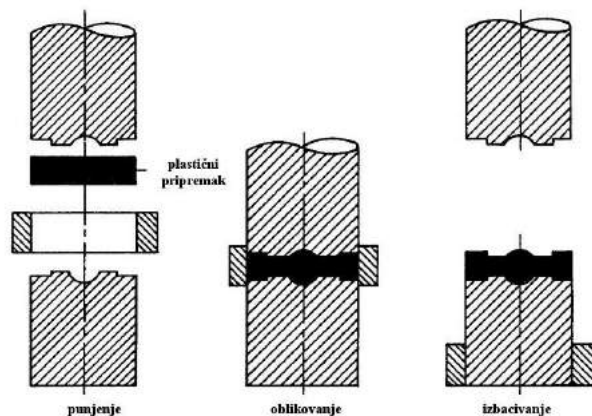
Abstract: The conventional way to form thermoplastics is by shaping viscous molten polymer under pressure in a mold. In early seventies some investigations were conducted related to application of metal forming processes in the field of plastic forming.

In this paper results of experimental investigation of cold forming of plastics are presented. Metal forming processes, upsetting and extrusion (both forward and backward) were used to form billets made of PE and PA. Force-stroke diagrams were recorded. Experimental values of force were compared with theoretical values. Process parameters were determined according to the methodology which is used in metal forming processes.

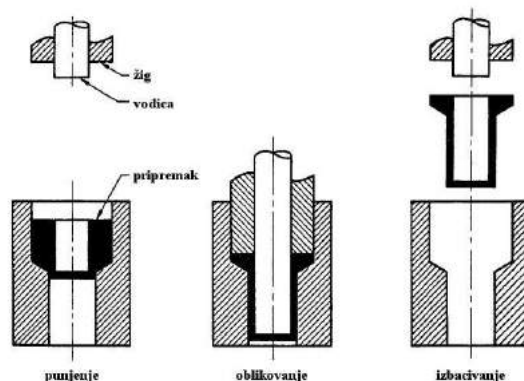
Key words: thermoplastics, cold forming

1. UVOD

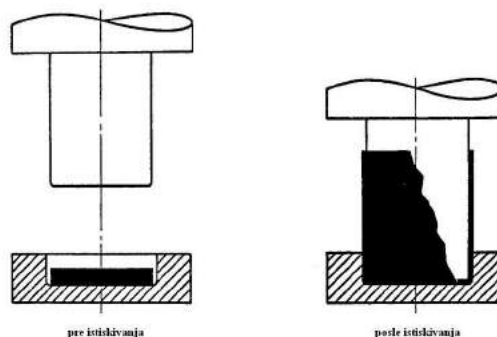
Konvencionalno oblikovanje plastike podrazumeva oblikovanje viskoznog (rastopljenog) polimera u temperiranom kalupu. Sedamdesetih godina prošlog veka rađena su istraživanja koja su imala za cilj da ispitaju mogućnosti oblikovanja plastičnih materijala na hladno [3]. Analizirane su dve grupe metoda u zavisnosti od temperature obratka. Prvoj grupi pripadaju metode kod kojih se materijal priprema ne zagreva posebno. U drugoj grupi su metode kod kojih se materijal priprema zagreva, ali ispod tačke topljenja tako da su i ove metode svrstane u hladno oblikovanje plastike. Metode se mogu podeliti i na metode zapreminskog oblikovanja i metode oblikovanja pločastih materijala. Termoplasti se mogu oblikovati na hladno primenom zapreminskih metoda tehnologije plastičnog deformisanja, kao što su kovanje (u otvorenom i zatvorenom kalupu, slika 1), vučenje, istiskivanje (slika 2 i 3), hladno spajanje – zakivanje itd.



Slika 1. Kovanje termoplasta u zatvorenom kalupu [3]

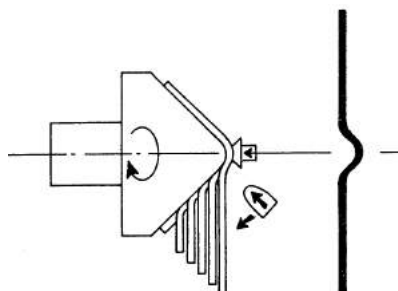


Slika 2. Istosmerno istiskivanje [3]

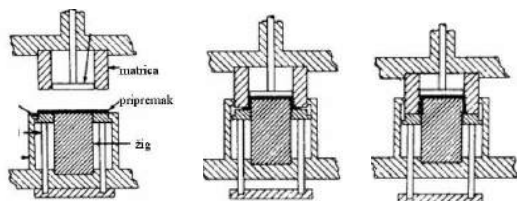


Slika 3. Suprotnosmerno istiskivanje [3]

I metode oblikovanja lima mogu se primeniti na oblikovanje pločastih termoplastičnih materijala, kao što su oblikovanje gumom i membranom, prosecanje, rotaciono izvlačenje (slika 4), duboko izvlačenje (slika 5), sečenje, savijanje (slika 6), valjanje i eksplozivno oblikovanje.



Slika 4. Rotaciono izvlačenje [3]



Slika 5. Duboko izvlačenje [3]



Slika 6. Savijanje [3]

U Laboratoriji za tehnologiju plastičnog deformisanja, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na plastične materijale primenjene su metode uobičajene kod hladnog zapreminskog oblikovanja metala. Uzorci od poliamida PA i polietilena PE oblikovani su slobodnim sabijanjem, istosmernim i suprotno-smernim istiskivanjem. Eksperimentalno određeni parametri procesa upoređeni su sa teoretskim vrednostima, određenim na osnovu metodologije koja se primenjuje kod hladnog oblikovanja metalnih materijala.

2. TEORIJSKO I EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE PARAMETARA PROCESA

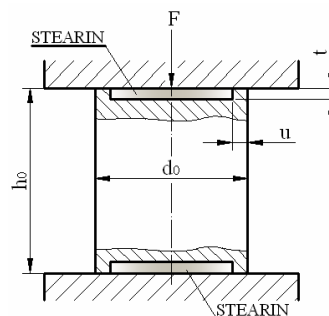
Eksperimentalna istraživanja imala su nekoliko segmenata. Prvo su eksperimentalno određeni napon tečenja materijala i koeficijent trenja, s obzirom da su to podaci neophodni za teorijski proračun. Nakon toga, je izveden eksperiment hladnog oblikovanja plastike, slobodnim sabijanjem i istosmernim i suprotnosmernim istiskivanjem. Eksperiment je izveden na hidrauličnoj presi Sack und Kiesselbach, nominalne sile 6,3 MN. Za potrebe eksperimenta napravljeno je 30 uzoraka, klasifikovanih u 10 serija. Uzorci su izrađeni finim struganjem od poliamida PA i polietilena PE, kako bi se dobio odgovarajući kvalitet površine (slika 7).



Slika 7. Uzorci korišćeni u eksperimentu [5]

2.1 Određivanje krive tečenja i koeficijenta trenja

Za određivanje napona tečenja materijala i krive tečenja odabrana je metoda slobodnog sabijanja valjka po Rastegajevu, slika 8. Izgled uzoraka nakon sabijanja prikazan je na slici 9.



Slika 8. Šema slobodnog sabijanja valjka po metodi Rastegajeva [4]

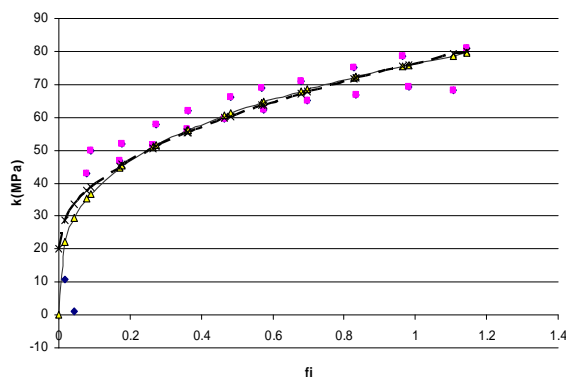


Slika 9. Uzorci od PA nakon sabijanja [5]

Udubljenja na čeonim površinama uzorka omogućavaju da sredstvo za podmazivanje razdvaja kontaktne površine u toku procesa deformisanja. Na taj način se omogućava da se eliminiše uticaj trenja na proces deformisanja i obezbeđuje se jednoosno naponsko stanje u procesu. Na osnovu eksperimentalnih podataka, za poliamid PA dobijen je sledeći oblik krive tečenja

$$K = 20 + 56,42 \cdot \varphi_e^{0.57} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

Na slici 10 prikazana je kriva tečenja za poliamid PA.

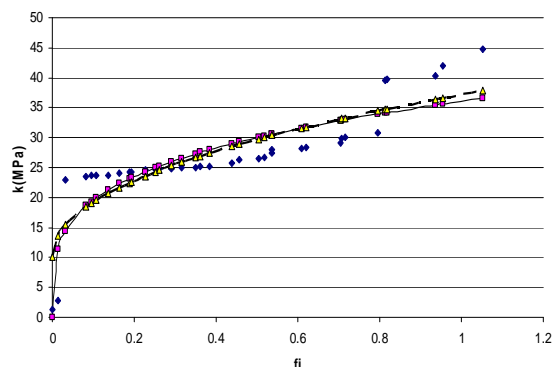


Slika 10. Kriva tečenja za poliamid PA [5]

Konačni izraz krive tečenja za polietilen PE ima oblik:

$$K = 10 + 27.2 \cdot \varphi_e^{0.467} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

Na slici 11 prikazana je kriva tečenja za PE.



Slika 11. Kriva tečenja za polietilen PE [5]

Koeficijent trenja za potrebe proračuna parametara procesa određen je metodom slobodnog sabijanja prstena.

U procesu slobodnog sabijanja prstena, u zavisnosti od veličine trenja, postoji mogućnost različitog tečenja materijala (prečnik otvora može da se smanjuje, povećava ili da mu se ne menja vrednost). Na toj činjenici je zasnovan test koji se koristi za određivanje koeficijenta trenja. Na osnovu parametara dobijenih u eksperimentu definiše se kriva promene deformacije visine i deformacije unutrašnjeg prenika prstena koja se upoređuje sa krivama na etalon dijagramu. Na taj način se određuje koeficijent trenja. Za oba materijala, kada se kao sredstvo za podmazivanje koristi mineralno ulje utvrđeno je da koeficijent trenja iznosi 0,04.

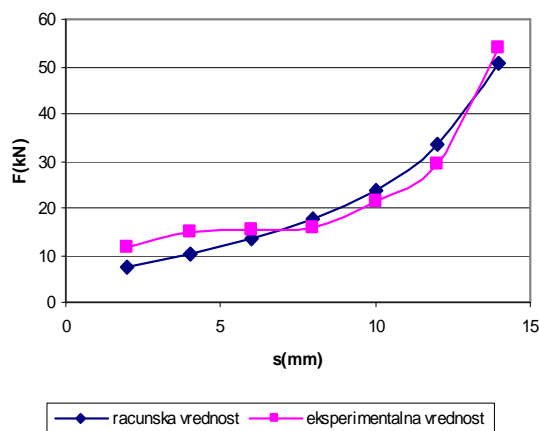
2.2 Slobodno sabijanje valjka ravnim pločama

U eksperimentu slobodnog sabijanja valjka korišteno je ukupno 6 uzoraka, 3 od PA i 3 od PE. Uzorci su u toku eksperimenta podmazivani mineralnim uljem. U toku eksperimenta merena je visina uzorka i registrovana je vrednost deformacione sile na mernom uređaju prese.

Na slici 12 prikazane su teorijska i eksperimentalna promena deformacione sile u zavisnosti od hoda prese za uzorak od PA. Proračun vrednosti deformacione sile urađen je prema izrazu:

$$F = K \cdot A \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{D}{h} \right) \quad (3)$$

Gde su K – napon tečenja, A – površina poprečnog preseka, μ – koeficijent trenja, D – prečnik obratka i h – visina obratka.



Slika 12. Dijagram sila-hod kod slobodnog sabijanja uzorka od PE [5]

Vrednost koeficijenta trenja μ i napon tečenja K određeni su eksperimentalno, kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju.

Na slici 13 prikazan je izgled uzorka od PA nakon sabijanja.



Slika 13. Uzorak od PA nakon deformisanja [5]

Sa dijagrama se vidi da se računski vrednost sile pokazuje dobro slaganje sa eksperimentalnim vrednostima. Slični rezultati dobijeni su i kod uzoraka od polietilena.

2.3 Istosmerno istiskivanje

U eksperimentu istosmernog istiskivanja korišteno je ukupno 6 uzoraka, 3 uzorka su bila od PA i 3 od PE, dimenzija $\varnothing 28 \times 25$ mm. Podmazivanje je vršeno mineralnim uljem, eksperimentalno je određeno da koeficijent trenja ima istu vrednost za oba materijala, $\mu = 0.04$.

Proračun deformacione sile urađen je prema sledećem izrazu

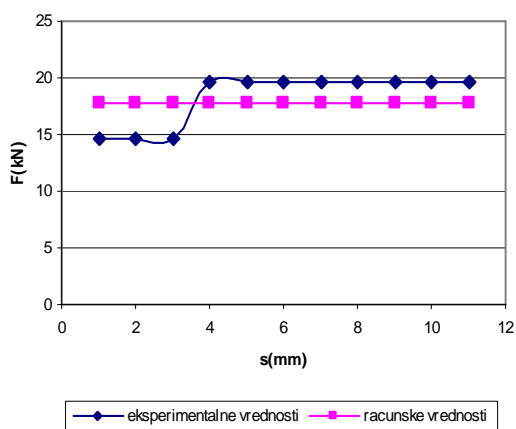
$$F_{uk} = A_0 \cdot K_{sr} \cdot \varphi + A_0 \cdot K_{sr} \cdot \varphi \left(\frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi} \right) + 4 \cdot \mu \cdot K_0 \frac{h_0}{D_0} A_0 =$$

$$= A_0 \cdot K_{sr} \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi} \right) + 4 \cdot \mu \cdot K_0 \frac{h_0}{D_0} A_0 \quad (4)$$

Gde je A_0 – površina poprečnog preseka priprema, K_{sr} – srednja vrednost napona tečenja, φ – ostvarena vrednost deformacije, μ – koeficijent trenja, α – ugao nagiba matrice, h_0 – visina priprema, D_0 – prečnik priprema.

Na slici 14 prikazana je promena deformacione sile u zavisnosti od hoda alata za uzorak od polietilena. Sa slike se vidi da postoji relativno dobro slaganje teorijskih i eksperimentalnih vrednosti. Međutim, kod uzoraka od poliamida postoji odstupanje u prvom delu eksperimenta, gde eksperimentalne vrednosti deformacione sile imaju znatno više vrednosti, da bi se u drugom delu eksperimenta te vrednosti ustalile i bile približne teorijskoj vrednosti..

Na slici 15 prikazan je izgled uzorka od poliamida nakon eksperimenta istosmernog istiskivanja.



Slika 14. Dijagram sila-hod kod istosmernog istiskivanja uzorka od PE [5]



Slika 15. Uzorak od PA nakon istosmernog istiskivanja [5]

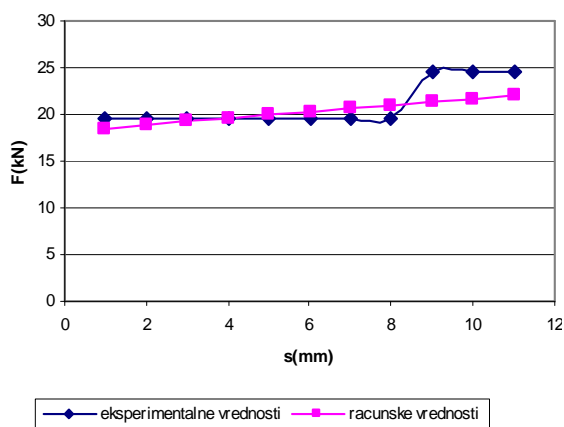
2.4 Suprotnosmerno istiskivanje

Kao i u prethodna dva eksperimenta, i u eksperimentu suprotnosmernog istiskivanja korišteno je ukupno 6 uzoraka, 3 uzorka su bila od poliamida i 3 od polietilena. Podmazivanje je takođe vršeno mineralnim uljem ($\mu=0.04$). Računska vrednost deformacione sile određena je prema sledećem izrazu

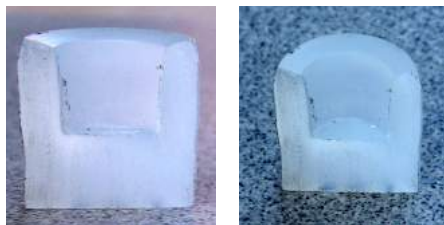
$$F = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} \left\{ K_0 \left(1 + \frac{\mu}{3} \frac{d_1}{h_1} \right) + K_1 \left[1 + \frac{h_0}{S} \left(0.25 + \frac{\mu}{2} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Gde je d_1 - prečnik žiga, odnosno prečnik otvora u obratku, K_0 - napon na granici plastičnog tečenja, h_1 - debljina dna obratka, S - debljina zida obratka, μ - koeficijent trenja

Na slici 16 prikazane su eksperimentalna i teorijska kriva sila - hod za suprotnosmerno istiskivanje uzorka od PE. Kao i kod istosmernog istiskivanja, kod uzoraka kod polietilena, teoretska sila pokazala je bolje slaganje sa eksperimentalnim rezultatima. Kod uzoraka od poliamida, eksperimentalne vrednosti deformacione sile su imale znatno veće vrednosti od računski dobijenih vrednosti.



Slika 16. Dijagram sila-hod kod suprotnosmernog istiskivanja uzorka od PE



Slika 17. Uzorak od PA nakon suprotnosmernog istiskivanja

3. ANALIZA REZULTATA

U ovom radu su za oblikovanje polimera primenjene metode karakteristične za tehnologiju plastičnog deformisanja metala, slobodno sabijanje, istosmerno istiskivanje i suprotnosmerno istiskivanje. Metode su primenjene kao metode hladnog oblikovanja, što znači da su i materijal i alat bili nezagrejani, tj. na sobnoj temperaturi.

Eksperimentalno je određena vrednost deformacione sile kod navedenih procesa, pri čemu su uzorci bili izrađeni od dva materijala, poliamida i polietilena. U slučaju slobodnog sabijanja valjka, teorijski i eksperimentalni rezultati su pokazali dobro slaganje. Kod suprotnosmernog i kod istosmernog istiskivanja, teorijski rezultati su imali bolje slaganje sa eksperimentalnim kod uzoraka od polietilena.

Pri slobodnom sabijanju valjka, kod uzoraka od PE javljale su se pukotine po obimu i mikrošupljine u centralnom delu uzorka, dok se na uzorcima od PA nisu primećivale pukotine. Nakon deformacije uzorci od polietilena su postajali prozirni dok se poliamid dobro deformisao.

Kod istosmernog i kod suprotnosmernog istiskivanja polietilena, pojavljivale su se pukotine na čeonim površinama, kao i na dnu obratka kod suprotnosmernog istiskivanja. Osim toga dolazilo je i do pojave usahnuća na čeonim površinama. Poliamid se pokazao pogodnijim za obradu hladnim oblikovanjem.

Na osnovu rezultata ispitivanja u ovom radu kod određenih metoda hladnog oblikovanja polimera zaključuje se da je moguća primena tehnologije hladnog oblikovanja plastike. Poliamid se bolje hladno oblikuje u odnosu na polietilen. Jedan od nedostaka hladne deformacije polimera u komercionalnoj primeni jesu troškovi izrade priprema (šipke, pločice, valjci), za razliku od toplog deformisanja (ekstruzija, brizganje...) gde je pripremak običan granulat.

4. LITERATURA

- [1] Čatić, I.: *Proizvodnja polimernih tvorevina*, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [2] Čatić, I.: *Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb 1990.
- [3] Joan, B. T.: *Solid-phase forming (cold forming) of plastics*, Plastics technical evaluation center, Department of defense - USA, Picatinny arsenal, Dover, New Jersey, 1972.
- [4] Plančak, M., Vilotić, D.: *Tehnologija plastičnog deformisanja*, FTN, Novi Sad, 2007.
- [5] Velemir, S.: *Hladno oblikovanje plastike*, diplomski-master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.

Autori: **Velemir Slavko**, dil.ing. master, Inženjer mašinskog održavanja, Pogon PVC – održavanje, Tarket d.o.o., Industrijska zona bb, 21400 Bačka Palanka, Srbija, Tel: +381 21 7557 304, **Prof. dr Vilotić Dragiša**, **Prof. dr Plančak Miroslav**, mr Skakun Plavka, asistent, mr Milutinović Mladomir, asistent, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel: +381 21 485 2349

E-mail: slavko.velemir@tarkett-ee.com
vilotic@uns.ns.ac.yu
plancak@uns.ns.ac.yu
plavkas@uns.ns.ac.yu
mladomil@uns.ns.ac.yu

Živić, F., Mitrović, M., Babić, M.

ULOGA NANOTRIBOMETRIJE U SAVREMENIM TRIBOLOŠKIM ISPITIVANJIMA

Rezime: Kao značajna istraživačka oblast sa intenzivnim ulaganjima poslednjih godina se izdvaja oblast nanotehnologija, upravo zbog svog uticaja na buduće trendove razvoja nauke uopšte. Publikovani rezultati ukazuju na opravdanost daljih ispitivanja u oblasti nanotribologije obećavajući nove materijale i značajno unapređene tehnologije. Nove visoko tehnološke industrije, čiju osnovu predstavlja znanje, kroz primenu rezultata istraživanja u nano- i mikro- oblasti oblikuju budući razvoj industrije i proizvoda. Integracija novih tehnologija u industrijsku praksu sa fokusom na nove tehnologije i materijale usmerene na rešenje postojećih problema predmet su savremenih istraživanja u laboratorijama širom sveta.

Nanotribometrija predstavlja robustan alat savremenih triboloških pristupa. Tribološka ispitivanja novih vrsta materijala neophodno je realizovati sa nano i mikro aspekta uporedo sa njihovim makro ispitivanjima. Nanotribometar kao laboratorijski instrument za tribološka ispitivanja u oblasti malih opterećenja elemenata u kontaktu omogućava upravo takvu vrstu testiranja. Na taj način moguće je kvantifikovati tribološke karakteristike posmatranih materijala na nano nivou i vršiti uporedne preglede sa njegovim makro karakteristikama. U radu su prikazane neke karakteristike nanotribometra kao i oblasti njegove primene.

Ključne reči: nanotribometar, nanotribologija

IMPACT OF NANOTRIBOMETRY ON A MODERN TRIBOLOGICAL INVESTIGATION

Abstract: Significantly important field of R&D activities during last years have been recognized as nanotechnology area, due to its impact on the future trends of the science development, in general. Published results justify investments in this area due to generating of new knowledge that can be implemented at industrial practice. New, high tech industries and knowledge-based traditional industries, with application of research results from laboratory investigations at nano- and micro-scale shape the future development trends of industry in general. Integration of technologies for industrial applications with focusing on new technologies, materials and applications to address the identified needs by the different areas of human life has become a priority for researchers, among which, nanosciences have a distinguished role.

Nanotribometry has become a powerful tool for helping resolving diverse issues in multidisciplinary approach. Tribological investigations of novel materials need to be realised on nano-, micro- and macro-scale also. Nanotribometer, as a device that enables researches to quantify tribological properties of observed material at nano level, represents specialized laboratory equipment for investigations in this area. That way, it is possible to make comparison of results obtained at nano level with those of macro characteristics. This paper deals with areas of application for nanotribometer device and some of its characteristics.

Key words: nanotribometer, nanotribology

1. UVOD

Uzimajući u obzir činjenicu da se oblast nanotehnologija odnosi na ispitivanje materijala na nano nivou, razvoj mernih uređaja kao neophodne podrške doživeo je ekspanziju uporedo sa razvojem različitih vrsta modela u oblasti nanotehnoloških ispitivanja. U ovom radu dat je pregled najvažnijih karakteristika nanotribometra, kao instrumenta koji omogućava istraživačima kvantifikovanje triboloških karakteristika posmatranih materijala na nano nivou i koji predstavlja važan element savremenih nanotriboloških laboratorijskih ispitivanja.

Merenje i posmatranje sile trenja, kao i određivanje koeficijenta trenja su od neosporne važnosti za veći broj tribosistema a kod nekih sistema su i od kritične važnosti kao što je to slučaj kod različitih vrsta kočionih sistema, spojnice i kontrolnih sistema kod kojih sila trenja suštinski određuje ponašanje sistema. Značajna oblast istraživanja danas je određivanje modela predviđanja tipa habanja kome su elementi u sistemu izloženi i na osnovu čega bi se mogao preciznije primeniti odgovarajući model testiranja. Već razvijeni modeli testiranja koji uzimaju u obzir različite karakteristike kao što su tip kontakta, režim podmazivanja, temperaturna polja i drugo, takođe su veoma važni s aspekta daljih nanotribometrijskih ispitivanja.

Eksperimentalni podaci laboratorijskih ispitivanja ukazuju na činjenicu da je tribološko ponašanje određeno karakteristikama sloja materijala prvih sto nanometara [1]. Već razvijeni laboratorijski instrumenti za ispitivanja u nano oblasti pružaju dobru osnovu za ispitivanje tribološkog ponašanja materijala na nano nivou. Može se reći da je era nanotehnologija otpočela otkrićem elektronskog mikroskopa, odnosno skenirajućeg tunel mikroskopa (STM), 1981. godine, za čije su otkriće Heinrich Rohrer i Gerd K. Binnig 1986. godine dobili Nobelovu nagradu za fiziku [2]. Otkriće STM mikroskopa omogućilo je razvoj više različitih vrsta mikroskopa među kojima je i AFM mikroskop koji je u širokoj primeni u laboratorijama danas.

2. NANOTRIBOMETRIJA

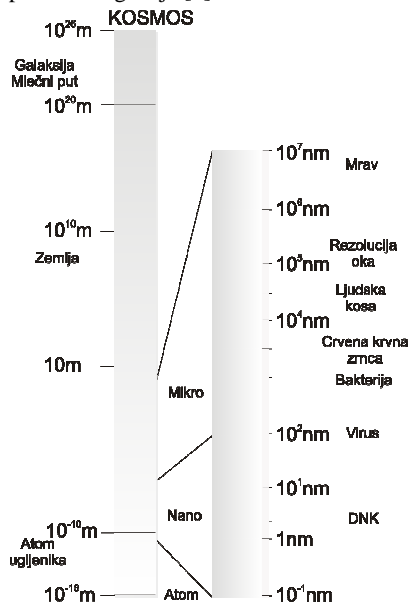
Tribometrija, generalno posmatrano, predstavlja oblast tribologije koja se bavi sredstvima i metodama merenja sila trenja u zoni kontakta, habanja elemenata tribomehaničkog sistema, temperature, površinskih karakteristika kao što su hrapavost površina, veličine kontaktne površine, naponi u zoni kontakta i dr. [3]. Merenje sile trenja i određivanje koeficijenta trenja za mnoge tribosisteme je od izuzetne važnosti, a za neke sisteme kao što su različite vrste kočionih sistema, spojnice i kontrolnih sistema sila trenja suštinski

određuje ponašanje sistema. Značajna oblast istraživanja danas je određivanje modela predviđanja tipa habanja kome su elementi u sistemu izloženi i na osnovu čega bi se mogao preciznije primeniti odgovarajući model testiranja. Već razvijeni modeli testiranja koji uzimaju u obzir različite karakteristike kao što su tip kontakta, režim podmazivanja, temperaturna polja i drugo, takođe su veoma važni s aspekta daljih nanotribometrijskih ispitivanja.

Svaki pojedinačni tribološki sistem poseduje skup dominantnih karakteristika koje određuju način njegovog funkcionisanja. Ne postoji jedan zajednički pristup tribološkom testiranju svakog postojećeg tribosistema upravo zato što tribološka ispitivanja treba da zadovolje određene potrebe s aspekta pojedinih posmatranih karakteristika sistema. Odabir odgovarajućih metoda testiranja koje zadovoljavaju inženjerske zahteve prema sistemu predstavlja složen i kompleksan zadatak. Zavisno od slučaja, analiziraju se funkcionalni zahtevi, a zatim se prema njima usvajaju procedure testiranja.

Tribološko ponašanje materijala na nano nivou mora se analizirati uzimajući u obzir donekle različit skup glavnih karakterističnih parametara sistema, posmatrano u odnosu na klasični makro pristup (slika 1.). Od velike je važnosti istraživanje fenomena i manipulacije različitih triboloških materijala na nanonivou. Primena takvog znanja omogućava uvođenje novih formi proizvodnih procesa, novih proizvoda i servisa. Takođe, kao veoma važno je uvođenje pojma tzv. "zelenih" tehnologija - tehnologija koje su svesne svog okruženja s aspekta njegove zaštite, a što nanotehnologije obećavaju kao budućnost razvoja uopšte.

Univerzalni zakoni trenja mogu se posmatrati na različitim nivoima (nm, μ m, cm), čime se omogućava detaljnije ispitivanje triboloških fenomena na makro i nano nivou. Na primer, pitanje trenja u tribosistemu, s aspekta disipacije energije u zoni kontakta predmet su nanotribometrijskih istraživanja, ali se može posmatrati i sa makro aspekta. Realizovani laboratorijski eksperimenti ukazuju na to da je tribološko ponašanje određeno karakteristikama materijala u prvim sto nanometara površinskog sloja [1].



Slika 1. Materijal na nano nivou

Nano-instrumenti (Slika 2.) predstavljaju dobar alat u procesu proučavanja različitih mehanizama prisutnih u jednom tribosistemu, na nivou atoma, kao što su, na primer, ponašanje sistema u uslovima graničnog podmazivanja, optimalna debljina maziva, ponašanje maziva u kontaktu i slično.



Slika 2. Nanotribometar

Teorijske studije fenomena trenja na nivou atoma i molekula još uvek zahtevaju značajna istraživanja. Nanostrukture koje se kreiraju u zoni kontakta površina u relativnom kretanju predstavljaju osnovu u analizi mehanizama disipacije energije. Trendovi razvoja istraživanja u ovoj oblasti ukazuju na mogućnost inženjeringa frikcionih površina na takav način da zadovoljavaju unapred predefinisane zahteve s aspekta koeficijenta trenja. Molekularna dinamika i statističke simulacije, zajedno sa razvojem nano instrumenata kao što je nanotribometar, predstavljaju robustan alat za istraživanja u ovoj oblasti.

Ispitivanja fenomena na nano nivou interesantna su za veći broj istraživačkih oblasti, ali su izuzetno značajna i za niz realnih industrijskih aplikacija s aspekta poboljšanja već postojećih rešenja. Veoma važan deo istraživanja i razvoja uopšte u nauci danas, predstavlja obast razvoja novih materijala, kao i razvoj novih tehnologija. Već postoji niz novih nano-materijala, koji višestruko unapređuju sisteme kod kojih su u primeni. Na primer, materijal na bazi hafnijum oksida primenjuje se u proizvodnji Intelovih 45nm mikroprocesora novih generacija [4]. Za nove materijale neophodno je nastaviti istraživanja u smislu poboljšanja njihovih performansi, ali i proizvodnih tehnologija.

Prema rezultatima istraživanja, očekuje se povećanje primene aluminijuma i njegovih legura, a posebno njihovih recikliranih materijala, u automobilske industriji i građevini upravo zbog mogućnosti inženjeringa površina prema zahtevu uz već poznati dobar odnos karakteristika jačina / težina ovih materijala. Postoji potreba za detaljnijim ispitivanjem teorijskih ali i praktičnih aspekata uticaja površinskih karakteristika, kao i tribološkog ponašanja ovih materijala na njihovo funkcionisanje u okviru sistema.

Veoma je važno u većoj meri povezati postojeća teorijska saznanja sa podacima dobijenim iz praktičnih primena i laboratorijskih eksperimenata triboloških ispitivanja.

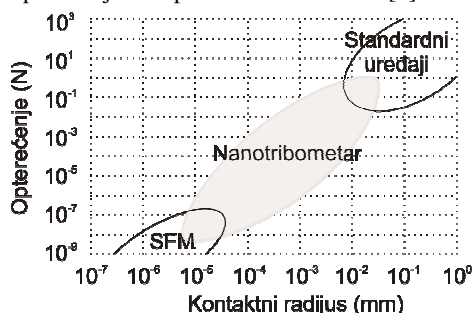
3. NANOTRIBOMETAR

U okviru triboloških ispitivanja postoji veći broj primenjenih tehnika merenja i određivanja karakteristika materijala i njihovih površina pri relativnom kontaktu elemenata. Takođe je razvijen i veći broj procedura za specifične uslove primene.

Instrument koji je u širokoj primeni u tribološkim laboratorijama u svetu je tribometar. Tribometar se definiše kao: 1) Laboratorijski instrument za merenje normalne i sile trenja površina pri njihovom relativnom kretanju; 2) Uređaj konstruisan za merenje karakteristika materijala ili elemenata sistema kojima se određuje njihovo ponašanje s aspekta trenja, habanja ili podmazivanja [2].

Za ispitivanja trenja i habanja sistema na nano nivou, primenjuje se laboratorijski instrument nanotribometar. Osnovu nanotribometra predstavlja dizajn skenirajućeg mikroskopa. Greda koja nosi skenirajuću sondu povezana je sa dva optička senzora za merenje njenog normalnog i poprečnog pomeranja tokom klizanja po posmatranom uzorku, prema čemu se dalje određuje koeficijent trenja.

Uređaj je konstruisan da bi se obuhvatila oblast ispitivanja koja se nalazi između one koja je pripada analizama skenirajućim mikroskopom i oblasti koju pokrivaju uređaji za standardna klasična tribološka ispitivanja. Oblast rada za koju se primenjuje nanotribometar u poređenju sa skenirajućim mikroskopima i klasičnim tribometrima prikazana je na slici 3. Nanotribometar dozvoljava varijaciju u širem opsegu kontaktnih uslova pa je veoma pogodan za tribološka ispitivanja materijala pri veoma malim opterećenjima. Konstruisan je za rad u oblasti dimenzija kontakta u rasponu od manje od 1 nm pa do oko 10 μm uz opterećenja u rasponu reda nN do mN [5].

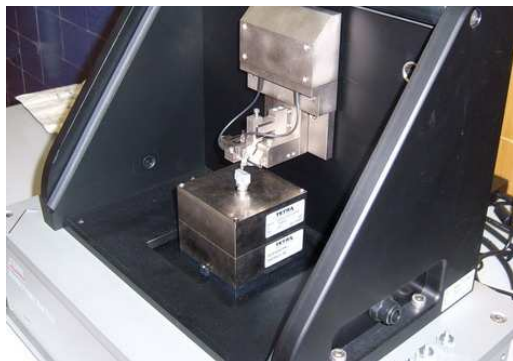


Slika 3. Oblast rada nanotribometra

Nanotribometar CSM proizvođača je laboratorijski instrument koji omogućava ispitivanja u oblasti izuzetno niskih opterećenja čak do 50 μN [5]. Može imati različite dodatne opcije (module) kao što su vezano za kontrolu radnog okruženja (temperatura, vlažnost), uslova podmazivanja, kontaktnog pritiska, frekvencije ili vremena ispitivanja. Moguće je reprodukovati različite realne uslove rada kroz laboratorijsku simulaciju variranjem ovih parametara nanotribometra.

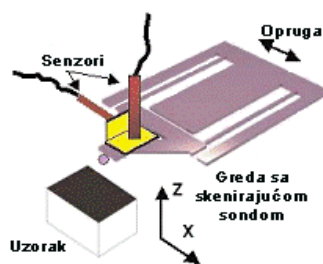
Linearni naizmenični modul nanotribometra primenjuje se za simulaciju većeg broja realnih sistema kod kojih je kao karakteristično prisutno naizmenično kretanje. Većina kontaktnih geometrija se može reprodukovati uključujući tip Pin-on-Plate, Ball-on-Plate i Flat-on-Plate. Modul je objedinjen sa odgovarajućim specijalizovanim softverom koji izračunava nivo habanja ili Hercov napon, na primer.

Linearni naizmenični modul nanotribometra prikazan je na slici 4. Modulom se simulira naizmenično kretanje koje je karakteristično za veliki broj realnih mehanizama. Pri merenju se dobijaju koeficijenti trenja posebno za oba pravca kretanja. Za CSM nanotribometar, frekvencija naizmeničnog kretanja nalazi se u opsegu od 10 μm -1000 μm sa dužinom radnog hoda od 250 nm.



Slika 4. Linearni naizmenični modul CSM nanotribometra

Nanotribometar, kao laboratorijski uređaj, omogućava jednostavno i efikasno kvantifikovanje trenja na nano nivou. On spada u grupu instrumenata za ispitivanja u nano oblasti koja zahtevaju kontakt sa uzorkom [6]. Na slici 5. šematski je prikazan princip rada nanotribometra.



Slika 5. Šematski prikaz principa rada nanotribometra [5]

Neke osobine nanotribometra su:

- Sile se mogu menjati u širokom opsegu tokom ispitivanja.
- Direktno se mere x-, y- i z- pomeranja uzorka.
- Komercijalno postoji veći broj senzora sile za ugradnju na konzolu nanotribometra (od 0.1 N/m do 1000 N/m).
- Kontaktna dimenzije su u opsegu od 1 nm do 10 μm .
- Preizna kalibracija merenja trenja i habanja.
- Linearno ili rotaciono kretanje uzorka.
- Automatsko isključivanje pri postizanju graničnih vrednosti za koeficijent trenja ili ukupnog broja zadatih ciklusa.
- Ispitivanje kompatibilno sa ASTM G99 i DIN 5032 standardima.
- Kontinualno merenje dubine habanja.

Analiza fenomena habanja pri linearnom naizmeničnom kretanju je veoma važna jer se mnogi primeri realne prakse mogu simulirati na ovaj način. Potrebno je u većoj meri povezati fenomen habanja sa topografijom površine i kretanjem čestica u zoni kontakta, na osnovu čega je moguće razviti određene modele habanja [7]. Za takav tip ispitivanja nanotribometar je od neosporne važnosti.

Oblasti primene nanotribometrijskih ispitivanja variraju u širokom rasponu, kao što je su istraživanja u oblastima novih materijala, novih sredstava za hlađenje i podmazivanje, SHP aditivi, sistemi sa samopodmazivanjem, zaštitne prevlake, optičke prevlake otporne na grebanje, prevlake otporne na habanje kao što su TiN, TiC, DLC prevlake, boje i polimeri ili farmaceutska ispitivanja (tablete, implantati), biotribološka ispitivanja i dr. U svakoj od ovih oblasti a i šire, rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju na značaj daljeg rada.

3.1 Tribološka ispitivanja prevlaka

Mehaničke karakteristike tankih filmova i prevlaka na nano nivou ne mogu se meriti precizno primenom tehnika merenja kao što su testovi mikrotvrdoće ili testovi na istezanje predviđeni za određivanje zapreminskih karakteristika, već se primenjuje metoda nanoutiskivanja. Podaci dobijeni primenom nanotribometra mogu se primeniti za dalju optimizaciju karakteristika procesa. Tribološko ponašanje prevlaka generalno je oblast značajnih istraživanja s aspekta velikog broja industrijskih primena.

Različiti modeli habanja, optimizacija uslova nanošenja prevlaka, modeli poboljšanja uniformnosti površinskih karakteristika neke su od oblasti vezane za istraživanje prevlaka u kojima su instrumenti za ispitivanje materijala na nano nivou značajni, jer se mogu dobiti informacije koje se odnose na adhezione procese, stick-slip fenomen i dr. što dalje omogućava proučavanje mehanizama trenja [8], [9].

Poboljšanjem karakteristika na nano nivou iznalaze se različiti načini za produženje životnog veka i smanjenje potrošnje energije posmatranog sistema, čime se daje doprinos njegovoj održivosti [10]. Rezultati merenja na tribometru omogućavaju ispitivanje prevlaka kvantifikovanjem vrednosti za koeficijent trenja i stepen habanja čime se uspostavljaju relacije između karakteristika modela habanja i strukture površine. Očekuje se realizacija preciznih modela habanja kojima bi se vršilo predviđanje

habanja za određene sisteme i unapređenje primenjenih materijala.

Ispitivanja prevlaka spadaju u multidisciplinarna jer povezuju različite oblasti istraživanja neophodne za potpuno razumevanje i unapređenje postojećih procesa u sistemu. Projekat finansiran u okviru FP5 istraživačkog programa sa akronimom NANOTRIB [11], [12] sastojao se od 6 zasebnih projekata koji su zajedno predstavljali zajednički rad 60 partnera iz 16 zemalja u oblasti istraživanja podmazivanja na nanonivou i površina sa niskim nivoom trenja. Delovi ovog velikog projekta predstavljali su istraživanja u sledećim oblastima: prevlake sa niskim nivoom trenja; procesi obrade tvrdih prevlaka za mikropodmazivanje; razvoj prevlaka od nanokompozita s aspekta unapređenja konkurentnosti ali i očuvanja životne sredine; nanostrukturne prevlake za tribološke aplikacije; prevlake od nanokompozita otporne na habanje; samopodmazujuće PVD prevlake za alate i komponente; površinski slojevi sa smanjenim nivoom trenja i habanja i dr. [12].

Neki veoma važni rezultati i zaključci ovog projekta u oblasti razvoja prevlaka su [12]: razvoj relativno debelih samopodmazujućih prevlaka, 100-500 μm , za primenu u oblasti mašinske industrije; razvoj tankih samopodmazujućih prevlaka, 1-50 μm , za primenu u oblasti avionske i automobilske industrije; razvoj novih kompozitnih praškastih materijala za proizvodnju samopodmazujućih prevlaka sa povećanom otpornošću na habanje na temperaturama do 900°C u vakuumu i na vazduhu (nanopraškasti materijali na bazi Ni-Al, nanokompoziti na bazi Fe-Al, WC/Co tvrdi metali kao nanomaterijali). Tribometar koji poseduje visoku preciznost merenja je neophodan za evaluaciju trenja, habanja, podmazivanja i životnog veka u prethodnim oblastima istraživanja prevlaka sa samopodmazivanjem.

Posebno značajna oblast razvoja prevlaka su ispitivanja u oblasti alatnih prevlaka. Odgovarajuće površinske modifikacije alata i istraživanja u ovoj oblasti su od najvećeg značaja za savremene alate i procese [13], [14]. Zahtevi koji se postavljaju prevlakama za alatne mašine povećavaju se naročito uvođenjem novih savremenih materijala koji se obrađuju. Inovativne prevlake i unapređeni tehnološki procesi neophodni su s aspekta savremenih zahteva tržišta. Ispitivanja karakteristika novih višeslojnih nano prevlaka (kao što je na primer TiAlCrN/NbN) koje pokazuju značajno smanjenje stepena habanja u poređenju sa standardnim alatnim prevlakama je takođe veoma značajna oblast [15].

Istraživačka oblast koja se izdvaja kao veoma značajna poslednjih godina su organske prevlake. Na primer, prevlake od polimera na substratu od legure aluminijuma su relevantne za širok spektar oblasti primene kao što su građevinska, automobilska ili avio industrija. Mehanizmi adhezije i procesi koji se odvijaju u uskoj zoni granice/međusloja prevlaka – substrat određuju ponašanje i makro karakteristike takvih sistema. Ovakvi sistemi privlače veliku pažnju zbog svojih izuzetnih mehaničkih i termičkih svojstava [16]. Nanotribometar je za ovakve sisteme važan deo laboratorijske opreme. Cilj je ispitivanje svojstva ovakvih prevlaka u različitim uslovima primene i njihovo dalje unapređenje sa tribološkog aspekta kao i sa aspekta šire industrijske primene.

Razvoj procesa habanja pri izuzetno niskim opterećenjima i pri malom kontaktu je oblast koja je od primarnog interesa za razvoj nanotribologije [17]. Inovativne procedure i metode testiranja treba istraživati i primenjivati na takav način da omoguće bolje razumevanje osnovnih triboloških procesa na nano / mikro nivou, kao i unapređenje već postojećih procedura testiranja. Razumevanje tribološkog ponašanja na nano nivou omogućava bolju kontrolu tribološkog funkcionisanja na makro nivou. Nanotribometrija treba da omogući upoznavanje uticaja većeg broja različitih parametara procesa, na nano nivou, na posmatrane tribološke sisteme, kao i da ih poveže u sveobuhvatniju celinu.

4. ZAKLJUČCI

Tribološko ponašanje materijala na nano nivou potrebno je proučavati sa donekle različitim skupom posmatranih parametara u poređenju sa klasičnim tradicionalnim pristupom. Od velike je važnosti detaljnije istraživanje fenomena i manipulacije materije na nano nivou. Primena takvih saznanja omogućava uvođenje novih formi proizvodnih procesa, novih proizvoda i usluga.

Teorijska proučavanja trenja na nivou atoma i molekula još uvek zahtevaju ozbiljniju potvrdu sa praktičnog aspekta. Nanostrukture kreirane između površina u relativnom kretanju osnova su za mehanizme disipacije energije. Neka predviđanja istraživanja u ovoj oblasti ukazuju na mogućnost kreiranja frikcionih površina na takav način da zadovoljavaju prethodno definisane uslove s aspekta koeficijenta trenja.

5. LITERATURA

- [1] Bhushan B. (ed.), *Nanotribology and Nanomechanics*, Springer, 2005.
- [2] Friction, *Lubrication, and Wear Technology*, Volume 18, ASM Metals Handbook, ASM International, 1992.
- [3] Ivkovic B., Rac A., *Tribology* (in Serbian), Yugoslav Tribology Society, 1995.
- [4] Hafnium-based Intel® 45nm Process Technology, <http://www.intel.com/technology/45nm/index.htm>
- [5] CSM bulletin, *Tribology at Nanometer scale*, <http://www.csm-instruments.com>
- [6] Chen G. X., Zhou Z. R., *Study on transition between fretting and reciprocating sliding wear*, Vol. 250, Wear, 2001.
- [7] Samerski (Sp), et al., *Influence of the Surface Topography on the Transition between High and Low Wear Regimes under Multidirectional Reciprocating Sliding*, International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, 9-11 April, 2008., Germany
- [8] Stachowiak G.W., Batchelor A.W., *Fretting and Minor Wear Mechanisms*, Engineering Tribology, 2006.
- [9] Bhushan B. (ed.), *Springer handbook of nanotechnology*, Springer, 2004.
- [10] Bhushan B., et al. (ed.), *Applied Scanning Probe Methods*, Springer, 2005.
- [11] Živić F., *Nanotribometer Area of Application*, Tribology in industry, vol. 29, No. 3&4, 2007.
- [12] NANOTRIB cluster, http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/articles/article_360_en.html
- [13] Schulte J., *Nanotechnology, Global Strategies, Industry Trends and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [14] Warnke C. (Sp), et al., *High Performance PVD-Coatings for Tools*, International Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, 9-11 April, 2008., Germany
- [15] L. Ning, S.C. Veldhuis, K. Yamamoto, *Investigation of wear behaviour and chip formation for cutting tools with nano-multilayered TiAlCrN/NbN PVD coating*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.48, 2008.
- [16] Girardi F., et al, *Inorganic-organic hybrid materials with zirconium oxoclusters as protective coatings on aluminium alloys*, Progress in Organic Coatings, Vol.62, 2008.
- [17] Achanta S., Drees D., Celis J.P., *Friction and nanowear of hard coatings in reciprocating sliding at milli-Newton loads*, Vol. 259, Wear, 2005.

Autori: Mr Fatima Živić, Dr Slobodan Mitrović, Dr Miroslav Babić, Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6, 34 000 Kragujevac.
E-mail: zivic@kg.ac.yu

Rad po pozivu

Gatalo, R., Zeljković, M., Borojev, Lj., Tabaković, S.

RAZVOJ FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA ZA OBRADU SKIDANJEM MATERIJALA

Rezime: Nadovezujući se na ranije radove vezane za praćenje dostignuća u razvoju i tendencije daljeg razvoja mašina alatki i složenijih sistema, na bazi literaturnih informacija, u radu se ukazuje na određena dostignuća u području automatskih fleksibilnih tehnoloških sistema (AFTs) za obradu skidanjem materijala. Pri tom se najpre razmatraju NU mašine alatke kao osnovne komponente svake složenije AFTs. Razmatraju se njihova konceptiona rešenja, zatim koncepcije (načini) gradnje/komponovanja, pa komponente i materijali, te upravljački sistemi i njihove komponente i najzad problematika programiranja mašina i procesa.

Nakon toga se razmatra problematika nadogradnje NUMA sistemima za manipulaciju, merenje i kontrolu, nadzor i dijagnostiku te transport i skladištenje da bi se došlo do AFTs veće složenosti. Zatim se razmatra konceptiona struktura i način komponovanja AFTs veće složenosti kao što su: (i) fleksibilni tehnološki moduli, (ii) fleksibilne tehnološke ćelije i (iii) fleksibilni tehnološki sistemi. Njihovo komponovanje i karakteristični primeri izvedenih rešenja izlažu se za: (a) obradu rotacionih delova i (b) obradu prizmatičnih delova.

U poslednjem delu rada izlažu se određena dostignuća u vizuelizaciji i simulaciji rada mašina, procesa i sistema odnosno problematika tzv. virtuelne realnosti.

Cljučne reči: NU mašine alatke, automatske fleksibilne tehnološke strukture, dostignuća u razvoju

DEVELOPMENT OF FLEXIBLE TECHNOLOGICAL STRUCTURE FOR MACHINING WITH MATERIAL REMOVAL

Abstract: Building on the previous papers focused on monitoring achievements and further tendencies in the development of machine tools and more complex systems, on the basis of information from the literature, this paper points to specific achievements in the sphere of Automatic Flexible Technological Systems (AFTs) for processing by removing materials. First of all, NC machine tools as basic components of each more complex AFT are considered. Furthermore, their conceptual solutions are examined, as well as concepts (methods) of construction/composition, components and materials, management systems and their components and finally, problems related to programming of machines and processes.

Afterwards, it addresses the problems concerning upgrading the NC machine tools with systems for manipulation, measuring and control, supervision and diagnostics, as well as transport and storage in order to reach AFTs of greater complexity. Additionally, conceptual structure and method of composition of more complex AFTs are considered, such as: (i) flexible technological modules, (ii) flexible technological cells and (iii) flexible technological systems. Their composition and typical examples of derived solutions are demonstrated for: (a) processing of rotary parts and (b) processing of prismatic parts.

The last section introduces specific achievements in visualization and simulation of machines operation, processes and systems, that is, problems regarding so-called virtual reality.

Key words: NC machine tools, automated flexible technological structure, achievement in development

1.0 UVOD

Nastavljajući dobru praksu kako Laboratorije za mašine alatke, fleksibilne tehnološke sisteme i automatizaciju postupaka projektovanja Instituta za proizvodno mašinstvo FTN [39], [11], [10], [36], [37], [38], ... , tako i kolega iz drugih domaćih centara, da se povremeno sumiraju dostignuća u razvoju i pokuša da dade pogled na tendencije i budući razvoj mašina alatki i složenijih sistema za obradu skidanjem materijala, autori su pokušali da u radu u relativno kratkim crtama i dosta letimično obrade ovu već sada dosta kompleksnu problematiku i da koristeći veliki broj aktuelnih literaturnih izvora sumiraju stanje u razvoju kroz isticanje određenih značajnih pitanja/užih tema.

Pri tome se pošlo od toga da su danas na bazi mašina alatki prisutne i složenije automatske strukture i da ih pored razmatranja pitanja u vezi sa razvojem mašina alatki i njihovih komponentata, ovde treba obraditi. Predhodnom je dodata i problematika tzv. „virtuelne realnosti” odnosno vizuelizacije i simulacije procesa obrade i rada mašina i sistema.

Kroz poseban deo je učinjen pokušaj da se ukaže na određene činjenice i razmišljanja o mogućem budućem

razvoju mašina alatki i složenijih struktura.

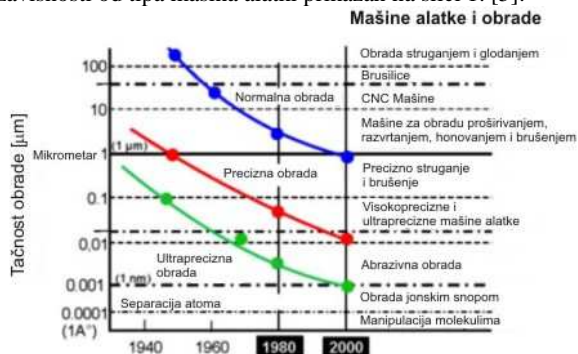
2.0 POGLED NA AFT STRUKTURE RAZLIČITOG NIVOA SLOŽENOSTI

Proces izrade primenom metoda obrade materijala skidanjem strugotine se od prve industrijske revolucije, koja se smatra prekretnicom razvoja savremenih mašina alatki, do danas značajno promenio. Najznačajnije promene, koje su u velikoj meri uticale na sve parametre proizvodnje, su nastale sredinom dvadesetog veka, uvođenjem procesa automatizacije primenom numeričkih upravljačkih sistema. Ovim procesom su se u značajnoj meri otklonili postojeći nedostaci mašina alatki, što je rezultovalo:

- Skraćanjem glavnog i pomoćnih vremena obrade
- Otklanjanjem subjektivnih uticaja radnika na rezultate procesa obrade
- Primenom savremenih saznanja o materijalima, alatima, kao i o procesu obrade.

Samim tim se u predhodnom periodu značajno povećala očekivana tačnost obrađene površine, čiji je kontinualni rast u

zavisnosti od tipa mašina alatki prikazan na slici 1. [5].



Slika 1. Porast očekivane tačnosti obradnih sistema [5]

Razvojem numeričkog upravljanja, odnosno numerički upravljanih (NU) mašina alatki (MA) (NUMA) stvoreni su uslovi za automatizaciju u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Kako ovakva proizvodnja obuhvata i do 70% ukupne proizvodnje industrije prerade metala, a numeričke mašine u prvom redu omogućavaju značajno povećanje proizvodnosti, kroz smanjenje glavnog vremena logično je da su stvoreni uslovi za ekonomičniju proizvodnju u ovakvim proizvodnim uslovima. Uz to je i vrlo izražena fleksibilnost ovakvih mašina alatki.

Sa druge strane performanse numeričkog i kompjuterskog upravljanja omogućavaju vrlo lako povezivanje u složenije strukture. To je u krajnjem stvorilo uslove za povezivanje MA sa numeričkim upravljanjem sa manipulacionim sistemima i/ili industrijskim robotima, merno-kontrolnim sistemima, sistemima za transport i skladištenje te sistemima za nadzor i dijagnostiku u strukture veće složenosti, koje u krajnjem treba da omoguće automatski rad i obradu na delovima određene klase bilo da se radi o:

- delimičnoj obradi određene operacije
- kompletnoj obradi određene operacije ili srodnih operacija
- kompletnoj obradi dela (obradi svih operacija)

U skladu sa predhodnim može se govoriti o automatskim fleksibilnim tehnološkim strukturama (AFTs) koje omogućavaju napred navedene obrade. To su (respektivno) AFT moduli, AFT ćelije i AFT sistemi. Svaka od tih struktura je dovoljno fleksibilna da u skladu sa svojom namenom

omogućava obradu na delovima određene klase i uz to obradu izvodi automatski bez prisustva čoveka određeni period vremena.

3.0 NU MAŠINE ALATKE

Brojna naučna istraživanja na temu usavršavanja mašina alatki koja su realizovana u poslednjih pola veka su rezultovala značajnim promenama u ovoj oblasti. Tu se pre svega misli na:

- Usavršavanje *konceptionih rešenja* mašina alatki koja su nastala na osnovu zahteva savremenog tržišta
- Usavršavanja *konceptije gradnje* mašina alatki nastale u cilju zadovoljavanja potreba korisnika za razvojem mašina alatki sa povećanom fleksibilnošću
- Usavršavanja *komponenata i materijala* primenljivih u gradnji mašina alatki
- Usavršavanje *konceptije upravljačkih sistema* i drugih elemenata automatizacije

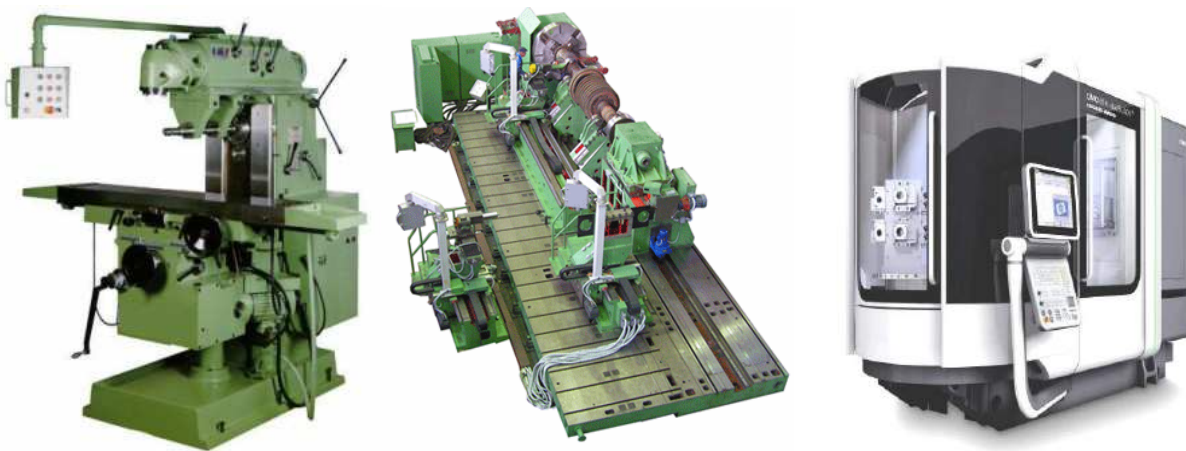
3.1 Konceptiona rešenja

3.1.1 Klasični koncept

Mašine alatke na koje smo navikli, drukčije rečeno mašine alatke današnje konceptije grade se po tzv. klasičnom konceptu, koji je baziran na Moudslijevom strugu iz 1800. godine i Vilkinsonovoj bušilici iz 1774. godine [18]. Bez obzira na vrlo dugačak period od tada do danas, za vreme kojeg su najpre prisutne:

- *Univerzalne mašine* karakterisane visokom fleksibilnošću a niskom produktivnošću, a zatim
- *Specijalizovane mašine*, karakterisane smanjenom fleksibilnošću ali povećanom produktivnošću

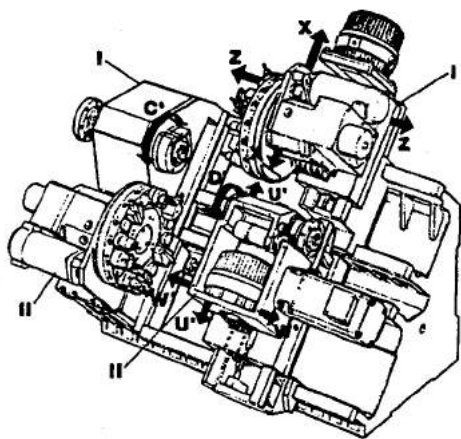
Razvojem numerički upravljanih mašina alatki (slika 2) sredinom prošlog veka (pre oko 60 godina) koje po svojim performansama predstavljaju prelaz između dve predhodne grupe omogućena je dosta visoka fleksibilnost uz dosta visoku produktivnost.



Slika 2. Univerzalna, specijalna i NU mašina alatka

U poslednjoj deceniji NU mašine alatke su postale sve složenije. Zahvaljujući velikom broju numerički upravljanih osa, odnosno odgovarajućem broju kretanja klizača one sve

više obezbeđuju obradu složenih delova – skoro u potpunosti. Primer jedne takve višeosne mašine prikazan je na slici 3.



Slika 3. Konceptija struga DUO 4230 firme Boley [18]

I pored predhodnog ipak se za takva rešenja mašina alatki ne može reći da se u osnovi ne baziraju na klasičnom konceptu.

3.1.2 Inverzni koncept

Evolucija razvoja potrošačkog društva je u poslednje dve decenije značajno uticala na proces nastanka, razvoja i veka proizvoda na tržištu. Uporednim analizama pojedinih proizvoda može se uočiti da se njihov vek značajno smanjio. Kao najbolji primer za to se navode primeri iz automobilske industrije. Nemački proizvođač automobila Folksvagen je model *buba* neprekidno proizvodio preko šezdeset godina, dok prosečan vek savremenih modela automobila istog proizvođača danas iznosi između četiri i pet godina.

Imajući u vidu da je životni vek mašina alatki značajno duži od proizvoda koji se na njima izrađuju, ovakvi tržišni zahtevi su pred njihove proizvođače postavili zahtev da ispune dva kontradiktorna zadatka, da maksimalno povećaju proizvodnost mašina alatki uz povećanje njihove fleksibilnosti.

Kao rezultat težnje da se ispune ovakvi zahtevi tržišta nastao je inverzni koncept definisanja mehaničke strukture mašina alatki. On se zasniva prvenstveno na geometrijskim karakteristikama obradaka, kao i zahvatima obrade neophodnim za njegovu izradu. Pri tome se pomeranja u pravcu pojedinih osa upravljanja ostvaruju od strane nosača radnog predmeta, a alati su postavljeni bočno u odnosu na radni predmet. Poslednjih godina pojedini proizvođači mašina alatki u velikoj meri koriste ovaj koncept gradnje prilikom definisanja specijalizovanih obradnih sistema. Kao primer za to su obradni sistem FM 3+X firme ELHA (slika 4).



Slika 4. Obradni centar firme ELHA nastao primenom inverznog koncepta konfigurisanja mašina alatki [15]

Primenom principa rekonfigurabilne gradnje mašina

alatki i inverznog koncepta se uz primenu obrade sa više vretena istovremeno omogućava obrada komplikovanih radnih predmeta uz kratka pripremno završna vremena. Na slici 5. su prikazani unutrašnjost radnog prostora ovakvog obradnog sistema uz sliku dela koji se na njemu obrađuje, elementa planetnog prenosioca.



Slika 5. Radni prostor obradnog centra nastalog inverznim konceptom gradnje i primer karakterističnog radnog predmeta koji se na njemu obrađuje

Ovakvi obradni sistemi zbog problema sa transportom radnih predmeta unutar radnog prostora uz zahtevanu krutost sistema, imaju veću primenu za radne predmete manjih gabaritnih dimenzija.

Ovom konceptu vrlo je bliska vertikalna koncepcija u gradnji mašina alatki za obradu struganjem, koja omogućava maksimalnu uštedu prostora u proizvodnom pogonu i stvara uslove za jednostavnije i jeftinije posluživanje mašine

3.1.3 Mašine za ultrapreciznu i mikro obradu

Uporedo sa razvojem elektronske industrije i sve češće upotrebe optičkih uređaja sa preciznim mehaničkim sklopovima na značaju dobijaju i istraživanja vezana za obradu radnih predmeta malih dimenzija sa zahtevima za visokim kvalitetom obrađenih površina. Ovi vidovi obrade se svrstavaju u dve grupe: ultrapreciznu i mikro obradu [15].

Imajući u vidu dimenzije radnih predmeta, širinu tolerancijskih polja kao i zahtevani kvalitet obrađene površine uočava se nemogućnost primene uobičajenih tehnoloških parametara i principa gradnje mašina alatki u ovoj oblasti. Upravo zbog toga, dosadašnja istraživanja vezana za ovu problematiku su paralelno realizovana u više različitih oblasti [7]:

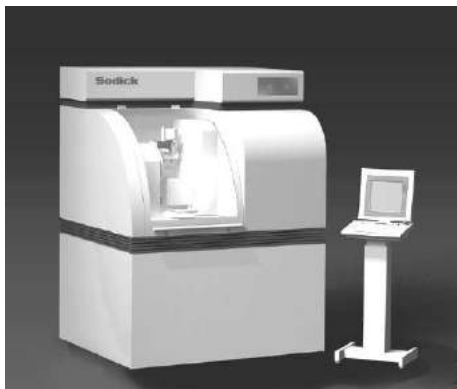
- Istraživanja procesa obrade skidanjem materijala u mikro oblasti imajući u vidu da tolerancije obrade u ovoj oblasti ulaze u subatomska područja
- Projektovanje mašina alatki i komponenata koje omogućuju ovaj vid obrade
- Usavršavanje alata za ultrapreciznu i mikro obradu

Problematika projektovanja i izrade mašina alatki za ultrapreciznu i mikro obradu u poslednje dve decenije se usmerava na usavršavanja vezana za :

- Termičku stabilnost mašina alatki i usavršavanje sistema za hlađenje elemenata mašina alatki i alata u procesu obrade [7]
- Usavršavanja uležištenja i sistema za vođenje pre svega vazdušnih i hidrostatičkih uležištenja i vodica u pravcu eliminisanja turbulentnog toka fluida u njima [46]
- Usavršavanja pogona pomoćnog kretanja koji omogućuju mikropomeraje

- Usavršavanje mernih sistema u vidu odgovarajućih davača sa visokom rezolucijom signala koji omogućavaju merenje mikro pomeraja elemenata mašine [46]

Zahvaljujući rezultatima ovih istraživanja, poslednjih godina se na tržištu javljaju i mašine alatke ovog tipa sa većim brojem osa upravljanja. Na slici 6. je prikazan obradni centar za ultrapreciznu obradu sa 5 osa upravljanja.



Slika 6. Obradni centar za ultrapreciznu obradu [7]

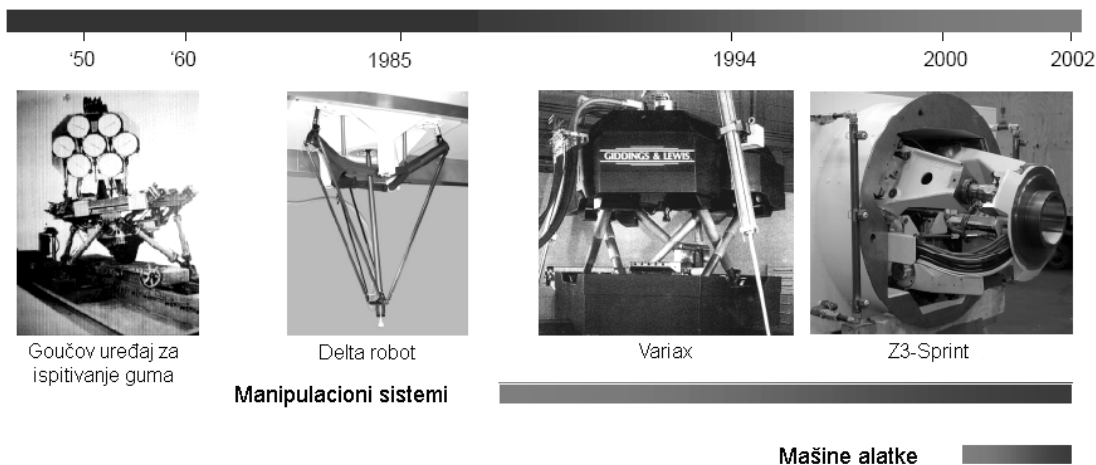
3.1.4 Mašine alatke sa paralelnom kinematikom

Jedno od najznačajnijih unapređenja strukture mašina alatki, u periodu od svog nastanka do danas, je rezultat nastanka paralelne kinematike kao naučno istraživačkog

područja. Nastali na koncepciji simulatora letenja za borbene helikoptere paralelni mehanizmi su se pokazali kao pogodna mehanička struktura za primenu u proizvodnom mašinstvu. Tu se pre svega misli na koncipiranje i razvoj novih tipova manipulacionih sistema i mašina alatki. Kao njihove najistaknutije osobine se ističu:

- Povećana krutost u odnosu na serijske mehanizme koji se koriste i konvencionalno građenim mašinama alatkama
- Brzohodnost, koncepcija omogućava ubrzanja strukture do 10g ($98,1 \text{ m/s}^2$), što je teorijska vrednost ali i deset puta veća vrednost u odnosu na konvencionalne mehanizme
- Struktura pogodna za gradnju na rekonfigurabilnim principima
- Niža cena
-

Prve ideje o primeni paralelnih mehanizama u manipulacionim sistemima i mašinama alatkama potiču od sredine dvadesetog veka, iz perioda kada su oni i našli prvu komercijalnu primenu. U to doba su i uočeni najznačajniji nedostaci kao što su komplikovano rešavanje direktne kinematike mehanizama i komplikovano upravljanje, što je značajno usporilo njihov dalji razvoj. Na slici 7. je dat prikaz kojim se ilustruje tok razvoja paralelnih mehanizama u poslednjih pola veka.

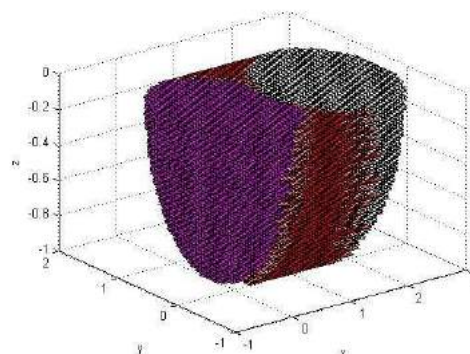


Slika 7. Tok razvoja mašina alatki i industrijskih manipulatora baziranih na paralelnim mehanizmima [53]

Razvoj računarske tehnike sredinom osamdesetih godina dvadesetog veka je omogućio razvoj upravljačkih sistema za manipulacione sisteme, a desetak godina kasnije i za mašine alatke, koji omogućuju praćenje upravljačkih parametara u realnom vremenu.

Razvoj i istraživanja sprovedena u oblasti primene paralelnih mehanizama u gradnji mašina alatki su ukazala i na nedostatke koji potiču od same geometrije mehanizma sa jedne strane i nesavršenosti pojedinih komponenata koje se u ovom tipu mašina alatki koriste. To su pre svega:

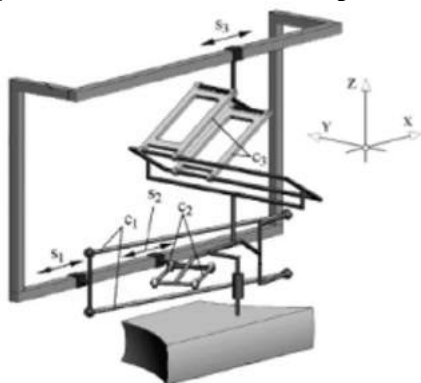
- Dimenzije i nepravilan geometrijski oblik radnog prostora (Slika 8)
- Komplikovano matematičko rešenje direktnog kinematskog problema
- Temperaturne dilatacije u zoni obrade značajno utiču na rast greške obrade
- Komplikovano obezbeđivanje pogona alata



Slika 8. Radni prostor mašine alatke na bazi paralelnih mehanizama [45]

Jedan od ciljeva daljeg usavršavanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama predstavlja usavršavanje

njihove strukture u cilju poboljšanja strukture i dimenzija radnog prostora. Na slici 9. je prikazan mehanizam razvijen sa tim ciljem na Mašinskom fakultetu u Beogradu.



Slika 9 Primer mehanizma sa povoljnijom strukturom radnog prostora [12]

Tendencije razvoja ove oblasti a samim tim i mašina alatki uopšte usmerene su na usavršavanje kombinovanih serijsko paralelnih mehanizama kao kompromisnog rešenja koje u velikoj meri zadržava veći deo njihovih dobrih osobina.

3.2 Konceptije gradnje

Zahtevi koje tržište postavlja pred proizvođače mašina alatki u savremenom društvu predstavljaju osnovu za postavljanje koncepcije projektovanja mašina alatki. Kao rezultat istraživanja sprovedenih u tom pravcu poslednjih godina je razvijeno više koncepcija gradnje mašina alatki među kojima su najistaknutije:

- Modularna koncepcija gradnje
- Koncepcija gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima
- Gradnja mašina alatki pogodnih za održavanje
- Razvoj i gradnja energetski efikasnih mašina alatki [8]
- Gradnja mašina alatki konvencionalne strukture sa povoljnom cenom

Svaka od navedenih koncepcija ima određene specifičnosti na kojima se bazira izbor komponenta kao i karakteristike mašine alatke.

3.2.1 Modularna gradnja

Modularna gradnja mašina alatki kao koncepcija poznata je već duži period, imajući kao osnovne ciljeve:

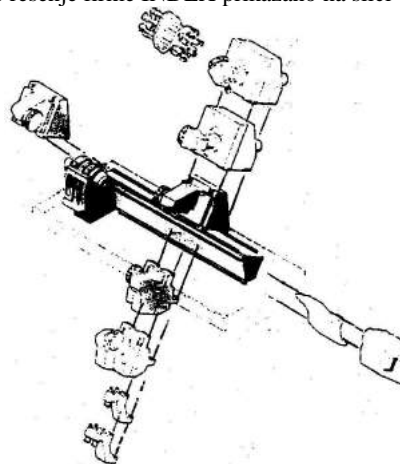
- Ubrzanje procesa projektovanja i gradnje mašina alatki prema zahtevima kupca
- Povećanje stepena sigurnosti dobijenog rešenja
- Smanjenje broja grešaka i iteracija u procesu projektovanja
- Povećanje kvaliteta i konkurentnosti proizvoda

Usavršavanjem modularne koncepcije gradnje mašina alatki došlo se do zaključka da je veoma pogodna za automatizaciju procesa projektovanja, čime se značajno povećavaju efekti njegove primene. Između ostalog time se ostvaruje viševarijantnost projektovanih rešenja, ubrzava se proces projektovanja, omogućava se projektovanje modula sa zajedničkim geometrijskim i funkcionalnim karakteristikama i omogućava dugoročno planiranje razvoja proizvoda [32].

Na osnovu ovakvih pretpostavki do sada je razvijen veći

broj programskih sistema čiji je osnovni cilj automatizacija projektovanja mehaničke strukture mašina alatki [32], [45]. Primena ovakvih sistema predstavlja osnovu za uspešnu primenu novih koncepcija gradnje mašina alatki među koje spadaju i rekonfigurabilne mašine alatke.

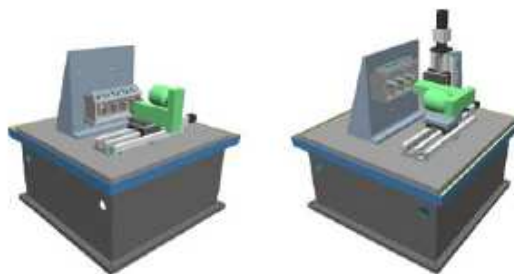
Kao primer modularnog koncepta gradnje mašina alatki navodi se rešenje firme INDEX prikazano na slici 10.



Slika 10 Koncept modularne gradnje mašina alatki firme INDEX [18]

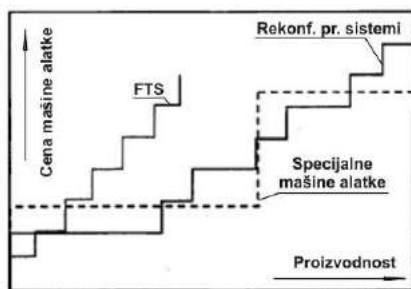
3.2.2 Rekonfigurabilna gradnja

Kao što je u predhodnom tekstu već rečeno u savremenim uslovima proizvodnje, od mašina alatki se zahteva visoka proizvodnost uz značajan stepen fleksibilnosti [22]. Ovakve zahteve nije moguće ispuniti primenom tradicionalnih koncepcija gradnje mašina alatki. Kao odgovor na ovakve zahteve je nastala koncepcija gradnje koja je bazirana na modularnoj mehaničkoj strukturi uz primenu upravljačkih sistema otvorene arhitekture. Kombinacija ovih komponenta mašina alatki predstavlja osnovu tzv. rekonfigurabilne koncepcije gradnje mašina alatki [21]. Ovako koncipirani sistemi imaju mogućnost prilagođavanja konfiguraciji radnog predmeta uz definisanje željene proizvodnosti [21]. Pored toga jednu od najvažnijih osobina ovakvih sistema predstavlja pogodnost za rekonfiguraciju čime se posle određenog perioda upotrebe, uz korekcije na upravljačkom sistemu, dobija praktično nova mašina alatka. Na slici 11 su prikazane dve kombinacije komponenta rekonfigurabilnih mašina alatki, čime su od istih komponenta dobijene praktično dve specijalizovane mašine alatke.



Slika 11. Varijante rekonfiguracije mašine alatke [21]

Primena rekonfigurabilne koncepcije gradnje prilikom projektovanja i realizacije mašine alatki omogućavaju značajno povećanje njihove fleksibilnosti uz produktivnost na koju je moguće uticati po želji. Pored toga, zavisnost cene ovako koncipiranih mašina alatki u funkciji produktivnosti (Slika 12.) ukazuje na njihovu ekonomičnost u području veličine serija koje su za današnje pojmove uobičajene.



Slika 12. Zavisnost cene od produktivnosti mašina alatki građenih na rekonfigurabilnim principima [22]

Primena koncepcije gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima omogućava gradnju mašina za operacije struganja, glodanja, brušenja, kao i njihovu kombinaciju.

3.2.3 Mašine alatke pogodne za održavanje

Intenzivan rast tržišta mašina alatki u predhodnom periodu je ukazao na značaj procesa njihovog održavanja. Pravilnom eksploatacijom i planiranjem održavanja se u velikoj meri utiče na kvalitet proizvodnog procesa i vek mašina alatki i uopšte svih ostalih komponenata proizvodnog sistema. Na osnovu takvih saznanja je razvijen postupak održavanja mašina alatki koji podrazumeva preventivne intervencije održavanja, definisane planovima održavanja, koje obuhvataju kontrolu i zamenu pojedinih komponenata sistema u određenim vremenskim periodima.

U cilju uštede troškova koji nastaju ovakvim metodama održavanja značajna istraživanja se poslednjih godina sprovode u cilju projektovanja i gradnje mašina alatki koje su pogodne za primenu prediktivnih tehnika održavanja (PDM - Predictive maintenance techniques). To podrazumeva kontinuirano praćenje stanja mašine i njenih komponenata i intervencije u odgovarajućem trenutku (*just in time*) kada funkcija komponenata postane ugrožena. Da bi ovakve metode praćenja stanja mašine alatke dale odgovarajuće rezultate neophodno je primeniti najsavremenije metode koje omogućuju dijagnosticanje stanja bez prekida (ili sa kratkotrajnim prekidom) procesa proizvodnje. Samim tim i mašine alatke moraju biti projektovane u skladu sa ovakvim načinom nadzora i intervencije na njima. Značajni rezultati istraživanja koja ukazuju na značaj i mogućnosti projektovanja mašina alatki na osnovu pogodnosti za održavanje su ostvareni na Univerzitetu u Štuttgartu u saradnji sa firmom INDEX [15].

3.2.4 Mašine alatke konvencionalne strukture sa povoljnom cenom

Kontinuirani zahtevi za što je moguće jeftinijom proizvodnjom su uticali na koncepciju gradnje mašina alatki. Imajući to u vidu, poslednjih godina pojedini proizvođači ulažu značajne napore u razvoj koncepcije proizvodnje mašina alatki po najpovoljnijoj mogućoj ceni uz zadržavanje svih ključnih tehničko tehnoloških karakteristika [15]. Da bi se to postiglo primenjena je koncepcija inverznog izbora komponenata mašine. To podrazumeva analizu vitalnih komponenata, njihov preliminarni izbor po kriterijumima koji obuhvataju njihovu cenu i karakteristike, a zatim na osnovu toga koncipiranje same mašine alatke. Iako ovakva koncepcija gradnje mašina alatki podrazumeva veliki broj kompromisa, stavljajući u drugi plan veliki broj trenutno priznatih kriterijuma primenjivih u projektovanju, smatra se da omogućuje razvoj novih mašina alatki sa odgovarajućim tehničkim karakteristikama po značajno nižoj ceni i roku isporuke. Na slici 13. je prikazan obradni centar firme Huller

Hille nastao uvođenjem cene mašine kao jednog od ključnih kriterijuma za njihov nastanak.



Slika 13. Obradni centar firme Huller Hille

3.3 Komponente i materijali

Razvoj komponenata krajem XX i početkom XXI veka je značajno uticao kako na koncepciju gradnje tako i na karakteristike mašina alatki. To je između ostalog omogućeno usavršavanjem postojećih komponenata, razvojem savremenijih tipova motora i uležištenja, razvojem informacionih tehnologija kao i usavršavanjem novih tipova materijala primenjivih u tehnici uopšte.

3.3.1 Vođenje i uležištenje

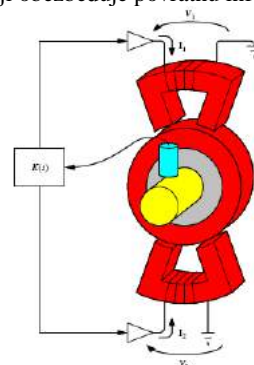
Poznato je da su sve analize postojećih kontaktnih rešenja vođenja pojedinih osa na mašinama alatkama kao njihovu osnovnu manu isticale sam mehanički kontakt i iz njega proistekle netačnosti uslovljene habanjima, „stick-slip” efektom i sl.

Samim tim već dugi niz godina postoje istraživanja koja sa ciljem formiranja bezkontaktnih metoda vođenja elemenata među kojima su najznačajniju primenu našli magnetno i aerostatičko vođenje.

3.3.1.1 Magnetno vođenje i uležištenje

Ideja i prvi eksperimenti sa ciljem primene magnetne indukcije kao sredstva za ostvarivanje bezkontaktnog vođenja elemenata potiče sa početka devetnaestog veka. Ipak njihova šira komercijalna primena se vezuje za osamdesete godine prošlog veka kada su uz linearne pogone prvi put primenjene u visokobrzinskim vozovima u Japanu.

Osnovu magnetnih ležaja čini niz elektromagneta raspoređenih duž spolnog prstena koji uz pomoć magnetne indukcije održavaju vratilo u osi ležaja. Na slici 14. je šematski prikazan magnetni ležaj koji deluje duž jedne ose kod koga se informacije o položaju vretena očitavaju uz pomoć davača koji obezbeđuje povratnu informaciju.



Slika 14. Jednoosni magnetni ležaj [20]

Pozicija vretena u magnetnom ležaju se određuje davačima ugrađenim u spolni prsten ležaja, a rastojanje u ležaju se reguliše upravljanjem jačine struje u namotajima

elektromagneta primenom procesnog računara.

Primena magnetnog uležištenja u mašinama alatkama dobija na značaju uvođenjem visokobrzinskih ciklusa obrade u komercijalnu primenu izbegavajući na taj način ograničenja koja su postavljena pred konvencionalne sisteme uležištenja. Njihovom ugradnjom u glavna vretena se izbegavaju problemi koji nastaju usled trenja u ležajima. Na slici 15 je prikazan prototip visokobrzinskog vretena (32000 1/min) nastao u kompaniji Milakron.

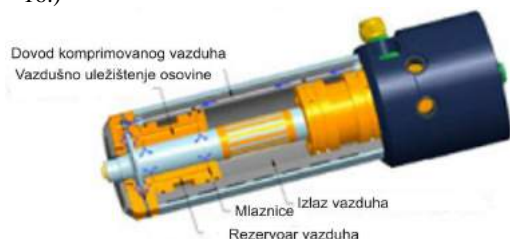


Slika 15. Visokobrzinsko vreteno sa magnetnim uležištenjem [20]

3.3.1.2. Aerostatičko vođenje i uležištenje

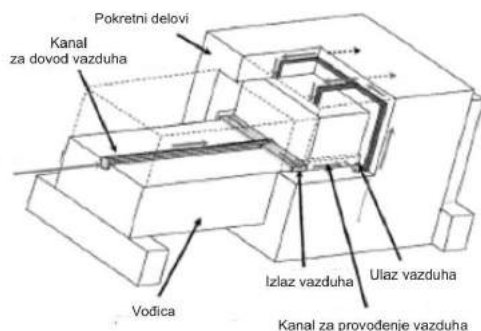
Kao i u slučaju magnetnih, aerostatička uležištenja su nastala u želji da se trenje klizanja ili kotrljanja koje se javlja kod konvencionalnih tipova ležišta izbegne formiranjem bezkontaktne zone između elemenata ležaja. Počev od šezdesetih godina prošlog veka, pa do danas, primena aerostatičkog uležištenja je realizovana na svim tipovima mašina alatki. Sama priroda ovog uležištenja ukazuje na činjenicu da se najbolji rezultati ostvaruju primenom u visokobrzinskim procesima. Prema tipu aerostatičkih uležištenja, ona se dele na:

- rotaciona uležištenja, koja imaju primenu u gradnji glavnih vretena za visokobrzinske operacije obrade u koje spadaju brušenje i visokobrzinsko glodanje (slika 16.)



Slika 16. Prikaz aerostatičkog uležištenja u visokobrzinskom vretenu

- linearna uležištenja (linearna vođenja), koja imaju primenu u pogonima pomoćnog kretanja u kojima se koriste linearni motori (Slika 17.)

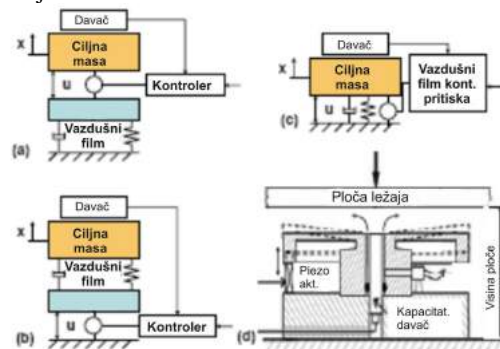


Slika 17. Šematski prikaz linearnog aerostatičkog uležištenja [9]

Prema metodi regulacije zazora aerostatička [30] uležištenja se dele na:

- Aerostatičko uležištenje sa kontrolom debljine vazdušnog filma (Slika 18 a i b)
- Aerostatičko uležištenje sa kontrolom vazdušnog pritiska (Slika 18 c)

Na slici 18 d je prikazan i šematski prikaz konstrukcionog rešenja rotacionog obrtnog stola sa aktivnim aerostatičkim uležištenjem.



Slika 18. Načini regulacije zazora aerostatičkih uležištenja [30]

3.3.2. Sistemi pogona

3.3.2.1 Pogon glavnog kretanja

Kao što je već poznato, jedan od osnovnih pravaca usavršavanja mašina alatki predstavlja tendencija ka povećanju produktivnosti što je u direktnoj sprezi sa povećanjem brzine obrade materijala. Osim toga, u novije vreme su u mašinstvu u značajnoj meri zastupljeni savremeni materijali kao što su aluminijum, titanijum, magnezijum i sl. koji podrazumevaju obradu brzinama koje dostižu i 10000 m/min [4].

U oba slučaja, ovakvi zahtevi podrazumevaju usavršavanje pogona glavnog kretanja kao jedne od vitalnih komponentata mašina alatki.

Integrisani sklop motor-vreteno već se naveliko koristi kod glavnih vretena mašina alatki (Slika 19.)



Slika 19 Visokobrzinsko motor vreteno

Usavršavanja na ovom polju podrazumevaju korišćenje rezultata istraživanja usmerena na usavršavanju:

- uležištenja uvođenjem višekontaktne kotrljajnih ležaja, keramičkih kotrljajnih tela, aerostatičkih uležištenja, ...
- električnih pogona sa velikim brojem obrtaja i sistema za upravljanje njihovom brzinom
- sistema za hlađenje i podmazivanje visokopreciznih sklopova kao što su vretena pri visokim brzinama

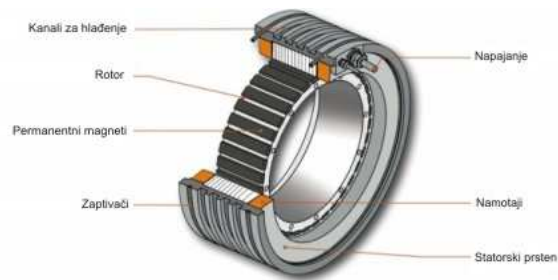
Problematika glavnog vretena podrazumeva pored parcijalnog usavršavanja pojedinih njegovih elemenata i

kompleksna istraživanja međusobnih uticaja koje ti elementi međusobno imaju. U tu svrhu se u velikoj meri koriste savremeni inženjerski alati u vidu CAE programskih sistema [16].

3.3.2.2 Pogon pomoćnog kretanja

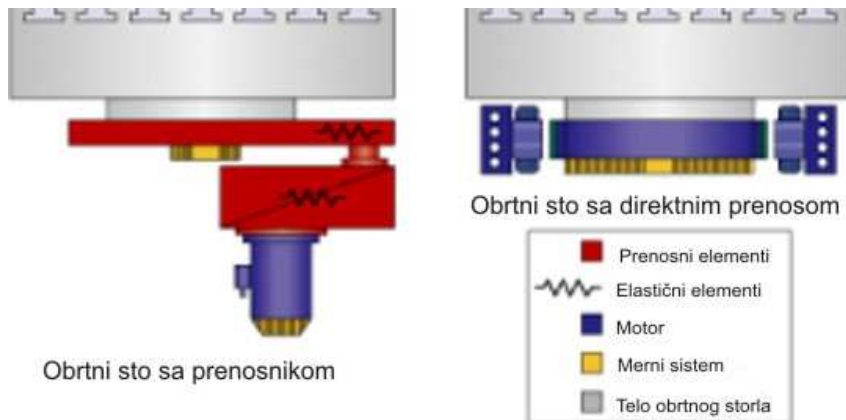
...1. Torque motori

Stalni zahtevi za obradama delova složene geometrije postavljaju pred proizvođače mašina alatki zahtevne za razvojem mašina alatki koje mogu da ispune takve zahteve uz minimalno pomoćno vreme obrade. To je moguće postići sa povećanim broja osa upravljanja. U cilju realizacije ovakvih mašina alatki sa prenosikom za pomoćno kretanje minimalnih dimenzija, i sa što boljim momentnim karakteristikama, realizovana je nova generacija motora jednosmerne struje koji se nazivaju momentni motori (*torque motor*). Ovaj tip motora spada u grupu motora bez četkica koji se sastoji iz dva dela: primarnog namotaja i sekundarnog segmenta (rotora) koje čini niz magneta raspoređenih po obimu prstena (Slika 20.).



Slika 20. Momentni (Torque) motor

Struktura, dinamičke karakteristike i savremene mogućnosti regulacije broja obrtaja ovog tipa motora omogućuju njihovu direktnu montažu na vratilo, bez prisustva reduktora, čime se dobijaju sklopovi malih dimenzija. Uporedni primer prenosa kretanja pomoću konvencionalnog prenosnika i momentnog motora je prikazan na slici 21. Oblik komponenata ovih motora omogućava postavljanje mernog sistema za merenje ugla zakretanja rotora.

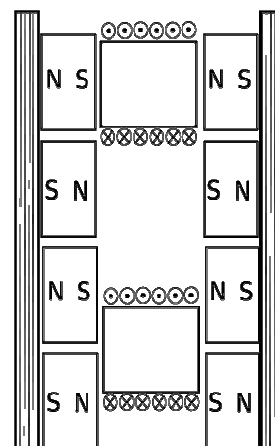


Slika 21. Šematski prikaz varijanti obrtnog stola za mašine alatke

Karakteristike momentnih motora omogućuju njihovu široku primenu u mašinama alatkama. To se pre svega odnosi na pogone obrtnih osa, pojedinih modula u agregatnim mašinama, raznih tipova magacina alata, kao i obrtnih stolova

...2. Linerni motori

Poslednjih desetak godina se kao jedna od najznačajnijih promena u razvoju komponenata mašina alatki navodi primena linearnih motora kao pogona pomoćnog kretanja [33]. I pored toga što ideja o nastanku i razvoju ovakvih motora potiče sa početka dvadesetog veka, njihovu prvu komercijalnu primenu predstavlja ranije pomenuti razvoj brzih vozova u Japanu od pre dvadesetak godina. Osnovu ovih motora predstavlja statorski element u vidu šine po kojoj su raspoređeni permanentni magneti velike snage i pokretni deo koji predstavlja elektromagnet kojim se upravlja promenom frekvencije naizmenične struje (slika 22.).



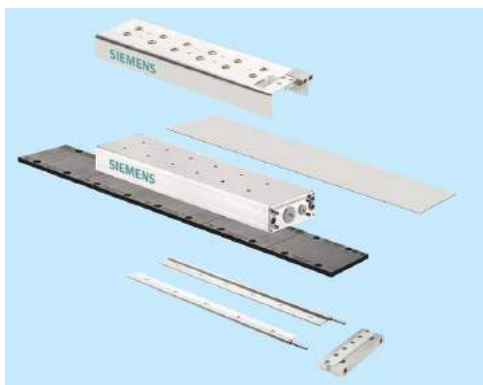
Slika 22. Šematski prikaz funkcionisanja linearnog motora

Na taj način se dobija efekat odbijanja pokretnog dela od magneta iznad kog se nalazi i privlačenjem sa prvim sledećim. Naizmenična struja u elektromagnetu, pri tome, omogućava kontinualno kretanje pokretnog dela.

Primena linearnih motora u mašinama alatkama omogućava ostvarivanje značajnih prednosti u odnosu na konvencionalne pogone pomoćnog kretanja, od kojih su najvažniji:

- Jednostavniji pogon pomoćnog kretanja, bez komplikovanih prenosnika
- Izbegavanje elemenata za konverziju kružnog u linearno kretanje
- Značajno veće brzine pomoćnog kretanja (za čitav red veličine)
- Primena direktnih mernih sistema koji pojednostavljaju upravljanje i rukovanje mašinama alatkama

Na slici 23. je prikazan linearni motor firme Siemens, predviđen za primenu u mašinama alatkama, koji omogućava brzine do 800 m/min.



Slika 23. Linearni motor firme Siemens

3.3.3 Novi materijali

U cilju zadovoljenja osnovnih, mehaničkih karakteristika mašina alatki velika pažnja u istraživanjima se poklanja usavršavanju njihove noseće strukture. Zbog toga se pored njihove strukture značajna istraživanja sprovode i na polju izbora materijala za tu strukturu imajući u vidu da oni treba da zadovolje sledeće zahteve:

- visoka čvrstoća
- visoko prigušenje
- visok modul elastičnosti
- nizak koeficijent trenja
- dobre termičke osobine
- tehnolozičnost
- niska cena

Materijali koji su do sada bili masovno zastupljeni u gradnji mašina alatki kao što su čelik, sivi liv i obojeni metali uglavnom ne zadovoljavaju većinu ovih zahteva. U cilju poboljšanja karakteristika mašina alatki u novije vreme su sve

više u upotrebi savremeni materijali kao što su polimer betoni, keramika, itd. Imajući u vidu njihove prednosti koje se ogledaju u ceni i prigušenju vibracija u sistemu, kao i uočene nedostatke pojedini elementi postolja za mašine alatke se sve više izrađuju od nemetalnih materijala značajno utičući na funkciju celokupne mašine alatke.

Predhodnom treba dodati korišćenje keramike (tehničke keramike) za izradu kliznih vođica i kotrljajnih elemenata ležaja. Zbog niskog koeficijenta trenja, ležaji sa kuglicama od keramike mogu da rade bez podmazivanja i pod relativno visokim temperaturama [44].

Posebno treba pomenuti i piezoelektričnu keramiku koja je sastavljena od aktivnih i pasivnih slojeva i koja može da pretvara mehaničku deformaciju u električni napon (kao i obrnuto). Delovi načinjeni od ovih materijala mogu da učestvuju u aktivnom smanjenju oscilacija.

Pored toga ne treba zaboraviti ni određene legure koje imaju sposobnost „pamćenja”, jer se mogu upotrebiti kod inteligentnih samoregulišućih sastavnih delova. U medicini se oni već naveliko koriste (npr. *stentovi*) [15]

3.4 Upravljački sistemi i senzori

3.4.1 Upravljanje

Razvoj mašina alatki je u poslednjem periodu značajno uslovljen razvojem i usavršavanjem upravljačkih sistema. Upravo zbog toga je poslednjih godina razvijeno više nezavisnih standarda podržanih od značajnih korisnika mašina alatki prisutnih u industrijama danas najrazvijenijih država. Najznačajniji od pomenutih standarda su: OMAC, OSACA, OSEC i JOP [34]. U osnovi ovi standardi definišu savremene upravljačke celine kao otvorene strukture, prilagodljive, kako samim mašinama alatkama (uključujući i naknadne promene njihove strukture), tako i različitim operativnim sistemima za rad u realnom vremenu.

Primena ovakve koncepcije upravljanja omogućava primenu koncepcije gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima. Pored toga, primena savremenih operativnih sistema za rad u realnom vremenu (Embedded verzija *Windows* sistema kao i Real time *Linux*) omogućava primenu dopunskih programskih sistema koji funkcionišu uporedo sa upravljačkim aktivnostima i omogućuju: jednostavnije programiranje (uvodenjem korisniku prilagođenog dijaloškog programiranja), nadzor pojedinih aktivnosti mašine alatke i slično. Zbog prednosti koje primena ovako koncipiranih upravljačkih sistema donosi mnogi poznati proizvođači upravljačkih sistema su je počeli primenjivati na svoje upravljačke sisteme. Tako su nastali Siemens 840d, Fanuc 210i, Mazak mazatrol, Heidenhain iTNC, i drugi (Slika 24.).



Slika 24. Savremeni upravljački sistemi različitih proizvođača

3.4.2 Senzori (davači)

U cilju kontinuiranog praćenja eksploatacije mašina alatki savremeni pristup njihovom održavanju podrazumeva neprekidno praćenje stanja njihovih vitalnih komponentata. Sa

tim ciljem je danas uobičajeno da se na pojedinim komponentama mašina alatki postavljaju odgovarajući davači (senzori) koji omogućuju neprekidan prijem informacija o njihovom stanju. Pri tome se obrada dobijenih informacija vrši primenom naprednih algoritama koji omogućuju

predviđanje stanja komponenata u vremenu. Na slici 25. je prikazan kotrljajni ležaj firme UNITEC predviđen za primenu u glavnim vretenima mašina alatki.



Slika 25. Kotrljajni ležaj sa implementiranim mernim senzorom

U prikazani ležaj je implementiran merni senzor kojim se određuje ugao zakretanja ležaja sa tačnošću 1°.

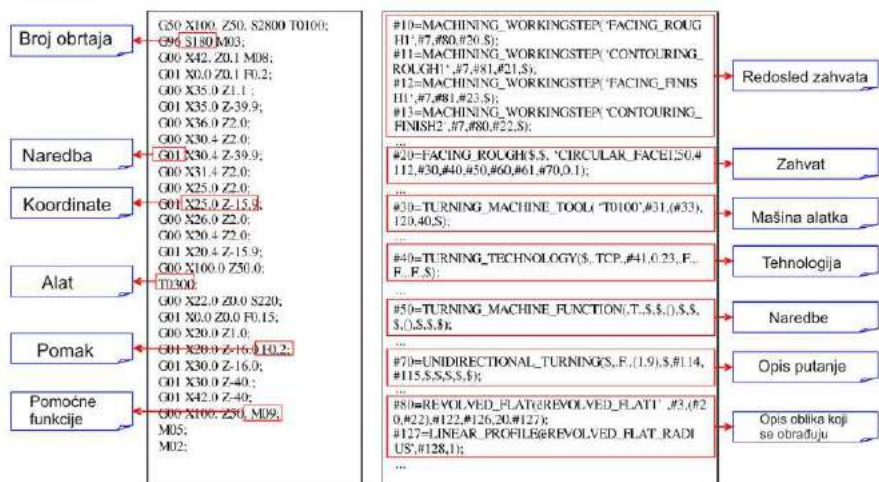
Slično nadzoru komponenata mašina alatki, već duži niz godina postoje sistemi za nadzor stanja alata. Njihova osnovna uloga je detekcija loma alata čime se ostvaruje predikcija nastanka kolizije u procesu obrade. Najnovija istraživanja na ovom polju su pokazala da se najbolji rezultati na ovom polju postižu primenom bezkontaktnih metoda baziranih na principima laserske interferometrije. Na slici 26. je prikazan sistem za detekciju loma alata firme Renishaw koji omogućava detekciju stanja alata u toku proizvodnog procesa za manje od jedne sekunde.



Slika 26. Sistem za detekciju loma alata

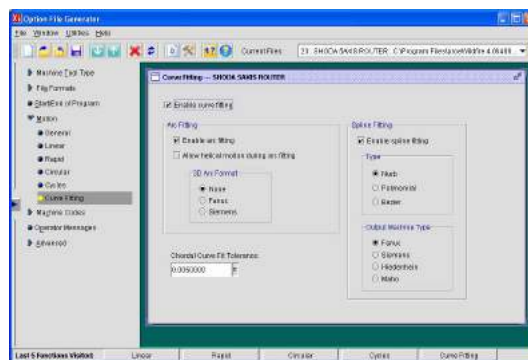
3.5 Programiranje mašina i procesa

Počev od sredine prošlog veka pa do današnjih dana



Slika 28. Primer uporedjenja sintakse upravljačkog programa i STEP-NC koda [43]

proces programiranja numerički upravljanih mašina alatki se zasniva na upravljačkom programu koji sadrži komande kojima se opisuje kretanje na mašini. Savremena usavršavanja procesa programiranja mašina alatki se odnose na programske sisteme za automatizovano programiranje NUMA (CAM sistemi) uvodeći u sintaksu upravljačkog programa i složene prostorne putanje u vidu nove vrste interpolacije kretanja alata (spline interpolacija). Imajući u vidu da je ovakav način opisa putanje alata novina do sada nije definisan standard kojim se složena kretanja opisuju. Iz tog razloga se prostorne krive opisuju sa tri matematička oblika složenih krivih linija i to: nurbs, bezierove i polinomne funkcije. Pri tome sintaksu ovih krivih definišu sami proizvođači upravljačkih jedinica (Fanuc, Siemens, Heidenhain, Maho, ...). Na slici 27. je prikazan dijalog prozor za opis složenih krivih u programskom sistemu G-post za definisanje postprocesora za programske sisteme za automatizovano programiranje NUMA.



Slika 27. Dijalog prozor za opis spline interpolacije

Sa druge strane, razvoj upravljačkih sistema i njihova struktura koja se uvođenjem koncepcije otvorene arhitekture sve više približava strukturi PC računara omogućava komunikaciju upravljačkog sistema sa CAM programskim sistemima na sasvim drugačijem nivou. Primena STEP-NC standarda (ISO 14649) omogućava prenošenje geometrijske i tehnološke informacije sa računara na kom se projektuje tehnologija obrade na upravljački sistem bez međusobne konverzije kakvu današnja koncepcija CAM sistema nalaže. Na slici 28. je uporedno prikazana sintaksa za određeni primer konvencionalnog upravljačkog programa i STEP-NC koda za obradu struganjem.

4.0 FLEKSIBILNE TEHNOLOŠKE STRUKTURE

Nastanak i razvoj numerički upravljanih mašina alatki, sredinom prošlog veka, je doprineo da se značajno umanju glavno vreme obrade omogućujući primenu savremenijih alata uz značajno povećanje režima obrade. Kao logičan nastavak razvoja mašina alatki nametnulo se pitanje smanjenja preostalih vremena vezanih za proces nastanka proizvoda: pripremno – završna vremena, transport materijala i gotovih delova i sl. U skladu sa tim su sedamdesetih godina prošlog veka nastale fleksibilne tehnološke strukture koje predstavljaju integraciju mašina alatki sa jedne i manipulacionih, merno kontrolnih, transportnih i skladišnih te računarsko upravljanih sistema sa druge strane.

U nastavku će se ukratko izložiti određena pitanja u vezi nekih od ovih sistema koji u suštini predstavljaju okruženje mašine alatke.

4.1 Nadogradnja mašina alatki drugim sistemima/podsistemima

Pored usavršavanja koncepcije gradnje mašina alatki, kao

njihove osnove, dalji razvoj fleksibilnih tehnoloških struktura u velikoj meri zavisi od usavršavanja pojedinih podsistema koji ulaze u njihov sastav. Pored samih mašina alatki, velika pažnja se posvećuje usavršavanju svih podsistema. Ovde ćemo se zadržati na:

- Manipulacionim sistemima
- Mernokontrolnim sistemima
- Transportno skladišnim sistemima

Manipulacioni sistemi koji nalaze primenu u fleksibilnim tehnološkim strukturama imaju zadatak da realizuju zahvate manipulacije:

- Radnim predmetima (Slika 29 a)
- Alatima (Slika 29 b)
- Strugotinom



a)



b)

Slika 29 Primena manipulacionih sistema u fleksibilnim tehnološkim sistemima

Nedostaci konvencionalnih manipulacionih sistema i industrijskih robota koji su bazirani na serijskoj kinematici među koje spadaju manja tačnost i krutost su u novije vreme inicirali brojna istraživanja u pravcu primene paralelne kinematike na ovom polju. Na osnovu ovih istraživanja je razvijen čitav niz manipulacionih sistema sa primenom u fleksibilnim tehnološkim strukturama baziranih na paralelnim mehanizmima (Slika 30)



Slika 30 Industrijski manipulator baziran na paralelnoj kinematici

Mernokontrolni sistemi u fleksibilnim tehnološkim strukturama imaju primenu prvenstveno u merenju obradaka i alata. Pri tome sistemi za merenje obradaka mogu biti implementirani u sistem na dva načina, i to: u vidu koordinatne merne mašine koja predstavlja nezavisan modul

u strukturi ili mogu predstavljati segment svakog pojedinačnog modula omogućujući merenje i kontrolu radnih predmeta u toku obrade. Na slici 31 je prikazana integracija mernog sistema u fleksibilni tehnološki modul, rešenje firme Renishaw.



Slika 31 Integracija merno kontrolnog sistema u fleksibilni tehnološki modul

Ovakvi sistemi mogu biti kontaktnog i beskontaktnog tipa.

Sistemi za merenje alata imaju zadatak da odrede trenutne dimenzije alata radi korekcije programa neophodne za pravilno funkcionisanje obradnog procesa.

Posebno pitanje je detekcija loma alata, koja u suštini pripada problematici sistema za nadzor i dijagnostiku kao

posebnoj celini unutar jedne FT strukture. Ovde se pored primera na slici 26. kao primer navodi samo jedno rešenje sistema za merenje i kontrolu dimenzija alata, odnosno detekciju loma alata (slika 32).

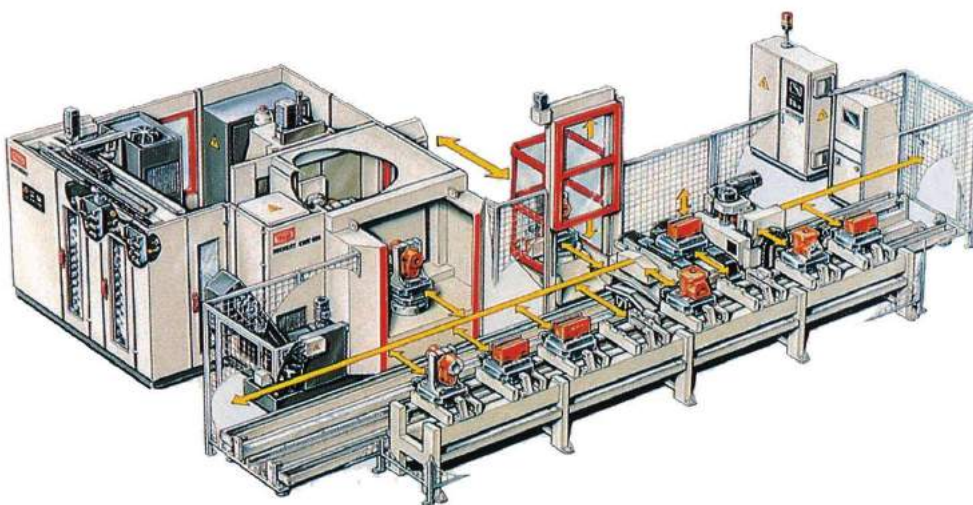


Slika 32 Sistem za merenje i kontrolu dimenzija alata

Napred navedenom treba dodati da se u oba slučaja mernokontrolni sistemi specifični za operacije obrade koje su

prisutne na mašinama alatkama (struganje, glodanje, i sl.) i maksimalno su prilagođeni njihovim karakteristikama.

Transportni i skladišni sistemi u fleksibilnim tehnološkim sistemima imaju veliki značaj u procesu optimizacije vremena nastanka proizvoda. Na izbor i karakteristike transportnih sredstava u fleksibilnim tehnološkim sistemima utiče veći broj parametara između kojih su najvažniji: oblik, dimenzije, masa i materijal radnog predmeta. Na osnovu toga se danas koristi veliki broj različitih koncepcija transporta među koje spadaju: sistemi prekidnog, kontinualnog transporta i sl. Na slici 33 je prikazan fleksibilni tehnološki sistem sa, transportnim sistemom koji koristi tehnološke palete. U vezi tim napominje se da se sistemske palete koriste uglavnom kod rotacionih delova, a tehnološke kod prizmatičnih delova.



Slika 33 Fleksibilni tehnološki sistem sa paletnim transportnim sistemom

4.2 Fleksibilne tehnološke strukture različitog nivoa složenosti i namene

Prema nivoima kompleksnosti, automatske fleksibilne tehnološke strukture se mogu podeliti na više načina. Jedna od najopštijih podela klasifikuje ovakve strukture u pet nivoa [27], i to:

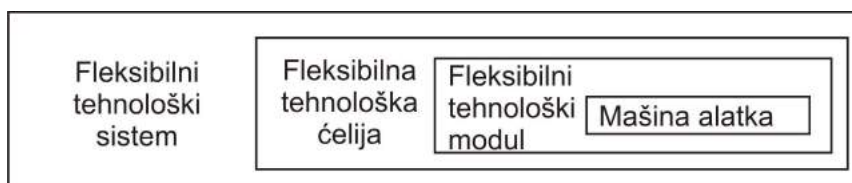
- Fleksibilni tehnološki moduli,
- Fleksibilna tehnološka ćelije,
- Fleksibilni tehnološki sistemi,
- Fleksibilne automatizovane fabrike, i
- Intelligentni tehnološki sistemi.

U Institutu za proizvodno mašinstvo FTN, je odavno prihvaćena ovakva klasifikacija kada se govori o komponovanju FTs različitog nivoa složenosti, počev od

najjednostavnijih do složenijih struktura.

Bez obzira na predhodno, autori u svakodnevnom izražavanju za napred navedeni fleksibilni tehnološki modul u čijoj blizini ne postoji složenija struktura, koriste termin „fleksibilna tehnološka ćelija”. Razlog za to je što u svetskoj literaturi nije jasno razgraničeno šta se smatra ćelijom a šta sistemom. Iz tog razloga se često srećemo da se FT strukture koja ima samo jednu MA naziva ćelijom kao i FT struktura koja ima dve MA. Na isti način srećemo da se FT struktura sa dve MA (npr. obradna centra) naziva negde ćelijom, a negde sistemom.

U skladu sa onim što je izloženo u poglavlju 2.0 u nastavku će biti reči o FT modulima, FT ćelijama i FT sistemima, tim što se njihov automatski rad sam po sebi podrazumeva (slika 34).



Slika 34 Fleksibilne tehnološke strukture različitog nivoa složenosti [36]

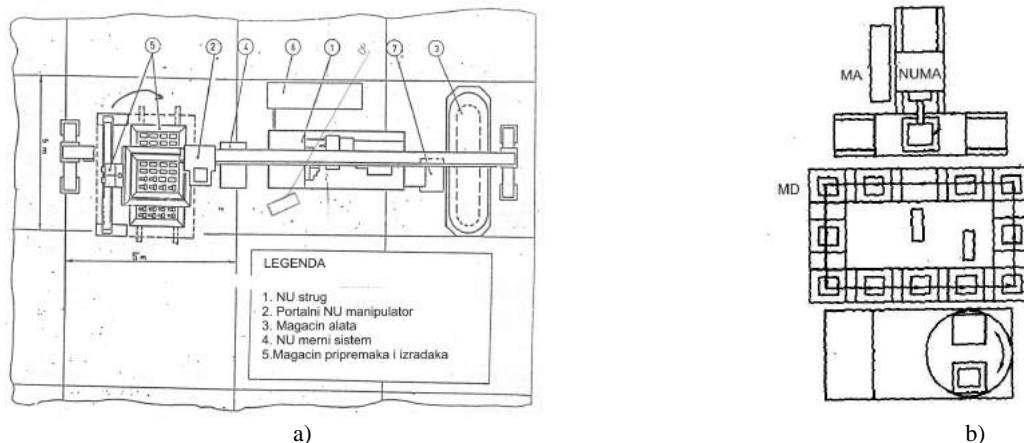
Osnovnu i najmanju funkcionalnu celinu u fleksibilnim

tehnološkim strukturama predstavlja *fleksibilni tehnološki*

modul. Njega sačinjavaju numerički upravljana mašina alatka (NUMA) magacini alata (MA) i obradaka (MD) te odgovarajući manipulacioni (MS) i merno kontrolni sistem (MKS).

Na slikama 35a i 35b su dati šematski prikazi mogućih FTmodula za obradu rotacionih delova odnosno prizmatičnih delova. Kod modula za rotacione delove magacin alata može da sadrži i pribore kao i merne glave. Kod modula za

prizmatične delove mašina je obradni centar koji sadrži magacin alata i mernih glava, kao i odgovarajući manipulator za njihovu izmenu, dok magacin delova može biti samo sistem za izmenu paleta sa dve palete. Dve palete, odnosno dva radna predmeta na njemu, omogućavaju automatski rad bez prisustva čoveka po pravilu od jednog do nekoliko sati.



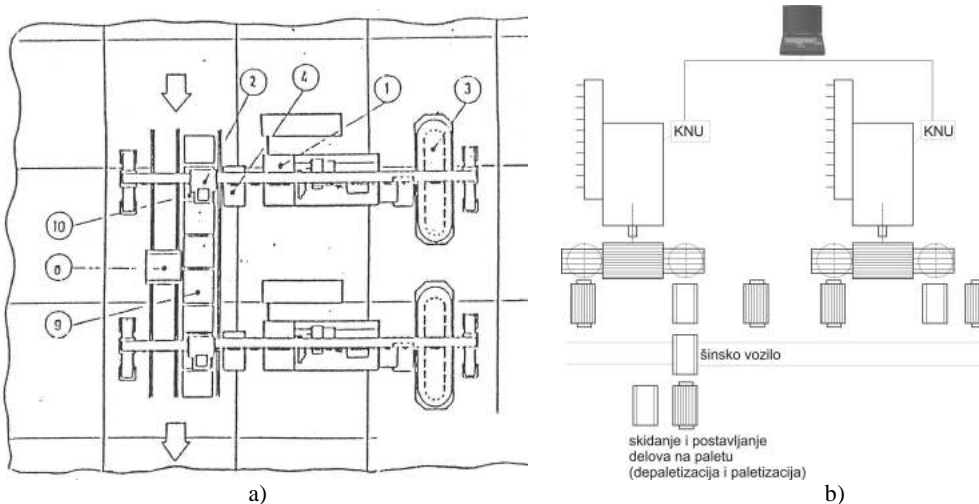
Slika 35. Šematski prikaz FT modula za obradu rotacionih (a) i prizmatičnih delova (b)

Ovako koncipirana celina poseduje određeni nivo autonomnosti koji joj omogućava nezavistan rad u određenom vremenskom periodu. Sa stanovišta kompleksnosti obrade Fleksibilni tehnološki modul omogućava realizaciju niza zahvata ali po pravilu nije dovoljno složen da obuhvati kompletnu operaciju obrade složenijih delova.

Prema predhodnoj podeli srednji nivo kompleksnosti stukture poseduju *fleksibilne tehnološke ćelije*. Ova podgrupa

objedinjuje dve ili više mašina alatki sa pratećim podsistemima/sistemima, odnosno dva ili više fleksibilnih tehnoloških modula, obezbeđujući na taj način kompletiranje obrade radnih predmeta u okviru jedne operacije ili više srodnih operacija (zavisno od same mašine/mašina).

Na slikama 36 a i 36 b su dati šematski prikazi (mogućih oblika) FT ćelija za obradu rotacionih delova odnosno prizmatičnih delova.



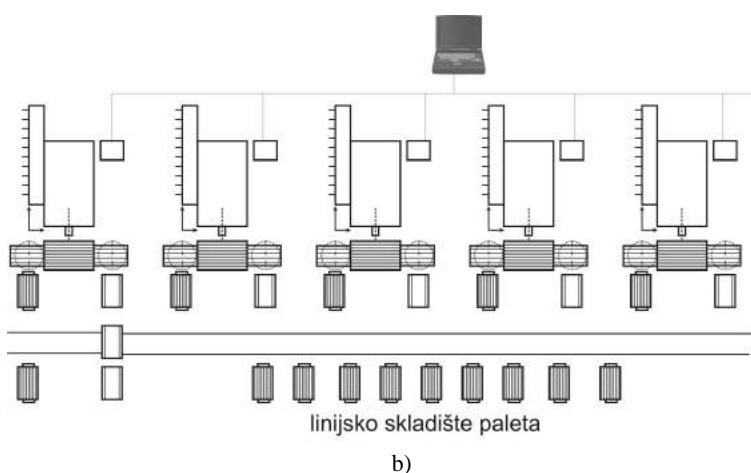
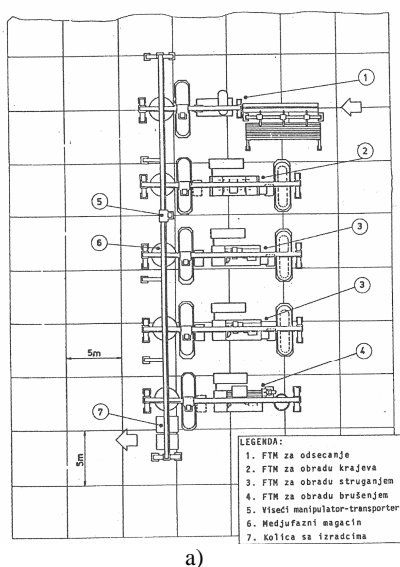
Slika 36. Šematski prikaz FT ćelija za obradu rotacionih (a) i prizmatičnih delova (b)

Najkompleksniji nivo integracije mašina alatki, manipulacionih i transportnih sistema je rezultovao nastankom fleksibilnih tehnoloških sistema. Oni predstavljaju integraciju NUMA, fleksibilnih tehnoloških modula i ćelija u celinu integrisanu jedinstvenim transportnim sistemom za obradke. Ovakvi sistemi omogućuju realizaciju više operacija obrade ostvarujući na taj način kompletnu obradu

proizvoda/radnog predmeta.

U novije vreme ovako koncipirani fleksibilni tehnološki sistemi mogu da sadrže i mašine za deformisanje, nekonvencionalnu obradu, sisteme za termičku obradu i sl.

Na slikama 37 a i 37 b dati su šematski prikazi mogućih FT sistema za obradu rotacionih, odnosno prizmatičnih, delova.

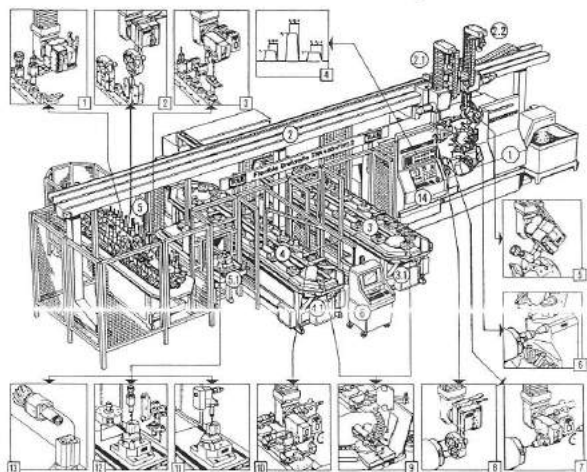


Slika 37. Šematski prikaz FT sistema za obradu rotacionih (a) i prizmatičnih delova (b)

4.3 Izabrana rešenja automatskih FT struktura

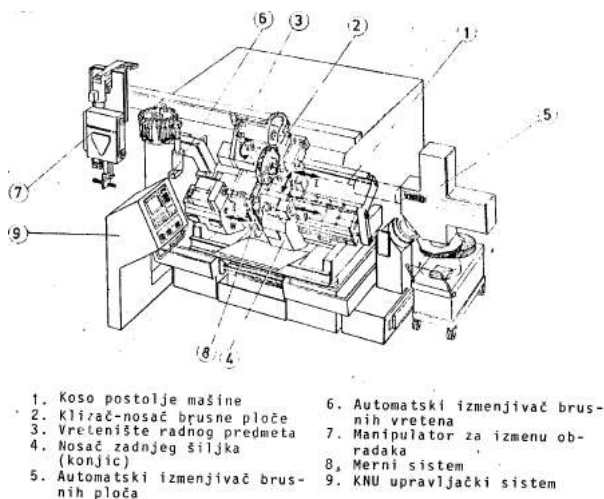
Koristeći literaturno/propagandne informacije ovde ćemo se zadržati na nekoliko karakterističnih rešenja različite složenosti i namene FT struktura od onih iz srednjeg perioda do najsavremenijih.

Primer FT modula iz 80-ih godina prošlog veka (80-ih p.v.) za obradu struganjem rotacionih delova prikazan na slici 38, sadrži sve komponente kao šema sa slike 35. stim što umesto magacina sa sistemskim paletama sadrži lančaste magacine delova a manipulacija sa delovima i alatima se izvodi portalnim manipulatorom.



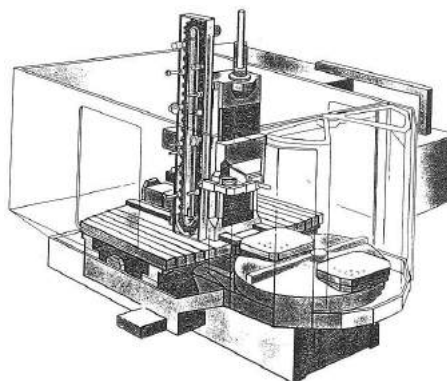
Slika 38. FT modul firme TRAUB iz 80-ih p.v.

FT modul za obradu brušenjem (spoljašnje i unutrašnje) iz istog perioda prikazan je na slici 39. Na navedenom modulu nije prikazan magacin delova.



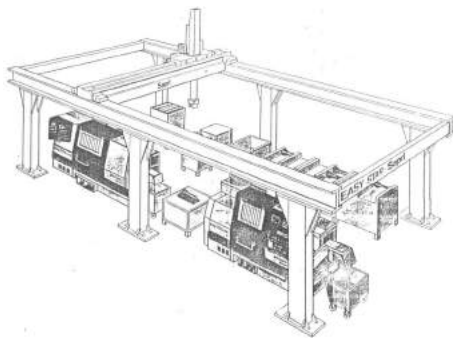
Slika 39. FT modul firme SCHAUDT iz 80-ih p.v.

FT modul za obradu prizmatičnih delova na bazi mašine alatke u vidu obradnog centra iz 90-ih p.v. prikazan je na slici 40.



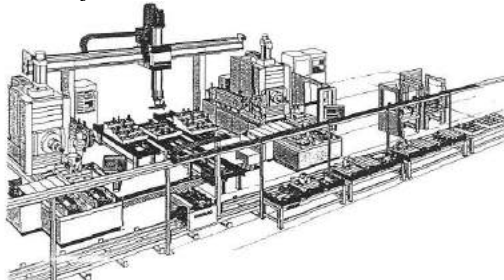
Slika 40. FT modul firme HELLER iz 90-ih p.v.

Primer FT ćelije za obradu rotacionih delova iz 80-ih p.v. prikazan je na slici 41.



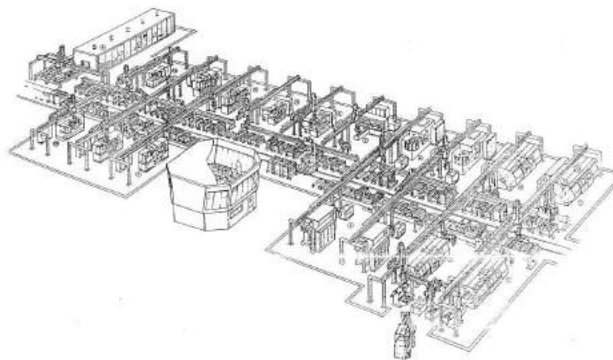
Slika 41. DT ćelija firme GRACIANO iz 80-ih p.v.

Primer FT ćelije za obradu prizmatičnih delova iz 90-ih p.v. prikazan je na slici 42.



Slika 42. FT ćelija firme MANNESMAN-DEMAG iz 90-ih p.v.

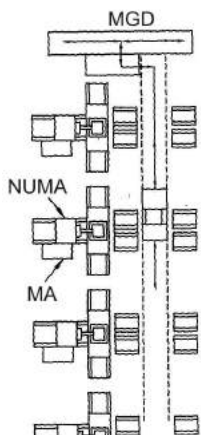
FT sistem za obradu vrlo složenih rotacionih delova iz 90-ih p.v. prikazan je na slici 43.



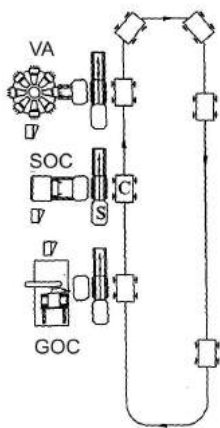
Slika 43. FT sistem za obradu rotacionih delova firme EMAG iz 90-ih p.v.

Najzad dva savremena FT sistema za obradu prizmatičnih delova prikazani su na slikama 44 i 45.

U prvom slučaju je to FT sistem CAMOS II-MP predviđen da bude u funkciji 700 radnih sati mesečno. U drugom slučaju je prikazan FT sistem za obradu delova za hidro elektrane instaliran.



Slika 44. Šematski prikaz i fotografija fleksibilnog tehnološkog sistema za obradu prizmatičnih delova

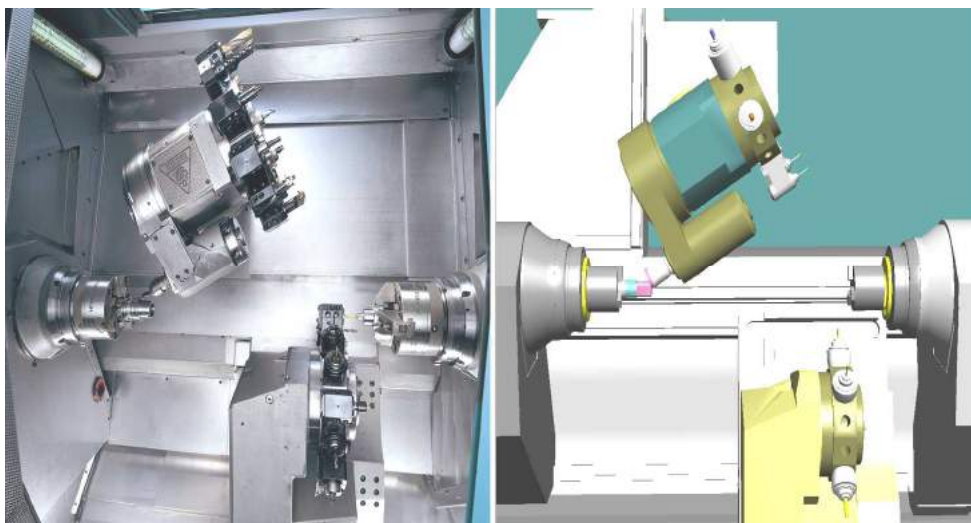


Slika 45. Šematski prikaz i fotografija fleksibilnog tehnološkog sistema za obradu prizmatičnih delova

Sama koncepcija gradnje fleksibilnih tehnoloških sistema kao proizvodnih celina prilagođenih određenom proizvodu potiče iz perioda osamdesetih godina prošlog veka i prilagođena je fleksibilnoj proizvodnji kao paradigmi nastaloj u skladu sa tadašnjim tržišnim zahtevima. U novije vreme od proizvodnih sistema se zahteva brzo prilagođavanje novim proizvodima uz što je moguće manje investicije, što je rezultiralo primenom koncepcije gradnje na rekonfigurabilnim principima u proces razvoja fleksibilnih tehnoloških sistema. Pri tome se sama podela i principi nastanka fleksibilnih tehnoloških sistema nisu bitno promenili.

5.0 VIZUELIZACIJA I SIMULACIJA MAŠINA SISTEMA I PROCESA – VIRTUELNA REALNOST

Zahvaljujući intenzivnom razvoju računarske tehnike,



Slika 46. Obrada i simulacija obrade koja je nastala pri definisanju tehnologije obrade

Pored analize kinematike mašine alatke u fazi obrade konkretnih radnih predmeta, od savremenih programskih sistema ovog tipa se očekuje da mogu da realizuju čitav niz analiza koje omogućuju povećanje kvaliteta i brzine obrade. Tu se prvenstveno misli na:

- Definisanje greške nastale prilikom definisanja putanje alata
- Analizu grešaka nastalih primenom interpolacija na složene putanje obrade i definisanje maksimalnih odstupanja od idealne putanje
- Definisanje grešaka koje nastaju postprocesiranjem putanje alata, uporednom analizom zadatih putanja i upravljačkih programa
- Optimizaciju kretanja alata u radnom prostoru pri višeosnim obradama (prvenstveno se misli na 4 i 5-osno glodanje)

Primena savremenih programerskih alata za rad u prostornom virtuelnom okruženju omogućava dva pristupa simulaciji upravljačkih programa [28], i to:

- egzaktne, i
- aproksimativne

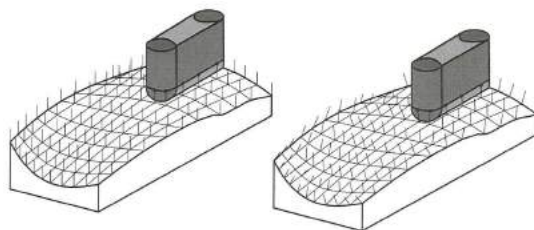
Primena egzaktnog pristupa podrazumeva visoke zahteve od računarskih sistema čime se značajno povećava vreme simulacije i ima primenu isključivo u završnim fazama

pored razvoja programskih sistema za projektovanje proizvoda i područje simulacije obradnog procesa je doživelo značajna unapređenja. Samim tim u današnje vreme simulacija upravljačkih programa za numerički upravljane mašine alatke u fazi pripreme proizvodnje predstavlja neizostavan korak. Za razliku od jednostavne interpretacije upravljačkog programa i grafičkog prikaza putanje alata, savremeni kriterijumi simulacije obradnog procesa podrazumevaju prikaz kompletne kinematike mašine alatke u prostoru. To je naročito značajno u pripremi obrade komplikovanih površina kao što su na primer kalupi, turbinske lopatice i sl., gde postoji velika opasnost od pojave kolizije.

Na slici 46. su prikazani snimak obrade na numerički upravljanoj mašini alatki i simulacija tog procesa nastao u procesu definisanja tehnologije obrade.

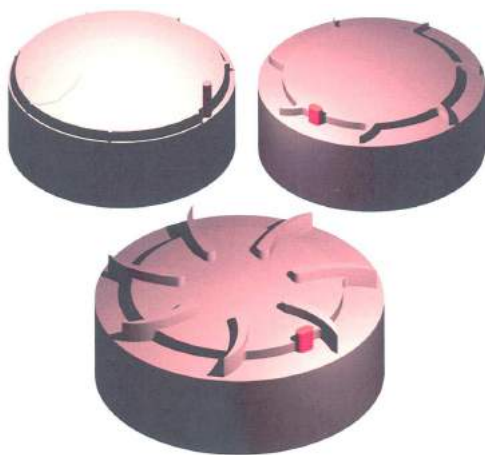
analize upravljačkih programa.

Aproksimativan metoda se zasnja na diskretizaciji modela alata i obradka primenom mreže poligona čime se omogućava vizuelizacija u realnom vremenu i izbegavanje zahtevnih matematičkih operacija. Primena ovog pristupa neminovno dovodi do pojave greške koju je moguće kontrolisati izborom parametara aproksimacije. Na slici 47 je prikazana primena aproksimativne metode pristupa simulacije putanje alata uz upotrebu metode normala.



Slika 47 Aproksimativna metoda simulacije putanje alata [28]

Pored pristupa simulaciji kretanja alata značajnu ulogu za brzinu procesa simulacije ima i vizuelizacija dobijenih rezultata. Pod tim se prvenstveno misli na metode senčenja modela, broj i karakteristike svetlosnih izvora i sl. Na slici 48 je prikazan primer vizuelizovanog procesa simulacije obrade po fazama.

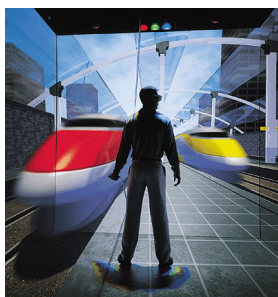


Slika 48 Vizuelizovan proces obrade

Već duži period postoji tendencija da se između programskih sistema za simulaciju putanje alata i odgovarajućih CAM programskim sistemima ostvari

zatvorena sprega u cilju optimizacije procesa automatizvanog programiranja numerički upravljanih mašina alatki. Zahvaljujući tome, veći broj komercijalnih CAD/CAM/CAE programskih sistema sadrži integrisane pojedine module programskih sistema za simulaciju i analizu putanje alata. Primera radi *Pro/Engineer* i *Catia* sadrže pojedine celine programskog sistema *Vericut*.

U poslednjih nekoliko godina, virtuelna realnost (VR) se sve češće koristi u procesu projektovanja proizvoda kao rezultat evolucije danas najčešće primenjivanih CAD programskih sistema, a sve češće i simulacije procesa obrade i kompletnog procesa proizvodnje. Dosadašnja primena virtuelne realnosti se ograničava na proces demonstracije rezultata projektovanja kao i određenih vidova vizuelnih analiza. To je omogućeno usavršavanjem kako hardverskih tako i softverskih alata baziranih na postojećim rešenjima. Na taj način su realizovani projekcioni sistemi kao što su : virtuelni tuneli (Slika 49 a), virtuelne prostorije (Slika 49 b), hologramski stolovi (Slika 49 c) i sl.



a)



b)



c)

Slika 49. Metode primene virtuelne realnosti – a) tuneli, b) prostorije, c) hologramski stolovi [48]

Usavršavanja na polju virtuelne realnosti su omogućila pored projekcionih metoda prostornih modela, prikazanih na predhodnoj slici i razvoj nove generacije računarskog interfejsa koji omogućava interakciju korisnika sistema sa

računarom. To je omogućeno primenom odgovarajućih „naočara”, rukavica sa hepatičkim interfejsom (slika 50) i sl.

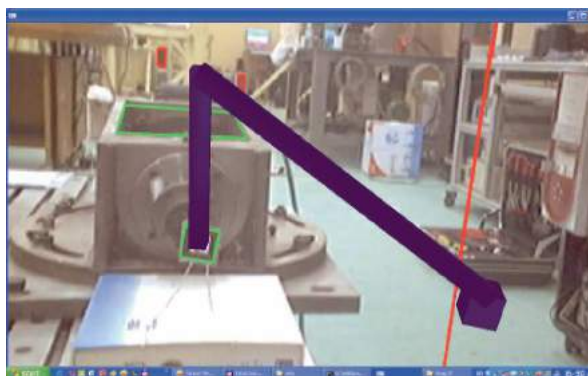


Slika 50 Uređaji koji omogućuju interakciju korisnika sa računarom u domenu virtuelne realnosti [48] – a) naočari, b) rukavica

Povećanjem interaktivnosti primene računarskih sistema i aktivnim uključivanjem čoveka u spregu računara sa perifernim uređajima omogućuje se značajnija primena virtuelne realnosti u procesu projektovanja. Na slici 51 su



prikazani primeri primene virtuelne realnosti u procesu nastanka i analize proizvoda.



Slika 51 Proces nastanka i analize proizvoda - primeri

6.0 ŠTA OČEKIVATI U NAREDNOM PERIODU?

I pored ozbiljnih napora koji su uloženi u pretragu literaturnih informacija, autori nisu uspjeli da dođu do najnovijih validnih pogleda uglednih svjetskih imena u području proizvodnog mašinstva, o tome šta možemo očekivati u bližoj i daljoj budućnosti od mašina alatki, sistema koji predstavljaju njihovo okruženje i automatskih fleksibilnih tehnoloških struktura veće složenosti, pa sve do automatskih fabrika – „Fabrika bez ljudi”. Zato ćemo se ovde poslužiti predviđanjima iz ranijih perioda.

Podimo ipak od jednog pogleda uglednih svjetskih imena u vezi sa budućnošću fleksibilne automatizacije [17], [21]. Njima se pridružuju i naše ugledne kolege [2], [18]. Po njima glavni zahtevi koji su proistekli tokom vremena i razvoja društva te tržišne utakmice svode se na:

- potrebu za nižim cenama
- potrebu za prilagođavanjem proizvoda kupcima
- potrebu za inovacijama
- potreba za brigom o životnoj sredini

Ti zahtevi uticali su da su pred proizvodnjom, a nju nose upravo naše mašine i sistemi, postavljaju tri osnovna zahteva:

- produktivnost
- prilagođenost potrebama kupca
- agilnost

Pri tome glavne karakteristike naših sistema treba da budu:

- integrisano upravljanje proizvodnjom
- naučno zasnovana proizvodnja
- inteligentni procesi i oprema
- fleksibilne, distribuirane operacije
- puna integracija i optimizacija procesa projektovanja i procesa proizvodnje
- inteligentno upravljanje

Izbegavajući ponavljanje onog što je pisano pre trinaest godina u vezi sa predviđanjem, u čemu su učestvovala i dvojica autora ovog rada [18], podsetićemo se na pri tom izneta predviđanja još iz 1982. godine [18→30] koja su izneli Merçant, Hatwany i Rathmill. Ta predviđanja su izložena na slici 52.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1: Budući proizvodni sistem moraće štedeti energiju i resurse 2: Sistem će morati biti sposoban za izvršenje krajnje komplikovanih zadataka 3: Sistem će morati biti sposoban da se služi znanjem visoko-kvalifikovanih ljudi na određenom nivou 4: Sistem kao celina će morati da ima visoku produktivnost 5: Sistem će morati da zadovoljava uslov striktnog razdvajanja radnika i mašina u prostoru i vremenu 6: Sistemi će morati da imaju visoku fleksibilnost |
|--|

Slika 52. Predviđanja karakteristika mašina i sistema iz 1982. godine [18→30]

Pažljivom analizom može se uočiti da su ona još uvek vrlo aktuelna, ali i da kroz dosadašnjih 26. godina dobrim delom ostvarena ili ostvarivana.

Na predhodno ćemo ovde dodati i smela predviđanja prvog autora ovog rada iz iste godine, saopštena na Savetovanju proizvodnog mašinstva u Mostaru [11]. Prenosim ih u izvornom obliku:

„Na osnovu dosadašnjih saznanja o pokušajima da se u automatski integralni sistem FT sistema po ON-LINE principu uključi i sistem kompletnog automatskog projektovanja tehnološkog procesa, nije teško zamisliti da sledeća faza u ON-LINE povezivanju, bude uključenje i automatskog projektovanja delova i sklopova, itd. u ceo sistem. A što onda u tom razmišljanju ne bi išli i dalje. „video tastaturno” komuniciranje između čoveka i računara, (odnosno mašine) prihvatljivo je jer smo navikli na njega, pa zašto ne bi bilo i ostvareno i na bazi interaktivne sprege „video” – memorija računara ili čak „misao” – memorija računara (mašine). Tako bi došli do potpuno automatizovanih fabrika u kojima se uloga čoveka svodi na misono komuniciranje sa proizvodnim pogonom u kojem nema čoveka, a moćni računarski sistem obezbeđuje projektovanje proizvoda, projektovanje tehnološkog procesa, upravljanje celokupnim tehnološkim sistemom uz kompletnu pripremu svih elemenata za uspešno funkcionisanje celog takvog sistema . . .”

Na osnovu saznanja o današnjim dostignućima moguće je konstatovati da nismo daleko od ostvarenja predhodnih razmišljanja.

7.0 UMESTO ZAKLJUČKA

Priprema jednog ovakvog rada nije ni malo laka. Između ostalog posebnu teškoću predstavlja činjenica da su o starta mogući vrlo različiti prilazi, i da je vrlo teško dati adekvatni akcenat najznačajnijim pitanjima.

Posebna teškoća, čak vrlo deprimirajuća dolazi iz činjenice da je domaća industrija alatnih mašina već više od petnaest godina u nezavidnoj situaciji i bez prisustva optimističkih očekivanja da se to može prevazići u skoroj budućnosti. No i pored toga učinjen je napor da se jednim ovakvim radom dade doprinos najznačajnijem skupu/konferenciji iz područja proizvodnog mašinstva u zemlji. Interesovanje za ovaj skup izraženo od strane velikog broja autora koji su pripremali svoje radove je ohrabrilo autore da istraju u pripremi do kraja ovog rada.

8.0 LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S.: *Virtual Machine Tool*, Annals of CIRP, Vol. 54/2, pp:651-673, 2005,
- [2] Babić, B., Kalajdžić, M.: *Trendovi razvoja fleksibilne automatizacije*, 30 Jupiter Konferencija, 26. Simpozijum, NU-ROBOTI-FTS, Beograd, 2004
- [3] Bohez, E.L.J.: *Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.42, pp. 505–520, 2002
- [4] Brecher, C., Spachtholz, G., Paepenmüller, F.: *Developments for High Performance Machine Tool Spindles*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56, Issue 1, 2007, Pages 395-399
- [5] Byrne, G., Dornfeld, D., Denkena, B.: *Advancing Cutting Technology*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 52/2, pp.483-507, 2003
- [6] Denkena, B., Kallage, F., Ruskowski, M., Popp, K.: *Machine Tool with Active Magnetic Guides*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 53, Issue 1, pp.: 333-336, 2004
- [7] Dornfeld, D., Min, S., Takeuchi, Y.: *Recent Advances in Mechanical Micromachining*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 55, Issue 2, pp.: 745-768, 2006
- [8] Draganescu, F., Gheorghe, M., Doicin, C.V.: *Models of machine tool efficiency and specific consumed energy*, Journal of Materials Processing Technology Vol.141, pp. 9–15, 2003
- [9] Fujii, Y.: *Frictional characteristics of an aerostatic linear bearing*, Tribology International, Vol.: 39, pp.: 888–896, 2006, ISSN: 0301-679X
- [10] Gatalo, R., Zeljković, M., Hodolić, J., Borojev, Lj., Navalusić, S.: *Od NC mašina alatki i AFTS do računarom integrisane proizvodnje, automatskih fabrika i virtuelne proizvodnje*, Naučno – stručni simpozijum, "Infoteh", Jahorina, 2001.
- [11] Gatalo, R.: *Numeričko upravljanje mašinama alatkama i NU tehnologija –stanje i perspektive razvoja*, XVI Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.
- [12] Glavonjić, M., Milutinović, D.: *Parallel structured milling machines with long X travel*, Robotics and Computer – Integrated Manufacturing, rad prihvaćen za objavljivanje 2006., ISSN: 0736-5845
- [13] Gu, P., Hashemian, M. Nee, A.: *Adaptable Design*, Annals, of the CIRP, Vol. 53, Issue 2, pp.: 539-557, 2004
- [14] Gunasekaran, A.: *Design and implementation of agile manufacturing systems*, Editorial, International Journal of Production Economics Vol.: 62, pp.: 1-6, 1999
- [15] Heisel, U. , Braun, S., Dressler, M., Eisseler, R., Klotz, D., Maier, D., Maier, W., Schaal, M., Schleich, B., Stehle, T.: *Innovationen und trends im werkzeugmaschinenbau*, Journal of the technical university at plovdiv, bulgaria, Vol.: 13 (6), 2006
- [16] Jedrzejewski, J., Kowal, Z., Kwasny, W., Modrzycki, W.: *High-speed precise machine tools spindle units improving*, Journal of Materials Processing Technology, Vol.: 162–163, pp.: 615–621, ISSN: 0924-0136, 2005
- [17] Jovane, F., Boër, C. R., Koren, Y.: *Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigms*, Annals of the CIRP, Vol. 52/2, pp.:543-561, 2003
- [18] Kalajdžić, M., Gatalo, R., Glavonjić, M., Lukić, Lj., Milutinović, D., Hodolić, J., Majstorović, V., Borojev, Lj.: *Fleksibilni tehnološki sistemi u obradi rezanjem, stanje i perspektive razvoja*, Monografija Mašinstvo za XXI vek, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 1995
- [19] Kief, H., Roschiwal, H.: *NC/CNC Handbuch*, Carl Hanser Verlag, ISBN: 978-3-446-40943-9, 2007
- [20] Knospe, C.: *Active magnetic bearings for machining applications*, Control Engineering Practice, Vol.: 15, pp.: 307–313, 2007, ISSN: 0967-0661
- [21] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Ulsoy, G. Van Brussel, H.: *Reconfigurable Manufacturing Systems*, CIRP Annals, Vol. 48/2, pp. 6-12, 1999
- [22] Landers, R.G., Min, B.-K., Koren, Y.: *Reconfigurable Machine Tools*, Annals of the CIRP, Vol. 50/1, pp.:269-274, 2001
- [23] Lei, W., Hsu, Y.: *Accuracy test of five-axis CNC machine tool with 3D probe-ball. Part I: design and modeling*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp.:1153–1162, 2002
- [24] Lu, S., C., Shpitalni, M., Gadh, R.: *Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realisation*, Annals of the CIRP, Vol 48/2, 1999.
- [25] Mehrabi, M., Ulsoy, A., Koren, Y., Heytler, P.: *Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.: 13, pp.:135-146, 2002
- [26] Merchant, M.: *Manufacturing in the 21st century*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 44, pp.: 145-155, 1994
- [27] Milačić, V., Majstorović, V., Čović, N., Babić, B.: *Računarom integrisani tehnološki sistemi – stanje i dalji razvoj*, Zbornik radova 8. savetovanja NUMA-ROBOTI i XV simpozijuma Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1985.
- [28] Milojević, Z.: *Sistem za vizuelizaciju radnog prostora mašina alatki u realnom vremenu*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008
- [29] Nagalingam, S., Lin, G.: *CIM—still the solution for manufacturing industry*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.: 24, pp.: 332–344, 2008
- [30] Neugebauer, R., Denkena, B., Wegener, K.: *Mechatronic Systems for Machine Tools*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56, Issue 2, pp.: 657-686, 2007
- [31] Park, S.: *A methodology for creating a virtual model for a flexible manufacturing system*, Computers in Industry Vol.: 56, pp.: 734–746, 2005

- [32] Požar, *Razvoj sistema za automatizovano modularno projektovanje koncepcionih rešenja brusilica*, magistrarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2001.
- [33] Pritschow G.: *A Comparison of Linear and Conventional Electromechanical Drives*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 47 /2, pp.: 541-548, 1998
- [34] Pritschow, G., Altintas, Y., Jovane, F., Koren, Y., Mitsuishi, M., Takata, S., Brussel, H., Weck, M., Yamazaki, K.: *Open Controller Architecture - Past, Present and Future*, Annals of the CIRP, Vol. 50, Issue 2, 2001, Pages 463-470, ISSN: 0007-8506
- [35] Pritschow, G., Rock, S.: *"Hardware in the Loop" Simulation of Machine Tools*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 53/1, pp.295-298, 2004
- [36] Rekecki, J., Gatalo, R., Zeljković, M., Borojev, Lj., Hodolić, J.: *Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga II, osnovne komponente za obradu i njihovo komponovanje u strukture višeg nivoa*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1989.
- [37] Rekecki, J., Gatalo, R., Zeljković, M., Borojev, Lj., Hodolić, J.: *Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, Knjiga I, Stanje, tendencije i podloge za razvoj*, edicija NUMA – FTS, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1989.
- [38] Rekecki, J., Gatalo, R.: *Neka pitanja i problemi u vezi sa razvojem savremenih obradnih sistema*, II' naučno stručni skup MMA' 79 Novi Sad, 1979
- [39] Rekecki, J.: *Mašine alatke – uvodni referat*, VIII Posvetovanje proizvodnega strojništva, Ljubljana, pp.: OS 1.1 – OS 1.26, 1973.
- [40] Renton, D., Elbestawi, M.A.: *Motion control for linear motor feed drives in advanced machine tools*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 41, pp.: 479–507, 2001
- [41] Rzevski, G.: *On conceptual design of intelligent mechatronic systems*, Mechatronics Vol. 13, pp.:1029–1044, 2003
- [42] Shin, S.-J., Suh, S.-H., Stroud, I.: *Reincarnation of G-code based part programs into STEP-NC for turning applications*, Computer-Aided Design, Vol.: 39, pp.: 1–16, 2007
- [43] Suh, N.P.: Complexity in Engineering, Annals of the CIRP, Vol.: 54/2, pp.:581-598., 2005
- [44] Šarenac, M.: *Uticaj konstrukcionih materijala na performanse alatnih mašina*, Monografija Mašinstvo za XXI vek, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, 1995
- [45] Tabaković, S.: *Razvoj programskog sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama i optimalni izbor njihovih komponenti*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [46] Takeuchi, Y., Sakaida, Y., Sawada, K., Sata, T., 2000, *Development of 5-axis Control Ultraprecision Milling Machine for Micromachining Based on Nonfriction Servomechanism*, Annals of the CIRP, Vol.:49/1, pp.:295-298
- [47] Takeuchi, Y., Yonekura, H., Sawada, K.: *Creation of 3-D tiny statue by 5-axis control ultraprecision machining*, Computer Aided Design, Vol. 35, pp.: 403-409, 2003
- [48] Talaba, D., Amditis, A.: *Product Engineering: Tools and Methods Based on Virtual Reality*, Springer, ISBN 978-1-4020-8199-6 , 2008
- [49] Van Brussel, H. , Van den Braembussche, P.: *Robust Control of Feed Drives with Linear Motors*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol.: 47, Issue 1, pp.: 325-328, 1998
- [50] Van Brussel, H., Wyns, J., Valckenaers, P., Bongaerts, L., Peeters, P.: *Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA*, Computers in Industry, Vol.: 37, pp.: 255–274, 1998
- [51] Van Den Braembussche, P., Swevers, J., Van Brussel, H., Vanherck, P.: *Accurate tracking control of linear synchronous motor machine tool axes*, Mechatronics Vol. 6, No. 5, pp. 507-521, 1996
- [52] Weikert, S., Knapp, W.: *R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools*, Annals of the CIRP, Vol.: 53/1, pp.:429-432.
- [53] Weck, M., Staimer, D.: *Parallel Kinematic Machine Tools – Current State and Future Potentials*, Annals of the CIRP, Vol.: 51, No.: 2, pp.: 671 - 683, 2002., ISSN: 1726-0604
- [54] Weck, M., Brecher, Ch.: *Werkzeugmaschinen 1, Maschinenarten und Anwendungsbereiche*, Springer, 2006.
- [55] Weck, M., Brecher, Ch.: *Werkzeugmaschinen 2, Konstruktion und Berechnung*, Springer, 2006.
- [56] Weck, M., Brecher, Ch.: *Werkzeugmaschinen 3, Mechatronische Systeme, Vorschubantriebe, Prozessdiagnose*, Springer, 2006. Springer, 2006.
- [57] Weck, M., Brecher, Ch.: *Werkzeugmaschinen 4, Automatisierung von Maschinen und Anlagen*, Springer, 2006.
- [58] Weck, M., Brecher, Ch.: *Werkzeugmaschinen 5, Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, dynamische Stabilität*, Springer, 2006.
- [59] Zurawski R.: *Industrial Information Technology Handbook*, CRC Press, ISBN 0-8493-1985-4, 2000

INDUSTRIJSKE KOMUNIKACIJE: STANJE I TRENDVI

Rezime: Industrijske komunikacije zasnovane na fieldbus sistemima su prisutne u industrijskoj praksi preko dvadeset godina. Promene koje su fieldbus sistemi doneli se ne odnose samo na prenos podataka, nego i na način projektovanja upravljačkih sistema, pre svega distribuiranih upravljačkih sistema. Poslednjih godina uticaj bežičnih tehnologija, kako javnih, tako i privatnih (lokalnih) je sve veći, i unosi nov način razmišljanja prilikom projektovanja i izrade automatizovanih sistema. Mogućnosti savremenih industrijskih komunikacija su svakim danom veći, i njihovo poznavanje postaje od ključne važnosti za pravilan rad upravljačkih sistema. U ovom radu je dat pregled nekih od zastupljenih načina komunikacije u industrijskim uslovima, kao i moguće trendove u bliskoj budućnosti.

Ključne reči: Industrijske komunikacije, bežične komunikacije, industrijski protokoli

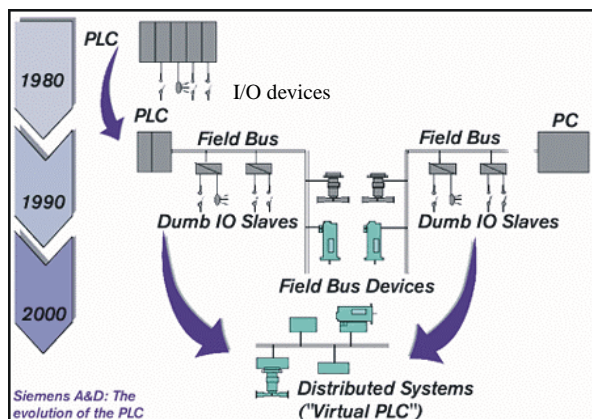
INDUSTRIAL COMMUNICATIONS: REVIEW AND TRENDS

Abstract: Industrial communications based on a fieldbus system are introduced in industrial practice over twenty years. The fieldbus systems are introduced many changes, not only on transferring data, but rather on designing on control systems, especially distributed control systems. In last several years, a wireless technology, both: public and private (local), bringing new way of thinking, during a process of designing and implementing of automation systems. Every day, possibilities of the industrial communication are bigger, and it is more important to proper work of control systems. In this paper is given review of some way of communication in the industrial environments and possible trends in closely future.

Key words: Industrial communication, wireless communication, industrial protocols

1. UVOD

Devedesetih godina dvadesetog veka, prelazi se na intenzivno korišćenje industrijskih komunikacionih mreža (fieldbus), kojom se povezuju izvršni organi, senzori, regulatori, programabilno logički kontroleri (PLK) i računari koji služe za nadzor i upravljanje (SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition), kao što je prikazano na slici 1 [13]. Ovo je omogućilo ogromne uštede u slučajevima automatizacije velikih industrijskih sistema, ali isto tako i dovelo do većeg značaja koje imaju komunikacioni sistemi. Dobro je poznato da jedan industrijski sistem čine više segmenata, a ne samo onaj proizvodni. Podaci o stanju unutar proizvodnog dela nekog preduzeća nisu interesantni samo PLK (možemo ih ovde nazvati i procesnim računarima) nego i "poslovnim" računarima, odnosno tamo gde se oni nalaze, a to je u poslovnom segmentu preduzeća.



Slika 1. Trend razvoja PLK i povezivanja unutar industrijskog okruženja u poslednjih nekoliko decenija.

Povezivanje ovih računara u lokalne mreže je ostvareno korišćenjem Etherneta i TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) protokola (smatra se da je preko 85% lokalnih mreža u svetu realizovano na ovom principu [2]). Upravo dominacija Etherneta u poslovnom delu sistema je doprinela i promeni u načinu prenosa, i izboru protokola u proizvodnom delu sistema.

Osnovna karakteristika digitalnih upravljačkih sistema je potreba da ostvare pristup podacima informacionog sistema preduzeća sa raznih slojeva i od strane različitih korisnika. Takođe, stalno je prisutna i potreba za integracijom različitih digitalnih komunikacionih sistema na nivou postrojenja, upravljačkom nivou i nivou uređaja mreže preduzeća. Na ovim različitim nivoima postoje različiti zahtevi, diktirani od prirode i tipa informacija koja će biti razmenjivana. Fizička veličina mreže, broj podržanih uređaja, brzina mreže, vreme odziva, frekvencija razmene i skup korisničkih informacija su neke od karakteristika koje određuju korišćenje specifične mrežne tehnologije. Pored toga, potrebno je poznavati i zahteve u realnom vremenu (Real Time – RT, koji zavise od vrste zadataka, tipa poruke i načina na koji će biti isporučena) kao i zahteve za audio i video prenos podataka, koji značajno utiču na izbor i konfiguraciju industrijskih komunikacionih mreža. Dobro je poznato da se ponudeni resursi različitih mrežnih nivoa veoma razlikuju. Na nivou uređaja resursi su izuzetno ograničeni, dok na nivou postrojenja postoje računari koji dozvoljavaju složen softver i prisutnost velikih memorijskih kapaciteta. Sve ovo utiče da se prilikom izrade upravljačkih sistema mora posebna pažnja posvetiti upravi izboru u projektovanju industrijskih komunikacionih mreža odnosno fieldbus sistema.

2. FIELDBUS SISTEMI

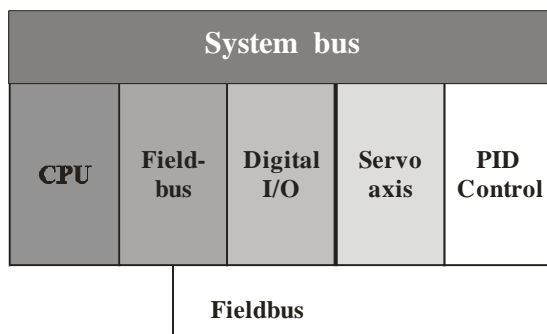
Fieldbus sistemi svoje prve korake imaju sredinom sedamdesetih godina dvadesetog veka, kada je koncept ARCNET (Attached Resource Computer NETwork), osim u

poslovnim delu sistema, počeo da se koristi i u industrijskom okruženju [2, 3, 4, 5]. Većina današnjih aktuelnih fieldbus standarda je razvijeno osamdesetih godina, a svoju punu afirmaciju dobilo u devedesetim godinama dvadesetog veka. Kao prvi značajan fieldbus sistem smatra se CAN (Controller Area Network) bus, koji je razvijen od strane nemačke kompanije Bosch, a svoju prvu primenu je imao u proizvodnji automobila. Većina aktuelnih fieldbus sistema je standardizovano i podržano od strane vodećih firmi u oblasti industrijske automatizacije. Među najznačajnijim fieldbus sistemima spadaju:

- PROFIBUS (Process Field Bus)
- Interbus
- AS-Interface (Actuator Sensor Interface)
- Modbus
- CAN (Controller Area Network)
- DeviceNet

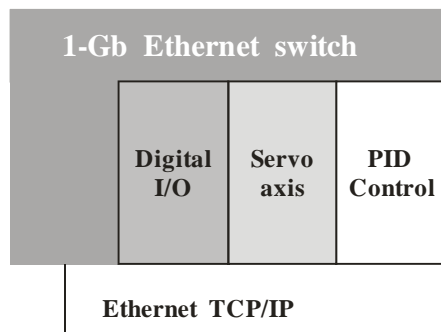
Za navedene fieldbus sisteme se može reći da spadaju u pre Ethernet sisteme (slika 2). Naime, u svojoj prvoj nameni fieldbus sistemi su bili namenjeni za razmenu (sa današnjeg stanovišta), male količine podataka, i za aplikacije koje ne podrazumevaju donošenje odluka za upravljanje u realnom vremenu. Pored toga, neki od navedenih sistemi su omogućavali i prenos neophodne energije za napajanje uređaja, što je dodatno doprinosilo uštedama u žicama i vremenu povezivanja [9, 10, 12].

PRE - ETHERNET CONTROLLER



Program se izvršava na centralno upravljač koj jedinici (CPU) PLK. Podaci se unutar PLK razmenju preko interne magistrale, dok se sa ostalim uređajima komunicira preko fieldbusa.

ETHERNET-BASED CONTROLLER



Program je deljen izmedju upravljač kih modula. Moduli medjusobno komuniciraju korišćenjem Etherneta.

Slika 2. Upravljačke strukture zasnovane na standardnim fieldbus sistemima i Ethernet komunikaciji.

Fieldbus sistemi u kojima se uz prenos podataka obavlja i prenos energije, su u prvom momentu bili nepogodni za direktno povezivanje sa poslovnim delom sistema. Dominacija Etherneta i TCP/IP protokola u poslovnim delu sistema, nametnula se zadnjih godina i u proizvodnom delu (uz zadovoljavanje svih tehničkih zahteva koje industrijsko okruženje zahteva), donoseći pri tome veće brzine i veću količinu prenosa podataka. Imajući u vidu značaj koji imaju fieldbus sistemi zasnovani na Ethernetu, u daljem tekst veća pažnja će biti njima posvećena.

3. FIELDBUS SISTEMI ZANOVANI NA ETHERNETU

Komunikacione mreže zasnovane na Ethernet i TCP(UDP- User Datagram Protocol)/IP protokolu, nakon apsolutne dominacije u poslovnim delu sistema, sigurnim koracima preuzimaju vodeću poziciju i u proizvodnom delu. Nekoliko razloga je za to, ali sigurno odlučujući faktor je mogućnost korišćenja u i RT aplikacijama [11]. Zahtevi koju su prisutni, a proizvođači ovih sistema mogu da zadovolje, mogu se svrstati u sledeće:

- Garancija za konstanto ponašanje u okviru aplikacije
Postoje različite aplikacije :
 1. *non*-RT aplikacije: dijagnoza, održavanje, puštanje u rad, sporo promenljive aplikacije;
 2. *soft* RT aplikacije: proizvodni procesi i drugi procesi automatizacije, prikupljanje podataka;
 3. *hard* RT aplikacije: upravljačke aplikacije, brzo promenljive aplikacije, kontrola rada alata;
 4. izohrone (istovremene) *hard* RT aplikacije: upravljanje kretanjem.
- Garancija za funkcionalnu sigurnost - predstavlja zaštitu od opasnosti prouzrokovanih nepravilnim funkcionisanjem, uključujući komunikaciju preko heterogenih mreža.
- Garancija za bezbednost – predstavlja uobičajeno shvatanje bezbednosti u distribuiranim automatizovanim sistemima, koji koriste heterogene mreže na različitim sigurnosnim nivoima.

Za uspešnu primenu fieldbus sistema zasnovanih na Ethernetu, potrebno je da budu jasno obrađene i dostupne sledeće oblasti:

- Definicije RT klasa i garancije pogodnih karakteristika za *non*-RT, *soft* RT, i *hard* RT aplikacije
- Upotrebljivost bežičnih komunikacija u domenu automatizacije
- Principi i mehanizmi funkcionalne sigurnosti
- Bezbednost podataka
- Odgovarajuće znanje za rad u industrijskoj automatizaciji

Kao što je navedeno, prva oblast je određivanje RT sistema. Dobro je poznato da u oblasti industrijske automatizacije RT zahtevi su orijentisani na posmatranje vremena odziva paketa podataka. Postoje tri klase u koje se razvrstavaju RT sistemi, i u kojima je garantovano vreme odziva, a to su:

- Klasa 1: *soft* RT sistemi (raspoređivanje saobraćaja podataka na vrhu UDP/TCP): podesivo vreme ciklusa. Upotrebljava se za povezivanje uređaja i drugih procesa automatizacije.

- Klasa 2: *hard* RT sistemi (raspoređivanje saobraćaja podataka na vrhu MAC nivoa): vremenski ciklus 1-10 ms. Upotrebljava se za upravljanje industrijskim procesima.
- Klasa 3: izohroni RT sistemi (sa vremenskom sinhronizacijom i rutiranjem sa raspoređenim vremenom); vreme ciklusa 250 μ s-1 ms; odstupanje manje od 1 μ s. Upotrebljava se za upravljanje kretanjem.

Raspodela najznačajnijih fieldbus sistema prema RT klasama koje zadovoljavaju, data su u tabeli 1 [11].

Fieldbus sistem	RT Klasa
MODBUS RTPS	1+
P- net na IP	1
Tcen	2+
Vnet	2
EtherNet/IP	3
SERCOS III	3
EtherCat	3
PROFINET	3
PowerLink	3

Tabela 1. Fieldbus sistemi zasnovani na Ethernetu i RT klase koje podržavaju.

Sljedeća oblast, koja ima intenzivan razvoj, i sa ogromnim očekivanjima u budućim industrijskim aplikacijama su bežične komunikacije. Bežični fieldbus sistem je bežična komunikaciona mreža pogodna za upotrebu na nivou uređaja u sistemima automatizacije u industrijskom okruženju. Ova vrsta komunikacije se često naziva i „Radio Fieldbus” ili RFieldbus. RFieldbus tehnologija zahteva dodatne mehanizme u protokolu koji obezbeđuju RT i *non*-RT prenos podataka [11].

Glavne osobine RFieldbus radio fizičkog nivoa su:

- ISM-opseg na 2.4 GHz, sinhroni prenos.
- (DSSS) Direct Sequence Spread Spectrum kodiranje.
- Radio brzine prenosa 350 kbit/s-1Mbit/s-2Mbit/s.
- Opcije režima rada fizičkog nivoa koje mogu biti upotrebljene:
 - Režim rada I kompatibilan sa IEEE 802.11 standardom
 - Režim rada II optimizovan za RT prenos
- Kvalitet signala i upravljanje snagom za RT aplikacije.

RFieldbus sadrži dodatne funkcionalnosti za web bazirane servise koji omogućavaju pristup multimedijalnim aplikacijama korišćenjem TCP/IP protokola.

Treba napomenuti da većina bežičnih radio mreža može biti upotrebljena u samo *non*-RT aplikacijama, a samo neke od njih i u soft RT aplikacijama.

Funkcionalna sigurnost, je sledeća oblast koja mora biti zadovoljena za uspešnu primenu fieldbus sistema, označava zaštitu od opasnosti koje su prouzrokovane nepravilnim radom. Ova sigurnost ne podrazumeva samo fizičku zaštitu, nego i sigurnost u pogledu prenosa podataka koja je od vitalne važnosti za pravilan rad svih upravljačkih sistema zasnovanih na fieldbus konceptu. U slučaju prenosa podataka u ovom sistemima, posebne mere moraju da se preduzmu kako bi se izbegli uticaji grešaka (neispravne adrese, izgubljeni ili oštećeni podaci, kašnjenje), a one mogu biti

ostvarene na sledeće načine:

- Prebrojavanje prenesenih podataka.
- Nadgledanje vremena prenosa (provera očekivanog vremena prenosa).
- Autentifikacija korišćenjem šifri (identifikacija).
- Optimizovani algoritmi za proveru sume na kraju paketa (CRC).

Jedan od načina da se ove mere postignu je korišćenje komunikacionih sistema za sigurnost aplikacija koje sadrže komunikacioni kanal nazvan: „Black Chanel”, koji je definisan standardima IEC 61158 i 61174. Suština ovog načina je da se sigurnost ostvari u odvojenom sigurnosnom nivou, koji je smešten između komunikacionog protokola i aplikacije. Sa ovim načinom, postojeći komunikacioni sistem može biti upotrebljen takav kakav jeste, i sa postojećim komponentama (kablovi, konektori, repetitori, linkovi, itd.) sve dok su zadovoljeni električni zahtevi. Ovakav način je prisutan u nekoliko fieldbus sistema (PROFIBUS, Interbus) [6, 8, 9, 14, 15, 16].

Usko vezano sa sigurnošću podataka, je i njihova bezbednost. Iako su klasični fieldbus sistemi relativno zaštićeni od spoljnih i unutrašnjih napada, kod sistema zasnovanih na Ethernetu, to više nije taj slučaj. Bezbednost je daleko više ugrožena, ako su ovi sistemi dostupni i preko Interneta. U tom slučaju, razlozi za ugrožavanje leže u sledećim činjenicama:

- Dobro poznavanje principa rada od strane velikog broja korisnika Interneta.
- Mogućnost pristupa ovim sistemima sa udaljenih lokacija.
- Korišćenje javnih telekomunikacionih sistema.

Bezbednosni kriterijumi, kojih se u ovom slučaju treba pridržavati, su sledeći:

- Poverljivost informacije (zaštita od pristupa neovlašćenih trećih lica).
- Integritet informacije (otkrivanje neovlašćenih modifikacija ili manipulacija sadržajima poruke uz definisan nivo poverenja).
- Pravovremenost ili obrada pristiglih poruka (otkrivanje bilo koje neovlašćene poruke tipa re-timing, re-sequencing ili vraćanje prethodnih poruka).
- Autentičnost i autorizacija komunikacionih peer-va (verifikacija identiteta komunikacionog peer-a i na koja prava peer poseduje).
- Raspoloživost informacije

Navedeni kriterijumi treba da spreče tipične tipove upada, kao što su: prisluškivanje, hakerski napadi, izmena podataka, neovlašćen pristup, špijuniranje, sabotaza, gubitak, krađa i greške operatera.

Na fizičkom nivou, sve vitalne elemente jednog fieldbus sistema treba postaviti tako da budu dostupni samo ovlašćenim licima, i po mogućnošću, da svi dostupni elementi ne budu i lako uočljivi.

Takođe, standardni način u obezbeđivanju bezbednosnih mera je i kroz hijerarhijsku raspodelu ovlašćenja operatorima, koji su prisutni u celokupnom radu fieldbus sistema.

U okviru fieldbus sistema se pojavljuju mnogi uređaji koji ispred svog imena imaju i pridev inteligentan. U ovom slučaju, to znači da je uređaj u stanju da samostalno prepozna u kom se stanju nalazi, i da preko svojih komunikacionih kanala o tome obaveštava hijerarhijski nadređene uređaje. Na kraju ovog lanca, još uvek, se nalazi čovek, odnosno operater

koji je zadužen za trenutno funkcionisanje celokupnog sistema. Upravo operater, i znanje koje poseduje, može da bude od ključne važnosti, pre sve u slučaju pojave neregularnih situacija. Zbog toga se posebna pažnja posvećuje znanju (kao petoj oblasti) koje operatori u industrijskom sistemu treba da dobiju. Ukoliko je to moguće, operatori trebaju da budu upoznati od prve faze životnog ciklusa (prikupljanja zahteva) automatizovanog sistema, čijim će radom jednog dana upravljati. Poznavanje određenih standarda, doprinosi većoj sigurnosti i boljoj funkcionalnosti, što je svakako i jedan od primarnih ciljeva svih sistema.

Samo uz potpuno zadovoljenje ovih pet oblasti, se može garantovati uspeh fieldbus sistema u konkretnim aplikacijama.

4. PRAVCI DALJEG RAZVOJA

U osnovnim crtama, pravci daljeg razvoja u okviru fieldbus sistema se mogu posmatrati kroz sledeće oblasti:

- Tehnološka unapređenja
- Arhitekture sistema
- Organizacija
- Konstrukcija
- Standardizacija

Tehnološka unapređenja, osim veće količine prenosa podataka (mogućnost prenosa audio i video podataka, istovremeno sa tehnološkim podacima), treba da omoguće kvalitetniju i ekonomski opravdanu veću prisutnost bežičnih sistema.

U pogledu arhitekture sistema, pre svega se misli na povećanje mogućnosti uvođenja većeg broja čvorova, u okviru postojećih topologija, i njihove integracije u jedinstveni distribuirani sistem.

Imajući u vidu da se i u poslovnom i proizvodnom delu sistema koriste Ethernet zasnovani sistemi, problem nadležnosti može da bude veoma izražen, zbog toga se mora posebna pažnja posvetiti celokupnoj organizaciji, kako bi se izbegli mogući konflikti. Treba imati na umu, da oprema koje se koristi, kao i znanje ljudi, u jednom i drugom delu sistema, nije uvek podjednako.

Konstrukcije novih uređaja, osim što moraju da obezbede manju potrošnju energije, moraju da obezbede veću jednostavnost podešavanja parametara i održavanja.

Primena standarda će omogućiti dalji razvoj i primenu fieldbus sistema, jer će omogućiti većem broju proizvođača da proizvodi opremu i uređaje. Kao krajnji rezultat, celokupan automatizovan sistem trebao bi da bude jeftiniji, a sa tim treba da se ostvari i brži povraćaj uložених sredstava.

5. ZAKLJUČAK

Industrijske komunikacije zasnovane na fieldbus sistemima su prisutne u industrijskoj praksi preko dvadeset godina. Promene koje su fieldbus sistemi doneli se ne odnose samo na prenos podataka, nego i na način projektovanja upravljačkih sistema, pre svega distribuiranih upravljačkih sistema. Poslednjih godina uticaj bežičnih tehnologija, kako javnih, tako i privatnih je sve veći, i unosi nov način razmišljanja prilikom projektovanja i izrade automatizovanih sistema. Mogućnosti savremenih industrijskih komunikacija su svakim danom veći, i njihovo poznavanje postaje od ključne važnosti za pravilan rad upravljačkih sistema.

Kao ključna prednost savremenih fieldbus sistema je mogućnost rada u RT aplikacijama. Pored toga, dominacija Ethernet koncepta, se sa poslovnog dela sistema, sigurnim koracima prenosi na njegov proizvodni deo. Njegovim daljim unapređenjem, u pogledu bežične realizacije, omogućiće da

se istovremeno ostvaruje i audio i video prenos podataka, a da se istovremeno ne naruši osnovna namena fieldbus sistema, a to je razmena podataka između uređaja kojima se upravlja u jednom automatizovanom sistemu. Fieldbus sistemi, definitivno, postaju nezaobilazni deo svakog većeg automatizovanog sistema, a u slučaju distribuiranih upravljačkih sistema predstavljaju standard koji se mora primenjivati.

6. LITERATURA

- [1] Andrew C.: *Fieldbus: The Foundation for Field Control Systems*, Control Engineering, May, 47-50, 1994.
- [2] Berge, J., *Ethernet in Process Control*, The Industrial Ethernet Book, Issue 3, pp. 20-24, 2000.
- [3] Dragišić, G., Mandić, S.: *Paket radio modem sa podrškom za fieldbus protokole*, Zbornik radova X TELEKOMUNIKACIONI FORUM TELFOR'2002, Beograd, 2002.
- [4] Gordon, B., *Bridging Legacy Fieldbus Systems*, The Industrial Ethernet Book, Issue 4, pp. 16-20, 2000.
- [5] Hawthorne, M.: *The battle for Motion Control*, The Industrial Ethernet Book, Issue 3, pp. 10-13, 2000.
- [6] <http://www.pilz.com/english/products/safety/bus/concept.html> (SafetyBus)
- [7] <http://www.profibus.com/marketingpages/profisafe> (PROFISafe)
- [8] <http://www.rti.com/products/literature.html> (Real-time publish-subscribe wire protocol specification)
- [9] Hulsebos, R., *Enter Ethernet, Exit Fieldbus*, The Industrial Ethernet Book, Issue 4, pp. 08-11, 2000.
- [10] Kaplan, G., *Ethernet's Winning Ways*, IEEE Spectrum, pp. 113-115, January, 2001.
- [11] Neumann, P.: *Communication in industrial automation - What is going on?*, Control Engineering Practice Vol. 15, pp 1332-1347, 2007.
- [12] Sink, P., *Industrial Ethernet: The Next Wild West*, The Industrial Ethernet Book, Issue 4, pp. 27-29, 2000.
- [13] Stankovski, S.: *Upravljanje industrijskim procesima*, Zbornik radova naučno stručne konferencija INFOTEH, Jahorina, 2001.
- [14] www.bsi.bund.de/literat/doc/sinetdoc/sinetstd.html (Internet security)
- [15] www.fieldbus.org
- [16] www.opcfoundation.org

Autori: Prof. dr Stevan Stankovski, Mr Gordana Ostojić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijsko inženjerstvo i industrijski menadžment, Katedra za mehatroniku robotiku i automatizaciju, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 455-011, Fax: +381 21 459-536.

E-mail: stevan@uns.ns.ac.yu
goca@uns.ns.ac.yu

Anghel, C. V., Visan, A., Suciu, L.

COMPUTER AIDED DESIGN OF AN AUTOMATIZED INSTALLATION COMPENSATOR

Abstract: In this paper, the compensator of an automation installation is designed by the medium of the SCILAB 2.6 program

Key words: CAD, automatized installation, compensator

1. INTRODUCTION

In order to achieve the computer aided design of the considered compensator of an automatic installation, we use the calculation program SCILAB 2.6.

In the directory where SCILAB is installed, the subdirectory *Paper* is copied which contains the programs SciLab (scripts) and the documentation necessary for the computer aided design.

With the computer help, we can consider the K(s) compensator, with the bloc scheme of automatized installation, as in figure 1.

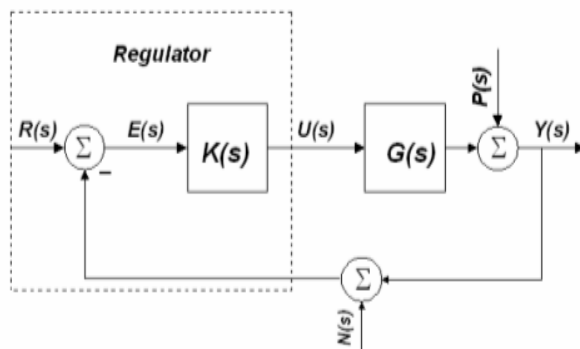


Fig. 1. Bloc scheme of automatized installation.

In the operational field, the transfer function of the installation is calculated with the formula:

$$G(s) = \frac{2}{(T \cdot s + 1)^n} \quad (1)$$

where:

$$T = 1 + \frac{No}{100} \quad (2)$$

$$n = \text{trunc} \left(3 + \frac{No}{10} \right) \quad (3)$$

and *No* is notation of order number.

2. THE MEASUREMENT OF THE INDICIAL ANSWER/RESPONSE $y_1(t)$ OF THE NON- AUTOMATIC INSTALLATION

We open the calculation medium Scilab 2.6 and the indicial response/answer $y_1(t)$ is measured by simulation, that is the exit/output at a command $u(t)$ of the entrance/input type

unitary step of the system in fig. 1, with open loop. In order to do this, the command

File/Exec...

from the menu of the SciLab central window.

The program *MeasurementY1.sci* is chosen from the subdirectory *Paper* which is executed.

The implicit data are accepted and the program displays in a sseparate window the measured indicial answer/response and the simulated indicial response/answer on the nominal model of the installation. In the same time, the measurement and simulation result is memorized in the file *Data Ident.Bin* in the subdirectory *Paper*. Every time when the program is executed, this file is updated with the new results.

The measured response/answer is affected by the aleatory perturbation *P* in fig. 1.

Several measurements with the implicit data are done, through simulation, of course, and it is observed that every time the indicial answer is different. The repeated execution of a SciLab command is easily done recalling the command by pressing key arrow up. The program *MeasurementY1.sci* is executed again, several times with its own data according to the relations (1) and (2).

The transfer function *G(s)* is introduced under symbolic form following the example presented in the dialogue window. If a convenient result is obtained, that is less affected by the perturbation *P*, the result is kept by copying the file *Data Ident.Bin* in the subdirectory *Project/ArchiveDataIdent*.

The diagram of the indicial answer is introduced in the file which contains data, with command from the graphic window:

File / Copy to clipboard

And then the command Paste in the project's Word document.

3. IDENTIFYING THE TRANSFER FUNCTION $G(S)$ OF THE NON-AUTOMATIZED INSTALLATION

The file *Data Ident.bin* which contains the result of the indicial answer measurement is copied from subdirectory *Project/Archive DataIdent* in the subdirectory *Project*. The program *Ident.sci* is executed and it uses the indicial answer/response from the file *DataIdent.bin*. In the dialogue window, it is presented the installation nominal transfer function *G(s)*, the transfer function identified through the method of the smallest squares and the transfer function *G(s)* identified and simplified which represents the final result.

4. THE CHECKING THROUGH SIMULATION OF THE AUTOMATIZED INSTALLATION PERFORMANCES

The Scilab calculation medium is opened and in the window that appears, the command line is executed in the prompter --> `scicos()`;

which opens the window of the Scicos program. In this window, the command *Diagram / Load* is executed and we open the program which is found in the file LoopPIDideal.cos.

The block scheme in fig. 2 appears and it represents the scheme in fig. 1 at which there were added the reference signal, perturbation, noise and the oscilloscope with two channels to measure the input/output and the command. The events generators (clocks) establish the behaviour in time of the generators and the oscilloscope.

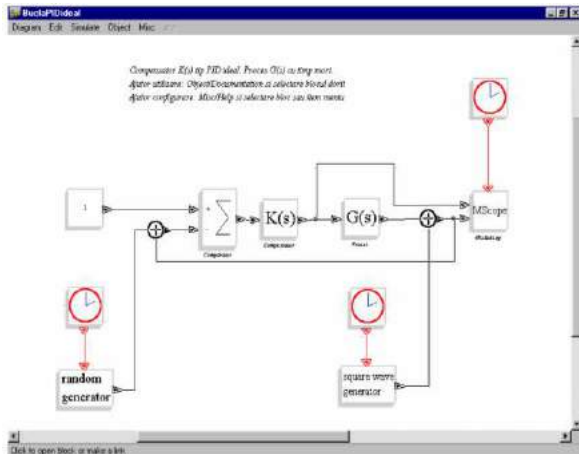


Fig.2. The block scheme of the perturbation generators installation.

The blocks in the scheme are program objects. If in the Scicos window, we choose the menu Object, different commands can be executed on the block which will be selected with the mouse.

Command:

Object / Documentation

Offers a documentation on the selected object.

Command:

Object / Open – Set

Allows the opening or modification of the object according to the context.

If we do not choose the menu Object, the last command is implicitly executed at the block selection.

For example, the selection of the block K(s) from fig. 2 produces the window in fig. 3. It is observed that the ideal PID compensator is non-linear, having at exit/output a limiting saturation block. The selection of this block displays its parameters in fig. 4. The block parameters G(s) are open and set and they mold the non-automatized installation. We introduce in symbolic form the numerator and denominator of the nominal transfer function (1) following the example of the implicit data in fig. 5.

With the modified data, we execute the command:

Simulate / run

The stop of the simulation is done with the command stop from the menu of the window presented in fig. 2.

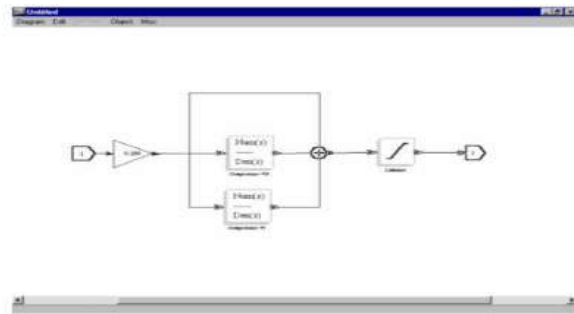


Fig.3. Block K(s).

Fig. 4. The limiting saturation block parameters

Fig. 5. The calculation of the nominal transfer function G(s) through the introduction of the numerator and denominator

5. RESULTS AND DISCUSSIONS

The simulation parameters are modified with the command *Simulate/Setup*. The parameter of interest is *Final integration time*, the simulation duration.

In order to modify the aspect of the output signal graphic of the simulated system, we select the oscilloscope *MScope*. The graphic parameters which could need to be modified are *Ymax vector*, which establishes the maximal value of the ordinate and *Refresh period* which must be equal with the final integration time.

In fig. 6, in the first graphic, the command $u(t)$ is presented in blue and in the second graphic, the output/exit of the automatized installation is presented in green. The input/entrance signals do not appear in the graphic.

The reference is a unitary step, as it results from figure. The perturbation is a rectangular periodic signal with the amplitude of +0,5 or -0,5 and period 30.

The noise is an aleatory signal with average zero and average square deviation 0.05.

In the initial moment, the perturbation appears integrally at output, fig.2, which has the value +0,5.

The compensator starts to compensate the perturbation and to bring the output to a value equal to that of the reference, that

is one. But at time 30, the perturbation becomes -0,5 and the output drops by 1.

The compensator goes on. At time 60, the perturbation modifies its value from +0,5 to +0,5. Thus, the output, at which the perturbation adds as in fig. 6., increases its value by one.

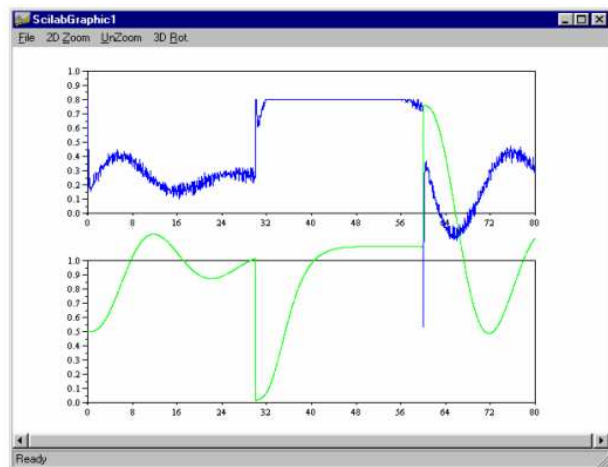


Fig. 6. The installation command $u(t)$ with the installation output $y(t)$.

6. CONCLUSIONS

The compensator command size evolution $u(t)$ is interesting. It is observed that the noise, although very small, has a significant presence in the command size but it does not influence the output. This is the reason why, the execution element can be damaged. Avoiding this effect can be achieved by readjusting the compensator. At moment $t=30$, when the perturbation disappeared and the output dropped suddenly, the command should be very large in order to compensate this effect. Due to the limitation at +0,8 of the compensator output, fig. 4, it does not happen this, fig. 6. Instead, at moment 60, when the perturbation disappears, the compensator works normally. Here, we can very well notice the pronounced derivative effect which is the cause of the noise amplification.

The automate system with the Ziegler – Nichols adjusted compensator works well in adjustment (stabilization) regime but in pursuit/tracking regime it presents large oscillations. The remedy is constituted by the use of a compensator with two liberty/freedom degrees. In its absence, the start is done manually, gradually and after the reach of the desired functioning point, it passes into an automatic adjustment regime.

7. REFERENCES

- [1] Anghel, C.V. – „*Computational Method and Application using Newton Algorithm*”, International Symposium "Computational Civil Engineering 2007", Iași, 25 may 2007, ISBN 978-973-8955-14-1;
- [2] Anghel, C.V., Anghel Șt. – „*A design algorithm for a new cycloid swing link speed reducer*”, Internațional PRASIC 2002 Symposium, ISBN 973-635-075-4, 7-8 nov, Brașov 2002;
- [3] Chioncel, C.; Chioncel, P.; Anghel, C.V. – „*Scilab Application in Spectral Analyses*”, 6th International Symposium „Young People Multidisciplinary Research”, Romania-Serbia&Montenegro-Hungary, Ed. „Sudura”, Timisoara, Romania, 24-25 sept. 2004
- [4] Gillich, G.R., Chioncel, C., Anghel, C.V. – „*Frame Design and Simulation using Analysis and SCICOS*”, DEMI 2005, The 7th International Conference on Accomplishments in Electro and Mechanical Industries, Banja Luka University, Serbia, 27-28 May, 2005;
- [5] Gillich, N., Anghel, C.V., Gillich, G.R – „*Analysis of wave propagation deformation on transient network analyser*” 7th International Conference on Applied Electromagnetics PES 2005, Nis, Serbia&Muntenegro, 23-25 mai, 2005;

Authors: S.L.dr.eng. Anghel Cornelia Victoria, Lect. drd. Visan Alina, S.L.dr.eng. Suciu Lenuta, “EFTIMIE MURGU” University of Resita, Faculty of Technical Sciences, Department for Fundamental Sciences, Traian Vuia Square, no.1-4, 320085, Resita, Romania

E-mail: canghel@uem.ro
alinavisan2003@yahoo.com
ilesuciu@uem.ro

Antić, A., Petrović, P., Zeljković, M.

DINAMIKA OBRADNOG SISTEMA I NJENE IMPLIKACIJE NA INDIREKTNO PREPOZNAVANJE STANJA REZNOG ALATA

Rezime: U okviru rada izložen je deo rezultata koji se odnose na identifikaciju veličine 'slobodnog' dela spektra signala ubrzanja vibracija u cilju koncipiranja i laboratorijske verifikacije predložene metode za robusno prepoznavanje stanja pohabanosti alata pri obradi struganjem. U radu se paralelno daju prikazi MKE analize obradnog sistema i mikroskopske analize strugotine nastale u procesu obrade. Cilj je da se dokaže da u visokofrekventnom delu spektra postoji dominantan uticaj procesa formiranja strugotine sa minornim učešćem viših sopstvenih frekvencija obradnog sistema.

Cljučne reči: Vibracije, spektar vibracija, MKE analiza, habanje alata

MACHINING SYSTEM DYNAMICS AND ITS IMPLICATIONS IN DIRECT RECOGNITION OF TOOL CONDITION

Abstract: Reviewed in this paper are partial results pertaining to identification of the size of the "free" spectrum of the vibration acceleration signal. This identification should allow creation and laboratory verification of the method for robust recognition of tool wear in turning operations. The paper shows comparative review of FEM analysis of the machining system and the microscopic analysis of the chip generated during machining. The goal is to prove that the high-frequency part of the spectrum dominantly influences chip forming with just a minor influence of higher eigenfrequencies of the machining system.

Key words: Vibrations, vibration spectrum, FEM analysis, tool wear

1. UVOD

Zbog svoje kompleksnosti proces rezanja ne može da se egzaktno analitički modelira. Aproksimativni analitički modeli obuhvataju samo dominantne pojave, a njihovi parametri su zavisni od konkretnog slučaja primene, odnosno konkretnog obradnog sistema na kome se proces izvodi, konkretnog obratka i trenutnog stanja alata. Primenom nemodelskih estimatora ili drugih formalnih pristupa baziranih na veštačkoj inteligenciji, kod kojih se kao ulazne informacije koriste: sile rezanja, vibracije, kao i neke kontekstne veličine koje uključuju i uslove obrade kao što su: rezna geometrija, korak, dubina, brzina rezanja, materijal obratka i slično, formiraju se adaptivni modeli procesa rezanja kojima se postižu bolji rezultati [2]. Efikasnost ovog pristupa je u značajnoj meri uslovljena stepenom apriornog znanja koje je u njih ugrađeno. Robusnost koncepta 'crne kutije' koji je neka vrsta ekvivalenta nemodelskom estimatoru kontinualnih funkcija, bitno se unapređuje ukoliko se u mehanizam preslikavanja ulaznog u izlazni domen ugrade i apriorna znanja o procesu koji se modelira.

Polazeći od prethodno navedenog, u okviru sistematskih istraživanja procesa habanja alata i razvoja inteligentnog neuro-fazi sistema za prepoznavanje stanja alata u realnom vremenu, istražuju se prostori za uvođenje kompleksa apriornih znanja koja će se sprovesti u projektu koj finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj pod nazivom "Istraživanje i razvoj kotrljajnih ležajnih sklopova i njihovih komponenti" br. 14048. Ova istraživanja se sprovode u dva osnovna pravca. Prvi pravac se odnosi na prepoznavanje i formulisanje apriornih znanja o procesu rezanja i ponašanju obradnog sistema. Drugi pravac istraživanja odnosi se na uobličavanje ovih znanja i rešavanje problema njihove ugradnje u neuro-fazi modele na način u kome će se postići simbiotski odnos apriornih znanja i znanja izvedenih iz tekućih ulazno-izlaznih podataka procesom obučavanja.

U okviru rada razmatra se problem generisanja apriornih

znanja o dinamici obradnog sistema i neki od mehanizama integracije ovih apriornih znanja sa izvedenim znanjima koje generiše neuro-fazi estimator tokom procesa obučavanja, u kontekstu inteligentnog sistema za prepoznavanje stanja alata u procesu struganja.

2. DINAMIKA PROCESA REZANJA

Obradni sistem je mehanički sistem izrazito dinamičke prirode. Vibracije se prostiru kroz celokupni obradni sistem, uključujući i alat.

2.1 Proces rezanja i vibracije alata

Izvori vibracija koji se javljaju na alatu su različite prirode, a uzroci se mogu svrstati u poznate i nepoznate. Među poznate spadaju: deformacija materijala, trenje i odvajanje strugotine, a njihova osnovna odlika je inherentna nelinearnost, koja za posledicu ima pojavu samopobudnih vibracija u obradnom sistemu.

Porast opterećenja u procesu rezanja koje je rezultat sabijanja materijala u zoni rezanja, kao direktan efekat na dršci noža se povećava potencijalna energija usled prisustva elastičnih deformacija. Usled povećanih naprezanja dolazi do prekoračenja granice elastičnosti u materijalu što se ogleda kroz skokovit prelaz u plastičnu zonu deformisanja i razaranje materijala gde se oslobađa akumulirana energija koja se impulsno pojavljuje svaki put kada se desi proces smicanja lamela tj. formiranje strugotine. Ta situacija može se objasniti time da se u materijalu koji poseduje kristalnu strukturu pri razbijanju kristala stvara mikro pukotina koja se brzo premešta stvarajući lom materijala tj. pucanje međukristalnih veza i oslobađanje energije. Ovi kratkotrajni pojedinačni događaji pobudjuju elastoviskoznu strukturu obradnog sistema koji generiše vibracije u jednom širokom frekventnom spektru. Pojava pukotina i njihovo širenje se kompenzira sa porastom opterećenja na zonu plastične

deformacije pri obradi.

Trenje na kontaktnim površinama proizvodi "stick-slip" efekat. Stick-slip efekat u obradni sistem unosi aperiodičnu oscilatornu pobudu, koja se kao i u slučaju formiranja lamela strugotine može posmatrati kao niz diskretnih impulsa energije koji pobuđuju obradni sistem u jednom širokom frekventnom spektru. Kompleksnost zajedničkih uticaja ovih događaja na proces opterećuju i dodatni uticaji koji povećavaju širenje mehaničke energije. Nelinearnost elastičnog sadržaja materijala dovodi do disperzije tj. do frekventno zavisnih široko pojasnih ubrzanja vibracija na koje dodatno utiču različita prigušenja.

2.2 Mehanizmi nastajanja vibracija u procesu obrade

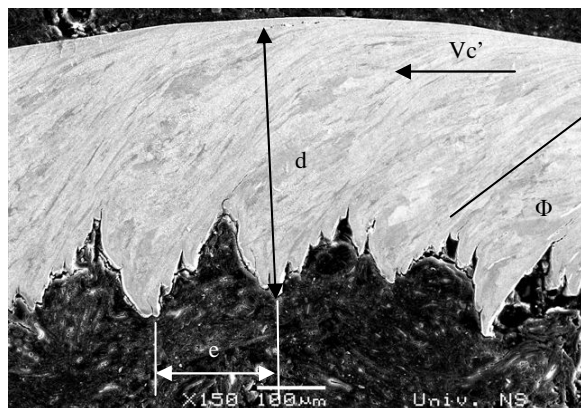
Jedan od bitnih mehanizama pobude koji izazivaju vibracije jeste stvaranje lamela strugotine u procesu rezanja. Prilikom porasta opterećenja izazvanog sabijanjem materijala u zoni rezanja, u dršci noža se povećava potencijalna energija usled prisustva elastične deformacije. Prekoračenjem granice elastičnosti u materijalu koji se reže dešava se jedan skokovit prelaz iz elastične u plastičnu zonu gde se oslobađa akumulirana energija koja se impulsno pojavljuje svaki put kada se desi proces smicanja lamela tj. odvajanje strugotine. Stvaranje lamela u procesu obrade karakteriše njihova frekvencija nastajanja. Frekvencija nastajanja se može izračunati na osnovu koraka lamela e , debljine strugotine h' , dubina rezanja d , i brzine obrade V_c primenom relacije (1). Ona se može transformisati i u drugi oblik gde V_c' predstavlja brzinu strugorine, a λ predstavlja koeficijent deformacije streugoitine [5]:

$$f_{lam} = \frac{v_c \cdot h'}{d \cdot e} = \frac{v_c}{\lambda \cdot e} \quad (1)$$

Na osnovu relacije (1) se može zaključiti da se sa porastom dubine obrade smanjuje frekvencija stvaranja lamela pri konstantnoj debljini tako da se koeficijent deformacije i gipkost strugotine povećavaju.



Slika 1. Makroskopski izgled strugotine: a) nova pločica, b) pohabana pločica



Slika 2. Mikrostruktura strugotine i njene karakteristične veličine

Porastom brzine rezanja u osnovi se razvija veća toplota i smanjuju se rastojanja među lamelama tj. korak se smanjuje.

Slika 1 predstavlja makroskopski izgled strugotine pri obradi rezanjem sa novom i pohabanom pločicom. Odgovarajuća mikrogeometrija strugotine prikazana je na slici 2, na kojoj se jasno uočavaju tip i vrsta strugotine gde se mogu izmeriti karakteristične veličine na osnovu kojih se izračunava frekvencija nastajanja lamela strugotine.

Karakteristične veličine na slici 2 i izrazu (2) označavaju:

- Φ - ugao smicanja lamela
- d - debljinu strugotine
- e - korak nastajanja lamela
- V_c - brzinu rezanja
- V_c' - brzinu oticanja strugotine
- f - pomak
- κ - napadni ugao noža

Primenom prikazanih parametara može se izračunati frekvencija nastajanja lamela i uticaj na ukupni dinamički sistem.

$$f_{lam} = \frac{v_c \cdot f \cdot \sin \kappa}{d \cdot e} \quad (2)$$

Relacija 2 u sebi sadrži parametre vezane za rezu geometriju alata i tehnološke parametre brzine i pomaka. Na osnovu toga može se zaključiti da je frekvencija nastajanja lamela direktno proporcionalna brzini obrade i pomaku a obrnuto proporcionalna dubini.

2.3 Obrada signala vibracija

Sistemi bazirani na mernim trakama i piezo kristalima ugrađenim u senzore tipa dinamometra registruju pomeraj strukture. Senzori tipa akcelometara registruju ubrzanje vibracija. Ovi senzori generišu kontinualne vremenske serije koje se dalje mogu obrađivati različitim metodama u cilju izdvajanja željenih sadržaja. Prepoznavanje stanja alata može se ostvariti analizom signala vibracija.

Analiziranje visokofrekventnog sadržaja vibracija može se izvršiti na različite načine u zavisnosti od željenog cilja. Tako na primer, za određene prikaze se primenjuju pojedine statističke metode i postupci. Za izdvajanje karakteristika u vremenskom domenu primenjuju se parametarske, autoregresivne i autokorelacione metode [3, 4], u vremensko frekventnom domenu koriste se: Furijer-ove, Gabor-ove, Wejvlet transformacije [4], kao i eksperimentalne i analitičke metode za identifikaciju pojedinih procesnih veličina. Analiza signala vibracija sledi posle transformacije vremenskog signala u frekventnom području, a takođe i za određena spektralna područja koja omogućavaju prepoznavanje stanja alata i procesa. Prilikom proračuna i transformacije signala u frekventnom opsegu, vreme se umesto frekvencije koristi kao nezavisna promenljiva u signalu koji je suma harmonijskih ili prigušenih oscilacija delova spektra. Upoređivanje uslova obrade signala i njihovog uticaja na proces, radi se pomoću normiranja Furijer-ovog integrala nad posmatranim vremenskim intervalom [3,4]. Apriorna informacija o dinamičkim svojstvima alata može da bude od velike koristi.

3. MODELIRANJE DINAMIKE ALATA

Komercijalno raspoloživi programski sistemi za analizu dinamike mehaničkih struktura primenom konačnih elemenata bazirani su najčešće na linearnim modelima. U ovom konkretnom slučaju ovakvi programski sistemi mogu se upotrebiti samo za aproksimativnu analizu sa ciljem identifikacije dominantnog ponašanja strugarskog noža, odnosno identifikaciju njegovih sopstvenih frekvencija i njima pripadajućim glavnim oblicima oscilovanja.

U okviru ovih istraživanja, sklop strugarskog noža zamenjen je monolitnom strukturom, kao što je prikazano na slici 3. Uklještenje noža je modelirano tako što su oduzeti svi stepeni slobode površinskim čvorovima konačnih elemenata

na delu drške koji se koristi za pričvršćivanje na nosač alata (gornja i donja površina). Svi ostali konačni elementi su slobodni i oni aktivno učestvuju u izračunavanju sopstvenih frekvencija i oblika oscilovanja.

Pored dinamičke analize, može se sprovesti i statička analiza sa ciljem identifikacije ekvivalentne krutosti strugarskog noža po glavnim koordinantim osama obradnog sistema. Informacija o krutosti je neophodna za analizu samopobudnih vibracija koje nastaju pod dejstvom nelinearnih fenomena trenja koji se javljaju u zoni rezanja, a manifestuju kroz pojavu karakterističnog 'stick slip' oblika oscilovanja. Ova problematika se ne razmatra u okviru ovog rada [1].

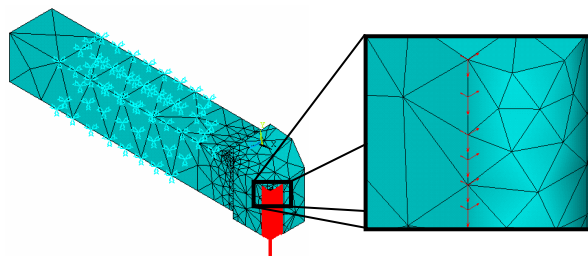
Analizom dinamičkog ponašanja strugarskog noža generiše se jedan vrlo bitan apriorni skup znanja koji se može iskoristiti u gradnji neuro-fazi sistema za inteligentno prepoznavanje stanja alata. Pripusustvo sopstvenih frekvencija u gornjem delu spektra, konkretno preko 15kHz predstavlja problem za praćenje stanja pohabanosti alata, jer se u tom delu spektra nalaze pobudne frekvencije koje nastaju od procesa formiranja lamela. Prisustvo ovih sopstvenih frekvencija alata će dovesti do pojave rezonansi i kontaminacije korisnog dela informacija, odnosno vibracija koje dolaze direktno od procesa formiranja strugotine. U ovakvoj 'deformisanoj slici' praćenje procesa stvaranja strugotine kroz analizu pripadajućeg frekventnog sadržaja biće značajno otežan, čak i potpuno onemogućen. Apriorna informacija o dinamici alata može se iskoristiti za izdvajanje dela spektra koji nije kontaminiran i čijim se praćenjem može sa velikom verodostojnošću uspostaviti jednoznačna korelacija između stanja alata i signala vibracija alata merenih odgovarajućim senzorom.

Važno je napomenuti da zbog masenih karakteristika nosača alata i ostalih delova obradnog sistema njihov uticaj na dinamički odziv obradnog sistema mereno na dršci alata nije kritičan, jer su sve sopstvene frekvencije locirane u donjem delu spektra, koji je značajno udaljen od dela spektra u kome se nalaze sadržaji koje generiše proces formiranja strugotine. Iz tog razloga, dinamička analiza mehaničke strukture obradnog sistema ograničena je samo na analizu dinamičkog ponašanja alata.

Signali vibracija koji potiču od samog procesa rezanja su teško merljivi direktnim metodama i za definisanje stvarnog uticaja tehnički i praktično veoma nepristupačni za merenja. U praktičnom smislu merljive su reakcije ukupnog sistema "Alat-obradak-mašina" na samom alatu. Prilikom izvođenja merenju javljaju se određena ograničenja pri identifikaciji i razdvajanju mehanizma pobude i prenosa vibracija sa ostalih elemenata mašine. U praktičnom smislu za pojedine zahvate obrade moguće je i fenomenološko objašnjenje. Konačni zaključak koji se nameće je taj da je određivanje uticaja poznatih događaja koji se dešavaju u toku procesa obrade na sadržaj vibracija veoma kompleksan. Određivanje tačnog sadržaja izmerenih vibracija procesa obrade u izlaznom senzorskom signalu na osnovu iskustvenih veličina predstavlja veoma važan zadatak. Dominantni uticaj sopstvenih frekvencija alata u spektru signala može se relativno tačno izračunati na osnovu određenih računskih modela. Takvi proračuni umnogome mogu da olakšaju rasčlanjivanje spektra, što će u nastavku biti i pokazano.

Cilj ovog dela istraživanja je definisanje što tačnijeg uticaja sopstvenih frekvencija u procesu obrade u spektru izmerenih vibracija. Da bi se ispunio taj uslov potrebno je dršku strugarskog noža analizirati metodom konačnih elemenata. Sprovedena analiza obezbeđuje jasan prikaz vibracija koje se stvaraju u procesu obrade, a takođe i definisanje i rasčlanjivanje određenih karakterističnih frekvencija u spektralnom sadržaju signala. Za određivanje sopstvenih frekvencija modela noža moraju se sprovesti dinamički proračuni.

Analizom signala vibracija potrebno je uočiti razliku između sopstvenih i samopobudnih vibracija alata u toku zahvata obrade od vibracija celokupnog sistema. Analiza komponenti vibracija pomoću metoda konačnih elemenata uspostavlja vezu između eksperimentalnih istraživanja i određenih modela procesa obrade koji su povezani sa habanjem alata i promenom rezne geometrije. Izračunavanje sopstvenih frekvencija izvršno je primenom monostrukturnog modela noža opterećenog silama koje nastaju u procesu rezanja.



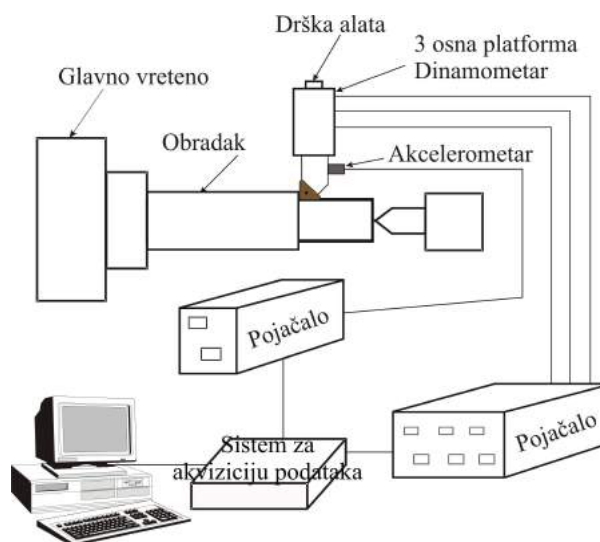
Slika 3. Način uklještenja i pravci delovanja sila na nožu

4. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE

Postavka eksperimenta za ovo istraživanje prikazana je na slici 4. Obrada struganjem je izvršena na strugu proizvođača INDEX, tip GU 600. Signal ubrzanja vibracija i širina pojasa habanja alata beleženi su za svaki prolaz obrade. Obrada je izvedena sa parametrima brzine i pomaka prikazanim u tabeli 1. Kombinacija ovih parametara su birane tako da alat bude izložen progresivnom habanju.

Tabela: 1 Parametri obrade

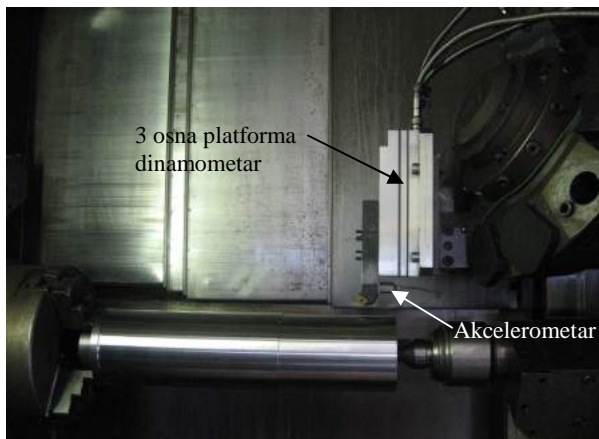
Materijal:	Č.4732 poboljšan na HRC27
Prečnik pripremk:	100 mm
Brzina rezanja:	170 m/min
Pomak:	0.25 mm/o
Tip alata:	„Sandvik Coromant" PTGNL presek drške 20x20
Pločica presvučena TiN:	TNMG 110408 PGP-415 P15, PP-CORUN



Slika 4. Šematski prikaz postavke eksperimenta

Merenje ubrzanja vibracija je izvedeno pomoću senzora postavljenog na bočnu površinu alata u pravcu aksijalne ose obratka slika 4. Kabel merača ubrzanja je povezan sa pojačivačem, koji je dalje povezan sa jedinicom za napajanje i sistemom za akviziciju podataka. Nakon montiranja senzora

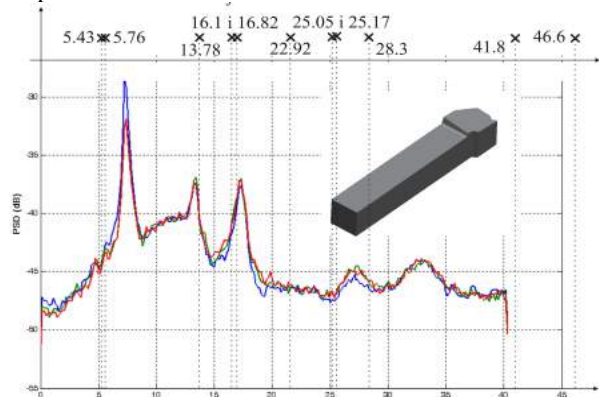
izvodi se probno merenje kako bi se proverile veze, odredio opseg pojačanja i proverili izlazni signali sa senzora. Akvizicija je rađena sa $F_s = 80 \text{ kHz}$, rezolucija 12 bit, $T_s = 2 \text{ sec}$. Slika 5 prikazuje postavku eksperimenta.



Slika 5. Postavka eksperimentalnog ispitivanja

4.1 Sopstvene frekvencije alata

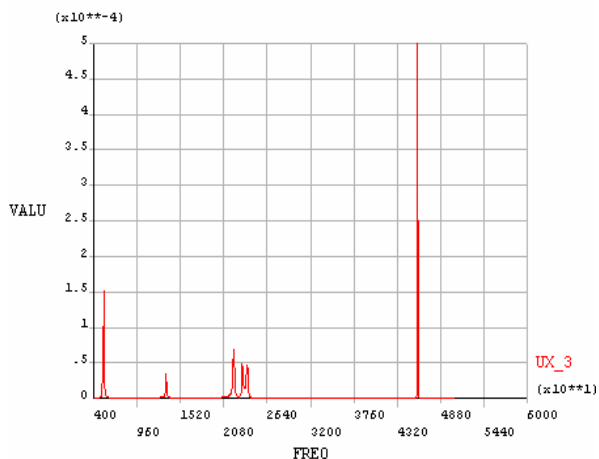
Na slici 6. dat je uporedni prikaz izračunatih sopstvenih frekvencija alata i spektra signala dobijenog sa akcelerometra. U okviru eksperimenta simultano su vršena merenja sile rezanja, pa je iz tog razloga strugarski nož pričvršćen je na dinamometar. Ovakva konfiguracija, zbog male krutosti dinamometra, nema značajan uticaj na dobijene eksperimentalne rezultate.



Slika 6. Uporedni prikaz frekventnog spektra signala akcelerometra u tipičnom režimu rezanja i izračunatih sopstvenih frekvencija alata primenom metode končnih elemenata.

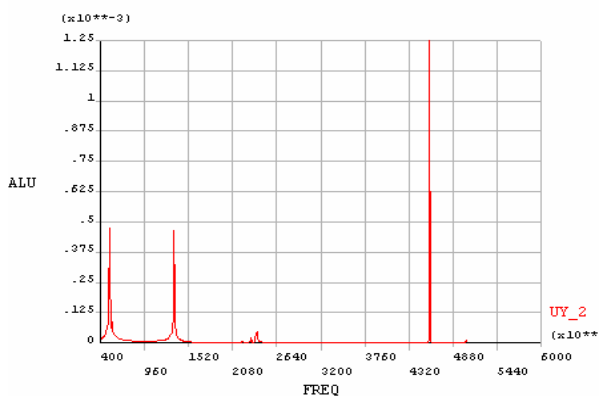
Na osnovu prikazanih rezultata konstatuje se da se skoro sve sopstvene frekvencije alata nalaze u gornjem domenu frekventnog spektra. Ova činjenica se može iskoristiti za tumačenje pojave dominantnih komponenti u eksperimentalno dobijenom spektru, posebno što se ove komponente nalaze vrlo blizu izračunatim sopstvenim frekvencijama alata. Ovim se potvrđuje upotrebljivost usvojenog pristupa u modeliranju i analizi dinamičkog ponašanja alata. U ovom slučaju značajne aproksimacije u postavci modela nisu potisnule dominantne efekte.

Za izračunavanje karakterističnih frekvencija oscilovanja drške noža primenjen je metod harmonijske analize oscilovanja u programskom sistemu Ansys. Harmonijskom analizom obuhvaćen je opseg frekvencija od 4 do 60 kHz. Slika 7 do 9 prikazuje dijagrame oscilovanja izračunate harmonijskom analizom.

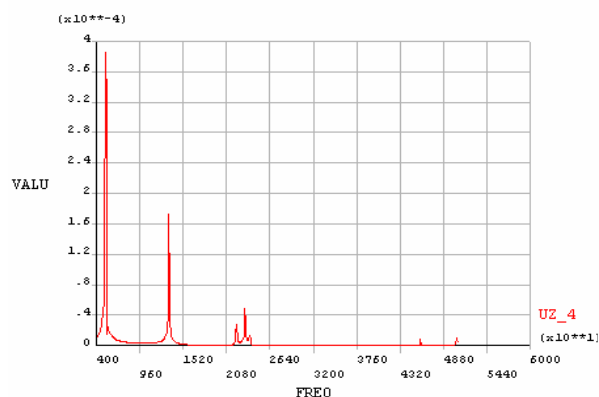


Slika 7. Amplitudno frekventni dijagram oscilovanja za X osu

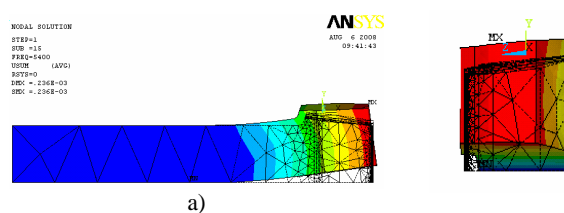
Primenom proračuna modalne i harmonijske analize sistema oscilovanja strugarskog noža dobijeni su veoma slični rezultati karakterističnih frekvencija oscilovanja drške noža.

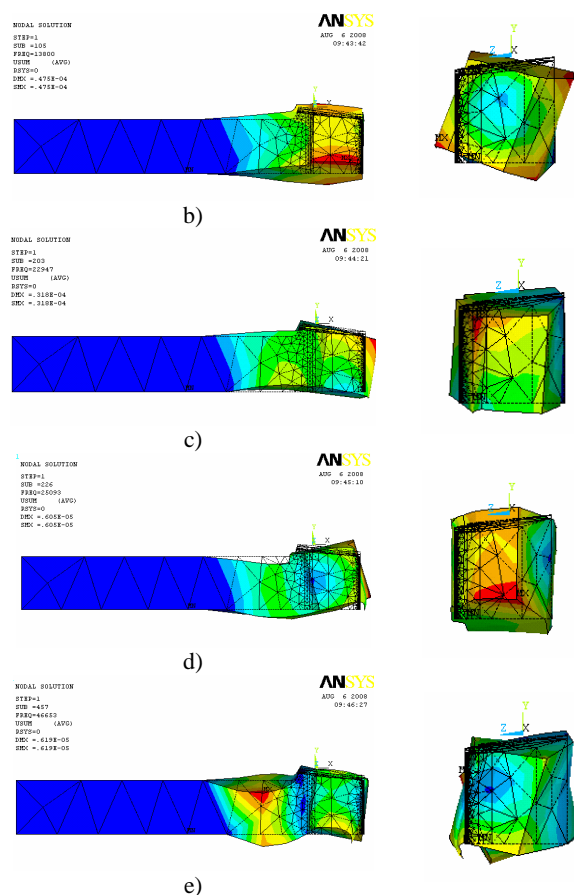


Slika 8. Amplitudno frekventni dijagram oscilovanja za Y osu



Slika 9. Amplitudno frekventni dijagram oscilovanja za Z osu



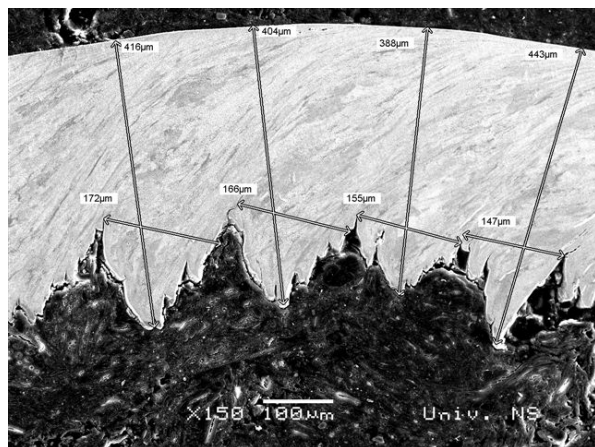


Slika 10 Oblici oscilovanja alata na izračunatim sopstvenim frekvencijama: a) 5,4 kHz; b) 13,8 kHz; c) 22,95 kHz; d) 25,09 kHz e) 46,65 kHz [1]

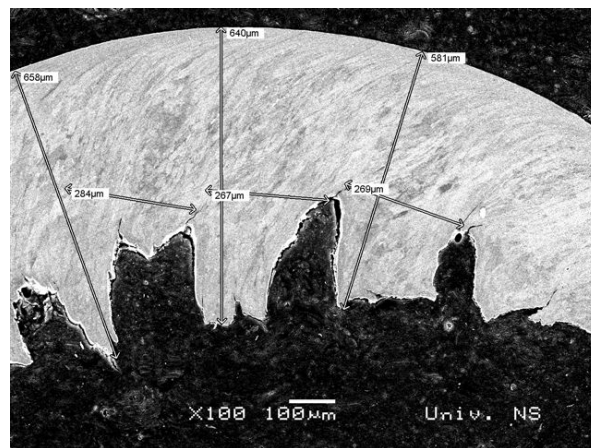
Slika 10 predstavlja glavne oblike oscilovanja na sopstvenim frekvencijama alata u opsegu od 400 Hz do 50 kHz.

4.2 Pobudna frekvencija

Na osnovu mikrogeometrije strugotine izmerene u toku izvođenja eksperimenta, primenom relacija (1) i (2) izračunate su frekvencije formiranja lamela.



Slika 11 Prikaz merenja debljine strugotine i koraka lamela za novu pločicu



Slika 12 Prikaz merenja debljine strugotine i koraka lamela za pohabanu pločicu

Na osnovu relacije (2) i rezultata merenja sa slike 11 izračunata je frekvencija nastajanja lamela za novu pločicu i ona iznosi $f_{str} \approx 25,5$ kHz. Upoređivanjem rezultata proračuna MKE i izračunatih vrednosti pomoću relacije (2) može se uočiti da se frekvencije veoma poklapaju što je prikazano na slikama koje predstavljaju amplitudno frekventni dijagram oscilovanja u pravcu pojedinih osa (slike 7 do 9) i na slici 10 d. koja predstavlja oblik oscilovanja drške noža na pojedinim sopstvenim frekvencijama.

4.3 Komentar

Analizirajući eksperimentalne rezultate i rezultate sopstvenih frekvencija izračunate primenom MKE mogu se povezati oblici oscilovanja na određenim frekvencijama sa uzrocima njihovog nastajanja:

1. na 5,4 kHz dešava se glavno savijanje i vibracije u pravcu glavnog otpora rezanja, y osa na modelu.
2. na 13,8 kHz dešava se glavno uvijanje oko x-ose noža izazvane otporom pomoćnog kretanja.
3. na 22,95 kHz složeno savijanje u više osa izazvano glavnim otporom rezanja
4. na 46,6 kHz složeno savijanje u više osa izazvano glavnim otporom rezanja i otporom pomoćnog kretanja.

Navedene sopstvene frekvencije u potpunosti pokrivaju deo frekventnog opsega u kome se nalaze dominantne komponente pobude generisane diskontinuitetima u procesu formiranja strugotine.

5. ZAKLJUČAK

Sprovedena istraživanja pokazuju da gornji deo spektra ubrzanja vibracija merenih na dršci strugarskog noža u zoni bliskoj reznom klinu nije dovoljno pouzdan za indirektnu identifikaciju promena stanja procesa formiranja strugotine izazvanih promenom stanja reznog alata, odnosno degradacijom njegovih reznih performansi habanjem. U opsegu od 15 do 50 kHz nalazi se veći broj sopstvenih frekvencija alata, što stvara prostor za pojavu rezonanse pod dejstvom pobudne sile koja nastaje fragmentacijom strugotine stvaranjem lamela. Povećanje intenziteta oscilacija alata izazvano simultanom rezonansom na većem broju frekvencija pokriva i deformiše korisni deo sadržaja koji dolazi od procesa formiranja strugotine. Na ovaj način otežava se identifikacija stanja reznog alata ili se u potpunosti onemogućava. Ovakva situacija je prepoznata u eksperimentalnim istraživanjima, a ona se najdirektnije manifestuje kroz nedovoljnu robusnost, odnosno osetljivost procesa prepoznavanja na lokalne uslove rezanja. Rešenje

ovog problema nameće potrebu razvoja metoda i tehnologije za rad na višim frekventnim opsezima, od preko 50kHz ili čak preko 100 kHz, na kojima je kontaminacija sadržaja koji dolaze od procesa formiranja strugotine vibracijama reznog alata minimalna i ima stabilni trend opadanja sa povećanjem frekvencije. Ključna tehnologija je u ovom slučaju tehnologija AE senzora (piezo senzori akustične emisije) koji funkcionišu od 100 kHz pa do 1MHz. Prelaz na ovu tehnologiju povezan je sa značajnim problemima u obradi signala.

6. LITERATURA

- [1] Antić A.: *Prepoznavanje stanja pohabanosti reznog alata primenom neuro fazi kalsifikatora*, doktorska disertacija u izradi, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [2] Sick B: *On-line and Indirect Tool Wear Monitoring in Turning with Artificial Neural Networks*, Mechanical Systems and Signal Processing No 16(4), pp487 – 546, 2002.
- [3] Kuo R.J.: *Multi-sensor integration for on-line tool wear estimation through artificial neural networks and fuzzy neural network*, Engineering Applications of Artificial Intelligence 13, pp249-261, 2000.
- [4] Xiaoli Li: *A brief review: acoustic emission method for tool wear monitoring during turning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42, pp157-165, 2002.
- [5] Bähre D.: *Prozeßbegleitende Zerspanbarkeitsanalyse beim Drehen von Stahl*, FBK Productionstechnische berichte, band 14, Univesität Kiserslautern, 1994.

Autori: Mr Aco Antić, Prof. dr Milan Zeljković, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495

Prof. dr Petar Petrović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd, +381 11 337 0341.

E-mail: antica@uns.ns.ac.yu;
pbpetrovic@mas.bg.ac.yu;
milanz@uns.ns.ac.yu

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektima "Istraživanje i razvoj kotrljajnih ležajnih sklopova i njihovih komponenti" broj projekta 14048 i projekta "Primena inteligentnih senzorskih sistema u razvoju integrisane automatizacije realnih i virtuelnih procesa proizvodnog preduzeća" broj 14035 (Istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008. - 2010.) koje finansira Ministarstvo nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije.

Babić, A., Pršić, D., Pljakić, M., Ilić, N.

JEDAN PRISTUP MODELOVANJA DODATNE OSE MAŠINA ALATKI

Rezime: Pristup integrisanog projektovanja predstavlja most koji povezuje pojedine etape projektovanja proizvoda i tehnologije i ima značajnu ulogu u smanjenju ukupnog vremena projektovanja, kao i troškova izrade. To znači da projektovanje tehnoloških procesa treba da bude povezano i sa planiranjem proizvodnje tj. izborom alata, pribora, uređaja za stezanje i mašine alatke.

Ključne reči: tehnološki proces, stezanje, dodatne ose, mašine alatke.

A APPROACH MODELLING OF THE ADDITIONAL AXIS OF THE MACHINE TOOLS

Abstract: The approach of the integrated design represents the bridge that connects certain phases of the product and technologies design and plays a significant role in the reduction of total design time, as well as production costs. This means that the design of technological processes has to be connected with the production planning, that is the choice of tools, equipment, pressing device and machine tool.

Key words: technological process, tightening, additional axes, machine tools.

1. UVOD

Integrisano projektovanje proizvoda i procesa u načelu ima za cilj formiranje konkurentnog proizvoda. U okviru ciklusa konceptualnog projektovanja varijantna i varijaciona rešenja proizvoda i usvojene tehnologije imaju dominantan uticaj na izbor mašina alatki za podršku u realizaciji usvojene tehnologije. U aktivnostima Centra za integrisani razvoj proizvoda i procesa MF Kraljevo, posebna pažnja se poklanja revitalizaciji postojećih tradicionalnih tehnologija u masovnoj izradi dela. Drugim rečima, radi se o parcijalnom reinženjeringu postojećih proizvodnih pogona velikih preduzeća koja još uvek nisu privatizovana. Uvažavajući ovaj pristup, u ovom radu se prikazuju postignuti rezultati u modelovanju mašine alatke u užem smislu (hardware) za podršku usvojenoj tehnologiji obrade dela, kućišta hidromotora, u fabrici Hidraulika, PPT iz Trstenika.

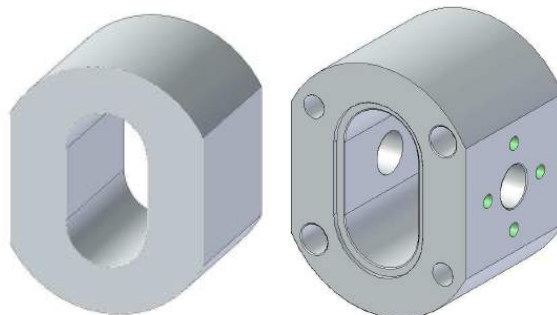
2. FUNKCIONALNO-TEHNOLOŠKA ANALIZA DELA [1], [2], [3], [4]

Proces formiranja konkurentnog proizvoda se u jednom delu vezuje za projektovanje tehnološkog procesa izrade dela. Imajući u vidu da je u ovom slučaju proces obrade kompletno definisan, analizirane su mogućnosti komponovanja mašine sa značajnim smanjenjem troškova izrade. Posebna pažnja u analizi se odnosi na izbor i usvajanje parametara tehnološkog procesa, odnosno pravilno izvrši izbor alata, način stezanja i pozicioniranja dela, mašine. Tehnološka analiza dela je pokazala da reinženjering uređaja za stezanje obradaka predstavlja signifikantan parametar u smanjenju troškova u procesu proizvodnje. Iz tog razloga je posebna pažnja posvećena modelovanju mašine alatke sa specijalnim uređajem za stezanje koji u ovom slučaju predstavlja dodatnu četvrtu upravljačku osu.

Preliminarna tehnološka analiza dela izvedena je na osnovu:

- Geometrijskog oblika,
- Dimenzija i njihovih tolerancija,
- Tolerancija oblika i položaja,
- Kvaliteta obrađene površine (hrapavost), i
- Materijala priprema.

Ove generalne opservacije predstavljaju osnov za početnu procenu proizvodnih metoda za obradu dela. Na osnovu pravila prioriteta preko dimenzionih, geometrijskih, tehnoloških i ekonomskih ograničenja dobijena je matrica zavisnosti. Korišćenjem tako uspostavljenih zavisnosti formira se matrica sledljivosti. Kao izlaz iz matrice sledljivosti javlja se logičan redosled zahvata (teorijski zahvati).



Slika 2.1. Pripremak i gotov deo

3. IZBOR REZNOG ALATA [6]

Reizbor reznog alata je definisan bazi potrebnih alata specificiranih u tradicionalnom pristupu obrade kao i u procesu izrade na mašini sa magacinom alata prema matrici sledljivosti za usvojenu tehnologiju. Pri izboru alata poštovano je pravilo da alati budu standardni ukoliko je to moguće.

Izbor alata je izveden za svaku od operacije pri čemu je usvojena jedna vrsta standardnih alata što ne znači da ne postoji i druga vrsta prihvatljivih alata.

4. ANALIZA POZICIONIRANJA I STEZANJA [3], [4]

Obrada mehanički ispravnog dela (obratka) zahteva kvalitetan pripremak, njegovo pravilno stezanje i definisanje lokacije (položaja i orijentacije) u prostoru. Kao dodatak definisanju pozicioniranja karakterističnih površina,

neophodno je projektovati način čvrstog držanja dela u zadatom položaju pod dejstvima spoljašnjih sila kao što su sila gravitacije, sile rezanja, vibracije, centrifugalne sile itd. Ovo je uloga uređaja za stezanje poznatih kao 'stege' ili držači radnog predmeta'. On ne treba da utiče na ranije određenu funkciju pozicioniranja, ali ima funkciju obezbeđivanja stabilnosti dela. Stezni uređaji moraju imati odgovarajuću silu stezanja da ne bi preteranim pritiskom oštetili deo u dodirnim tačkama.

4.1. Tipovi stezanja kod glodanja i bušenja

Projektovanje steznih pribora i uređaja za stezanje radnog komada na mašini je realizovano primenom savremenih CAD/CAM programskih paketa. Položaj stezanja, ranije opisan, mora se povinovati zahtevima tačnosti izrade i poštovati odnos između segmenata dela. Takođe mora obezbediti da se deo ne pomera u toku obrade, da delovi steznog pribora ne ometaju kretanje alata ili izazovu povećanje hoda alata i da je omogućeno lako uklanjanje strugotine.

Dodatni parametri/pravila izeti u obzir u projektovanju su:

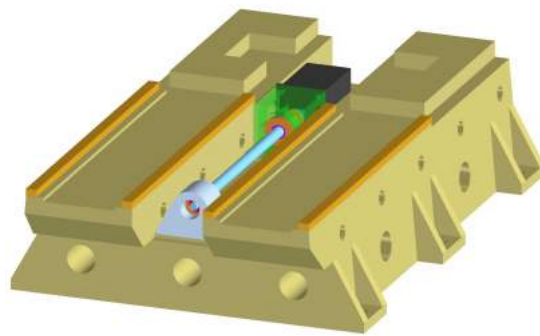
- stege trebaju biti postavljene i čvrsto podešene direktno iznad noseće površine steznog uređaja;
- stege uvek moraju da dodiruju deo u njegovim najtvrdim tačkama;
- sile rezanja trebaju biti usmerene u pravcu pozicionera, a ne prema stegama;
- smer sila stezanja treba biti usmeren prema pozicionerima geometrijskog tela i u takvim slučajevima kao način da se deo zadrži u steznom uređaju;
- površina držača dela mora biti ravna i ravnomerno oslonjena, bez deformacija usled sila stezanja steznog uređaja;
- pozicioneri steznog uređaja moraju biti razdvojeni praktično što više;
- pozicioneri moraju biti postavljeni da izbegnu strugotinu i strani predmet kad god je to moguće;
- deo mora biti u mogućnosti da se optereti u steznom uređaju u samo jednom položaju; i
- bušenje u vodicama se primenjuje kad god je to moguće.

5. MODELOVANJE MONTAŽNE STRUKTURE MAŠINE ALATKE I DODATNE OSE [1], [2]

Koncept mašine alatke u užem smislu je definisan u cilju podrške za usvojeni proces obrade. Da bi se izvršili potrebni zahvati pri obradi kućice hidromotora, varijante mašina moraju da imaju odgovarajuća kretanja koja obezbeđuju nezavisne celine – moduli. Za svako kretanje, bilo da je glavno ili pomoćno, mora postojati odgovarajući modul koji obezbeđuje to kretanje. Za stezanje obradaka potrebno je projektovati uređaj za stezanje. Na ovaj način izvršena je modularna analiza na bazi koje se vrši projektovanje mašina alatki i uređaja za stezanje. Iz fonda raspoloživih modula CIRPP-a biraju se oni odgovaraju postavljenim zahtevima.

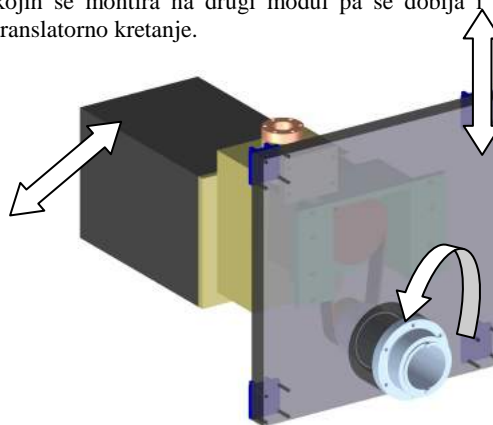
5.1. Moduli za modelovanje montažne strukture mašina alatki i uređaja za stezanje

Prvi modul je modul postolja za horizontalnu ili vertikalnu mašinu alatku. Ovaj modul je stacionaran. U sklopu sa ovim modulom je pogonski sistem i vodice koje omogućuju translatorno kretanje drugom modulu koji se montira na njega.



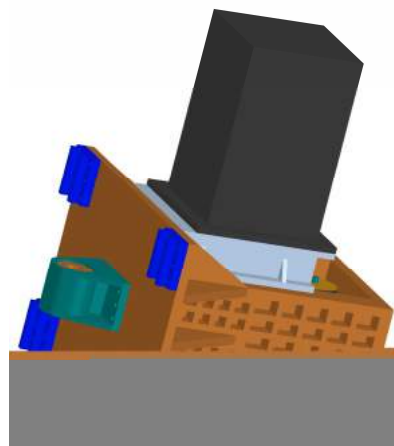
Slika 5. 1. Nepokretni deo modula za translatorno kretanje kod horizontalne mašine (postolje)

Drugi modul je modul za glavno kretanje alata kod horizontalne mašine alatke. Za ovo kretanje postoji nezavisan pogonski sistem. Na ovom modulu se nalaze i klizači preko kojih se montira na drugi modul pa se dobija i vertikalno translatorno kretanje.



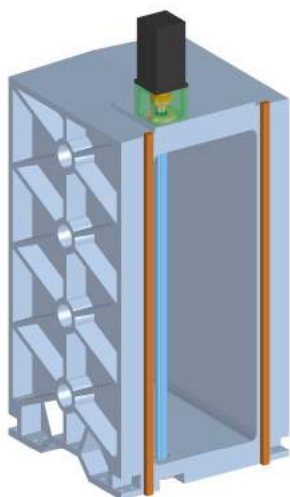
Slika 5.2. Modul za glavno kretanje kod horizontalne mašine alatke

Treći modul je modul za glavno kretanje alata kod vertikalne mašine alatke. Za ovo kretanje postoji nezavisan pogonski sistem. Na ovom modulu se nalaze i klizači preko kojih se montira na drugi modul pa se dobija i vertikalno translatorno kretanje.



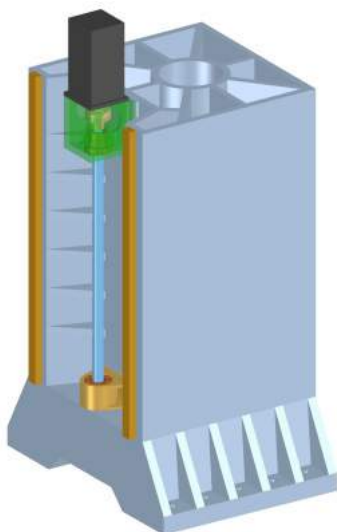
Slika 5.3. Modul za glavno kretanje alata kod vertikalne mašine alatke

Četvrti modul je vertikalni stub koji obezbeđuje translatorno kretanje modula za glavno kretanje. Posедуje pogonski sistem kojim se omogućuje vertikalno kretanje modula nosača alata kod horizontalne mašine alatke.



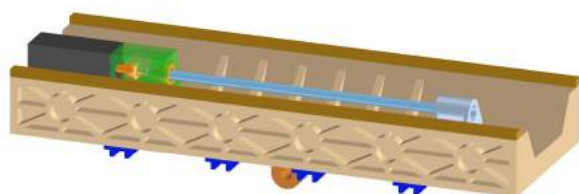
Slika 5.4. Modul stuba kod horizontalne mašine alatke

Peti modul je modul stuba koji je potreban da obezbedi vertikalno kretanje modula nosača alata. Posедуje pogonski sistem koji i omogućуje to kretanje. Ovaj modul se naziva nepokretni stub.



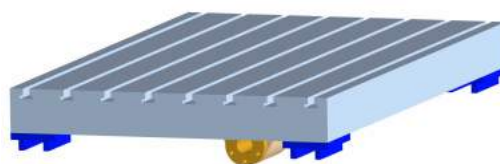
Slika 5.5. Modul stuba kod vertikalne mašine alatke (nepokretni stub)

Šesti modul obezbeđuje dva kretanja na mašini alatki i to dva translatorsna kretanja. Poseduje jedan par vođica i jedan pogonski sistem koji omogućуju translatorsno kretanje drugog modula. Takođe ima i dva para klizača koji služe za translatorsno kretanje ovog modula po postolju kod horizontalne/vertikalne bušilice– glodalice.



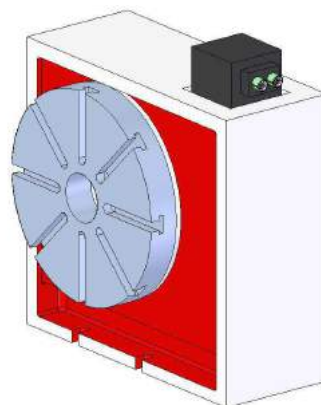
Slika 5.6. Poprečni nosač

Sedmi modul-modul radnog stola obezbeđuje jedno translatorsno kretanje. Nema pogonski sistem ali ima klizače i prihvata kretanje sa pogonskog sistema drugog modula.



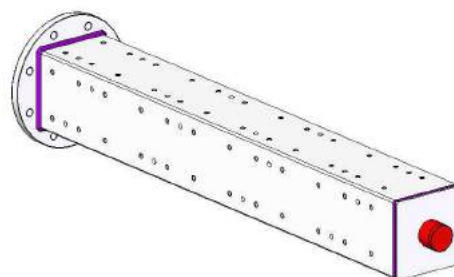
Slika 5.7. Modul radnog stola

Osmi modul je modul obrtnog stola. Poseduje poseban pogonski sistem koji obezbeđuje obrtno kretanje obratka. Pomoću ovog modula se uvodi dodatna osa upravljanja kod vertikalnih ili horizontalnih bušilica glodalica.



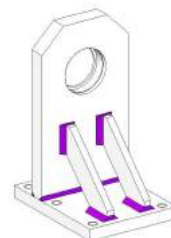
Slika 5.8. Modul obrtnog stola

Deveti modul je modul nosača steznih uređaja. On omogućуje istovremeno pozicioniranje 16 steznih uređaja, po 4 sa svake strane. Ovaj modul je u vezi sa obrtnim stolom sa jedne i uležištenjem sa druge strane.



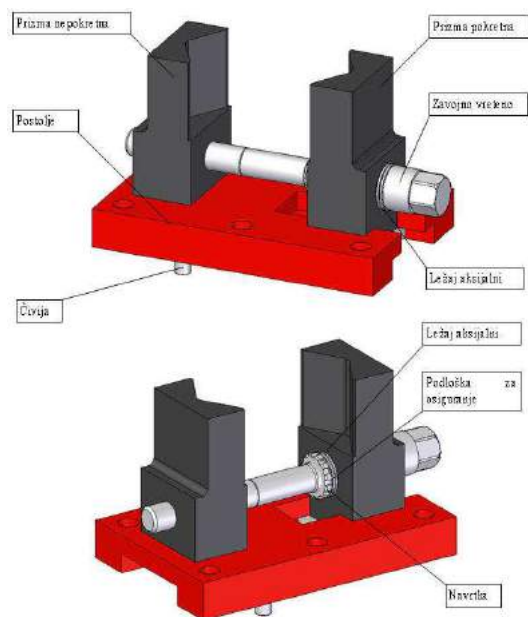
Slika 5.9. Modul nosača

Deseti modul je modul uležištenja. Koristi se za vezu modula nosača steznih uređaja i modula stola mašine alatke.



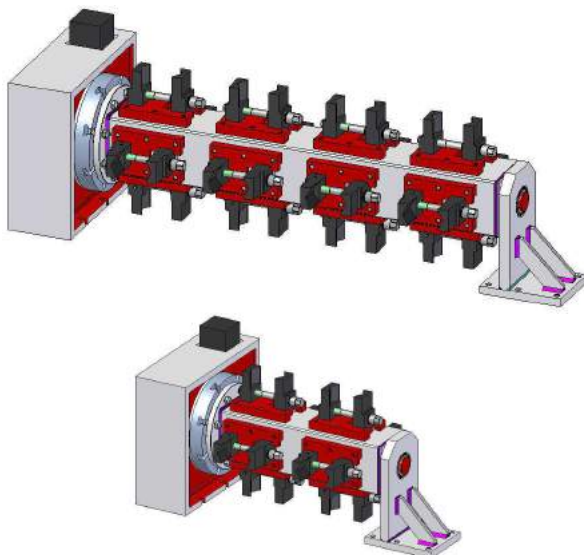
Slika 5.10. Modul uležištenja

Jedanaesti modul je modul uređaja za stezanje. Služi za stezanje i pozicioniranje radnog predmeta (kućice hidromotora) u toku obrade.



Slika 5.11. Modul uređaja za stezanje

Uređaj za stezanje, u sklopu sa nosačem, uležištenjem i obrtnim stolom predstavlja dodatnu osu na mašinama alatkama. U ovoj i sledećoj varijanti su izabrane troosna vertikalna bušilica/glodalica i troosna horizontalna bušilica/glodalica, tako da sklop uređaja za stezanje predstavlja četvrtu dodatnu osu. Ovom dodatnom osom se povećava produktivnost, u jednom stezanju se obrađuje 16 kućišta hidromotora. Broj kućišta koje se istovremeno obrađuju uslovljen je maksimalnom postojanošću alata, tako da alat može obraditi svih 16 kućišta, bez izmene alata u međuvremenu. Nakon izvršene obrade se vrši izmena i alata i radnih predmeta. Na sledećoj slici 5.12 je prikazan je izgled uređaja za stezanje, koji je modelovan parametarski i varijantno tako da se može koristiti za stezanje kućišta hidromotora različitih dimenzija i za odgovarajući broj komada koji se mogu prihvatiti.



Slika 5.12. Uređaj za stezanje sa uležištenjem projektovan za 8 i 16 kućica hidromotora

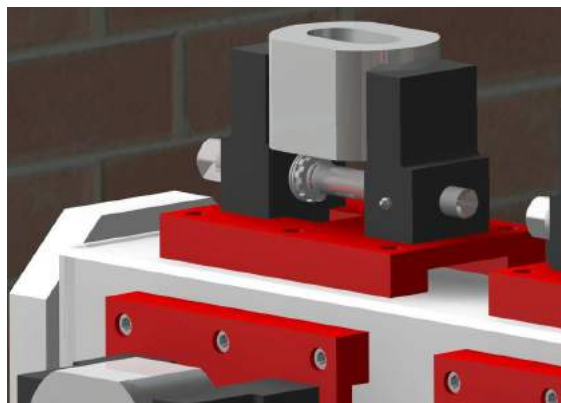
5.2 Realizacija usvojenog tehnološkog procesa na varijantno izabranim mašinama alatkama

Pripremak za izradu kućice hidromotora je ekstrudirana šipka od aluminijuma i prikazan je na slici 2.1.

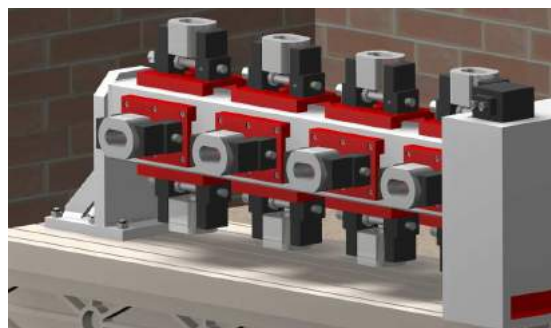
Na osnovu tehnologije koja predstavlja izlaz iz matrice

sledljivosti proces izrade kućice hidromotora se obavlja u dva stezanja.

U prvom stezanju pripremci se postavljaju u uređaj za stezanje, jedan po jedan, i izgled priprema je prikazan na slikama 5.13 i 5.14.

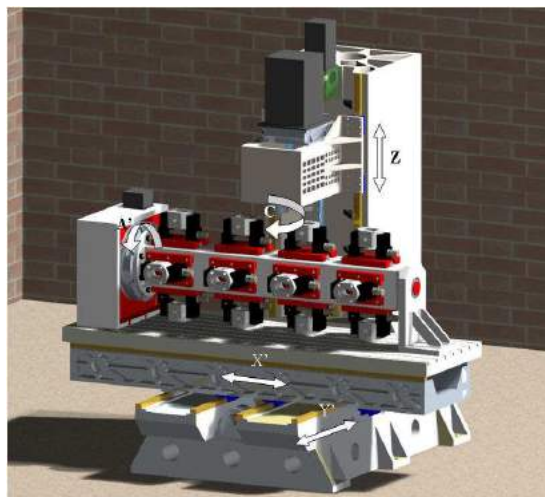


Slika 5.13. Izgled priprema u steznom uređaju



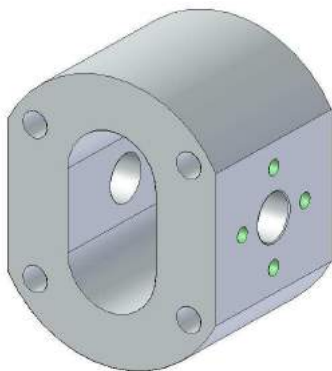
Slika 5.14. Izgled priprema u steznom uređaju - Stezanje A

U prvoj varijanti mašina alatka koja se koristi pri obradi kućice hidromotora je vertikalna bušilica/glodalica slika 5.15. Ova mašina alatka ima dve translacije i jednu rotaciju radnog predmeta, jedno translatorno i jedno rotaciono kretanje alata. Na ovoj mašini numerički su upravljane 4 ose- X' , Y' , Z , i A' .



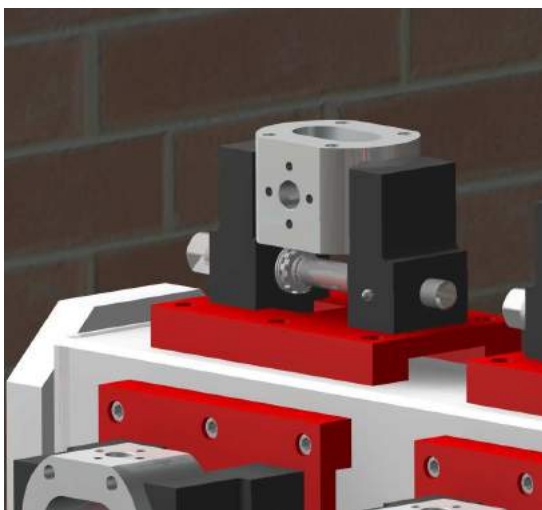
Slika 5.15. Vertikalna bušilica/glodalica

Nakon izvršenih operacija u prvom stezanju radni predmet se okreće pa se zatim izvode operacije u drugom stezanju. Radni predmet nakon izvršenih operacija u stezanju A je prikazan na slici 5.16.



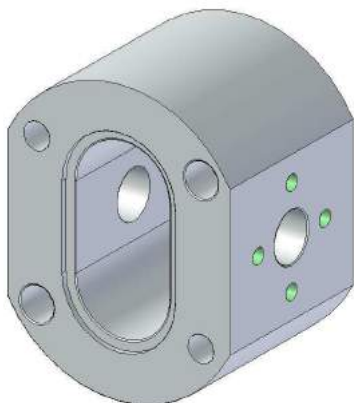
Slika 5.16. Kućica hidromotora nakon stezanja A

Izgled pripremaka u steznom uređaju, Stezanju B prikazan je na slici 5.17.



Slika 5.17. Izgled priprema u steznom uređaju-Stežanje B

Konačan proizvod kućice hidromotora nakon izvršene obrade zadate tehnologijom, nakon stezanja B, je prikazan na slici 5.18.

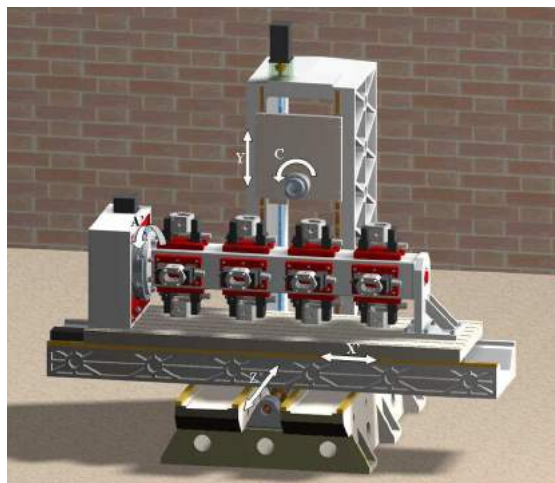


Slika 5.18. Završni oblik kućice hidromotora

Druga varijanta se razlikuje od prve samo u izabranoj mašini alatki. Umesto vertikalne izabrana je horizontalna bušilica/glodalica, a stezni pribor i izabrani alati su isti kao u prvoj varijanti.

Na sledećoj slici 5.20. je prikazana horizontalna bušilica/glodalica. Ova mašina alatka ima dve translacije i jednu rotaciju radnog predmeta, jedno translatorno i jedno rotaciono kretanje alata. I na ovoj mašini se upravljaju 4 ose- X', Y', Z, i A'.

Pripremak, radni predmet i završni oblik kućišta hidromotora su isti kao u prethodnoj varijanti.



Slika 5.20. Horizontalna bušilica/glodalica

6. ZAKLJUČAK

Postignuti rezultati u okviru ovog rada su odraz istraživanja varijantne opcije tehnološkog procesa proizvodnje kućišta hidromotora uz korišćenje već postojećih mašina alatki. Javila se potreba za uvođenjem dodatne ose na postojećim troosnim obradnim centrima.

Rezultati istraživanja su proistekli iz vrlo obimne teorijske analize pojedinačnih parametara koji direktno uplivišu u generisanje tehnološkog procesa. Ovde se navode sledeći parametri:

- redosled tehnoloških operacija,
- izbor alata,
- projektovanje specifičnog uređaja za stezanje,
- montažne strukture mašine alatke na bazi fonda raspoloživih modula.

7. LITERATURA

- [1] Babić, A., *Tehnologija montaže*, Mašinski fakultet Kraljevo, 2005.
- [2] Babić, A., *Projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet Kraljevo, 2005.
- [3] Babić, B., *Projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet Beograd, 1999.
- [4] Halevi, G., Weill, R., *Principles of Process Planning, A logical approach*, Chapman&Hall, London, 1995.
- [5] Milačić, V., R., *Mašine alatke I, Sistem analiza*, Mašinski fakultet Beograd, 1980.
- [6] Kalajdžić, M., *Tehnologija mašinogradnje I*, Mašinski fakultet Beograd, 1989.

Autori: Ph.D. Arandjel Babić, Profesor of the Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo, Ph.D. Dragan Pršić, Docent of the Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo, M.Sc. Marina Pljakić, Mech. Eng., M.Sc. Nemanja Ilić, Mech. Eng.

E-mail: office@imr-institute.co.yu
prsic.d@mfkv.kg.ac.yu
marinap@gonet.co.yu
ilic.n@mfkv.kg.ac.yu

Napomena: Rad je realizovan u okviru projekta Integrisani razvoj procesa simultanog projektovanja specifičnih proizvoda za varijantnu obradu infrastrukturnih profila koje finansira Ministarstvo nauke Republike Srbije.

Dimić, Z., Živanović, S., Kvirgić, V.

KONFIGURISANJE EMC2 ZA PROGRAMIRANJE I SIMULACIJU VIŠEOSNIH MAŠINA ALATKI U PYTHON VIRTUELNOG GRAFIČKOM OKRUŽENJU

Rezime: U radu će biti predstavljen način simulacije višeosnih mašina alatki u open-source softverskom paketu EMC2. Kroz primer vertikalnog strugarskog obradnog centra i šestoosnog robota, biće prikazan način integrisanja funkcija indirektna i direktne kinematike, način modelovanja komponenti mašine alatke u Python okruženju EMC2, njihovo povezivanje u celinu mašine i animacija u funkciji NC programa obrade.

Ključne reči: mašina alatka, industrijski robot, modeliranje, programiranje, simulacija

CONFIGURING EMC2 FOR PROGRAMMING AND SIMULATION MULTI AXIS MACHINE TOOLS IN PYTHON VIRTUAL ENVIRONMENT

Abstract: The paper presents simulation procedure of multi axis machine tools in open-source software system EMC2. Simulation results are given on the example of vertical turning machining center and 6-dof robot, using Python programming language.

Key words: machine tools, industrial robot, modeling, programming, simulation

1. UVOD

Istraživanja u oblasti upravljanja višeosnim mašinama alatkama kao obradnim sistemima su postala dominantna u istraživačkim institucijama koja se bave razvojem numeričkih upravljačkih sistema. Pojava open-source softverskog paketa EMC (*Enhanced Machine Controller*) [2,3,4] i novog *AXIS* grafičkog interfejsa, u mnogome je doprinela značajnom unapređenju razvoja nove generacije CNC upravljačkih sistema. Nova verzija ovog softvera, EMC2, je donela velike novine. Postojeći grafički interfejsi koji prikazuju putanju alata, unapređeni mogućnošću prikaza kretanja kompletne mašine u virtuelnom Python 3D okruženju. Na taj način se mogu uočiti eventualne kolizije koje mogu nastati u toku izvršenja programa.

U radu se konfigurisanje virtuelne mašine alatke ostvaruje definisanjem objekata prethodno definisanih klasa u Python programskom jeziku. Definisani objekti predstavljaju grafički prikaz uprošćenog modela mašine, kakav se može definisati i u nekom CAD sistemu. Povezivanjem virtuelne mašine alatke sa upravljačkim jezgrom EMC2 kompletira virtuelno grafičko okruženje za programiranje, upravljanje i simulaciju.

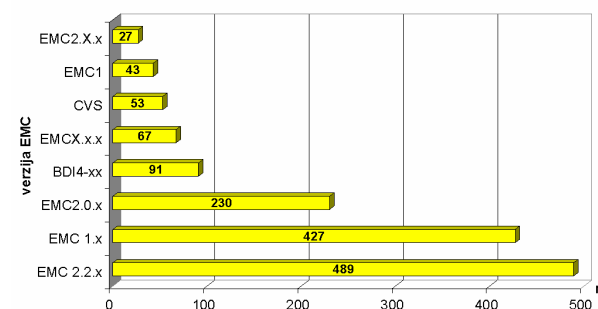
2. STANJE ISTRAŽIVANJA U SVETU

Trenutno aktuelna verzija *EMC pre-2.3 CVS* donosi značajne novine i poboljšanja, kao što su:

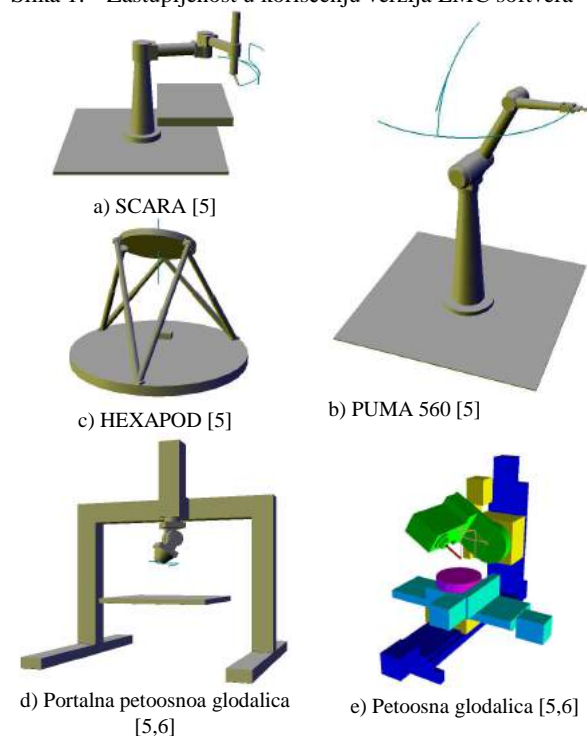
- mogućnost dodavanja boja segmentima mašine u virtuelnom 3D okruženju, slika 2e),
- animacija sekvence inicijalizacije mašine, zahvaljujući dodatnim virtuelnim graničnim senzorima,
- grafički interfejs *AXIS* je dobio srpski prevod,
- u Selektor konfiguracija (*EMC Configuration Selector*) su dodati primeri novih mašina, slika 2.

Anketa sa sajta [3], o zastupljenosti korišćenja pojedinih verzija EMC softvera pokazana je na slici 1 i ukazuje na brz prodor novijih verzija softvera u krugove korisnika. Na ordinati je prikazana verzija EMC-a, a na apscisi broj korisnika. To ukazuje na činjenicu da nove verzije sa sobom nose značajna poboljšanja, a koja su često inicirana

zahtevima korisnika.



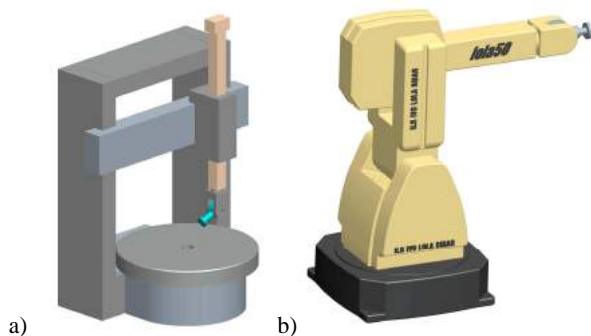
Slika 1. Zastupljenost u korišćenju verzija EMC softvera



Slika 2. Virtuelni modeli robota i mašina alatki

3. MODELI VIŠEOSNIH MAŠINA ALATKI

U radu se kao primeri višeosnih mašina alatki posmatraju jedan vertikalni petoosni strugarski obradni centar sa funkcijom glodanja i jedan obradni sistem za obradu rezanjem na bazi industrijskog robota LOLA 50.



Slika 3. CAD modeli a) vertikalnog petoosnog strugarskog obradnog centra i b) industrijskog robota LOLA 50

Vertikalni petoosni strugarski obradni centar, može da radi klasično struganje delova velikih prečnika (radni sto je prečnika 3400mm), ali može na delovima tako velikih gabarita ostvarivati i operacije 5-oosnog glodanja.

Industrijski robot LOLA50 se ovde razmatra kao deo jednog multifunkcionalnog rekonfigurabilnog obradnog sistema za višeosnu obradu delova velikih gabarita od mekih materijala, srednje i niže klase tačnosti. Za početak je planirana 5-oosna obrada, kada sva kretanja ostvaruje robot, a obradak miruje na radnom stolu.

Oba ova obradna sistema su realizovana kao virtuelne mašine alatke i kao takve integrisane su sa odgovarajućom kinematikom u sistem za upravljanje EMC2.

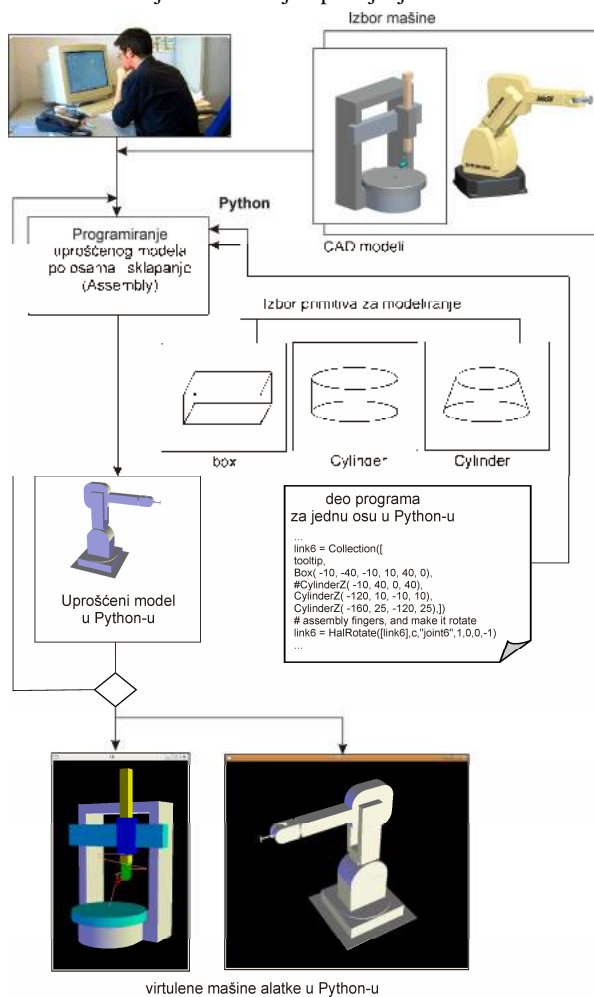
4. KONFIGURISANJE VIRTUELNOG MODELA

Konfigurisanje virtuelnih modela je ostvareno programiranjem u programskom jeziku Python. Algoritam njihovog programiranja je dat na slici 4. Postupak modeliranja virtuelnog modela se ovde svodi na programiranje koordinata, za definisanje elementarnih geometrijskih tela. Da bi se posao olakšao dobro je izmodelirati uprošćeni model u nekom CAD sistemu, odakle se mogu preuzeti potrebne koordinate za definisanje primitiva. Primer razmatranih CAD modela dati su na slici 3. Na osnovu informacija iz CAD modela programira se značajno uprošćeni virtuelni model, koji se može opisati pomoću elementarnih primitiva (*Box*, *Cylinder*,...) datih na slici 4. Ovi primitivi se grupišu u obrtne ili translatorne ose. Bitno je da svi esencijalni geometrijski parametri budu korektno modelirani, dok dimenzije koje ne utiču na kinematiku mogu biti približne. Pri programiranju treba voditi računa o smerovima osa, koje treba postaviti prema kinematičkom modelu koji je pre toga uspostavljen. Tokom konfigurisanja virtuelnog modela, programira se jedna po jedna osa i odmah vrši proveru, da bi se greške odmah ispravile, a zatim krenulo u definisanje sledeće ose.

Kao rezultat se dobija virtuelni model mašine u *Python* 3D okruženju koji se integriše sa grafičkim interfejsom *Axis* i upravljačkim jezgrom EMC2. U prozoru virtuelne mašine može se videti kretanje segmenata mašine i robota prema programu upravljanja (G-kodu), kao i putanja alata koja se pri tome ostvaruje.

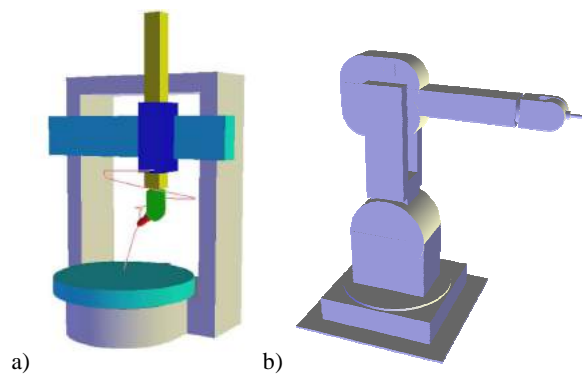
Virtuelna simulacija se ovde razmatra u cilju testiranja i verifikacije programa pre odlaska na obradni sistem. Ovo je vrlo bitno naročito kada se vrši prvo probno puštanje robota sa novim upravljanjem, ili kada nemate mašinu, a trebate da

izvršite testiranje i verifikaciju upravljanja.



Slika 4. Algoritam programiranja virtuelnih mašina alatki u Python programskom jeziku

Dobijeni virtuelni modeli mašina programiranjem u Python programskom jeziku pokazani su na slici 5.



Slika 5. Virtuelni modeli a) vertikalnog petoosnog strugarskog obradnog centra i b) industrijskog robota LOLA50

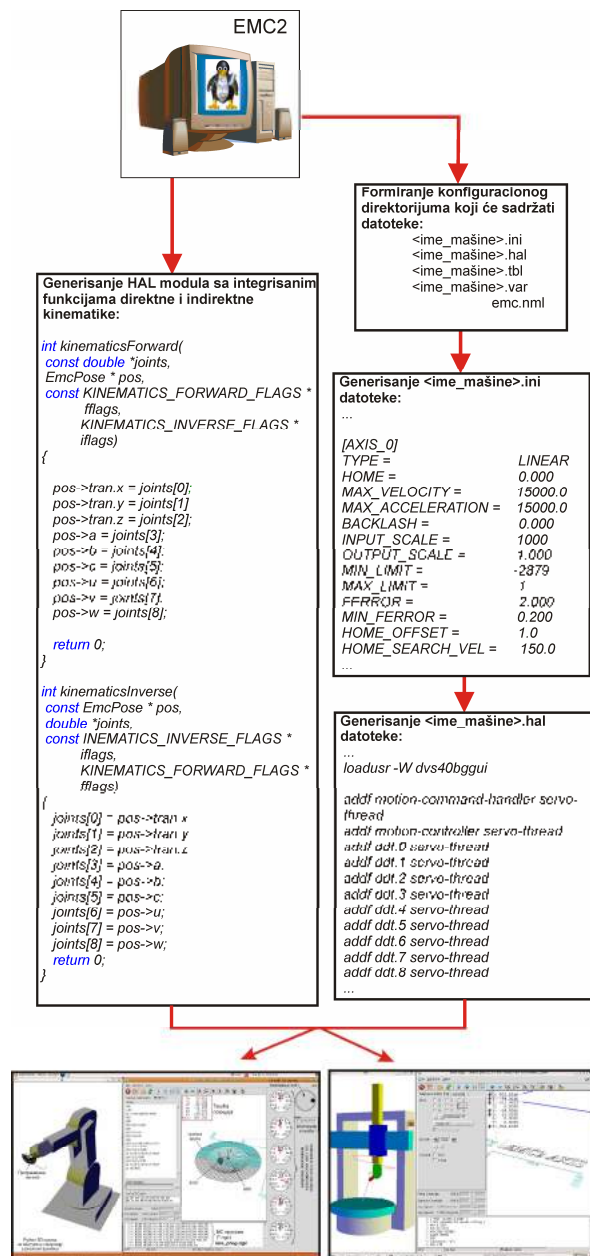
Virtuelna simulacija omogućava *off-line* programiranje sa testiranjem i verifikacijom programa na udaljenom programerskom mestu bez angažovanja samog robota. Pošto je ovde reč o *real-time* simulaciji kinematike cele konfiguracije mašine, ona se može iskoristiti i za praćenje obrade sa udaljenog mesta. Rad u virtuelnom okruženju je pogodan i sa aspekta obuke i edukacije za programiranje ovakvih obradnih sistema.

5. KONFIGURISANJE EMC2

Značajnu novinu EMC-u donose HAL (*Hardware Abstraction Layer*) komponente koje omogućavaju jednostavnu integraciju funkcija inverzne i direktne kinematike u sistem za upravljanje, kao i uniformni interfejs za povezivanje sa dodatnim hardverskim komponentama.

Pod pojmom konfigurisanja EMC2, slika 6, podrazumeva se:

- generisanje HAL modula sa integrisanim funkcijama direktne i indirektna kinematike;
- formiranje konfiguracionog direktorijuma za konkretnu mašinu;
- definisanje *.ini datoteke koja sadrži parametre mašine, kao što su dužine radnih osa, maksimalne i radne brzine i ubrzanja za pojedine ose, izbor sekvence inicijalizacije, parametre pozicionog PID regulatora, parametre vezane za rad sistema u realnom vremenu itd;
- definisanje *.hal datoteke koja sadrži elemente vezane za generisanje pozicionih servo petlji, parametre HAL interfejsa ka mašini, realnoj ili virtualnoj, elemente neophodne za inicijalizaciju virtualne mašine itd;

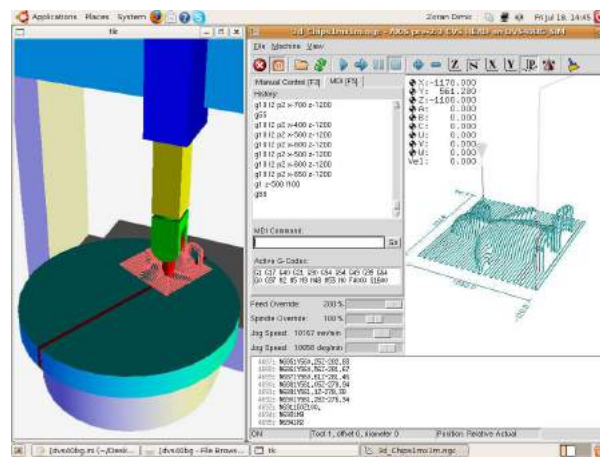


Slika 6. Konfigurisanje EMC2

6. VERIFIKACIJA VIRTUELNOG OKRUŽENJA

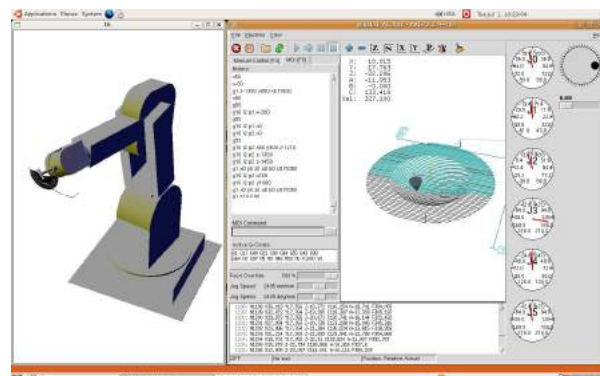
Verifikacija rada virtuelnih modela razmatranih mašina je ostvarena virtuelnom obradom, odnosno simulacijom kretanja virtuelnih modela, za zadate programe upravljanja u G kodu. Programi u G kodu su pripremljeni primenom CAD/CAM sistema, odakle su učitani u okruženje EMC2. Ovde je ponovo izvršeno testiranje programa i pokrenuto izvršavanje programa na virtuelnim modelima strugarskog obradnog centra i robota. Na strugarskom obradnom centru je testiran program za obradu glodanjem složene površine u obliku Linux-ovog pingvina, dok je na robotu obrađeno sferno udubljenje petoosnom obradom.

EMC2 ima mogućnost korišćenja različitih grafičkih interfejsa. Ovde je pokazan najčešće korišćeni interfejs AXIS integrisan sa ekranom u kome je prikazana virtuelna simulacija u realnom vremenu, slike 7 i 8. Virtuelna simulacija omogućava kretanje modeliranih segmenata strugarskog obradnog centra i robota, sa alatom na kraju, koji na ekranu iscrtava putanju alata, koja je nastala kao rezultat izvršenja programa (G - koda), u realnom vremenu, na isti način kao da upravljamo pravom mašinom.

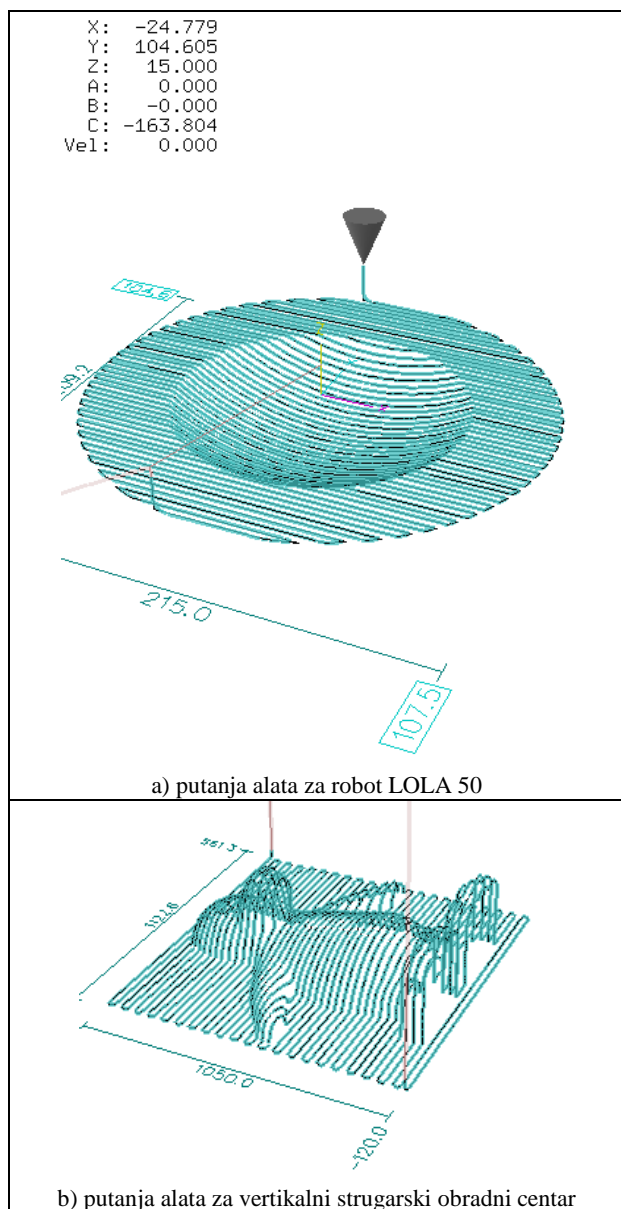


Slika 7. Primer virtuelne simulacije obrade pingvina na strugarskom obradnom centru sa funkcijom glodanja

AXIS interfejs je za robota dodatno prilagođen dodavanjem vizuelnih pokazivača unutrašnjih koordinata svih šest obrtnih osa u stepenima, u zadatim granicama. Na taj način se vizuelno kontroliše položaj svake ose u realnom vremenu i uočava kada je neka osa došla do granične pozicije. Prilikom simulacije programa obrade, dolazi do zaustavljanja daljeg izvršenja ukoliko bilo koja od osa prekorači svoje granice. Na taj način se obezbeđujemo da se na realnom robotu neće izvršiti program koji ga može dovesti u kolizionu situaciju. Svaka od osa se može pomerati i u ručnom režimu pomoću točkića (JOG), kome zadajemo rezoluciju pomeranja.



Slika 8. Primer virtuelne simulacije obrade na LOLA 50



Slika 9. Prikazi putanja alata u EMC2 po završenoj obradi

Testiranje programa se vrši kako u okruženju CAD/CAM sistema (*Pro/Engineer*) tako i u okruženju softvera *EMC2*, slike 8 i 9, pre nego se program pošalje na mašinu. Pošto se u *EMC2* softveru mogu zadati granice radnog prostora, to se verifikacijom programa, pored ostalog, proverava i da li je radni predmet dobro postavljen u odnosu na radni prostor, kao i da li su sva kretanja izvodljiva s obzirom na postavljene granice u zglobovima.

7. ZAKLJUČAK

Osnovni ciljevi predstavljenih istraživanja se mogu sumirati na razvoj koncepta CNC upravljanja za mašine alatke specifične konfiguracije. Ovo su mašine koje za razliku od konvencionalnih mašina, nemaju trivijalnu kinematiku.

U radu je realizovano modeliranje dva primera virtuelnih mašina alatki, koje nemaju trivijalnu kinematiku i to: jedan vertikalni petoosni strugarski obradni centar sa funkcijom glodanja i jedan obradni sistem za obradu rezanjem na bazi industrijskog robota LOLA 50.

Razvoj virtuelnih okruženja za programiranje i simulaciju rada mašina alatki je značajan jer omogućava *off-line* programiranje sa testiranjem i verifikacijom programa. Rad u virtuelnom okruženju je pogodan i sa aspekta obuke i

edukacije za programiranje ovakvih obradnih sistema, pogotovu u domaćim obrazovnim ustanovama, gde vlada hronični nedostatak savremenih mašina alatki i robota. Na ovaj način i bez postojanja fizičkih resursa novih mašina, moguće je ostvariti obuku za njihovo programiranje.

Dosadašnja iskustva i ostvareni rezultati na polju istraživanja upravljanja na bazi EMC-a, kao i rezultati ovog rada su dobra osnova da se realizuju i virtuelne mašine alatke sa paralelnom kinematikom, čija je realizacija vrlo složena. Ona podrazumeva realizaciju primitiva u Python programskom jeziku i značajnu modifikaciju funkcija direktne i indirektne kinematike date mašine sa paralelnom kinematikom da bi bila podržana sva kretanja u virtuelnom modelu. Ova složenost u kinematičkom modelu potiče od složenog načina modeliranja pasivnih zglobova u virtuelnom okruženju.

8. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektima Istraživanje i razvoj nove generacije vertikalnih petoosnih strugarskih obradnih centara i Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije, koji su podržani od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Vlade Republike Srbije.

9. LITERATURA

- [1] Altintas, Y., Brecher, M., Weck, M., Witt, S., *Virtual machine tool*, CIRP Annals, Vol.54/2/2005, pp. 651-674
- [2] Dimić, Z., Živanović, S., Kvrđić, V., *Koncept razvoja CNC upravljanja za mašine alatke specifične konfiguracije na bazi EMC softvera*, 34. JUPITER konferencija, 30. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.19-3.26, Mašinski fakultet, Beograd, jun 2008.
- [3] EMC - Enhanced Machine controller web site - <http://www.linuxcnc.org>
- [4] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - <http://www.nist.gov>
- [5] Open source software development web site <https://sourceforge.net/projects/emc/>
- [6] Chris Radek's stuff, web site <http://timeguy.com/cradek/>
- [7] Kvrđić, V., *Razvoj inteligentnog sistema za upravljanje i programiranje industrijskih robota*, doktorska disertacija, mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [8] Živanović, S., Dimić, Z., *Upravljanje modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn 101 na bazi EMC sistemskog softvera*, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, str.3.19-3.24, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, maj 2007.
- [9] Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Dimić, Z., *Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota*, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Novi Sad, 2008. (rad u pripremi)

Autori: Zoran Dimić¹⁾, mr Saša Živanović²⁾, Dr Vladimir Kvrđić¹⁾

¹⁾ LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 254 2510.

²⁾ Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 3302-423, Fax: +381 11 3370-364.

E-mail: dimic@lola-ins.co.yu
szivanovic@mas.bg.ac.yu
vkvrđic@eunet.yu

Đapić, M., Zeljković, V., Vojinović, M.

”CE” OZNAČAVANJE MAŠINA ALATKI - Rezultati projekta TD-7082B -

Rezime: U ovom radu su predstavljeni opšti principi CE označavanja proizvoda kako je definisano u Novom i Globalnom pristupu Evropske Unije (EU). Kao primer prikazani su neki od rezultata projekta TD-7082B koji se odnosio na usklađivanje mašina alatki sa zahtevima odgovarajućih EU direktiva i harmonizovanih standarda

Cljučne reči: CE znak, Novi i Globalni pristup, Mašine alatke

MACHINE TOOLS ”CE” MARKING - Results of the project TD-7082B -

Abstract: This paper presents a general principles to the product CE marking in according with requirement of the New and Global Approach European Union (EU). As an example, some of the results of the project TD-7082B are presented relating to the harmonization of machine tools with the requirements of the relevant EU directives and harmonized standards.

Key words: CE mark, New and Global approach, Machine Tools

1. UVOD

Uslovi koje proizvodi moraju da zadovolje da bi stigli na tržište Evropske Unije zavise od toga da li su proizvodi obuhvaćeni tehničkim zakonodavstvom Novog pristupa ili ne.

Ako su proizvodi obuhvaćeni tehničkim zakonodavstvom procedure ocene usaglašenosti su definisane u osam modula koji su definisani u Odluci Saveta Evropske Unije (EU) o uvođenju Modula za ocenu usaglašenosti.

Ovi proizvodi prolaze tzv. ”obavezujuće” procedure ocene usaglašenosti. Kao potvrda uspešno sprovedene procedure proizvođač je obavezan da na svoj proizvod stavi CE – oznaku, čime se potvrđuje njegova usklađenost sa suštinskim bezbednosnim zahtevima koji su definisani u odgovarajućoj ili odgovarajućim direktivama.

Ako proizvod nije obuhvaćen tehničkim zakonodavstvom Novog pristupa on potpada pod tzv. ”dobrovoljnu” sertifikaciju. Što drugim rečima znači da je proizvođač slobodan u izboru da li ili ne sertifikovati proizvod.

Proizvodnja i plasman mašina i mašinskih komponenti je od posebnog značaja za EU. Ovaj sektor ”mašinogradnje” godišnje ostvaruje oko četiristo milijardi evra prihoda i zapošljava oko 2,6 miliona radnika (Prešern 2005). Osim ovoga, EU je i veliki uvoznik proizvoda iz sektora mašinogradnje što se posebno odnosi na alatne mašine. Prema podacima LOLA Sistema, sada Montavar LOLA od pre nekoliko godina najveći deo proizvodnje alatnih mašina plasira u zemlje EU ili EFTA, Sloveniju, Nemačku, Italiju i Švajcarsku. Sve mašine pre plasmana na ovo tržište morale su da zadovolje zahteve Direktiva za mašine (98/37/EEC), LVD (niskonaponske direktive) i EMC (direktive o elektromagnetnoj kompatibilnosti) i odgovarajućih harmonizovanih standarda.

Ovo je bio jedan od razloga zašto je Ministarstvo nauke Republike Srbije u okviru projekata tehnološkog razvoja početkom 2005. pokrenulo projekat **TD-7082B** po nazivom **Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije mašina alatki u skladu sa zahtevima evropskih direktiva.**

Cilj ovoga rada je da predstavi neke od rezultata projekta TD-7082B koji je delimično finansiran sredstvima

Ministarstva nauke Republike Srbije u periodu 2004.-prvi kvartal 2008. Projekat su realizovali LOLA Institut Beograd i Institut tehničkih nauka SANU, Beograd. Participant i korisnik rezultata bio je LOLA Sistem, odnosno Montavar LOLA Beograd danas.

2. EVROPSKI PRISTUP OCENJIVANJU USAGLAŠENOSTI PROIZVODA

Postoje različiti putevi za plasiranje proizvoda na tržište Evropske unije. Na njima proizvođači, odnosno isporučioi koriste različite tehnike koje vrlo često obuhvataju i angažovanje nezavisne treće strane u ocenjivanju usaglašenosti proizvoda. Slika 2.1 daje globalni prikaz algoritma koji se primenjuje kod ”obavezne” i ”dobrovoljne” sertifikacije proizvoda.

Prvi odgovor koji se zahteva od proizvođača ili njegovog ovlašćenog predstavnika je da li su proizvodi obuhvaćeni tehničkim zakonodavstvom Novog pristupa ili ne. Ako proizvod potpada pod tehničko zakonodavstvo, odnosno obuhvaćen je direktivama Novog pristupa, procedure ocene usaglašenosti su definisane u Odluci Saveta Evropske Unije o uvođenju Modula za ocenu usaglašenosti (Slika 2.2).

Mnogi od modula, ukupno ih ima osam, zahtevaju od proizvođača da u postupku ocenjivanja usaglašenosti uključi nezavisnu treću stranu, odnosno ovlašćena ili notifikovana tela. Angažovanje ovih tela se uglavnom zahteva u procedurama ocene usaglašenosti koje se odnose na visoko rizične proizvode sa stanovišta ugroženosti zdravlja i bezbednosti ljudi i okoline. Zbog toga je veoma važno da ova tela obavljaju svoju funkciju sa prethodno dokazanim visokim nivoom kompetencije, integriteta i profesionalizma. Obaveza je država članica da imenuju ova tela ako njihovo tržište to zahteva. Drugim rečima, države članice nisu obavezne da imenuju tela za sve direktive nego samo za one za koje postoji interes, odnosno tržište.

Imenovanje tela za ocenu usaglašenosti je obaveza koju nameću direktive Novog pristupa. a kriterijumi se nalaze u

¹ 93/465/EEC: Council Decision of 22 July 1993.

Odluci saveta EU broj 93/465/EEC o uvođenju Modula za ocenu usaglašenosti i anaksima direktiva.

Drugi odgovor koji se postavlja pred proizvođače je, ako proizvod ne potpada pod tehničko zakonodavstvo Novog pristupa, da li je iz marketinških ili nekih drugih razloga potrebna sertifikacija proizvoda ili ne.

ISO knjiga "Sertifikacija i vezane aktivnosti" (ISO 1992) daje osam sistema za sertifikaciju proizvoda *preko treće strane* (Slika 2.3).

U suštini sistemi za sertifikaciju proizvoda treba da obuhvate najmanje dve aktivnosti:

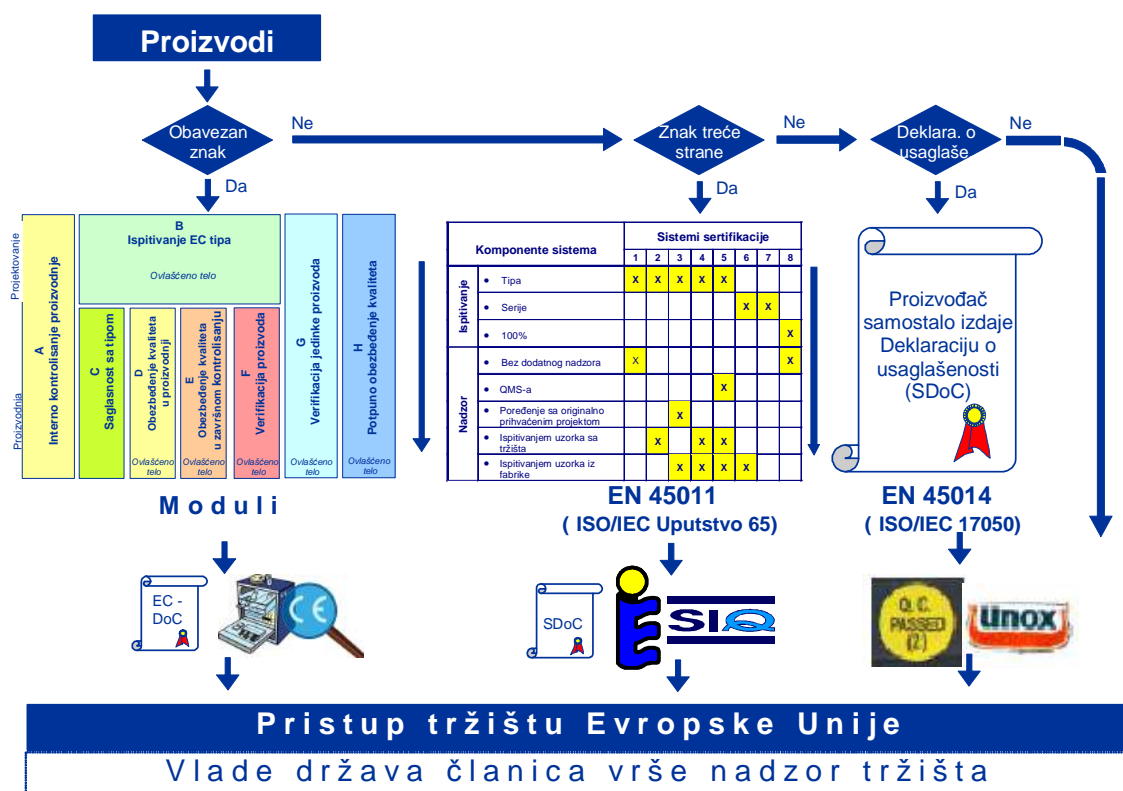
- prihvatanje proizvoda na osnovu ispitivanja (projekta) proizvoda i ili proizvodnog procesa,
- nadziranje sposobnosti proizvođača da stalno isporučuje usaglašene proizvoda.

Sistem sertifikacije broj jedan obuhvata samo ispitivanje tipa pa se može smatrati kod sistem koji nije dovoljno "zreo"

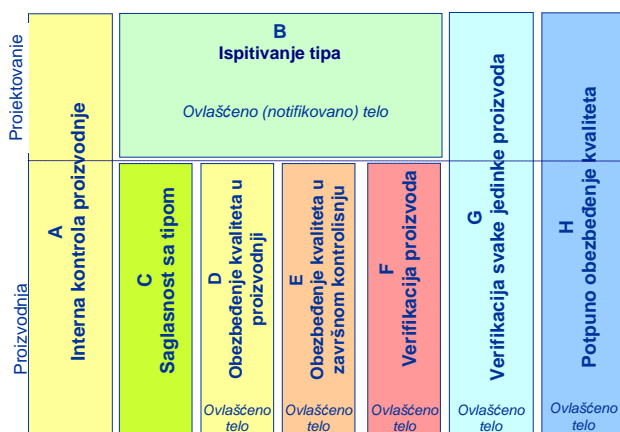
pošto ne obezbeđuje nadzor nad proizvodnjom ispitano tipa. Isto važi i za sistem broj sedam, dok za sistem broj osam nadzor je nebitan pošto on obuhvata 100% ispitivanje svih proizvoda u odnosu na definisane zahteve.

Sistemi broj dva, tri i četiri obuhvataju pored ispitivanja tipa i nadzor kroz kontrolna ispitivanja uzoraka sa tržišta, sistem broj dva, nadzor kroz kontrolna ispitivanja uzoraka iz proizvodnje, sistem broj tri, i nadzor kroz kontrolna ispitivanja uzoraka sa tržišta i iz proizvodnje, sistem broj četiri.

Naj obuhvatniji sistem sertifikacije je broj pet. On obuhvata ispitivanje tip u fazi razvoja i nadzor QMS-a u fazi proizvodnje kao i ispitivanje uzoraka koji se uzimaju sa tržišta i iz proizvodnje.



Slika 2.1 Evropski pristup ocenjivanju usaglašenosti proizvoda



Slika 2.2 Moduli obavezne sertifikacije proizvoda (Globalni pri.)

Komponente sistema		Sistemi sertifikacije							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Ispitivanje	Tipa	X	X	X	X	X			
	Serijske						X	X	
	100%								X
Nadzor	Bez dodatnog nadzora	X							X
	QMS-a					X			
	Poređenje sa originalno prihvaćenim projektom			X					
	Ispitivanjem uzorka sa tržišta		X		X	X			
	Ispitivanjem uzorka iz fabrike			X	X	X	X		

Slika 2.3 Sistemi dobrovoljne sertifikacije proizvoda

3. USKLAĐIVANJE MAŠINA ALATKI SA ZAHTEVIMA MAŠINSKE DIREKTIVE

Sektor mašinogradnje je posebno značajan za zemlje EU a to se posebno može reći za proizvodnju i plasman alatnih mašina. Proizvođači alatnih mašina iz naše zemlje, pre svih LOLA Sistem sada Montavar LOLA su bili i ostali značajni izvoznici ovih proizvoda u zemlje članice EU pre svih Sloveniju, Italiju i Nemačku. Ovo je bio jedan od razloga zašto je Ministarstvo nauke Republike Srbije u okviru projekata tehnološkog razvoja početkom 2005. pokrenulo projekat **TD-7082B** po nazivom **Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije mašina alatki u skladu sa zahtevima evropskih direktiva.**

U nastavku se predstavljaju ciljevi i neki od rezultata ovog projekta koji su ostvareni u periodu 2004. – prvi kvartal 2008.

3.1 Ciljevi i ostvareni rezultati projekta TD-7082-B

Ciljevi projekta su se odnosili na:

- Harmonizacija tehničke regulative za ocenjivanje usaglašenosti u oblasti mašina alatki, sa odgovarajućim evropskim direktivama (Mašine 98/37/EC:1998) i pratećim standardima;
- Poboľjšane tehnologije izvođenja i razvoj metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije mašina alatki koji ispunjavaju zahteve harmonizovane tehničke regulative;
- Unapređenje sistema ispitivanja, kontrolisanja i

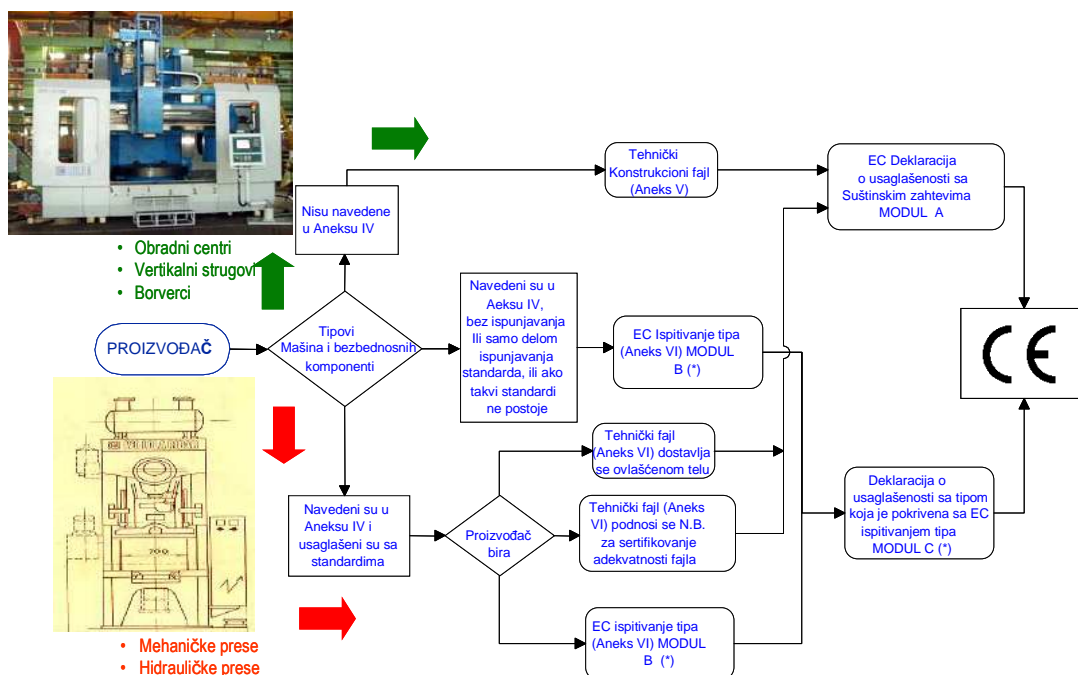
sertifikacije i stvaranje uslova da privreda Srbije, u prioritetnim oblastima, proizvede na potrebnom nivou kvalitetan proizvod konkurentan na svetskom tržištu;

Ostvareni su sledeći rezultati:

- Usklađene su mehaničke prese sa zahtevima Direktive o mašinama (98/37/EC 1998) i standardom EN 692:1996
- Usklađene su hidraulične prese sa zahtevima Direktive o mašinama (98/37/EC 1998) i standardom EN 693:2001
- Usklađeni su vertikalni strugovi sa zahtevima Direktive o mašinama (98/37/EC 1998) i standardom EN 12497:2000
- Formirano je novo laboratorijsko postrojenje za ispitivanje i verifikaciju bezbednosnih mera po standardu EN 692 i EN 693
- Razvijeni su novi obrazovni sadržaji - kursevi, seminari o:
 - Implementaciji Novog i Globalnog pristupa
 - Mašinskoj direktivi
 - Proceni rizika kod mašina

- Objavljeno je: pet radova u časopisima nacionalnog značaja, 11 radova na domaćim i 1 na međunarodnom skupu

Rezultati projekta su primenjeni u Fabrici alatnih mašina koja posluje u sastavu LOLA Sistema iz Železnika. Fabrika je nedavno prodana kompaniji Montavar iz Maribora, Republika Slovenija. I pored promene vlasnika rukovodilac projekta i članovi projektnog tima su nastavili uspešnu saradnju na polju usklađivanja i ostalih proizvoda LOLA Montavara sa zahtevima tehničkog zakonodavstva Evropske Unije.



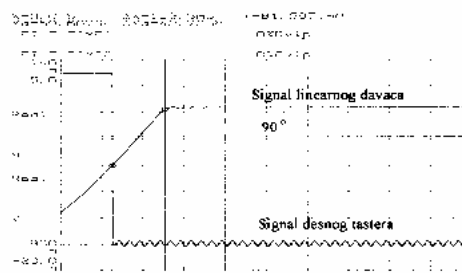
Slika 3.1 Kategorizacija alatnih mašina prema zahtevima evropskih direktiva

Kao što je već rečeno kompletan rad na projektu se odnosio na usklađivanje alatnih mašina koje proizvodi LOLA Sistem, sada LOLA Montavar sa zahtevima tehničkog zakonodavstva EU. Sve alatne mašine koje proizvodi LOLA (Slika 3.1) mogu da se svrstaju u jednu od dve grupe: (1) visoko rizične mašine koje se nalaze u Aneksu IV Direktive o mašinama (98/37/EC) i (2) ostale mašine.

Prvu grupu čine mehaničke i hidrauličke prese. Pošto su ovo visoko rizične mašine u proceduri ocenjivanja usaglašenosti se zahteva angažovanje notifikovanih tela koje moraju saglasno modulu B Globalnog pristupa da izvrše ispitivanje tipa. U okviru rada na Projektu izvršena su sva

potrebna ispitivanja tako da se angažovanje notifikovanog tela svelo samo na pregled dobijenih rezultata i tehničkog fajla koji je pripremljen. Kao ilustracija toga u nastavku na slikama 3.2 i 3.3 prikazani su neki od rezultata i verifikacija koja su odrađena u okviru Projekta a odnose se mehaničke prese ARP 160.

Svi praktični rezultati Projekta (tehnička rešenja) su rađeni zajedno sa osobljem korisnika, implementirani su što znači da je Korisnik potpuno osposobljen da samostalno obavi sve poslove koji se odnose na usklađivanje proizvoda sa zahtevima tehničkog zakonodavstva EU.



Slika 3.2 Verifikacija bezbednosnih mera – Vreme kočenja kod mehaničke prese ARP 160

Standard EN 692					
Subclau se	Safety requirements and/or measures	Visual inspection (see note 1)	Performance check/test (see note 2)	Measurement (see note 3)	Drawings/Calculations (see note 4)
5.3.14	Two-hand control devices	x	x	x	x
5.3.15	Safety distance	x	x	x	x
5.3.16	Motor and clutch interlocking	x	x	x	x
5.3.17	Singl stroke device	x	x		x
5.8	PROTECTION AGAINST OTHER HAZARDS				
5.8.1	ELECTRICAL HAZARDS	x		x	x
5.8.2	THERMAL HAZARDS	x		x	x
5.8.3	HIGH PRESSURE FLUID EJECTION HAZARDS	x	x		
5.8.4	HAZARDS GENERATED BY NOISE			x	
5.8.5	HAZARDS GENERATED BY VIBRATION	x	x	x	
5.8.7	HAZARDS GENERATED BY NEGLECTING ERGONOMIC PRINCIPLES	x	x	x	x

Slika 3.2 Verifikacija bezbednosnih mera kod mehaničke prese ARP 160 po standardu EN 692:1996

4. ZAKLJUČAK

Jedinstveno tržište EU - EFTA danas obuhvata trideset jednu državu sa oko petsto miliona stanovnika. U cilju stvaranja Jedinstvenog tržišta projektovani su Novi i Globalni pristup koji obuhvataju tehničku harmonizaciju, standardizaciju i ocenjivanje usaglašenosti proizvoda.

Proizvodi koji su obuhvaćeni tehničkim zakonodavstvom Novog pristupa moraju pre pojave proizvoda na tržištu EU da prođu proceduru ocene usaglašenosti, sa suštinskim zahtevima odgovarajućih direktiva. Proizvođači su obavezni da proizvode koji prođu proceduru ocene usaglašenosti označe CE-oznakom.

Jedan od tih proizvoda su alatne mašine. U radu su prikazani neki od rezultata projekta TD-7082B koji je delimično finansiran sredstvima Ministarstva nauke Republike Srbije.

5. LITERATURA

- [1] Đapić, M., Zeljković, V., i ost.: Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije mašina alatki u skladu sa zahtevima

evropskih direktiva, Projekat TD-7082B, LOLA Institut, Beograd, 2004-2008.

- [2] Đapić, M., Zeljković, V.: European Approach to Product Conformity Assessment, The Fifth International Conference "Heavy Machinery - HM 2005", Kraljevo, 28. June – 03 July, 2005., pp (IIC.13 – IIC.17).
- [3] Prešern, S.: Notification body obligation, Project SCG-Quality, Course CA-1, Belgrade, 2005.
- [4] Blue Guide, Guide to Implementation of Directives Based on the New Approach and the Global Approach, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000.
- [5] ISO, Certification and related Activities, 1992.

Autori: dr Mirko Đapić, dr Vladimir Zeljković, Milan Vojinović, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd; Institut tehničkih nauka SANU, Kneza Mihajla 22, Beograd; Montavar LOLA, Jugoslovenska 2, 11000 Beograd, Srbija, Tel.: +381 64 893-8855, Tel.: +381 64 893-8812

E-mail: mdjapic@yahoo.com; djapic.m@mfkv.kg.ac.yu
valadazz@yahoo.com
milan.vojinovic@montavarlola.com

Đurić, R., Zeljković, M., Živković, A., Tabaković, S.

UTICAJ POJEDINIH PARAMETARA NA DINAMIČKO PONAŠANJE SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Rezime: Veliki broj geometrijskih, konstrukcionih i tzv. ostalih parametara utiče na dinamičko ponašanje sklopa glavnog vretena. Među geometrijskim se posebno ističu dužina i prečnik vrha vretena, rastojanje između ležišta u prednjem i zadnjem uležištenju, a od ostalih ugao kontakta kugličnih ležaja sa kosim dodirom i krutost uležištenja. U radu se analizira međusobna signifikantnost ovih parametara i njihov uticaj na dve funkcije cilja: ugib vrha vretena i vrednost prve sopstvene frekvencije oscilovanja. Analiza je vršena primenom programskog paketa Matlab.

Cljučne reči: Sklop glavnog vretena, sopstvene frekvencije oscilovanja, ugib vrha vretena, uticaj pojedinih parametara

INFLUENCE OF PARAMETERS ON DYNAMIC BEHAVIOUR OF MAIN SPINDLE

Abstract: Many geometric and constructive parameters have influence on dynamic behaviour of main spindle. Among most important are geometric parameters connected with spindle head and parameter which represent range between bearings in front seat. In this scientific article is tried to show which parameter is more important than others especially on two aims: min deflection of spindle head and max values of first and second eigenvalues.

Key words: Main spindle, eigen values, deflection of spindle head, influence of parameters

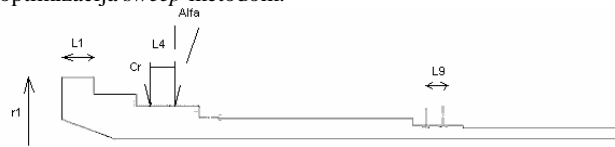
1. UVODNA RAZMATRANJA

U eksploataciji savremenih mašina alatki se osim povećane brzine rezanja zahteva velika tačnost mera i kvalitet obrađene površine. Do danas je ostao još relativno veliki broj nerešenih problema vezanih za dinamičko ponašanje sklopa glavnog vretena. Određeni, ne mali broj autora analizirao je uticaj pojedinih geometrijskih i konstrukcionih parametara na dinamičke karakteristike sklopa glavnog vretena, odnosno na vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja. Autori poput [1, 4, 7] dali su opširan pregled parametara koji utiču na dinamičke karakteristike sklopa glavnog vretena. Jedna od mogućih sistematizacija ovih parametara je na geometrijske, koji su vezani za geometrijski oblik samog vretena, i konstrukcione koji su, između ostalog, vezani za način i tip uležištenja kao i ukupni sistem glavno vreteno-držač alata-alat. Tu spadaju i uticaji raznih prigušnika na dinamičke karakteristike. Na kraju se mogu analizirati i radne karakteristike gde se razmatra uticaj broja obrtaja kao i uticaj broja obrtaja na centrifugalnu silu i girokopski momenat. Na osnovu analize rezultata dosadašnjih istraživanja u okviru ovog rada se razmatra uticaj sledećih parametara: prečnika i dužine vrha vretena, rastojanja između ležaja u prednjem i zadnjem uležištenju, kao i parametri vezani za uležištenje-ugao kontakta kotrljajnog tela i staze kotrljanja i krutost uležištenja. Analizom su obuhvaćena dva načina uležištenja sklopa glavnog vretena sa kotrljajnim ležištima sa kosim dodirom i to „X“ i „O“.

2. PRORAČUNSKI MODEL

Analiza dinamičkih karakteristika sklopa glavnog vretena metodom konačnih elemenata, primenom programskog sistema Matlab, se u znatnoj meri razlikuje od rada sa savremenim programskim sistemima namenjenim CAE. Savremeni programski sistemii namenjeni CAE poput Ansys, Nastran, Visual Nastran, Abaqus i drugih, ili imaju sopstvene CAD podsisteme ili omogućuju importovanje modela iz CAD

paketa. Za razliku od njih programski paket Matlab je „univerzalna matematička alatka“ koja omogućava programiranje i pozivanje odgovarajućih podprograma [3]. Na ovaj način se rad korisnika u određenoj meri usložnjava. Analiza je vršena za jedan tip sklopa glavnog vretena i osim definisanih parametara sve dimenzije su unapred određene (slika 1). Pošto su vrednosti parametara unose u intervalima (sa vrednostima inkremenata) u radu je na neki način izvršena optimizacija *sweep* metodom.



Slika 1: Definisane parametre matematičkog modela

Za modelovanje vretena primenjeni su modeli razvijeni u literaturi [2, 7]. Glavno vreteno je modelovano primenom Timoškove teorije greda a uležištenje je modelovano oprugama gde je svaki ležaj simuliran kao linearna opruga (slika 2).



Slika 2: Sklop glavno vreteno-ležajevi modelovan primenom Timoškove teorije greda i opruga

Koristeći opšti model aksijalne strukture koji je diskretizovan sa N-1 konačnih elemenata i N čvorova, sa 2N stepeni slobode, sistem jednačina malih slobodnih oscilacija aksijalne strukture sa prigušenjem ima sledeći oblik :

$$[M] \cdot \{\ddot{\delta}\} + [B] \cdot \{\dot{\delta}\} + [K] \cdot \{\delta\} = 0$$

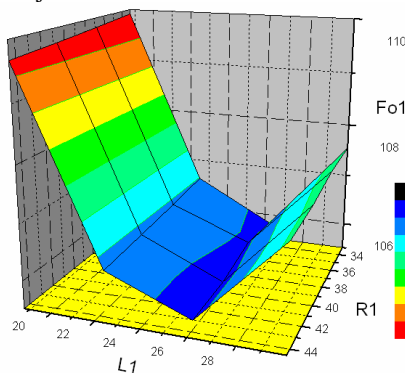
Ako se zanemari deo jednačine vezan za prigušenja gore navedena jednačina dobija oblik:

$$[M] \cdot \{\ddot{\delta}\} + [K] \cdot \{\delta\} = 0$$

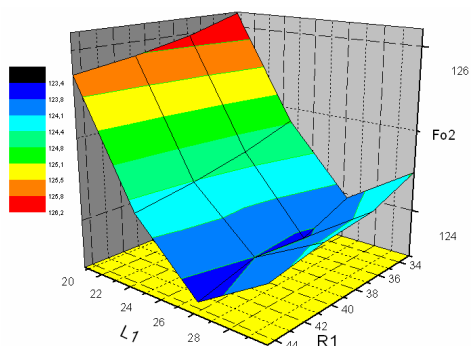
Za izračunavanje Timošenkovog koeficijenta (koeficijenta smicanja) korišćen je izraz iz literature [7]. Za rešavanje hiper matrice, koja je za ovaj konkretan slučaj imala dimenzije 36x36, upotrebljena je ugrađena Matlabova funkcija, dok neke metode prikazane u literaturi [3] nisu bile u mogućnosti da je reše. Svi rezultati analize su memorisani u tekstualne datoteke, nakon čega su rezultati obrađeni u programu ORIGIN PRO 7.5.

3. REZULTATI ANALIZE [6]

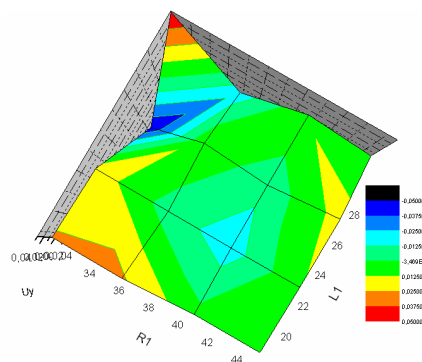
Rezultati analize su potvrdili rezultate pojedinih autora o značajnosti određenih parametara [4,7,8]. Oni potvrđuju stepen uticaja pojedinih parametara na vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja i vrednosti ugiba vrha vretena. Ako se grupišu parametri u zavisnosti od njihovog položaja, svi parametre se mogu grupisati u tri grupe [3,5]. Prva grupa obuhvata prečnik (parametar R1) i dužinu vrha vretena (L1), druga grupa rastojanje između ležajeva u prednjem (L4) i zadnjem uležištenju (L9) i ostale parametre kao što su ugao kontakta između kotrljajnog tela i kotrljajne staze u prednjem uležištenju (Alfa) i radijalna krutost u prednjem uležištenju (Cr). Rezultati za oba načina uležištenja („X“ i „O“ raspored) pokazuju iste tendencije pa se one neće pojedinačno izdvajati. Analizom uticaja pojedinih parametara prve grupe dolazi se do zaključka da je uticaj dužine vrha vretena (L1) na sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o1} i f_{o2}) značajniji od prečnika vrha vretena (R1), za prikazani matematički model. Na ugib vrha vretena (U_y) oba parametra imaju podjednak uticaj.



Slika 3: Uticaji parametara R1 i L1 na vrednosti prve sopstvene frekvencija oscilovanja (f_{o1})

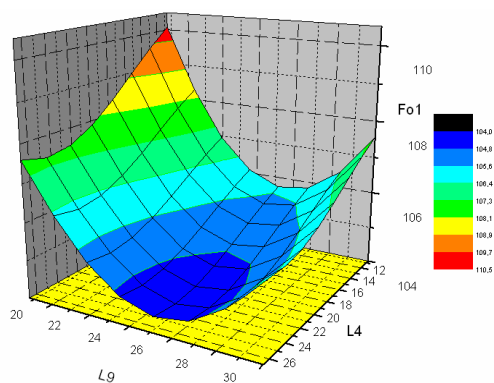


Slika 4: Uticaji parametara R1 i L1 na vrednosti druge sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o2})

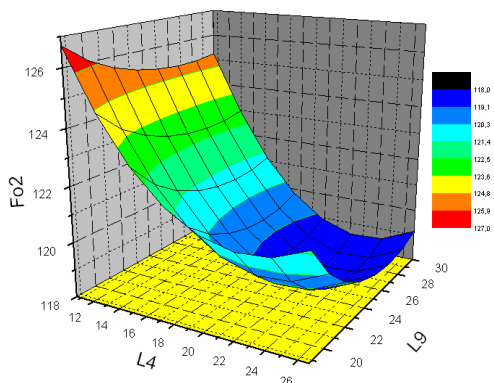


Slika 5: Uticaji parametara R1 i L1 na ugib vrha vretena U_y

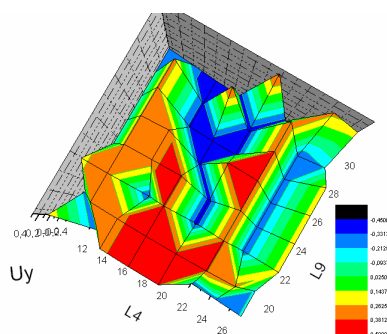
Interesantna situacija se javlja kod analize druge grupe parametara. Većina autora zanemaruje uticaj rastojanja u zadnjem uležištenju. Samo Erturk [4], na osnovu sopstvenih istraživanja, naglašava da je uticaj rastojanja u zadnjem uležištenju tek nešto manji od uticaja rastojanja u prednjem uležištenju. To se možda može objasniti uticajem krutosti zadnjeg uležištenja na kraj vretena. Za dati model, kraj vretena, nakon zadnjeg uležištenja, ima manji prečnik, u odnosu na središnji deo, što znači manju centrifugalnu silu, ali veliku dužinu od preko 300 mm što pojačava efekat momenta savijanja. Zbog toga je uticaj rastojanja u zadnjem uležištenju značajan. Grafikon vezan za ugib vrha vretena U_y pokazuje blagu dominantnost parametra L4.



Slika 6: Uticaj rastojanja između ležajeva u prednjem (L4) i zadnjem uležištenju (L9) na vrednosti prve sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o1})



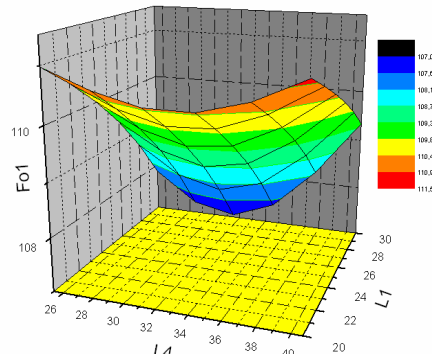
Slika 7: Uticaj rastojanja između ležajeva u prednjem (L4) i zadnjem uležištenju (L9) na vrednosti druge sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o2})



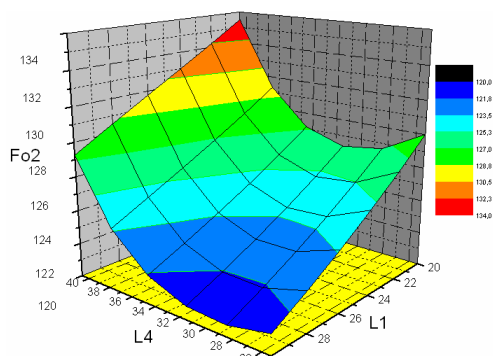
Slika 8: Uticaj rastojanja između ležajeva u prednjem (L4) i zadnjem uležištenju (L9) na ugib vrha vretena (U_y)

Treću grupu parametara čine ostali parametri kao što su radijalna krutost (Cr) i ugao kontakta između kotrljajne staze i kotrljajnog tela (α). Ugao α se kretao u opsegu od 0 do 15° što znači da je njegov kosinus malo uticao na krutost uležištenja ($\cos 15^\circ = 0.965$). Maksimalne vrednosti sopstvenih frekvencija oscilovanja dobijene su za maksimalne vrednosti radijalne krutosti Cr i pri uglu $\alpha = 0^\circ$ (vrednost ugla kod radijalnih ležajeva). Ako bi se posmatrala ova dva parametra sigurno je značajniji parametar vezan za radijalnu krutost Cr .

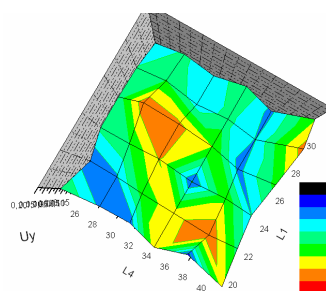
Kada se na kraju analize uporedi značaj parametara dužine vrha vretena $L1$ i rastojanja između ležajeva u prednjem uležištenju $L4$ dobiju se sledeći dijagrami (Slika 9). Uticaj oba parametara na vrednost prve sopstvene frekvencije oscilovanja f_{o1} je podjednaka dok je uticaj parametra $L4$ na vrednost druge sopstvene frekvencije oscilovanja f_{o2} veći. Uticaj parametara na vrednosti ugiba vrha vretena je podjednak što pokazuje i raspored odstupanja na prostornoj krivoj.



Slika 9: Uticaji parametara optimizacije $L1$ i $L4$ na vrednosti prve sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o1})



Slika 10: Uticaji parametara optimizacije $L1$ i $L4$ na vrednosti druge sopstvene frekvencije oscilovanja (f_{o2})



Slika 11: Uticaji parametara optimizacije $L1$ i $L4$ na vrednosti ugiba vrha vretena U_y

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Analize uticaja parametara na dinamičke karakteristike sklopa glavnog vretena su značajne jer pri projektovanju i konstruisanju sklopa glavnog vretena daju smernice projektantima na koji način mogu da dođu do boljih rezultata, kao i omogućuju definisanje oko kojih parametara može ili ne može biti kompromisa [4]. Gore prikazana analiza uticaja parametara, koja je urađena primenom programskog sistema Matlab, potvrđuje rezultate dobijene u okviru programskog sistema Ansys Workbench i analize prikazane u okviru literature [1, 4, 5, 7, 8]. Uvidom u savremenu literaturu potrebno je inovirati delove matrice krutosti vezane za definisanje krutosti na mestima uležištenja. Time bi model dokazao svoju vrednost i mogućnost dalje primene u istraživanju uticaja parametara na dinamičke karakteristike sklopa glavnog vretena.

5. LITERATURA

- [1] Chi-Wei, L., Jay F., T., Kamman, J.: *An integrated thermo-mechanical-dynamic model to characterize motorized machine tool spindles during very high speed rotation*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.43, pp. 1035-1050, 2003., ISSN 0890-6955
- [2] Калајидић, М.: *Метод коначних елемената*, Институт за алатне машине и алате, Београд, 1978.
- [3] Kiusalaas, J.: *Numerical Methods in Engineering with Matlab*, Cambridge Press, 2005.
- [4] Erturk, A.: *Dynamic Modeling of spindle-tool assemblies in machining centers*, master thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2006.
- [5] Moaeda, O., Yuzhong, C., Alintas, Y.: *Expert spindle design system*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, pp. 347-364, 2004., ISSN 0890-6955
- [6] Ђурић, Р.: *Анализа утицаја појединих параметара на динамичко понашање склопа главног вretena*, магистарски рад у припреми, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2008.
- [7] Зељковић, М.: *Систем за аутоматизовано пројектовање и предикцију понашања склопа главног вretena машина алатки*, Докторска дисертација, Факултет техничких наука, Нови Сад, 1996.
- [8] Zeljković, M., Gatalo, R.: *Experimental and Computer Aided Analysis of High-Speed Spindle Assembly behaviour*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 48/1, 1999, pp.325-328, ISSN 0007-8506

Autori: Prof. dr Milan Zeljković, Dr Slobodan Tabaković, Mr Aleksandar Živković, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495. Rastko Djurić, dipl. ing., AD Dnevnik, Novi Sad E-mail: milan.z@uns.ns.ac.yu; tabak@uns.ns.ac.yu

Marković, S., Veličković D.

MONTAŽA, DEMONTAŽA I POPRAVKA LOPATIČNOG SKLOPA PARNE TURBINE K300-240

Rezime: U radu su sadržana objašnjenja o principu rada parne turbine K300-240, koja se eksploatiše u termoelektani Gacko, sa posebnim osvrtom na demontažu, dijagnostiku, popravku i montažu njenog lopatičnog sklopa.

Glavne reči: Parna turbina, lopatično kolo, popravka, montaža, demontaža.

ASSEMBLAGE, DISASSEMBLAGE AND REPAIR OF THE BLADE MECHANISM OF THE STEAM TURBINE K300-240

Abstract: This paper contains explanation regarding the principle of operation of the steam turbine K300-240, which is exploited in the steam power plant Gacko, with special emphasis on disassembly, diagnostics, repair and assemblage of its blade mechanism.

Key words: Steam power plant, blade wheel, repair, assemblage, disassembly.

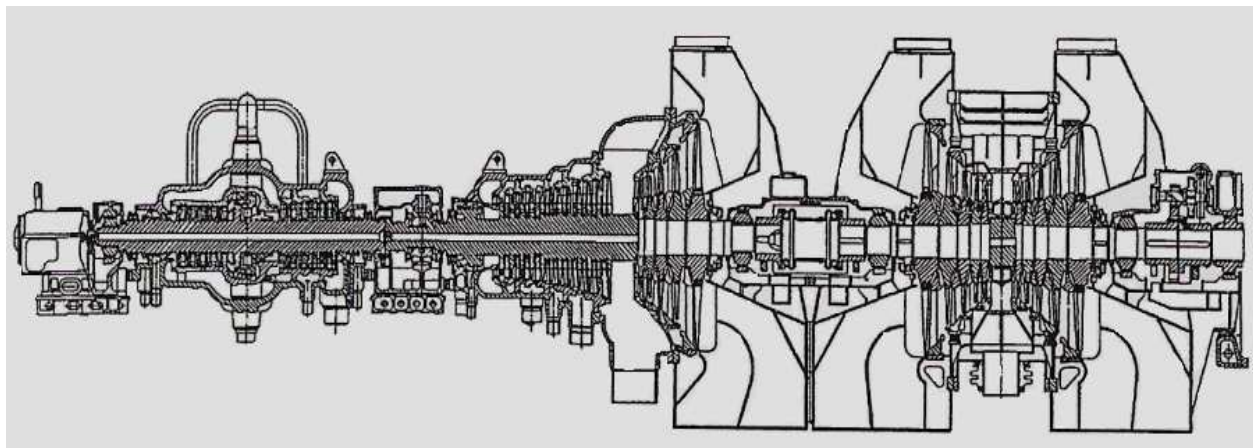
1. UVOD

Pretvaranje toplotne energije radnog fluida u koristan mehanički rad kod parne turbine ostvaruje se na indirektna način. Prvo se toplotna energija vodene pare pretvara u kinetičku energiju strujanja, da bi se ona pretvorila u mehaničku energiju radnog kola, koja se kontinualno preko vratila parne turbine prenosi ka radnoj mašini-generatoru [1].

Parne turbine savremene konstrukcije imaju više stepeni – najčešće po nekoliko desetina. Jedno ili više radnih kola moraju biti pričvršćeni za vratilo kojim se obrtni moment preko spojnice predaje radnoj mašini. Vratilo sa radnim kolima čini rotor turbine. Za sprečavanje izlaska vodene pare

u okolinu, unutrašnjost turbine je zatvorena kućištem koje istovremeno štiti rotor od oštećenja i stranih tela. Na mestima gde rotor izlazi iz kućišta nalaze se zaptivači, najčešće labirinskog tipa, radi gušenja pare. Radi aksijalnog i radijalnog vođenja rotora, za osiguranje zazora između radnog kola i predkola, kao i između rotora i kućišta, postoje aksijalna i radijalna ležišta. Ona istovremeno služe za primanje aksijalnih i radijalnih sila koje se pojavljuju pri radu parne turbine.

Parna turbina koja se koristi u TE Gacko (slika 1) je kondenzaciona, akciona, aksijalna, jednoosovinska, trodelna sa osam neregulisanih oduzimanja, namenjena za neposredni pogon generatora naizmenične struje [4].



Slika 1. Šema turbine K300-240

Parna turbina K300-240, ima snagu od 300 MW, pri broju obrtaja od 3000 o/min, namenjena je za neposredno (direktno) pokretanje generatora naizmenične struje. Turbina je agregat sa jednim vratilom i sastoji se od tri cilindra. Sveža para iz kotla kroz dva cevovoda i regulacione ventile prepusne cevi dolazi do cilindra visokog pritiska. Cilindar visokog pritiska ima mlazničku komoru, odnosno dovodenje pare se ostvaruje sa četiri paralelna priključka na četiri kutije mlaznice [4].

Cilindar visokog pritiska je izrađen od dva kućišta: spoljašnjeg i unutrašnjeg. Oba kućišta imaju horizontalni sistem. Cilindar visokog pritiska ima 12 stepeni. U levom

toku nalazi se jedan regulacioni i pet stepeni visokog pritiska, koji se nalaze u unutrašnjem kućištu. Ostalih šest se nalazi u spoljašnjem delu kućišta i čine desni tok pare. U cilju hlađenja unutrašnjeg kućišta i prepusnih priključaka, a takođe i zagrevanja spoljašnjeg kućišta, levi tok pare se okreće za 180° i usmerava između unutrašnjeg i spoljašnjih cilindra. Posle cilindra visokog pritiska, para se odvodi na međupregrevanje, odakle dolazi u dve parne komore koje su postavljene sa obe strane cilindra srednjeg dela. U parnim komorama se nalaze automatski zasuni srednjeg pritiska i regulacioni ventili. Prolazeći stop i regulacione ventile, para ulazi u opštu mlazničku komoru cilindra srednjeg dela. Za

obesparivanje cilindra srednjeg dela kod zatvorenih stop i regulacionih ventila postoje dve slivne klapne, koji odvođe paru međupregrevanja u kondenzator. Cilindar srednjeg dela je protočni i konstruktivno je izveden iz dva dela. Protočni deo čine srednji i niski deo. Deo srednjeg pritiska ima dvanest stepeni iza kojih dve trećine pare ide u cilindar niskog dela, a jedna trećina direktno u kondenzator. Cilindar niskog pritiska je izveden sa dva toka i pet stepeni pritiska u svakom toku [5]. Rotor visokog pritiska je iskovan iz jednog dela. Rotor srednjeg dela ima dvanaest diskova, koji su iskovani zajedno sa vratilom, i pet nasađenih diskova dela niskog pritiska. Rotor niskog pritiska se sastoji od vratila na kome je nasađeno deset diskova po pet za svaki tok. Svi rotori turbine su elastični. Rotori visokog i srednjeg pritiska se vezuju krutom vezom (spojnicom), a rotor srednjeg i niskog – elastičnom, dok je rotor niskog pritiska sa rotorom generatora spojen krutom spojnicom [2].

Turbina ima osam nereguliranih oduzimanja pare za zagrevanje osnovnog kondenzata i napojne vode u zagrevaču niskog pritiska. Rotor se okreće u smeru kazaljke na satu ako se gleda u pravcu generatora. Turbina ima uređaj za okretanje rotora turbine u cilju izbegavanja savijanja pri predgrevanju i zaustavljanju turbine.

Sistem za podmazivanje turbine ima uljni rezervoar zapremine 37 m³ (do gornjeg nivoa). Rezervoar je snabdeven pokazivačem nivoa ulja u slivnoj komori rezervoara sa kontaktima za davanje signala kod minimalnog i maksimalnog nivoa ulja u rezervoaru.

Za dovodenje ulja u sistem podmazivanja ugrađene su dve osnovne pumpe sa elektromotorima naizmenične struje od kojih je jedna rezervna i dve havarijske sa elektromotorima istosmerne struje. Posle osnovne pumpe, ulje dolazi u uljne hladnjake. Jedan deo ulja iz uljnih hladnjaka ide na hidrospojnicu napojne elektropumpe, a drugi deo za podmazivanje ležajeva turbine. Pritisak ulja za podmazivanje ležajeva turbine na koti ose turbine održava se slivnim ventilima na 1,2 bara pri radu havarijske pumpe za podmazivanje. Kod rada havarijske pumpe za podmazivanje pritisak ulja na nivou ose turbine iznosi 0,7 bara.

Za odsisavanje uljnih para iz rezervoara i slivnog cevovoda turbine postavljen je ventilator. Drugi ventilator odsisava vodonik i uljne pare iz slivnog cevovoda generatora. Temperatura ulja iza hladnjaka reguliše se rashladnom vodom. Ako je temperatura ulja iza hladnjaka 45°C potrebno je otvoriti ventil na rashladnoj vodi. Nakon dovoda rashladne vode u uljne hladnjake potrebno ih je ozračiti. Kada je broj obrtaja rotora turbine 3000 o/min temperatura ulja iza hladnjaka treba da bude 38-42°C.

2. REMONT TURBINE K300-240

Na termoelektranama kao što je TE Gacko predviđeni su redovni godišnji remontu nakon odrađenih 7200 časova rada ili deset meseci. Osim redovnih godišnjih remonta, planirani su i generalni remontu turboagregata svake četiri godine [3]. U redovnim godišnjim remontima se vrše manji zahvati na reviziji sklopova mehanizama koji se lakše demontiraju, osim ako prema nekim proizvodnim pokazateljima ne postoji potreba za konkretnim zahvatima. Pod generalnim remontom se podrazumeva kompletna demontaža i revizija svih delova turbine sa konkretnim zahvatima na delovima za koje je revizijom utvrđeno da su oštećeni ili pohabani u meri koja ne obezbeđuje siguran rad u naredne četiri godine. Redovni i generalni remontu su tačno propisani od strane isporučioaca opreme. Posle hlađenja rotora, cilindra turbine, potpunog zaustavljanja rotora i ulja za podmazivanje ležajeva turbine pristupa se demontaži spoljnih kućišta turbine skidanjem svakog pojedinačnog sklopa (slike 2-9).



Slika 2. Demontaža spoljašnjeg kućišta



Slika 3. Kućište cilindra visokog pritiska



Slika 4. Demontaža unutrašnjeg kućišta turbine srednjeg pritiska



Slika 5. Rotor sa demontiranim spoljašnjim i unutrašnjim kućištima turbine



Slika 6. Rotor visokog pritiska i prvog-regulacionog stepena



Slika 7. Demontaža i transport rotora visokog pritiska



Slika 8. Demontaža regulacionog stepena rotora visokog pritiska



Slika 9. Demontaža bandaža i lopatica

Zatim se pristupilo dijagnostici (defektaži) rasklopljenih elemenata turbine (slike 10-17).



Slika 10. Defektaža rotora visokog pritiska regulacionog step.



Slika 11. Oštećenost dela lopatica turbine niskog pritiska



Slika 12. Mehanička oštećenja lopatica turbine niskog pritiska.



Slika 13. Pohabanost stelita lopatica turbine



Slika 14. Polomljena bandažna žica



Slika 15. Oštećeni regulacioni ventil



Slika 16. Naslage na situ ventila na ulazu pare u turbinu



Slika 17. Izgled demontiranog segmenta na 37 stepenu rotora turbine

Da bi se otklanile uočene neispravnosti preduzete su konkretne mere (slike 18-20).



Slika 18. Nove lopatice pripremljene za zamenu



Slika 19. Remontovani regulacioni stepen rotora visokog prit.



Slika 20. Izgled remontovanog rotora turbine niskog pritiska

3. UZROCI POJAVE OŠTEĆENJA

Mogući razlozi nastanka oštećenja na lopatičnom sklopu turbine su [5]:

- Temperatura sveže pare pre i posle međupregrevanja ne smeju imati nagle oscilacije.
- Temperatura pare ne sme odstupati od granica nominalne vrednosti (545^{+5}_{-10} °C).
- Brzina opterećivanja odnosno rasterećivanja pri radu termoelektrane ne sme da premaši 4% od nominalne snage u minuti.
- U radu sa povećanim pritiskom p_0 pri T_{const} raste vlažnost pare u poslednjim stepenima turbine, što izaziva smanjivanje unutrašnjeg stepena korisnosti turbine. Veća vlažnost pare u poslednjim stepenima turbine može prouzrokovati eroziju lopatica. Zbog toga, bez obzira na specijalne načine udaljavanja vlage iz protočnog dela turbine, maksimalna dozvoljena vlažnost na kraju ekspanzije iznosi 0,10–0,18%. Povećanje pritiska p_0 sveže pare obično se ostvaruje istovremeno sa povećanjem temperature.
- Sa povećanjem pritiska p_0 znatno se povećavaju naprezanja u pojedinim elementima na ulazu u turbinu, oklopu turbine, telu ventila i sprovedih aparata...
- Dогреvanjem pare povećava se srednja temperatura dovođenja toplote ciklusu i na taj način smanjuje temperaturna razlika u procesu razmene toplote, a time su smanjeni gubici radne sposobnosti. Dогреvanjem pare ne povećava se samo stepen korisnosti ciklusa, već se u prvom redu znatno utiče na smanjivanje vlažnosti pare na kraju eksploatacije, čime se smanjuje opasnost od erozije lopatica.
- Kod savremenih kondenzacionih turbina samo 70% od ukupno dovedene pare u turbinu dolazi u kondenzator, a

preostalih 30% oduzima se za regenerativno zagrevanje napojne vode i glavnog kondenzata. U kondenzacionim parnim turbinama s visokim parametrima sveže pare, poslednji stepeni rade sa vlažnom parom ili na samoj granici. Samim tim se javljaju gubici energije za ubrzavanje kapljica, koje uvek imaju manju brzinu od brzine pare, a ta razlika je veća što su vodene kapi krupnodisperznije. Tečna faza ima znatno manju apsolutnu brzinu na izlazu iz rešetke pretkola stepena i to prouzrokuje udare vodenih kapi u leđa lopatice rešetke radnog kola, jer ugao relativne brzine tečne faze veći je od ugla vodene pare. Vodene kapi udarajući u leđa profila kočice rešetke radnog kola i umanjuju rad na obimu stepena.

- Po pravilu u svakom protočnom delu turbine, gde struji vlažna para, predviđa se izdvajanje vlage na periferiji iza radnih kola, mada je ono manje efikasno u turbini visokog pritiska nego u turbini niskog pritiska. U protočnom delu, gde je veća kondenzacija vlage, predviđa se odsisavanje pare u komorama oduzimanja pare za regenerativno zagrevanje glavnog kondenzata i napojne vode. U poslednjim stepenima turbine niskog pritiska je najveća vlažnost pare i istovremeno javlja se vlaga u nepovoljnom stanju: u vidu krupnih kapi, što zajedno čini opasnost od erozije mnogo većom. Iz ovih razloga primenjuje se, pored navedenog rešenja, isisavanje pare kroz otvore načinjene na periferiji lopatica sprovednog aparata, a u cilju regenerativnog zagrevanja. Neophodna je i zaštita ulaznih ivica lopatica radnog kola.

- Jedan od uzroka može biti nestabilan rad regulacionih ventila u njihovim prelaznim režimima po pitanju njihove otvorenosti, što bitno utiče na raspored pare u ulaznim komorama turbine. Pri dužem radu u takvim uslovima dolazi do oštećenja mlaznica na regulacionom stepenu.

- Oštećenje lopatičnog aparata može izazvati i rad sa pogoršanim kvalitetom demineralizovane napojne vode i pojave takozvanog zasoljavanja.

- Razlika temperature na paropuštanju vrha i dna cilindra visokog i srednjeg pritiska za turbinu K300-240 ne treba da pređe 50°C.

- Neusklađenost zaštite sa stvarnim stanjem po pitanju osnog pomaka rotora i pojedinih dilatacija na turbini.

- Pucanje bandažnih žica na vezi lopatica niskog pritiska što može biti uzrok havarija većih razmera.

- Prolazak sitnih čestica sa kotlovske strane kroz parovode od kotla do turbine, što je posledica radova na cevnom delu kotla.

4. ZAKLJUČAK

Pri izvođenju remontnih radova u termoelektrani, posebno kada je u pitanju generalni remont, neophodno je striktno pridržavanje preporuka za sve montažne mere, koje se nalaze u tehničkom uputstvu. Na taj način se postiže da turbina ima maksimalni vek trajanja sa što manje oštećenja i zastoja. Pravovremenim zapažanjem i dobrom koordinacijom između osoblja koje radi u eksploataciji i održavalaca, kao i kontinuiranim praćenjem stanja mašine moguće je znatno smanjiti mogućnost većih oštećenja, a time povećati vreme rada i sigurnost ljudi i opreme.

5. LITERATURA

- [1] N. Vasiljević: *Parne turbine*, Maš. fak., Beograd, 1997.
- [2] A. D. Truhinii: *Parovije turbini*, Moskva, 2002.
- [3] S. Marković: *Održavanje mašina i opreme*, VTŠČ, 2005.
- [4] Tehničko uputstvo proizvođača.
- [5] Instrukcije za eksploataciju – TE Gacko.

Autori: Dr Svetislav Lj. MARKOVIĆ, profesor, Visoka škola tehničkih strukovnih studija Čačak, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, E-mail:svetom@nadlanu.com.

Mr Dragoljub VELIČKOVIĆ, dipl. ing. maš., REIK „Kolubara“, Dimitrija Tucovića 7/2, Lazarevac.

Milutinović, D., Glavonjić, M., Živanović, S., Dimić Z.

MULTIFUNKCIONALNI REKONFIGURABILNI OBRADNI SISTEM NA BAZI ROBOTA

Rezime: Istraživanje u oblastima tehnologija višeosne obrade i multifunkcionalnih obradnih sistema su danas veoma aktuelna u svetu i značajne su teme istraživanja kako u FP6 i FP7 tako i u EUREKA programu. Ova istraživanja su snažno podržana od industrija visokorazvijenih zemalja. Istraživanje i razvoj tehnologija višeosne obrade i multifunkcionalnih rekonfigurabilnih obradnih sistema čiji se deo rezultata opisuje u ovom radu se odnosi na obradu složenih estetskih i funkcionalnih površina na delovima većih gabarita, niže i srednje klase tačnosti. Za ove oblasti primene u domaćoj industriji se umesto velikih i skupih petoosnih mašina alatki u ovom radu opisuje planirana realizacija multifunkcionalnog rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi postojećeg šestoosnog industrijskog robota domaće proizvodnje.

Glavne reči: mašine alatke, roboti, multifunkcionalni obradni sistem

ROBOT BASED MULTIFUNCTIONAL RECONFIGURABLE MACHINING SYSTEM

Abstract: Research and development in the fields of multi-axis machining and multifunctional machine tools are very intensive world wide. Also they are significant research topics in FP6, FP7 and EUREKA! programs. These research activities or supported from industries of developed countries. This paper presents the part of research results in the development of robot based reconfigurable multi-functioned machining system for large parts of soft materials with modest tolerances and sculptured surfaces.

Key words: machine tool, robot, multi-functional machining system

1. UVOD

Stalni i sve brži razvoj novih proizvoda nametnut oštrom konkurencijom u mnogim industrijama kao što su avio i automobilska industrija, vojna industrija, energetski sektor itd., uslovljava izuzetno brz i dinamičan razvoj u domenu proizvodnih tehnologija. Ovakav razvoj pred proizvođače mašina alatki postavlja sve teže i vrlo oprečne zahteve. Sa jedne strane radi se o vrlo složenoj geometriji delova u malim serijama ili čak unikatnoj proizvodnji, dok se sa druge strane zahteva visoka tačnost i kvalitet obrade kao i visoka produktivnost.

Traženje rešenja za ove sve složenije zahteve je veoma inteziviralo istraživanja u ovoj oblasti koja su snažno podržana od proizvođača mašina alatki i druge proizvodne opreme. Pored 5-oosnih mašina alatki i rekonfigurabilnih obradnih sistema danas su veoma aktuelna istraživanja u oblasti multifunkcionalnih mašina alatki. Iz ove oblasti je pokrenuto i nekoliko velikih projekata u Japanu, SAD i EU (FP7 i EUREKA!). Međunarodna akademija za istraživanja u proizvodnom mašinstvu – CIRP (The International Academy for Production Engineering), sa sedištem u Parizu, je u okviru Naučno tehničkog komiteta za mašine (STC-M) kroz dva uvodna referata [1,2] dala preseke stanja i pravce istraživanja u oblasti rekonfigurabilnih obradnih sistema i virtuelnih mašina alatki. Za Generalnu skupštinu CIRP-a avgusta ove godine je u pripremi uvodni referat od većeg broja koautora na temu multifunkcionalnih mašina alatki koje odlikuje veliki broj osa, mogućnost izvođenja različitih metoda obrade rezanjem pa čak i laserskih metoda lokalne termičke obrade. Koncept multifunkcionalnih mašina takođe uključuje merenje i kontrolu delova, automatsku izmenu alata itd [3]. Osnovna ideja je da se složeni delovi iz date klase kompletno obrade na jednoj mašini i u jednom postavljanju. Ovaj koncept je zasnovan na velikom broju upravljanih osa

mašine i višeosnom obradom različitim kombinacijama osa mašina.

Multifunkcionalne mašine alatke za delove složene geometrije i visoke tačnosti, zbog svoje cene i dimenzija radnog prostora, ne pokrivaju oblast delova velikih dimenzija od mekših materijala i niže klase tačnosti koji se takođe odlikuju složenim funkcionalnim i estetskim površinama. Kao jedno od mogućih rešenja multifunkcionalnih mašina za ovu oblast predstavljaju industrijski roboti.

Polazeći od dugogodišnjeg iskustva Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, pokrenut je projekat razvoja pilot rekonfigurabilnog multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota za delove većih gabarita od mekših materijala, niže klase tačnosti i sa složenim estetskim i funkcionalnim površinama. U ovom radu se daje postavka koncepta multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota domaće proizvodnje.

2. ROBOTI U OBRADI REZANJEM

Kao što je pomenuto, savremene 5-oosne i multifunkcionalne mašine alatke karakteriše visoka cena i relativno mali radni prostor. Ove činjenice su snažno motivisale proizvođače robota da pokriju prostor obrade velikih delova sa složenim površinama od mekih materijala i niže klase tačnosti. Industrijski roboti na današnjem nivou razvoja imaju izuzetne karakteristike u pogledu nosivosti, tačnosti i dinamike. Poredeći ih sa 5-oosnim mašinama alatkama, za pomenutu klasu zadataka, odlikuje mnogo veći radni prostor i cena koja je niža za red veličine (prosečno 50 do 60 hiljada evra). Međutim, osnovni nedostatak današnjih robota je njihovo programiranje. Naime, svaki proizvođač robota ima svoj jezik za programiranje. S obzirom da su roboti po definiciji multifunkcionalne mašine, robotski jezici pokrivaju vrlo različite oblasti primene robota kao što su

manipulacija, zavarivanje, bojenje i tzv. pomoćne operacije obrade kao što su obaranje ivica, čišćenje, poliranje i slično. Programski jezici za robote su u kombinaciji sa obučavanjem pogodni za slučajeve gde se jednom napisan program koristi duže vremena. Međutim, za primenu robota u brzom izradi prototipova ili u višeosnoj obradi programiranje robota programskim jezicima je veoma složeno i dugotrajno. Razlog za ovo leži u nedovoljnoj kooperativnosti proizvođača robota u poređenju sa proizvođačima mašina alatki koji su bili spremni da koriste CAD/CAM sisteme na bazi standarda RS274, odnosno G kod. Prema [4,5] razlog za ovo je ležao u relativno malom tržištu robota, ali i nespremnosti proizvođača robota da otkriju detalje svog upravljačkog softvera.

U cilju savladavanja ove ozbiljne barijere za primenu robota u višeosnoj obradi mekših delova velikih gabarita danas je pokrenuto nekoliko projekata kako od velikih i renomiranih proizvođača robota (KUKA, Motoman, Fanuc, Staubli), tako i od proizvođača softvera (Delcam). Osnovni cilj ovih projekata je razvoj softvera za prevođenje G koda generisanih iz postojećih postprocesora za petoosne mašine alatke, na njihove robotske programske jezike.

3. POSTAVKA KONCEPTA SISTEMA

Potrebu za tehnologijom višeosne obrade složenih estetskih i funkcionalnih površina kao i za rekonfigurabilnim multifunkcionalnim obradnim sistemima imaju preduzeća u oblastima: izrade delova od lakih legura, obrade drveta, obrada drugih nemetala (kamen, plastika, staklo, kompozit), livenje metala (modeli, kalupi za jezgra i sl.), izrada alata za proizvode od kompozita (korita čamaca, kabine vozila, ljsuski lopatica, branika i sl.). Takođe značajan prostor za primenu multifunkcionalnih obradnih sistema predstavljaju i potrebe za restauracijom objekata kulturne baštine (crkve, manastiri, spomenici i sl.), kao i pozorišna i filmska scenografija.

Planirani rekonfigurabilni multifunkcionalni obradni sistem na bazi robota za izabranu klasu delova treba da obezbedi brzu izradu, na jednom mestu, složenih delova velikih gabarita od mekših materijala niže klase tačnosti sa složenim površinama generisanim raspoloživim CAD/CAM sistemima i metodama reverznog inženjerstva.

Ovakav sistem bi imao višestruko nižu cenu od postojećih multifunkcionalnih mašina alatki i zadovoljio zahteve u pogledu obrade niže klase tačnosti.

Postavka koncepta multifunkcionalnog rekonfigurabilnog obradnog sistema na bazi robota koja se ovde ukratko daje se bazira na:

- raspoloživom 6-ooenom robotu domaće proizvodnje LOLA 50, velikog radnog prostora, nosivosti i krutosti, slika 1.



Slika 1. Industrijski robot LOLA 50

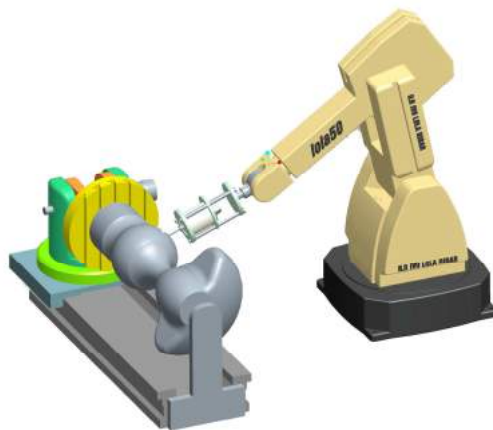
- iako je ovaj robot relativno starije konstrukcije poseduje zadovoljavajuću krutost i tačnost za ovaj pilot multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem;
- upravljačkom sistemu koji se konfigurise na bazi EMC2 (*Enhanced Machine Controller*), softvera i PC hardvera, koji će omogućiti programiranje u G-kodu, za sva kretanja koja ostvaruje robot, slika 2.
- mogućnost dogradnje dodatnih osa (pozicionih i kontinualnih) za specifične višeosne obrade, slike 3 i 4.



Slika 2. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi nepokretnog obratka



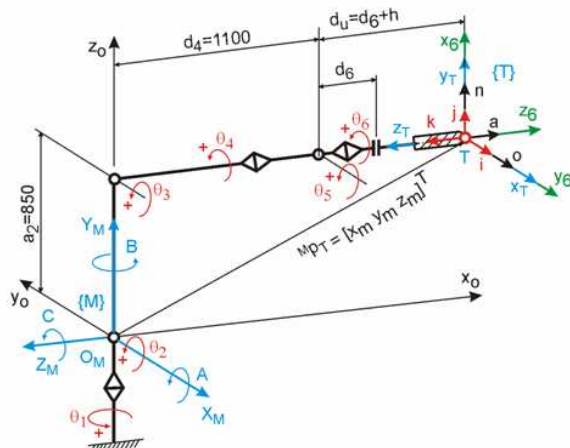
Slika 3. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi sa dodatnom kontinualnom obrtnom osom



Slika 4. CAD model robota LOLA 50 pri petoosnoj obradi nesimetričnog dugačkog obratka sa dodatnom obrtnom osom

4. UPRAVLJANJE I PROGRAMIRANJE

Upravljački sistem na bazi robota je baziran na PC Linux platformi i upravljačkom softveru otvorene arhitekture EMC2, koji je namenjen za upravljanje mašina alatki serijske i paralelne kinematike i robota. Ovaj softver je veoma popularan na univerzitetima širom sveta jer se jednostavno konfiguriše za upravljanje različitim mašinama. EMC2 je izrađen na osnovi NIST-ove (National Institute of Standards and Technology) RCS (Real-time Control System) metodologije i programiran je korišćenjem RCS biblioteke. Kinematičko modeliranje robota LOLA 50 je izvršeno po konvenciji za petoosne horizontalne mašine alatke slika 5 [1].



Slika 5. Kinematički model robota LOLA 50

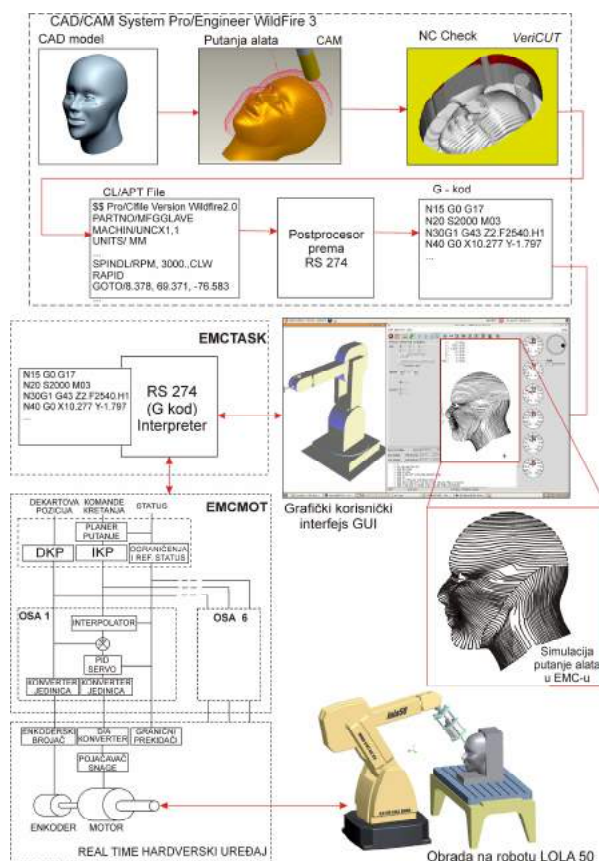
Modeliranje robota LOLA 50 je izvršeno po Denavit-Hartenberg-ovoj konvenciji s tim što su uvedene dve dodatne transformacije koje se odnose na koordinatne sisteme alata i mašine po konvenciji za petoosne horizontalne mašine alatke. Pozicija i orijentacija alata, odnosno koordinatnog sistema vezanog za vrh alata $\{T\}$, u odnosu na koordinatni sistem mašine $\{M\}$ je definisana jednačinom (1)

$${}^M_T T = {}^M_o T \cdot {}^o_6 T \cdot {}^6_T T = \begin{bmatrix} i_x & j_x & k_x & x_m \\ i_y & j_y & k_y & y_m \\ i_z & j_z & k_z & z_m \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde matrica 0_6T određuje poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema Ox6y6z6 vezanog za vrh endefektora u odnosu na koordinatni sistem Oxoyoza, vezanog za bazu robota. Matrica 6_7T , definiše poziciju i orijentaciju koordinatnog sistema {T} u odnosu na koordinatni sistem Ox6y6z6. Matrica M_0T definiše poziciju i orijentaciju baznog koordinatnog sistema robota u odnosu na usvojeni koordinatni sistem mašine.

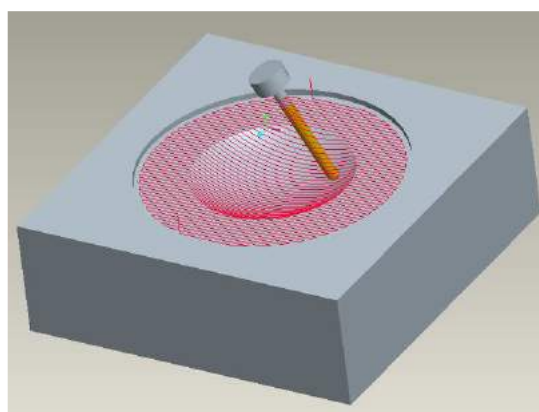
Za ovako postavljjeni kinematički model rešeni su direktni i inverzni kinematički problem, napisane su odgovarajuće funkcije u C++ jeziku i integrisane sa HAL (Hardware Abstarct Layer) u EMC2-u.

Polazeći od postavljenog cilja da se planirani multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem na bazi robota programira kao CNC mašina alatka primenom G-koda (RS274), dobijenog iz raspoloživih CAD/CAM sistema, sistem upravljanja i programiranja je konfigurisan kao što je pokazano na slici 6.

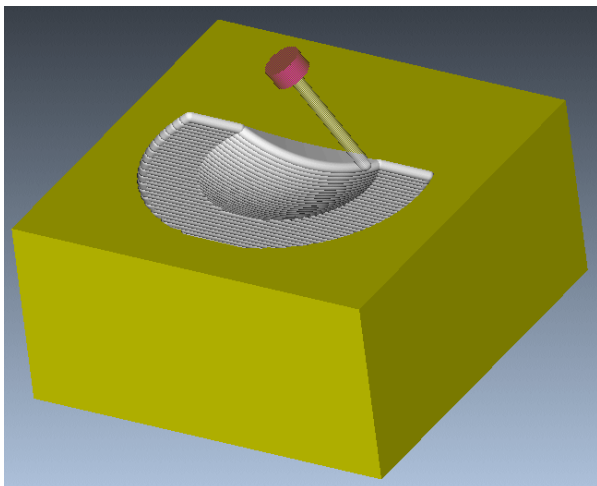


Slika 6. Koncept sistema upravljanja i programiranja

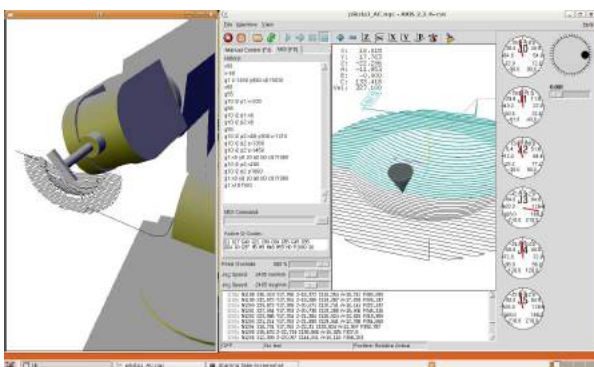
Polazi se od CAD modela za koji se u CAD/CAM sistemu (Pro/Engineer) generiše putanja alata (CLF – Cutter Location File), slika 7. Za dobijenu putanju alata prvo se vrši njena verifikacija u VeriCUT okruženju (slika 8), a zatim pristupa postprocesiranju CLF radi dobijanja G-koda za petoosnu horizontalnu glodalicu. Razmatrane su varijante postprocesora za konfiguracije mašina (X,Y, Z,A,B) i (X,Y, Z,A,C), gde X,Y,Z predstavlja poziciju vrha alata, a A,B i C uglove orijentacije alata. Za varijantu sistema sa slike 2, odnosno slike 5, gde sva kretanja izvodi robot usvojen je postprocesor za konfiguraciju mašine (X,Y, Z,A,C). Tako dobijeni G-kod se učitava u upravljački softver EMC2 gde se najpre vrši verifikacija programa na virtuelnoj mašini u realnom vremenu, slika 9, a zatim se upravljački signali sa sigurnošću mogu usmeriti ka realnoj mašini. Verifikacija programa u realnom vremenu na virtuelnoj mašini je neophodno zbog kinematike robota koja se bitno razlikuje od kinematike petoosnih mašina alatki (3 translatorne + 2 obrtne ose) čiji se G-kod preuzima.



Slika 7. Generisanje putanje alata u CAD/CAM sistemu



Slika 8. Verifikacija programa u VeriCUT okruženju



Slika 9. Verifikacija programa na virtuelnoj mašini

5. ZAKLJUČAK

U radu je pokazan koncept rekonfigurabilnog multifunkcionalnog obradnog sistema na bazi robota, kao deo istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije.

U ovoj fazi istraživanja prvo je konfigurisan virtuelni sistem upravljanja i programiranja za slučaj 5-oosne obrade robotom sa 6 stepeni slobode pri čemu sva kretanja ostvaruje robot. Nakon toga je tako konfigurisan sistem implementiran na realnom robotu LOLA 50, čime je zamenjena postojeća upravljačka jedinica, koja je imala PTP (Point to Point) upravljanje i sistem programiranja obučavanjem.

Suštinu novo konfigurisanog sistema upravljanja i programiranja čini mogućnost programiranja robota u višeosnoj obradi pomoću G-koda. Ovaj pristup se bitno razlikuje od postojećih sistema programiranja robota robotskim jezicima, što je za obradu veoma komplikovano. Takođe, ovako konfigurisan sistem upravljanja i programiranja se razlikuje i od danas aktuelnih pokušaja da se za obradu robotima, vrši prevođenje G-koda u robotske jezike.

Sistem je testiran na većem broju primera, koji su programirani u raspoloživom CAD/CAM sistemu.

U narednim fazama istraživanja definiše se broj, vrste i rapored dodatnih pomoćnih i pozicionih translatorskih i obrtnih osa. Ovo znači da će se sistem upravljanja i programiranja modifikovati tako da će omogućiti petoosnu obradu različitim kombinacijama osa robota i dodatnih pomoćnih osa.

6. IZJAVA ZAHVALNOSTI

Ovaj rad je nastao u okviru istraživanja na projektu Razvoj tehnologija višeosne obrade složenih alata za potrebe domaće industrije, koji je podržan od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Vlade Republike Srbije.

7. LITERATURA

- [1] Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Pritschow, G., Usloy, G., Van Brassel, Reconfigurable Machining Systems, CIRP Annals, Vol.48/2/1999, pp. 527-540
- [2] Altintas, Y., Brecher, M., Weck, M., Witt, S., Virtual machine tool, CIRP Annals, Vol.54/2/2005, pp. 651-674
- [3] Moriwaki, T., Altintas, Y., Multi-Functional machine tool, CIRP Annals, Vol.57/2/2008 (u štampi)
- [4] Bates, C., Move over machine tools here come robots, American Machinist Vol. 02/17/2006.
- [5] Webb, G., Morel, M., K., Robots: The Lower Cost, More Flexible Process Improvement Alternative to CNC Machine Tools, <http://www.Robotmachining.com>
- [6] Milutinović, D., Kvrđić, V., Dimić, Z., Živanović, S., Glavonjić, M., Multifunkcionalni rekonfigurabilni obradni sistem za višeosnu obradu složenih alata i delova velikih gabarita, Elaborat, Mašinski fakultet Beograd, 2008.
- [7] EMC, Enhanced Machine controller web site, <http://www.linuxcnc.org>
- [8] NIST, National Institute of Standards and Technology web site, <http://www.nist.gov>
- [9] Dimić, Z., Živanović, S., Kvrđić, V., Konfigurisanje EMC2 za programiranje i simulaciju višeosnih mašina alatki u Python virtuelnom grafičkom okruženju, XXXII Savetovanje proizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Novi Sad, 2008. (rad u pripremi)

Autori: prof dr Dragan Milutinović, prof dr Miloš Glavonjić, mr Saša Živanović¹⁾, Zoran Dimić²⁾.

¹⁾ Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 3302-415, Fax: +381 11 3370-364.

²⁾ LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 254 2510.

E-mail: dmilutinovic@mas.bg.ac.yu
mglavonjic@mas.bg.ac.yu
szivanovic@mas.bg.ac.yu
dimic@lola-ins.co.yu

Nedić, B., Janković, M.

MONTAŽA AUTOMOBILA ZASTAVA 10 - PRIMER USPEŠNE PROIZVODNJE AUTOMOBILA

Rezime: U radu je prikazan deo sistema za montažu u okviru proizvodnje automobila ZASTAVA 10. Postojeća montažna linija je opremljena sa savremenom opremom i u potpunosti zadovoljava sadašnji obim proizvodnje. Mali broj direktno angažovanih radnika i relativno mali prostor uz maksimalno organizovanu pripremu i realizaciju omogućuje proizvodnju do 3.000 automobila mesečno pri radu samo u jednoj smeni.

Ključne reči: montaža, Zastava 10, podsklopovi, montažna traka, automobil

MONTAGE OF ZASTAVA 10 CAR - EXAMPLE OF SUCCESSFUL AUTOMOBILS PRODUCTION

Abstract: In this work is presented part of montage system within ZASTAVA 10 production. Existing montage line is equipped with modern equipment and completely satisfies present production capacity. Small number of directly employed workers and small space with highly organised preparation and realisation enable production up to 3000 automobiles per month working in only one shift.

Key words: montage, ZASTAVA 10, subgroups, montage line, automobiles

1. UVOD

Montaža je jedan od najznačajnijih delova proizvodnog sistema, predstavlja završnu fazu izrade jednog proizvoda. U okviru proizvodnog sistema montaža je usko, organizacijski, povezana sa mnogim procesima rada koji joj prethode.

Ako se proizvodni sistem u kome se odvija proces proizvodnje posmatra kao sistem sa osnovnom ulaznom veličinom „poluproizvod“ i izlaznom veličinom „proizvod“, tada se proces montaže može posmatrati kao deo tog sistema sa višestrukim vezama, posebno sa proizvodnjom delova i skladištenjem delova iz trgovine i kooperacije. Kapacitet montaže, odnosno broj proizvoda koji se može proizvesti u određenom vremenskom periodu, predstavlja kapacitet preduzeća u okviru kojeg se posmatra sam proces proizvodnje.

Tehnološki razvoj je omogućio izdvajanje dva osnovna koncepta proizvodnje, koji imaju značajan uticaj na proces montaže.

Jedan koncept pretpostavlja razvoj čitavog niza novih proizvoda, koji u poređenju sa prethodnim imaju veću preciznost i viši stepen složenosti. Ovaj koncept je uočljiv kod štamparskih, tekstilnih, poljoprivrednih, alatnih i drugih mašina i kod drugih automatizovanih sistema, mašina ili postrojenja. U okviru ove tendencije udeo vremena montaže je izrazito veliki.

Drugi koncept je prisutan kod proizvodnje u velikim serijama i pretežno se sreće kod proizvodnje roba široke potrošnje, elektronskih ili elektrotehničkih proizvoda. Razvoj procesa obrade preciznim livenjem i deformisanjem je omogućio da se složeni delovi, koji su se do sada sastojali od više sastavnih delova, izrađuju u konačnom obliku u jednom delu. Ovo je dovelo do opadanja broja sastavnih delova i do pojednostavljenja procesa montaže.

Istraživanja uticaja stepena složenosti proizvoda i načina proizvodnje na udeo vremena montaže u odnosu na ukupno vreme izrade proizvoda kao i udeo radnika koji rade na montaži u ukupnom broju proizvodnih radnika pokazuju da se u oblasti montaže nalaze velike rezerve i da se racionaliza-

cijom procesa montaže mogu postići velike uštede.

U industrijskoj proizvodnji proces montaže može da se organizuje u vidu:

- neprotočne montaže;
- protočne-linijske montaže.

Pod protočnom montažom podrazumeva se takav sistem montaže u kome se celishodno zaokružene aktivnosti obavljaju istovremeno u okvirima određenog vremena – takta. Ona se organizuje u obliku linije i primenjuje se kod velikoserijske i masovne proizvodnje za završnu izradu proizvoda složene strukture.

Za montažu automobila koristi se isključivo protočna (linijska montaža). U dosadašnjoj praksi montaže automobila koristile su se tri koncepcije:

- montaža automobila od elemenata,
- montaža iz „potpuno rasklopljenog stanja“ tj. „montaža iz CKD stanja“ i
- montaža iz „polurasklopljenog stanja“ tj. „montaža iz SKD stanja“.

Najcelishodnija i najzastupljenija je montaža iz CKD stanja, jer je uslovljena tehničkim standardima i carinskim propisima. Stvaranjem ekonomskih i carinskih unija kao i ukidanjem granica između država, SKD koncept montaže počeo je da gubi na značaju, jer su troškovi manipulacije i transporta prevazišli troškove carina. Montaža automobila od elemenata je napuštena još pre oko 10 do 15 godina.

2. MONTAŽA AUTOMOBILA ZASTAVA 10

Osnovna pretpostavka za proizvodnju (varenje, površinska zaštita i montaža) automobila ZASTAVA 10 proizilazi iz tehničko-komercijalnog ugovora potpisanog između FIATA i ZASTAVE. Po ovom ugovoru izvršene su u ZASTAVI neophodne izmene i dorade kao i montaža novih linija, što je omogućilo da kvalitet proizvodnje automobila odgovara evropskim standardima.

Postojeća montažna traka I, se nalazi u hali I fabrike „Montaža“ i predviđena je za proizvodnju automobila Z10.

Ova traka sadrži 74 radne nosiljke. Od 12.350 m² hale I fabrike „Montaža” 4.741 m² čine proizvodne površine, 3.450 m² predstavljaju magacini, 2.704 m² zauzimaju saobraćajnice, dok su ostale površine pešačke staze i pomoćne kancelarije. Profil montažne trake kao i korak tehnološkog konvejera usaglašeni su sa FIAT-om i saglasno tome izvršene su sve neophodne rekonstrukcije transportera. Pri ovim rekonstrukcijama korak tehnološkog konvejera povećan je sa 4.876 mm na 5.486 mm. U smeni se proizvodi 80 automobila, mada je realni mogući kapacitet montažne trake oko 130 automobila u smeni, odnosno 3.000 automobila mesečno i do 40.000 automobila godišnje pri radu samo u jednoj smeni.

3. PROIZVODNI POGON ZA MONTAŽU AUTOMOBILA Z10

Osnovna delatnost pogona za montažu automobila je formiranje podsklopova i sklopa automobila ZASTAVA 10. U osnovni proces montaže automobila Z10 čine sledeće faze rada:

- doprema lot-ova,
- raspakivanje i skladištenje delova,
- manipulacije delovima,
- pripreme podsklopova,
- montaža automobila,
- dorade automobila,
- završni prijem i
- otprema automobila.

3.1 Doprema lot-ova

Lot-ovi se dopremaju železnicom i nakon prispeća kompozicije na postojeću utovarno-istovarnu rampu organizuje se njihov istovar. Delovi koji se koriste u procesu montaže automobila odvoze se na utovarno-istovarnu rampu hale I, gde se preuzimaju i odvoze u zonu za raspakivanje i skladištenje delova.

3.2 Raspakivanje lot-a i skladištenje delova

Površine za raspakivanje i skladištenje delova iz LOT-a locirane su neposredno do magacinskih površina koje su u blizini montažne linije I, u visokom polju hale I fabrike Montaža. Na ovom prostoru skladište se dva LOT-a u neraspakovanom i tri u raspakovanom stanju. Inače, u jednom LOT-u se nalaze delovi za montažu 96 automobila. Navedeni prostor je ograđen (žičana platna) od ostatka hale.

3.3 Manipulacija delovima

Dovoženje LOT-ova sa platoa železničke rampe do utovarno-istovarne kamionske rampe hale I odvija se pomoću dizel viljuškara i kamiona. Preuzimanje i odvoženje LOT-ova u zonu za prijem i raspakivanje, kao i manipulacije unutar magacina, izvodi se viljuškarama.

Snabdevanje montažne linije I vrši se pomoću viljuškara (elektro i pogon na plin), elektrokolicima i visećim transporterima. Visećim transporterima od zone pripreme do mesta ugradnje dopremaju se sklopovi: *točka, motor-menjač, prednje vešanje i poprečna traverza prednjeg vešanja.*

3.4 Priprema podsklopova i sklopova

U izdvojenim zonama odvijaju se pripreme sledećih podsklopova:

Priprema točkova

Priprema točkova se izvodi na liniji (slika 1) koju opslužuju dva radnika a sama linija se sastoji od: jednog uređaja za montažu pneumatika na felnu, jednog obrtnog stola za naduvavanje pneumatika preko ventila i jednog uređaja za uravnoteženje-balansiranje točkova. Pripremljeni točkovi postavljaju se na nosiljke visećeg transportera koji ih doprema do mesta ugradnje.



Slika 1. Linija za pripremu točkova

Priprema sklopa motor- menjač

Mesto za pripremu sklopa motor-menjač nalazi se u zoni visokog polja hale I. Pomoću viseće mostne dizalice iz palete (sanduk od stiropora) preuzima se motor i postavlja na alat-nosač (slika 2) koji je istovremeno deo podnog transportera, a zatim po istom principu preuzima se iz sanduka menjač i vrši se njegova ugradnja-spajanje sa motorom. Nakon kompletiranja motora sa menjačem i ostalim elementima sklop se pomoću mostne dizalice kači na nosiljku visećeg transportera (slika 3) i ona ga doprema do mesta ugradnje. Ukoliko se sklop motor-menjač ne preuzme na vreme sa podnog transportera isti će se zbog bezbednosti zaustaviti.



Slika 2. Alat-nosač za montažu sklopa motor menjač



Slika 3. Viseći transporter za dopremanje sklopa motor-menjač, traverze prednjeg vešanja i sklopa prednjeg vešanja

Priprema traverze prednjeg vešanja (traverza-glava upravljača-oscilujuća ramena-balans poluga)

Priprema traverze prednjeg vešanja (slika 4) se vrši u istoj zoni kao i priprema sklopa motor-menjač. Za pripremu se

koriste elektro alati najnovije generacije sa programiranim momentima stezanja (tenzori). Nakon izvršene pripreme sklop se pomoću mostne dizalice preuzima sa radnog stola i kači na nosiljku visećeg transportera koja ga zatim doprema do mesta ugradnje.



Slika 4. Radni sto za pripremu traverze prednjeg vešanja

Priprema sklopa prednjeg vešanja (sklop amortizera-nosač točka-sklop poluosovine)

Priprema sklopa prednjeg vešanja se vrši u istoj zoni kao i priprema sklopa motor-menjač. Priprema se izvodi na najsavremenijoj opremi (uz neizbežne tenzore) (slika 5) koja štampanjem rezultata (momenta stezanja) verifikuje ostvareni kvalitet. Zatim se pripremljeni sklopovi kače na nosiljke visećeg transportera koji ih doprema do mesta njihove ugradnje.



Slika 5. Uređaj za pripremu sklopa prednjeg vešanja.

Priprema instrument table

Priprema instrument table se izvodi pomoću odgovarajućeg uređaja (slika 6). Zatim se pomoću uređaja za dijagnostiku vrši provera i verifikacija ugrađenih pozicija.



Slika 6. Uređaj za pripremu i kontrolu instrument table

U sklopu iste tehnološke trake izvode se i pripreme sklopa zadnjeg vešanja, branika, ABS-a itd. Za pripremu sklopa zadnjeg vešanja takođe se koristi najsavremenija oprema u sklopu koje se nalaze i tenzori.

3.5 Montaža automobila

Dopremanje ofarbane školjke iz fabrike „Površinska Zaštita“ u fabriku „Montaža“ izvodi se pomoću dvošinskog visećeg transportera. Za transport školjke u toku kompletnog procesa montaže koristi se sistem visećih nosiljki na čijim krajevima su školjke završene što je izuzetno značajno zbog bezbednosti i pravilnog izvođenja tehnoloških operacija.

Proces montaže na tehnološkoj traci obuhvata sledeće faze rada:

Opremanje školjke

U ovom delu tehnološke trake ugrađuju se lajsne, elektro-instalacija, sklop pedala, prostirke, sigurnosni pojasevi, instrument tabla, ugradnja zadnjeg stakla kao i stakla vetrobrana, i vrši opremanje i dijagnostika vrata. Da bi se, na ovom delu linije, dostigao projektovani nivo kvaliteta, nanošenje lepka na staklo vetrobrana i petih vrata je robotizovano (slika 7).



Slika 7. Robot za nanošenje lepka na staklo vetrobrana i petih vrata

Ugradnja mehanike

Ugradnja elemenata mehanike se izvodi na visokom delu tehnološke trake. Ovde se na jednom mestu (podni transporter) na mehanizovan način pomoću centralina izvodi ugradnja zadnjeg vešanja, prednjeg vešanja, sklopa motor menjač, sklopa hladnjaka i sklopa komandi ručice menjača, slika 8. Sistem predstavlja jedno savremeno rešenje i urađen je po uzoru na rešenja koja FIAT primenjuje u svojim fabrikama.



Slika 8. Ugradnja kompletne mehanike

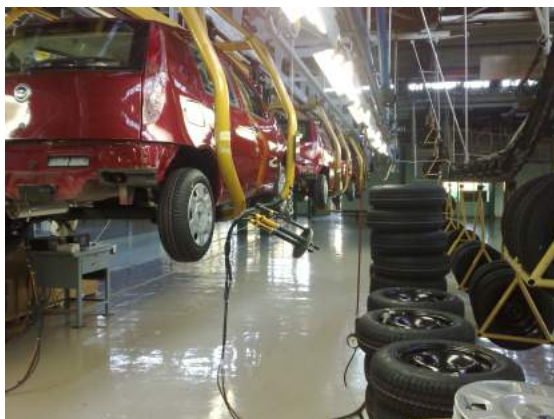
Završno opremanje školjke

Na završnom delu linije ugrađuju se branici i vrši nalivanje ulja u instalaciju za kočenje, nalivanje rashladne tečnosti, nalivanje fluida za klimu, nalivanje ulja u motor, ugradnja sedišta, dijagnostika, kodiranje ključeva, nalivanje goriva, nalivanje tečnosti u posude za pranje stakala i ugradnja točkova.

Nalivanje fluida se vrši uređajima najnovije generacije. Pre nalivanja ulja u instalaciju za kočenje, rashladne tečnosti i u klima uređaj, vrši se ispitivanje zaptivenosti instalacija, nakon čega se nalivaju fluidi i verifikuju izvedene tehnološke operacije.

Na savremenoj opremi se zatim automatizovano podešava ručna kočnica i ispituje instalacija za kočenje.

Ugradnja točkova se takođe izvodi na savremen način pomoću polumultipli (slika 9). One olakšavaju montažu točkova i verifikuju izvođenje tehnološke operacije.



Slika 9. Polumultipl-uređaj za montiranje točkova na automobil

Dalji ciklus obuhvata automatizovano spuštanje automobila sa montažne trake na tlo pomoću lifta, nakon čega sledi prvo startovanje motora automobila. U ovoj zoni je obezbeđena ventilacija izduvnih gasova iz hale.

Završno testiranje automobila

Nakon prvog startovanja automobil se preko lestvi za rastresanje odvozi do najsavremenijeg uređaja (slika 10) za podešavanje farova i geometrije automobila. Uređaj laserski očitava ostvarene parametre geometrije i preko monitora daje instrukcije radniku kako da ih dovede na zadate vrednosti. Sve faze rada se mogu pratiti a ostvareni parametri se beleže štampanjem.



Slika 10. Uređaj za podešavanje farova i geometrije automobila

Nakon izvršenih podešavanja automobil se odvozi u kabinu gde se na savremenom uređaju sa valjcima vrši kontrola rada moto-propulzivne grupe, kao i provera funkcije

sistema za kočenje automobila. Kabina u kojoj je smešten uređaj izoluje zonu probe od ostatka hale i praktično buku i izduvne gasove svodi na propisane mere. Iz zone probe automobil se odvozi u radionice završne dorade.

Ukoliko na tehnološkoj traci nije uspešno izvršeno kodiranje ključeva, ili pak postoje neki problemi vezani za dijagnostiku takav automobil se nakon spuštanja sa transportera na tlo mora dopremiti ili odgurati u zonu dorade.

3.6 Dorade automobila

Nakon izvršenih završnih proba, u slučaju da je ustanovljen neki nedostatak vozilo se upućuje u zonu dorade u kojoj je moguće izvršiti neophodne popravke:

- mehaničarske dorade,
- bravarsko-električarske dorade,
- lakirerske dorade i
- kompletiranje automobila.

3.7 Završni prijem

Iz radionica završne dorade automobil se odvozi u zonu gde se vrši provera zaptivenosti automobila (proba na kišu). Kabina za ovakva ispitivanja kao i sam proces ispitivanja automobila su u skladu sa FIAT-ovim normama.

Ukoliko se pri proveru ustanovi da je zaptivenost dobra vrši se prijem automobila. Ukoliko se pak pri proveru zaptivenosti ustanove nedostaci isti se saniraju i vrši se dorada i ponovo proba zaptivenosti.

3.8 Otprema automobila

Iz zone prijema automobil se odvozi na parking gotovih automobila i otprema se prodajno servisnim organizacijama.

4. ZAKLJUČAK

U okviru rada opisana je montaža automobila Z10. Postojeća montažna linija je opremljena sa savremenom opremom i u potpunosti zadovoljava sadašnji obim proizvodnje. Korišćenjem savremene proizvodne opreme za montažu automobila ZASTAVA 10, stvoreni su uslovi za nastanak i dalji raspreduzeća zasnovanog na savremenom konceptu proizvodnje automobila koje podrazumeva montažu iz „polurasklopljenog stanja“ tj. „montaža iz SKD stanja“ i napuštanje dugo ukorenjenog koncepta proizvodnje najvećeg broja elemenata i njihove montaže na jednom mestu.

Korišćenje niza specijalnih visokotehnološki razvijenih pomoćnih pribora i uređaja znatno je olakšavana manipulacija sa delovima i podsklopovima čime se ispunjavaju zakonski i ergonomske propisi u radu.

5. LITERATURA

1. Miodrag L.: *Tehnologija obrade metala rezanjem*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2002.
2. Milorad M.: *Finalna montaža automobila, Zastava automobili*, Kragujevac, 1977
3. Proizvodna i poslovna dokumentacija ZA a.d.
4. Zelenović D., Čosić I.: *Montažni sistemi*, Nauka, Beograd, 1991
5. Podaci sa interneta:
www.mountztorque.com ; www.atlascopco.com ;
www.durr.com ; www.sixtau.com ; www.bepco.com ;
www.jofa.it ; www.isravisio.com

Autori: Prof. dr Bogdan Nedić, student apsolvent Janković Marko, Mašinski fakultet, Kragujevac, Sestre Janjić 6, 034 332 810, nedic@kg.ac.yu

Nedić, B., Kaplarević, M.

FLEKSIBILNI MONTAŽNI PRIBORI ZA IZRADU DELOVA SLOŽENIH PROSTORNIH FORMI TEHNOLOGIJAMA SPAJANJA

Rezime: Razvoj montažnih pribora i njegova primena za stezanje u tehnologijama spajanja elektrootpornim i drugim vrstama zavarivanja, lemljenja, lepljenja i vijčane veze je omogućio višestruko sniženje vremena i troškova po jedinici proizvoda sa aspekta cene koštanja pribora i višestruko smanjenje vremena potrebnog za stvaranje uslova za početak proizvodnje. Primenom ovih alata eliminiše se klasična konstrukcija i izrada alata koja je vezana za veliko vreme i troškove za ove aktivnosti.

Ključne reči: montažni stezni pribori, zavarivanje, spajanje, karoserijski delovi

FLEXIBLE TOOL FOR MANUFACTURE OF COMPLEX THREE DIMENSIONAL FORMS FOR WELDING TECHNOLOGIES

Abstract: Development of assembly accessories and its application for clamping in joint technologies (electricity resistant or forms of welding, brazing, pasting or with bolted connection) enabled multiple cutting down of time and expenses per product unit, due to accessory price, and also significant lowering of time needed for fulfilling conditions for manufacturing start.

Key words: flexible tools, welding, clamping, car-body

1. UVOD

Izrada karoserijskih delova automobila, koji predstavljaju sklopove složenih prostornih formi, zahteva upotrebu skupih alata specijalne konstrukcije. Kada je u pitanju proizvodnja većih serija upotreba ovakvih alata je ekonomski opravdana. Međutim, kod izrade delova u malim serijama, kao i prototipova primena specijalnih, složenih alata poskupljuje proizvodnju u tolikoj meri da je njihovo korišćenje gotovo isključeno.

Problemi koji se u ovakvim slučajevima javljaju kod maloserijske proizvodnje sklopova su:

- visoko učešće cene alata u ceni proizvoda,
- troškovi konstrukcije alata zauzimaju značajno mesto u troškovima početka proizvodnje sklopova i
- dug period vremena od konstrukcije do izrade alata, odnosno početka proizvodnje, što može da utiče na konkurentnu sposobnost proizvođača.

Osnovni zahtevi koje karoserijski alat treba da ispuni kako bi se izrađivali kvalitetni sklopovi su:

- tačno pozicioniranje i stezanje sastavnih elemenata sklopa,
- slobodan pristup elemenata za zavarivanje ili drugih pribora i
- lako ulaganje elemenata i vađenje spojenih sklopa.

Navedeni zahtevi treba da budu ispunjeni bez obzira na veličinu proizvodne serije, što podrazumeva upotrebu alata za čiju konstrukciju i izradu treba uložiti odgovarajuća novčana sredstva.

U sadašnjoj proizvodnoj praksi, karoserijski alati se projektuju za izradu samo jednog sklopa, a stepen automatizacije zavisi od veličine proizvodne serije relevantnog sklopa. Kako je u ovde reč o maloserijskoj proizvodnji i izradi prototipova, alat je primeren takvoj proizvodnji što znači da su postavljanja elemenata i njihovo stezanje manuelni.

Karoserijski sklopovi imaju složen oblik koji je definisan veličinama u trodimenzionalnom ortogonalnom sistemu. Problem izrade takvih sklopova u okviru zadatih tolerancija je

u osnovi problem poziciranja i stezanja sastavnih elemenata sklopa, tako da se omoguće potrebna zavarivanja ili druge vrste spajanja i dobije sklop u propisanim tolerancijama. Isto važi za sklopove složenih prostornih formi u drugim granama metaloprerađivačke industrije.

Pri projektovanju i izradi karoserijskih sklopova treba razlikovati sklopove manjih dimenzija i karoserijske sklopove veoma velikih dimenzija. Sklopovi velikih dimenzija se sreću kod vozila većih dimenzija, autobusa, kombija, dostavnih i specijalnih i namenskih vozila i sl.

2. FLEKSIBILNI STEZNI SISTEM ZA DELOVE MANJIH DIMENZIJA

Minimalna konfiguracija karoserijskog alata za izradu delova manjih dimenzija sadrži radni sto, reperne i stezne grupe. Veličina radnog stola, broj i optimalan raspored repernih i steznih grupa su u funkciji veličine i složenosti sklopa a nezavisni su od veličine proizvodne serije izrađivanih sklopova.

Fleksibilni stezni sistem omogućuje da se na jednom radnom stolu ostvari veoma veliki (praktično neograničen) broj kombinacija pozicioniranja, oslanjanja i stezanja kroz mogućnost postizanja slobode podešavanja u svim pravcima normalnog koordinatnog sistema **XYZ**, kao i uz mogućnost rotacije elemenata.

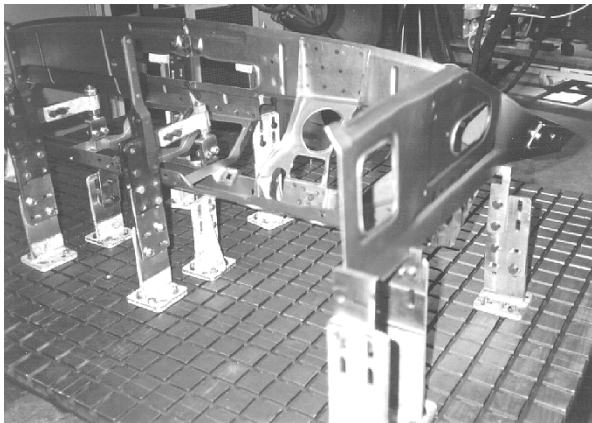
Fleksibilni stezni sistem predstavlja rešenje problema ekonomične izrade karoserijskih sklopova i drugih sklopova složenih prostornih formi koji se rade u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji, kao i izrade prototipova u istim oblastima proizvodnje.

Projektovanje je ostvareno preko sistema elemenata čija konstruktivna rešenja omogućavaju potpuno pokrivanje prostora iznad površine radnog stola, kombinujući njihovu međusobnu uparivost i mogućnost podešavanja međusobnog položaja elemenata i mogućnost podešavanja položaja formiranog sklopa na površini stola zahvaljujući urezanim "T" žlebovima.

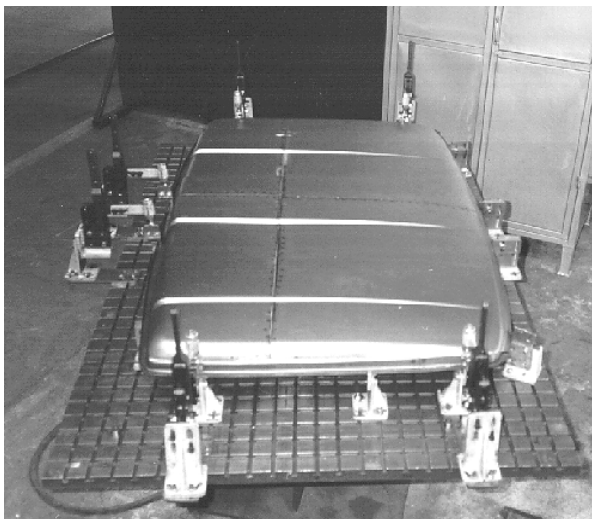
Osnovni elementi sistema, urađeni prema kriterijumima

koji postavljaju teorijski principi pokrivanja prostora, omogućuju da se ostvari potpuno pokrivanje prostora po površini stola i po visini do onog opsega, koji je usvojen za visinu osnovnih zavarenih sklopova i osnovnih nosećih ploča. To ustvari znači da će moći da se ostvari praktično neograničen broj kombinacija repernih i steznih grupa u opsegu koji sami određujemo gabaritima radnog stola i osnovnih elemenata fleksibilnog sistema.

Na slikama su prikazani primeri praktične primene fleksibilnog alata pri izradi karoserijskih sklopova manjih dimenzija namenjenih za kamion.



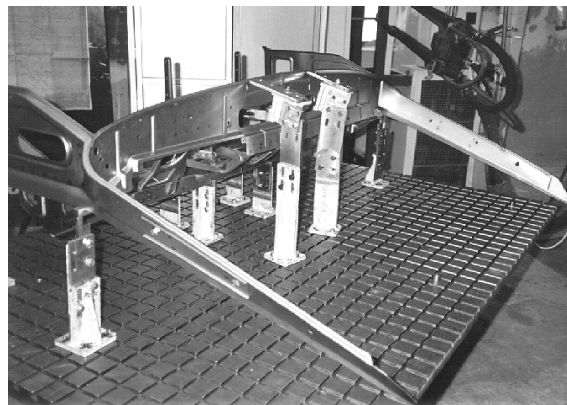
Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.

Fleksibilni alat omogućava potpuno zadovoljavanje zahteva koje karoserijski alat treba da ispuni, kroz upotrebu standardnih elemenata sistema i eventualnu konstrukciju i izradu specifičnih elemenata (oslonaca, pritiskača i slično) koji bi se kasnije koristili pri formiranju konfiguracije alata za relevantni sklop.

Konstrukcija alata za formiranje relevantnih sklopova na **fleksibilnom alatu** predstavlja optimalno kombinovanje standardnih elemenata da se dobiju željene stezne i repne grupe. Kako je već napomenuto projektuju se samo specifični elementi čiju funkciju nije moguće dobiti korišćenjem standardnih elemenata sistema.

Formiranje definisane konstrukcije alata za određeni sklop vrši se prema verifikovanom uzorku relevantnog sklopa, merenjem u koordinatnom sistemu stola ili kombinovano. Posle završene izrade vrši se demontaža grupa i može se pristupiti projektovanju i montaži alata za izradu novog sklopa.

Pored izrade karoserijskih sklopova u redovnoj maloserijskoj proizvodnji **fleksibilni alat** se uspešno može koristiti u prototipskoj izradi pomenutih sklopova, zatim pri montaži i zavarivanju raznih drugih sklopova složenih formi.

Osnovne prednosti **fleksibilnog alata** su sledeće:

- višestruko sniženje troškova po jedinici proizvoda sa aspekta cene koštanja alata,
- višestruko skraćanje vremena potrebnog za stvaranje uslova za proizvodnju,
- višestruko skraćanje vremena potrebnog za konstrukciju alata i
- potpuna eliminacija vremena čekanja na izradu alata.

Kod izrade prototipova i uzoraka omogućeno je:

- merenje u koordinatnom sistemu stola i.
- olakšano postavljanje i fiksiranje sastavnih delova sklopa

Jednostavnija i sa znatno manjom cenom je varijanta Fleksibilnog alata sa radnim stolom koji umesto „T” kanala ima otvore za vijčane veze. Kod ovog rešenja je u manjoj meri umanjena fleksibilnost alata

3. FLEKSIBILNI STEZNI SISTEM ZA DELOVE VELIKIH DIMENZIJA

Za izradu velikih složenih prostornih formi razvijena je posebna konstrukcija Fleksibilnog alata za velike složene prostorne forme. Konstruktivno rešenje se bazira na konceptu modularne rešetkaste platforme, koja je ekvivalent radnog stola sa „T” kanalima i korišćenju standardnih elemenata posebno dizajniranih za izradu velikih sklopova. Moduli rešetkaste platforme su dizajnirani tako da omogućavaju međusobno kombinovanje radi dobijanja

konfiguracije "radnog stola" koja je optimalna osnova za postavljanje konfiguracije alata za izradu relevantnog sklopa. Planarnost površine rešetkaste modularne platforme se postiže preko specijalnih nosača.

Specijalno dizajnirani standardni elementi omogućavaju postavljanje konfiguracije koja može da prihvati veoma velike elemente sklopova koji se izrađuju na ovom Fleksibilnom alatu. Alat je realizovan, kao i prethodni u Zastava kamionima u okviru inovacionog projekta koji je finansiran od Ministarstva nauke Republike Srbije.

Patentirano rešenje Fleksibilnog alata je sublimacija iskustva stečenog tokom učešća na više različitih projekata u Zastava automobilima i Zastava kamionima.

Na sledećim skicama je prikazana primena fleksibilnog steznog alata namenjenog za izradu veoma velikih sklopova složenih prostornih oblika.



Slika 5.



Slika 6.



Slika 7.



Slika 8.



Slika 9.



Slika 10.



Slika 11.

Projektovanje i realizacija fleksibilnih steznih sistema za izradu karoserijskih i drugih sklopova složenih oblika je omogućilo stvaranje uslova za uspostavljanje saradnju u iskorišćavanju nesumnjivih prednosti koje pruža Fleksibilni alat a koje su potvrđene u višegodišnjoj primeni:

- projektovanje fleksibilnog alata za izradu manjih i srednjih dimenzija sklopova,
- projektovanje fleksibilnog alata za izradu velikih sklopova,
- izrada fleksibilnog alata u mnogim proizvodnim pogonima i
- osnivanje posebnog preduzeća ili Inovacionog centra za projektovanje i proizvodnju prototipova, malih i srednjih serija složenih prostornih sklopova.

4. ZAKLJUČAK

Polazeći od karakteristika procesa proizvodnje u Zastava kamionima, RJ Karoserija, za izradu velikog broja varijanti vozila u malim serijama, pri čemu se pojavljuje značajan broj sklopova veoma složenog oblika, za koje je potrebno imati alate da bi se postigao željeni kvalitet i dugogodišnjeg rada na projektovanju složenih alata za izradu karoserijskih sklopova, došlo je do razvoja i realizacije prototipa fleksibilnog sistema za stezanje delova pri elektrootpornom spajanju (zavarivanju)

elemenata sklopova.

Realizovani sistemi, zasnovani na garnituri odgovarajućih elemenata za pozicioniranje i stezanje i osnovnoj ploči za njihovo postavljanje i povezivanje sklopova manjih dimenzija i specijalnih nosećih veznih elemenata velikih fleksibilnih alata, je omogućio dobijanje univerzalnih steznih alata čime su višestruko sniženi troškovi po jedinici proizvoda sa aspekta cene koštanja alata, višestruko skraćeno vreme potrebno za konstruisanje i izradu alata, višestruko skraćeno vreme za započinjanje proizvodnje. Korišćenjem fleksibilnih sistema ostvarena je i višestruka pomoć pri tehnološkim analizama izrade sklopova složenih prostornih formi za serijsku proizvodnju.

5. LITERATURA

- [1] *Kršljak, B.*, Proizvodne tehnike, pomoćni pribori, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
- [2] *Vukelja, D.*, Konstrukcija i proračun pomoćnih pribora, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1978.
- [3] *Nedić, B., Kaplarević, M.*, Development of assembly accessories for clamping in joint technologies, X International conference on Tools, Miskolc, Hungary, 2000
- [4] *Nedić, B., Kaplarević, M., Ječmenica, R.*, Razvoj montažnih pribora za stezanje u tehnologijama spajanja, Yupiter 2000, Beograd, 2000.
- [5] *Nedić, B., Kaplarević, M.*, Flexible tool for positioning and clamping the assembly the car-body and other complex three dimensional forms, The Fifth International Conference Heavy Machinery HM 2005, Kraljevo, 2005.
- [6] *Kaplarević, M.*, Patentna prijava P-599/98, Beograd, 1998.
- [7] *Jović, M., Kršljak, B.*, Osnove konstrukcija alata i pribora, naučna knjiga, Beograd, 1987.

Autori: Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Sestre Janjić 6, 034 332 810, nedic@kg.ac.yu
Kaplarević Miroslav, Zastava kamioni, Kragujevac, Trg topolivaca 4, 034 335 155, mkaplar@ptt.yu

Pavićević, Ž., Kvirgić, V., Dimić, Z., Trgovčević, S.

ANALIZA STANJA I TRENDOVA RAZVOJA VERTIKALNIH PETOOSNIH OBRADNIH CENTARA U SVETU

Rezime: Vodeći svetski proizvođači alatnih mašina već dugo rade na proširenju mogućnosti obrade na horizontalnim i vertikalnim strugovima. Dodavanjem C ose i jedinica glodanja i bušenja, strugovi postaju obradni centri na kojima je moguće vršiti razne mašinske obrade. Korišćenjem i NC dvoosne ugaone glave kod vertikalnih strugova moguće je vršiti glodanje i bušenje u horizontalnoj ravni, ali i pod nekim uglom u odnosu na osu rama čime se dobija petoosna obrada komada. Iz razloga uštede vremena i mogućnosti složene obrade komada na jednoj mašini, potreba za ovakvim tipom mašina je velika. U proteklih nekoliko godina imamo tendenciju rasta kako proizvodnje tako i izvoza petoosnih obradnih centara. Napomenimo samo da u oblasti proizvodnje alatnih mašina, globalni obim proizvodnje ima godišnji rast od 8,9 %; porast proizvodnje, koji je otpočeo 2004. godine, dostigao je vrednost globalnog obima od €47,4 mlrd u 2006 godini i ima tendenciju daljeg rasta.

Ključne reči: C osa, jedinica glodanja i bušenja, dvoosna ugaona glava, globalni obim proizvodnje; izvoz.

THE ANALYSIS OF THE STATE AND THE DEVELOPMENT TRENDS OF VERTICAL FIVE-AXIAL SURFACE FINISHING CENTERS IN THE WORLD

Abstract: The World's leading manufacturers of machinery tools have, for a while, been working on expanding the surface finishing capability of the horizontal and vertical lathes. By adding the C axes, as well as a unit for milling and drilling, lathes can be turned into surface finishing centers with a various selection of treatment processes. Introducing the NC twin-axial angular head to the vertical lathes not only enables milling and drilling in the horizontal plane, but also under an angle relative to the frame axes, resulting with a five-axial surface finishing of a piece. Due to the possibility of complex surface finishing processes on a single machinery and it's time saving effect, there is a large demand for a tool of this kind. During the past few years we have experienced a growing production and exporting of five-axial treatment centers. It is useful to point out that, just in the field of the machinery tool production, the global production capacity has an annual growth of 8.9 %; the production rise, that started in 2004., has reached the global sum value of €47.4 billion and has a tendency of further growth.

Key words: C axes, a unit of milling and drilling, twin-axial angular head, global production capacity; export.

1. UVOD

Proširenje mogućnosti obrade na vertikalnim strugovima već dugo predstavlja polje interesovanja najpoznatijih svetskih proizvođača alatnih mašina. Dodavanjem C ose, jedinica struganja, bušenja i glodanja i dvoosne ugaone glave, vertikalni strugovi postaju obradni centri na kojima je moguće vršiti različite mašinske obrade i na veoma složenim radnim komadima kao što su kućišta pumpi i ventila, obrtni stolovi, lopatice turbina u energetici i avio industriji, složeni alati i pribori. Pored uštede u vremenu, postiže se i maksimalna iskorišćenost u pogledu obrade na jednoj mašini zbog čega su ovakve mašine danas jedne od najtraženijih u svetu.

U Srbiji se u Fabrici mašina alatki Lola Sistema u Beogradu u poslednjih 6 godina radilo na razvoju vertikalnih strugova. Do sada su postignuti izvesni rezultati na 2,5D glodanju što pokazuje prodaja ovakvih mašina u Nemačkoj, Švajcarskoj, Austriji i Belorusiji. Na 5-osnom glodanju na vertikalnim strugovima se u Srbiji do sada nije radilo.

2. TEHNIČKE MOGUĆNOSTI VERTIKALNIH PETOOSNIH OBRADNIH CENTARA

Veoma je čest slučaj da je potrebno na istom radnom komadu izvršiti, pored strugarske obrade, i obradu glodanjem i bušenjem. U mnogim slučajevima je na radnim komadima kod kojih ima mnogo strugarske obrade potrebno obraditi i ravne površine glodanjem, izbušiti rupe, urezati navoje ili izvršiti neku sličnu obradu. Takvi delovi su na primer obrtni

stolovi, kućišta motora, pumpi i ventila. Ukoliko strug ima i mogućnost bušenja i glodanja, onda je jednostavnije to uraditi na njemu. Time se vrši ušteda u vremenu (skidanje komada, njegovo premeštanje i postavljanje na neku drugu mašinu) i maksimalno iskorišćenje jedne mašine u pogledu obrade. Za obradu prostornih površina delova, kakvih ima kod lopatica turbina u energetici ili avio industriji, obradu složenih površina raznih vrsta alata i za mnoge druge svrhe, kombinacija strugarske i 5-osne obrade glodanjem je u mnogim slučajevima najoptimalnije rešenje sa stanovišta vremena i kvaliteta obrade. Za takvu obradu je veoma povoljno imati vertikalne 5-osne strugarske obradne centre koji pored 2-osne strugarske obrade i rezanja navoja u osi stola mogu da vrše i 5-osna glodanja i bušenja pod različitim ugovima u celom radnom opsegu mašine. Ovakve, danas u svetu najmodernije i najtraženije mašine alatke, su opremljene i magacinima iz kojih mogu automatski da se uzimaju različiti tipovi alata i stanicama za odlaganje glodačkih glava.

Klasični vertikalni strugovi služe za strugarsku obradu okruglih delova velikih prečnika, najčešće 1.200mm pa na više. Struganje se vrši tako što se radni deo koji se nalazi na radnom stolu, obrće pogonjen motorom glavnog kretanja. Rezni alat se pomera u XZ ravni, po zadatoj putanji pogonjen motorima pomoćnog kretanja.

Mašine koje imaju mogućnost bušenja i glodanja, umesto nosača strugarskog alata imaju jedinice struganja, bušenja i glodanja. Kod bušenja i glodanja obrtanje reznog alata se ostvaruje motorom ove jedinice, koji je u tom slučaju motor glavnog kretanja. Raskida se veza motora glavnog kretanja

obrnog stola sa obrtnim stolom i taj motor se stavlja van funkcije. Uspostavlja se veza obrtnog stola sa motorom pomoćnog kretanja obrtnog stola. Slaganjem kretanja glodala po X osi i zakretanjem obrtnog stola (C osa) po odgovarajućem zakonu dobija se kretanje ekvivalentno kretanju po pravouglom X'Y' koordinatnom sistemu, koji se zaokreće zajedno sa obrtnim stolom. Na taj način se na strugu, uz kretanje reznog alata po Z-osi, realizuje 2,5D glodanje, čime vertikalni strug postaje i vertikalna glodalica.

Nadogradnjom dvoosne ugaone glodačke glave na jedinicu struganja, bušenja i glodanja realizuje se funkcija 5-osnog glodanja. Prva osa glodačke glave je kolinearna osi Z mašine. Zakretanje glodačke glave oko ove ose za $\pm 180^\circ$ omogućava zakretanje reznog alata u pokretnoj X'Y' ravni. Druga osa glodačke glave omogućava zakretanje reznog alata u odnosu na vertikalnu osu. Svaka od ove dve ose ima sopstveni pogon kojim se ostvaruje njihova funkcija. 5-osnom obradom se omogućava da osa glodala tokom obrade uvek bude normalna na površinu koja se obrađuje čime se bitno povećava kvalitet i produktivnost obrađenih površina te eliminiše potreba za njihovim ručnim poliranjem, što je obavezno kod 2.5D obrade.

Kod ostvarivanja funkcija glodanja programiranje putanje alata se vrši kao i kod portalne (vertikalne) glodalice u X,Y,Z koordinatnom sistemu.

Jedinica struganja, bušenja i glodanja tokom rada mašine ima tri mogućnosti rada:

- Kada vrši struganje ona prihvata nosač strugarskog alata. Ovaj nosač je konstruisan tako da je obrtanje alata u ovoj jedinici blokirano.
- Kada se vrši 2,5D glodanje ili bušenje u horizontalnoj ravni, jedinica struganja, bušenja i glodanja prihvata odgovarajuće alate preko ISO konusa. Kretanje alata je ostvareno pogonom ove jedinice.
- Kod 5-osnog glodanja jedinica struganja, bušenja i glodanja prihvata dvoosnu ugaonu glodačku glavu koja se nalazi na stanici za odlaganje istih.
-



Slika 1. Dvostubni vertikalni strug

Petoosni vertikalni obradni centri predstavljaju proizvode najvišeg tehnološkog nivoa u oblasti mašingradnje. Noseću strukturu jedne ovakve mašine alatke čine postolje, jedan ili dva stuba. Obično su to zavareni delovi, velike krutosti i pojedinačne težine 3.000daN do 10.000daN. Poprečni nosač je najčešće odlivak velike krutosti odliven od nodularnog liva

težine 2.000daN do 10.000daN. Na poprečnom nosaču mogu postojati jedan ili dva klizača pinole. Klizač pinole se obično radi od sivog liva, a pinola od visokokvalitetnog čeličnog liva za poboljšanje težine od 700 do 5.000daN. Radni sto ovakve mašine, u zavisnosti od prečnika obrade, je odlivak od sivog liva prečnika od 1.000mm do 3.500mm i težine 700daN do 10.000daN. U ovakve mašine se ugrađuju ležajevi visokog kvaliteta, visoke krutosti i preciznosti.

Elektro, hidrauličke i pneumatske komponente, sistemi hlađenja i slične komponente takođe moraju biti najvišeg kvaliteta. Pojedini delovi mašine se termički obrađuju, kako bi im se poboljšale karakteristike, a svi ključni delovi su obrađeni u izuzetno visokoj tačnosti, kako bi se ostavila visoka tačnost i preciznost mašine.



Slika 2. Jednostubni petoosni vertikalni strug

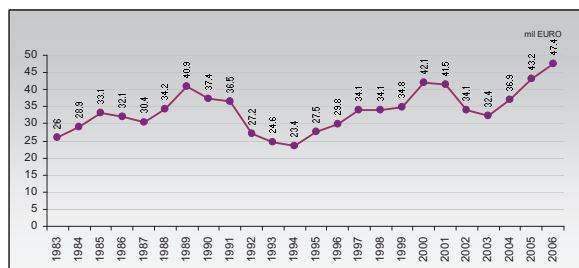
Upravljanje vertikalnim petoosnim obradnim centrima izlazi iz tirvijalnog kinematičkog domena. Ovo donosi nove probleme kod konfiguriranja upravljačkih jedinica. Za korišćenje upravljačkih jedinica koje su komercijalno raspoložive (SIEMENS, HEIDENHAIN, ...), neophodno je da proizvođač računarske opreme integriše funkcije direktne i indirektno kinematike u sistem i omogući rekonfigurabilnost CNC-a. Drugi pristup je razvoj sopstvenog upravljačkog sistema na bazi sopstvenog ili *open-source* softvera za upravljanja mašinama alatkama. Kao najzastupljeniji u svetu, sa performansama koje prevazilaze konkurente, nameće se *open-source* softverski sistem poznat kao EMC (*Enhanced Machine Controller*). EMC radi pod *real-time* Linux operativnim sistemom na PC hardverskoj osnovi. Transparentan sistem koji sadrži funkcije direktne i indirektno kinematike, kao i jednostavna izmena upravljačke konfiguracije, čini EMC idealnim za upravljanje vertikalnim višeosnim obradnim centrima. [1.2.3.4.]

3. EKONOMSKA ANALIZA GLOBALNE PROIZVODNJE ALATNIH MAŠINA

Analiza globalne proizvodnje alatnih mašina zasnovana je na Izveštaju članova metalne industrije (Metalworking Insiders Report) i na statističkoj dokumentaciji koju je izradila EMO komisija i CECIMO. Kako bi bilo moguće napraviti poređenje, vrednosti su date u evrima umesto u lokalnim valutama.

Iz priloženog dijagrama vidimo kako se smenjuju ciklus rasta i stagnacije u oblasti proizvodnje alatnih mašina u svetu u periodu od 1983 do 2006 god.. U 2006. god. zabeležen je značajan porast obima proizvodnje koji je za 12,5% bio veći

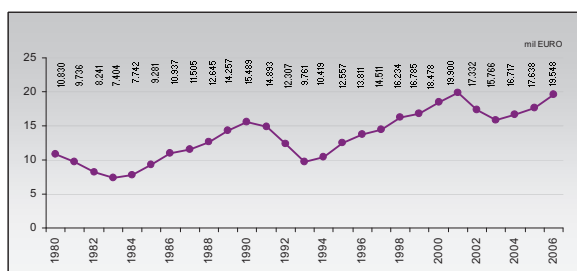
od prethodnog vrhunca dostignutog u 2000. god.. Globalni obim proizvodnje alatnih mašina ima godišnji rast od 8,9%. Vrednost globalnog obima proizvodnje u 2006. god. iznosila je €47,4 mlrd.(Slika 3)



Slika 3. Svetska proizvodnja alatnih mašina od 1983. do 2006.

Organizacija koja zastupa interese industrije alatnih mašina na evropskom tržištu i promoviše evropsku industriju alatnih mašina i njen razvoj u domenu ekonomije, tehnologije i nauke, naziva se CECIMO (European Committee for Cooperation of the Machine Tool Industries). Ovu organizaciju čine proizvođači alatnih mašina iz 15 Evropskih zemalja (Austrija, Belgija, Švajcarska, Češka Republika, Nemačka, Danska, Španija, Finska, Francuska, Engleska, Italija, Norveška, Portugalija, Švedska i Turska).

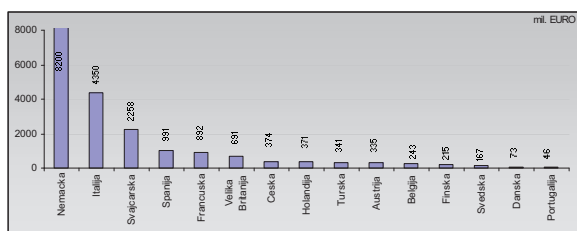
Obim proizvodnje članica CECIMO-a dostigao je svoj maksimum 2001. god. i njegova vrednost je bila €19,9 mlrd. U 2002. god. vrednost ukupnog obima je opala na €17,332 mlrd., a u 2003. god. na €15,766 mlrd. U 2004. god. došlo je do oporavka u ovoj grani i ostvaren je rast od €16,717 mlrd. U 2005. god. porast proizvodnje je nastavljen i zabeležena je vrednost od €17,6 mlrd.



Slika 4. Proizvodnja alatnih mašina članica CECIMO od 1980. do 2006.

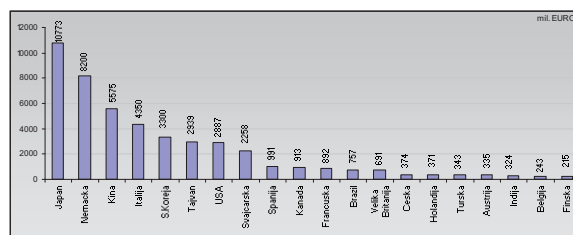
Oporavak ove privredne grane nastavljen je u 2006. god. i obim proizvodnje gotovo da je ponovo dostigao cifru iz 2001. god.. Tada je iznosio €19,549 mlrd. Očekuje se da se porast proizvodnje alatnih mašina koji je otpočeo u 2004. god. nastavi čak i tokom 2008. god. (Slika 4)

Najveći udeo u obimu proizvodnje u 2006. imala je Nemačka (41,9%) za kojom sledi Italija (22,3%) i Švajcarska (11,6%). Češka Republika, koja je najbrže napredovala u ovoj industrijskoj oblasti od svih zemalja u razvoju, zauzela je 7. mesto među zemljama CECIMO-a sa 1,9% udela u obimu proizvodnje alatnih mašina.



Slika 5. Proizvodnja alatnih mašina u zemljama CECIMO u 2006 godini

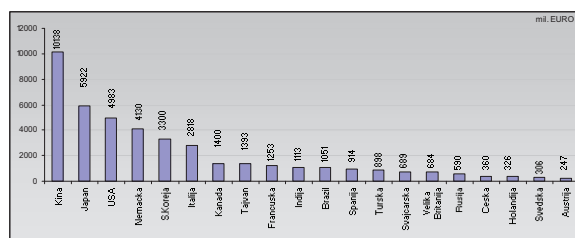
Obim proizvodnje Nemačke, Italije i Švajcarske čini 75,8% ukupnog obima CECIMO-a u 2006. godini. Deset najvećih evropskih proizvođača alatnih mašina nalazi se u Nemačkoj. U Nemačkoj postoji ukupno 320 proizvođača alatnih mašina, u Italiji 420, a u Švajcarskoj 92. U 2006. god. u Češkoj Republici bilo je 77 proizvođača alatnih mašina. (Slika 5)



Slika 6. Proizvodnja alatnih mašina u svetu u 2006. godini

Posmatrajući svetsku proizvodnju alatnih mašina, obim proizvodnje članica CECIMO-a čini 41,2% od ukupnog obima svetske proizvodnje alatnih mašina. Obim proizvodnje 7 najvećih članica CECIMO-a učestvuje sa 36,8% u ukupnom obimu svetske proizvodnje alatnih mašina (Nemačka 17,3% Italija 9,2% Švajcarska 4,8% Španija 2,1% Francuska 1,7% Velika Britanija sa 1,5% a učešće Češke Republike je 0,8%). (Slika 6)

Kao najveći korisnici alatnih mašina u svetu pojavljuju se zemlje tzv. BRIC ekonomije (Brazil, Rusija, Indija i Kina - zemlje sa najdinamičnijim rastom i sa velikim potencijalima), ali i jake i stabilne ekonomske sile kakve su Japan, USA i Nemačka. Zemlje BRIC ekonomije svoju potrebu za proizvodnjom, ali i uvozom alatnih mašina vide u privrednom oporavku i dinamičnom rastu i ekonomskom razvoju. Ako uzmemo primer Rusije, mnoge ruske firme u oblasti mašingradnje su zastarele što i predstavlja uzrok otvorenosti njihovog tržišta prema uvozu alatnih mašina, pored ostalih roba. Kina u oblasti proizvodnje alatnih mašina u poslednje četiri godine beleži ogroman rast. Takođe ovo je zemlja koja najviše koristi mašine alatke u svetu. Iza nje su Japan, USA i Nemačka. (Slika 7)



Slika 7. Korisnici alatnih mašina u svetu u 2006. godini

Napomenimo da se cena jedne ovakve mašine u zavisnosti od tehničkih karakteristika i gabarita iste kreće u rasponu od 500.000 do 1.5 miliona evra. Zbog znatno povećanog obima proizvodnje u metaloprerađivačkoj industriji u svetu, koji se desio u proteklih nekoliko godina, a pre svega u energetici, ovakve mašine su veoma tražene na svetskom tržištu. Iz razloga velike tražnje, rok isporuke ovakvih mašina se kreće od 12 do 18 meseci. Prognoze govore da će se trend povećanog obima proizvodnje u energetici produžiti najmanje i u narednih 15 godina, jer je toliko potrebno za obnovu započetih raznih vrsta energetskih postrojenja u svetu i za izgradnju novih. Naravno, s druge strane treba uzeti u obzir i činjenicu dinamičkog i progresivnog razvoja zemalja BRIC ekonomije i njihovih ulaganja u privredu, a pre svega u mašingradnju i metaloprerađivačku industriju kao ključnog elementa u razvoju privrede svake zemlje. [5.6]

4. ZAKLJUČAK

Posmatrajući globalne tokove u oblasti mašingradnje i metaloprerađivačke industrije, a uz uvažavanje ekonomskih pokazatelja i predviđanja u narednom periodu, postoji izuzetno velika potreba za razvojem i proizvodnjom petoosnih vertikalnih obradnih centra.

U prilog ovoj konstataciji ide dinamičan razvoj zemalja BRIC ekonomije kao i potreba za restauracijom velikih hidroenergetskih postrojenja čiji strukturni elementi zahtevaju složenu obradu na mašinama velikih prečnika obrade odnosno velikih gabarita što se ostvaruje korišćenjem petoosnih vertikalnih obradnih centara. Progresivni razvoj i proizvodnja alatnih mašina u proteklih pet godina ukazuje na potrebu dodatnih ulaganja u R&D i know-how svake organizacije koja želi da opstane na izmenjenom i veoma dinamičnom tržištu sa jakim i po profilu sve više međunarodnom konkurencijom. To primorava proizvođače alatnih mašina na udruživanje i horizontalno povezivanje u odgovarajućim segmentima (npr. CECIMO).

Jedan od aspekata konkurentne borbe jeste prodaja usluga (znanja i know-how) kao oblika razmene koji u poslednjih nekoliko godina dobija na značaju. Raspodela funkcija na proizvodnju i inženjering daje mogućnost naučno-istraživačkim institucijama da razvijaju nove programe i iste plasiraju na tržište potencijalnim proizvođačima uz zadržavanje autorskih prava.

Globalizacija i diversifikacija stvaraju novi prostor za unapređenje performansi, reinženjering i modifikaciju postojećih mašina i stvaranje novih, ali i za plasiranje usluga u vidu projekata, znanja i know-how.

5. LITERATURA

- [1] EMC - Enhanced Machine controller, web site - www.linuxcnc.org.
- [2] NIST - National Institute of Standards and Technology web site - www.nist.gov
- [3] Živanović, S., Dimić, Z., *Upravljanje modela troosne mašine sa paralelnom kinematikom pn 101 na bazi EMC sistemskog softvera*, 33. JUPITER konferencija, 29. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-592-4, str.3.19-3.24, Mašinski fakultet, Beograd-Zlatibor, Maj 2007.
- [4] Dimić, Z., *Sistemski softver za upravljanje troosnom glodalicom sa paralelnom kinematikom*, 27. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, ISBN 86-7083-508-8, str.3.12-3.15, Mašinski fakultet, Beograd, Zlatibor, april 2005
- [5] Pavićević, Ž., Kvirgić, V., Vuković, Đ., Mićunović, J., *Unapređenje izvoza industrije alatnih mašina*, 34. JUPITER konferencija, 30. simpozijum NU-Roboti-FTS, Zbornik radova, ISBN 978-86-7083-628-0, str.3.105-3.111, Mašinski fakultet, Beograd, Jun 2008.
- [6] CECIMO - European Committee for Cooperation of the Machine Tool Industries web site - www.cecimo.be

Autori: Pavićević A. Željko, Dr Kvirgić Vladimir, Dimić Zoran, Trgovčević Sanja, Lola Institut d.o.o., Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija, Tel.: +381 1121 254-2510, Fax: +381 11 2544 096
E-mail: zeljkopavicevic@lola-ins.co.yu
vkvirgic@eunet.yu
dimic@lola-ins.co.yu

Pejović, B., Mičić, V., Cvetković, S., Ćirković, B.

ANALIZA UTICAJA KINEMATSKE ŠEME PRENOSNIKA MAŠINE ALATKE SA ASPEKTA ELASTIČNIH DEFORMACIJA GLAVNOG VRETENA I TAČNOSTI OBRADE

Rezime: U radu je za slučaj zupčastog prenosnika za glavno kretanje mašine za obradu struganjem, izvršena analiza prenosa kretanja od pogonskog motora do glavnog vretena. Zupčanik koji dovodi kretanje na glavno vreteno s obzirom na konstrukciono rešenje može imati različit položaj u prostoru. Na bazi ovoga dat je opšti proračunski model glavnog vretena i izvršena teorijska analiza statičkog opterećenja pri čemu su uzete u obzir sile od procesa rezanja kao i sile koje deluju na zupčanik na glavnom vretenu. Komparativnom analizom, primenjujući metodu superponiranja deformacija, pokazano je da je uticaj ovih sila različit kako na elastične deformacije vretena, tako i na tačnost izrade. Na prethodno, najveći uticaj ima kinematska šema prenosnika, odnosno prostorni položaj zupčanika koji dovodi kretanje na glavno vreteno. Koristeći prikazanu kvalitativnu analizu, pri projektovanju prenosnika mašina alatki, može se od više mogućih konstrukcionih rešenja doći do najpovoljnijeg, prema unapred postavljenim ciljevima.

Ključne reči: Glavno vreteno, kinematska šema, statičke elastične linije, superponiranje deformacije, kvalitativna analiza.

ANALYSE INFLUENCE OF CINEMATIC SCHEME OF TRANSMITTER FOR MACHINE TOOL WITH ELASTIC DEFORMATION ASPECT OF MAIN SPINDLE AND PRECISION TREATMENT

Abstract: In this paper for case cog-wheel transmitter was performed analyse transmission movement from working motor to main spindle for main movement machine for treatment with scraping. Cog-wheel which bringing movement to main spindle can have different position in space according to construction solving. On the base of this fact given general calculating model of main spindle and performed analyse statistic loading and we was taken in consideration forces of process cutting and forces which operate to cog-wheel on main spindle. With comparative analyse using supersinking method of deformation, shown that the influence of these forces different to elastic deformation on spindle as and to precission of working. On this, cinematic scheme of transmitter have the highest influence. Using shown qualitative analyse from more possible construction solving we can obtain optimal solving by set target.

Key word: Main spindle, cinematic scheme, statistic elastic line, supersinking deformation, precision of treatment, qualitative analyse

1. UVODNA RAZMATRANJA

Glavno vreteno kod mašina alatki za obradu rezanjem, predstavlja značajan sklop koji utiče na ukupan kvalitet izvedene konstrukcije. Uspostavljanje kompleksnog proračuna kod ovog sklopa nije praktično izvodljivo na sadašnjem nivou znanja. Zbog toga se razvijaju parcijalni sistemi proračuna koji obuhvataju ili pojedine tipove ili pak pojedine karakteristike. Zbog prethodnog, uvodi se čitav niz uprošćenja. Prvo uprošćenje, odnosi se na svođenje sistema na ravanski problem dok se drugo uprošćenje, najčešće odnosi na usvajanje idealno krutih ležišta, [1], [5], [6]. Statički proračun glavnog vretena kao prvi deo proračuna odnosi se na statičku identifikaciju sistema vreteno – uležištenje. Pri ovome koriste se grafoanalitičke metode za određivanje statičke elastične linije, kao i metode za korekciju promene poprečnog preseka vretena, [7], [8], [9].

Kinematski sistem kod alatne mašine obezbeđuje najčešće obrtno kretanje glavnog vretena.

Isto tako koriste se različita konstrukciona rešenja za prenošenje momenta, od pogona, odnosno otpornog momenta, od zone procesa rezanja, [8], [10].

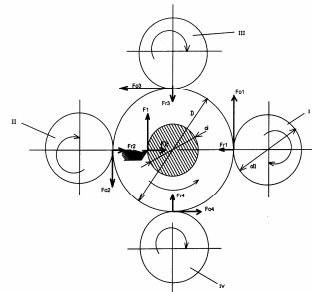
2. DEFINISANJE PROBLEMA

Prenos kretanja od pogona do zupčanika na glavnom vretenu izvodi se na različite načine s obzirom na prostorni položaj njegovog pogonskog zupčanika. Pri ovome teorijski može

postojati veliki broj mogućnosti. Na sl. 1., prikazana su četiri karakteristična slučaja pod uglom od 90° , (I, II, III i IV).

Očigledno, moguće su i varijante između prikazanih pod proizvoljnim uglom α u odnosu na horizontalu. Na izbor neke od prikazanih izvedbi utiču i razna konstrukciona i druga ograničenja, [13], [16].

Cilj rada je da se analizira i utvrdi uticaj sila zone rezanja i sila zupčastog para, na deformaciju glavnog vretena odnosno tačnost obrade, za četiri prikazana slučaja dovoda kretanja.



Slika 1. Četiri karakteristične izvedbe dovoda kretanja na glavno vreteno

3. REŠAVANJE POSTAVLJENOG PROBLEMA

Zbog delovanja komponenti sila rezanja, dolazi do deformacija obradka koja se negativno odražava na tačnost obrade. Ako se posmatra obradak stegnut u glavu struga, koji je slobodan sa jedne strane, onda je obradak opterećen sa tri

komponente sile rezanja. Svaka od njih izaziva odgovarajuću deformaciju čija se vrednost analizira i procenjuje njen uticaj na tačnost obrade [2, 10, 12, 14, 15, 16], što će biti prikazano u nastavku rada. Sa sl. 2. se vidi, da glavna sila rezanja F_1 , kad se redukuje u centar obradka, obrazuje spreg uvijanja $F_1 \cdot \frac{d}{2}$, koji nema veći uticaj na tačnost obrade, i ostaje sila $+F_1$ koja pomera centar obradka iz tačke 1 u tačku 2, odnosno izaziva ugib f_1 u vertikalnoj ravni. Kako vrh alata ostaje na svom prvobitnom mestu, ova deformacije obradka izaziva radijalno pomeranje f_1' u odnosu na vrh noža. Geometrijski, može se pokazati da je približno,

$$f_1' = \frac{f_1^2}{d} \quad (1)$$

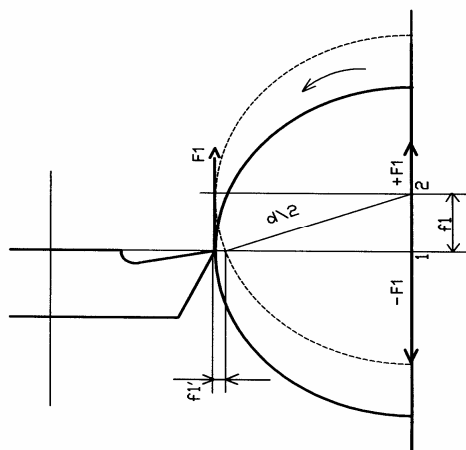
Kako je f_1^2 mala veličina, dok je prečnik obradka d mnogo veći od f_1^2 , onda sledi da je greška f_1' zanemarljivo mala, pa se kao takva ne uzima u obzir. Odnos pomeranja f_1 i f_1' , prema relaciji (1), može se izraziti u obliku:

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{d}{f_1} \quad (2)$$

Sada se može zaključiti da je $f_1 \gg f_1'$

Za slučaj konzolnog stezanja ugib usled glavne sile iznosi:

$$f_1 = \frac{F_1 l^3}{EI} \quad (3)$$



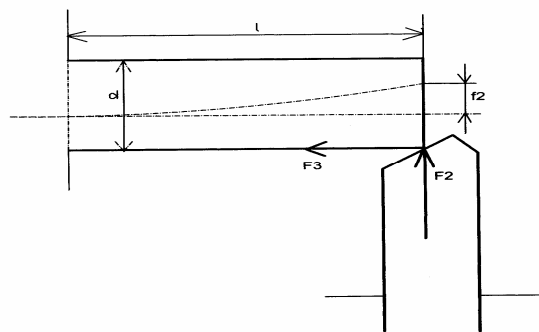
Slika 2. Deformacija obradka opterećenog glavnom silom rezanja F_1

Sila pomoćnog kretanja F_3 deluje duž ose obradka i izaziva zanemarljivo malu deformaciju obradka koja ne utiče na tačnost obrade.

Najveću deformaciju obradka izaziva sila prodiranja F_2 u horizontalnoj ravni, s obzirom da se po pravcu poklapa sa normalom na obrađenu površinu.

Ova deformacija izaziva izmicanje obradka čime se smanjuje zauzeta dubina rezanja, pa se zbog toga dobija obradak promenljivog prečnika, sl. 3.

Ugib koji nastaje delovanjem sile prodiranja za slučaj konzolnog stezanja iznosi:



Slika 3. Deformacija obradka opterećenog silom prodiranja F_2 i silom pomoćnog kretanja F_3

$$f_2 = \frac{F_2 l^3}{EI} \quad (4)$$

Za sile rezanja pri obradi na strugu važi približno:

$$F_1 : F_2 : F_3 = 5 : 2 : 1 \quad (5)$$

Oдавде se dobija relacija veze glavne sile rezanja i sile prodiranja:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{5}{2}, \text{ odnosno } \frac{F_2}{F_1} = \frac{2}{5} \quad (6)$$

Uvodeći oznake f_1 i f_2 za ugib usled sile F_1 i F_2 , prema relacijama (3), (4) i (6), biće odnos:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{5}{2}, \text{ odnosno } \frac{f_2}{f_1} = \frac{2}{5} \quad (7)$$

Oдавде sledi da je ugib usled sile F_1 osetno veći od ugiba usled sile F_2 .

Koristeći relacije (2) i (7) može se dobiti odnos pomeranja:

$$\frac{f_1'}{f_2} = \frac{5}{2} \cdot \frac{f_1}{d}, \text{ odnosno } \frac{f_2}{f_1'} = \frac{2}{5} \cdot \frac{d}{f_1} \quad (8)$$

Oдавде se može zaključiti da je $f_2 \gg f_1'$, s obzirom da je $f_1 \ll d$.

Za cilindrične zupčanike sa pravim zubima bez pomeranja profila, za standardan ugao dodirnice biće, [8]:

$$F_r = F_0 \cdot \tan \alpha_n = F_0 \cdot \tan 20^\circ \quad (9)$$

Oдавде se može dobiti sa dovoljnom tačnošću relacija za vezu obima i radijalne sile na zupčanicima:

$$\frac{F_0}{F_r} = \frac{11}{4}, \text{ odnosno } \frac{F_r}{F_0} = \frac{4}{11} \quad (10)$$

Treba zapaziti da je vrednost obimne sile osetno veća od vrednosti radijalne sile.

Za slučaj statičke ravnoteže, za tačku O centra vratila (sl. 1), može se napisati da je:

$$F_0 \cdot \frac{D}{2} = F_1 \cdot \frac{d}{2} \quad (11)$$

Oдавде se dobija veza između glavne sile rezanja i obimne sile na zupčanicu:

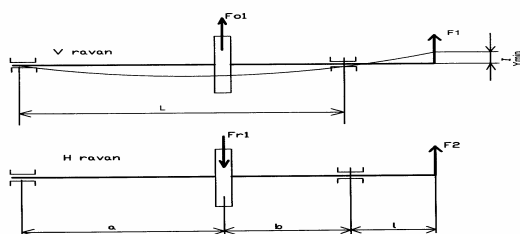
$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{D}{d} \quad (12)$$

Izvedeni odnosi pojedinih sila biće iskorišćeni za analizu koja sledi.

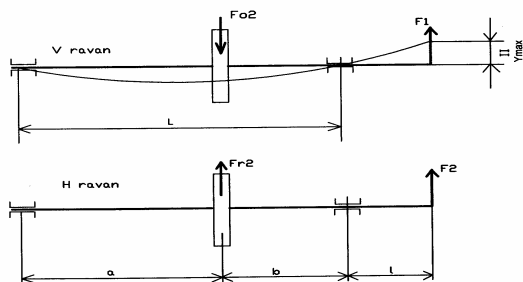
Analiza opterećenja glavnog vretena sa prikazom elastičnih linija i ekstremnih deformacija za izvedbe I i II, u vertikalnoj ravni, data je na sl. 4.

Napomenimo ovde da su pri ovoj analizi sve geometrijske i kinematske veličine kao i sve sile iste za sve izvedbe. Razlika je jedino u položaju zupčanika Z_I , Z_{II} , Z_{III} , Z_{IV} .

I izvedba

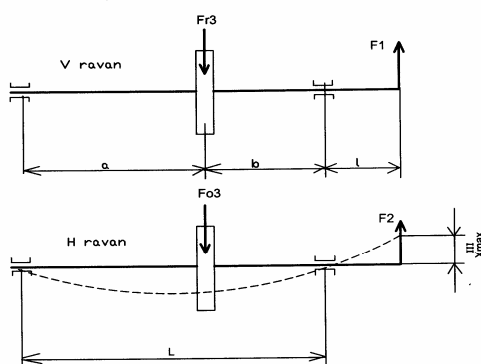


II izvedba

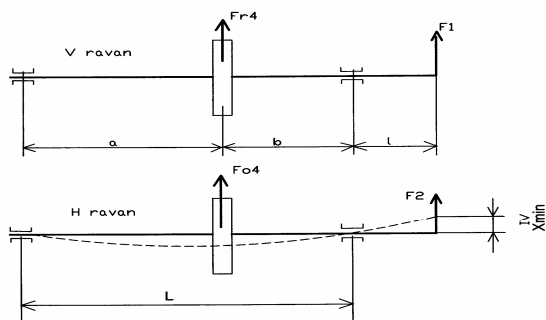


Slika 4. Proračunska šema elastičnih deformacija vretena za izvedbe I i II

III izvedba



IV izvedba



Sl. 5. Proračunska šema elastičnih deformacija vretena za izvedbe III i IV

Analiza opterećenja glavnog vretena sa prikazom elastičnih linija i ekstremnih deformacija za izvedbe III i IV u horizontalnoj ravni, data je na sl. 5.

Ugib na kraju glavnog vretena biće određen metodom superponiranja pomeranja prema zakonima teorije elastičnosti odnosno otpornosti materijala [3, 4].

Za slučaj konzulnog stezanja, ugib na kraju prepusta usled sila F_1 i F_2 je:

$$y_{(F_1)} = \frac{F_1 l^3}{3EI} \quad x_{(F_2)} = \frac{F_2 l^3}{3EI} \quad (13)$$

Ugib usled momenata istih sila na kraju prepusta biće:

$$y_{(MF_1)} = l\hat{\beta}_1 = \frac{F_1 l^2 L}{3EI_e} \quad x_{(MF_2)} = l\hat{\beta}_2 = \frac{F_2 l^2 L}{3EI_e} \quad (14)$$

Prema relacijama (13) i (14), dobija se odnos ugiba kao:

$$\frac{y_{(F_1)}}{x_{(F_2)}} = \frac{F_1}{F_2} \quad \frac{y_{(MF_1)}}{x_{(MF_2)}} = \frac{F_1}{F_2} \quad (15)$$

Ugib na kraju konzole usled sila F_0 i F_r koje deluje na zupčaniku između oslonaca biće:

$$y_{(F_0)} = l\hat{\beta}_0 = \frac{F_0 a b l}{6EI_e} \left(1 + \frac{a}{L}\right) \quad (16)$$

$$y_{(F_r)} = l\hat{\beta}_r = \frac{F_r a b l}{6EI_e} \left(1 + \frac{a}{L}\right) \quad (17)$$

Prema relacijama (16) i (17), odnos ovih pomeranja biće:

$$\frac{y_{(F_0)}}{y_{(F_r)}} = \frac{F_0}{F_r} \quad (18)$$

Relacije za izračunavanje ugiba vretena na kraju prepusta u vertikalnoj i u horizontalnoj ravni, sa sve četiri izvedbe, sistematizovane su u tabeli 1.

Za kvalitativnu analizu i komparaciju prikazanih izvedbi, prema tabeli T. 1. za pojedina pomeranja mogu se koristiti relacije (13), (14), (16) i (17). Koristeći tabelu 1. radi poređenja možemo odrediti odnos ugiba za izvedbe sa maksimalnim i minimalnim pomeranjem u vertikalnoj ravni:

$$\frac{y_{\max}}{y_{\min}} = \frac{y_{II}}{y_I} = \frac{y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} + y_{(Fo2)}}{y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} - y_{(Fo1)}} \quad (19)$$

Prema tabeli 1. radi poređenja, odnos ugiba za izvedbe sa maksimalnim i minimalnim pomeranjem u horizontalnoj ravni, biće:

$$\frac{x_{\max}}{x_{\min}} = \frac{x_{III}}{x_{IV}} = \frac{x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} + x_{(Fo3)}}{x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} - x_{(Fo4)}} \quad (20)$$

Za slučaj kvalitativne analize može se za komparacije različitih izvedbi koristiti ekvivalentni moment inercije I_e . Pri ovome u

prvom približenju, zbog različitog preseka glavnog vretena na pojedinim mestima, može se računati sa prečnikom:

$$d_e = \frac{\sum d_i l_i}{L_u} \quad (21)$$

Očigledno je, s obzirom na prethodno da je ovde otežano izvoditi neke tačnije kvantitativne analize. Isto tako proračunska šema može biti različita od prikazane zavisno od sistema uležištenja i broja ležajeva glavnog vretena, [6, 7, 8, 9].

Varijanta	I	II	III	IV
Ravan V y	$y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} - y_{(FO_1)}$	$y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} + y_{(FO_2)}$	$y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} + y_{(FO_3)}$	$y_{(F_1)} + y_{(MF_1)} - y_{(FO_4)}$
Ravan H x	$x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} + x_{(FO_1)}$	$x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} - x_{(FO_2)}$	$x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} + x_{(FO_3)}$	$x_{(F_2)} + x_{(MF_2)} - x_{(FO_4)}$
Zaključak	$y_{II} > y_{III} > y_{IV} > y_I$ $y_{\max} = y_{II} \quad y_{\min} = y_I$		$x_{III} > x_I > x_{II} > x_{IV}$ $x_{\max} = x_{III} \quad x_{\min} = x_{IV}$	

Tabela 1. Ugib vretena na kraju prepusta u vertikalnoj i horizontalnoj ravni

Na osnovu prethodnih analiza i relacija datih u tabeli 1 može se zaključiti da su elastične deformacije glavnog vretena osetno veće u vertikalnoj nego horizontalnoj ravni.

Isto tako koristeći analizu prema sl. 4 zapaža se da je uticaj sila u vertikalnoj ravni na tačnost obrade veoma mali, i ako su deformacije najveće.

Ukupna, rezultujuća deformacija vretena može se dobiti kao:

$$f = \sqrt{y^2 + x^2} \quad (22)$$

Uticaj pomeranja y u vertikalnoj ravni na ukupnu deformaciju f, kao što je pokazano je znatno veći od uticaja pomeranja x u horizontalnoj ravni.

Isto tako, uticaj sila u horizontalnoj ravni na tačnost obrade, je dominantan i ako su deformacije osetno manje od deformacija u vertikalnoj ravni, što proizilazi sa sl.5 i tabele1.

Napomenimo da se na prethodni način može izvršiti data analiza za proizvoljan položaj zupčanika postavljenog pod nekim uglom α u odnosu na horizontalu, kao i za proizvodnju tačku na glavnom vretenu, odnosno i za ostale slučajeve stezanja obradka.

Po potrebi, primenjujući dati proračunski model, može se odrediti i nagib elastične linije na kraju glavnog vretena, s obzirom što se ponekad za pojedine mašine alatke daje njegova maksimalno dozvoljena vrednost.

4. ZAKLJUČAK

Različita konceptijska rešenja, odnosno različite kinematske šeme dovoda kretanja na glavno vreteno alatne mašine znatno utiču kako na njegovu elastičnu deformaciju tako i na tačnost obrade. Pomeranja tačaka u vertikalnoj ravni imaju odlučujući uticaj na deformaciju vretena, dok su pomeranja u horizontalnoj ravni odlučujuća na tačnost obrade. Od četiri prikazana karakteristična slučaja, sa aspekta deformacije glavnog vretena najpovoljnija je izvedba I a najnepovoljnija

izvedba II. Izvedba IV je povoljnija od izvedbe III. Sa aspekta tačnosti obrade

najpovoljnija je izvedba IV a najnepovoljnija izvedba III. Izvedba II je povoljnija od izvedbe I. Na prethodno, kao što je i

pokazano najviše utiču smerovi, kao i intenziteti posmatranih sila. Isto tako, izvedene zaključke treba uzeti u obzir kod usvajanja konceptijskog rešenja, kako mašina alatki visoke tačnosti tako i mašina za grubu obradu, s obzirom da u ovim slučajevima zahtevi nisu isti.

Prethodna analiza je važna i iz razloga što se dozvoljena veličina ugiba glavnog vretena često određuje iz uslova potrebne tačnosti obrade.

Prikazanu analizu, prema datom modelu moguće je bez nekih posebnih ograničenja izvršiti i za druge mašine alatke za obradu rezanjem. Pri ovome svaka obrada ima svoje specifičnosti, posebno zbog različitog ponašanja funkcija obradljivosti.

5. LITERATURA

- [1] Milačić, V. : *Mašine alatki I, II*, Mašinski fakultet, Beograd, 1985
- [2] Stanić, J.: *Upravljanje kvalitetom proizvodnje*, Građevinska knjiga, Beograd, 1985
- [3] Timošenko, S. : *Teorija elastičnosti*, Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
- [4] Rašković, D. : *Otpornost materijala*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [5] Stanković, P.: *Mašine alatke I i II*, Građevinska knjiga, Beograd, 1970
- [6] Kučer, I. : *Metallrežusche stanki*, Mašinostroenie, Moskva, 1980
- [7] Loktev, D.: *Metallrežusche stanki*, Mašinostroenie, Moskva, 1982.
- [8] Ačerkan, S.: *Metallrežusche stanki*, Mašinostroenie, Moskva, 1975
- [9] Puš, V.: *Konstruirovanie metallrežuših stakov*, Mašinostroenie, Moskva, 1987.
- [10] Mallock, A. : *The actions of cutting tools*, Butterworth, London, 1981.
- [11] Opitz, N. : *Moderne produktionstechnik*, Giravdet, Essen, 1971.
- [12] Trent, E. M. : *Mettal cutting*, Butterworths, London - Boston, 1980.
- [13] Town, H. *Modern Machine tools*, London, 1987.
- [14] Victor, H. I dr: *Zerspantechnik, Tell I, II, III*, Springer-Verlag, Berlin, 1983.
- [15] Milikić, D.: *Tehnologija obrade rezanjem*, FTN Novi Sad, 2003.
- [16] Degner, W. : *Spanende formung*, Veb verlag technik, Berlin, 1985.

Autori: Doc. dr Branko Pejović, Mr Vladan Mičić, Tehnološki fakultet Zvornik, Republika Srpska BiH.
Prof. dr Slavica Cvetković, Doc. dr Bogdan Ćirković
Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica, Srbija.
E-mail: b.pejovic@verat.net
vlado1@spinter.net
tfzv@rstel.net

Petrić, M., Gatalo, R., Zeljković, M.

RAZVOJ PROGRAMSKIH REŠENJA ZA BRUŠENJE SLOŽENIH KONTURA NA BRUSILICAMA ZA RAVNO BRUŠENJE

Rezime: Problem upravljanja pri obradi dubokim brušenjem na CNC brusilicama za ravno brušenje nije dovoljno obrađivan u naučno stručnoj literaturi. Pri tome se oseća poseban nedostatak konkretnih rešenja interpolacionih zadataka.

U vezi s tim u radu se izlaže jedno konkretno rešenje kružne i linearne interpolacije za CNC brusilicu za ravno brušenje domaće proizvodnje, sa upravljačkom jedinicom SINUMERIK 3000.

Ključne reči: kružna i linerana interpolacija, brusilica za ravno brušenje

THE DEVELOPMENT OF PROGRAME SOLUTIONS FOR COMPLEX COUNURE GRINDING ON FLAT GRINDING MACHINES

Abstract: The problem of control by deep grinding process performed on CNC grinding machines for flat grinding has not been sufficiently treated in scientific-professional literature. There is especially lack of concrete solutions of interpolation tasks.

Considering that, a concrete solution of circular and linear interpolation for a CNC grinding machine for flat grinding has been presented. The domestically fabricated machine has been equipped with the control unit SINUMERIK 3000.

Key words: circular and linear interpolation, flat grinding machine

1. UVOD

Razvojem novih materijala i tehnologija postavljaju se pri obradi brušenjem, kao nezaobilaznim postupkom pri obradi tvrdih materijala, novi zahtevi. To su pored velike tačnosti i male hrapavosti brušene površine povišeni zahtevi veće produktivnosti i ekonomičnosti. Razvoj visokoporoznih tocila omogućio je duboko brušenje i time podigao produktivnost samog procesa obrade. Drugi pravac razvoja odnosi se na upravljanje mašinama za brušenje. Problemi u vezi sa upravljanjem mašinama za ravno brušenje su:

- Uprošćavanje programiranja izradom standardnih potprograma
- Pojednostavljanje izrade radnih predmeta komplikovanih geometrijskih oblika

Potrebna konfiguracija radnog predmeta se može ostvariti pomoću programskog (profilnog) alata, ili programskog kretanja alata.

Pri obradi ravnim brušenjem česta je primena programskog alata. Princip rada je da se preko CNC vođenja na dijamantskim uređajima za profilisanje obradi određeni profil na radnoj površini tocila i da se taj profil usecanjem prenese na radni predmet. Primena programskog alata ima smisla pri izradi većih serija i sitnijih profila. Loše strane ovakvog načina su: a) potreban visokostručni rukovaoc za izradu potprograma profilisanja, b) tocilo korišteno za izradu jednog predmeta se ne može koristiti za izradu drugih radnih predmeta, c) ne mogu se obrađivati radni predmeti širi od tocila.

Primenom programskog vođenja alata povećava se vreme obrade, ali zato se ostvaruje ušteda na reznom alatu i omogućena je obrada radnih predmeta širih od tocila.

Princip obrade programskim vođenjem alata zamišljen je tako da se tocilo profiliše na taj način da mu je radna površina u obliku radijusa, a konfiguracija se ostvaruje kretanjem tocila po izvodnicama radnog predmeta. Ovo se postiže korištenjem potprograma linearne i kružne interpolacije, koji vode tocilo tako da uvek tangira radni predmet.

U nastavku se izlaže način realizacije jedne i druge interpolacije.

2. KRUŽNA INTERPOLACIJA

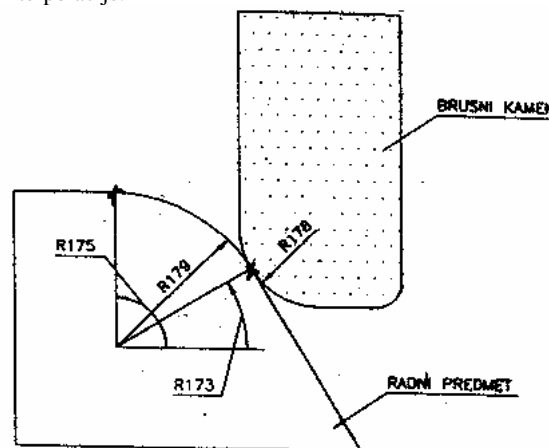
2.1 Definisanje parametara kružne interpolacije

Da bi se kao rezultat dobilo kretanje koje odgovara kotrljanju kruga po krugu sa jednakim koracima (kretanje alata od početne tačke po izvodnicama kružnog luka koje su međusobno pomerene za određeni ugao u odnosu na centar luka) usvojene su sledeće veličine za definisanje kretanja:

- radijus na tocilu
- radijus na obratku
- početni ugao na obratku
- završni ugao na obratku
- broj interpolacija
- početna pozicija brušenja po osi Y
- početna pozicija brušenja po osi Z

Pri određivanju ugla nula se nalazi na osi X, meri se suprotno smeru kazaljke na satu. Izvodnica po kojoj se vrši brušenje definiše se pomoću ugla.

Na slici 1. dat je grafički prikaz parametara kružne interpolacije.



Slika 1. Parametri kružne interpolacije

Samo definisanje navedenih parametara je izdvojeno u poseban potprogram nazvan "PARAMETRI KRUŽNE INTERPOLACIJE". Definisanje parametara je izdvojeno u poseban potprogram da bi se omogućilo iskusnijim programerima definisanje navedenih parametara funkcionalnim zavisnostima u glavnom programu. Potprogram sadrži tekstualne poruke i kontroliše format unetih vrednosti.

Potprogram glasi:

```
L80
M17
& L80 (PARAMETRI KRUŽNE INTERPOLACIJE )
R173 6.3 (POČETNI UGAO ***.*** STEPENI )
R174 3.0 (BROJ INTERPOLACIJA ***)
R175 6.3 (ZAVRŠNI UGAO ***.*** STEPENI )
R176 -6.3 (POČETNA POZICIJA PO Y -***.*** MM )
R177 -6.3 (POČETNA POZICIJA PO Z -***.*** MM )
R178 6.3 (RADIJUS NA TOČILU ***.*** MM)
R179 6.3 (RADIJUS NA OBRATKU ***.*** MM)
M17
```

2.2 Potprogram kružne interpolacije

2.2.1 Polazna razmatranja

Potprogram je osmišljen tako da se po dolasku u početnu poziciju vrši kretanje po osi X (radni hod). Nakon toga moguće su dve verzije:

1. Suprotnosmerno brušenje

2. Alat se vraća u početnu poziciju po X osi po staroj izvodnici vršeći izbrušivanje,

Potprogram je razvijen za mašine sa dve i tri numerički upravljane ose.

U nastavku se navodi kratak opis mašine sa stanovišta upravljanja:

Mašina BM 400- CNC ima dve numerički upravljane ose Y i Z a osa X je sa hidrauličnim pogonom. Programer na osu X može da utiče preko sledećih M-funkcija:

- M60 pokretanje stola u levo
- M61 pokretanje stola u desno
- M62 zaustavljanje stola

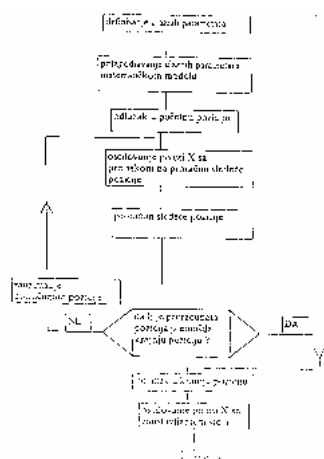
Parametar R00 služi kao marker. On naizmenično menja vrednost ± 1 u zavisnosti od toga koji je od podešljivih graničnika poslednji imao kontakt.

Da bi se smanjilo vreme potrebno za proračun sledeće pozicije i izbegla moguća greška operatera potprogram je izveden iz dve celine:

- Potprogram spoljašnje kružne interpolacije (u intervalu od 0 do 180°)
- Potprogram unutrašnje kružne interpolacije (u intervalu od 180 do 360°)

2.2.2 Konceptiono rešenje

Globalni algoritamski tok kružne interpolacije prikazan je na slici 2.



Slika 2. Globalni algoritamski tok kružne interpolacije

Prilagodjavanje ulaznih parametara matematičkom modelu izvodi se prema bloku na slici 3.

```
M62
R51=R173 R52=R174 R53=R175
R56=R176 R57=R177
R55=R178 R54=R179
R54=R54+R55
R58=R53-R51 R52=R58/R52
R60=R58*R58 R60=SQR R60
R59=R52*R52 R59=SQR R59
R66=R59
```

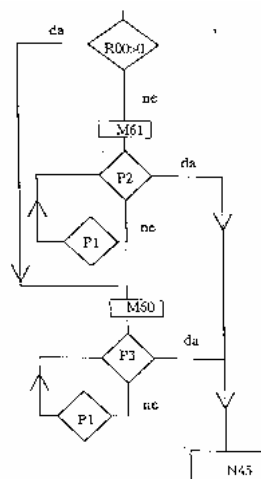
Slika 3. Blok za prilagodjavanje parametara

Vrednost ulaznih parametara je dodeljena navedenim parametrima da bi se sa njima vršile matematičke transformacije u cilju računanja pozicija brušenja, a vrednosti smeštene na početnim adresama se ne menjaju, one služe samo za poredjenja.

Odlazak u početnu poziciju izvodi se posredstvom sledećeg bloka:

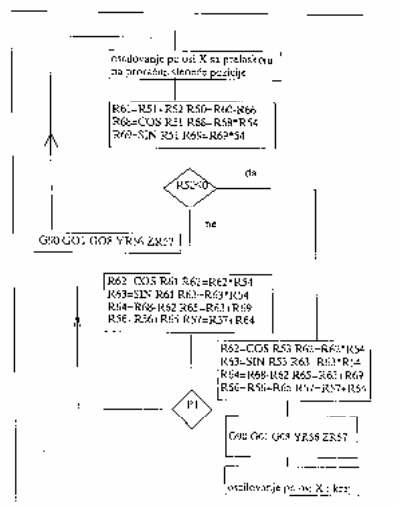
```
G90 G01 G08 YR56 ZR57 F=800
```

Oscilovanje po osi X sa prelaskom na proračun sledeće pozicije izvodi se prema algoritmu prikazanom na slici 4.



Slika 4. Algoritam oscilovanja po osi X

Proračun sledeće pozicije sa odlaskom u proračunatu poziciju ili krajnju u zavisnosti od postignutog ugla izvodi se prema algoritmu na slici 5.



Slika 5. Algoritam za proračun sledeće pozicije

2.2.3 Listing potprograma spoljašnje kružne interpolacije

```

L81
M62
R51=R173 R52=R174 R53=R175 R56=R176
R57=R177 R55=R178 R54=R179 R54=R54+R55
N4 R58=R53-R51 R52=R58/R52
G90 G08 Y R56 Z R57 F=800
N9 R60=R58*R58 R60=SQR R60
R59=R52*R52 R59=SQR R59 R66=R59
N10 N30 P+12 R00
M61
-----
R65=R63+R69 R56=R56+R65 R57=R57+R64
G90 G01 G08 Y R56 ZR57 F=800
N210 N230 P=12 R00
M61
N220 N245 P+2
N225 N220 P-1
N230 M60
N235 N245 P+3
N240 N235 P-1
N245 M62
G90 G5
M17
& L81(SPOLJASNJA KRUZNA INTERPOL.)
M17

```

2.2.4 Listing potprograma unutrašnje kružne interpolacije

```

L82
M62
R51=R173 R52=R174 R53=R175 R56=R176
R57=R177 R55=R178 R54=R179 R54=R54-R55
N4 R58=R53-R51 R52=R58/R52
G90 G08 Y R56 Z R57 F=800
N9 R60=R58*R58 R60=SQR R60
R59=R52*R52 R59=SQR R59 R66=R59
N10 N30 P+12 R00
M61
-----
R56=R56+R65 R57=R57+R64
G90 G01 G08 Y R56 ZR57 F=800
N210 N230 P=12 R00
M61
N220 N245 P+2
N225 N220 P-1
N230 M60
N235 N245 P+3
N240 N235 P-1
N245 M62
G90 G5
M17
& L81(SPOLJASNJA KRUZNA INTERPOLACIJA)
M17

```

3. LINEARNA INTERPOLACIJA

3.1 Definisanje parametara linearne interpolacije

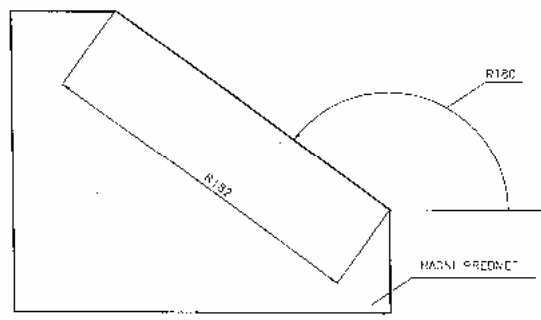
Potrebno je ostvariti pozicioniranje tocila tako da tangira radni predmet koji je pod određenim uglom po osama Y i Z zatim izvršiti obradu po osi X, ponovo pozicionirati pod istim uglom, ponovo vršiti obradu i tako dok se ne obradi ceo segment. Za definisanje ovog problema usvojene su sledeće ulazne veličine:

- ugao interpolacije
- broj interpolacija
- dužina interpolacije
- početna pozicija brušenja po Y
- početna pozicija brušenja po Z

Pri određivanju ugla nula se nalazi na osi X, pozitivan smer je smer suprotan smeru kazaljke na satu.

Definisanje navedenih parametara je izdvojeno u poseban potprogram pod imenom "PARAMETRI LINEARNE INTERPOLACIJE".

Na slici 6 dat je prikaz parametara linearne interpolacije.



Slika 6. Parametri linearne interpolacije

Potprogram glasi:

```

L84
M17
& L84 (PARAMETRI LINEARNE INTERPOLACIJE)
R180 6.3 (UGAO INTERPOLACIJE***.***STEPENI)
R181 3.0 (BROJ PROLAZA***)
R182 6.3 (DUZINA INTERPOLACIJE***.***MM)
R183 -6.3 (POCETNA POZICIJA PO Y-***.***MM)
R184 -6.3 (POCETNA POZICIJA PO Z-***.***MM)
M17

```

3.2 Potprogram linearne interpolacije

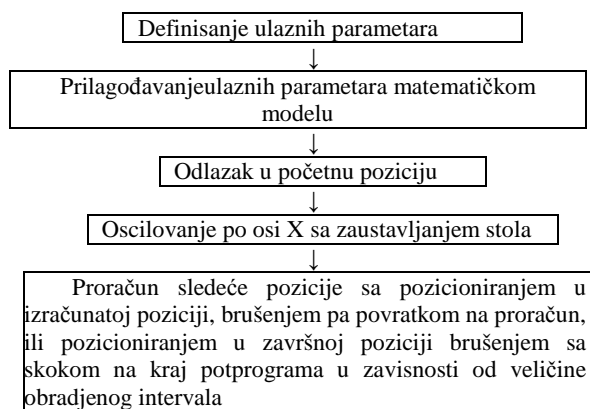
3.2.1 Polazna razmatranja

Isto kao kod kružne interpolacije prvo se zauzima početna pozicija posle čega sledi radni hod po osi X. Moguće je istosmerno i suprotnosmerno brušenje. Programska logika je slična logici u potprogramu kružne interpolacije, sem drugačijeg toka proračuna (različiti matematički modeli). Pre pozicioniranja u proračunatu poziciju vrši se odzimanje intervala koji bi bio obrađen posle nove pozicije od dužine interpolacije (ulazna veličina). Ukoliko je razlika manja ili jednaka nuli pozicionira se u završnu poziciju posle čega sledi kraj potprograma. Potprogram je raden za mašine sa dve i tri numerički upravljane ose.

Potprogram linearne interpolacije je konkretno razvijen za mašine sa dve numerički upravljane ose (BM 400-CNC).

3.2.2 Konceptiono rešenje

Globalni algoritam je prikazan na slici 7.



Slika 7. Globalni algoritam linearne interpolacije

Prilagođavanje ulaznih parametara matematičkom modelu izvodi se prema bloku na slici 8.

M62
R63=R183 R64=R184 R65=R180
R66=R182 R67=R181
R71=R64 R61=0
R67=R66/R67
R58=COS R65 R58=-R58
R59=SIN R65

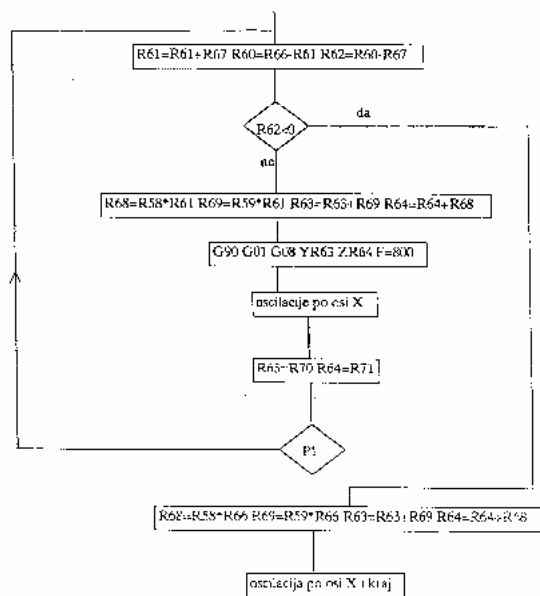
Slika 8. Blok za prilagodjivanje ulaznih parametara

Odlazak u početnu poziciju izvodi se posredstvom sledećeg bloka:

G90 G01 G08 YR63 ZR64 F=800

Blok sa oscilovanjem po osi X je identičan bloku u potprogramu kružne interpolacije s tim što je poslednja rečenica M62 (zaustavljanje stola).

Proračun pozicije i brušenje do kraja intervala izvodi se prema algoritmu na slici 9.



Slika 9. Algoritam proračuna pozicije

3.2.3 Listing potprograma linearne interpolacije

```
L85
M62
R63=R183 R64=R184 R65=R180 R66=R182
R67=R181 R70=R63 R71=R64 R61=0R67=R66/R67
G90 G01 G08 Y R63 Z R64 F=500
N100 N130 P+12 R00
M61
-----
R64=R64+R68
G90 G01 G08 Y R63 Z R64 F=800
N310 N330 P+12 R00
M61
N320 N345 P+2
N325 N320 P-1
N330 M60
N335 N345 P+3
N340 N335 P-1
N345 M62
G90 G5
M17
& L85 (LINEARNA INTERPOLACIJA)
M17
```

4. TESTIRANJE PROGRAMSKIH REŠENJA NA KONKRETNOM PRIMERU - PRIMENA

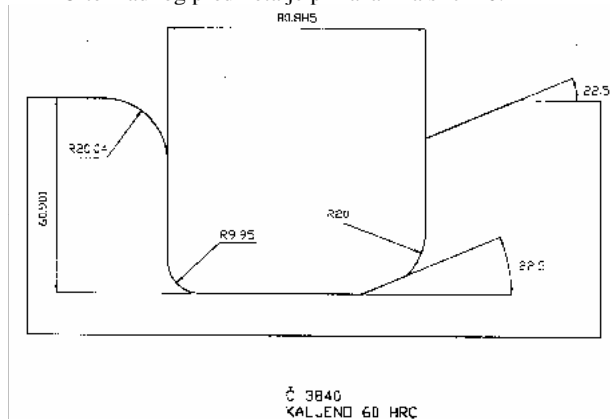
4.1 Radni predmet

Testiranje programskih rešenja je izvršeno na mašini BM 400-CNC u fabrici "IMT" Beograd.

Radni predmet predstavlja jedan složen oblik koji ima dva segmenta za kružnu interpolaciju i pet segmenata za linearnu interpolaciju.

Dva segmenta linearne interpolacije se moraju bočno brusiti pa se mora voditi računa i o bočnom oštrenju tocila.

Crtež radnog predmeta je prikazan na slici 10.



Slika 10. Radni predmet

4.2 Rezultati brušenja

Rezultati brušenja se navode kroz izveštaj sa kontrole radnog predmeta (slika 11). Za segmente radene linearnom i kružnom interpolacijom interesantne su tačke 10, 11 i 12. Na ovim segmentima se vidi tačnost pozicioniranja ostvarena potprogramima interpolacija. Greška pri brušenju radijusa od 20.04 mm iznosi 0.0036 mm, pri brušenju radijusa od 9.95 mm greška iznosi 0.004 mm, pri obradi segmenta pod uglom od 22.5° greška je 25 ''.

MEASURING PROTOCOL									
OPTION UMESS									
TEST KONAD					MANUAL MEASURING				
BROJ DELA*		BROJ NALOGA		MERENJE ZA:		I		* I M T *	
043				I.M.T.				KONTROLA	
PRUEFER		TEIL-NR							
SLAVKO ZORAN		* 1/2 *							
ADITREC	TASK	IDF	ISY	ACTUAL	NOMINAL	U-TOL	L-TOL	DEV	EXC
1	SURFACE	Y	66.2278						
	Z/Y	A1	0.0196						
	X/Y	A2	0.0069						
	15P S/MIN/MAX		0.0007	(14)	-0.0010	(15)	0.0010		
2	ROTATE SPACE	A	0.0208						
3	ZERO-PT	Y	66.2278						
4	SURFACE	X	-190.1410						
	Y/X	A1	0.0010						
	Z/X	A2	0.0063						
	13P S/MIN/MAX		0.0009	(5)	-0.0013	(4)	0.0017		
5	ROTATE PLANE	A	-0.0063	ABOUT SPC AXIS Y					

```
1. SURFACE      Y      66.2278
    Z/Y         A1     0.0196
    X/Y         A2     0.0069
    15P S/MIN/MAX 0.0007 (14) -0.0010 (15) 0.0010
2. ROTATE SPACE A      0.0208
3. ZERO PT      Y      66.2278
4. SURFACE      X     -190.1410
    Y/X         A1     0.0010
    Z/X         A2     0.0063
    13P S/MIN/MAX 0.0009 (5) -0.0013 (4) 0.0017
5. ROTATE PLANE A      0.0063 ABOUT SPC AXIS Y
6. ZERO PT      X     -190.1410
7. POINT        Z     -251.6733
8. ZERO PT      Z     -251.6733
9. SURFACE      X      81.0319
    Y/X         A1     0.0018
```

Z/X	A2	-0.0005			
11P S/MIN/MAX		0.0004	(11)	-0.0009	(10) 0.0008
	A1	0 DEGR	0 MIN	6.40SEC	
	A2	0 DEGR	0 MIN	-1.80SEC	
10. SURFACE	X	60.7746			
Z/Y	A1	0.0017			
X/Y	A2	0.0015			
17P S/MIN/MAX		0.0006	(1)	0.0014	(2) 0.0010
	A1	0 DEGR	0 MIN	6.12SEC	
	A2	0 DEGR	0 MIN	5.58SEC	
11. CIRC E	X	-20.0455			
	Y	40.7091			
	D	40.1460			
10P S/MIN/MAX		0.0014	(6)	-0.0020	(9) 0.0017
12. CIRC I	X	-9.9614			
	Y	9.9394			
	D	19.8800			
8P S/MIN/MAX		0.0015	(2)	-0.0022	(7) 0.0015
13. SURFACE	Y	-25.2435			
Z/Y	A1	0.0001			
X/Y	A2	-22.4929			
15P S/MIN/MAX		0.0004	(5)	-0.0005	(1) 0.0006
14. SURFACE	Y	15.2305			
Z/Y	A1	0.0023			
X/Y	A2	-22.4986			
14P S/MIN/MAX		0.0005	(1)	-0.0011	(13) 0.0008
	A1	0 DEGR	0 MIN	8.30SEC	
	A2	-22 DEGR	-29 MIN	-54.83SEC	

Slika 11. Protokol o kontroli radnog predmeta

5. ZAKLJUČAK

Rad u suštini sadrži rešenje jednog segmenta problema kod CNC upravljanja pri obradi ravnim brušenjem. Sledeći segment koji bi se nadovezao na ovaj mogao bi biti izrada parametarskih potprograma za abrihtovanje tocila. Potprogrami profilisanje bi se mogli zasnivati na potprogramima obrade, s tim što se putanja ne bi smela deliti

na segmente. Ove dve celine potprograma zajedno bi predstavljala nove parametarske kodove programiranja koji bi bio jednostavniji za upotrebu, ali bi se morao posebno prilagođavati za svaki tip mašine.

6. LITERATURA

- [1] Drobnjak, P.: *Prilog razvoju sistema upravljanja otvorene arhitekture za pogone industrije predrade metala*, magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2003
- [2] Kalajdžić, M., Gatalo, R., Glavonjić, M., Lukić, Lj., Milutinović, D., Hodolić, J., Majstorović, V., Borojev, Lj.: *Fleksibilni tehnološki sistemi u obradi rezanjem, stanje i perspektive razvoja*, Zbornik radova, Naučna konferencija „Mašinstvo za XXI vek, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1995.
- [3] Zeljković, M., Gatalo, R., Borojev, Lj., i dr.: *Retrofitting familije mašina za brušenje složenih oblika*, Projekat u okviru tehnološkog razvoja MIS 3.02.3220, finansiran od strane Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 2002-2003.
- [4] ----- SINUMERIK 3000 G, NC-18, SIEMENS, Germany, 1988.

Autori: Prof. dr Ratko Gatalo, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, Prof. dr Zeljović Milan, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495. **Petrić Milan, dipl. ing.** „MMP Metal“, 21400 Bačka Palanka, Kralja Petra I broj 89.

E-mail: gatalora@uns.ns.ac.yu
milanz@uns.ns.ac.yu

Šooš, E.

CRITERIA FOR SELECTION OF BEARINGS ARRANGEMENTS

Abstract: Decisive criteria of machine tools quality are the productivity and working accuracy. The number of spindle - bearing systems supported on ball bearings with angular contact are proportionally increasing in accordance to this increasing demands on machine tools. By the variation of the bearings and their arrangement in bearing node, value of contact angle, magnitude of preload and type of flanges can be suitably optimised resulting stiffness and speed-ability of the spindle-bearing system.

Rapid evaluation of various spindle-bearing system variants in the preliminary design stage has great importance for the design engineer. His selection can be correct, if he has suitably chosen criteria for the spindle bearing-system design and adequate experiences in this field.

In this paper is introduced as well simplified mathematical apparatus for evaluation of basic spindle - bearing system parameters as also recommended selection criteria. In the paper, the design and verification of simplified mathematical model for computing of bearing arrangements parameter and stiffness is given.

Key words: machine tool, headstock, spindle-bearing system, ball bearings with angular contact, bearing arrangements, mathematical models, accuracy, productivity,

1. INTRODUCTION

The major machines in FMS with CIM, [1], [2], [11], are of course powerful CNC machine tools of different types, mainly milling and turning centres. These highly efficient systems, which are designed to operate with a very small work force, require reliable machines. The word covers in this context the ability of the machines in the system to maintain their accuracy during long work cycles over long periods of times, with a minimum of servicing.

According to demands on machine tools productivity and accuracy, the spindle-housing system is a heart of machine tool, fig 1, [7]. Radial ball bearings with angular contact are still more and more applied in arrangements. The number of headstocks supported on angular contact ball bearings is increasing proportionally with increasing demands on the machine tool quality, [4]. It is caused by the fact that these bearings can be arranged in various combinations to create bearing arrangements which can be enabling to eliminate radial and also axial loads. The possibility of variation of the number of bearings, preload value, bearings dimensions and contact angle of bearings used in bearing arrangements create wide spectrum of combination to reach sufficient stiffness and revolving

frequency of the spindle-bearing system [2], [5]. The sufficient stiffness and revolving frequency of headstock are necessary criteria for reaching demanding manufacturing precision and machine tool productivity.

2. PRIMARY STATIC ANALYSIS

The calculation of the headstock ultimate revolving frequency is relatively simple. The ultimate revolution frequency of the bearing arrangement is calculated on the basis of ultimate revolving frequency of one bearing by multiplying this frequency by various coefficients reflecting the influence of bearings in bearing arrangement, bearing precision, preload value, lubrication and cooling conditions. But the problem is how quickly and with sufficient precision calculates headstock stiffness. The headstock stiffness must be calculated in accordance to deformation of the front spindle end, because the deformation at this point has direct relationship to precision of the production. The deformation of the front spindle end is summation of various more or less important partial deflections. Resulting radial deformation y_{rc} of front spindle end is shown at fig. 3.

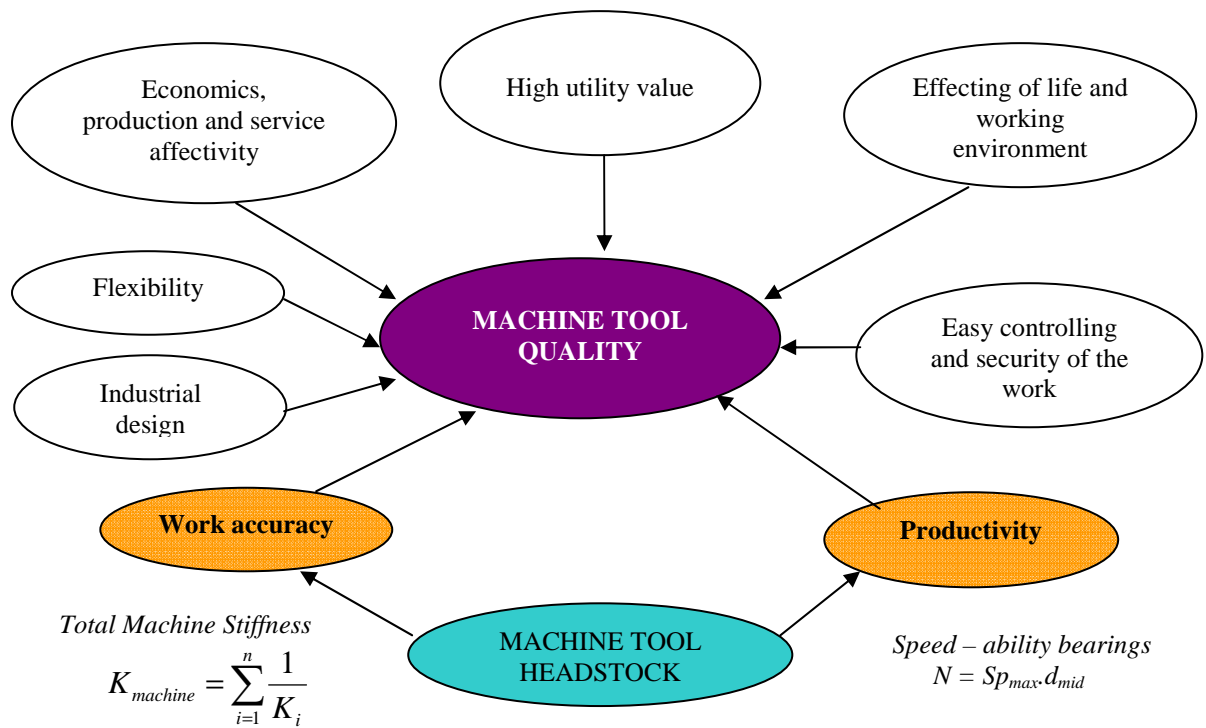


Fig. 1 Factors influence on Quality of Machine Tool, [7].

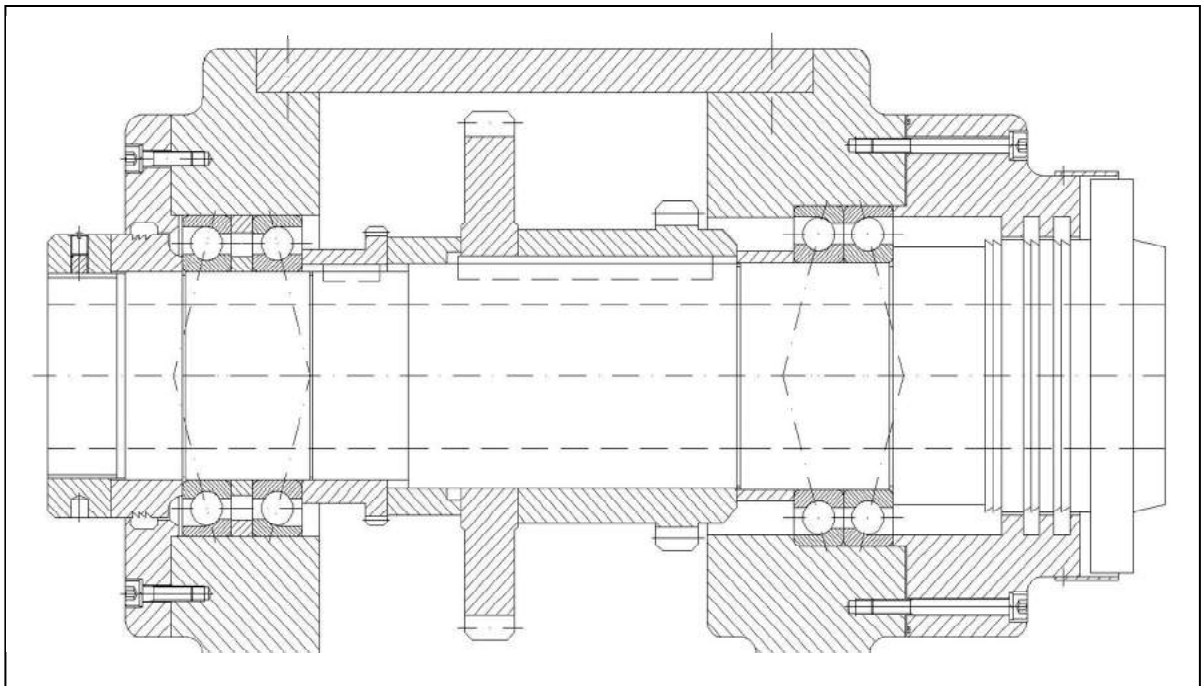


Fig. 2 The Headstock of the precision boring machine DB24 fy Eislinger, [6]

The radial headstock stiffness we can calculated

$$K_{rc} = \frac{F_r}{y_{rc}} \quad (1)$$

then “ F_r ” is tangential Force (Fig. 4).

The calculation of front-end spindle deflection which could take into consideration all important parameters can be done only using powerful computers. The analysis can be realized by standard or special (fit to problem) software programs. The calculations of many combinations are very demanding on time and money. The stiffness analysis by standard programs depends on engineers experiences. The results can be very disputing although when suitable mathematical method is used (finite elements method, boundary elements method, Castilian theorem.). This can be caused by the fact that headstock box, bearings or bearings arrangement are statically indefinite systems with nonlinear deformation of the node under the load. Special software's are very expensive. They are developed using the up to date theoretical and practical knowledge. These programs were particularly developed by research institutions and bearings producers and possibility use such programs significantly influences their position on the spindle-bearing systems market. Taking into the consideration facts mentioned above engineer would appreciate the existence of the methodology of simplified static analysis. Such a methodology will enable the engineer in the preliminary design stage reduce the number of possible spindle-bearing variants and determine the direction which will lead to optimal spindle-bearing system design, [6].

3. SIMPLIFIED METHOD OF CALCULATION

The experiences showed that whatever mathematical method and software is used, the spindle deflection caused by bending moments and by bearing compliances have the greatest influences to resulting front end spindle deflection. The ratio of these two partial deflections is always greater than 90 % from resulting deflection. If the methodology is simplified it is sufficient to pay attention only to these two partial deflections, [1], [7], [10].

Then

$$y_{rc} = y_0 + y_1 \quad (2)$$

where the deflection caused by bending moments is as follows:

$$y_o = \frac{F_r a^2}{3E} \left[\frac{a}{J_a} + \frac{L}{J_L} \right] \quad (3)$$

and the deflection caused by bearing compliance is as follows:

$$y_l = \frac{F_r}{L^2} \left[\frac{a^2}{K_B} + \frac{(L+a)^2}{K_A} \right] \quad (4)$$

Increasing moments of inertia “ J_a ”, “ J_L ” we calculated

$$J_a = \frac{\pi}{64} [D_a^4 - d_a^4] \text{ and } J_L = \frac{\pi}{64} [D_L^4 - d_L^4] \quad (5)$$

The definition of the quantities is shown at fig. 4.

The individual headstock parts (spindle, bearing arrangement,) create serial springs arrangement and it is evident than resulting stiffness K_{rc} is limited by stiffness of the weakest part, [9]. The expert can see which part should be improved, which from partial deflections should be decreased.

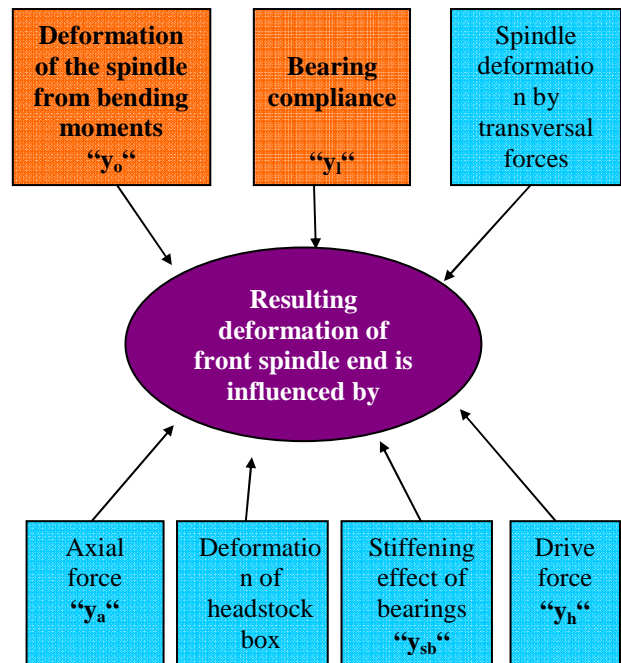


Fig.3 Factors influencing resulting deformation

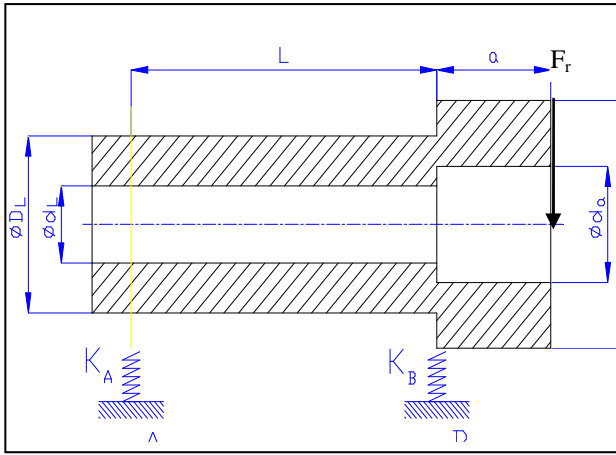


Fig.4 Replace scheme of the spindle-bearing system

The parameters " F_r ", " a ", " L " influence at the same time the value of both deflections. The spindle deflection caused by bending moments can be decreased also by as follows:

- increasing of material modulus of elasticity " E ",
- increasing moments of inertia " J_a ", " J_L " by change of spindle diameters " D_a ", " D_L ", " d_a ", " d_L ".

The stiffness of the bearing arrangement (K_A , K_B) is the specific parameter which has influence on resulting spindle deflection. The simplified mathematical model for calculation of stiffness of bearing arrangement on journal angular ball bearings [8] can be expressed in form of the following equation:

$$K_{A,B} = \frac{3}{4} \cdot 2,3 t_1^{2/3} \cdot z^{2/3} \cdot d_w^{1/3} \cdot F_p^{1/3} \cdot \frac{\cos^2 \alpha_1}{\sin^{1/3} \alpha_1} \left[1 + \frac{t_2^{2/3} \cdot \cos^2 \alpha_2 \cdot \sin^{1/3} \alpha_1}{t_1^{2/3} \cdot \cos^2 \alpha_1 \cdot \sin^{1/3} \alpha_2} \right] \quad (6)$$

Taking to the consideration equation (6) it is evident that stiffness of bearing arrangement depends on number of bearings (t_1 and t_2) in arrangement, dimensions of the bearings (z_1 , d_{w1} and z_2 , d_{w2}), contact angle (α_1 and α_2) and preload value F_p .

This new equation (6) for middle stiffness of the bearing arrangement " K_r " calculation was experimental verified, [7]. At figure 5 we have been compared experimental measure stiffness, exactly and middle calculated radial stiffness of the bearing arrangement B7216 AATB P4 O UL. Results are very good.

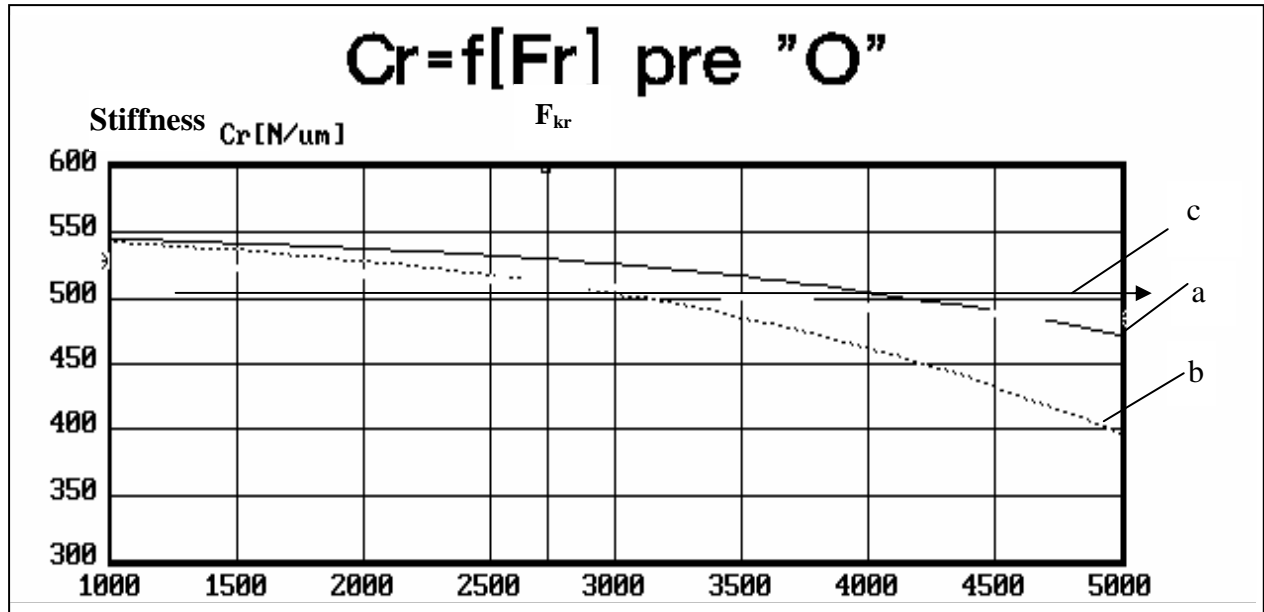


Fig.5 Radial stiffness of the bearing arrangement B7216 AATB P4 O UL, a - experimental, b - exactly, c - middle

The variation of the stiffness of the bearing arrangement B7216 CATB P4 O UL is shown at fig. 6. The stiffness variation was studied at the change of the parameter by 25 %. Nominal valued of bearing arrangements: z_1 , $z_2 = 14$, d_{w1} , $d_{w2} = 19,05$ mm, α_1 , $\alpha_2 = 12^\circ$, $F_p = 340$ N.

4. CONCLUSIONS OF THE ANALYSIS

The conclusions of the analysis [3] are as follows:

- The radial stiffness is proportionally increasing with increasing " z ", " d_w ", " t ", " F_p " values and is decreased when " a " is prolonged.

- The parameters " z " and " d_w " must be evaluated in mutual interaction because they characterise size and dimensions of the bearings. The increasing of both these parameters and consecutive increasing of stiffness of bearing arrangement can be reached by increasing of inner bearing diameter. The disadvantage is that ultimate revolving frequencies will be decreased. The more suitable solution is to decrease the width of the bearing, e.g. from B72 to B70. In this case the number of rolling elements " z " will be increase and their diameter " d_w " will be smaller.
- Assuming equation (6), it is evident that " z " has more important influence on stiffness increase than " d_w ". If the diameter of the rolling elements is smaller, their weight will

be also decreased and this fact will enable increase ultimate revolving frequencies.

- The number of bearings in bearing arrangement "t" is the significant factor which can favourable influence the stiffness. But the increasing number of bearings will drop ultimate revolving frequencies and therefore it is possible to use this way only for low speed spindle-bearing systems.
- The preload has relatively small effect on stiffness of bearing arrangement. The preload real value depends also on type of flanges. When fixed flanges are used the preload value can several times exceed nominal value. This fact will cause excessive preload which produce heat and bearing arrangement will be out of order much more sooner as it was supposed.
- The contact angle " α " has significant influence on variation of stiffness of bearing arrangement. When the value of the contact angle is increasing, the radial stiffness and ultimate revolving frequency of the bearing arrangement is decreasing. But on the other side very significantly will be increased axial stiffness of the bearing arrangement.

In this paper was introduced as well simplified mathematical apparatus for evaluation of basic spindle - bearing system parameters as also recommended selection criteria. A designer will get the effective tool for preliminary selection of suitable arrangement by application of computed results. It is first step near analysis various combination spindle - bearings system. By selection optimally spindle - bearings system we achieve asking parameters Headstock how necessary presumption for quality assurance Machine tool.

5. LITERATURE

- [1] ARSOVSKI, S. - ARSOVSKI, Z. - PEROVIC, M.: Developing of CIM systems, CIM center. 1995, Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac, (in Serbian).
- [2] DEMEČ, P.: Presnosť obrábacích strojov a jej matematické modelovanie. - 1. vyd. - Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2001. - 146 s. - ISBN 80-7099-620-X, (in Slovak).
- [3] JAVORČÍK, L. - ŠOOŠ, L.: Spindle on Bearing. In.: Mechanical engineering. Vol 114, No.1, January 1992, s.27-28, (in English).
- [4] LEE, D. - SIN, H. - SUN, N.: Manufacturing of a Graphite Epoxy Composite Spindle for a Machine Tool. CIRP, 34, 1985, number 1., pp. 365 -369, (in English).
- [5] ŠARKAN, P. - ŠOOŠ, L.: The Influence of Parameters on Operation Characteristics of Spindle - Bearings System. In.: Microcad '96. [International Conference], Miskolc-Egyetemváros 29. 2. 1996, s. 27-30, (in English).
- [6] ŠOOŠ, L.: Statika ložiskových uzlov vretien obrábacích strojov. Kandidátska dizertačná práca, Bratislava 1990, 165 s., (in Slovak).
- [7] ŠOOŠ, L. - ŠARKAN, P.: From Theoretical Research to Construction Design of Machine Tool Headstock, Wien 1995, 46 s., (in English).
- [8] ŠOOŠ, L.: Research of Spindle - Housing System. [Habitation work]. SJF STU Bratislava, 2003, pp. 145., (in Slovak).
- [9] ŠOOŠ, L. - JAVORČÍK, L. - KOLLÁTH, L.: Design of Excellence - Applied Software for a Spindle Headstock. In. [International Kongress] "7th International Conference on Flexible Technologies - MMA 2000", Novi Sad, 28. 6. - 3. 7. 2000, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za Proizvodstvo Mašinstvo, Novi Sad, Jugoslavija, s. 71 - 75., (in English).
- [10] VADOVIČ, F.: Vybrané state z pružnosti. Tuhosť a pevnosť výrobných strojov. [Skriptum]. Slovenská vysoká škola technická, Strojnícka fakulta, 1986, 235 s., (in Slovak).
- [11] ZAHEDI, F.: Quality Information System, Boyd & Fraser Publishing Company, 1995.

CORRESPONDENCE



Ľubomír ŠOOŠ, Assoc. prof. PhD.

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Production Systems, Environmental Engineering a Quality of Production, Námestie Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovak republic, lubomir.soos@stuba.sk

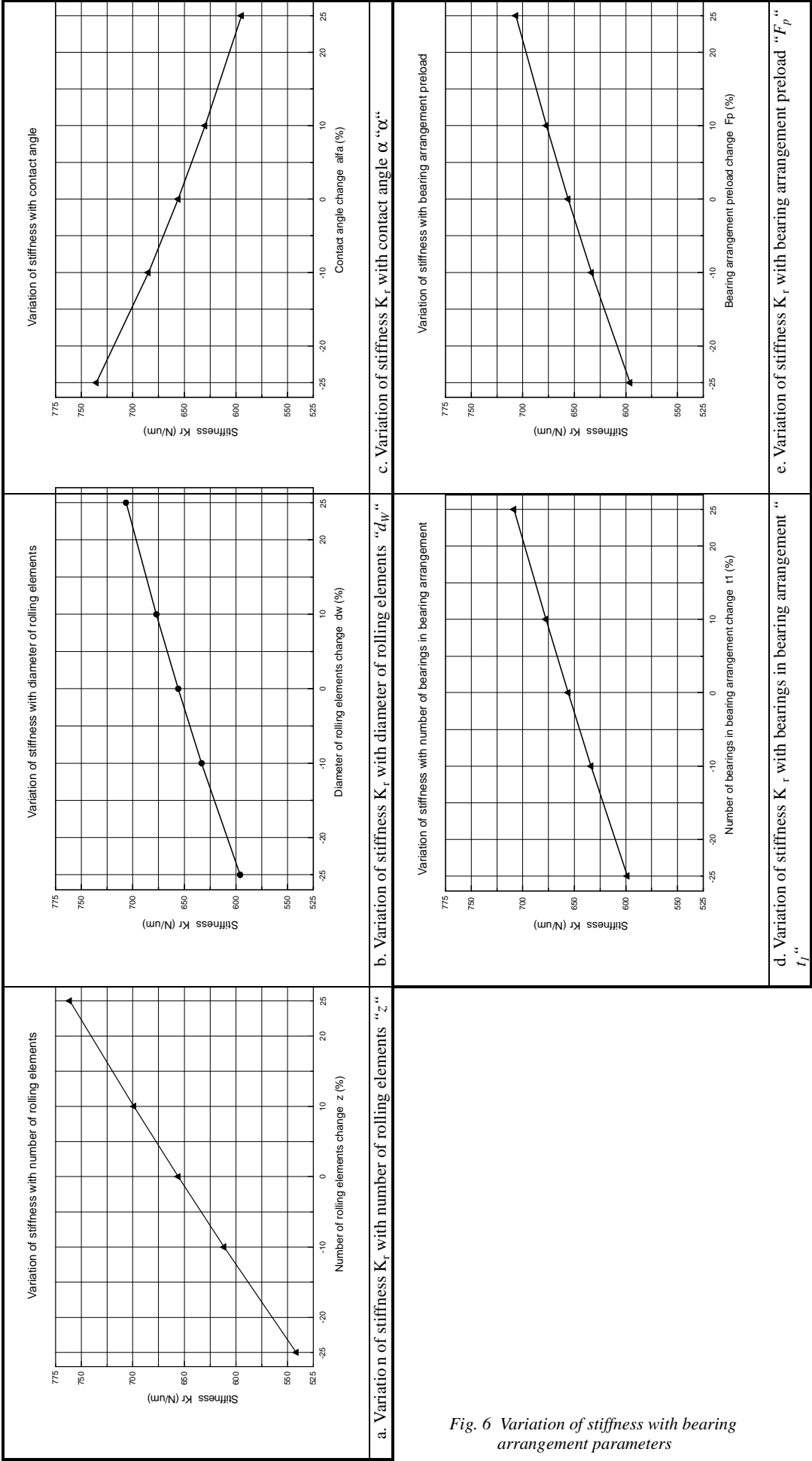


Fig. 6 Variation of stiffness with bearing arrangement parameters

Tabaković S., Zeljković, M., Gatalo, R.

AUTOMATIZACIJA PROCESA PROJEKTOVANJA NA PRIMERU MAŠINA ALATKI NA BAZI PARALELNIH MEHANIZAMA

Rezime: U savremenom uslovima poslovanja od proizvođača mašina alatki se zahteva da vreme projektovanja i realizacije mašina alatki svedu na što je moguće manju meru. To vreme je u velikoj meri smanjeno primenom specijalizovanih programskih sistema za projektovanje, u kombinaciji sa koncepcijom gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima. U radu je prikazana koncepcija razvijenog programskog sistema za projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama, kao i programsko rešenje za formiranje kriterijuma odlučivanja koji su neophodni za njegovo funkcionisanje/realizaciju.

Ključne reči: automatizacija projektovanja, mašine alatke, paralelni mehanizmi, rekonfigurabilni sistemi

AUTOMATION OF PROJECTING PROCESS ON THE MACHINE TOOLS BASED ON PARALLEL KINEMATICS SAMPLE

Abstract: In modern business condition a manufacturer need to decrease time for projecting and realization of machine tools. This time is decrease with using special programming systems for projecting in combination with conception of building the machine tools on principle of reconfiguration. In this paper is presented conception of development the programme systems for projecting a machine tools based on parallel mechanism, and programme solution for generating a criteria for decision in this systems

Key words: automation of projecting, machine tool, parallel mechanism, reconfigurable systems

1.0 UVOD

Od početka industrijske revolucije, i nastanka potrošačkog društva, mašine alatke predstavljaju jedno od najistaknutijih sredstava tehničko-tehnološkog razvoja čovečanstva. Kao posledica toga, obim investicija u nove mašine alatke ostvaren u toku jedne godine se smatra jednim od najznačajnijih merila industrijalizacije i tehnološkog napretka jedne države.

Stalno prisutan rast zahteva tržišta i proširivanje njegovih granica, postavili su pred proizvođače mašina alatki zadatke koji podrazumevaju njihovo konstantno unapređenje i usavršavanje njihovih komponenti. Pod tim se podrazumeva povećanje njihove produktivnosti, uz poboljšanje eksploatacionih karakteristika i unapređenje na polju realizovane tačnosti i kvaliteta obrađenih površina.

Poslednjih pedeset godina proces usavršavanja mašina alatki je omogućio formiranje više pravaca njihovog razvoja. Tu se podrazumevaju:

- Unapređenje postojećih principa gradnje mašina alatki i razvoj novih
- Unapređenje komponenti mašina alatki postojeće koncepcije gradnje
- Razvoj novih, koncepciono jednostavnijih upravljačkih sistema za mašine alatke
- Uvođenje novih koncepcija gradnje mehaničke strukture mašina alatki
- Povećanje brzine procesa projektovanja i gradnje mašina alatki

Pomenuti zahtevi tržišta, shodno brzini razvoja tehnike, podrazumevaju brzu modifikaciju i specijalizaciju mašina alatki prema zahtevima naručioca. U skladu sa tim je kod mašina alatki univerzalne namene, primenjena koncepcija gradnje na modularnim principima. U novije vreme, slični principi su primenjeni i na numerički upravljane mašine alatke, kod kojih je modularna koncepcija unapređena uvođenjem koncepta rekonfigurabilnosti. To podrazumeva:

primenu modularnih principa gradnje mehaničke strukture mašine alatke uz primenu upravljačkih sistema nove generacije (sa otvorenom, prilagodljivom, arhitekturom). Na ovaj način se ostvaruje razvoj mašina alatki sa maksimalnom fleksibilnošću i prilagodljivošću zahtevima obrade konkretnih proizvoda.

Sama koncepcija projektovanja i gradnje mašina alatki na rekonfigurabilnim principima se odlikuje pogodnošću za unifikaciju, a samim tim i automatizaciju, čime se sam proces projektovanja značajno ubrzava.

U skladu sa tim, na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, se već duži niz godina stvaraju podloge za automatizaciju procesa projektovanja mašina alatki kako na modularnim [2], [3], tako i rekonfigurabilnim principima [5]. U radu je prikazan deo rezultata ostvaren u razvoju programskog sistema za automatizaciju procesa projektovanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama i podloge za njegovo funkcionisanje, odnosno realizaciju.

2.0 PROGRAMSKO REŠENJE ZA ANALIZU RADNOG PROSTORA MAŠINA ALATKI NA BAZI PARALELNIH MEHANIZAMA

Ključnu ulogu za uspešnost funkcionisanja programskog sistema za projektovanje mašina alatki imaju kriterijumi odlučivanja koji su ugrađeni u procesor programskog sistema. U razvijeni programski sistem su ugrađeni kriterijumi nastali na osnovu analiza radnog prostora različitih tipova i dimenzija paralelnih mehanizama. Njihovo formiranje podrazumeva proučavanje velikog broja varijanti paralelnih mehanizama uz primenu kompleksnih matematičkih analiza dobijenih rezultata.

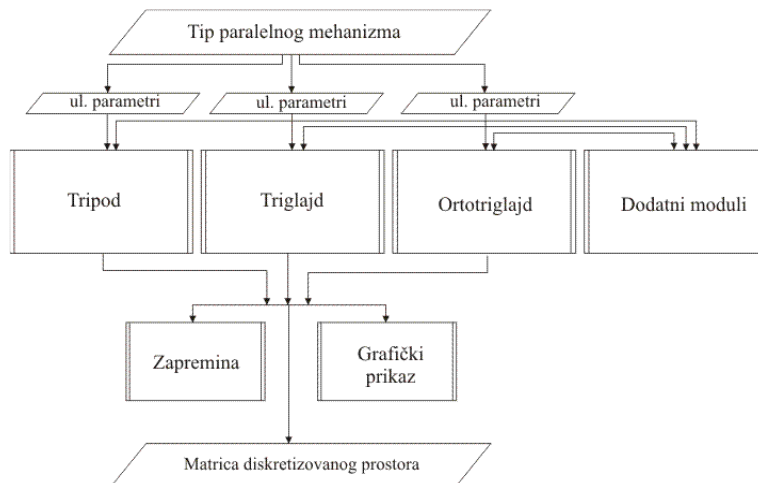
Za potrebe višekriterijumske analize radnog prostora različitih tipova paralelnih mehanizama, razvijen je namenski programski paket „Radni prostor”. Njegovom primenom se omogućava definisanje svih relevantnih parametara za proučavanje i kategorizaciju radnih prostora paralelnih mehanizama, kao i njihovu uporednu analizu. Procesorski deo programskog paketa ima zadatak da definiše oblik, dimenzije

i karakteristike radnog prostora, primenom diskretne matematičke analize kao najprihvatljivije metode. Kompleksnost problematike radnog prostora mašina alatki uopšte podrazumeva niz analiza njegovih geometrijskih karakteristika. Iz tog razloga realizovani programski paket je koncipiran tako da omogućava definisanje i analizu radnog prostora paralelnog mehanizma u više faza:

- Definisanje prostornog modela oblika radnog prostora, omogućujući njegovu detaljnu vizuelnu analizu

- Formiranje matrice koordinata tačaka koje opisuju radni prostor, u cilju naknadne analitičke analize njegovih karakteristika
- Određivanje veličina koje su karakteristične za radne prostore mašina alatki: gabaritnih dimenzija i zapremine radnog prostora, odnos ostvarene i idealne zapremine i sl.

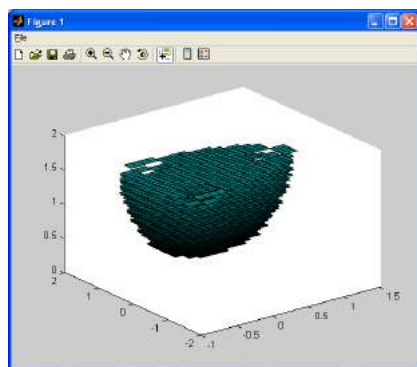
Globalni model programskog paketa „Radni prostor” je prikazan na slici 1.



Slika 1. Globalni model programskog paketa „Radni_prostor”

Rezultati analiza radnog prostora realizovanih se u programskom paketu „Radni_prostor” prikazuju se na tri načina, i to u vidu:

- Numeričkih vrednosti, koje čine: zapremina i gabaritne dimenzije radnog prostora i drugi faktori, koji se prikazuju u komandnom prozoru programskog paketa
- Matrice koordinata tačaka koje pripadaju radnom prostoru opisujući ga u prostoru
- Grafičkih prikaza, odnosno prostornog modela oblika radnog prostora paralelnog mehanizma koji se generišu u okviru podsistema za vizuelizaciju grafičkih objekata. Primer vizuelizovanog radnog prostora je prikazan na slici 2.

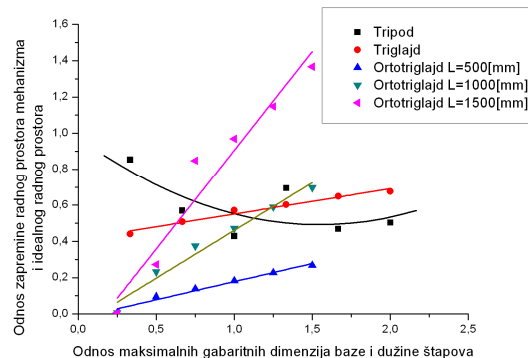


Slika 2. Primer vizuelizacije grafičkih rezultata analize

Kombinovanje numeričkog i grafičkog oblika izlaznih rezultata pruža mogućnosti kvalitetnije analize radnog prostora. Ovako formirani rezultati mogu biti naknadno obrađeni i u nekom od specijalizovanih programskih sistema.

3.0 ANALIZA KARAKTERISTIKA RADNOG PROSTORA RAZLIČITIH TIPOVA PARALELNIH MEHANIZAMA PRIMENOM RAZVIJENOG PROGRAMKOG REŠENJA

Rezultati analize radnog prostora dobijeni programskim sistemom „Radni_prostor” su u izvornom obliku opisani matricom brojeva koja sadrži koordinate tačaka koje pripadaju radnom prostoru. Ove matrice se, zbog dimenzija (nekoliko hiljada do nekoliko stotina hiljada vrsta i tri kolone) ne mogu koristiti bez dodatne obrade u smislu definisanja zapremine, gabarita radnog prostora i sl. Tako obrađeni podaci se obradom u programskim sistemima za analizu diskretnih brojeva (*Origin pro*, *Microsoft graph* i sl.) primenjuju za definisanje kriterijuma odlučivanja u programskom sistemu za projektovanje mašina alatki. Na slici 3. su prikazane zakonitosti dobijene za različite tipove mehanizama različitih dimenzija.



Slika 3. Primer kriterijuma za određivanje parametara mehanizama

Matematičke zakonitosti dobijene polinomnom aproksimacijom, prikazane na slici, mogu biti opisane u

aritmetičkom obliku pogodnom za primenu u procesu projektovanja mašina alatki.

4.0 PROGRAMSKI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE MAŠINA ALATKI

Višegodišnja istraživanja autora vezana za proučavanje paralelne kinematike i primene paralelnih mehanizama u proizvodnom mašinstvu su dovela do određenih rezultata. Tu se prvenstveno misli na rezultate ostvarene u području:

- Kinamatske analize većeg broja, karakterističnih, tipova paralelnih mehanizama,
- Detaljne analize radnog prostora paralelnih mehanizama u cilju utvrđivanja kriterijuma za projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama,
- Utvrđivanja procedura projektovanja samog mehanizma na osnovu karakteristika radnog prostora,
- Analize principa rekonfigurabilnosti i njihove primene u procesu projektovanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama.

Realizovana istraživanja su omogućila da se svi dobijeni rezultati objedine u jednu, funkcionalnu, celinu. Pod tim se podrazumeva razvoj programskog sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama. Do sada razvijeni programski sistemi ovog tipa su bazirani na metodologiji koja podrazumeva isključivo izbor komponenata i optimizaciju dobijenog rešenja jednog tipa paralelnih mehanizama. Razvoj rekonfigurabilne koncepcije gradnje mašina alatki, i njena primena u mašinama alatkama na bazi paralelnih mehanizama su doveli do potrebe da programski sistemi za njihovo projektovanje obuhvate i izbor tipa mehanizma.

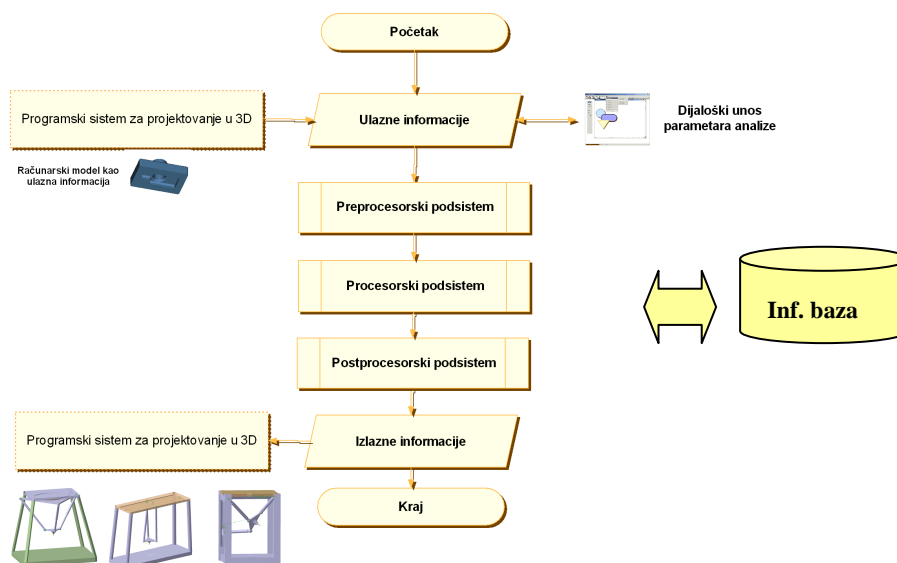
Proces projektovanja koncepcionog rešenja mašina alatki, u opštem obliku podrazumeva: realizaciju većeg broja procedura sa ciljem izbora tipa mehanizma, komponenata koje čine njihovu mehaničku strukturu, kao i optimizaciju dobijenog rešenja. Za formiranje idejnog rešenja koje se u praksi može realizovati, presudnu ulogu imaju postupak projektovanja i validnost kriterijuma za izbor njihovih

komponenti. To su, istovremeno, najvažniji segmenti programskih sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki.

Programski sistem za projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama obuhvata realizaciju većeg broja aktivnosti u okviru procesa izbora tipa paralelnog mehanizma i njegovih konstrukcionih elemenata kao osnove buduće mašine alatke. To su pre svega:

- Formiranje ulaznih informacija
- Obrada ulaznih informacija
- Analize radnog predmeta neophodne za izbor tipa paralelnog mehanizma
- Preliminarni izbor elemenata paralelnog mehanizma
- Korektivne analize u cilju optimizacije izabranog mehanizma
- Kompletiranje izlaznih rezultata i formiranje odgovarajućih izveštaja

Kao što se iz zahteva koji se postavljaju pred programske sisteme za projektovanje mašina alatki vidi, realizacija pojedinih faza ovog procesa podrazumeva primenu modularne koncepcije gradnje. Pri tome se pojedini moduli po svojoj funkciji grupišu u odgovarajuće podsisteme. Struktura programskih sistema po savremenom shvatanju problematike projektovanja mašina alatki u automatizovanom ciklusu podrazumeva postojanje tri podsistema: preprocesorskog, procesorskog i postprocesorskog. Po toj koncepciji, svaki podsistem obuhvata niz modula koji realizuju projektantske aktivnosti uz moguću komunikaciju sa kompleksnom informacionom bazom. Na taj način se svakom podsistemu programskog sistema pruža mogućnost nezavisnog funkcionisanja uz pristup informacijama o komponentama mehanizama i parametrima njihove optimizacije. U cilju što kvalitetnijeg oblikovanja ulaznih informacija i izlaznih rezultata programski sistem poseduje interfejs za interaktivnu podršku sa nekim od navedenih CAD programskih sistema univerzalne namene. Na slici 4. prikazan opšti model programskog sistema za automatizovano projektovanje koncepcionog rešenja mašina alatki.



Slika 4. Koncepcija programskog sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama

U skladu sa predhodnim razvijen je programski sistem „Paralelni mehanizam” za izbor tipa paralelnog mehanizma i njegovih komponenata u cilju definisanja njihove mehaničke strukture. Programski sistem je razvijen u programskom

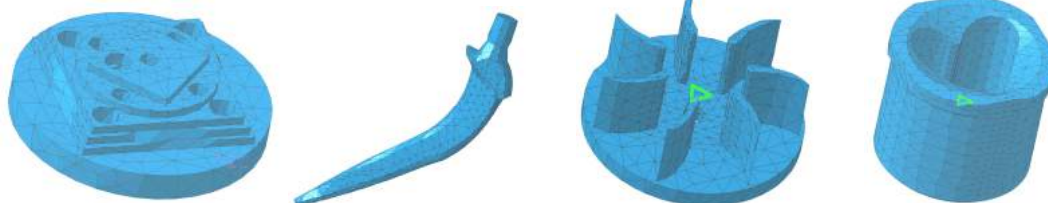
okruženju VBA programskog sistema opšte namene uz punu primenu objektno orjentisane metodologije programiranja.

Razvijeni programski sistem pored predviđenih, osnovnih, podsistema: preprocesora, procesora i

postprocesora sadrži i informacionu bazu koja sadrži informacije o kriterijumima odlučivanja i pojedinim komponentama mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama. Baza je relacionog tipa i razvijena je u programskom sistemu Microsoft Access. Komunikacija između programskog sistema i informacione baze se realizuje primenom uobičajenih komunikacionih interfejsa za razmenu informacija između programskih sistema u Windows okruženju.

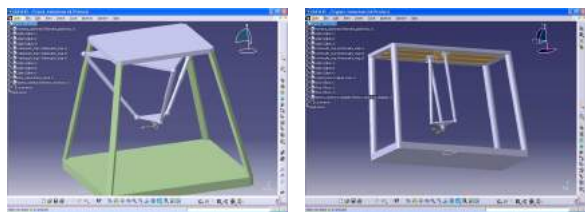
5.0 REZULTATI PRIMENE (VERIFIKACIJE) REALIZOVANOG PROGRAMSKOG SISTEMA NA PRIMERIMA RADNIH PREDMETA SLOŽENE GEOMETRIJE

Kao neizostavan korak u procesu razvoja i realizacije savremenih proizvoda se smatra njihova verifikacija u



Slika 5. Primeri modela korišćenih u procesu verifikacije

Analiza dobijenih rezultata je pokazala da se proces definisanja idejnog rešenja paralelnog mehanizma i izbor njegovih komponenta u svim slučajevima pokazao kao uspešan. Na slici 6. su prikazani modeli rešenja noseće strukture mašina alatki.



Slika 6. Modeli dobijenih rešenja noseće strukture mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama

Verifikacija programskog sistema je ukazala na dalje pravce usavršavanja u smislu: ubrzanja procesa projektovanja, optimizacije programskog koda i poboljšanja komunikacije između podsistema kao i procesora programskog sistema i informacione baze.

6.0 ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Programski sistemi za automatizovano projektovanje mašina alatki predstavljaju važnu kariku u procesu usavršavanja metoda za njihovo projektovanje. Na osnovu toga može se očekivati da će se proces projektovanja mašina alatki u budućnosti biti u velikoj meri automatizovan, ali da će ipak presudnu ulogu za njegovu uspešnu realizaciju imati iskustvo i znanje projektanta.

Prikazani programski sistem, kao i naponi uloženi u ciljnu definisanja kriterijuma i procedura projektovanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama predstavljaju pokušaj da se projektantske aktivnosti koje su podložne procesu automatizacije do te mere olakšaju da se u budućnosti u kraćem vremenskom periodu dobiju kvalitetnija i pouzdanija rešenja mašina alatki.

eksploatacionim režimima rada. Ovakva procedura se, po savremenim kriterijumima, odnosi i na sve vrste programskih sistema. Samim tim, i od programskih sistema za projektovanje mašina alatki, kao što je programski sistem „Paralelni mehanizam” očekuje se da prođu odgovarajući proces verifikacije. Imajući u vidu kompleksnost samog programskog sistema, proces verifikacije podrazumeva niz analiza rezultata (kako konačnih tako i parcijalnih) procesa projektovanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama. Ovaj proces se realizuje za više prostornih modela radnih predmeta, po karakteristikama bliskih delovima koji se obrađuju mašinama alatkama tog tipa. Na slici 5. su prikazani primeri modela na kojima je izvršen process verifikacije procesa projektovanja.

7.0 LITERATURA

- [1] Adolfsson, J., Amos Ng, Olofsg, P., Moore, P., Pu, J., Wong, Chi-Biu.: *Design and simulation of component-based manufacturing machine systems*, Mechatronics, Vol. 12, pp: 1239–1258, Pergamon, 2002., ISSN: 0957-4158
- [2] Milojevic, Z.: *Sistem za vizuelizaciju radnog prostora mašina alatki u realnom vremenu*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [3] Požar, A.: *Razvoj sistema za automatizovano modularno projektovanje konceptacionih rešenja brusilica*, magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2001.
- [4] Tabaković, S., Zeljković, M., Gatalo, R.: *Automatizacija procesa modeliranja kompleksnih sklopova na primeru projektovanja mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama*, 34 Jupiter konferencija, ISBN 978-86-7083-627-3, 2008.
- [5] Tabaković, S.: *Razvoj programskog sistema za automatizovano projektovanje mašina alatki na bazi paralelnih mehanizama i optimalni izbor njihovih komponenti*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.

Autori: dr Slobodan Tabaković, Prof. dr Zeljović Milan, Prof. dr Ratko Gatalo, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: tabak@uns.ns.ac.yu
gatalora@uns.ns.ac.yu
milanz@uns.ns.ac.yu

Napomena: Rad predstavlja deo rezultata istraživanja na projektu "Unapređenje sistema tehničke pripreme u uslovima maloserijske proizvodnje primenom savremenih programskih paketa univerzalne namene " broj TR 6330A, koji finansira Ministarstvo nauke i zaštitu životne sredine Republike Srbije i AD "FKL" – Temerin

Владић, Ј., Ђокић, Р., Живанић, Д., Гајић, А.

МОДЕЛОВАЊЕ И АНАЛИЗА ЕЛЕМЕНАТА СКЛОПА ЗА ФОРМИРАЊЕ АМБАЛАЖЕ НА МАШИНИ ЗА ПАКОВАЊЕ

Резиме: Произвођачи машина за паковање који желе да буду конкурентни на тржишту морају да убрзају свој процес истраживања и развоја нових машина, што значи да конвенционални приступ пројектовању више није адекватан. Као логичан одговор на захтеве тржишта који се свакодневно мењају појављује се аутоматизовано пројектовање које знатно скраћује време потребно за развој нових машина, јер нема потребе за израдом модела у стварности (физички прототип) да би се могла испитати њихова функционалност. Уз помоћ напредних софтверских пакета, као што је CATIA, чак и средње развијена и мала предузећа могу да остану у трци са великим корпорацијама и могу се изборити за своје место на тржишту. У раду је на конкретном примеру показано на који начин се уз помоћ одговарајућег софтвера може извршити развој и анализа једног дела веома сложене машине за паковање течних производа.

Кључне речи: модел, анализа, паковање

MODELING AND ANALYSIS OF ASSEMBLY ELEMENTS FOR FORMING IN PACKAGING MACHINE

Abstract: Packaging machines producers that insist to be concurrent, must accelerate their research and development of modern machines, so a conventional approach of design is not adequate. As a logical answer to market requests, which are changed daily, automated design has appeared. It contributes that development of the modern machines will be reduced, because there is not demand for models production in reality (physical prototype), that their functionality can be tested. By contemporary software, like CATIA, even mean and small companies can compete with big companies and obtain their position in the market. In the paper development and analysis of one part of very complex machine for liquid products packaging will be represented according to the concrete example, by adequate software.

Key words: model, analysis, packaging

1. УВОД

“Паковање мора донети већу уштеду него што кошта” - била је основна идеја утемељитеља *Tetra Pak*-а, др. *Rubena Rausinga*, зачетника развоја картонске амбалаже у облику тетраедра. Паковање има снажан маркетиншки ефекат, тако да га захваљујући све већем значају у маркетингу можемо сматрати петим инструментом маркетинг микса, односно „петим П”: уз *Product*, *Price*, *Promotion*, *Place* и *Packaging*. Паковање има више функција и то комерцијалну, односно продајну, потом заштитну, еколошку, као и функцију складиштења и дистрибуције, функционалност употребе, а неопходно је и да паковање смањи трошкове транспорта.

Критеријуми потрошача у погледу квалитета, облика, дизајна и функционалности амбалаже се сваког дана повећавају и стављају пред произвођаче машина и опреме за паковање све теже задатке који морају бити испуњени у што краћем временском року. Само се капацитет машина за паковање као један од њихових главних карактеристика у последњих пар деценија повећао са пар стотина на број од десетак хиљада запакованих производа на час. Тежња за што чешћом променом облика амбалаже приморава произвођаче да производе флексибилније машине које су у стању да то и испуне.

Амбалажа има пре свега заштитну функцију, посебно код прехранбених производа где штити намирнице од штетних утицаја околине. Она мора да испуни одговарајуће стандарде и да задовољи строге прописе. Код неких производа, попут млека и воде, амбалажа је међутим истовремено и паковање. Амбалажа би требало да буде јака, неломљива, погодна за транспорт, једноставна за употребу, ...

2. МАШИНЕ ЗА ПАКОВАЊЕ

Машине за паковање обухватају више врста машина које служе механизацији и аутоматизацији операција паковања. Код машина које раде дисконтинуално амбалажа се доводи, или евентуално формира од материјала, пуни и затвара у једном такту који уједно и ограничава брзину рада, односно кретање веће масе. Код континуалног рада машина, довод и евентуално формирање амбалаже, односно пуњење и затварање одвија се без прекида тј. као непрекидни проток материјала што је повољније. Међутим, прва група машина је по правилу јефтинија и заузима мање простора за разлику од друге групе машина које су обично линијски постављене. Оне траже већи простор, веће инвестиције и више рада на одржавању. ^{а1°}

Фабрике са великом производњом истоврсних производа (индустрија напитака, пива, прерађивачи масовних прехранбених производа, средстава за прање итд.), траже машине великог капацитета. Капацитети пунилица од неколико хиљада боца, и више стотина кеса и кутија у минути за коадну робу су данас уобичајени. Додајући тим машинама, машине за збирна паковања, палетне машине, машине за обвезивање траком, наношење самолепљиве траке или паковање термоскупљајућом фолијом, добијају се високопродуктивне линије за паковање.

Предузећа са широким асортиманом производа и средња тј. са мањим серијама производње, користе више машине са универзалнијом наменом, како у погледу врсте производа који се пакује, тако и у погледу количина и димензија паковања. Ове машине се могу подесити брзо па их стога називамо флексибилним.

На досадашњи развој машина за паковање су снажно утицали фактори на основу којих је могуће предвидети даља дешавања на овом сектору. Ту треба пре свега поменути економски фактор, расположивост сировина за амбалажу, капацитет за прераду као и саму технологију. Технологија паковања је такође значајно допуњена. Класичним методама конзервације прехранбених производа сада су се придружили нови методи као што је: асептик, УХТ поступак, зрачење УВ зрацима и филтрираним ваздухом, зрачење гама зрацима, примена вакуумских паковања а нарочито паковања са модификованом атмосфером (МАП).

Овим методама се добија производ бољег квалитета а најчешће применом баријерних пластичних фолија и атрактивнија и економичнија амбалажа.

Сви ови фактори су се одразили и на конструкције машина за паковање као и на обим ове производње.

Треба такође уочити другу тенденцију која је добрим делом везана за технолошке могућности пластике, да корисник амбалаже све више "производи" амбалажу за себе у коју ће затим упакovati производ, све у једној линији, избегавајући трошкове транспорта, складиштења и манипулације са већ формираном амбалажом, коју му је испоручио произвођач амбалаже а која је раније претежно била од картона и метала.

Данас се све више користи тзв. флексибилна амбалажа на бази папира, картона, пластике и алу фолије или метализоване пластике које произвођач добија у виду ролне и из ње формира амбалажу, пуни и затвара на машини односно линији за паковање.

Код чврсте амбалаже ова тенденција се одвија тако што потрошач набавља машину за тзв. "дување" пластичних боца која као сировину користи гранулат пластике, односно тзв. предформу, што је успех ПЕТ боца, поред мале тежине и неломљивости.

И у системима управљања машинама за паковање дошло је до великих промена. Аутоматске машине за паковање морају да обаве разна кретања синхронизовано. Пре извесног времена није било алтернативе механичком методу управљања и повезивања као што су брегасте плоче, прекидачи са ексцентрима, осовинама, зупчаницима. Као централна осовина тзв. краљевска осовина се у техници паковања користи осовина која синхронизује и повезује рад у једну целину. Данас када се захтевају веће брзине и прецизност примена електронике је све већа. Микрокомпјутерска техника је омогућила да се механичка управљања не само замене већ да се њихове функције поједноставе. Електронски уређаји су екстремно брзи а њихово опслуживање је једноставно.

Традиционално се сигнали преносе као аналогни напони, на пример сигнал броја обртаја преко тахогенератора. Преносни сигнали обезбеђују и синхронизацију појединих кретања. Аналогни сигнали имају ипак само ограничене могућности и осетљиви су на сметње. Дигитални апсолутни поступци мерења са енкодером све су више у примени. Посматрач види само екран и тастатуру са којим се машина опслужује. Отвори ли се поклопац машине уместо сложених механизма виде се поједини мотори са прикључцима за промену фреквенција и сигнална електроника (СПС, ИПЦ, периферни елементи) за које није потребна посебна командна табла.

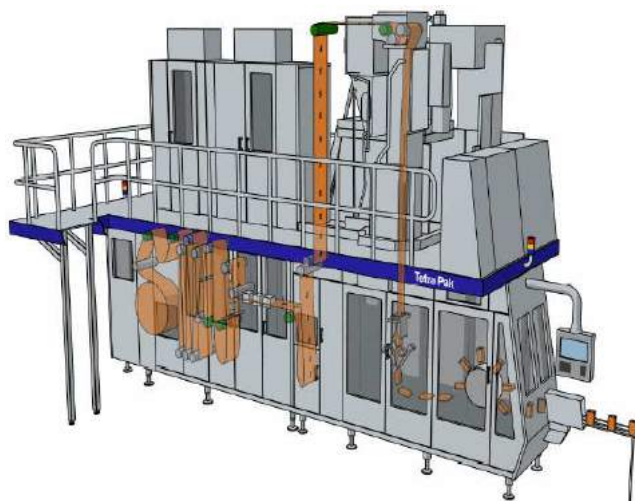
2.1 Tetra Pak машина за паковање течних производа "C3 Flex Quick change"

Увођењем флексибилне машине за пуњење, Tetra Pak је клијентима омогућио да брже одговоре измењеним захтевима тржишта. Тиме се убрзава поврат инвестиције,

а уједно и повећава искоришћење капацитета.

Произвођач ове машине је компанија Tetra Pak - Tetra Pak Carton Chilled AB Ryeben Raysing gata - Sweden и намењена је искључиво за паковање течних прехранбених производа. Карактеристике ове машине су у складу са основним прописима о здрављу и безбедности Европског Економског простора (ЕЕА).

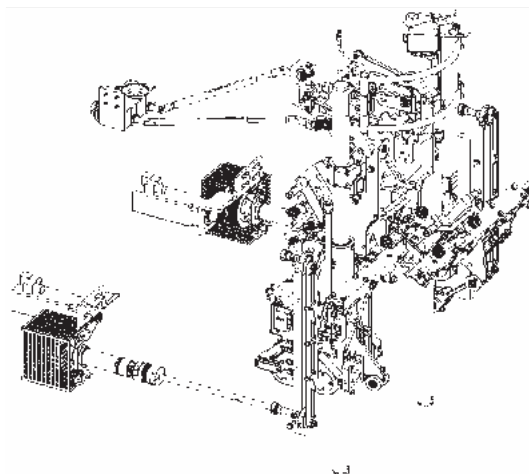
На слици 1 је приказана машина "C3 Flex quick change" на којој се може уочити путања тетра пак картона од ролне до готовог производа.



Слика 1. Изглед машине "C3 Flex quick change"

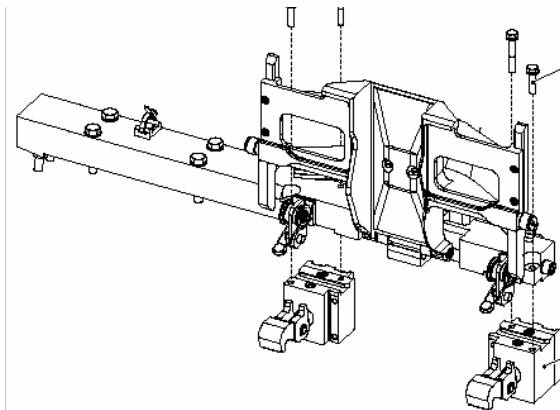
Основни склопови приказане машине су горњи део, тело машине, погонска јединица, систем чељусту, уређај за завршно савијање, сервисна јединица, уређај за аутоматско настављање и електро орман.

Систем чељусту који је приказан на слици 2 је најсложенији део у склопу за формирање амбалаже који има функцију повлачења тубе тетра пак картона, формирања облика амбалаже, ултрасоничног заваривања и на крају одсецања пакета. Подсклоп система чељусту чине: ултрасонични заваривач, носач, подсклоп за заваривање и одсецање амбалаже као и механизам који омогућава сложено кретање подсклопа за заваривање и одсецање амбалаже.



Слика 2. Систем чељусту машине

Подсклоп за заваривање и одсецање амбалаже, који је приказан на слици 3, састоји се од носача на коме се налазе потисне чељусту и изменљиве волуменске клапне које одређују запремину и облик пакета. На машини "C3 Flex quick change" се могу пунити пакети од 0,2÷1 литре.



Слика 3. Подсклоп за заваривање и одсецање амбалаже

Потисна чељуст је завртањском везом причврћена на носач у коме се налазе водови за хидраулично уље, које се на носач доводи преко флексибилних црева.

Потисна чељуст има функцију остваривања притиска који је потребан да би се ефикасно остварило ултразвучно заваривање, након кога следи одсецање завареног пакета. Капацитет машине је 7000 пакета на час.

Притисак који је потребан за успешно заваривање између две стране “tetra pak” картона остварује се преко два пара потисних чељусти од којих је један пар фиксиран-непокретан, а други пар потисних чељусти је покретан и добија потребну силу преко хидрауличног цилиндра. Потребан притисак се остварује помоћу зупчaste пумпе и износи 100 bar-a. Материјал од које је израђена потисна чељуст је нерђајући челик Č4173, израђена је ливењем, а површина је додатно ојачана јонским нитрирањем.^{а 4°}



Слика 4. Потисне чељусти на машини “C3 Flex quick change” у АД “Новосадска млекара”

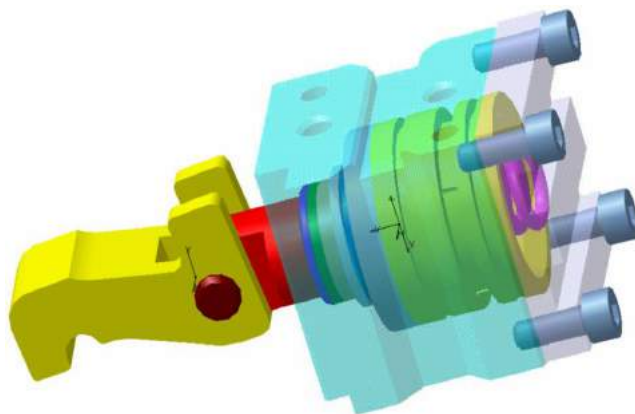
3. ФОРМИРАЊЕ МОДЕЛА ПОТИСНЕ ЧЕЉУСТИ

Да би се обезбедила замена и реконструкција елемената потисне чељусти у подсклопу за заваривање и одсецање амбалаже, као и могућност формирања одговарајуће техничке документације креиран је њихов рачунарски модел.

Због својих изванредних карактеристика, једноставног и интуитивног окружења које поседује, и могућности за статичку анализу, за моделирање је изабран CAD/CAM/CAE програмски пакет CATIA V5.^{а 2°}

Спроведена процедура се односи на анализу само једног дела, тј. потисна чељуст је издвојена из склопа.

Анализирао се случај међусобног дејства помичне потисне чељусти у односу на фиксну потисну чељуст. На слици 5 је приказан модел потисне чељусти са кућиштем формиран у наведеном програму.



Слика 5. Модел потисне чељусти са кућиштем

Структурна анализа омогућава извођење механичке анализе једнодимензионалних, дводимензионалних и тродимензионалних елемената. Комплетна и квалитетна структурна анализа се састоји из следећих модула:

- *Generative Part Structure Analysis (GPS)* - модул који се користи за општу употребу при анализи дела.
- *Elfini Structural Analysis (EST)* - модул који представља надградњу горе поменутог модула, комплетно базираног на архитектури V5; представља базу развоја свих каснијих механичких анализа,
- *Generative Assembly Structural Analysis (GAS)* - модул који омогућава анализу механичког узајамног дејства свих делова у једном склопу,
- *Generative Dynamic Analysis (GDY)* - модул који омогућава рад у динамичком окружењу.

Хипотезе које се користе за анализу су хипотеза малих померања (транслација и ротација), малих напрезања и закон линеарности - линеарна еластичност.

За статички случај анализе се може рећи да:

- ако не постоји контакт (било виртуални или реални) на посматрани део, као ни дефинисано оптерећење (било виртуелно или реално), тада је проблем линеарног карактера, дакле померања су линеарна функција оптерећења,
- ако постоји барем један контакт (било виртуални или реални) на посматрани део, или дефинисано оптерећење (било виртуелно или реално), тада је проблем нелинеарног карактера, односно померања су нелинеарна функција оптерећења.

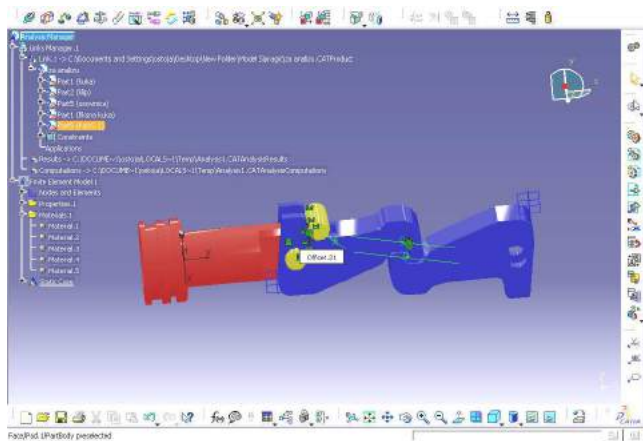
Формирање модела потисне чељусти извршено је у модулу *Part Design Workbench (PRT)*. На слици 6 је приказан формиран модел потисне чељусти у окружењу CATIA -e.

На креираном виртуелном моделу потисних чељусти извршено је креирање мреже коначних елемената (умрежавање). При томе је прихваћена величина коначних елемената које је програм предложио на основу топологије самог дела. који је умрежаван. Након тога се прешло на дефинисање карактеристика материјала потисних чељусти.^{а 3°}

Да би се могло представити реално стање, на моделу је извршено дефинисање ограничења, односно ограничење степена слободе кретања појединих елемената а затим и задавање оптерећења која делују на потисну чељуст. При дефинисању локације (чворови, линије, површине) на којима делују поједина оптерећења треба бити посебно опрезан како се не би појавила велика

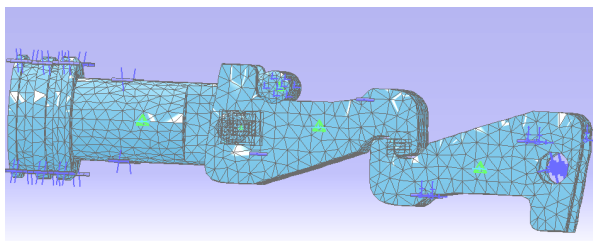
локална напрезања, у случајевима дефинисања оптерећења у тачкама, која не одговарају реалним.

На тај начин је комплетирано дефинисање предоперативних параметара, па се могло прећи на рачунање. Након завршеног прорачуна се прешло на постоперативни преглед и анализу добијених резултата, који указују на стање и могућа побољшања модела потисних чељусту.



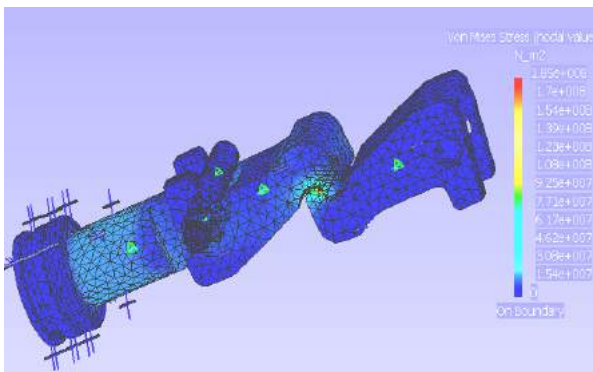
Слика 6. Модел потисне чељусту дефинисан у "Part Design Workbench" (PRT)

Деформација потисне чељусту је резултат деловања сила у окружењу и граничних услова кретања. На слици 7 је на умреженом моделу дат приказ деформисане потисне чељусту. При овоме су узете у обзир све задате карактеристике тродимензионалног дела, изабрани материјал као и величина елемената глобалне и локалне мреже.



Слика 7. Приказ деформисане потисне чељусту

Визуелни приказ поља напрезања, односно преглед резултата Фон Мисесових (*Von Mises*) напрезања приказан је на слици 8, а добија се кликом на одговарајућу икону.

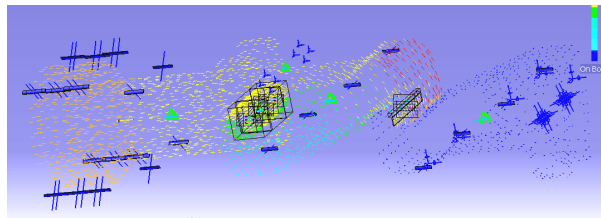


Слика 8. Приказ поља Фон Мисесових напона

Анализом се може уочити да је максимални напон који делује на куку потисне чељусту у делу контакта

помичне и фиксне чељусту и да он износи $1.85 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$. Ова вредност максималног напона је знатно мања од вредности допуштеног напона за материјал од којег је направљена потисна чељуст - према хипотези о разарању материјала коју је поставио *Huber* (1904) а разрадио је *Von Mises* (1913).

Преглед трансляторног померања елемената добија се кликом на одговарајућу икону, слика 9.



Слика 9. Приказ поља померања елемената

4. ЗАКЉУЧАК

Сведоци смо праве експлозије развоја и примене рачунара у готово свим областима људског друштва, чиме је то изузетно моћно, али ипак помоћно, средство обезбедило завидно место.

На примеру аутоматизованог пројектовања овог машинског дела могу се уочити све предности овог савременог начина пројектовања и анализе. Након креирања 3-Д модела, дефинисања карактеристика материјала и постављања свих веза и ограничења, као и оптерећења могућности за анализу и симулацију су практично неограничене. За релативно кратко време и уз мале финансијске трошкове може се испитати, анализирати и оптимизовати овај део, док би се при конвенционалном начину пројектовања на све то потрошило знатно више времена и финансијских средстава.

Имајући у виду да софтверски пакети за пројектовање, као што је *CATIA*, представљају кондензовано знање светске науке и експерата за поједине области, а не априори и знање корисника коме то врхунско "знање" само стоји непосредно на располагању без објективне контроле, мора се имати у виду да је корисник, поред повољности које добија коришћењем рачунара, доведен у изузетно деликатну чак и потенцијално опасну ситуацију када добро познаје програм а лоше познаје суштину проблема који решава.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Владић, Ј.: *Линије и машине за паковање и палетизацију*, скрипта, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2004.,
- [2] Јовановић, М., Јовановић, Ј.: *CAD-FEA практикум за пројектовање у машинству*, Подгорица, 2000.,
- [3] Zamani, H.: *CATIA V5 FEA Tutorials Release 15*, 2007.,
- [4] Шипрагић, Д.: *Развој и анализа елемената склопа за формирање амбалаже на машини за паковање "C3 Flex quick change"*, дипломски рад, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2007.,
- [5] Жарковић, М.: *Савремене методе анализа конструкција*, семинарски рад, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2007.,
- [6] Владић, Ј., Васић, В., Живанић, Д.: *Проблематика пројектовања путем рачунара са примерима из праксе*, III скуп о конструисању, обликовању и дизајну КОД2004, Нови Сад, стр.31-38, 2004.,
- [7] Владић, Ј.: *Аутоматизовано пројектовање CAD/CAE*, скрипта, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2005.

Živković, A., Zeljković, M., Borojev, Lj.

UTICAJ TOPLOTNOG PREDNAPREZANJA LEŽIŠTA NA KRUTOST SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Rezime: U radu je sprovedena računarska analiza uticaja povećanja prednapreznja ležišta usled toplotnih deformacija, na krutost sklopa glavnog vretena primenom metode konačnih elemenata s ciljem da se što sveobuhvatnije analizira odgovarajuće konstrukciono rešenja sklopa glavnog vretena sa kugličnim ležištima sa kosim dodirom. Pri analizi konačnim elementima razmatrana su dva tipa kugličnih ležišta sa kosim dodirom, ležišta sa čeličnim kuglicama (konvekcionalna ležišta) i ležišta sa keramičkim kuglicama (hibridna ležišta). Razmatran je "O na rastojanju" raspored ležišta u prednjem osloncu.

Glavne reči: krutost sklopa glavnog vretena, krutost ležišta, metoda konačnih elemenata

THE INFLUENCE OF BEARING THERMAL PRELOAD ON MAIN SPINDLE ASSEMBLY STIFFNESS

Abstract: In this paper is present computer analysis influence increase preload of bearing due thermal deformation, on main spindle assembly stiffness by finite element method. Goals this analysis is analyzed becomingly construction solution main spindle assembly support by bearing ball with angular contact. Towards by finite element analyze are consider to two types bearing ball with angular-contact with steel ball (conventional) and with ceramic ball (hybrid). The "O on distance" bearing arrangement in front support is consider.

Key words: main spindle assembly stiffness, bearing stiffness, finite element method

1. UVOD

Toplotne i elastične karakteristike sklopa glavnog vretena se menjaju u zavisnosti od različitih uslova kao što su početni zazori sklopa, toplotne deformacije elemenata mašine alatke, uslova obrade i uslova hlađenja. Pri definisanju toplotnog modela sklopa glavnog vretena svakako treba uzeti u obzir kotrljajne elemente i prstenove ležišta, vreteno i toplotu koji se prenosi kroz njih. Razvijena toplota izaziva promenu kontaktnog pritiska u ležištu, koji se menja i utiče na granične uslove kao što su: razvijena toplota, toplotna kontaktna provodljivost, dinamička krutost, svojstva prigušenja sklopa glavnog vretena itd. Početni preklap stvara početni kontaktni pritisak na dodirnim površinama prstenova. Kako se toplotni gradijent menja duž radijalnog pravca sa vremenom i režimima rada vretena, dolazi do toplotnih deformacija elemenata ležišta koje prouzrokuju povećanje prednapreznja, a samim tim i promenu krutosti sklopa glavnog vretena.

2. TOPLOTNO PREDNAPREZANJE LEŽIŠTA

Pri obrtanju glavnog vretena dolazi do promene temperature usled trenja između kotrljajnih tela i staza kotrljanja. Porast temperature utiče na kontaktna opterećenja ležišta i izaziva toplotne deformacije. Ova pojava je posebno izražena kod visokobrzinskih vretena kod kojih dolazi do nagle promene toplotnih deformacija i centrifugalnih sila u početnim fazama rada vretena. Prethodno ima za posledicu prekomernu promenu pritiska. Razvijena toplota se menja tokom vremena što prouzrokuje toplotno širenje kotrljajnih tela i prstenova. Ovakve promene imaju uticaj i na krutost glavnog vretena.

Najčešće se za fiksiranje ležišta za glavna vretena mašina alatki koristi navrtka (ili u poslednje vreme opruge i hidraulični cilindri) koja prisiljava kotrljajna tela da budu u kontaktu sa stazama kotrljanja što prouzrokuje unutrašnje kontaktne sile, koje predstavljaju prednapreznja ležišta.

Ona su određena opterećenjem usled unapred definisanih vrednosti, a označavaju se kao početna prednapreznja i opterećenja usled neravnomernog toplotnog širenja delova ležišta koja se definišu kao prednapreznja usled toplote [1]. Odgovarajućim početnim prednapreznjima obezbeđuje se povećavanje radnog veka ležišta, smanjenje buke, smanjenje ugla dodira između unutrašnje i spoljašnje staze kotrljanja kod ležišta sa kosim dodirom pri višim brojevima obrtaja [1]. Električna energija elektromotora se koristi za pokretanje vretena i prelazi u mehaničku, koja se koristi za savladavanje otpora pri rezanju, trenja u ležištima, viskoznog trenja od vazduha u ležištu (gubici usled otpornosti vazduha). Ova energija se delimično pretvara u toplotnu energiju.

Na pretvaranje energije unutar sklopa glavnog vretena veliki uticaj imaju i drugi parametri. Između ostalog, količina razvijene toplote u ležištu u velikoj meri zavisi od veličine opterećenja. Međutim, opterećenje se može promeniti usled toplotnog širenja i konstrukcionog rešenja mehanizma prednapreznja.

Različiti uzroci i uticaji koji zavise od toplotnog opterećenja su prikazani na slici 1. Prema zatvorenoj petlji prednapreznja izaziva trenje u ležištu na osnovu čega dolazi do razvoja toplote, koja može prouzrokovati povećanje kontaktnog pritiska u ležištu preko dozvoljene vrednosti i toplotne kontaktne provodljivosti. Povećanje kontaktnog pritiska povećava količinu toplote u ležištu što izaziva toplotne deformacije koje direktno utiču na povećanje sile prednapreznja.



Slika 1. Toplotno – elastični model zatvorene petlje

Kod razmatranog konstrukcionog rešenja sklopa glavnog vretena, prednaprezanje ležišta je ostvareno navrtkom, dok je između ležišta postavljena distantna čaura da bi se obezbedila varijanta uležištenja "O na rastojanju". Karakteristike ispitivanih ležišta su date u tabeli T.1. Matematički model za određivanje toplotnog prednaprežanja je postavljen na osnovu rada [1] i uzima u obzir temperature sklopa glavnog vretena definisane računarskim modeliranjem [8].

Tabela T.1 Karakteristike analiziranih ležišta

Tip ležišta	SKF 7011CDGA	SKF 7011CDGA/HC
Spoljašnji prečnik [mm]	90	90
Unutrašnji prečnik [mm]	55	55
Ugao dodira [°]	15	15
Prednaprezanje nakon montaže [N]	235	282
Broj kotrljanih tela	18	18
Prečnik kotrljanih tela [mm]	11,11	11,11

Definisanje prednaprežanja ležišta usled toplotnog opterećenja se zasniva na određivanju toplotnog širenja elemenata ležišta (prstenova i kotrljanih tela) i distantnih prstenova, preko kojih se ostvaruju početna prednaprežanja. Apsolutno linerano toplotno širenje je u relaciji sa dužinom (širinom) elementa ležišta, i za aksijalni pravac je [1]:

$$\Delta L = \int_0^{L_0} \epsilon dL \quad (1)$$

dok je u radijalnom pravcu definisan izrazom [1]:

$$\Delta R = \int_0^{R_0} \epsilon dR \quad (2)$$

Efektivno aksijalno širenje elemenata ležišta se može dobiti geometrijskim superponiranjem aksijalnog i radijalnog toplotnog širenja preko izraza [1]:

$$\Delta L_{ef} = \lambda_{u,p}^* (T_{u,p} \cdot R_{u,p} - T_{s,p} \cdot R_{s,p}) \cdot \cos \alpha - \lambda_{s,p}^* (T_{u,d,p} - T_{s,d,p}) \cdot L_{d,p} \cdot \sin \alpha + \lambda_{k,t}^* (T_{k,t} - T_{0k,t}) \cdot d_{k,t} \quad (3)$$

gde su: λ_{p} , $\lambda_{d,p}$ i $\lambda_{k,t}$ —toplotne provodljivosti prstenova ležišta, distantnih prstenova i kotrljanih tela; R -poluprečnici prstenova; $T_{u,p}$, $T_{s,p}$, $T_{u,d,p}$, $T_{s,d,p}$, $T_{k,t}$, $T_{0k,t}$ -temperature na elemnetima ležišta, $d_{k,t}$ - prečnik kotrljajnog tela.

Širenje elementa koji čine uležištenje je često ograničeno elastičnim deformacijama i porastom unutrašnjih napona. Prema ovome, da bi se odredilo povećanje prednaprežanja usled toplotnog opterećenja, krutost uležištenja se mora definisati preko krutosti distantnih prstenova, uključujući i kontaktnu krutost ležišta.

Izračunavanje aksijalne krutosti uležištenja je dato izrazom [1]:

$$K_{ak} = \frac{1}{\frac{1}{K_{s,d,p}} + \frac{1}{K_{u,d,p}} + \frac{n}{K_{lez}}} \quad (4)$$

gde su: $K_{s,d,p}$ i $K_{u,d,p}$ - krutosti distantnih prstenova koji pripadaju spoljašnjem, odnosno unutrašnjem prstenu ležišta; K_{lez} -krutost ležišta; n -broj ležišta u jednom osloncu. Krutost pojedinih elemenata je definisana izrazima [1]:

$$K_{s,d,p} = \frac{E \cdot A_{s,d,p}}{L_{s,d,p}}, \quad (5)$$

$$K_{u,d,p} = \frac{E \cdot A_{u,d,p}}{L_{u,d,p}} \quad (6)$$

$$K_{lez} = c_1 \cdot Z^{2/3} \cdot F_{pred}^{1/3} \cdot d_{k,t}^{1/3} \cdot \sin^{5/3} \alpha \quad (7)$$

gde je: E -modul elastičnosti, A - ovršina distantnih prstenova; L širina distantnih prstenova; c_1 -konstanta određena pomoću Hertz-ove teorije kontakta u zavisnosti od tipa ležišta; Z -broj kotrljajnih tela; F_{pred} -sila prednaprežanja ležišta; $d_{k,t}$ -prečnik kotrljajnih tela; α -ugao kontakta.

Aksijalno prednaprežanje uležištenja kod ispitivanog sklopa glavnog vretena se sastoji od početnog i toplotnog prednaprežanja i određeno je izrazom [1]:

$$F_{u,p} = F_{p,0} + F_{p,t} = F_{p,0} + K_{ak} \cdot \Delta L_{ef} \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Na osnovu prethodnog i Herzove teorije kontakta može se odrediti i radijalna krutost uležištenja preko maksimalnog pomeranja [2]:

$$u_{max} = \frac{\delta^*}{2} \left[\frac{3}{2} \cdot (\sum \rho)^{1/2} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \right]^{2/3} \cdot Q^{2/3} \quad (9)$$

$$u_{max} = c_2 \cdot \delta^* \cdot (\sum \rho)^{1/3} \cdot Q^{2/3} \quad (10)$$

Ukoliko se ne razmatra uticaj centrifugalne sile, i ako se razmatraju samo dijametralna kotrljajna tela onda su deformacije (δ) i suma krivina (ρ) proporcionalne, odnosno $\delta^* \cdot (\sum \rho)^{1/3} = d_{k,t}^{-1/3}$ [2][4].

Kontaktno opterećenje ležišta Q se prema [3] dobija iz relacije:

$$Q = 4,37 F_r / Z \cos \alpha \quad (11)$$

Iz relacije za određivanje radijalnih deformacija

$u_r = u_{max} / \cos \alpha$, i relacija (10) i (11) dobija se konačni izraz za pomeraje u radijalnom pravcu:

$$u_r = c_2 \cdot F_r^{1/3} \cdot d_{k,t}^{-1/3} \cdot \cos^{-5/3} \alpha \cdot Z^{-2/3} \quad (12)$$

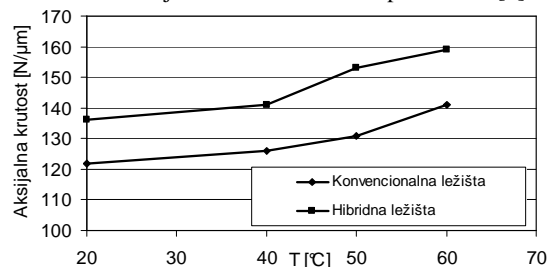
Iz relacija $\frac{\delta F_r}{\delta u_r} = K_r$ i (12) je određena radijalna krutost ležišta:

$$K_r = c_2 \cdot z^{2/3} \cdot F_r^{1/3} f(F_{u,p}) \cdot d_{k,t}^{1/3} \cdot \cos^{5/3} \alpha \quad (13)$$

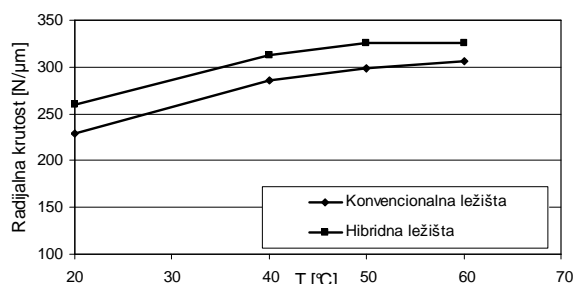
gde je c_2 -kontstanta empirijski definisana iz prethodnih relacija i zavisi od tipa ležišta, odnosno od karakteristika materijala kotrljajnih tela; $F_r^{1/3} f(F_{u,p})$ - radijalna sila u funkciji ukupnog prednaprežanja dobijena iz izraza:

$$F_r f(F_{u,p}) = \frac{F_{p,0} + K_{ak} \cdot \Delta L_{ef} \cdot \sin \alpha}{1,22 \lg \alpha} \quad (14)$$

Na slikama 2 i 3 je dat grafički prikaz povećanja aksijalne i radijalne krutosti ležišta usled različitog toplotnog širenja elementa ležišta odredjenog na osnovu prethodnih matematičkih zavisnosti. Temperature koje su korišćene u porethodnim relacijama za ove analize su preuzete iz [8].

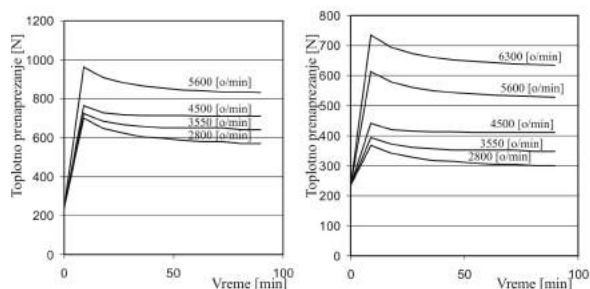


Slika 2. Promena aksijalne krutosti ležišta u zavisnosti od temperature



Slika 3. Promena radijalne krutosti ležišta u zavisnosti od temperature

Na osnovu prethodnih slika se može konstatovati da se povećanjem temperature spoljašnjeg prstena prednjeg ležišta, povećava aksijalna i radijalna krutost što uslovljava i povećanje prednaprezanja ležišta (slika 4).



Slika 4. Porast prednaprezanja usled toplotnog opterećenja u zavisnosti od broja obrtaja za a) konvencionalna i b) hibridna ležišta

Na osnovu analize slike 4 može se zaključiti da kod konvencionalnih ležišta, povećanjem temperature spoljašnjeg prstena prednjeg ležišta sa 20 na 60 [°C], dolazi do povećanja toplotnog prednaprezanja za 71 [%], (sa 235 na 830 [N]) pri čemu dolazi do povećanja radijalne krutosti za 25 [%].

Kod hibridnih ležišta povećanje temperature ležišta sa 20 na 60 [°C], izaziva povećanje toplotnog prednaprezanja ležišta za 61 [%]. Ovo povećanje prednaprezanja izaziva porast radijalne krutosti za 20 [%].

Iz prethodnog se može konstatovati da hibridna ležišta imaju manji porast toplotnog prednaprezanja ležišta usled manjih toplotnih deformacija, što je posledica veće toplotne otpornosti na mestu kontakta kotrljajnih tela i prstenova. Veća toplotna otpornost uslovljava manji prelazak toplote ka vretenu i spoljašnjem prstenu usled čega dolazi do manjih toplotnih deformacija samog ležišta.

3. KRUTOST SKLOPA GLAVNOG VRETENA

Sklop glavnog vretena, kao elastični sistem, pod dejstvom sile menja položaj svoje geometrijske ose. Promena položaja je posledica pomeranja, nastalih usled elastičnih i toplotnih deformacija delova elastičnog sistema, pomeranja nastalih zbog pojave zazora između elemenata i površinskih kontaktnih elastičnih i plastičnih deformacija spregnutih delova elastičnog sistema.

U ovom radu radijalna statička krutost sklopa glavnog vretena je definisana kao odnos između sile kojom je opterećeno glavno vreteno i pomeranja koje je izazvano tom silom kai i toplotnim opterećenjem:

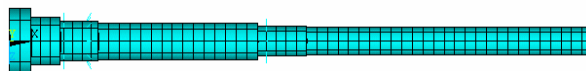
$$K_{r,s,v} = \frac{F_r}{f_s \pm f_t} \quad (15)$$

gde je: F_r -radijalna sila kojom je opterećen vrh vretena; f_s i f_t -pomeraji nastali dejstvom statičke sile, odnosno toplotnog opterećenja.

3.1 Računarski model sklopa glavnog vretena

Modeliranje statičkog ponašanja sklopa glavnog vretena izvršeno je programskim sistemom za automatizovani proračun primenom metode konačnih elemenata.

Analiza statičkog ponašanja sklopa sprovedena je za opterećenje radijalnom silom intenziteta $F_r=3000$ [N] preko čeonu površine vrha vretena i toplotnog opterećenja nastalog kao posledica trenja u ležištima. Toplotno opterećenje je preuzeto iz [8] i predstavlja temperature na karakterističnim mestima glavnog vretena (ležišta i vrh vretena). Na slici 5 je prikazan diskretizovani model sklopa glavnog vretena.



Slika 5. Statički model sklopa glavnog vretena

3.2 Definisanje graničnih uslova

Granični uslovi, kod mašinskih konstrukcija uopšte, se odnose na ograničenja pomeraja ili temperature na određenim mestima. U konkretnom slučaju radi se o ograničenju pomeraja odgovarajućih čvorova diskretizovanog modela na osnovu poznate krutosti uležištenja.

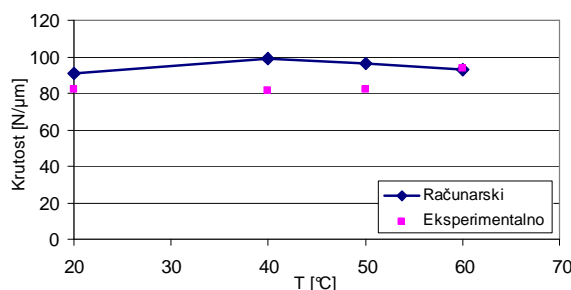
Radijalna krutost svakog uležištenja definisana je sa po dva reda opruga, koje su postavljene u svakom čvoru mreže konačnih elemenata prednjeg i zadnjeg uležištenja. Zbog toga se posebno vodilo računa da diskretizacija ovih površina bude istovetna. Predpostavljeno je da je radijalna krutost ležišta u svim radijalnim pravcima ista, i sve krutosti su definisane samo u vertikalnom pravcu (u pravcu Y ose), za svaki temperaturni interval, na osnovu čega je definisana krutost svakog opružnog elementa pojedinačno, prema izrazu:

$$K_{r,i} = \frac{K_R}{2 \cdot i} \quad (16)$$

gde je K_R -krutost odgovarajućeg oslonca u zavisnosti od temperature dobijena na osnovu relacije (13); i - broj redova opruga u osloncu.

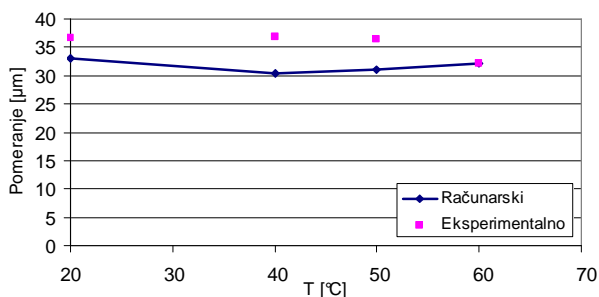
4. ANALIZA REZULTATA

Pri analizi rezultata posmatrani su pomeraji na vrhu glavnog vretena u pravcu dejstva sile (F_r) (pravac Y-ose). Na osnovu ovih vrednosti je preko relacije (15) određena radijalna krutost sklopa glavnog vretena. Zavisnost radijalne krutosti od temperature za konvencionalna ležišta je prikazan na slici 6, odakle se vidi da porast temperature sa 20 na 60 [°C] izaziva porast radijalne krutosti za 3 [%], odnosno smanjenje pomeraja na vrhu vretena (slika 7).



Slika 6. Zavisnost radijalne krutosti od temperature za konvencionalna ležišta

Na slikama 6 i 7 su takođe prikazani i vrednosti pomeraja i radijalne krutosti dobijene pri eksperimentalnim ispitivanjima [5]. Na osnovu slike 6 se može konstatovati da postoje različita odstupanja radijalne krutosti sklopa glavnog vretena, između računarskog modeliranja i eksperimentalnih ispitivanja u zavisnosti od temperature.

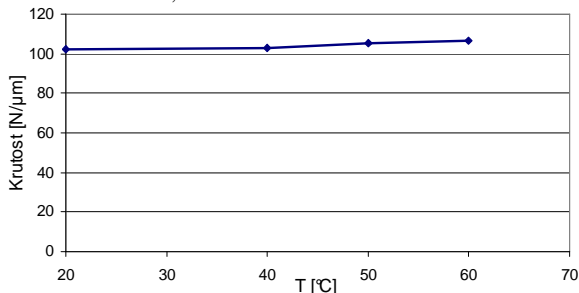


Slika 7. Zavisnost pomeraja na vrhu vretena od temperature za konvencionalna ležišta

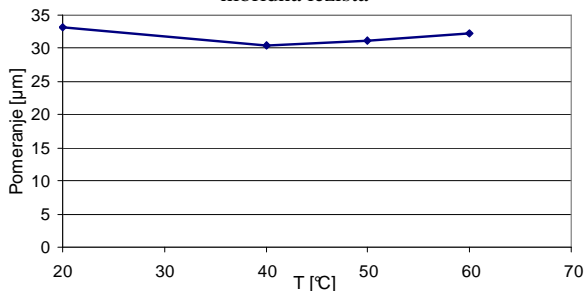
Maksimalna odstupanja od eksperimentalnih rezultata su na 40 [°] -21 % i 50 [°] -17% dok na temperaturi od 60 [°] iznose 0.3% (slika 7). Uzrok nešto većih odstupanja na pojedinim temperaturama, treba tražiti u činjenici da su temperature pri računarskom modeliranju preuzete iz rada [8] u kojem su temperaturna polja na sklopu glavnog vretena određena računarskim modeliranjem. Razlika između računarskog modeliranja i eksperimentalnih ispitivanja je reda veličine zazor u ležištima (slika 7), koja nije uzeta u obzir pri računarskom modeliranju. Na većim temperaturama zazor prelazi u preklap usled većeg toplotnog širenja elemenata ležišta, što uslovljava tačnije rezultate računarskog modeliranja na višim temperaturama.

S druge strane ova razlika ukazuje na nejednakost karakteristika sklopa glavnog vretena u raznim radijalnim pravcima, čije je mogući uzrok nejednaka krutost ležišta u tim pravcima, odnosno nesimetričnost elemenata uležištenja.

Na slikama 8 i 9 je prikazana promena radijalne krutosti odnosno pomeraja vrha vretena u zavisnosti od temperature za hibridna ležišta,



Slika 8. Zavisnost radijalne krutosti od temperature za hibridna ležišta



Slika 9. Zavisnost pomeraja na vrhu vretena od temperature za hibridna ležišta

Kod hibridnih ležišta usled porasta temperature sa 20 na 60 [°C] dolazi do povećanja krutosti sklopa glavnog vretena za 3,77 [%]. Poredeći ove i prethodne rezultate može se konstatovati da glavna vretena uležištena hibridnim ležištima imaju veću krutost za 11 [%].

5. ZAKLJUČAK

U radu su određene vrednosti radijalne i aksijalne krutosti prednjeg uležištenja, sila prednaprezanja, povećanje krutosti i prednaprezanja ležišta usled toplotnog opterećenja. Na osnovu ovih vrednosti analizirana je promena radijalne krutosti sklopa glavnog vretena usled dejstva statičke sile na vrhu vretena i toplotnog opterećenja na karakterističnim mestima sklopa..

Na osnovu analize rezultata može se zaključiti da radijalna krutost vretena raste porastom temperature ležišta, odnosno usled promene krutosti samog ležišta.

Poredeći dva tipa ležišta može se konstatovati da glavna vretena uležištena sa hibridnim ležištima imaju veću krutost kako samih ležišta tako i sklopa, a manju promenu radijalne krutosti ležišta u zavisnosti od temperature.

Na kraju treba istaći da rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju samo deo širih istraživanja vezanih za eksperimentalno ispitivanje i računarsko modeliranje statičkog, dinamičkog i toplotnog ponašanja sklopa glavnog vretena.

6. LITERATURA

- [1] Bossmanns, B.: *Thermo-mechanical modeling of motorized spindle systems for high speed milling*, Ph.D. Dissertation, Purdue University, 1997.
- [2] Cheung, M.: *An Investigation in Stiffness of Rolling Contact*, Chung Yuan Christian University Department of mechanical Engineering, Doctoral dissertation, 2002
- [3] Eschmann P.: *Die Wälzlagerpraxis-Handbuch für die Berechnung und Gestaltung von Lagerungen*, FAG Kugelfischer Georg Schäfer & C., München, 1978
- [4] Lin, C.-M.: *Analysis for the Stiffness of Ball Bearings*, Master's thesis, Chung Yuan Christian University Department of mechanical Engineering, 2002.
- [5] Zeljković M., Borojev Lj, Gatalo R, Rekecki J.: *Experimental identification of the high-speed machine tool spindle static and dynamic behavior under thermal influence*, DMC 98-2nd International conference on development of metal cutting, Proceedings, ISBN 80-7099-35209, Košice, Pages ANX 17-ANX 24, 1998.
- [6] Zeljković M., Gatalo, R.: *Experimental and computer aided analysis of high-speed spindle assembly behavior*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 48/1, Pages 325-328, 1999.
- [7] Zeljković, M.: *Sistem za automatizovano projektovanje i predikciju ponašanja sklopa glavnog vretena mašina alatki*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.
- [8] Živković, A.: *Eksperimentalna i računarska analiza toplotno elastičnog ponašanja sklopa visokobrzinskog glavnog vretena mašina alatki*, Magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.

Autori: Prof. dr Zeljković Milan, Prof. dr Ljubomir Borojev, Mr Aleksandar Živković, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-4
E-mail: milanz@uns.ns.ac.yu ; borojevlj@uns.ns.ac.yu
acoz@uns.ns.ac.yu ;

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Istraživanje i razvoj kotrljajnih ležajnih sklopova i njihovih komponenti TR 14048", podržanom od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

MENADŽMENT KVALITETOM U SVETU I KOD NAS – SLIČNOSTI I RAZLIKE

Rezime: Teorija i praksa menadžmenta kvalitetom (QM) se u svetu, u poslednje dve dekade intenzivno razvijaju. Toj difuziji QM prakse poseban doprinos daju standardi ISO 9000 serije. Kada danas govorimo o QM modelima, smatramo da oni obuhvataju: QMS, TQM, BE i E. Polazeći od ovih činjenica, ovaj rad daje komparativnu analizu QM prakse u svetu i kod nas.

Ključne reči: QM modeli, Unapređenje kvaliteta, Analiza

QUALITY MANAGEMENT IN THE WORLD AND AT US – SIMILARITY AND DIFFERENCES

Abstract: In last two decades, QM theory and practice had very intensive development. QMS as ISO 9000 standards was given special approach. Now we thinking next QM models as: QMS, TQM, BE and E. Starting from this facts, paper given comparative analysis of QM theory and practice around of the world.

Key words: QM models, Quality improvement, Analysis

1. UVOD

Razvoj sistemskih prilaza unapređenja kvaliteta (QI) ima istoriju dužu od jednog veka [1,39,40]. Ovaj razvoj je posebno intenziviran na početku novog milenijuma, a poseban doprinos tom razvoju su dali standardi ISO 9000 serije. Mnogi istraživači u svetu u svojim studijama analize QM prakse u razvijenim zemljama, za njen razvoj definišu sledeće zaključke [2,3,4,16]: (i) industrijski, a posebno tehnološki razvoj je inicirao istraživanje i primenu novih QM modela (TQM/BE – ranije, digitalni model kvaliteta – danas), i (ii) za analizu sistemski prilaza QM-a se koristi evolucionni model (I, QC, QA, TQM, IMS) [5-9]. Ovaj rad daje analizu i sintezu QM prakse i istraživanja u svetu i kod nas.

2. NAJNOVIJI QM PRILAZI U SVETU

Istraživanja izvršena u okviru ovog rada, su obuhvatila sledeće oblasti QM teorije i prakse: (a) evoluciju razvoja QM modela [10,23,30,36,37 i 38] (b) modeliranje i unapređenje procesa za QM [13,14,17,19,20,21 i 27], (c) primena AI koncepta u oblasti QM [11,18,22,24,25,26,28 i 29], i (d) modeliranje i merenje QM performansi [12,15,31,32,33,34 i 35]. Ovaj prilaz analizi je korišćen i pri razvoju modela K-BS, na MF u Bgd.

Prvi deo je obuhvatio analizu sledećih prilaza: integraciju QM koncepta i modela održivog razvoja, radi razvoja nove generacije IMS-a [10], razvoj proširenog modela QM-a, u životnom veku proizvoda, izgradnjom integrisanog modela podataka za kvalitet (IQDM) [23], razvoj knowledge-base modela (K-B S) kvaliteta, korišćenjem najnovijih prilaza u ovoj oblasti [30], razvoj kontigentnog prilaza za QM model [36], napredni QM model – kreativni kvalitet [37] i integrisani QM model za B/E/S/T-održivi razvoj. Možemo konstatovati da se dalji razvoj QM koncepta zasniva na novom prilazu produbljenog modeliranja znanja za kvalitet, što je jedna od paradigmi istraživanja koja se vrše na MF u Bgd (razvoj K-B sistema).

QM praksa se zasniva na procesnom modeliranju svih aktivnosti za kvalitet, što je drugi deo naše analize. Ona pokazuje da se za ove namene koriste: model za analizu (merenje performansi) i reinženjering procesa, na bazi IDEF3 metodologije [13], integrisana višedimenziona metodologija

za unapređenje procesa (IMPIM) koja omogućuje između ostalog i analizu troškova kao i reinženjering (unapređenje) procesa [14], statistički inženjerski metod zasnovan na metodu varijacija i analizi njegovih efekata (VMEA), koji omogućuje upravljanje/unapređenje QM procesa [17], model simulacije za vrednosnu analizu (VA), korišćenjem SPC i FMEA metoda [19], tehnika modeliranja pod nazivom IDEF9000, za analizu i unapređenje procesno-orijentisanih QM sistema [20], evalucija na osnovu dinamičkih performansi procesa sa modelom metrike za njihovo merenje, Activity-Based Costing and Activity-Based Management (ABC/ABM) [21] i prilaz razvoju procesa za QM u sistemu automatizovane proizvodnje [27]. Jedna od posebno važnih oblasti QM prakse je modeliranje njegovih procesa, za šta je razvijeno više prilaza i modela, tako da korisniku ostaje da analizom izabere svoj model. U istraživanjima koja se vrše na MF u Bgd, je korišćen prilaz dat u [13].

Posebo važna oblast u okviru novih istraživanja QM teorije i prakse je primena alata i tehnika veštačke inteligencije (AI). Naša analiza je obuhvatila sledeće prilaze ovoj oblasti: razvoj i primenu klasičnog modela ekspertnog sistema za podršku odlučivanju u oblasti kvaliteta [11], a case-based reasoning (učenje na bazi iskustva), je razvijeni model za integrisani QM i kontinualna unapređenja na bazi povratne sprege [18], koncept "produbljenog" kvaliteta (DQC) – novi K-B sistem na bazi učenja za planiranje QM aktivnosti pri popravci brodova [22], model učenja za QM model na bazi "decision tree" [24], razvoj ES za SPC metode u zdravstvenoj zaštiti [25], integrisani metodi induktivnog učenja i neuronskih mreža za rešavanje problema kvaliteta [26], K-B sistem za primenu SPC tehnika [28] i integrisani model ES za obradu slike kao deo QM modela [29]. Ova analiza pokazuje da su ES i učenje (induktivno), osnovne oblasti primene AI koncepta u oblasti QM-a. Isti prilaz je korišćen i u istraživanjima (razvoj modela ES-a sa modulom za induktivno učenje) koja se vrše na MF u Bgd.

Najzad, poslednja oblast naših istraživanja (ocena nivoa zrelosti primenjenog QM-a) se odnosila na modeliranje, praćenje i merenje QM performansi. Naša analiza pokazuje da se za ove probleme primenjuju sledeći prilazi: ocena QM prakse i poslovnih rezultata na bazi korelacione analize [12], koncept za merenje QM performansi na bazi indikatora [15], model na bazi analitike hijerarhijskih procesa (AHP) [31],

model za identifikaciju kritičnih faktora za performanse TQM modela (7 kritičnih faktora i 45 performansi) [32], BSC model merenja i unapređenje performansi kvaliteta [33], nelinearni (DEA) i linearni regresioni model za analizu performansi kvaliteta [34] i model longitudinalni istraživanja za ocenu i unapređenje QM strategije i prakse, kao i orijentacije na kupca [35]. Ovde se posebno napominje da nisu analizirani modeli dati u ISO 9004:2000(9), kao i različiti modeli dati kao sastavni deo BE koncepta (na primer RADAR model). Razlog je što autor smatra da su to već dobro poznati prilazi. Naš zaključak za ovaj deo izvršenih istraživanja glasi – primenjuju se različiti modeli/prilazi koji se hijerarhijski raspoređuju (deployment) po strukturi primenjenog QM modela. U istraživanjima koja se vrše na MF u Bgd, za ovu oblast korišćen je model ocene prema ISO 9004:2000(9). Razlog za to je bio što ciljni QM model za analizu bio model QMS-a.

2.1 QM modeli i njihova evolucija

Novi prilazi u razvoju QM koncepta su i njegova integracija sa održivim razvojem, a najnoviji je njegova integracija sa integrisanim menadžment sistemima (IMS) [10]. U radu se daje sistemski model razvoja IMS-a i njegova integracija sa održivim razvojem, preko sedam elemenata: interesne grupe, resursi, liderstvo, procesi, vrednosti, ciljevi i rezultati. Razvoj i primena svakog elementa je direktno vezana sa zahtevima svakog standarda koji se uključuje u IMS. Šta je važno za razvoj organizacije sa aspekta održivog razvoja je najdirektnije vezano za njen ključni poslovni proces. Na osnovu toga, diskusijom sa svim interesnim grupama, se definiše model održivog razvoja, koji treba da se integriše na bazi njihovih principa u postojeću poslovnu infrastrukturu. Ova integracija se izvodi na makro i mikro nivou organizacije. Makro nivo znači integraciju održivog razvoja i IMS-a kao celina, a mikro nivo znači integraciju sedam napred navedenih elemenata održivog razvoja i zahteva standarda, koji čine IMS. Integracija održivog razvoja, IMS i postojećeg menadžment sistema organizacija, vrši se kroz promene, koje se mogu definisati preko tri dimenzije: procenivanje (izbor nivoa zadovoljstva (ispunjenja zahteva) interesnih grupa), uravnoteženje (organizacija mora "uravnotežiti" zahteve postojećeg MS, sa primenom produbljenih zahteva standardizovanih MS, kao i održivog razvoja) i integracija (na kraju svi elementi: MS, SMS i OR moraju omogućiti poboljšanje svih poslovnih performansi organizacije).

Kvalitet u životnom veku proizvoda je napredni QM model, koji integriše sve podatke o aktivnostima kvaliteta u životnom veku proizvoda [23]. Ovaj prilaz zahteva izgradnju integrisanog modela podataka za kvalitet (IQDM), za podršku procesima, podprocesima i aktivnostima tokom celog životnog veka. Evolucija i integracija podataka o kvalitetu se zasniva na evoluciji procesa proizvoda. Više-nivovni model podataka za kvalitet, podržava QM model proizvoda u njegovom životnom veku, a obuhvata šest nivoa: strukturnu sastavnicu materijala (GBOM), opšte podatke o kvalitetu, kvalitet procesa, aktivnosti kvaliteta, ciljeve kvaliteta i fizičke podatke. Integracija podataka o kvalitetu se vrši po i između nivoa, a različite tehnike i procedure se koriste pri ovom modeliranju, zasnovane na UML proširenom modelu podataka.

Nekoliko "guru" za kvalitet (Deming, Shewart, Ishikawa, Crosby) su posebno ukazivali na značaj i ulogu "znanja" u QM praksi [30]. Na primer, Deming je predložio "The Deming System of Profound Knowledge", "kao eksplicitni model znanja za kvalitet. Međutim različiti autori, različito definišu sadržaj i obim znanja za kvalitet. Zbog toga se u ovom istraživanju predlaže integrisani model znanja u oblasti kvaliteta, korišćenjem "Nonaka's teorije o kreiranju znanja". Model integracije omogućuje stvaranje konzistentnog

pristupa kreiranju i korišćenju znanja za kvalitet. On takođe omogućuje efektivno raspoređivanje najbolje prakse QM. Prethodna empirijska istraživanja jasno ukazuju na značaj efektivnog raspoređivanja znanja za kvalitet, koje doprinosi unapređenju poslovnih performansi organizacije. Tako formirana baza znanja za kvalitet obezbeđuje produbljeno razumevanje i unapređenje najbolje prakse QM.

Ovo istraživanje poznato pod nazivom "Mintzberg's framework", se odnosi na istraživanje najbolje QM prakse, za pet različitih organizacionih struktura [36]. Ova studija definiše razlike između definisanih organizacionih struktura i efektivnog korišćenja QM prakse. Zato je istraživanje bilo zasnovano na upitniku koji je analizirao znanja vezana za QM praksu imajući u vidu vrednosti, modele i tehnike koje oni koriste. Rezultati istraživanja pokazuju da su razlike između organizacija ograničene u odnosu na primenjenu QM praksu.

U [37] je predložen QM model koji omogućuje njegov prelazak na višu platformu – kreativni kvalitet, koji ima kompetitivne prednosti u budućem hiper-dinamičkom poslovnom svetu. Kreativni kvalitet se odnosi na "kreativnost" i "kvalitet" a procesi unapređenja se odnosi na oba entiteta. Kreativnost igra ključnu ulogu u imaginaciji izlazni karakteristika QM modela i njihovom povezivanju i interakciji sa idejama, ljudima i okolinom. Ovo je orijentacija na izlazne procese QM-a, u koje su uključeni pojedinci, sa svojim kognitivnim i emocionalnim karakteristikama u productivnom kreiranju izlaznih karakteristika u obliku novih ideja, proizvoda i usluga. Tako nastaje kreativna organizacija koja je u bliskoj vezi sa produktivnošću i poslovanjem. Kreativni kvalitet se na kraju može definisati kao kompetentnost zasnovana na organizaciji u procesu raspoređivanja vrednosti i inovacija, kao ključnih faktora za kupca.

"BEST" je QM model zasnovan na održivom razvoju [38], koji se gradi na četiri stuba: princip biofizičke/životne sredine, princip ekonomije, socijalni princip i princip društva. Navedeni principi pomažu u kreiranju kriterijuma koji definišu BE model zasnovan na socijalnim i elementima zaštite životne sredine. On omogućuje transformaciju organizacionih ciljeva u max ekonomske izlaze, definisane ograničenjima, kao B-održivi razvoj (poštovanje zakonskih zahteva), E-održivi razvoj (zahtevi kupaca), S-održivi razvoj (veliki broj preporuka u odnosu na zaposlene i kupce), i T-održivi razvoj (tehnologija i njen razvoj). Integracija ovih elementa omogućuje simultanu optimizaciju bio-fizičkih, socijalnih, ekonomskih i tehnoloških ciljeva.

2.2 Modeliranje i unapređene procesa za QM

Model za analizu (merenje performansi: kvalitet, brzina, usluga i troškovi) i reinženjering procesa, na bazi IDEF3 metodologije, kao jednog od prilaza za ove namene je prikazan u [13]. Tipičan proces (obuhvata i QM), sadrži tri tipa aktivnosti: aktivnosti koje imaju dodatnu vrednost (najznačajnije za kupca), aktivnosti koje opisuju radni tok (aktivnosti koje prate radni tok kroz organizaciju), i upravljačke aktivnosti (kreirane i uspostavljene za upravljanje prvim i drugim tipom procesa). Strateški procesi su najvažniji za ostvarivanje poslovnih ciljeva. Primarni cilj reinženjeringa procesa se odnosi na unapređenja aktivnosti koje kreiraju dodatne vrednosti i strateške aktivnosti. Tehnika za analizu toga se koristi za analizu, dijagnozu i menadžment procesima promena, reinženjeringa i unapređenja, koristeći pri tome dinamičku simulaciju.

Integrisana višedimenziona metodologija za unapređenje procesa (IMPIM) [14], predstavlja prilaz za unapređenje menadžmenta, upravljanja procesima i troškovima u tehnološkim sistemima. Simulacija se koristi kao platforma za primenu IMPIM metodologije, koja obezbeđuje unapređenje produktivnosti, kvaliteta i smanjenje troškova na bazi jedinstvenog, sistematičnog i holističkog prilaza. TQM

je koncept koji definiše parametre kvaliteta a aktivnosti na bazi troškova (ABC), je model koji se koristi za upravljanje troškovima. Diskretna simulacija događaja se koristi kao platforma za analizu i reinženjering procesa (BRP), i procese unapređenje TQM aktivnosti.

U [17] je prikazan statistički inženjerski metod zasnovan na metodi varijacija i analizi njegovih efekata (VMEA), koji omogućuje upravljanje / unapređenje QM proizvoda/procesa. Pre primene ovog metoda, neophodno je definisati skup karakteristika kvaliteta proizvoda (PCs), i izabrati jednu ili više, za analizu varijacija. VMEA procedura sadrži četiri koraka: (1) kauzalnu analizu događaja (KPCs), (2) ocenu uticaja, (3) ocenu varijacije, i (4) određivanje rizika događaja i njegovog prioriteta. Ovaj prlaz ima veliku industrijsku primenu.

Razumevanje razloga i prepoznavanje procesa varijacija je ključ za uspešno upravljanje poslovnim procesima. Različiti metodi uz podršku računara omogućuju potencijalnim korisnicima rešavanje kompleksnih problema. Rad [19] sadrži dve ključne metodologije za ovu oblast: simulaciono modeliranje i vredonosna analiza (VA). Korišćenjem ovih tehnika u tradicionalnim tehnološkim procesima, fokus se stavlja na analizu i sintezu varijacije procesa, primenom SPC i FMEA metoda, integrisanih u simulacioni i vredonosni model. Generisne informacije iz ovog modela, služe kao ulaz za QFD metod, koji se analizu i ocenu zahteva kupaca. Najzad, sve generisane informacije se mogu koristiti kao ulaz za Taguchi simulacioni model u redizajniranju proizvoda.

Tehnika modeliranja, poznata pod nazivom IDEF9000 [20], predstavlja sistemski prilaz modeliranju procesa u QMS sistemu. Ovo modeliranje je zasnovano na konceptu FOP (sve aktivnosti koje transformišu proizvod od početnog ka krajnjem stanju) i međusobnom funkcionalnom modeliranju, povezivanju i relacijama podataka. Težište je stavljeno na tokove materijala i informacija koji doprinose ispunjavanju zahteva kupaca. Od orginalne IDEF0 tehnike modeliranja, IDEF9000 koristi proširenu sintaksu i semantiku, definisanu zahtevima QMS-a. U ovom slučaju i poslovni procesi moraju biti u skladu sa QMS zahtevima. Granice sistema su definisane skupom kontekstnih dijagrama, pomoću kojih se identifikuje veza između ISO 9001 elemenata i operativnih delova organizacije.

Istraživanje dato u [21] predlaže šest tipova procesa za analizu i sintezu u tehnološkim sistemima: QMS procesi, tok proizvoda, tok resursa, tok troškova i tokovi novca i profita. Metodologija evaluacije se zasniva na dinamičkom modeliranju performansi procesa, preko metrike modela baziranoj na analizi i oceni troškova aktivnosti (ABC/ABM). Metodologija koristi vreme, troškove, kvalitet, uslugu, brzinu i efektivnost kao kriterijume za ocenu. Modeliranje, simulacija i optimizacija poslovnih procesa težište stavlja na razvoj fleksibilnog poslovnog sistema.

Garantovani kvalitet proizvoda u tehnološkim sistemima zahteva optimizaciju parametara procesa (tehnoloških parametara). Uspostavljeni metodi za QM se koriste za registrovanje odstupanja od propisanog kvaliteta (SPS metodi) ili analizu offline nastalih odstupanja (FMEA metod). U [27] je izložen razvijeni procesni model za automatizovane tehnološke sisteme, koji ima dva koraka: (1) lokani kontroler na mašini prati parametre kvaliteta u odnosu na tehnološki proces i poredi ih, koristeći proces učenja radi analize, i (2) razmenu informacija između lokalnih kontrolera i nadređenih računara kojima se prati i optimizira ukupni tehnološki proces.

2.3 Primena AI koncepta u oblasti QM-a

Jedan prilaz razvoju klasičnog modela ekspertnog sistema za podršku odlučivanju u oblasti kvaliteta je prikazan u [11]. ES omogućuje da se integrišu rezultati ispitivanja pojedinih i

grupnih uzoraka, kao i da se definišu zaključci – modul rezonovanja, dobijenih rezultata. ES ima pet elemenata: bazu podataka (znanje, iskustvo i integrisani model podataka o kvalitetu, generisani od eksperata iz oblasti kvaliteta), bazu znanja (hijerarhijska – definisana pravilima), akvizicija znanja (primenjuju se tri metoda za dodavanje, izmene i pretraživanje znanja u bazi podataka – automatski, poluautomatski i sa povratnom vezom), mehanizam zaključivanja (pomoću direktnog i povratnog metoda rezonovanja), i modul korisničkog interface sa objašnjenjima rezultata zaključivanja.

Naša istraživanja pokazuju da se mnogi problemi iz proizvodnje ne mogu rešiti samo teorijskim modelima, već se moraju koristiti i iskustva, ranije generisana za istu oblast. U [18] je izložen prilaz definisan kao model rezonovanja na bazi slučaja, koji je poznat kao učenje na bazi iskustva. Rad prikazuje razvijeni model QMS-a, na bazi prethodnog prilaza, koji se koristi za kontinualna unapređenja kvaliteta u konceptu povratnih veza. One (povratne veze) su prevntivni QM model na bazi znanja, koji uči na bazi iskustva iz starih slučajeva – iskustava. To je suština prilaza koji se primenjuje u automatizovanoj proizvodnji.

Koncept "produbljenog" kvaliteta (DQC) – novi K-B sistem na bazi učenja za planiranje QM aktivnosti pri popravci brodova [22], je efektivni prilaz zasnovan na znanju i mašinskom učenju. Sistem obezbeđuje plan QM-a, koji je definisan domenom baze podataka, koji predstavlja integralni deo QMS-a. Baza podataka je generisana iz realnih situacija popravke brodova, gde su realne aktivnosti opisane za svaki projekat (atributivne vrednosti), a relativna vremena ocenjena od strane eksperata (ciljne vrednosti). Zbog ovoga su definisana dva pristupa konceptu učenja: (a) diskretizacija atributa ciljnih vrednosti i nakon toga korišćenje klasifikovane šeme učenja, i (b) stvarne vrednosti ciljnih atributa, gde se koriste šeme učenja za numeričke vrednosti. Kada se koriste moderni sistemi za akviziciju podataka u realnom vremenu, moguće je da se za realni proizvodni proces, korelaciono pratiti više parametara kvaliteta istovremeno. Zato se danas sve više koriste kontrolne karte za praćenje i analizu više promenljivih istovremeno [24]. Glavni problem kod ovih karata je, kako odrediti, koja je promenljiva ili grupa promenljivih, u trenutku, van kontrolnih granica. Za rešavanje ovog problema, koristi se tehnika učenja, definisana kao "drvo odlučivanja". Eksperimentalni rezultati pokazuju da se primenjeni model učenja daje pouzdane i tačne rezultate, što znači da se može koristiti u realnom proizvodnom procesu.

Sledeće istraživanje [25], prikazuje razvijeni ES za primenu SPC metoda, za upravljanje kvalitetom u zdravstvenoj zaštiti, korišćenjem različitih tipova kontrolnih karti, kao što su: xR, P, IC i pojedinačne x karte. ES je razvijen na bazi shell-a - ES Guru, definisan kao sistem vođen menijem i kao potpuno integrisani alat za ove namene. Struktura ovog ES obuhvata: inicijalizaciju, ciljeve, pravila i korisnički interface. Deo pravila predstavlja bazu znanja, a generički ES koristi model proizvodnih pravila. Inference engine (mašina za prtraživanje), pretražuje bazu znanja, poredeći definisane i ostvarene vrednosti. Na kraju, ES daje format podataka koji je ulaz za SPC sofver, koji proračunava i crta kontrolnu kartu. Generalno govoreći, SPC ES pomaže da se sistem zdravstvene zaštite koristi tako da su mu parametri efektivnosti i efikasnosti unapređeni, a troškovi smanjeni.

Integrisani metodi induktivnog učenja i neuronskih mreža za rešavanje problema kvaliteta [26], baziran na primeni SPC metoda, ima centralnu ulogu u rešavanju problema kvaliteta, u industrijskim uslovima, gde su složeni tehnološki procesi (veliki skupovi podataka i promenljivih), a naročito kompleksne relacije između procesa i promenljivih. Sve SPC procedure, koriste tri integrisana metoda induktivnog učenja

za rešavanje problema kvaliteta, i to: (a) metod izbora podskupa karakteristika kvaliteta, koje su dominantne za dati proces, (b) metod klastera za induktivno učenje, za predikciju CPR indeksa, i (c) metod za određivanje skupa karakteristika kvaliteta, na bazi referentnih vrednosti. Svi metodi koriste dva skupa podataka, a dobijeni rezultati pokazuju ostvarenu efektivnost višefaktornog sistema procesnog upravljanja.

U uslovima industrijske proizvodnje, gde postoji veliki broj primenjenih tehnoloških procesa [28], po pravilu se mala pažnja posvećuje unapređenju procesa. Različite alate, fizičke i analitičke, inženjeri koriste da obezbede kvalitet tehnoloških procesa, na bazi definisanih i ostvarenih tolerancija. Znanje i činjenice o njima (tolerancije), predstavljaju početne, ali i ne dovoljne informacije za unapređenje i reinženjering procesa. SPC procedure, za ove namene, trebaju biti proširene, sa skupom podataka o vrednostima performansi procesa (PPM). Za ove namene, razvijen je sistem zasnovan na znanju (K-B S), korišćenjem ES shell-a – Crn5Exp. Ova ES je zasnovan na sistemu pravila, a omogućuje primenom SPC metoda, analizu i sintezu procesa i njihovo unapređenje.

Automatizovani tehnološki sistemi su sve više u upotrebi [29], a kod njih deo inspekcije gotovih delova, kao deo procesa QM sistema, ponekad može imati povećani rizik za kupca. Za svaku mašinu postoji nekoliko tipova grešaka, koje se mogu pojaviti u različitim procesima, a zajedno izazvati različite greške na delovima. Postoji veliki broj scenarija za simultano praćenje i upravljanje sa dve ili više karakteristika kvaliteta u on-line režimu. Automasko i simultano praćenje ovih karakteristika kvaliteta, predstavlja esencijalni deo QM-a. ES na bazi kompjuterske vizije je razvijen za automasku inspekciju delova, praćenjem nekoliko karakteristika kvaliteta. On je naročito efikasan u veliko-serijskoj i masovnoj proizvodnji.

2.4 Modeliranje i merenje QM performansi

Jedan od osnovnih elemenata QM prakse je praćenje i merenje njegovih performansi. Prilaz dat u [12], je studija za ocenu QM prakse u industriji prerade metala Irske. Ključna tačka ovih istraživanja je dobijena linearna korelacija, sa koeficijentom od 0.694, između prakse (QM) i performansi kompanija. Studija je zasnovana na projektovanom modelu upitnika, pomoću koga se prikupljaju znanja i informacije o QM praksi i poslovnim rezultatima, od dobavljača do kupaca tehnološkog sistema. Promenljive o QM praksi su kategorizovane kao elementi MBNQA kriterijuma, podeljeni u sedam grupa, sa definisanim težinskim koeficijentima.

Koncept indikatora za merenje performansi nije nov u QM-u [15]. Ovaj fenomen je posebno involviran u standard ISO 9000 iz 2000-te godine, kao element "merjenja kvaliteta" i "merjenja zadovoljstva kupaca". Metrika u ovoj oblasti se može podeliti na osnovu njene "pažnje/usresređenosti na" (kvalitet, proizvodnja, finansije, itd.), i njenih "pokazatelja" (izlazne analize, predviđanje i poređenje u odnosu na konkurenciju, itd.). Za oblast QM-a, metrika mora obezbediti tri osnovne funkcije: upravljanje, komunikaciju i unapređenja, a njena definicija je striktno orijentisana ciljnom-predstavljanju. U navedenoj referenci je dat matematički model i koncept indikatora za QM.

Model na bazi analitike hijerarhijskih procesa (AHP) [31], omogućuje određivanje težinskih grupa elemenata procesa. Oni (težinski elementi), imaju dve osnovne funkcije: (a) prioritet (rang) elemenata, koji pomaže uspostavljanju ključnih mera za QM (BE) performanse, i (b) određivanje težine izabranih karakteristika (ili kriterijuma), što doprinosi povećanoj tačnosti modela. AHP je hijerarhijski model za predstavljanje apstraktnih struktura procesa. On sadrži nekoliko nivoa, dekomponovanih u odnosu na skup ciljeva, klastera, pod-klastera, od osnovne do vrha. Klaster i pod-klaster se definišu pomoću atributa, aktivnosti i ciljeva, preko osam elemenata.

TQM danas ima ključnu ulogu u pomoći kompanijama da budu konkurentnije na svetskom tržištu. Koji su to faktori koji omogućuju takve TQM performanse? Razvijeni model za identifikaciju kritičnih faktora za performanse TQM modela (7 kritičnih faktora i 45 performansi) [32], omogućuje kompaniji praćenje TQM napredovanja. Menadžment dobijene relacije može koristiti kao početne tačke za merenje performansi, ocenu uloženi resursa i praćenju progressa TQM unapređenja širom kompanije.

Globalizacija, stalne inovacije i dobro informisani kupci, predstavljaju ključne elemente dinamičkog i kompleksnog modernog poslovanja [33]. Organizacije sa svojim poslovnim modelom podložnim stalnim promenama, stalno teži unapređenju kvaliteta proizvoda i usluga. Danas se za to koriste nekoliko pristupa, TQM, BSC, šest sigma i drugi. Svaki od ovih modela ima za osnovni cilj – unapređenje i merenje performansi kvaliteta. BSC model se koristi za "projektovanje i merenje performansi" i "razvoj dinamičkog sistema performansi". Istraživanje pokazuje da se BSC može koristiti za integrisane strukture procesa, u virtuelnom i polu-virtuelnom okruženju, organizacija koje posluju u dinamičnom poslovnom okruženju.

Dosadašnje empirijske studije QM-a imaju jedan nedostatak – ne koriste mešoviti prilaz analize uticaja QM prakse i performansi organizacije. Studija data u [34], prikazuje ne-linearni (DEA) i linearni regresioni model za analizu performansi kvaliteta, polazeći od uspostavljene TQM prakse. TQM koristi kvantitativne (tehničke) metode i ljudske resurse (praksa), za unapređenje unutrašnjih i spoljašnjih procesa, sa fokusom na ispunjenje zahteva, potreba i očekivanja kupaca. On uspostavlja relacije između ciljeva i ostvarenih performansi kvaliteta, sakupljenih i analiziranih od proizvođača i kupaca. Zato ovaj prilaz podstiče TQM praksu u celom lancu nabavke (dobavljač-proizvođač-kupac).

QM aktivnosti i praksa su praćeni u većem broju organizacija u periodu od deset godina, mereći unutrašnje faktore i njihov uticaj na održivost ciljeva QM prakse u dužem vremenskom periodu. Korišćenjem longitudinalnih istraživanja [35], QM strategija i praksa ovih organizacija je ocenjivana, periodičnim intervjuima menadžera kvaliteta, kao i kroz relevantnu dokumentaciju kompanije. Na ovaj način su određeni faktori i njihov uticaj na kontinuitet QM prakse. Posebno su obuhvaćeni faktori koji se odnose na audit i samoocenicavanje, orijentaciju na kupca i informacioni sistem.

3. QM PRAKSA U SRBIJI

QM praksu u Srbiji možemo posmatrati iz dva ugla: (a) unapređenje kvaliteta u privredi na bazi QMS sertifikacije, i (b) razvoj i primena dobre prakse QM-a. Prvi prilaz se može definisati sledećim činjenicama (stanje avgust 2008): 1600 QMS sertifikata, 3 ISO 16949 sertifikata, 120 EMS sertifikata, 270 (QMS + EMS) sertifikata, 62 (QMS + EMS + OHSAS) sertifikata, 38 HACCP sertifikata, 23 ISO 22001 sertifikata i 6 ISO 27001 sertifikata. Ako se ima u vidu činjenica da u svetu u ovom trenutku ima preko 1 milion QMS sertifikata, jasno je da na našu zemlju otpada nešto oko 1.6 promila. To je izuzetno malo, ako se uzme u obzir to da danas u svetu ima 205 zemalja, a da se Srbija prema broju QMS sertifikata nalazi na 102 mestu u svetu. Kada se zna da se naša zemlja, prema nivou ekonomskog razvoja (BND) i nivou tehnološkog razvoja nalazi oko 75 mesta, jasno je da i po ovoj osnovi zaostaje sa brojem QMS sertifikata. U regionu Zapadnog Balkana, sve značajnije zemlje imaju veći broj QMS sertifikata (neke i 10 puta više – Mađarska, sa oko 18000 QMS sertifikata). Zašto je to tako?

Evo nekih razloga: (a) proces privredne tranzicije uz promenu vlasničke strukture, jako dugo traje (skoro dve decenije), tako da imamo organizacija (oko 100), koje su

izgubile – nisu obnovile QMS sertifikat, (b) nepostojanje konzistentne vladine politike u oblasti mera, makro-ekonomske politike, koje će podsticati privredne subjekte na QMS sertifikaciju (do sada su te mere bile palijativne), i (c) nepostojanje nacionalne strategije za dugoročni razvoj kvaliteta u Srbiji. Zbog toga, JUSK je kao nacionalna organizacija za kvalitet, pokrenula i realizuje Nacionalni projekat – Studija unapređenja kvaliteta u Srbiji, u saradnji sa EOQ i EC. Paradigme na kojima se temelji ova Studija su: (a) dobra QM praksa ima pozitivan uticaj na poslovne performanse i razvoj organizacije (farmaceutska industrija, Metalac – Gornji Milanovac, Carlsberg – Srbija, Čelarevo, Tigar – Pirot, Elektro-Vojvodina, Novi Sad i druge), (b) primena alata i tehnika inženjerstva kvaliteta su osnova za unapređenje QM prakse u Srbiji, (c) nova nacionalna strategija za unapređenje kvaliteta zasnovana na dobroj QM praksi EU (JUSK, EOQ i EC Studija), (d) kontinualno obrazovanje za kvalitet (JUSK sistem permanentnog obrazovanja za kvalitet), i (e) obrazovanje i liderska uloga menadžmenta u dobroj QM praksi u Srbiji.

4. QM ISTRAŽIVANJA U SRBIJI

Centri u kojima se danas vrše osnovna i razvojno-tehnološka istraživanja za kvalitet u Srbiji su: (a) Mašinski fakultet u Beogradu, Laboratorija za proizvodnu metrologiju i TQM: (i) istraživanje, razvoj i primena dobre QM/IMS prakse – BE model (privredne organizacije, obrazovne organizacije), (ii) inteligentni i digitalni model kvaliteta za nove generacije tehnoloških sistema, i (iii) šest sigma i Taguchi metod za proizvodnju bez škara – istraživanje, razvoj i primena, (b) Institut Vinča, Beograd – razvoj i primena EU direktiva u Srbiji, (c) FTN – IIS, Novi Sad: (i) razvoj i primena dobre QM i IMS prakse u privredi Srbije, i (ii) obrazovanje za kvalitet, i (d) CIM College, Niš: (i) istraživanje, razvoj i primena softverskih modela za tehnike inženjerstva kvaliteta, (ii) razvoj i primena softverskog modela za procesno modeliranje QM i IMS prakse u privredi, i (iii) razvoj i primena dobre QM i IMS prakse u Srbiji.

Kada se navedene oblasti istraživanja poredе sa istraživačkim temama, prikazanim u tačkama 2 ovog rada, možemo konstatovati, da u ovoj oblasti naša zemlja nema zaostajanja, kako je to izraženo u činjenicama, navedenim u tački 3. Ovo nam govori o tome, da su primeri definisani u tački 2, a koje se odnose na naša istraživanja, potvrda navedene konstatacije.

5. ZAKLJUČCI

Kada danas govorimo o QM teoriji i praksi, u svetu i kod nas, možemo konstatovati sledeće: (a) kvalitet i održivi razvoj su osnovne paradigme poslovanja u razvijenim zemljama, u prvoj dekadi novog milenijuma, i (b) naša zemlja ima sve preduslove da u ovoj oblasti uradi mnogo, ali preduslov za to su intezivne intezivne aktivnosti na menjanju stanja, definisane kao paradigme u tački 3. JUSK sa svojim aktivnostima ima lidersku ulogu u ovim procesima, što i ostvaruje u jednom dužem periodu. Ovaj rad predstavlja deo istraživanja na projektima (QM praksa i primena EU direktiva) koja podražava Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

6. REFERENCE

- [1] Dokin, R., Re – Defining What Quality Means, EOQ Journal "Made in Europe", Issue 1, pp. 4-8, 2004.
- [2] Noray, B., Quality For the 21st Century, EOQ Journal "Made in Europe", Issue 1, pp. 9 - 13, 2004.
- [3] Peters, T., Excelling in a New Management Epoch, EOQ Journal "Made in Europe", Issue 1, pp. 19-23, 2004.
- [4] Dale, B., Managing Quality, Blackwell Publishing Ltd, MA, 2003.
- [5] Ivanović, M., Majstorović, V., Research on the Quality Management Level in the certified organisations in our country, Balkans Conference on Quality" The Balkans as a region of quality", Proceedings, pp. 12- 16, Belgrade, 2005.
- [6] Handy, Ch., 1993, Understanding Organisation, Penguin Books, New York.
- [7] Lee, T., Shiba, Sh., Wood, R., 1999, Integrated Management Systems, John Wiley & Sons, New York.
- [8] Lonen, J., 1994, Reengineering the Organization, ASQC, Quality Press, Milwaukee.
- [9] Ivanović, M., Majstorovic, V., Model developed for the assessment of quality management level in manufacturing systems, The TQM Magazine, Vol.18 No. 4, pp. 410-418, 2006.
- [10] Rocha, M., Searcy, C., Karapetrovic, S., Integrating Sustainable Development into Existing Management Systems, Total Quality Management, Vol. 18, Nos. 1-2, 83-92, January-March 2007.
- [11] Qun, W., Yinluo, W., Multi-Dimension Dynamic Testing of Multi-Hierarchy Man-Power and its Expert System of Group Optimization, Computers ind. Engng, Vol.31, No. 3/4, pp. 707- 712, 1996.
- [12] Ismail, M., et all, Quality Management in the Manufacturing Industry: Practice vs Performance, Computers ind. Engng Vol. 35, Nos 3-4, pp. 519-522, 1998.
- [13] Kusiak, A., Zakarian, A., Process analysis and reengineering, Computers & Industrial Engineering, 41 (2001), 135-150.
- [14] Chan, K., Spedding, T., An integrated multidimensional process improvement methodology for manufacturing systems, Computers & Industrial Engineering, 44 (2003), 673-693.
- [15] Franceschini, F., et all, The Condition of Uniqueness in Manufacturing Process Representation by Performance/Quality Indicators, Qual. Reliab. Engng. Int. 2006; 22:567-580.
- [16] Brombacher, A., Quality Control in the 21st Century: What Do We Need After SPC?, Qual. Reliab. Engng. Int. 2006; 22:731-732.
- [17] Johansson, P., Variation Mode and Effect Analysis: a Practical Tool for Quality Improvement, Qual. Reliab. Engng. Int. 2006; 22:865-876.
- [18] Nadeb, C., Jacob, U., A case-based reasoning approach towards learning from experience connecting design and shop floor, Computers in Industry 33 (1997) 127-137.
- [19] Rajala, N., Savolainen, T., Jagdev, H., Exploration methods in business process re-engineering, Computers in Industry 33 (1997) 367-385.
- [20] Gingele, J., Childe, J., Miles, M., A modelling technique for reengineering business processes controlled by ISO 9001, Computers in Industry 49 (2002) 235-251.
- [21] Tan, W., Shen, W., Zhao, J., A methodology for dynamic enterprise process performance evaluation, Computers in Industry 58 (2007) 474-485.
- [22] Srdoc, A., Bratko, I., Sluga, A., Machine learning applied to quality management - A study in ship repair domain, Computers in Industry 58 (2007) 464-473.
- [23] Tang, X., Yun, H., Data model for quality in product lifecycle, Computers in Industry 59 (2008) 167-179.
- [24] Guh, R., Shiue, Y., An effective application of decision tree learning for on-line detection of mean shifts in multivariate control charts, Computers & Industrial Engineering (2008), doi:10.1016/j.cie.2008.01.013.
- [25] Tsacle, G., Aly, N., An Expert System Model for Implementation Statistical Process Control in the Health Care Industry, Computers ind. Engng Vol. 31, No. 1/2,

pp. 447 - 450, 1996.

- [26] Kang, B., Park, S., Integrated machine learning approaches for complementing statistical process control procedures, *Decision Support Systems* 29 2000 59–72.
- [27] Ament, C., Gochl, G., A Process Oriented Approach to Automated Quality Control, Department of Measurement and Control, University of Bremen, Bremen, 2002.
- [28] Hosni, Y., et al, Knowledge Based Quality System in Support of Space Shuttle Operations, *Computers ind. Engng*, Vol. 31, No. 3/4, pp. 767 - 773, 1996.
- [29] Lyu, J., Chen, M., Automated visual inspection expert system for multivariate statistical process control chart, *Expert Systems with Applications* (2008), doi:10.1016/j.eswa.2008.06.047.
- [30] Linderman, K., Integrating quality management practices with knowledge creation processes, *Journal of Operations Management* 22 (2004) 589–607.
- [31] Cheng, E., Li, H., Analytic Hierarchy Process, *Measuring Business Excellence*, 5, 3, 2001, pp. 30-36.
- [32] Motwani, J., Measuring Critical Factors of TQM, *Measuring Business Excellence*, 5, 2, 2001, pp. 27 - 30.
- [33] Paranjape, B., et al, Performance measurement systems: successes, failures and future – a review, *Measuring Business Excellence*, Vol. 10, No. 3 2006, pp. 4-14.
- [34] Forker, L., et al, Total quality management in the supply chain: what is its impact on performance?, *Inter. jour. prod. res.*, 1997, vol. 35, no. 6, 1681 – 1701.
- [35] Wiele, T., Brown, A., Quality management over a decade, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 19 No. 5, 2002, pp. 508-523.
- [36] Lagrosen, S., Lagrosen, Y., Quality configurations: a contingency approach to quality management, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 20 No. 7, 2003, pp. 759-773.
- [37] Wang, C., Pervaiz, A., Energizing Organization, *Measuring Business Excellence*, 5, 4, 2001, pp. 22 - 27.
- [38] Edgeman, R., BEST Business Excellence, *Measuring Business Excellence*, 4, 4, 2001, pp. 15 - 17.
- [39] Forman, B., et al, Qualite, Securite, Environment, AFNOR, Paris, 2008.
- [40] Duret, D., Pillet, M., Qualite en Production, Eyrolles, Paris, 2008.

Autor: Prof. dr Vidosav D. Majstorović, Mašinski fakultet, Beograd.

E-mail: majnem@EUnet.yu

Brzaković, R., Marjanović, Z.

PRIMENA SOFTVERA GPSS NA UPRAVLJANJE PROIZVODNOM

Rezime: Ovaj rad predstavlja pokušaj da se kroz konkretne primere ukaže na mogućnost upotrebe softvera GPSS u upravljanju proizvodnjom. Prvi primer se odnosi na praćenje finalnog proizvoda i detekciju škarta, a drugi na praćenje rada mašine i računanje stepana iskorišćenost. Primeri su realizovani kroz modeliranje realnog sistema i simulaciju u GPSS-u.

Ključne reči: GPSS, simulacija, modeliranje, proces

IMPLEMENTATION OF GPSS SOFTWARE IN PRODUCTION MANAGEMENT

Abstract: This paper represents an attempt of implementation GPSS software in production management by actual samples. The first example refers in a way of using GPSS software in a final production monitoring and garbage detection. The second one refers to monitoring of machine function and efficiency calculation. Illustrations are implemented by real system modelling and GPSS simulation.

Key words: GPSS, simulation, modelling, process

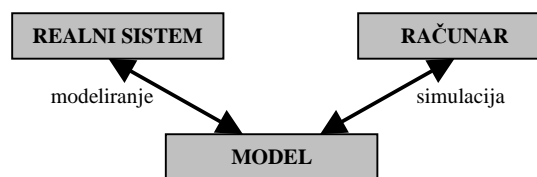
1. UVOD

Modeliranje izražava našu sposobnost da mislimo i zamišljamo, da koristimo simbole i jezike, da komuniciramo, da vršimo generalizacije na osnovu iskustva, da se suočavamo sa neočekivanim. Ono nam omogućava da uočavamo obrasce, da procenjujemo i predviđamo, da upravljamo procesima i objektima, da izlažemo značenje i cilj. Upravo zato, modeliranje se najčešće posmatra kao najznačajnije konceptualno sredstvo koje čoveku stoji na raspolaganju.[1] U najširem smislu, modeliranje predstavlja isplativo korišćenje nečeg (modela) umesto nečeg drugog (realni sistem) sa ciljem da se dode do određenog saznanja. Rezultat modeliranja je model. Model je uprošćena i idealizovana slika realnosti. On omogućava da se suočimo sa realnim svetom (sistemom) na pojednostavljen način, izbegavajući njegovu kompleksnost i ireverzibilnost, kao i sve opasnosti koje mogu proistići iz eksperimenta nad samim realnim sistemom. Cilj modela je da uobliči na vidljiv, često formalan način, ono što je suštinsko za razumevanje nekog aspekta njegove strukture ili ponašanja [2]. Pod simulacijom, računarski stručnjaci, organizatori, menadžeri ili statističari, podrazumevaju proces izgradnje apstraktnih modela za neke sisteme ili podsisteme realnog sveta i obavljanje većeg broja eksperimenata nad njima. Posebno nas interesuje slučaj kada se ti eksperimenti odvijaju na računaru -računarsko modeliranje i simulacija.

2. MODELIRANJE I SIMULACIJA

Savremeno modeliranje nezamislivo je bez računara. U modeliranju, računari se koriste u dva cilja: u razvoju modela i u izvođenju proračuna na osnovu stvorenog modela. Na taj način, modeliranje pomoću računara postaje disciplina kojom se mogu adekvatno i efikasno prikazivati složeni sistemi i oblikovati i ispitivati njihovo ponašanje.

Izraz modeliranje i simulacija izražava složenu aktivnost koja uključuje tri elementa: realni sistem, model i računar (slika 1).[2]

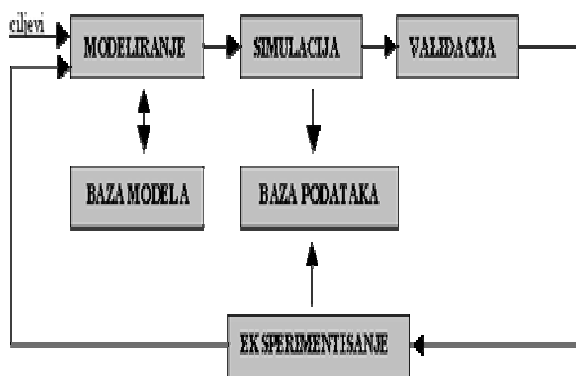


Slika 1. Relacije modeliranja i simulacije

Pod realnim sistemom podrazumevamo uređen, međuzavisan skup elemenata koji formiraju jedinstvenu celinu i deluju zajednički kako bi ostvarili zadati cilj ili funkciju, bez obzira da li se radi o prirodnom ili veštačkom sistemu, i takođe, bez obzira da li taj sistem u posmatranom trenutku postoji ili se njegovo postojanje planira u budućnosti. Model, kao i svaki realni sistem, ima svoje objekte koji se opisuju atributima ili promenljivim. On je apstraktni prikaz sistema i daje njegovu strukturu, njegove komponente i njihovo uzajamno delovanje. Računar kao treća komponenta ove aktivnosti, predstavlja uređaj sposoban za izvršenje instrukcija modela, koji na bazi ulaznih podataka generiše razvoj modela u vremenu.

Međutim, pored ovih elementa, pažnju treba usmeriti i na otkrivanje i definisanje relacija koje postoje između njih. Modeliranje je proces kojim se uspostavlja veza između realnog sistema i modela, dok je simulacija proces koji uspostavlja relaciju između modela i računara (slika 1).

Na slici 2 su prikazane aktivnosti procesa modeliranja i simulacije sa bazom modela kao centralnim objektom. Procesom modeliranja se upravlja na osnovu ciljeva koji se generišu van granica sistema. Svaki novi cilj inicira aktivnost sinteze modela. Pri sintezi modela se koristi raspoloživo znanje iz baze modela i baze podataka. Ove baze čuvaju i organizuju prikupljene podatke o realnom sistemu. Faze simulacije (eksperimentisanje sa modelom) i validacije slede fazu izgradnje modela.[2].



Slika 2. Proces modeliranja i simulacije

Relacija modeliranja odnosi se na validnost modela. Validnost ili valjanost modela opisuje koliko verno jedan model predstavlja simulirani sistem. Proces utvrđivanja stepena slaganja podataka o realnom sistemu sa podacima modela naziva se validacija modela. Proces validacije je veoma značajan, jer se na osnovu njega donose odluke o upotrebljivosti rezultata simulacije, izmeni modela, izmeni ulaznih promenljivih, daljem nastavku simulacije, ponavljanju simulacije, itd.

Relacija simulacije odnosi se na proveru da li simulacioni program verno prenosi model na računar kao i tačnost kojom računar izvršava instrukcije modela. Pre poređenja stvarnih podataka sa podacima koje generiše računar, mora se utvrditi tačnost, odnosno korektnost računara. Proces procene korektnosti simulatora naziva se verifikacija. Validacija vodi novom eksperimentisanju nad realnim sistemom i može da zahteva dodatne modifikacije ili čak odbacivanje i reinicijalizaciju prvobitnog modela. U tom procesu, kao rezultat nedostatka podataka u bazi znanja mogu se formulisati novi ili izmeniti postojeći ciljevi. Na kraju, kao rezultat javlja se jedan ili više modela koji vode ka ispunjenju eksternih ciljeva. Modeli se mogu memorisati u bazi modela i koristiti u nekoj narednoj fazi aktivnosti.

3. SIMULACIJA U JEZIKU GPSS

GPSS (General Purpose Simulation System) predstavlja interpreterski jezik za simulaciju diskretnih - stohastičkih sistema. Koristi se u slučajevima kada matematička ili statistička analiza nije moguća ili ne daje zadovoljavajuće rezultate. Prvu verziju ovog jezika GPSS-I razvio je Geoffrey Gordon još daleke 1961.god. za tadašnje računare IBM-704 i IBM-709. Od tada je GPSS pretrpeo mnoga poboljšanja tako da je sada u upotrebi poslednja verzija ovog jezika GPSS-V koju isporučuje IBM. Takođe postoje verzije drugih proizvođača softvera kao što su GPSS/66 (Honeywell Series 60 level 66) i GPSS/UCC (Univesity Computing Corporation's) kao i verzije drugih nezavisnih proizvođača softvera[3].

3.1 Osobine GPSS jezika

GPSS je simulacioni sistem u kome se na jednostavan način pomoću naredbi ugrađenog jezika specificira struktura modela i vrši simulacija. Po završenoj simulaciji na raspolaganju su statistički pokazatelji o ponašanju modela u toku simulacije.

U toku simulacije, simulacioni sat (Clock) zadat standardnim numeričkim atributom C1, kao i većina standardnih numeričkih atributa uzimaju samo celobrojne (diskretne) vrednosti.

GPSS je jezik orjentisan na procese. Program u GPSS jeziku komponuje se kao skup opisa procesa u obliku delova programa koji specificiraju redosled aktivnosti i operacije koje se njihovim izvođenjem vrše nad atributima objekata modela.

Objekti modela mogu biti statički i dinamički. Jedini dinamički objekat u GPSS-u je transakcija. Program u GPSS-u sastoji se od niza statičkih objekata koji se nazivaju blokovi, kroz koje se u toku simulacije "kreću" transakcije. Statički entiteti mogu biti redovi, tabele, skladista, uređaji itd.

Transakcije generiše blok GENERATE. Kretanje transakcije kroz model predstavlja se pomoću odgovarajućih simbola blok dijagrama modela. Transakcija se kreće kroz model sve dok ne naiđe na blok koji nema uslova da je primi ili ne naiđe na blok TERMINATE koji uklanja transakciju iz modela. Ukoliko neki blok u modelu ne može da primi transakciju tada transakcija čeka da se ispuni uslov daljeg kretanja kroz model. Pri prolazu transakcije kroz jedan blok modela izvršavaju se odgovarajuće blok procedure koje menjaju pojedine attribute objekata i time utiču na okruženje modela.

3.1.1 Vrste naredbi u GPSS-u

Naredbe simulacionog programa mogu da budu:

- Deklaracione naredbe,
- Blok naredbe i
- Kontrolne naredbe.

Deklaracionim naredbama programa definišu se atributi pojedinih permanentnih entiteta u programu. Blok naredbe čine osnovu modela sistema koji se simulira dok kontrolne naredbe služe za kontrolu izvršenja simulacije.

Trajanje simulacije može biti fiksno i određeno je tzv. tajmerom koji čini par GENERATE i TERMINATE naredbi ili ograničeno brojem transakcija koje su prošle kroz model što se kontroliše pogodnom upotrebom START i TERMINATE naredbi.

Blok naredbe programa služe za specifikaciju modela koji se simulira. Model se sastoji od niza blok naredbi. Model se radi lakšeg razumevanja predstavlja u obliku blok dijagrama u kojem za svaki blok modela postoji određeni simbol. Blok naredba se izvršava kada transakcija prilikom kretanja kroz model naiđe na blok. Efekat izvršena blok naredbe na entitete modela zavisi od prirode specificirane naredbe. Kontrolne naredbe služe za kontrolu izvršenja simulacije kao i eventualni uticaj na statistiku o ponašanju entiteta u toku simulacije. To su naredbe SIMULATE, START, RESET i CLEAR.

4. REALIZOVANI PRIMERI SIMULACIJE

U ovom delu rada izložićemo primere za koje je uradjena simulacija, kao i rezultate i dobijene zaključke posle simulacije.

Primer1. Primenom simulacije u GPSS-u želeli smo da utvrdimo procenat škarta uz prvobitni zahtev da on ne sme biti veći od 6%. Ukoliko se utvrdi da je škart veći od 6% pristupa se merama za njegovo smanjenje. Polazimo od podatak da mašina proizvodi deo svakih 10 minuta i da je vreme pregleda (kontrole kvaliteta) 5 ± 1 . Simulira se proces pregleda 1000 delova, a za vremensku jedinicu se uzima 1 minut.

Odgovarajući GPSS program izgleda ovako:

SIMULATE Vršiti se simulacija
GENERATE 10 Mašina proizvodi delove svakih 10 vj.

ADVANCE 5,1 Kontrola kvaliteta 5±1 min.
TRANSFER .06,,ODB Kontrolori kvaliteta vrše kontrolu
TERMINATE 1 Ispravni delovi se uklanjaju iz modela
ODB TERMINATE 1 Odbačeni delovi se uklanjaju iz
modela
START 1000 Startovanje simulatora TB = 1000
END Fizički kraj simulacionog programa

Rezultati simulacije, za ovaj primer su :

Relative clock	10004	Absolute clock	10004
Block counts	Block Current	Total	
1	0	1000	
2	0	1000	
3	0	1000	
4	0	946	
5	0	54	

Simulacija je trajala 10004 v.j. odnosno 10004 minuta, što je razumljivo, jer proizvodnja svakog komada traje 10 minuta, odnosno 1000 komada 10000 minuta. Vreme pregleda varira od 4-6 minuta, a u našem slučaju generator slučajnih brojeva (GSB) je odredio da pregled poslednjeg komada traje 4 minuta, pa ukupno vreme simulacije iznosi 10004(10000 + 4) minuta. Za 4 minuta nije proizveden nijedan novi proizvod, što znači da je kroz blokove 1, 2 i 3 prošlo po 1000 proizvoda (transakcija), od čega 946 ispravnih, a 54 neispravna. Ovakav odnos ispravnih i neispravnih proizvoda pokazuje da je procenat škarta dobijen simulacijom (5.4%) manji od polaznog zahteva od 6%. Pošto je procenat škarta u očekivanim granicama nema potrebe za naknadnim analizama uzroka povećanog škarta. Da je procenat škarta bio veći od očekivanog vršile bi se analize komponenti koje učestvuju u finalnom proizvodu, mašine (u istim uslovima simulacija bi bila urađena na drugoj mašini) i svih ostalih relevantnih faktora.

Primer2. Posmatramo rad jedne mašine za obradu. Dolasci delova za obradu su puasonovski sa srednjim vremenom između dolazaka od 150 s. Vreme obrade je eksponencijalno raspoređeno sa srednjom vrednošću od 120s. Kada deo dodje ukoliko je mašina zauzeta on staje u red. Ispitujemo karakteristike vezane za red i mašinu. Simuliramo vremenski period od 8 sati, a za vremensku jedinicu uzimamo 1 s.

Odgovarajući GPSS program izgleda ovako:

```
*
SIMULATE
*
EXPO FUNCTION RN3,C24 Eksponencijalna raspodela
0,0/.1,,104/.2,,222/.3,,355/.4,,509/.5,,69/.6,,915/.7,1.2/
.75,1.38/.8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/
.95,2.99/.96,3.2/0.97,3.5/0.98,3.9/0.99,4.6/0.995,5.3/
0.998,6.2/0.999,7/0.9998,8
*
GENERATE 150,FN$EXPO Dolazak dela
QUEUE 1 Deo pristupa redu
SEIZE 1 Deo ulazi u mašinu
DEPART 1 Deo napušta red
ADVANCE 120,FN$EXPO Trajanje obrade
RELEASE 1 Deo oslobađa mašinu
TERMINATE Deo napušta sistem
*
* SEGMENT TAJMERA
*
GENERATE 28800 Generisanje Tajmera
TERMINATE 1 Umanji TB za 1
START 1 Početak simulacije
END Kraj simulacije
```

Rezultati simulacije, za ovaj primer su :

Relative clock	28800	Absolute clock	28800
Block counts	Block Current	Total	
1	0	187	
2	8	187	
3	0	179	
4	0	179	
5	1	179	
6	0	178	
7	0	178	
8	0	1	
9	0	1	

Queue	Max. contents	Average contents	Total entries	Zero entries	Percent zeros	Average time/trans	Current contents
1	11	1.906	187	41	21.925	293.545	8

Facility	Average utilisation	Number entries	Average time/trans	Seizing transact.	Preempting transaction
1	0.789	179	127.607	1	0

U ovom slučaju je program napisan korišćenjem istog toka pseudoslučajnih brojeva RN3.

Na osnovu dobijenih rezultata uočavamo da je:

-Broj ulazaka u red =187
-Broj ulazaka u red bez zadržavanja=41
-Prosečni sadržaj reda=1.906
-Prosečno zadržavanje u redu=293.545

-Prosečna iskorišćenost mašine =0.789
-Broj ulazaka u mašinu =179
-Prosečno zadržavanje u mašini (obrada)=127.607

Dolasci delova i trajanje obrade su slučajne promenljive. Eksperimentisanje sa modelom najverovatnije će uključiti ispitivanje efekata promenljivog iznosa dolazaka, vremena obrade, ili oba. Ako su obe slučajne promenljive generisane korišćenjem istog toka pseudoslučajnih brojeva, tada će promena bilo koje od njih uneti promenu kod obe slučajne promenljive. Zbog toga što se isti tok slučajnih brojeva koristi za uzimanje dva tipa uzoraka, promena kod iznosa dolazaka ili kod vremena obrade uticaće na proces uzimanja uzoraka za obe slučajne promenljive. Ako ovaj primer uradimo uz upotrebu dva toka nezavisnih pseudoslučajnih brojeva (na primer, RN3 i RN7) dobićemo verodostojnije rezultate. U tom slučaju, iznos dolazaka i vreme obrade mogu se menjati nezavisno jedno od drugog. Time se omogućava eksperimentisanje sa sistemom koji se modelira na adekvatniji način. U tom slučaju program bi izgledao ovako:

```
*
SIMULATE
*
EXPO1 FUNCTION RN3,C24 Eksponencijalna raspodela
0,0/.1,,104/.2,,222/.3,,355/.4,,509/.5,,69/.6,,915/.7,1.2/
.75,1.38/.8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/
.95,2.99/.96,3.2/0.97,3.5/0.98,3.9/0.99,4.6/0.995,5.3/
0.998,6.2/0.999,7/0.9998,8
*
EXPO2 FUNCTION RN7,C24 Eksponencijalna raspodela
0,0/.1,,104/.2,,222/.3,,355/.4,,509/.5,,69/.6,,915/.7,1.2/
.75,1.38/.8,1.6/.84,1.83/.88,2.12/.9,2.3/.92,2.52/.94,2.81/
.95,2.99/.96,3.2/0.97,3.5/0.98,3.9/0.99,4.6/0.995,5.3/
0.998,6.2/0.999,7/0.9998,8
*
GENERATE 150,FN$EXPO Dolazak dela
QUEUE 1 Deo pristupa redu
SEIZE 1 Deo ulazi u mašinu
```

```

DEPART 1 Deo napušta red
ADVANCE 120,FN$EXPO Trajanje obrade
RELEASE 1 Deo oslobađa mašinu
TERMINATE Deo napušta sistem
*
* SEGMENT TAJMERA
*
GENERATE 28800 Generisanje Tajmera
TERMINATE 1 Umanji TB za 1
START 1 Početak simulacije
END Kraj simulacije

```

Sa ovim promenama dobijamo sledeće rezultate simulacije:

Relative clock	28800	Absolute clock	28800
Block counts	Block Current	Total	
1	0	190	
2	0	190	
3	0	190	
4	0	190	
5	1	190	
6	0	189	
7	0	189	
8	0	1	
9	0	1	
Queue Max. Average	Total	Zero Percent	Average Current
contents contents	entries	entries	zeros time/trans
1 7 1.305	190	49 25.789	197.237 0
Facility Average	Number	Average Seizing	Preempting
utilisation entries	time/tran	transact.	transaction
1 0.764	190	116.095	1 0

Uporedjivanjem rezultata u oba slučaja mogu se uočiti znatne razlike, što ukazuje na značajnu statističku zavisnost kod uzimanja uzoraka u prvom slučaju.

5. ZAKLJUČAK

Potreba za simulacijom se može opisati na sledeći način:

- ✦ Eksperiment nad realnim sistemom je neizvodljiv, skup ili suviše složen.
- ✦ Stvaranje uslova pod kojima nastupa razaranje sistema.
- ✦ Sistem je suviše složen da bi se opisao analitički.
- ✦ Analitički model nema analitičko rešenje.
- ✦ Shvatanje funkcionisanja postojećeg sistema.

- ✦ Promena parametara modela.
- ✦ Faktor - vreme.
- ✦ Nema grešaka pri merenju.
- ✦ Moguće je zaustaviti odvijanje eksperimenta, kako bi se analizirale vrednosti stanja u tom trenutku[4]. Imajući u vidu rezultate dobijene kroz realizovane primere, kao i zaključke i mere koje se na osnovu rezultata mogu doneti i primeniti očigledna je korist od primene navedenog softvera. Pored urađenih primera ovaj softver se može primeniti i na niz drugih sistema i situacija. **GPSS** izmedju ostalog omogućava i rad sa memorijskim lokacijama, aritmetičkim izrazima, korisničkim redovima, kao i definisanje različitih funkcija, indirektno adresiranje, zadavanje parametara transakcijama, i drugo. U cilju numeričke obrade koju zahtevaju složeniji modeli, **GPSS** procesor omogućuje pristup raznim internim varijablama simulatora, atributima transakcija i permanentnih entiteta, koje zajednički nazivamo standardnim numeričkim atributima (SNA)[5].

6. LITERATURA

- [1] Radenković B., Stanojević M., Marković A.: *Računarska simulacija*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 1999.
- [2] Janković A.: *Skripta iz predmeta Modeliranje i Analiza sistema*, Centar za interdisciplinarne i multidisciplinarne studije i istraživanja, Kragujevac, 2005.
- [3] Radenković B.: *Simulacija i simulacioni jezici-skripta*, FON, 1991.
- [4] Janković A.: *Modeliranje i Modeli*, Power Point prezentacija, Centar za interdisciplinarne i multidisciplinarne studije i istraživanja, Kragujevac, 2005.
- [5] http://www.simlab.fon.bg.ac.yu/Download/Simulacija_u_poslovnomodlucivanju/Knjiga/knjiga.zip
- [6] Aburdene, M. F.: *Computer Simulation of Dynamic Systems*, Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, Iowa, 1988
- [7] Altman, D. : *Osnovi teorije diskretnog modeliranja i simulacije*, Marketing Iskra Delta, 1982

Autori: dipl. Ing. Brzaković Radomir, Zastava automobili – PJ Informacioni sistemi, Kragujevac, dipl. Ing. Marjanović Zoran, Zastava automobili – DRA Istraživačko-razvojni centar, Trg Topolivaca 4, Kragujevac
E-mail: brzijax@yahoo.com

Đapić, M., Lukić, Lj.

INTEGRISANI POSLOVNI PROCESI - KLJUČ INTEGRACIJE SISTEMA MENADŽMENTA

Rezime: Razvoj i implementacija različitih modela (standarda) sistema menadžmenta (MSS) kao što su ISO 9001, 14001, 27001, 20000, 22001, OHSAS 18001 nametnula je probleme u njihovoj integriranoj implementaciji. Integraciju sistema moguće je izvesti na nivou sistema (sistemskom), nivou poslovno/proizvodnih procesa (procesnom) i na nivou aktivnosti (operativnom). Sledeći to u radu će preko sistemskog nivoa biti dat model integracije na nivou poslovno/proizvodnih procesa. Daje se opšti model poslovno/proizvodnog procesa koji je prikazan kao slojevita hijerarhijska struktura u kojoj je moguće implementirati zahtevi različitih standarda sistema menadžmenta.

Ključne reči: Sistemi menadžmenta, IMS, Integrirani poslovni procesi

INTEGRATED BUSINESS PROCESSES THE KEY TO THE MANAGEMENT SYSTEM INTEGRATION

Abstract: Many organizations encounter the problem of development and implementation of Integrated Management System (IMS), based on management system standards (MSS) such as ISO 9001, 14001, 27001, 22000, OHSAS 18001. Integration different MSS is possible establish on the system level, on the level of business processes and on the operation or on the level of base activities. Beyond system level, in this paper will be presented model for integration requirements of MSS on the business process level. We give general model of business process which is represented as a multi level hierarchical structure in which is possible incorporated different MSS requirements.

Key words: Management System, IMS, Integrated business processes

1. UVOD

Međunarodna organizacija za standardizaciju – ISO teži da, na bazi najboljih svetskih iskustava, razvije ISO – standarde u različitim oblastima ljudske delatnosti koji će obezbediti sporazumevanje, kooperaciju i bržu komunikaciju na globalnom tržištu.

Mnoge organizacije pokušavaju da razviju i implementiraju integrirani sistem menadžmenta (IMS) koji će zadovoljiti zahteve standarda ISO 9001, ISO 14001 i OHSAS 18001, ISO/IEC 27001 itd. Ono što je sada njima potrebno je jasna struktura novog sistema i redosled akcija koji će im omogućiti sertifikaciju bez većih problema.

Sličnost u okviru i strukturi standarda ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 ISO/IEC 27001 itd. ukazuje da je ovu integraciju moguće izvesti. Ovome je sigurno doprinela međunarodna organizacija za standardizaciju ISO koja je na predlog holandskog instituta za standardizaciju još 1998. godine definisala početnu specifikaciju ISO Uputstva 72 - *Guide on justification and drafting of management system standards*, koje je usvojeno 2001 godine. Namena ISO Uputstva 72 je da unapredi međusobne veze između različitih komiteta u okviru ISO-a koji razvijaju standarde za sisteme menadžmenta i poslovnog okruženja gde se ovi standardi implementiraju kao i da obezbedi optimalno korišćenje resursa za razvoj standarde za kojima postoje jasno izraženi tržišni zahtevi (De Grood, Hortensius, 2002).

Organizacije koje počinju rad na integraciji različitih sistema menadžmenta obično imaju razvijen i implementiran jedan ili dva sistema. Najčešće je to QMS po zahtevima ISO9001 ili EMS po zahtevima ISO14001. Ovi sistemi su razvijeni u različitim vremenskim intervalima sa različitim setom dokumenata.

Osim toga, na tržištu (u poslovnom okruženju) gde se ovi sistemi implementiraju postoji dosta konfuzije šta stvarno

konstituiše integrirani sistem menadžmenta. Ovo je bio osnovni razlog zašto je u BSI-ju razvijena nova specifikacija za integraciju sistema menadžmenta koja je nazvana PAS 99:2006 (Wang 2008).

U cilju da pomognu organizacijama koje kreću u ovaj poduhvat, u ovom radu je predstavljeno i objašnjeno nekoliko ključnih definicija koje će sigurno olakšati ovaj posao. Takođe je pokazano kako orijentacija na poslovne procese predstavlja ključ za integraciju, odnosno, kako poslovni procesi predstavljaju noseći element integracije.

2. INTEGRISANI SISTEMI MENADŽMENTA

Integrirani sistem menadžmenta predstavlja realnost sa kojom je suočeno najviše rukovodstvo svake organizacije ili svaki "vlasnik" procesa. Može se tvrditi i da svaka organizacija ima neki oblik integrisanog sistema menadžmenta, jer uprava i izvršno rukovodstvo (top-menadžment) imaju obavezu da primenjuju zakonske i druge nacionalne propise koji se odnose na zadovoljavanje zahteva "zainteresovanih strana": društva, vlasnika, zaposlenih, kupaca, isporučilaca i drugih. Treba postaviti pitanje – koliko je takav IMS formalizovan (dokumentovan), efikasan i efektivan, tako da rukovodstvu daje mogućnost uvida u sve delove poslovnog sistema kako bi blagovremeno mogle da se donose poslovne odluke na bazi činjenica? Posedovanje sertifikata za sistem menadžmenta kvalitetom, ISO 9001:2000, svedoči samo (po pravilu) da organizacija uspešno upravlja procesima od značaja za kvalitet proizvoda, međutim, sertifikat QMS ne mora da znači i zadovoljenje zahteva ostalih zainteresovanih strana.

Brzi razvoj i širenje uticaja serije standarda ISO 9000 uticali su na pojavu drugih standarda za oblast menadžmenta kao što su zaštita okoline (ISO 14000) zaštita i bezbednost

ljudi (OHSAS 18000) sigurnost informacija (ISO/IEC 27001) informacione tehnologije (ISO 2000) itd. U fazi pripreme se nalaze i nove serije standarda za druge sisteme menadžmenta (za zdravstvenu zaštitu i bezbednost na radu – ISO 18000, rizik – ISO 31000, finansije – ISO/TR 10014 i dr.), kojima se utvrđuju parcijalni zahtevi za pojedine oblasti menadžmenta, a koji će biti međusobno komplementarni.

Pojava ISO 14000 standarda i razvoj sistema menadžmenta za zaštitu životne sredine po ovom standardu uslovlila je njegovu integraciju sa QMS-om. Kada se to dogodilo (u drugoj polovini prošle dekade), istraživači i praktičari su se susreli sa problemom integracije ovih sistema.

Ovaj problem dobija na značaju kasnijih godina kada se pojavila čitava serija novih menadžment sistema od kojih su neki nabrojani napred. Istraživači i praktičari suočili su se sa dva ključna problema. To su:

1. Šta znači "integracija" menadžment sistema, kako je definisati?
2. Kako ovu integraciju izvesti, kako je implementirati, meriti i na kraju unaprediti?

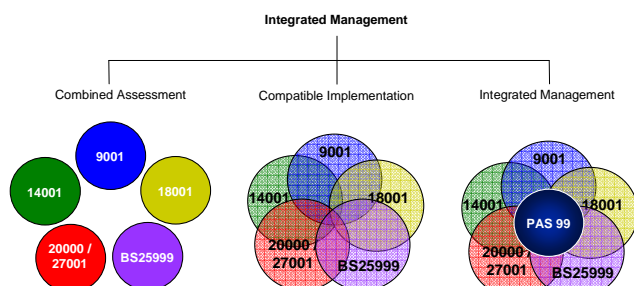
U literaturi na engleskom jeziku može se naći dosta različitih odgovora na ova pitanja. Ove teme su vrlo često obrađivane u časopisima kao što je Quality World, Quality Progress i TQM Magazine.

2.1 Integracija, povezivanje i kompatibilnost različitih standarda sistema menadžmenta

Uvođenje novog pojma u poslovnu praksu neminovno nameće potrebu njegovog definisanja. Osnovni razlog je dobra i jednoznačna komunikacija između istraživača i praktičara.

Kada se govori o integrisanim sistemima menadžmenta, (IMS) nameće se potreba za definisanjem pojma, "integrisani", onako kako se najčešće koristi u standardizaciji i sistemskom pristupu u menadžmetu. Kao odlična podloga za ovo može da posluži studija MacGregor Associates iz 1996. godine. U ovoj studiji se ističe neophodnost preciznog definisanja "integracije" i "povezivanja" standarda. Integracija se posmatra kao jedinstven suštinski standard najvišeg nivoa menadžmenta sa opcionim modulima koji pokrivaju različite (specifične) zahteve, kao što je PAS 99:2006.

Povezivanje podrazumeva "Paralelne standarde sistema menadžmenta koji su specifikirani za pojedine discipline uz visok nivo jednoobraznosti u strukturi i sadržaju" (slika 2.1)



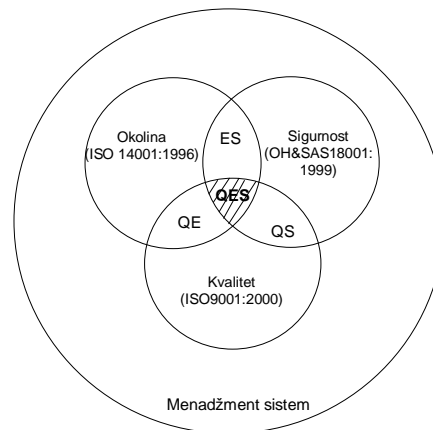
Slika 2.1. Integration and connection different management system standards

Ako hoćemo da impliciramo integraciju menadžmenta onda jezgro menadžment sistema (slika 2.2) mora da pokrije QMS, EMS, OHSMS, ISMS itd., kao i sve buduće standarde koji će biti razvijeni.

U prilog prethodnom, interesantna je preporuka ISO/TAG 12 tehničke grupe, sa zahtevom da serije ISO 9000 i ISO 14000 ne treba spajati već ih načiniti kompatibilnim. Pod kompatibilnošću standarda može da se posmatra "da zajednički elementi standarda mogu da budu implementirani

tako da zadovolje sve standarde u celini ili nekom svom delu, bez nepotrebnog dupliranja ili nametanja zahteva koji su u međusobnoj suprotnosti".

Interesantno viđenje integracije različitih sistema dato je u sistemskom pristupu (Korpatrović&Willborn, 1998.). "Integracija sistema biće ostvarena kada se dva ili više sistema povežu tako da se nezavisnost jednog ili oba sistema izgubi". Integrisanjem treba da se dobije širi, obuhvatniji i snažniji menadžment sistem.



Slika 2.2. Integracija i povezivanje kvaliteta (Q), zaštite okoline (E) i bezbednosti (OHS)

3. POSLOVNI PROCESI KLJUČ ZA INTEGRACIJU SISTEMA MENADŽMENTA

3.1 Šta su to poslovno/proizvodni procesi?

U eri industrijskog društva organizacije su građene na bazi ideje Adama Smita, sa kraja osamnaestog veka, da je svaki rad potrebno razbiti na svoje elementarne zadatke, odnosno aktivnosti. Tako razbijeni zadaci su dodeljivani usko obrazovanim radnicima koji su izdvojeni u različite funkcionalne, odnosno organizacione celine.

Mi se sada nalazimo u postindustrijskom društvu. Osnova izgradnje savremenih organizacija je ideja ponovnog sjedinjavanja elementarnih, bazičnih aktivnosti u jedinstvene poslovne procese.

Cilj je izgradnja takvih procesa koji će maksimalno zadovoljiti zahteve i očekivanja kupca (internih i eksternih) uz istovremeno očuvanje interesa vlasnika organizacije, njenog menadžment tima, zaposlenih, dobavljača i društva.

Svaka organizacija može da se posmatra kao proizvodni sistem, koji se sastoji iz više podsistema. Zavisno od nivoa apstrakcije, podsystemi se mogu posmatrati kao globalni procesi koji se dalje dekomponuju na potprocese, a potprocesi na kraju na aktivnosti. Svaki proces sastoji se iz serije ponavljajućih i međusobno isprepletanijih aktivnosti sa prethodno definisanim ulazima i izlazima, slika 3.1. Procesni imaju attribute efektivnosti i efikasnosti u formi svojih performansi.

Koncept upravljanja sistemom zahteva od procesa povratne informacije neophodne za upravljanje. Procesni menadžment se ostvaruje kroz skup uzajamno povezanih aktivnosti, koje baziraju na jednostavnim principima. Principi su (Đapić 2005):

- Uspostavljanje vlasnika procesa
- Uspostavljanje granica i unutrašnjih međuveza
- Definisanje strukture procesa
- Uspostavljanje kontrolnih tačaka
- Merenje performansi procesa
- Preduzimanje korektivnih mera u slučaju devijacija u procesu

3.2 Poslovni procesi i integracija sistema menadžmenta

Mnoge organizacije koje kreću sa razvojem IMS-a imaju implementiran najmanje jedan menadžment sistem. Problem sa kojim se suočavaju je kako u takvim okolnostima razviti i implementirati integrisani sistem.

Prvi korak koji organizacija mora da uradi je analiza da li postoji poslovno opravdanje za ovakav posao. Važno je razmotriti zahteve svih interesnih strana kao i uticaj novog sistema na njih.

Ako je na prvo pitanje dobijen pozitivan odgovor neophodno je sve isplanirati, odvojiti resurse i potreban budžet za implementaciju IMS-a.

Sledeća ključna stavka je da organizacija odredi gde je sada u odnosu na zahteve svih standarda koji čine obuhvat IMS-a. Važno je utvrditi efikasnost postojećeg menadžment sistema.

Dijagram poslovnih procesa je koristan alat za ovu analizu. Ako nije urađen ranije treba ga uraditi sada. Uz pomoć njega mogu će je utvrditi kako su zahtevi standarda koji čine obuhvat IMS-a implementirani u svim procesima organizacije a naročito u osnovnim procesima. Na ovaj način **poslovni proces postaje noseći element integracije zahteva različitih standarda** (slika 3.1).

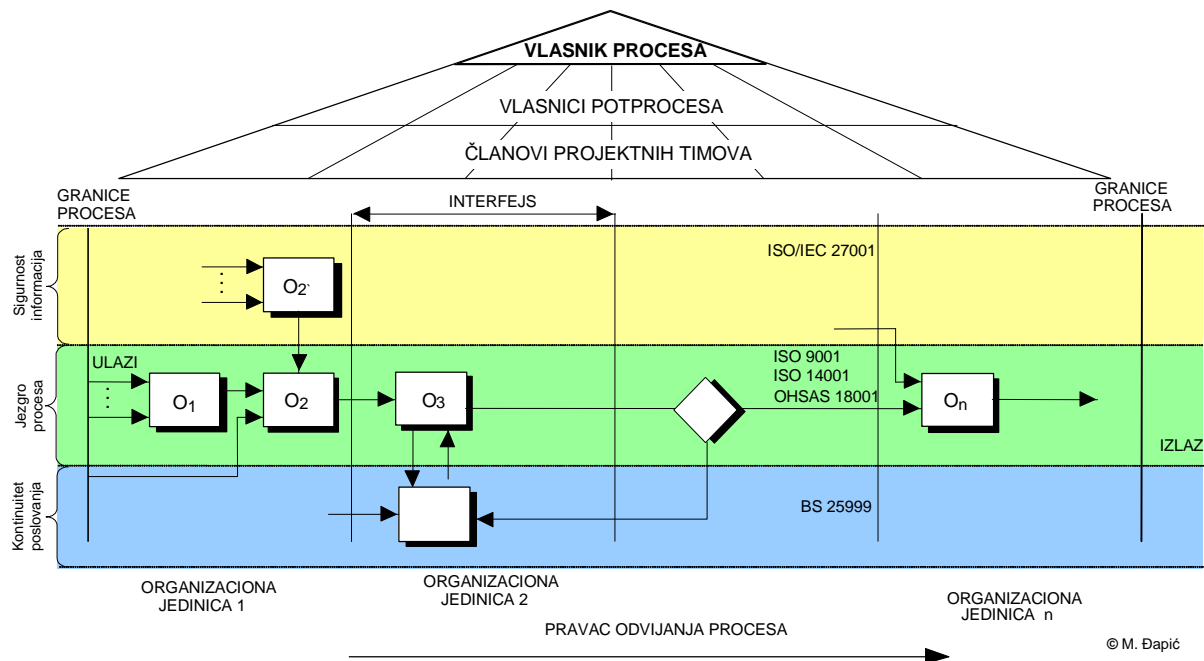
Model ovako definisanih poslovnih procesa ima hijerarhijsku struktur kao što je prikazano na slici 3.1.

Hijerarhijska struktura procesa može da se sastoji uslovno govoreći od tri sloja.

U **centralnom sloju**, koji predstavlja “**jezgro procesa**” su ugrađene sve aktivnosti za koje je proces razvijen i implementiran. Vezano za to u ovom sloju moguće je opcionalno ugraditi zahteve napr. standarda ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO 22001 itd.

U nekom od sledećih slojeva ugrađuju se zahtevi koji se odnose na zaštitu informacionih resurasa kao što su zahtevi standarda ISO/IEC 27001:2005. Ove aktivnosti su pre svega uvedene da bi na adekvatan način zaštitile sve informacione resurse koji su potrebni za adekvatno odvijanje procesa. U ovo je uključeno znanja i sposobnosti zaposlenih, rezultate njihovog rada, zaštita softverskih, hardverskih i mrežnih resursa. Na osnovu prethodnog može se zaključiti da ovaj “**sloj zaštite**” pomaže odvijanju aktivnosti u jezgru procesa štiteći njegove informacione resurse bez kojih ovaj proces ne bi mogao da adekvatni ispunu svoju misiju i dosegnu postavljene ciljeve.

Takođe u jedan od pomoćnih (zaštitnih) slojeva moguće je ugraditi aktivnosti kojima se obezbeđuje nastavak, odnosno kontinuitet poslovnog procesa u slučaju pojave ne predviđenih i štetnih događaja koji su pokriveni sa napr. britanski standardom BS 2599:2005.



uputstva su najčešće rađena bez analize uticaja jednih na druge, a vrlo često su u međusobnom konfliktu. Na taj način mogu dovesti do zabune, naročito kada se sa njima upoznaju novi radnici koji se uključuju u pojedine aktivnosti u procesu.

Zbog toga je korisno identifikovati **strategiju za integraciju ovih zahteva** (Phillips 2002):

- Identifikujte one aktivnosti u procesu proizvodnje koje mogu da utiču na kvalitet, životnu sredinu i zaštitu i bezbednost ljudi.
- Uz pomoć zaposlenih koji su uključeni u proces proizvodnje, razviti i dokumentovati procedure(u) za operativno upravljanje procesom proizvodnje sa radnim uputstvima u kojima su jasno definisani operativni kriterijumi za proizvodnju kvalitetnih proizvoda na bezbedan način uz najmanji uticaj na životnu sredinu.
- Razviti i operativno upravljati procesima kako bi bilo sigurno da su sirovine, delovi u procesu proizvodnje i finalni proizvodi jasno identifikovani.
- Razviti i operativno upravljati procesima za rukovanje, skladištenje, pakovanje i otpremu proizvoda.

Koristi od integracije zahteva su:

- Organizacije koje su integrisale operativno upravljanje procesom proizvodnje imaju veliku podršku zaposlenih.
- Zabuna i konflikti koje međusobno mogu da izazovu kontradiktorni dokument su umanjene.
- Obuka zaposlenih je manje zamorna.
- Najveća korist je što na ovaj način razvijen menadžment sistem pokazuje kako se poslovi odvijaju i vode u organizaciji.

Pri integraciji operativnog upravljanja procesom proizvodnje organizacije moraju izbeći uobičajene klopke. Neke od njih su:

- Zaposleni nisu uključeni u projektovanje procesa i dokumentacije koja pokazuje kako se operativno upravlja njime.
- Stvaranje dugačkih, rasplnutih dokumenata koji se retko čitaju ili koriste.
- Nepridržavanje propisanih procedura odvijanja procesa, kako je definisano u dokumentima naročito od strane menadžmenta.

4. ZAKLJUČAK

Mnoge organizacije koje žele da ispune zahteve za kvalitet, zaštitu okoline i bezbednost i sigurnost ljudi suočavaju se sa problemom kako i na koji način integrisati različite menadžment sisteme. Integracija više sistema u jedan je mnogo efikasnija i ekonomičnija od razvoja i implementacije separatih sistema.

U cilju da pomognu organizacijama koje kreću u ovaj poduhvat u ovom radu je predstavljeno i objašnjeno nekoliko ključnih definicija koje će sigurno olakšati ovaj posao. Takođe je pokazano kako orijentacija na poslovne procese predstavlja ključ za integraciju, odnosno, kako poslovni procesi predstavljaju noseći element integracije.

Dat je opšti model poslovno/proizvodnog procesa koji je prikazan kao slojevita hijerarhijska struktura sa uslovno govoreći tri sloja. U sloj jezgra moguće je implementirati zahteve standarda ISO 90001, 14001, OHSAS 18001 itd. U zaštitnim slojevima implementiraju se zahtevi koji se odnose na zaštitu informacionih resursa i nastavak, odnosno kontinuitet poslovanja (ISO/IEC 27001 i BS 25999).

5. LITERATURA

- [1] Đapić, M., Evidencioni sistemi u razvoju proizvoda i procesa, (Monografija), LOLA Institut, Beograd, 2005.
- [2] Đapić, M., Uzunović, R., Orijentacija na poslovne procese – ključ za integraciju sistema menadžmenta, VII YSQ Konferencija sa međunarodnim učešćem "Razvoj i realizacija nacionalne strategije za unapređenje kvaliteta u Srbiji, Niška Banja, 27. i 28. Mart 2003.
- [3] Djapic, M., Lukic, Lj., Arsovski, S., Integrated Management Systems - Requirement of Contemporary Business Practices, VI International Conference "Heavy Machinery - HM 08", Kraljevo, Serbia, 24. 29. 2008, pp (G.1 - G.6)
- [4] Wang, Wilhelm, PAS 99:2006 - Integrated Management System, BSI Mangement systems presentation, Mexico City, May 2008.
- [5] MacGregor Associations, Study of Mangement Systems Standards, British Standards Institute, 1996.
- [6] Phillips, A., Integrating Green into an Existing Management System: Most Commonly Intagreted Process, ASQ's 56th Annual Quality Congress, Colorado, May 20.-22. 2002.
- [7] Mors, A., T., Integrating Green into an Existing Management System: Return on Investment, ASQ's 56th Annual Quality Congress, Colorado, May 20.-22. 2002.
- [8] Douglas, A., Glen, D., Integrated management systems in small and medium enterprises, Total Quality Management, Vol. 12., No. 4/5&7, 2001, (S686-S690).
- [9] Wilkinson, G, Dale, B. G., Integreted management systems: an examination of the concept and theory, The TQM Magazine, Vol. 12., No. 1., 1999., pp. 95-104.
- [10] Shaw, A., Question time, Quality World, February 2003., pp. 51.
- [11] BSI, Question time, Quality World, February 2003., pp. 52.
- [12] Hoyle, D., Quality systems – a new perspective, Quality World, October 1996., pp. 710-713.
- [13] Tranmer, J., Overcoming the problems to integrated management systems, Quality World, October 1996., pp. 714-718.
- [14] Massey, G., Tasman holds the combination to management systems, Quality World, October 1996., pp. 727-730.
- [15] Karapetrovic, S., Willborn, W., Integration quality and environmental management systems, TQM Magazine, Vol. 11., No. 3., 1998., pp. 204-217.
- [16] De Grood, R., Hortensius, D., ISO Guide 72 on justification and draftin of management szstem standards, ISO Bulletin, March 2002.

Autori: Doc. dr Mirko Đapić, Prof. dr Ljubomir Lukić,
LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd,
Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kraljevo,
Dositejeva 20, 36000 Kraljevo, Srbija, Tel.: +381 64 893-8855, Tel.: +381 64 893-8812

E-mail: mdjapic@yahoo.com; djapic.m@mfkv.kg.ac.yu
lukic.lj@mfkv.kg.ac.yu; ljlukic@abs-beograd.co.yu

Hodolič, J., Stević, M., Matin, I., Vukelić, D., Budak, I., Bešić, I., Adamczak, S.

PROJEKAT "ETIQUM"- OSNOVA ZA POBOLJŠANJE POSTOJEĆEG SISTEMA KONTINUALNE EDUKACIJE IZ PODRUČJA METROLOGIJE, KVALITETA I STANDARDIZACIJE

Rezime: *Permanentno, dugoročno obnavljanje, produbljivanje, širenje i nadograđivanje znanja predstavlja imperativ, neophodan za stvaranje konkurentnog proizvoda, spemnog da odgovori na sve veće zahteve u pogledu kvaliteta koji omogućava leaderske pozicije proizvodnih sistema na globalnom tržištu. U ovom radu se predstavlja plan aktivnosti potreban za realizaciju TEMPUS projekta "Education and Training of Institutions in Quality Management and Metrology" (ETIQUM) kao osnova za povećanje kvaliteta i konkurentnosti proizvoda sa oznakom „proizvedeno u Srbiji“ U radu se takođe predstavljaju pripreme aktivnosti koje doprinose realizaciji projekta.*

Ključne reči: *kvalitet, metrologija, TEMPUS, plan, kurs.*

THE PROJECT "ETIQUM"- FUNDAMENTAL RESEARCH AND DEVELOPMENT OF PLATFORM FOR CONTINUING ENGINEERING EDUCATION IN THE AREA OF METROLOGY, QUALITY AND STANDARDIZATION

Abstract: *Permanent, long utilisation, learning and updating knowlance of base science discipline is imperative and central goal for build concurent quality products which ensure to our industry take part as leader of market place. This paper gives activity plane of TEMPUS project, which official name is "Education and Training of Institutions in Quality Management and Metrology" (ETIQUM). Final goals of the Project is transferring knowlance for creating high quility products with label „Made in Serbia“ which are concurent in global market place. Paper also consists priparative activities for quality realisation of the project activities.*

Key words: *quality, metrology, TEMPUS, schedule, course.*

1. UVOD

Evropska Unija (EU) sprovodi značajne naučno-tehnološke transformacije, čiji je prevashodni cilj dominantna pozicija EU u implementaciji nauke u svim sferama društvenog života, stvaranje i širenje jedinstvenog tržišta sa nesmetanim protokom znanja, robe, ljudi i kapitala [3,4].

Cilj rada je upoznavanje javnosti sa aktivnostima koje "Laboratorija za metrologiju, kvalitet, pribore i inženjersko ekološke aspekte" sprovodi neophodne za realizaciju projekata "ETIQUM" i stvaranje "Platforme kontinualne edukacije inženjera" (PCE) koju pored niza projekata od nacionalnog i međunarodnog značaja razvija. U radu se predstavljaju aktivnosti čija je realizacija završena ili je u toku, a čije je izvršenje neophodno za potpunu realizaciju projekta. Rad prikazuje i pripreme aktivnosti, kao što je organizacija tri naučno-stručna skupa koja nisu eksplicitno definisana u planu projekta, ali u velikoj meri doprinose uspešnoj organizaciji i realizaciji projektnih aktivnosti.

2. CILJEVI PROJEKTA

Svi ciljevi projekta su pažljivo formulisani, konkretni, merljivi i realistični u odnosu na vreme trajanja projekta. Glavni ciljevi projekta ETIQUM su:

- poboljšanje postojećeg sistema kontinualne edukacije,
- razvoj baziran na praktično orijentisanim kursovima u oblasti metrologije, kvaliteta i standardizacije,
- obuka kadrova iz srpskih institucija i preduzeća u oblasti metrologije i kvaliteta,
- razvoj napredne metodologije implementacije novih znanja i proširenja postojećih,
- stvaranje naučno-stručnih timova,

- razvoj održive strategije kontinualnog procesa edukacije, koje će se nastaviti i razvijati nakon završetka oficijalnog vremenskog perioda projekta,
- teorijsko i praktično usavršavanje srpskih partnera od strane institucija EU,
- organizovanje workshop-ova i seminara, s ciljem naučno-stručnog usavršavanja i razmene informacija u oblasti metrologije i kvaliteta,
- realizacija i razvoj pilot kurseva.

3. REALIZACIJA PROJEKTA

3.1 Konzorcijum učesnika na projektu

Konzorcijum se može podeliti na tri osnovne grupe:

- razvojna grupa,
- grupa sa specijalnim statusom,
- grupa za obuku.

Razvojna grupa je sastavljena od univerzitetskih stručnjaka iz EU (TU Beč, STU Bratislava, TU Kielce, Univerzitet u Ljubljani), Srbije (FTN Novi Sad) i Slovačkog Instituta za Metrologiju (SMU Bratislava) čiji je primarni zadatak razvoj nauke iz ciljnih oblasti. Naučna saradnja između pomenutih institucija stvorena je kroz već realizovane bilateralne projekte u okviru TEMPUS joint programa. Razvojna grupa ima zadatak da stečena i razvijena znanja prenese na grupu sa specijalnim statusom (znanja najvišeg tehnološkog nivoa) i grupu za obuku kroz šest vrsta kurseva.

Grupa sa specijalnim statusom je grupa sastavljena od stručnjaka iz Pokrajinskog Sekretarijata za privredu, Privredne Komore Srbije, Srpske Asocijacije za kvalitet (YUSQ) i Mašinskog fakulteta u Beogradu. Grupa sa specijalnim statusom poseduje visoko kvalifikovane eksperte

Grupa za obuku je grupa sastavljena od inženjera iz privrede i institucija, i predstavlja ciljnu grupu kojoj će se u vidu seminara i kurseva predstaviti stečeno znanje. Ova grupa predstavlja značajni potencijal srpske privrede i institucija u oblasti metrologije i kvaliteta. Na ovaj način pomenutoj grupi se pomaže u stvaranju konkurentnog proizvoda, što direktno implicira povećanje izvoza primenom potrebnih standarda i znanja vezanih za evropsko zakonodavstvo i tehnologije u pomenutim oblastima. Ova grupa prevashodno se interesuje za znanje iz oblasti EU zakonodavstva, standarda i metrologije. Članice grupe su privredni subjekti visokog izvoznog potencijala: AD MOTINS, Novi Sad; GALEB GROUP, Šabac; Tarkett, Bačka Palanka; Sintelon, Bačka Palanka i Tehnoexport, Indija. Kursevi ovoj grupi privrednih subjekata omogućavaju stvaranje uslova za brzu i kvalitetnu integraciju na evropsko tržište i povećanje reputacije koje imaju na globalnom tržištu. Svakako, da edukacija koja se sprovodi na preduzećima koja su članovi konzorcijuma ima primarni cilj, dok sekundarni cilj predstavlja prepoznavanje i edukovanje novih izvozno orijentisanih preduzeća i zainteresovanih organizacija koje učestvuju sa određenim brojem kandidata u obuci. Zbog toga je na FTN-u razvijena baza podataka koja obuhvata potencijalne izvozno orijentisane proizvodne sisteme koji mogu da se ravnopravno uključe u svetsku tržišnu utakmicu.

Da bi se obezbedio potreban broj polaznika koji nisu članovi konzorcijuma, a čija se obuka predviđa TEMPUS joint programom „Education and Training“ generisana je baza privrednih subjekata koji predstavljaju moguće buduće učesnike pilot kurseva. Razvijena aplikacija je laka za korišćenje, obezbeđuje brzo ažuriranje i pretraživanje podataka. Forma baze podataka je prikazana na slici 1.

Naziv:		Mjesto:	DETALJNA PRILOGA		Novi unos:	i	
<input type="text"/>		BAČKA PALANKA					
Naziv:	Adresant u oblasti zaštite ŽS	Poštanski broj	Mjesto:	Adresa:	Telefon:	Fax:	E-mail:
"ATIM" SPD		21400	Bačka Palanka	Motseva 122	021754004	021754013	
"DEŠPO" S.Z.R. GRUPE SLOBODAN		21400	BAČKA PALANKA	Mirja Pata 18	021754020	021754022	
"HEMIVALI" DOO PROIZVOĐILJA I PROMETI		21400	BAČKA PALANKA	ITALIA PATER 15/15, SPRAV	021759266	021759266	
"NECMAN-METAL" D.O.O.		21400	BAČKA PALANKA	INDUSTRIJSKA ZONE JAROSLAV	021759266		
"LUMENT" DOO		21400	Bačka Palanka	J-4-61	0216046208	0145482	
"METALPLASTIK" SRZ, IZRAGAN KECMAN		21400	BAČKA PALANKA	MIHALJA PUPINA 10	0216046314		
"NIK PLASTIK" DOMAĆA RADIJOSTI		21400	Bačka Palanka	Soroka 15	0217931348		
"MOU DOO" STR		21400	Bačka Palanka	Van Lake Ribara 215	021754002	021754002	
"NIK-METAL" D.O.		21400	BAČKA PALANKA	BRANINA RADIČEVIĆA 30	021754043	021754043	
"NIPAK AD" INDUSTRIJA ELEKTRONIKOSKI		21400	BAČKA PALANKA	IGROVALE PUTOV 18	0216046261	021754022	
"PLASTIM" DOO ZA PROIZVOĐENJE I TRGOVINU		21400	BAČKA PALANKA	PROSJEKA SOKOLKOVIĆA	0216046329	0216046448	
Štamparište "STB" JASNOVAČKA ULICA		21400	BAČKA PALANKA	IGROVALE PUTOV 18	0216046329	0216046448	

3.3 Pripremne aktivnosti za realizaciju pilot kurseva – Naučno-stručni skupovi i predhodno realizovani kursevi

Na FTN-u su održana tri naučno-stručna skupa „ETIQUIM“ s ciljem predstavljanja novih tehnologija i trendova u metrologiji i menadžmentu. Aktualne tematske oblasti stvorile su potreban i dovoljan preduslov za implementaciju znanja potrebnih za transfer i razvoj tehnologija visokog nivoa (HT). Većina realizovanih tematskih oblasti na ovim naučno-stručnim skupovima predstavljaju informativnu osnovu neophodnu za razvoj

- Savremeni alati za 3D projektovanje i izradu NC programa;
- Savremene metode provere tačnosti obradnih i mernih sistema;
- Menadžment procesima kontinualnog unapređenja;
- CAD-inspekcija i reverzibilno inženjerstvo;
- Savremeni pristupi statističkoj kontroli procesa i;
- Savremene metode merenja geometrijske tačnosti mašina alatki.

3.4 Konceptija realizacije projekta

Predhodno realizovani kursevi sastojali su se iz obuke korišćenja programskog sistema Pro/ENGINEER u oblastima (CAD, CAM, CAQ, CAE) sa 12 kurseva i provera tačnosti FTS primenom višenamenskog mernog uređaja Ball-Bar QC10. [6].

```

graph TD
    TP[TEMPUS PROGRAM] <--> NP[NOSILAC PROJEKTA]
    NP <--> K[KOORDINATOR]
    K --> PP[PREDMETI PREDAVANJA]
    K --> O[OPREMA]
    K --> CG[CILJNA GRUPA]
    PP --> RP[RAZVOJ PILOT KURSEVA]
    O --> RP
    CG --> RP
    RP --> SP[SPROVOĐENJE PILOT KURSEVA]
    SP --> NU[NADZOR I UPRAVLJANJE]
    ER[EU RECENZENT] <--> K
    KO[ODGOVORNA OSOBA] <--> K
  
```

Sa slike 2. se vidi da je upravljanje i nadzor projekta

važan deo projektnih aktivnosti koji se sprovodi na sledeći način:

- konktor (nosilac projekta) zajedno sa koordinatorom planira, potvrđuje i kontoliše sprovođenje projektnih aktivnosti,
- članovi razvojnog tima razvijaju naučnu platformu projekta i ostvaruju naučne izlazne rezultate projekta,
- nakon svakog kursa kursisti će polagati ispit i popuniti anketu.
- kontaktor i koordinator vrše kontrolu kvaliteta izvođenja kurseva.

Rezultati projekata merljivi su osnovnim pokazateljima (indikatorima) realizacije projekta definisanim u logičkoj matrici projekta (LMF). LMF predstavlja skup relevantnih kvantitativnih i kvalitativnih indikatora neophodnih za vrednovanje uspešnosti realizacije projekta.

Neki od najvažnijih kvantitativnih pokazatelja su [3]:

- broj obučanih kursista koji su apsolvirali kurs;
- odnos broja kursista koji su pohađali i savladali kurseve;
- broj uključenih institucija i privrednih subjekata uključenih u obuku;
- broj objavljenih literaturnih referenci i sl.

Neki od najvažnijih kvalitativnih pokazatelji su [3]:

- način implementacije i instalacije savremene opreme;
- ocena kvaliteta naučno-stručnog materijala neophodnih za izvođenje kurseva i sl.

3.5 Pilot kursevi

Pilot kursevi su kursevi čije se prvo održavanje sprovodi pod patronatom EU, dok kod svakog narednog kursa, održavanje i kontrola u potpunosti prelazi pod ingerenciju izvođača. Zadatak posebno prilagođenih pilot kurseva je da grupi za obuku predstavi najbitnije informacije potrebne za njihovo usavršavanje. Kursevi obezbeđuju profesionalno usavršavanje novih i dogradnju postojećih znanja. Trajanje kurseva varira od 25 do 35 školskih časova. Svaki kursista dobija štampani materijal koji upotpunosti prati kurs. Nakon odslušanog kursa kandidati su obavezni da polažu test. Svaki polaznik koji je položio test dobija sertifikat kao uverenje o položenom testu. Materijal kurseva će biti dostupan na web site-u: www.etiqum.ns.ac.yu a polaznik kursa dobija naučno-stručni materijal na CD/DVD-u. Kurseve će pohađati 10-15 kandidata po kursu. Za svaki od kurseva definisan je naučno-stručni tim koji organizuje šest kurseva sa sledećim tematskim oblastima [3,4]:

- Integrisan sistem menadžmenta (IMS);
- Prilagođavanje direktivama i zakonskim aktima EU;
- Šest sigma model i programska podrška;
- Merenje i modelovanje geometrijskih specifikacija proizvoda (GPS);
- CAD-inspekcija i merenje na koordinatnim mernim mašinama (KMM);
- Merenje teško merljivih veličina u industrijskoj metrologiji.

Integrisan sistem menadžmenta (IMS), predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Beogradu i EU recenzent sa Slovačkog Instituta za Metrologiju (SMU) iz Bratislave. Tematika kursa obuhvata sve aktuelniju tematiku integracije menadžmenta u sve aktivnosti poslovanja proizvodnog sistema.

Prilagođavanje direktivama i zakonskim aktima EU, predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Beogradu i EU recenzent sa SMU iz Bratislave. Tematika kursa obuhvata sve aktuelniju problematiku menadžmenta kvalitetom, totalnog upravljanja kvalitetom, CE marketing sistem, ocenjivanje sistema

kvaliteta i generisanje dokumentacije.

Model šest sigma i programska podrška, predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Beogradu i EU recenzent sa Univerziteta u Ljubljani. Tematika kursa obuhvata sve aktuelniju problematiku menadžmenta kvalitetom, totalnog upravljanja kvalitetom (TQM), šest sigma modela i njegove ocene i integracije u proizvodni sistem. Prvi deo obuhvata proračune i analize metodom šest sigma na konkretnim proizvodnim sistemima. Drugi deo obuhvata korišćenje savremene programske podrške za akviziciju i sortiranje podataka definisanih na osnovu modela šest sigma.

Merenje i modelovanje geometrijskih specifikacija proizvoda (GPS), predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Novom Sadu i EU recenzent sa Univerziteta u Kielce-u. Tematika kursa obuhvata sve aktuelniju problematiku iz oblasti preciznog mernog inženjerstva i proizvodne metrologije, geometrijskih specifikacija proizvoda, kao i ocenjivanja kvaliteta.

Geometrijskih specifikacija proizvoda (GPS) i njena verifikacija sadrži:

- međunarodne standarde,
- koncept,
- praktične primere,
- tolerancije (slobodnih mera, oblika, položaja i sl.),
- statističke metode analize vrednosti tolerancija na FTS.

CAD Inspekcija i merenje na KMM, predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Beogradu i EU recenzent sa Univerziteta u Beču.

Tematske oblasti CAD inspekcije su:

- uvod,
- osnovne komponente,
- osnovne zakonitosti proizvodne metrologije.

Tematske oblasti 3D digitalizacije su:

- uvod i metode 3D digitalizacije i reverzibilnog inženjerstva (RE),
- dostupni hardverski i softverski sistemi,
- praktični primeri,
- veza i integracija CAD inspekcije i merenja na KMM.

Merenje teško merljivih veličina u industrijskoj metrologiji, predstavlja kurs čiju realizaciju prati odgovorno lice sa Univerziteta u Novom Sadu i EU recenzent sa STU iz Bratislave. Tematske oblasti pokrivene kursom su:

- procedura standardizacije;
- definisanje teško merljivih veličina, metodologije merenja i merne nesigurnosti,
- kalibracija, testiranje i;
- obrada rezultata merenja sprovedenih na KMM.

3.6 Strategija realizacije projekta

Realizacija projekta se sprovodi kroz devet faza [3]:

- Organizovanje naučno-stručnih seminara radi utvrđivanja rasporeda izvođenja kurseva i razvoja podloga za izvođenje pilot kurseva;
- Postavljanje i sprovođenje PCE;
- Instalacija opreme;
- Sprovođenje pilot kurseva;
- Diseminacija rezultata projekta;
- Održivi razvoj;
- Kontrola kvaliteta i monitoring projekta i
- Upravljanje projektima.

Plan aktivnosti potrebnih za realizaciju pojedinih faza projekta za 2007/2008 godinu prikazana je na slici 3.

R. br	Aktivnosti	IX X XI XII I II III IV V VI VII VIII															
		Naziv															
1.	Organizovani sastanci u cilju razmene iskustava i razvoja sadržaja kurseva	S															
	Uvodni seminar																
	Prvi krug radnih poseta																
	Workshop: Standardi kvaliteta i metrologija																
	Drugi krug radnih poseta																
	Radni sastanci																
2.	Usvajanje "Platforma kontinualne edukacije iz standarda kvaliteta i metrologije (PCE)" na Univerzitetu u Novom Sadu			S													
	Razvoj "baze plana"																
	Priprema dokumenata za ostvarenje platforme i odobravanje istih od strane menadžmenta Univerziteta																
	Razvoj baze podataka potencijalnih polaznika kurseva																
	Razvoj i mreža informacionih i marketinških materijala																
3.	Uspostavljanje tehničke infrastrukture			S													
	Nabavka i ugradnja opreme i stručne literature za Univerzitet u Novom Sadu																
	Nabavka i ugradnja opreme i stručne literature za Univerzitet u Beogradu																
4.	Razvijeni pilot kursevi			S													
	Razvoj sadržaja pilot kurseva																
	Razvoj materijala za podršku pilot kursovima																
5.	Implementacija pilot kurseva i obučeni polaznici kurseva																
	Stampa razvijenih materijala za kurseve																
	Organizovanje pilot kurseva																
	Oцена pilot kurseva																
6.	Promocija						S										
	Razvoj, objavljivanje i redovno ažuriranje WEB stranice projekta																
	Promocija marketinškog i informacionog materijala																
	Organizovanje finalne konferencije																
7.	Održivost																
	Institucionalna podrška platformi kontinualne edukacije i obuke iz oblasti menadžmenta kvalitetom i metrologije																
8.	Kontrola kvaliteta i monitoring						S										
	Revizija, recenzija razvijenih materijala																
	Monitoring tehničkih i organizacionih priprema za podršku izvođenja pilot kurseva																
	Monitoring izvođenja pilot kurseva i relevantnosti za ciljni grupu																
9.	Menadžment projekta			S													
	Koordinacija sastanci																
	Koordinacija i menadžment aktivnostima na projektu																

Slika 3. Radni plan realizacije projekta

4. DISEMINACIJA REZULTATA PROJEKTA

Po uzoru na „INFOPOINTS“ osnovan na predhodno relizovanom TEMPUS projekatu „IDEAS“ SM_SCM-C037B06-2006 formirana je grupa, čiji su osnovni zadaci:

- implementacija, nadzor instalacije (KMM, dograđivanje merne opreme za merenje i kontrolu mikro i/ili makro geometrijskih karakteristika) i instalacija hardversko-sofverske infrastrukture i IT komunikacija (laptop, računar, projektor, kopir/fax/štampeć i sl.)
- razvoj saradnje, komunikacije između partnera sa projekta, fakulteta i industrijskih institucija,
- prepoznavanje, identifikacija mogućnosti saradnje sa novim institucijama (koji nisu partneri na projektu),
- širenje relevantnih informacija preko medija,
- pravovremeno obaveštavanje o aktivnostima vezanim za seminare, naučno stručne skupove,
- informisanje studenata o projektnim aktivnostima, razvijanje novih i poboljšanje postojećeg studijskog programa,
- organizacija kurseva, skupova i naučnih tribina,
- stvaranje uslova održivosti projektnih aktivnosti i nakon oficijalnog prestanka trajanja projekta,
- prosledjivanje informacija, konsultantske i marketinške aktivnosti,
- razvoj baze podataka izvozno orjentisanih preduzeća zainteresovanih za kurseve,
- operativni zadaci vezane za pripremu i štampanje materijala (leaflet 1000 kom, mapa kurseva 150 kom, poziv sa programom kurseva 800 kom, materijal za podršku kurseva po 120 kom za svaki kurs, vizit karte),
- publikovanje elektronskih časopisa i razvoj web-prezentacije.

5. ZAKLJUČAK

Seminari iz obuke korišćenja programskog sistema Pro/ENGINEER i tri realizovana naučno-stručna skupa pokazala su se kao dobra naučno-tehnološka, i izvanredna organizaciona osnova za razvoj i organizaciju pilot kurseva.

U skladu sa planom projektnih aktivnosti FTN Novi Sad je usvojio PCE koja u potpunosti obezbeđuje kontinualan razvoj i sistematsku organizaciju kurseva. U toku je realizacija biznis plana podrške platformi PCE kao i stvaranje naučno-stručnih materijala neophodnih za implementaciju kurseva. Razvijeni okvir baze podataka privrednih sistema u velikoj meri utiče na pravilnu i sveobuhvatnu pripremu jedinstvenih materijala koji će se koristiti na pilot kursovima. Učesnici u informativno-edukativnim skupovima su potvrdili nedvosmisleno jasan put uključenja u primenu i razvoj visokih svetskih tehnologija i standarda u oblasti proizvodnog mašinstva i menadžmenta.

Prenos znanja putem seminara, specijalizovanih kurseva, skupova i konferencija osigurava da razvojna grupa, u saradnji sa kolegama iz EU-e bude u potpunosti sposobna da realizuje preostale aktivnosti.

6. NAPOMENA

Rad predstavlja segment istraživanja na projektima "Education and Training of Institutions in Quality Management and Metrology - ETIQUUM" (TEMPUS, br. projekta: JEP411202006, 2007 - 2009.) i "Geometrical Product Specifications - a new tendency in the design and realization of technological processes - stage II" (CEEPUS II, 2008/2009, broj projekta CII-PL-0007-04-0809).

7. LITERATURA

- [1] Hodolić, J., i dr.: *Informativno-edukativni seminar ETIQUUM I*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, decembar 2007.
- [2] Hodolić, J., i dr.: *Informativno-edukativni seminar ETIQUUM II*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, maj 2008.
- [3] Hodolić, J., Vojinović-Miloradov, M, et al.: *Guide for the development of environmental protection, waste management and recycling in Serbia*, Tempus Project Report - Improvement and Development of the Ecological Attitude in Serbia (IDEAS), Faculty of Technical Sciences, 2008.
- [4] Hodolić, J., Majstorović, V., Stević, M., Matin, I.: *Education and training of institutions in quality management and metrology (ETIQUUM)*, Total Quality Managment & Excellence, pp. 1-3, june 2008.
- [5] Hodolić, J., Stević, M., Matin, I.: *Obrazovanje i obuka institucija u oblasti metrologije i kvaliteta*, Nacionalna konferencija o kvalitetu sa međunarodnim učešćem, Kragujevac, Mašinski fakultet u Kragujevcu, maj, 2008.
- [6] Tempus: *Modernising higher education*, <http://ec.europa.eu/education>, jun, 2008.
- [7] *Official Journal of the European Union*, http://publications.europa.eu/official/index_en.htm, jun, 2008.

Autori: Prof. dr Janko Hodolić, doc. dr Miodrag Stević dipl. inž. Ivan Matin, mr Đorđe Vukelić, mr Igor Budak, dipl. inž. Igor Bešić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2350, Fax: +381 21 454-495. Prof. dr Stanislaw Adamczak, Kielce University of Technology, Mechanical Technology and Metrology, Al. 1000-lecia Panstwa Polskiego 7, 25314 Kielce, Poland.

E-mail: hodolic@uns.ns.ac.yu

miodrags@uns.ns.ac.yu

matini@uns.ns.ac.yu

vukelic@uns.ns.ac.yu

budaki@uns.ns.ac.yu

besic@uns.ns.ac.yu

adamczak@tu.kielce.pl

Kostić, R., Marić, V.

MENADŽMENT KVALITETOM U PROJEKTIMA

Rezime: Kreiranje i održavanje kvaliteta procesa i proizvoda na projektu zahteva sistematski pristup sa ciljem da se obezbedi da će se navedene i podrazumevane potrebe potrošača razumeti i zadovoljiti, da će se potrebe drugih zainteresovanih strana razumeti i oceniti, i da će se politika kvaliteta matične organizacije uzeti u obzir kod sprovođenja menadžmenta projektom. Postoje dva aspekta primene menadžmenta kvalitetom u projektima; onaj koji se odnosi na procese projekta i onaj koji se odnosi na proizvod projekta. Neispunjenje bilo kojeg od ova dva aspekta može imati znatnog uticaja na proizvod projekta, korisnika projekta i druge zainteresovane strane, kao i na organizaciju za vođenje projekta. U ovom radu data su razjašnjenja osnovnih postavki menadžmenta kvalitetom u projektima saglasno zahtevima standarda JUS ISO 9001:2001 i ISO 10006:2004.

Ključne reči: kvalitet, menadžment, projekt, proces, razvoj

QUALITY MANAGEMENT IN THE PROJECTS

Abstract: Creating and maintaining of processes and products qualities on the project requires systematic access with aim to provide that asserted and understood needs of the customer will be comprehended and satisfied, that needs of other interesting parts will be understood and valued and that the quality politics of home organization will be taken into consideration during management project. There are two aspects of quality projects management applying: the one who is referred on the project processes and that who is referred on the project products. If any of these two aspects are not completed, this could have intensive influence on the project products, customer of the project and any of other interesting parts as well as on the organization for project leading. In this paper the understanding of the basic concepts of quality management in the projects in accordance with standard JUS ISO 9001:2001 i ISO 10006:2004 requirements are given.

Key words: quality, management, project, process, development

1. UVOD

Kreiranje i održavanje kvaliteta procesa i proizvoda na projektu je izuzetno važno za svaki privredni subjekat i zahteva sistematski pristup. Cilj ovakvog pristupa je da se obezbedi razumevanje i zadovoljenje svih navedenih i podrazumevanih potreba korisnika, potrebe drugih zainteresovanih strana i da se politika kvaliteta matične organizacije uzme u obzir kod sprovođenja menadžmenta projektom. Projekti mogu imati različite forme, od malih do veoma velikih, od prostih do složenih, od individualnih projekata do onih koji su deo programa ili portfolio projekata. Pravila menadžmenta kvalitetom u projektima koja su data u standardu ISO 10006:2004[1] moraju biti ugrađena u sistem menadžmenta kvalitetom saglasnom familiji ISO 9000[2,3] standardima.

2. ELEMENT MENADŽMENTA KVALITETOM U PROJEKTIMA

Projekt je jedinstven proces, koji se sastoji od grupe koordiniranih i upravljanih aktivnosti sa datumima početka i završetka, preduzetim da se dostigne cilj koji je u skladu sa specifičnim zahtevima, uključujući ograničenja vremena, troškova i resursa. Iz ovakve definicije projekta proističe da je menadžment projektom planiranje, organizovanje, praćenje, kontrolisanje i izveštavanje o svim aspektima projekta i motivacija svih onih koji su uključeni u projekat radi dostizanja ciljeva projekta. Na osnovu ovako definisanih pojmova projekat i menadžment projektom kao i analizom elemenata sistema menadžmenta kvalitetom (ISO 9001:2000) [2] mogu se utvrditi osnovni elementi menadžmenta

kvalitetom u projektu i oni su:

1. Odgovornost rukovodstva,
2. Menadžment resursima
3. Realizacija proizvoda
4. Merenja, analize i poboljšavanja.

Svaki projekat u sebi sadrži sve ove elemente bez obzira na svoje karakteristike koje u osnovi mogu biti:

- projekti su jedinstvene, neponovljive faze koje se sastoje od procesa i aktivnosti;
- projekti imaju izvestan stepen rizika i neizvesnosti;
- od projekata se očekuje da isporuče specificirane (minimalno) kvantificirane rezultate u okviru unapred određenih parametara, npr. parametara koji se odnose na kvalitet;
- projekti imaju planirane datume početka i završetka, u sklopu jasno specificiranih ograničenja za resurse i troškove;
- osoblje može biti privremeno dodeljeno organizaciji koja vodi projekat dok traje projekat (organizacija koja vodi projekat može biti zadužena od strane matične organizacije i može se menjati dok se projekat odvija);
- projekti mogu biti dugog trajanja i tokom vremena podležu promenama usled internih i eksternih uticaja;
- projekat može realizovati matična organizacija (organizacija koja donosi odluku o pokretanju projekta) ili druga organizacija kada je to potrebno uz obavezno definisanje nosilaca realizacije projekta. U slučaju matične organizacije projekat može realizovati i poseban deo same organizacije tzv. "preduzeće u preduzeću".[1,2,3]

3. PROCES ELEMENATA MENADŽMENTA KVALITETOM U PROJEKTIMA

Svaki od navedenih elemenata egzistira u realizaciji projekta u obliku potrebnih procesa čijom se realizacijom ostvaruje efektivna i efikasna realizacija projekta. Analizom više uspešno realizovanih projekata, literature iz oblasti menadžmenta projektima i zahteva standarda ISO 10006:2004[1] mogu se u načelu definisati procesi za svaki element menadžmenta projekta kao:

A) Odgovornost rukovodstva obuhvata procese:

- **opredeljenost rukovodstva**

Opredeljenost i aktivno angažovanje najvišeg rukovodstva matične organizacije i organizacije za vođenje projekta su bitni za uspostavljanje i održavanje efektivnog i efikasnog sistema menadžmenta kvalitetom za projekat, obezbeđenje ulaznih veličina za strateški proces, obezbeđenje sprovođenja stalnog poboljšanja na sadašnjim i budućim projektima i kreiranje kulture kvaliteta kao važnog faktora za uspešnu realizaciju projekta.

- **strateški proces,**

Planiranje za uspostavljanje, sprovođenje i održavanje sistema menadžmenta kvalitetom je strateški proces i proces postavljanja pravca koji se zasniva na primeni principa menadžmenta kvalitetom. Ovo planiranje treba da obavi organizacija koja vodi projekat.

Kroz ovo planiranje neophodna je usmerenost na kvalitet procesa i proizvoda da bi se dostigli ciljevi projekta.

- **preispitivanje od strane rukovodstva i evaluacija napretka projekta.**

Rukovodstvo organizacije koja vodi projekat treba da preispituje sistem menadžmenta kvalitetom projekta u planiranim intervalima, čime se obezbeđuje njegova kontinualna prikladnost, adekvatnost, efektivnost i efikasnost i vrlo često treba uključiti matičnu organizaciju.

B) Menadžment resursima

- **procesi koji se odnose na resurse**

Procesi koji se odnose na resurse obuhvataju proces za planiranje i proces za upravljanje resursima. Ovi procesi pomažu da se identifikuju svi potencijalni problemi sa resursima. Kao resurse treba smatrati opremu, objekte, finansije, informacije, materijale, računarske softvere, osoblje, usluge i prostor.

Planovi resursa treba da navedu kakvi resursi će biti potrebni na projektu i kada će se oni zahtevati u skladu sa termin planom projekta, kao i kako i odakle će se angažovati resursi i kako će se dodeliti projektu i isti treba da budu pogodni za upravljanje resursima. Planovi resursa, uključujući procene, raspodelu i ograničenja, zajedno sa učinjenim pretpostavkama treba da budu dokumentovani i uključeni u plan menadžmenta projektom.

Upravljanje resursima obavlja se preispitivanjem da li ima dovoljno resursa na raspolaganju. Vremenski raspored preispitivanja i učestalost prikupljanja podataka i prognoza o zahtevima za resursima treba dokumentovati u planu menadžmenta projektom. Odstupanja od plana resursa treba identifikovati, analizirati, na njih delovati i evidentirati. Odluke koje će se donositi treba sprovoditi, tek pošto se razmotre posledice nad drugim procesima i ciljevima projekta. Pre nego što se sprovedu promene koje deluju na ciljeve

projekta, treba ih usaglasiti sa kupcem i relevantnim zainteresovanim stranama. Promene u planovima resursa treba potvrditi na odgovarajući način. Revizije prognoza zahteva za resursima treba koordinirati sa drugim procesima projekta pri izradi plana preostalih poslova.

- **procesi koji se odnose na osoblje.**

Kvalitet i uspeh projekta će zavisiti od osoblja koje na njemu učestvuje. Stoga posebnu pažnju treba posvetiti aktivnostima u procesima koji se odnose na osoblje u cilju kreiranja ambijenta u kojem osoblje može efikasno i efektivno doprinosti projektu.

Procesi koji se odnose na osoblje su:

- ◇ uspostavljanje organizacione strukture projekta,
- ◇ raspoređivanje osoblja, i
- ◇ razvoj tima

C) Realizacija proizvoda

Realizacija proizvoda (projekta) obuhvata sedam grupa procesa za menadžment projektom koji su neophodni da se napravi proizvod projekta i to:

- **procesi koji se odnose na uzajamnu zavisnost,**

Projekti se sastoje od sistema planiranih i uzajamno zavisnih procesa i aktivnosti koji utiču jedni na druge. Ukupno vođenje planiranih uzajamnih zavisnosti između procesa projekta je odgovornost projekt menadžera. Organizacija koja vodi projekat treba da uspostavi efektivno i efikasno komuniciranje između različitih grupa osoblja uključenih u projekt i da uspostavi jasnu raspodelu njihovih odgovornosti. Procesi koji se odnose na uzajamne zavisnosti su:

- pokretanje projekta i izrada plana menadžmenta projektom,

- menadžment interakcijama,
- menadžment promenama i
- zatvaranje procesa i projekta.

- **procesi koji se odnose na obim,**

Obim projekta obuhvata opis proizvoda projekta, njegove karakteristike i kako će se one meriti ili ocenjivati. Procesi koji se odnose na obim su:

- izrada koncepcije,
- izrada i upravljanje obimom,
- definisanje aktivnosti, i
- upravljanje aktivnostima.

- **procesi koji se odnose na vreme,**

Procesi koji se odnose na vreme imaju za cilj da odrede zavisnosti i trajanje aktivnosti i da obezbede blagovremen završetak projekta. Procesi koji se odnose na vreme su:

- planiranje zavisnosti aktivnosti,
- procena trajanja,
- izrada termin plana, i
- upravljanje termin planom

- **procesi koji se odnose na troškove,**

Procesi koji se odnose na troškove imaju cilj da procene i upravljaju troškovima projekta. Ovo treba da obezbedi da će se projekat završiti u okviru finansijskih ograničenja budžeta i da se informacije o troškovima mogu dostavljati matičnoj organizaciji. Procesi koji se odnose na troškove su .

- procena troškova,
- izrada budžeta, i
- upravljanje troškovima

- **procesi koji se odnose na komuniciranje,**

Procesi koji se odnose na komuniciranje imaju za cilj da olakšaju razmenu potrebnih informacija na projektu i da obezbede blagovremeno i odgovarajuće formiranje, prikupljanje, distribuciju, čuvanje i krajnje uklanjanje informacija projekta. Procesi koji se odnose na komuniciranje su:

- planiranje komuniciranja,
 - menadžment informacijama, i
 - upravljanje informacijama.
- **procesi koji se odnose na rizike,**

Obično se smatra da „rizik“ ima samo negativan aspekt ali u ovom slučaju uvek obuhvata i negativne i pozitivne aspekte. Menadžment rizicima projekta bavi se neizvesnostima tokom celog projekta. Ovo zahteva strukturni pristup koji treba da bude dokumentovan u planu menadžmenta rizicima. Procesi koji se odnose na rizike imaju cilj da minimiziraju uticaj potencijalnih negativnih događaja i da iskoriste punu prednost povoljnih mogućnosti za poboljšanje. Neizvesnosti se takođe odnose ili na procese projekta ili na proizvod projekta. Procesi koji se odnose na rizike su:

- identifikacija rizika,
 - ocenjivanje rizika,
 - postupak sa rizicima, i
 - upravljanje rizicima
- **procesi koji se odnose na nabavku**
- Procesi koji se odnose na nabavku bave se kupovinom proizvoda za projekat. Procesi koji se odnose na nabavku su:
- planiranje i upravljanje nabavkom,
 - dokumentacija zahteva za nabavku,
 - evaluacija isporučilaca,
 - podugovaranje, i
 - upravljanje ugovorima.

D) Merenja, analize i poboljšavanja

- **procesi koji se odnose na poboljšavanje,**

Matična organizacija i organizacija koja vodi projekat treba da koriste rezultate merenja i analiza podataka iz procesa projekta i primenjuju korektivne mere, preventivne mere i metode za sprečavanje gubitaka da bi se omogućila kontinualna poboljšanja i na sadašnjim i na budućim projektima. Procesi koji se odnose na poboljšanja su:

- merenja i analize,
 - korektivne mere, preventivne mere i sprečavanje gubitaka
- **merenja i analize,**

Da bi se poboljšale performanse organizacije i povećalo zadovoljstvo kupca i drugih zainteresovanih strana, matična organizacija treba da obezbedi efektivno i efikasno merenje, prikupljanje i validaciju podataka. Primeri merenja performansi obuhvataju:

- evaluaciju pojedinačnih aktivnosti i procesa,
 - provere,
 - evaluacije stvarno potrošenih resursa, zajedno za troškovima i vremenima koji se upoređuju sa prvobitnim procenama,
 - evaluaciju proizvoda,
 - evaluaciju performansi isporučioca,
 - dostizanje ciljeva projekta, i
 - zadovoljstvo kupaca i drugih zainteresovanih strana
- Rukovodstvo organizacije koja vodi projekat treba da obezbedi da se analiziraju zapisi o neusaglašenostima i

uklanjanju neusaglašenosti u procesima i proizvodu projekta i da pomogne učenje i obezbeđivanje podataka za poboljšanja. Organizacija koja vodi projekat, zajedno sa kupcem, treba da odluči koje neusaglašenosti treba evidentirati, a koje korektivne mere su za upravljanje.

- **kontinualna poboljšanja,**
- procesi kontinualnih poboljšanja sprovode se kod:

- matične organizacije i
- organizacije koja vodi projekat.

4. ZAKLJUČAK

Projekat se može podeliti u uzajamno zavisne procese i u faze kao sredstva za planiranje i praćenje realizacije ciljeva i ocenjivanje pripadajućih rizika. Faze projekta dele životni ciklus projekta na delove kojima se može upravljati, kao što su izrada koncepcije, projektovanje, realizacija i završetak. Procesi projekta su oni procesi koji su neophodni za vođenje projekta, kao i oni koji su neophodni za realizaciju proizvoda projekta. Primer faza i procesa jednog kompleksnog proizvoda dat je na sl. 1[4,5].

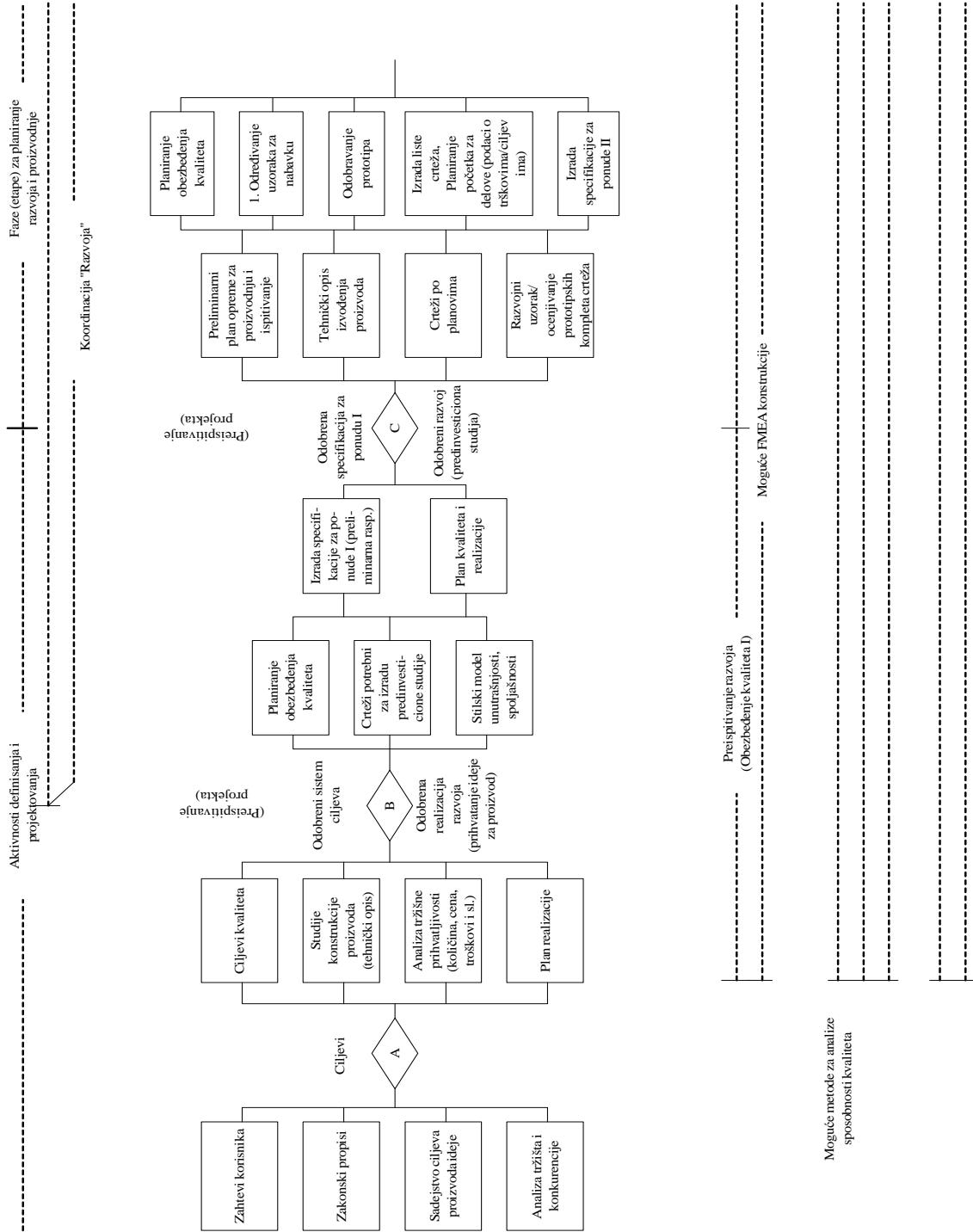
Da bi se dostigli ciljevi projekta, neophodno je voditi procese projekta u sklopu sistema menadžmenta kvalitetom. Sistem menadžmenta kvalitetom projekta treba da je usaglašen, što je moguće više, sa sistemom menadžmenta kvalitetom matične organizacije, treba da bude dokumentovan i da obuhvati ili da se poziva na plan kvaliteta projekta. Plan kvaliteta treba da identifikuje potrebne aktivnosti i resurse radi dostizanja ciljeva kvaliteta projekta primer dat na sl.2[5].

5. LITERATURA

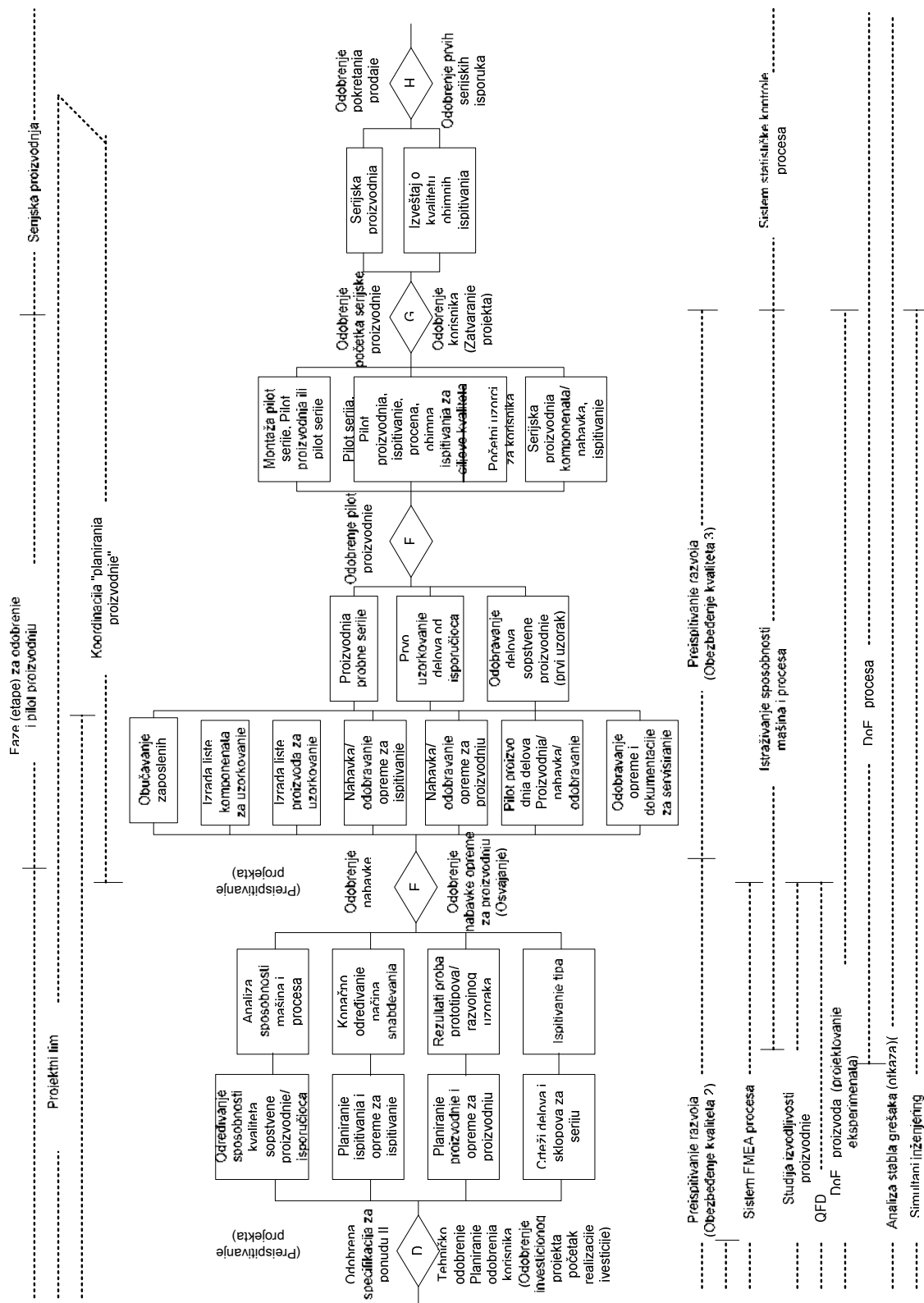
- [1] Dokumenta sistema menadžmenta kvalitetom ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d.
- [2] Standard ISO 10006:2004,
- [3] Standard JUS ISO 9001:2001,
- [4] Standard JUS ISO 9004:2001,
- [5] VDA 4 Quality Management in the Automotive Industry, Part 1 Quality Assurance prior to Serial Application, 3. izdanje 1996.


Autori: Radoslav Kostić, dipl.maš.ing., Veselin Marić, dipl.maš.ing. Predstavnik rukovodstva za sistem menadžmenta kvalitetom, glavni projektant ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. 34000 Kragujevac, Trg topolivaca 4
e-mail: r.kostic@automobili.zastava.net
radoslavkostic@yahoo.com.

Prilog 1.



</





**ZASTAVA
AUTOMOBILI**
DIREKCIJA KVALITETA

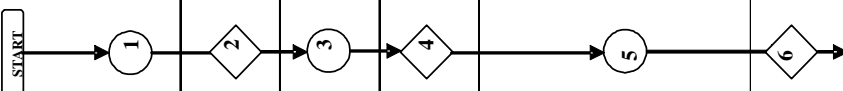
PLAN KVALITETA

☐ PROJEKAT

☒ PROIZVOD

Broj: 01/2003

List/listova: 1/4

Proizvod	Dijagram toka	Naziv aktivnosti (operacije)	Broj dokumenta sistema kvaliteta	Karakteristika kvaliteta	Odgovorna funkcija/ lice	Rok realizacije	KONTROLA AKTIVNOSTI (PROCESA)		
							Metod kontrole	Instrukcija za verifikaciju/ kontrolni alat	Evidencija
AUTOMOBIL		Istraživanje tržišta Q 9.1.01 OU Istraživanje tržišta Q 1.1.01 OU Definisanje predloga za novi i/ili inovirani proizvod Q 0.0.08 OU Projektovanje ciljeva kvaliteta Q 1.1.02 OU Preispitivanje zahteva i ugovora korisnika Q 9.2.03 OU Analiza informacija oddrnsnika Q 5.0.01 OU Utvrđivanje zadovoljstva korisnika	Definisanje zahteva za projektni zadatak novog/ inoviranog proizvoda	Direkcija marketing	3 – 5 meseci od starta	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri	
	Usvajanje projektnog zadatka	Usvajanje projektnog zadatka i određivanje rukovodioca projekta	Kolegijum razvoja i/ili osvajanja ZA, a.d.	15 dana od definisanja zahteva	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri		
	Izrada predinvesticione studije	Definisanje polaznih uslova za donošenje odluke o početku realizacije projekta	Rukovodilac projekta	4– 6 mes. od usvajanja proj. zad.	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri		
	Usvajanje predinvesticione studije	Preispitivanje i usvajanje predinvest. studije i izdavanje naloga za realizaciju projekta	Kolegijum razvoja i/ili osvajanja ZA, a.d.	15– 30 dana od izrade PIS	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri		
	Razvoj konstrukcije novog/ inoviranog proizvoda	Planiranje realizacije projekta; definisanje stila; definisanje konstruktivne dokumentacije prototipa; def. i ispitivanje prototipa; izrada potrebnih proračuna i upravljanje izmenama odgov. dokumentacije	Direkcija razvoja proizvoda- Institut za automobile	1 godina do definisanja prototipske dokum.	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri		
	Usvajanje konstruktivnog rešenja	Preispitivanje i revizija konstr. rešenja i izdavanje naloga za izradu invest. studije	Kolegijum razvoja i/ili osvajanja ZA, a.d.	15– 20 dana	Interne provjere kvaliteta	Q.0.3.01 OU- Interne provjere kvaliteta	Izveštaj o provedenoj provjeri		

LEGENDA : Prizvodnja (realizacija aktivnosti) Odluke po pitanju kvaliteta (inspekcija (kontrola) i testiranje) Skladište odlaganje /arhiva

Izradio: _____ **Datum:** _____ **Izmene:** _____

Start ili kraj Smer odvijanja aktivnosti

Slika 2 Primer Plana kvaliteta

Majstorović, V.

MANUFUTURE AS PRODUCTION ENGINEERING STRATEGIC RESEARCH AGENDA IN SERBIA

Abstract: In this paper we show Manufuture vision towards a SRA from Serbian point of view. It is the roadmap for European industrial transformation, with prioritised technology and research areas, requirements and implementation plans for initiatives/activities. It also considers possibility to initiate Manufuture Cluster in Serbia, based on experience of such initiatives at European level, EU Members States levels – national and regional levels, taking in account specific conditions, requirements, limitations and needs of manufacturing industry in Serbia. Also we shall presenting connection between Manufuture SRA and FP7 and first results of application Manufuture iniciativa in Serbia.

Key words: Manufuture, Strategic Research Agenda, European Technology Platform, National level, Serbian cluster.

1. INTRODUCTION

Manufuture vision towards a Strategic Research Agenda (SRA) is the roadmap for European industrial transformation, with prioritised technology and research areas, requirements and implementation plans for initiatives/activities. In paper also considers some results of this initiate in Serbia, based on experience of such initiatives at European level, EU Members States levels – national and regional levels, taking in account specific conditions, requirements, limitations and needs of manufacturing industry in Serbia [1-5].

2. MANUFUTURE AND SERBIAN SRA

Manufacturing engineering is the strategic methodology used to develop enabling technologies for planning, design, optimisation, adaptation, reconfiguration and recycling. Manufacturing engineering takes a holistic approach that includes the engineering of the enterprise structure, the development of the organisation, the design- and process-engineering and the tools and systems for high engineering efficiency. The agility of manufacturing engineering enhances the strategic development of enterprises. Manufacturing Engineering is hence the “glue” for constructing Factories, Networks, all technical elements, equipment and IT systems for manufacturing, including services.

Traditional factories have seen dramatic improvements in efficiency and changes in working methods brought about by the introduction of automation and control systems based on digital technology. With most influencing factors in a constant, and even turbulent state of flux, the next step is to progress towards what can be described as the ‘virtual factory’ of the future. This will require a European platform for digital manufacturing engineering, having the capability to create, maintain and use a dynamic system of networks, in which all the actors contribute and add value in the manufacturing chain, without the constraints of physical co-location or rigid partnerships [1-5].

Manufacturing Engineering has a holistic approach that includes the engineering of the enterprise structure, the development of the organisation, the design- and process-engineering and the tools and systems for high engineering efficiency. At all manufacturing levels, the factory/manufacturing can be defined in its “current” and/or “future” states, under the so called *digital* and respectively *virtual* representations. This relates on the employed digital methods and tools or simulation applications/systems, used to

represent the static or the dynamic states [1-5].

Digital manufacturing engineering as a key component of manufacturing engineering uses a wide range of engineering and planning tools, software applications, and information and communication technologies (ICT) for efficient and effective integration of new technologies into manufacturing processes. Main area of research is the development of integrated tools for industrial engineering and adaptation of manufacturing taking into account the configurability of systems. Digital manufacturing employs the: distributed data management, tools for process engineering, tools for presentation and graphic interfaces, participative, collaborative and networked engineering, interfaces to the reality. Digital manufacturing gives to the factory engineer the representation of the factory as it is today, that means the static image of the so called digital factory/manufacturing. Starting with the digital picture of the factory/manufacturing and by deploying the virtual manufacturing technologies consisting of simulation tools and specific applications/systems, the engineers deal with the factory and manufacturing processes in their dynamicity, by having the reflection of the “is” state in the future, the so named in the approach the virtual factory/manufacturing. At present, the developmental activities associated with the digital factory/manufacturing focuses on the planning of factories, production plants, new logistic systems, and of the manufacturing processes. Development and Innovation of industrial products and processes is still experience-oriented. Experiments and experience are the basics for reliability. In the knowledge-based industry, the ‘costs of experience’ – loss of productivity and time – can be reduced by modelling of all manufacturing processes in combination with (partial) automated planning and programming [1-5].

Virtual factories will integrate flexible supply chains for:

- engineering and designing products to match market needs;
- logistics, from customer orders to final delivery;
- consumable materials and waste treatment;
- factory machines; and,
- equipment and tools

The constituent parts making up the virtual factory will be created from basic components, supporting transformability/changeability. Fast response at all scales, from individual processes to complete networks, will take place within a digital infrastructure, relying on a high level of knowledge, and making extensive use of RTD for [1]:

- incorporation of functional and structural materials into machines, tools and other equipment;
- implementation of ICT and cognition-based solutions for control and management of all processes;
- application of micro- and nanotechnologies
- enhancement of human/machine interfaces, and
- integration of methodologies from different disciplines for human work and management.

Product design is the activity concerning the product-system: the integrated body of products, services and communication strategies that either an actor or networks of actors (companies, institutions, non-profit organisations, etc.) conceive and develop so as to obtain a set of specific strategic results.

This will be based on such requirements as [1-5]:

- response to life-cycle processes and contextual conditions;
- compliance with competitiveness and sustainability goals, while pursuing the added-value approach; and will require:
 - the acquisition of enabling technologies covering architecture and components, structural and functional materials, and processing;
 - an increasing incorporation of new technologies as they emerge from research.

Process design will address processes throughout the whole product life cycle – production, distribution, use and maintenance, recycling. – as well as the life cycles of individual processes, whose phases are design, implementation, use and maintenance, and reconfiguration. It will be based on such requirements as [1-5]:

- interrelation with other product life-cycle processes and the product itself;
- compliance with competitiveness and sustainability goals, while pursuing the added-value approach;

and will require an increasing incorporation of new technologies as they emerge from research.

Manufacturing systems engineering will address the development of machines and equipment, and the technical factory supply systems (energy, air, water, information) with integrated tools for design, analysis and simulation under real conditions. The engineering platform can be modelled after product life cycle management systems. But there is a strong requirement to formulate the standards for the data management for all objects and elements of the factories. A specific objective is the management of (real time) any changes in the factories caused by wear, maintenance, set-up, end of life of machines and equipment). The digital engineering platform includes models of humans and workers (digital bodies) [1-5].

Reconfigurable manufacturing. Rapid and adaptive design, production and delivery of highly customised goods will establish closer coordination between demand and supply sides. Continuous change will demand improvement in modelling and simulation of new complex phenomena (complexity, uncertainty management, multi-domain support...). Enterprises will create networks and virtual factories:

- achieving reduced time-to market,
- reduced order quantities,
- mass – and extreme- customisation,
- just-in-time production and
- reduced need to transport components and products.

New paradigms such as ambient intelligence will facilitate the integration and adaptation of people and manufacturing devices. Research must determine optimal

enterprise configurations and management of production and networks to improve flexibility of the whole manufacturing chains [1-5].

Digital and virtual production. Tools and methodologies for high volume response will establish higher dynamic rates of change in manufacturing. The main area of research is the development of integrated tools for industrial engineering and adaptation of manufacturing, taking into account the configurability of systems [1-5].

Lean, efficient enterprises. Businesses will develop efficient processes to create, manage and control the entire production chain and life cycle of products. RTD will address the development of intelligent controls, expert systems, improved and supply chain management; while exploitation of emerging technologies will radically reduce the cost and time of designing, manufacturing, delivering, and supporting products. RTD goals are:

- development of design-for-manufacturing tools and techniques to facilitate the introduction of innovative concepts and new devices, thus shortening the distance between research lab and commercial fabrication;
- development of new basic models of processes and simulation techniques, integrating cognition, learning and validation of product design. improvement in work conditions towards virtual and organised methodologies by using a codified information exchange; and
- efficient specialisation in work procedures and specifications based on scientific results; optimised transfer and codification of SMEs internal know-how [1-5].

Technology-innovative manufacturing. Future manufacturing enterprises will leverage revolutionary technologies that radically change the way they design, build and support products. The role of research will be to [1-5]:

- integrate new technologies with currently applied standards and methodologies (nondisruptive approach);
- adapt the new technologies according to users' needs based on modelling at nano/micro/macro levels;
- develop engineering methodologies for the ubiquitous computer environment in product/process design, control and simulation.

Key elements of this field of innovation are [1-5].:

- holistic manufacturing systems technology;
- modular and configurable technologies;
- intelligent, flexible automation;
- real-time management systems;
- real-time digital factories;
- knowledge integration in control systems and embedded components; and methodologies for management

The trend will be towards the generation of robust design and planning systems giving higher quality solutions in relation to the quantity of input information. Reaching this target demands [1-5]:

- standardised models of product data and manufacturing resources;
- data management systems following the product and manufacturing life cycle;
- cognition-based tools and methodologies to minimise errors by dealing with uncertainties in automatically evaluating and elaborating solutions for complex systems;

In order to obtain knowledge-based systems, great attention must be devoted to the development of 'self-learning' systems, able to:

- use experience and histories of development processes in processing real-time data to extrapolate information or

predict behaviour;

- generate new knowledge by proposing several solution options.

Knowledge-based systems will facilitate the rapid transfer of data across product-process domains and life-cycle phases. European manufacturing service industries have the potential to realise an open engineering platform, for which many different applications can be envisaged. The platform in itself represents a future market, in addition to those for the products and factories it will produce. A characteristic of next-generation manufacturing systems will be their 'evolvability'. Here, the term is intended to indicate change that goes far beyond simple re-configurability. As yet, this remains an unattained goal. Its realisation will depend on engineering, as the technology of the future, which can strengthen and speed the innovation process, support the progression from traditional to life-cycle-orientated paradigms, and contribute to the science-based modelling of processes to realise science-based artefacts [1-5].

3. INNOVATIVE SMEs

The research output of innovating SMEs is a key value-adding component of the SRA, also in Serbia. Innovative SMEs can function in a new knowledge-based world, with following concepts:

- to test, validate and demonstrate solutions suitable for other small enterprises,
- new innovating SME platforms,
- with possible virtual factory concepts.

In the new advanced industrial engineering, these would test and clarify the environment of innovating production, as well as whether the deployment of innovating production could cope with growing complexity of network operations transform in a robust and application-oriented environment.

SMEs are the critical component of the European manufacturing fabric. According to this, it is necessary to provide:

- integrated set of actions at EU and Member State Level,
- favourable framework conditions to do all of this,
- challenging schemes at educational level.

4. SERBIAN MANUFUTURE

Serbian as National Technology Platforms related to the Manufuture ETP was created in individual Member States and adopt the main development goals identified in both Manufuture – a vision for 2020 and the current document. [4,5]. This initiatives can also encourage the emergence at regional levels of equivalent concepts promoting competitiveness by stimulation of the synergy between sciences, education and industry in Serbia. Our national Manufuture initiatives, while adopting different models of organisation, should share the common Manufuture vision and aim to promote widening acceptance of, and participation in, Manufuture by Serbian industry, by [4,5]:

- alerting public opinion and politicians to the challenges that Serbian manufacturing faces, as well as to industry's critical role in delivering economic output, skilled employment and sustainable growth;
- aligning the interests of the R&D community and technology providers in strong and effective cooperation networks that develop and source knowledge and technology;
- identifying and strengthening the highly competitive local networks of large companies, SME suppliers, technological partners, consultants and R&D contractors.

The most important contributions of these Serbian initiatives should be in:

- build a clear link to and incorporate a wide SME participation, as especially smaller SMEs can harder participate on European levels of platforms than international large companies;
- horizontal integration, coordination and synchronisation of R&D efforts in Serbia;
- vertical application of competitive technologies, products, methods and processes in enterprises (both OEMs and SMEs) – including multidisciplinary networks coordinating R&D activities in new industrial sectors such as medical technologies, telematics, nanotechnologies and mechatronics in EU and Serbia.

Manufuture will promote successful Europe-wide implementation of solutions at various levels facilitating the structuring of effort and funding, and encouraging pan-European convergence between regional centres of industrial competitiveness [4,5].

Over the next decade, the integration of Serbia in EU will have a significant influence on European manufacturing of products for global markets. In a strategy of integration and cohesion, they could become world-class suppliers to OEMs [4,5].

This can be seen as an EU/Serbia strategy of transition, to maintain strong national/regional sectors in the interim period, opening a competition between EU members in all areas, even in R&D as a key factor to promote excellence and fostering the European manufacturing progresses connected to the high-added-value industrial paradigm [1-5].

Aligning the development goals and priorities of crucial in building a common interest in close cooperation between production companies and R&D organisations as a foundation for expansion into global markets. Serbian as national initiatives will be particularly important in the new MS, such as Serbia. After many years of socialist regulation, their move towards market economy – in R&D, as in other spheres – is a major mental, organisational, technical and financial challenge [1-5].

5. CONCLUSION

Manufacturing is, and will continue to be, a significant component of economic activity in Europe. In a turbulent and highly competitive global environment, it must continuously evolve and embrace transformational change in order to maintain and increase its economic impact. European manufacturing must drive to increase its ability to add high value, meant as hi-tech competitive advantage, by generating and exploiting new knowledge in manufacturing within a globalisation context. Europe must focus its efforts to transform itself by co-ordinating research in manufacturing and innovation – and by exploiting, through collaboration efforts, through pre-competitive collaboration, the strength and diversity of its businesses and regions [1-5]. The key conclusions of Manufuture (EU and Serbia) are:

- An economy based on service industries alone will not survive in the longer term.
- Growing numbers of jobs in manufacturing related services and in the service sector in general have been compensating for the loss in direct manufacturing employment. However, the EU industry is currently under significant competitive pressures from developed and low-wage economies alike. As each job in manufacturing is linked to two jobs in services, the reliance on services cannot continue in the long term without a competitive EU manufacturing sector.

- Industrial transformation is a must.

In order to meet the competitive, environmental and social challenges, a concerted effort will be needed to transform European manufacturing from a resource intensive to a knowledge intensive, innovative sector capable of achieving and maintaining technological and production leadership in the global market place.

- New approach to manufacturing is required – innovating production.

The traditional structure of manufacturing industries is constructed upon the three pillars of land, labour and capital. The challenge is to move towards a new structure, which can be described as ‘innovating production’, founded on knowledge and capital. The transition will depend on adoption of new attitudes towards the continued acquisition, deployment, protection and funding of new knowledge.

- A competitive R & D system is created by multiple factors.

The knowledge driven economy demands a competitive R&D system, which is facilitated by favourable framework conditions, a new approach to knowledge generation and innovation, adaptation of education and training schemes, creation of easily accessible research, technological development and innovation (RTDI) infrastructures and finding solutions meeting new societal needs and the demands of an increasingly ageing public.

It also considers possibility to initiate Manufuture Cluster in Serbia, based on experience of such initiatives at European level, EU Members States levels – national and regional levels, taking in account specific conditions, requirements, limitations and needs of manufacturing industry in Serbia. How to start? Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade has undertaken series of practical steps at international and national level to establish MP EU in Serbia, especially in the context of Project application for FP 7 [4,5].

Globalisation impact will make traditional industries a fertile ground for new processes, new technologies and new business models thus becoming a target for the Manufuture strategy [1 -5]. The importance of manufacturing activities to Europe are proven through the facts - as the source of 75% of EU GDP and 70% of direct and indirect employment. The economic importance of sustaining a strong manufacturing base in Europe is indicated by the fact that it provides jobs for around 27 million people, and produces an added value exceeding €1 300 billion from 230 000 enterprises with 20 and more employees (2001). Some 70% of this total derives from six main areas – automotive engineering, electrical and optical equipment, foodstuffs, chemicals, basic and fabricated metal products, and mechanical engineering [1]. But, from the other side, research investment continues to lag behind that of the USA and Japan. The next issues are: how to use the structural funds to drive research and innovation; how to improve SMEs’ access to funding; and how to persuade industry and academia to forge stronger links by operating in new networks and clusters.

NOTE

This paper is part of research in Projects which support Ministry of Science, Republic of Serbia.

6. LITERATURE

- [1] Various Authors from different organisations., *Materials from Manufuture activities of limited circulations*, from 2002 to 2008.
- [2] MHLG, Manufuture Platform – *Strategic Research Agenda, EU Commission*, Brussels, 2005 - 2008.

- [3] Majstorović, V., Šibalića, T., EU / *Serbia Manufuture Excellence*, Introduction paper, Proceedings of Manufuture Conference, Tampere, 2007.

- [4] Majstorović, V., Center of Excellence for Manufacturing Engineering and Management (CEMEM) , Facts – Objectives – Goals - Researches Framework, Mechanical Engineering Faculty, Belgrade, 2008.

- [5] Majstorović, V., *Manufuture Serbia – Strategic Research Agenda*, Mechanical Engineering Faculty, Belgrade, 2008.

Author: Prof. Dr. Vidosav D. Majstorović, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia

E-mail: majnem@EUnet.yu

Milunović, S., Ječmenica, R., Ćurčić, S.

PRILOG ANALIZI TROŠKOVA KVALITETA PROJEKATA U INDUSTRIJI

Rezime: Sistem menadžmenta kvalitetom prema zahtevima serije standarda ISO 9000 danas se koristi u celom svetu, a sertifikacija tog sistema opšte je prihvaćen način dokazivanja sadašnjim i potencijalnim partnerima da će proizvod ili usluga zadovoljiti njihove zahteve u pogledu kvaliteta. Jedan od ciljeva koji se ostvaruje uvođenjem sistema menadžmenta kvalitetom jeste i smanjenje troškova. To smanjenje troškova podrazumeva smanjenje nivoa rizika u odnosu na proizvod ili uslugu, smanjenje broja dorada i neusaglašenih proizvoda, snižavanje troškova tehničke kontrole, povećanje efikasnosti saradnje zaposlenih. U ovom radu je dat prikaz jednog savremenog modela troškova kvaliteta, mogućnosti njegove primene i poređenje sa tradicionalnim pristupom troškovima kvaliteta.

Ključne reči: troškovi, troškovi kvaliteta, industrija, tradicionalni model troškova kvaliteta, savremeni model troškova kvaliteta.

THE APPLICATION TO QUALITY COSTS ANALYSIS FOR PROJECTS IN INDUSTRY

Abstract: Quality Management System according to series ISO 9000 today is using in whole world and system certification represent commonly approved way for assert current and potential partner that product or service will satisfy their expectations in the meaning of quality. One of goals which can be achieved whereby quality system management application is decreasing of costs. Decreasing of costs alluding decreasing of product or service risk level, decreasing of repair number and noncompatible products, decreasing technical control costs, increasing efficiency of staff collaborate. Modern concept of quality costs, possibilities of its use and comparison with traditional quality costs approach are given in this paper.

Key words: costs, quality costs, industry, traditional quality costs model, modern quality costs model.

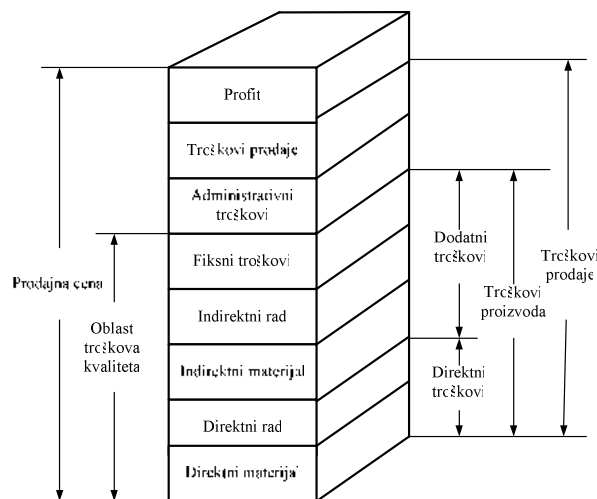
1. UVOD

Većina industrijskih preduzeća koristi finansijske izveštaje kojima upoređuje stvarne i planirane troškove. Izveštaji mogu biti: godišnji, tromesečni, mesečni ili dnevni. Do 50-tih godina prošlog veka, troškovi kvaliteta su bili uključeni u ostale kategorije troškova, jer su smatrani "normalnim" delom procesa proizvodnje. Na slici 1 prikazana je tradicionalna finansijska struktura sa oblašću troškova kvaliteta [1]. Tokom 50-tih i 60-tih godina prošlog veka određeni broj kompanija počeo je da prati i izveštava o troškovima kvaliteta. To je bilo povezano sa tržišnim promenama, razvojem složenijih proizvoda i usluga i povišenjem nivoa informisanosti, obrazovanja, zahteva i očekivanja korisnika. Objavljen je veliki broj radova i istraživanja koji se odnose na troškove kvaliteta. Troškovi niskog kvaliteta se mogu koristiti u cilju razumevanja i identifikacije prilika za unapređenje, uspostavljanja prioriteta pri izboru projekata, razumevanja, smanjenja i kontrole troškova niskog kvaliteta i preduzimanja potrebnih aktivnosti u cilju zadovoljenja potreba i očekivanja korisnika.

2. TRADICIONALNI I SAVREMENI PRILAZ ANALIZI TROŠKOVA KVALITETA

Prema literaturnim izvorima, troškovi kvaliteta čine 20-40% vrednosti prodaje [2, 3]. S druge strane, finansijski izveštaj organizacije obično identifikuje samo troškove defekata (neusaglašenosti) koji se kreću u opsegu 2-5%. Taj konzervativni pristup prihvaćen je i od strane nekih inženjera kvaliteta. Šest sigma strategija zauzima stav sličan TQM pristupu troškovima kvaliteta i uspostavlja relaciju između sigma vrednosti i troškova kvaliteta (tabela 2). Ova dva različita pristupa finansijskom izražavanju potencijala za unapređenje (tabela 1), kao i ostvarenim rezultatima projekata unapređenja, odnosno nedostatak opšte prihvaćenih standarda

za finansijsko izveštavanje o rezultatima aktivnosti unapređenja, često dovode do neslaganja vezanih za postignute rezultate šest sigma strategije. Kontrast u pristupu između "klasičnog" finansijskog izveštavanja i postignutih rezultata unapređenja praktične primene Toyota proizvodnog sistema (lean production) doveo je do razvoja Japanskog pristupa računovodstvu i finansijskom izveštavanju, koji uključuje sve zaposlene i koji je prisutan u svim delovima organizacije [4]. Šest sigma strategija prihvata pristup identifikacije gubitaka koji je sličan pristupu lean strategije Toyota proizvodnog sistema. Opšte je prihvaćeno mišljenje da većina organizacija nije svesna veličine svojih troškova kvaliteta. Da bi se procenile moguće koristi od primene šest sigma strategije, neophodno je definisati i odrediti visinu ovih troškova.



Slika 1. Tradicionalna finansijska struktura sa oblašću troškova kvaliteta

Nosilac troška	Tradicionalni prilaz	Savremeni prilaz
Proizvod	Proizvod	Svi proizvodi, usluge i/ili interne i/ili eksterne aktivnosti
Proces	Proizvodni proces	Svi procesi rada
Korisnik	Korisnici koji kupuju proizvod	Svi eksterni i interni korisnici odnosno sve zainteresovane strane
Troškovi niskog kvaliteta	Troškovi vezani za defekte i doradu proizvoda	Svi dodatni troškovi koji bi nestali ukoliko bi proizvod bio bez grešaka

Tabela 1. Poređenje karakteristika tradicionalnog i savremenog prilaza finansijskom izveštavanju

Šest sigma model troškova kvaliteta je vezan za sigma vrednost. U tabeli 2 predstavljena je veza između sigma vrednosti i približne procene srednje vrednosti gubitaka izraženih u odnosu na prodaju. Ove vrednosti izgledaju nerealno visoke, jer je većina ovih gubitaka skrivena. Za demonstriranje ovoga pristupa, često se koristi primer efekta ledenog brega, koji ima samo vidljiv vrh i koji je prikazan na slici 2.

SIGMA VREDNOST	BROJ GREŠAKA NA MILION PRILIKA	TROŠKOVI NISKOG KVALITETA
6 Sigma	3,4	< 10%
5 Sigma	233	10 - 15
4 Sigma	6.210	15 - 20
3 Sigma	66.807	20 - 30
2 Sigma	308.537	30 - 40
1 Sigma	690.000	

Tabela 2. Odnos troškova niskog kvaliteta i sigma vrednosti



Slika 2. Efekat ledenog brega kod troškova kvaliteta

3. SAVREMENI MODEL TROŠKOVA KVALITETA

Troškovi kvaliteta mogu se grupisati i analizirati na više različitih načina. Na slici 3 je prikazana podela na 3 vrste troškova kvaliteta:

1. troškovi preventive, ocenjivanja i defekata (POD) – Prevention, Appraisal, Failure – PAF),
2. troškovi konformnosti i nekonformnosti (KN) – Costs of Conformance and Nonconformance – COC and NCOC),
3. troškovi izvora grešaka (defekata)

Prva vrsta troškova kvaliteta podrazumeva:

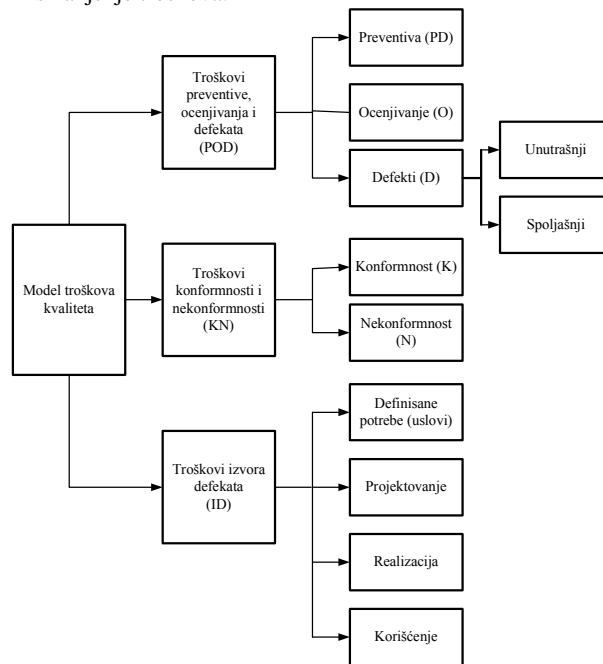
- troškove preventive (P), koji obuhvataju troškove vezane za aktivnosti u cilju utvrđivanja, sprečavanja i smanjenja rizika pojave defektnih proizvoda;

- troškove ocenjivanja (O), koji obuhvataju troškove ocena (inspekcija, testiranje, itd.) neophodnih za postizanje zahtevanog nivoa kvaliteta;

- troškove defekata (D), koji obuhvataju troškove vezane za unutrašnje ili spoljašnje greške, usled kojih nastaju defektni proizvodi.

Troškovi eksternih grešaka su direktno vezani za nivo zadovoljenja potreba i očekivanja korisnika i zbog toga se mora odlučno pristupiti njihovom eliminisanju. Pored direktnog negativnog uticaja na trenutno finansijsko stanje organizacije, oni utiču i na vrednost prodaje u budućnosti.

Troškovi internih grešaka su troškovi defekata i dorade/ispravki proizvoda i usluga, koji ne zadovoljavaju standarde kvaliteta pre isporuke korisnicima. Njihovo eliminisanje je najjednostavniji način za unapređenje kvaliteta i smanjenje troškova.



Slika 3. Model troškova kvaliteta

Druga grupa troškova po ovom modelu su troškovi konformnosti (COC) i troškovi nekonformnosti - niskog kvaliteta (CONC).

Troškovi konformnosti (COC) su ugrađeni, prirodni troškovi, koji su pridruženi procesu realizacije proizvoda ili usluga u cilju zadovoljavanja unapred određenog standarda. Oni ne podrazumevaju da je proces efikasan ili da zadovoljava potrebe korisnika. Na primer, troškovi "preprojektovanog" proizvoda i procesa se vrlo retko mere i analiziraju u cilju njihovog unapređenja. Međutim, ukoliko se analiziraju, rezultati pokazuju da su ti troškovi izuzetno visoki. Rezultati brojnih aktivnosti vrednosnih analiza i vrednosnog inženjerstva i neuspelih početaka proizvodnje novih proizvoda ukazuju na brojne propuste u toku faza projektovanja procesa i proizvoda. Primenom različitih metoda u toku projektovanja procesa, proizvoda i usluga veliki deo gubitaka i troškova vezanih za ovaj uzrok mogu se izbeći.

Troškovi nekonformnosti (CONC) su troškovi gubitaka, koji mogu biti rezultat neadekvatnih ulaznih i/ili izlaznih karakteristika/veličina.

Treća grupa troškova je vezana za fazu životnog ciklusa proizvodnje, procesa, usluga) [5]:

- fazu definisanja potreba/zahteva,

- fazu projektovanja,
- fazu izrade (realizacije),
- fazu korišćenja.

U tabeli 3 je prikazan primer iz oblasti softvera [5]. Na osnovu rezultata je jasno da oko 50% grešaka nastaje u toku faze razumevanja i definisanja zahteva korisnika softvera. Samo 2% od tih grešaka se otkriva u toj fazi. Kumulativni broj grešaka u fazi projektovanja raste do 81%, dok se samo 19% od njih otkriva. Ovi rezultati jasno ukazuju na potrebu pomeranja primene šest sigma strategije od procesa realizacije ka procesu projektovanja.

Lok. greš	Utvrd. zaht.	Dizajn	Izrada	Korišćenje	Ukup	Ukup %	Kumulativno
Faza gr.							
Utvrd. zahteva	1	4	3	14	22	52	52%
Dizajn		3	2	7	12	29	81%
Izrada			1	6	7	17	98%
Korišćenje				1	1	2	100%
Ukupno	1	7	6	28	42		
Ukupno %	2%	17%	14%	67%			
Kumul.	2%	19%	33%	100%			

Tabela 3. Faza nastanka greške i lokacija gde je greška otkrivena

4. UTVRĐIVANJE OPTIMALNIH TROŠKOVA KVALITETA

Philip Crosby je tvrdio da kvalitet nije poklon, ali je besplatan. Troškove povećavaju nekvalitetne aktivnosti i procesi koji su uzroci neuspeha u obavljanju poslova prvi put. On sugerise da napor za postizanje kvaliteta u prvom pokušaju (first time quality), mogu dovesti do dupliranja profita. Po njemu, ne postoji ekonomija kvaliteta i uvek je jeftinije da se posao obavi ispravno u prvom pokušaju, što je u skladu sa šest sigma strategijom. Sa druge strane, Joseph Juran [6], ima drugačiji pristup. Njegov model ekonomije kvaliteta prikazan je na slici 4. Sa desne strane od tačke ekonomičnog kvaliteta, smatra se da su projekti unapređenja neekonomični i da predstavljaju čist perfekcionizam. U levom delu je zona za unapređenje, dok je zona u blizini optimuma - zona kontrole.

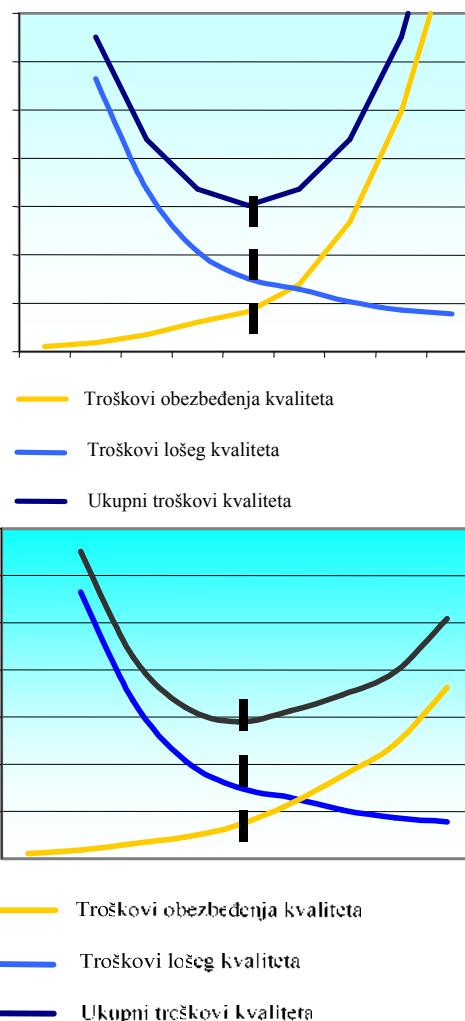
Šest sigma objedinjuje ove dve teorije. Organizacije imaju procese koji se nalaze na celom spektru, pri čemu je veliki deo tih procesa sa leve strane optimuma. Čak i projekti koji se nalaze sa leve strane moraju se posmatrati kao prioritet. Pri tome se mora voditi računa o dve pretpostavke:

1. Ono što je ispravno u jednoj situaciji ne mora biti u drugoj. Na primer, u fazi istraživanja, razvoja i inovacija, od vitalnog značaja je da ljudi prave greške (slično kao pri brainstorming procesu), što nije poželjno u kasnijim fazama razvoja proizvoda.

2. S druge strane, potrebno je sniziti nivo tolerancije za prihvatanje grešaka. Izjave kao što su: "mi to tako oduvek radimo" ili "troškovi su obuhvaćeni budžetom" svakako nisu ono što se očekuje od zaposlenih. Prihvatanje trenutnog nivoa grešaka je neprihvatljivo u današnjoj tržišnoj ekonomiji i ne garantuje opstanak preduzeća.

Dodatni izvori gubitaka su troškovi nepotrebnog rada i troškovi propuštenih prilika.

Troškovi nepotrebnog rada su troškovi vezani za pružanje informacija ili usluga koji nisu neophodni, važni ili za koje zahtevi nisu na vreme uspostavljeni. U ovu grupu se mogu svrstati izveštaji koji su nepotrebno dugački, nečitljivi, ili obavljanje detaljne analize u situaciji kada je potrebna samo gruba procena.



Slika 4. Klasični i savremeni model utvrđivanja optimalnih troškova kvaliteta

Troškovi propuštenih prilika su troškovi povezani sa gubicima prihoda/prodaje koji su rezultat prethodnih grešaka i neuspeha da se zadovolje potrebe i očekivanja spoljašnjih i unutrašnjih korisnika (zainteresovanih strana). Primeri takvih aktivnosti su odluke da se ponovo ne koriste usluge određenog snabdevača ili da se taj snabdevač ne preporuči potencijalnim korisnicima.

5. UTICAJ TROŠKOVA KVALITETA NA PROFITABILNOST

Jasno je da opstanak industrijskog preduzeća zavisi od njegove sposobnosti da kontinualno smanjuje troškove niskog kvaliteta: procesa, proizvoda i usluga. Treba napomenuti da postoji određeni broj organizacija i menadžera koji su mišljenja da primena šest sigma strategije previše košta i da uzima previše vremena, da je samim tim neefikasna za rešavanje problema. Međutim, povećanje nivoa kvaliteta je isplativa investicija i ostvarene finansijske uštede višestruko premašuju ulaganja vezana za primenu šest sigma strategije.

U tabeli 4 data je pojednostavljena analiza profitabilnosti, uticaja troškova/gubitaka kvaliteta koji se moraju koristiti u cilju postavljanja prioriteta pri izboru projekata i praćenju dobitaka.

Troškovi proizvodnje po jed. proizvoda			Faktori koji utiču na smanjenje profita		
Vrsta troška	\$	%	Faktor	\$	%
Cena prodaje	2.000	100	Troškovi u garantnom roku	20	1
Troškovi materijala	1.300	65	Greške u proizvodnji	6	0,30
Troškovi radne snage	300	15	Greške pri testiranju	5	0,25
Ostali troškovi	300	15	Hitan transport	4	0,20
Profit	100	5	Ukupno	35	1,75
			Povećanje profita	35	3,50

Tabela 4. Analiza profitne margine i uticaj troškova kvaliteta na profitabilnost

6. ZAKLJUČAK

Polazeći od potreba za primenom efikasnog i efektivnog sistema kontinualnog unapređenja poslovanja kao preduslova opstanka organizacija u današnjim tržišnim uslovima, u ovom radu su prikazani modeli zadovoljenja potreba i očekivanja zainteresovanih strana, zasnovanog na određivanju i postizanju vrednosti i sadašnjem trenutku i u budućnosti. Dat je mogući model troškova kvaliteta upoređen sa tradicionalnim tretmanom troškova kvaliteta, pri čemu su naglašene osnovne prednosti savremenog modela za ukupni finansijski efekat poslovanja jednog industrijskog preduzeća.

7. LITERATURA

- [1] Campanella, J. Editor: *ASQ Quality Cost Committee Principles of Quality Costs*, 2nd edition ASQ Quality Press: Milwaukee, 1990.
- [2] Harry M., Schroeder R.: *Six Sigma the Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations* Doubleday, Random House, New York, 2000.
- [3] Breyfogle F. W.: *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1999.
- [4] Monden, Y., Sakurai, M.: *Japanese Management Accounting: A World Class Approach to Profit Management Productivity Press*, Cambridge, Massachusetts, 1989.
- [5] Truscott W.: *Six Sigma - Continual Improvement for Businesses* Butterworth Heinemann, Oxford, 2003.
- [6] Juran J. M., Grina F.M.: *Quality Planning and Analysis*, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1993.

Autor: Mr Milunović Sandra, Prof. dr Ječmenica Ratomir, Dr Čurčić Srećko, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet Čačak, Katedra za proizvodno mašinstvo, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, Tel.: +381 32 302-736, + 381 32 302-737, Fax: +381 32 342-101.
E-mail: smilunovic@tfc.kg.ac.yu
jecmenica@tfc.kg.ac.yu
sreckoc@tfc.kg.ac.yu

Milunović, S., Ječmenica, R.

MOGUĆNOSTI PRIMENE POJEDINIH METODA U ANALIZI TROŠKOVA INDUSTRIJSKE PROIZVODNJE

Rezime: Prilikom ulaganja resursa u realizaciju procesa rada industrijskog preduzeća u cilju stvaranja učinaka u obliku proizvoda ili usluge, nastaju troškovi. Najznačajnije je u kojoj meri utrošeni resursi obezbeđuju zahtevani kvalitet proizvoda. Kada se ukupni troškovi poslovanja počnu približavati ukupnim ostvarenim prihodima, menadžment koristi različite metode snižavanja troškova. Najčešće se primenjuje kombinacija više metoda upravljanja troškovima. Krajnji cilj je postizanje nivoa organizacije sa upravljanjem troškovima kao posebnim načinom upravljanja poslovanjem.

Cljučne reči: trošak, upravljanje troškovima, metode upravljanja troškovima.

THE POSSIBILITIES OF USE SOME METHODS IN INDUSTRIAL PRODUCTION COST ANALYSIS

Abstract: On each occasion when some resource is invested into any realisation business process, with purpose to make output effects, i.e. products or services, there must be a cost. Crucial question is: to what extent have the invested resources provided the required effect quality? In situations when costs are seriously approaching realized profits, the company management begins to resort to various methods of cost reduction. Most frequently we can see combined application of various methods of Cost Management. A company's final objective is acquirement organization level with costs management like a special manner of business management.

Key words: cost, cost management, methods of cost management.

1. UVOD

Sagledavanje opravdanosti nastanka troškova tokom ostvarivanja opštih i posebnih ciljeva organizacije je od izuzetne važnosti zbog upravljanja procesima sa stanovišta konkurentnosti. Savremeni informacioni sistemi omogućavaju i praćenje troškova procesa, dok informacije o njihovom nastanku i trendovima omogućavaju menadžmentu pravovremeno donošenje odluka na osnovu činjenica [1]. Optimizacija troškova omogućava da se troškovi minimiziraju uz željeni rezultat. Željeni rezultat nije samo količinski izraz ili mera poslovnih aktivnosti već i subjektivni izraz zadovoljstva korisnika [2].

Odvijanje poslovnih procesa nije moguće bez utroška resursa i troškova. Menadžment organizacije zainteresovan je za informacije o tome koliki troškovi treba da budu, koji troškovi nisu nužni, koji su troškovi realizacije procesa optimalni. Menadžment koristi posebne načine upravljanja i vođenja poslovanja – upravljanje troškovima (Cost Management).

U okviru sistema upravljanja troškovima, uključujući i troškove poslovnih procesa kao jedan od značajnih aspekata obuhvatanja troškova, menadžment u postupku pripreme informacija namenjenih odlučivanju i kontroli primenjuje brojne metode raspoređivanja troškova i upravljanja troškovima [3].

2. POJAM I PODELA TROŠKOVA

U širem smislu troškovi predstavljaju u novcu izraženu vrednost utrošenih resursa u proizvodnji novih ili stvaranju određenih učinaka [4].

U užem smislu pod troškovima se smatra potrošnja resursa zbog izrade novih proizvoda. Shvaćeni na ovaj način, troškovi imaju karakter prenete vrednosti. Prema pojmovnom određenju u najužem smislu troškovi predstavljaju svesno uništavanje korisnih resursa u procesu proizvodnje sa

namerom da se u zamenu za to dobiju još korisniji proizvodi, odnosno neki drugi učinci. Troškovi predstavljaju vrednosno iskazane utroške rada, materijala, trajne i tekuće imovine, kao i tuđih usluga radi ostvarivanja određenih učinaka (proizvod, roba ili usluga). Iz datog pojmovnog određenja, jasno je da je naglasak na vrstama troškova.

Navedenim pojmovnim određenjima troška zajedničko je da u opštem smislu troškovima smatraju smanjivanje i nestanak postojećih resursa, kako ljudskih potencijala i ljudskog kapitala, tako materijalnih i finansijskih resursa. Za sve navedene definicije troška karakteristično je navođenje mogućnosti merenja, izračunavanja i izražavanja troškova u novčanom iznosu. Ova mogućnost izražavanja vrlo je značajna sa aspekta planiranja, razvrstavanja, evidentiranja, kontrole i upravljanja troškovima.

Podelu troškova moguće je izvršiti prema brojnim kriterijumima. Podela troškova evoluirala je sa razvojem ekonomske nauke. Uobičajeni i najpoznatiji kriterijumi za podelu troškova i vrste troškova na osnovu tih kriterijuma dati su u tabeli 1.

Podela troškova prikazana u tabeli 1 u određenoj meri je uslovljena propisima, njihovom raspodelom, u računskom (kontnom) planu, ali i potrebama analize u organizaciji. Za poslovno odlučivanje menadžmenta najvišeg hijerarhijskog nivoa važna je podela troškova po segmentu (centrima odgovornosti), dok je za niže hijerarhijske nivoe menadžmenta važna podela na fiksne i varijabilne, funkcionalna podela i sl. Informacije o troškovima značajne su za poslovno odlučivanje bez obzira o kom se menadžerskom nivou u organizaciji radi.

Red. br.	Kriterijumi	Vrsta troška
I	Troškovi prema prirodnoj vrsti ili pojavnom obliku (prirodni troškovi)	1. Troškovi trajne imovine 2. Troškovi tekuće imovine 3. Troškovi rada 4. Troškovi usluga 5. Ostali troškovi
II	Troškovi prema načinu obuhvatanja po poslovnim funkcijama (funkcionalni troškovi)	1. Troškovi planiranja, projektovanja i konstrukcije 2. Troškovi pripreme rada 3. Troškovi neposredne proizvodnje 4. Troškovi nabavke, prodaje, distribucije 5. Troškovi finansijskog poslovanja 6. Troškovi kontrole
III	Troškovi prema segmentu (centrima odgovornosti) i mestima nastanka troškova	1. Troškovi segmenta (proizvoda, organizacione jedinice i sl.) 2. Troškovi: profitnog, troškovnog, prihodnog, investicijskog centra 3. Troškovi po mestima nastanka
IV	Troškovi prema načinu raspoređivanja na nosioce	1. Direktni pojedinačni ili troškovi izrade 2. Indirektni opšti ili režijski troškovi
V	Troškovi prema reagovanju na stepen zaposlenosti kapaciteta (prema dinamičnosti)	1. Fiksni troškovi (apsolutno ili relativno fiksni) 2. Varijabilni troškovi (proporcionalni, degresivni i progresivni)
VI	Troškovi prema načinu zaračunavanja po vremenskim razdobljima i mogućnosti kontrole	1. Kontrolabilni (mogućnost kontrole znatna) 2. Nekontrolabilni (mogućnost kontrole neznatna)
VII	Troškovi prema uticaju na poslovni rezultat	1. Pozitivni troškovi 2. Negativni troškovi
VIII	Troškovi prema ulaganju u poslovni proces	1. Primarni troškovi (prvi put ulaze u proces) 2. Sekundarni troškovi (više puta ulaze u proces)
IX	Troškovi prema doprinosu kvalitetu	1. Troškovi kvaliteta (preventivni i troškovi ispitivanja) 2. Troškovi nekvaliteta (unutrašnjih propusta i propusta uočenih nakon isporuke)

Tabela 1. Podela troškova prema različitim kriterijumima

3. METODE UPRAVLJANJA TROŠKOVIMA

„Upravljanje troškovima (*Cost Management*) je poseban način upravljanja preduzećem i vođenja poslovanja koji najveću važnost u postizanju organizacionih ciljeva poklanja optimizaciji troškova“. U nastojanju da se poboljšaju odnosi ukupnih ulaganja i ukupnih učinaka, od čega zapravo i zavisi dobar poslovni rezultat, želi se uticati na ulazne veličine u poslovni proces. Imperativ poslovnog rezultata praktično prisiljava menadžment organizacije na primenu različitih metoda upravljanja troškovima. Za tu svrhu razvijene su

metode i postupci, odnosno brojni modeli, koji menadžmentu organizacije obezbeđuju kritičnu masu informacija nužnih za donošenje odluka u cilju optimizacije troškova, na osnovu činjenica (*Factual approach to decision making*). To su:

- 1) metoda tradicionalnog upravljanja proizvodnim troškovima,
- 2) model upravljanja troškovima zasnovanim na procesima,
- 3) model upravljanja troškovima na osnovu aktivnosti,
- 4) model ciljnih troškova,
- 5) budžetiranje zasnovano na aktivnostima,
- 6) model bilansa postignuća,
- 7) „Kaizen“ troškovi,
- 8) analiza vrednosti,
- 9) model upravljanja troškovima kvaliteta i dr.

Model tradicionalnog upravljanja proizvodnim troškovima (Traditional Product Costing - TPC) je u sistemskoj primeni više od jednog veka. Koristi se kod razgraničavanja troškova organizacije. Zasniva se na razgraničenju troškova u nekoliko osnovnih grupa:

- troškovi direktnog materijala,
- troškovi direktnog rada,
- troškovi proizvodne režije,
- troškovi upravne i prodajne režije.

Tradicionalni model upravljanja proizvodnim troškovima nastoji da računovodstveno obuhvati troškove direktnog materijala i direktnog rada, dok se troškovi režije priključuju direktnim troškovima. Tradicionalni model upravljanja proizvodnim troškovima naziva se „tradicionalnom kalkulacijskom metodom“, koja podrazumeva jednostavnu kalkulaciju deljenja i kalkulaciju sa dodacima tako što su dodaci izračunati na osnovu različitih vrednosnih osnova.

Tradicionalne metode su zaista metode kalkulisanja, dok se danas u sve većoj meri afirmišu potrebe za celovitim sistemima odlučivanja koje klasična kalkulacija ne može zadovoljiti. Kalkulacija je u osnovi ograničen pojam i znači preračunavanje troškova, zbog čega pruža informacije kratkoročnog karaktera. Kritičari naglašavaju nedostatak dugoročnog pristupa, pre svega zato što kalkulacijske metode nisu integralni činioči kompleksnijih sistema odlučivanja, koji omogućavaju strateške odluke. Obzirom da se tradicionalne metode još dosta koriste, treba imati u vidu njihove osnovne nedostatke:

- ograničena upotrebljivost za odlučivanje,
- nedovoljno uvažavanje tržišta,
- vremenski pomak,
- manjkava dinamika itd.

Ako računanju troškova pristupimo nakon njihovog nastanka, više nemamo mogućnost da ih smanjimo. Na tako zbrojene troškove, dodaje se i očekivana dobit, a zatim sledi iznenađenje zašto takve proizvode tržište ne prihvata. „Tradicionalni model upravljanja proizvodnim troškovima daje odgovor na pitanje: „Gde trošak nastaje?“

Model upravljanja troškovima zasnovan na procesu (Process Based Costing – PBC) troškove proizvodnje prati i vrednuje sledeći logične faze u procesu proizvodnje. U okviru PBC modela direktni troškovi materijala i rada terete se i prate po fazama procesa proizvodnje, a troškovi proizvodne režije dodaju se direktnim troškovima na nivou svake faze uz primenu određenih „ključeva“ rasporeda zasnovanih na troškovnim indikatorima. PBC modeli bi trebalo da pokažu uzroke nastanka troškova proizvodne režije i stepen njihovog pridruživanja direktnim troškovima svake faze u procesu proizvodnje. Pretpostavka za primenu i razvijanje ovog modela su izgrađeni, dokumentovani implementirani poslovni procesi, a time i procesno orijentisana organizacija. PBC modeli daju odgovor na pitanje: Gde su uzroci troškova proizvodne režije?

Model upravljanja troškovima na osnovu aktivnosti (Activity Based Costing – ABC) podrazumeva rapoređivanje

troškova po aktivnostima. Umesto da se troškovi prate po pojedinom proizvodu, ova metoda prati kretanje troškova po pojedinoj aktivnosti ili delu poslovnog procesa. Time se omogućava lakši nadzor nad troškovima u pojedinim organizacionim celinama, pa se menadžeri lakše usredsređuju na eliminisanje suvišnih troškova i delovanja.

Utvrđivanje troškova zasnovanih na aktivnostima je računovodstveni postupak koji organizaciji omogućava identifikovanje i povezivanje stvarnih troškova sa svakim pojedinačnim proizvodom ili uslugom.

Sistemskim proučavanjem modela troškova zasnovanih na aktivnostima identifikovano je pet aktivnosti koje je potrebno sprovesti pri svakoj analizi troškova u organizaciji: analiza aktivnosti, analiza direktnih troškova, praćenje troškova po aktivnostima, uspostavljanje merenja izlaznog proizvoda i analiza troškova.

Kao i model upravljanja troškovima zasnovan na procesima i model upravljanja troškovima zasnovan na aktivnostima podrazumeva procesno orijentisanu organizaciju sa izgrađenim, dokumentovanim i implementiranim poslovnim procesima. Daje odgovor na pitanje: Zašto trošak nastaje?

Model ciljnih troškova (Target Costing – TC) je novijeg datuma. Predstavlja računovodstveni oblik obuhvatanja i sistemskog merenja troškova uključenih u proizvod ili uslugu, sa kojima se ostvaruje planirani dobitak.

Da bi se ciljni troškovi uopšte mogli razmatrati neophodni je dobro poznavanje i razumevanje postojeće strukture troškova, jer je primarni interes organizacije uspostavljanje ravnoteže između kvaliteta i funkcionalnosti u kombinaciji sa nivoom cene koju tržište prihvata. Da bi se odluka o ciljnim troškovima mogla realizovati, oni moraju biti podeljeni na pojedine delove (elemente) proizvoda. U kasnijim fazama to omogućava njihovo praćenje, utvrđivanje odstupanja, kao i njihovih uzroka. Pri tome se uvažava princip da troškovi delova (elemenata) proizvoda mogu iznositi samo koliko je doprinos dela korisnosti proizvoda sa stanovišta kupca. Na taj način model ciljnih troškova zadržava blizak odnos sa tržištem. To je istovremeno posebnost modela ciljnih troškova. Daje odgovor na pitanje: Koliki troškovi mogu biti?

Budžetiranje zasnovano na aktivnostima (Activity Based Budgeting – ABB) je model koji polazi od utvrđivanja zahteva kupca/korisnika, a ne utvrđivanja troškova. Ova metoda je usmerena na kapacitet opreme i stepen njene dostupnosti za ispunjenje zahteva koje postavlja kupac/korisnik. Analizirajući kapacitete važno je utvrditi kapacitete opreme i broj zaposlenih. Analiziraju se troškovi koji proizilaze iz korišćenja materijalnih resursa i ljudskih potencijala. Zato je ova metoda pogodna menadžmentu za donošenje odluka o nivou raspoloživih kapaciteta organizacije i njihovoj dostupnosti za razvoj proizvoda ili usluge koje zahteva tržište. Daje odgovor na pitanje: Koliki su kapaciteti organizacije potrebni za zahtevani proizvod ili uslugu?

Model bilansa postignuća (Balance Score Card – BSC) je model pažljivo odabranog skupa pokazatelja i mera izvedenih iz strategije organizacije pomoću koga se planiraju i usmeravaju aktivnosti organizacije, kao i mere postignuća iz različitih perspektiva na osnovu povezivanja i uravnoteženja najvažnijih činilaca uspešnosti.

Ovaj model predstavlja relativno novi pristup kontrolisanju u okviru strateškog menadžmenta, razvijen 90-ih godina prošlog veka. Zasniva se na saznanju o nedostacima postupaka obuhvatanja troškova i četiri osnovne perspektive putem kojih menadžment ima mogućnost preoblikovanja sopstvene vizije i strategije u poslovne aktivnosti. Četiri perspektive razvoja organizacije su: finansijska perspektiva, perspektiva kupaca, perspektiva internog poslovnog procesa i perspektiva usavršavanja i rasta broja zaposlenih. Odgovara na pitanje: Koji su rezultati

povezivanja i uravnoteženja činilaca uspešnosti?

„*Kaizen*“ troškovi („*Kaizen*“ Costing – KC) oblikovani su u japanskim preduzećima, a njihova primena i model obračuna došli su do izražaja u automobilske industriji Toyota. Suština ovog modela u kontinuiranom smanjivanju troškova tokom odvijanja procesa proizvodnje primenom razvijenih postupaka. Ovaj model polazi od pretpostavke da se sve uvek može napraviti bolje. Daje odgovor na pitanje: Može li još bolje?

Analiza vrednosti (Value Engineering – VE) razvijena je 40-ih godina prošlog veka u General Electric Company. Polazi od pretpostavke timskog rešavanja konkretnog problema primenom funkcijske analize. Model analize vrednosti je postupak kojim se nastoji delovati na kontinualno snižavanje troškova. Daje odgovor na pitanje: Mogu li troškovi biti niži?

Model upravljanja troškovima kvaliteta (Quality Cost Management – QCM) svodi se na prepoznavanje, utvrđivanje i optimizaciju troškova kvaliteta kao strukturnog elementa ukupnih troškova organizacije. Troškovi kvaliteta su troškovi koji nastaju pri obezbeđenju zadovoljavajućeg kvaliteta i pridobijanju poverenja, kao i gubici koji se trpe kada ona nije postignuta. U osnovi se dele na: troškove kvaliteta (sa pojavnim oblicima troškova preventive i ispitivanja) i na troškove nekvaliteta (sa pojavnim oblicima unutrašnjih i spoljnih troškova nedostataka). Nakon što je implementiran delotvoran sistem prikupljanja, klasifikacije i obrade postojećih troškova kvaliteta u organizaciji pristupa se temeljnoj aktivnosti - upravljanju troškovima kvaliteta. Svrha rada na troškovima kvaliteta, pored ostalog, je utvrđivanje neusaglašenosti u poslovnim procesima kako bi se trajno otklonio uzrok njihovog nastanka i poslovni procesi učinili pouzdanim. Pod pojmom oprimizacije podrazumeva se proces dostizanja najpovoljnijeg odnosa ukupnih troškova kvaliteta i nivoa kvaliteta koji organizacija nudi kupcu/korisniku radi zadovoljenja njegovih potreba. Troškovi kvaliteta prvi put se pominju 1933. godine. Model daje odgovor na pitanje: Koji troškovi ne bi nastali kada bi se svaki posao dobro obavio prvi put?

Svaki od navedenih modela može se koristiti za upravljanje troškovima. Međutim, navedeni modeli nisu isključivi. Najčešće se u organizacijama nailazi na slučajeve kombinovane primene više različitih modela upravljanja troškovima. Problem nastaje kada se nivo troškova počne približavati prihodima. Tradicionalni sistemi praćenja troškova ne odgovaraju na pitanje: Gde rezati? Je li rešenje u otkazima, prekidanju projekata, promeni rukovodstva? Ili je možda sve pomalo uzrok problemima? Kako to otkriti? Kako promeniti poslovne procese u one koji rezultuju odgovarajućim profitabilnim proizvodom? U takvim situacijama tradicionalni model upravljanja troškovima pokazuje sve svoje nedostatke.

Uporedni pregled karakteristika modela za upravljanje troškovima dat je u tabeli 2.

Razmatranje troškova kroz podelu na fiksne i varijabilne prouzrokovalo je otuđenje znatnog dela troškova od samih aktivnosti i proizvoda zbog kojih su nastali. Usko posmatranje troškova rezultovalo je njihovim proglašavanjem fiksnim troškovima i raspoređivanjem po nekom „ključu“ tamo gde ni po čemu ne pripadaju.

Red. br.	Model	Rezultat modela (odgovor na pitanje)	Pretpostavka modela
1.	Tradicionalni proizvodni troškovi (Traditional Product Costing – TPC)	Gde trošak nastaje ?	Ključevi za pridruživanje troškova Kalkulacija
2.	Troškovi zasnovani na procesima (Process Based Costing – PBC)	Gde su uzroci troškova proizvodne režijske?	Procesi Dekompozicija procesa II nivoa (na procesne korake ili faze procesa) Ključevi za pridruživanje troškova
3.	Troškovi zasnovani na aktivnostima (Activity Based Costing – ABC)	Zašto trošak nastaje?	Procesi Dekompozicija procesa III nivoa (na aktivnosti)
4.	Ciljni troškovi (Target Costing – TC)	Koliki troškovi smeju biti?	Poznavanje strukture postojećih troškova Poznavanje tržišta
5.	Budžetiranje zasnovano na aktivnostima (Activity Based Budgeting – ABB)	Koliki su kapaciteti organizacije potrebni za zahtevani proizvod ili uslugu?	Normativi
6.	Bilans postignuća (Balanced Score Card – BSC)	Kakvi su rezultati povezivanja i uravnoteženja činilaca uspešnosti?	Razvijen sistem pokazatelja
7.	„Kaizen“ troškovi („Kaizen“ Costing – KC)	Može li još bolje?	Postojanje razvijenih postupaka
8.	Analiza vrednosti (Value Engineering – VE)	Mogu li se troškovi još smanjiti?	Funkcionalna analiza Poznavanje tehnologije
9.	Model upravljanja troškovima kvaliteta (Quality Cost Management – QCM)	Koji troškovi ne bi nastali kada bi se svaki posao dobro obavio prvi put?	Izgrađen sistem praćenja troškova kvaliteta

Tabela 2. Uporedni pregled karakteristika modela za upravljanje troškovima

4. ZAKLJUČAK

Troškovima je moguće upravljati primenom različitih modela. Da bi se realno mogao očekivati bilo kakav pozitivan rezultat procesa upravljanja troškovima organizacije potrebno je detaljno poznavati postojeću strukturu ukupnih troškova organizacije. To bi trebalo da bude prvi korak u svakom razmatranju upravljanja troškovima u organizaciji. Upravljanje troškovima ne znači „štednju“ u njenom osnovnom obliku već poseban način upravljanja organizacijom i vođenja poslovanja koji najveću važnost u postizanju organizacionih ciljeva poklanja optimizaciji troškova. Optimizacija troškova je proces uravnoteženja količine utroška resursa u procesu ostvarenja koji obezbeđuju postizanje nivoa kvaliteta učinaka koji znači ispunjenje zahteva kupca/korisnika, a može se tumačiti kao maksimizacija količine kvalitetnih učinaka uz minimizaciju ukupnih troškova. Troškovima se najefikasnije upravlja kroz upravljanje poslovnim procesima. Optimizacija poslovnih procesa je skup postupaka kojima se primenom metoda i tehnologija odvijanje procesa dovodi u granice dozvoljenih odstupanja, što rezultuje optimizacijom ukupnih troškova samog procesa. Upravljanje troškovima je složen proces koji zahteva primenu savremenih metoda. To je posebno važno u tržišnom orijentisanom društvu u kome se poslovni rezultat ostvaren na kraju obračunskog razdoblja smatra značajnim i objektivnim merilom uspešnosti menadžmenta organizacije.

5. LITERATURA

- [1] *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Project Management Institute, Newtown Square, USA, 2000.
- [2] Drucker P.: *Inovacije i preduzetništvo*, Grmeč, Beograd, 1992.
- [3] Dubonjić R., Milanović D.: *Inženjerska ekonomija*, ICIM, Kruševac, 2005.
- [4] Đuričin D.: *Upravljanje pomoću projekata*, Deloitte & Touche, Ekonomski institut, Beograd, 1996.
- [5] Jovanović P.: *Menadžment – teorija i praksa*, Grafoslog, Beograd, 2001.
- [6] Juran J. M.: *Juran on Planning for Quality*, The Free Press, A division of McMillan, Inc., New York, London, 1988.
- [7] Wood C. R., Hamel G.: *The World Bank s Innovation Market*, Harvard Business Review, 2002.
- [8] Belak V.: *Bilans postignuća (Balanced Score Card) u planiranju i praćenju rezultata poslovanja*, Zbornik Poduzetništvo, financije i računovodstvo, Zagreb, Rovinj, 2002.
- [9] Drljača, M.: *Mala enciklopedija kvaliteta*, V deo – Troškovi kvaliteta, Oskar, Zagreb, 2004.
- [10] Hele J.: *The eight Quality Management Principles – a practical approach*, "ISO Management System, Vol. 3, No. 2, Geneva, Switzerland, 2003.

Autori: Mr Milunović Sandra, Prof. dr Ječmenica Ratomir, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički fakultet Čačak, Katedra za proizvodno maštinstvo, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija, Tel.: +381 32 302-736, Fax: +381 32 342-101. E-mail:

smilunovic@tfc.kg.ac.yu
jecmenica@tfc.kg.ac.yu

Pamer, F., Terek, J.

PRIMENA PDA-KOMPJUTERA ZA PRAĆENJE PROIZVODNJE U TERMOMETALU ADA

Rezime: Ovaj rad prikazuje rešenje evidentiranja događaja u procesu proizvodnje u momentu događaja i na licu mesta kao: izdavanje operacija, preuzimanje operacije, razdvajanje procesa, promena količine u procesu itd. pomoću PDA kompjutera sa bezžičnom komunikacijom. Vrlo široki asortiman pojedinačne i maloserijske proizvodnje u TERMOMETAL-u, nas je primorao da to sami rešimo sa izgradnjom kompletnog informacionog sistema CAMP, u nedostatku adekvatnog rešenja na tržištu. Razvijeni informacioni sistem CAMP je kreiran sa mysql-serverom za podatke i php serverom za rad sa korisničkim terminalima. Stacionarni terminali koriste program pisan pomoću jezika Rebol.

Cljučne reči: praćenje proizvodnje, PDA-kompjuter, TERMOMETAL

APPLIANCE OF PDA COMPUTER FOR PRODUCT TRACKING IN TERMOMETAL ADA

Resume: This work represents solutions of registering events in a production process in a moment of event such as: operations issuing, operation assuming, process separation, change of quantity in a process, etc. with the help of PDA computer with wire free communication. Very large range of singly and small quantity production in Termometal is forced us to alone solve the problem of building of complete information system CAMP, because of disadvantage of adequate solution on the market. Developed information system CAMP is created with mysql – server for data and php server with user terminal. Stationary terminals are using programme which is written with the help of Rebol language.

Key words: production tracking, PDA computer, TERMOMETAL.

1. UVOD

Termometal-Ada (www.termometal-ada.com) ima višegodišnje iskustvo na polju izrade metalnih delova. Svoje proizvode plasira i na domaće tržište (poljoprivredna mehanizacija i rezervni delovi), i na inostrano tržište (delovi i sklopovi specijalnih mašina za automobilsku industriju). Inostrani partneri imaju stroge zahteve što se tiče kvaliteta izrade, rokove i kompletnosti isporuke.

Nove narudžbe stižu i lansiraju se dnevno. Veliki broj delova je pojedinačna izrada od 1 do 10 kom, i ne ponavlja se (ne možemo definisati pouzdane normative vremena). Istovremeno više stotina vrsta delova se nalazi u procesu proizvodnje sa različitim rokovima isporuke, različitim kupcima, i različitim nivoima (deo-podsklop-sklop). Rokovi realizacije za pojedine narudžbe su uglavnom 3-4 nedelja zajedno sa pripremom proizvodnje.

Analizirajući ponudu informacionih sistema kod nas, i u Mađarskoj (Oracle, Largo, SAP sa PPS...), i pregledom stručne literature nismo našli informacioni sistem koji na polju pojedinačne i maloserijske proizvodnje nudi jednostavnu i efikasno rešenje za evidentiranje i praćenje izdavanja-preuzimanja operacija. Zbog toga TERMOMETAL je odlučio da koristeći iskustvo programera informacionog sistema koju smo koristili, i uključivanjem drugih iskusnih programera sa koordinacijom TERMOMETAL-a ćemo razviti informacioni sistem nazvan CAMP.

2. INFORMACIONI SISTEM “CAMP”

Informacioni sistem Termometala u svom sastavu ima oko 40 PC-računara u intranet mreži. Podaci su smešteni u MySQL bazi podataka na centralnom Linux serveru koji je ujedno i PHP-server. Programi su pisani na php-jeziku (Camp1) i na jeziku Rebol (Camp2) koji je više korisnički

orijentisan. Glavni segmenti programa su:

- Materijalno knjigovodstvo sa magacinskim poslovanjem (sirovine, alati, proizvodi..)
- Prodaja iz magacina, i maloprodaja sa fiskalnom kasom
- Priprema proizvodnje (sastavnice, tehnologije, otvaranje narudžbi, lansiranje Radnih naloga, štampanje dokumentacije..)
- Pogonsko knjigovodstvo (sa upisom trebovanja, prikazom troškova, i predaja gotovog proizvoda)
- Finansijsko knjigovodstvo, Osnovna sredstva
- Obračun zarada, Inventar, Izveštaji itd ...

Posle završetka tih osnovnih modula smo želeli da uvedimo i novi segment za praćenje proizvodnje koji mora zadovoljiti sledeće opšte uslove:

- Izabrati mobilni uređaj koji će pouzdano raditi na bilo kojoj tački naših pogona
- Evidentiranje da vrši dispečer ili poslovođa odmah na licu mesta kad je izvršio izdavanje-preuzimanje radne liste (operacije)
- Evidentiranje događaja da bude vrlo brzo i jednostavno, jer ukupan broj operacija za evidentiranje po smeni može biti i više od 300 po dispečeru
- Omogućiti višekorisnički rad u svakom trenutku, da svi podaci budu raspoloživi odmah na svakom računaru
- Ovakav program treba da bude sastavni deo informacionog sistema fabrike
- U svakom trenutku treba da znamo gde su delovi za pojedine Radne naloge na oko 130 radnih, 20 logističkih lokacija i 30 koperanata u petnajst grupa lokacija

- Ponekad treba deliti procese na više mašina, pa spajati ih kod narednih operacija (dorada)

Za zadovoljavanje ovih kriterijuma izabrali smo PDA kompjutere sa WLAN (wireless intranet) komunikacijom, a programski modul koji je prilagođen 3.5 inčnom displeju nazvan CAMP 3. Za obezbeđenje komunikacije na bilo kom mestu smo montirali dva wireless routera. Domet routera u pogonskim uslovima je samo oko 40 m (preko 60 mašina).

3. CAMP3 – OSNOVNE KARAKTERISTIKE

Za evidentiranje događaja imamo dva osnovna načina : Izbor preko broja Radnog naloga, ili preko lokacije u zavisnosti šta nam je pogodnije u datoj situaciji. Radnje koje operater PDA kompjutera na licu mesta može da evidentira:

- start Radnog naloga, procesa izrade
- izdavanje operacije na radno mesto bez podele, ili sa podelom na dva radna mesta sa mogućnošću vođenja događaja posebno po procesima u okviru jednog Radnog naloga
- korekcija broja komada u procesu
- preuzimanje komada sa radnog mesta
- preuzimanje gotovih komada sa zatvaranjem Radnog naloga

Pri rukovanju na tuch monitoru PDA kompjutera se bira sledeći korak bez potrebe upisivanja osim broja Radnog naloga (pet broja), i izmenjene količine u procesu. Evidentiranje jednog događaja na taj način obično ne traje duže od 10 sekundi. Događaji su vezani za radne lokacije (mašine, grupa mašina), ili za međufaznu -magacinsku lokaciju. Svaki operater ima svoju lokaciju koju dobija nakon ulogovanja u program. Na taj način možemo voditi dnevnik ko šta , koliko i gde je izdao, odnosno preuzeo.

Operater na terenu pomoću PDA uređaja može da pogleda šta je izdato na neku lokaciju, i za neki Radni nalog koji su aktivni procesi i gde se nalaze delovi.

Iste korake možemo izvršiti i u Camp2 sa drugačijim izgledom strana sa mogućnošću učitavanja broja Radnog naloga pomoću bar kod čitača radi ubrzanja evidentiranja (kooperanti).

4. PRAĆENJE PROIZVODNJE - PRIMER IZ PRAKSE

Za prikaz rada smo uzeli primer Točka rotacionog sakupljača sena SUNCE 58-0003 sa sastavnicom:

58-0179 Vezna ploča 1 kom
 58-0179/1 Granični prsten 1 kom *
 58-0179/2 Ploča 1 kom *
 (*- elementi Vezne ploče 58-0179)
 58-0006 Pritisna ploča 10 kom
 58-0007 Obruč sabirnih elemenata 1 kom
 58-0025 Zupci dupli-sabirni elemenat 20 kom

Kod sastavljanja narudžbe, definišemo količinu primer 100 kom, i željeni rok izrade.

Koraci lansiranja znače:

- rastavljanje ukupnih potreba za zadatu količinu,
- otvaranje Radnih naloga za svaki deo na svakom nivou, gde ćemo izvršavati neku operaciju - automatski pritiskom jednog dugmeta (od A-33703 do A-33709).

Potreb	Ukup / Pred	Rad Nalog	Proces	TehnoI operacije
58-0003 x 100	100	100 / 0	A-33703	-1 100 MON
58-0006 x 10	1000	1000 / 0	A-33705	-1 1000 ML IZB SAC FR
58-0007 x 1	100	100 / 0	A-33706	-1 100 IZB SAV ZAV RR FR
58-0025 x 20	2000	2000 / 0	A-33707	-1 2000 ISP SAV TO RR PLA
58-0179 x 1	100	100 / 0	A-33704	-1 100 ZAV RR SAC FR
58-0179/1 x 1	100	100 / 0	A-33708	-1 100 PT ISP SAV
58-0179/2 x 1	100	100 / 0	A-33709	-1 100 ML BU KML ISE RR

Slika 1. Lansiran Točak 58-0003 100 kom

- Proračun prioriteta određuje najkasniji početak nekog Radnog naloga uzimajući u obzir nivoe delova , broj i dužinu operacija.
 - Štampanje Propratnice Radnog naloga, koja prati crtež u proizvodnji sa sadržajem: šifra dela, količina, broj Radnog naloga (i bar kod), broj narudžbe, rok izrade, potrebnu sirovinu, tehnologiju izrade
- Startovanje i izdavanje prve operacije praktičnije u Camp2 gde imamo pregled prioriteta, i ponudu lokacija za izdavanje izabrane operacije (parčanje).

sif	lok	operacija1	operacija2
K18	Tehnička škola	TF GL PT RR	
K37	Šutka Antal	TF GL PT KOR RR	
P0#	Testere	PT PTS PF	
P01	"OKVIRNA TESTERA"	PT PF	
	"POBEDA"		

Slika 2. Izbor lokacije za prvu operaciju kod RN A-33708 za 58-0179/1 Granični prsten : P01, Izdati

Dalje korake preuzimanja i izdavanja operacija na ovom primeru Radnog naloga A-33708 pošto se odvijaju, i evidentiraju uglavnom u pogonu prikazujemo preko slike na PDA kompjuteru pomoću Camp3.

Naslov slike daje opis radnje šta možemo raditi na tom koraku, a iza „;" piše šta treba pritisnuti za to.

Radni nalog:

Nalog: A- Ok

A- B- C- Delete

0	1	2	3	4
5	6	7	8	9

Slika 3. Upis broja Radnog naloga : upisati 33708, i OK

N1/2	ISP	58-0179/1
A-33708	Prenos: 0	58-008.0 (0.3 h)
Izb.Lok	:	
Login	100	Izdati
0	1	2
3	4	Del
5	6	7
8	9	

Slika 8. Izbor lokacije za operaciju 2 : Izb.Lok

Proc:	A-33708(1): 58-0179/1 x 100
N1	(pt) ISP SAV x 100 (0)
Login	

Slika 4. Izbor procesa : N1

Slovo:	B	G	K	L
M	P	R	S	T
Z	Grupe			

Slika 9. Izbor slova ili grupe lokacije za izdavanje : P

N1		A-33708 : 58-0179/1	
1	(pt)	P01 (100)	Izdat(I)
2	ISP	(100)	(-)
3	SAV	(100)	(-)
Login	Sve		Mod_pro

Slika 5. Izbor operacije 1 za preuzimanje : 1

Lok:	P#	P0#	P01	P02
P10	P20	P21	P30	P31
P5#	P50	P51	P52	P53
P54	P55	P56	P58	P6#
P60	P65	P66	P69	P70
P71	P72	P73	P8#	P80
P81	P82	P83	P84	P85
P9#	P91	P95		

Slika 10. Izbor radne lokacije za ispravljanje (ISP) : P51

N1/1	(pt) I	58-0179/1
A-33708	Ostaje: 0	58-008.0 (0 h)
Izb.Lok	P01	100
Vratiti	Prekid	Gotov
0	1	2
3	4	Del
5	6	7
8	9	

Slika 6. Preuzimanje operacije sa 100 kom: Gotov

N1/2	ISP	58-0179/1
A-33708	Prenos: 0	58-008.0 (0.3 h)
Izb.Lok	P51 : "EKSCENTAR PRESA ""DIGEP""	
Login	100	Izdati
0	1	2
3	4	Del
5	6	7
8	9	

Slika 11. Izdavanje na izabranu lokaciju : Izdati

N1		A-33708 : 58-0179/1	
1	pt	P01 (100)	Gotov(G)
2	ISP	(100)	(-)
3	SAV	(100)	(-)
Login	Sled	L19	Mod_pro
L19 : Terek Jene			

Slika 7. Preuzeta operacija 1 , izdavanje 2. operacije: 2

N1		A-33708 : 58-0179/1	
1	pt	P01 (100)	Gotov(G)
2	(isp)	P51 (100)	Izdat(I)
3	SAV	(100)	(-)
Login	Sled		Mod_pro

Slika 12. Izgled RN posle izdavanja 2. operacije

Sa ovim koracima smo prikazali karakterističan primer rukovanja kod evidentiranja događaja pomoću PDA kompjutera.

Za praćenje faze, pregled stanja gotovosti, potrebno vreme za završetak proizvoda u Camp2 ima raznih mogućnosti po narudžbi, po partneru, po proizvodu sa izveštajima za štampanje, ali to nije predmet ove prezentacije.

5. ISKUSTVA I PRAVCI DALJEG RAZVOJA

Ovako razvijen program smo za nekoliko sati obuke i vežbe uhodali i kod dispečera koji nemaju praksu sa radom na kompjuteru, što znači da smo postigli cilj. Korišćenjem brzo smo eliminisali štampane liste po narudžbi gde su dispečeri vodili izvršenje operacija. To već značio ubrzanje procesa jer više stotina vrsta pozicije se nalazi istovremeno u proizvodnji. Dispečeri su brzo uvideli da sa disciplinovanim evidentiranjem dobijaju puno pomoći od programa naročito u tome gde se nalazi određen deo, a rukovodioc može da ima u svakom momentu uvid u gotovost nekog proizvoda ili narudžbe, i na vreme može da interveniše po potrebi.

Ima mogućnosti za proširenje funkcija jer je izrađen deo programa za izbor posla od strane radnika na radnom mestu od izdatih. Na taj način ako postavimo fiksne terminale kod grupe mašina radnici će moći jednostavno prijaviti efektivni početak operacije i na kraju završetak toga i početak sledećeg posla. Time bi imali informaciju gde šta rade trenutno, i za svaku operaciju bi imali vreme koliko je potrošio radnik za izvršenje. Ti podaci bi bili korisni za analizu troškova, efikasnosti, i stimulisanje radnika zajedno sa podacima o doradi i škartu. Za evidenciju prisustva radnika već imamo u funkciji kontrolu ulaska-izlaza, pa i to možemo uključiti u dalji razvoj.

6. ZAKLJUČAK

Razvijeno rešenje radeno za potrebe TERMOMETAL-a, ali uvek smo gledali da rešenja budu univerzalna, jer i sam TERMOMETAL ima i drugi profil proizvodnje sa serijskom proizvodnjom rezervnih delova za poljoprivrednu mehaizaciju, pa ovo rešenje koristimo i za tu proizvodnju. Autori su otvoreni za saradnju sa zainteresovanim.

7. LITERATURA

- [1] Grupa Autora.: *Mrežno planiranje i upravljanje*, Informator, Zagreb, 1983.
- [2] Heteyi Jožef : *ERP rendszerek Magyarországon a 21. században*, Computerbooks, Budimpešta, 2004
- [3] Jeremy Zawodny : *High Performance MySQL- Optimization, Backups, Replication, and More*, 2008
- [4] Sorak M.: *Industrijski menadžment*, Tehnološki fakultet,

Banja Luka 1999.

- [5] Sorak M., Martić R., Gojković P.: *Projektovanje informacionog podsistema za potrebe funkcije materijalnog obezbeđenja*, Međunarodno savjetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije, DEMI 2000, Banja Luka 26–28.4.2000.
- [6] Zelenović D.: *Tehnologija organizacije industrijskih sistema*, Naučna knjiga, Beograd, 1995.

Autori: **dipl.ing Pamer Ferenc** (Ada,Školska bb, tel: 024/851-234, e-mail: fpamer@gmail.com)
dipl.ing Terek Jene (TERMOMETAL Ada, 29 Novembar 13. tel: 024/853-030,

E-mail: terek@termometal-ada.com

Pavićević, Ž., Vuković, Đ., Mićunović, J., Hamzić, D.

UNAPREĐENJE INTERNE KOMUNIKACIJE U CILJU POBOLJŠANJA PROCESA UPRAVLJANJA PROIZVODNOM

Rezime: Interna komunikacija dobija na značaju i naglo se razvija početkom 90-ih godina prošlog veka usled velikih spajanja, preuzimanja i smanjivanja unutar industrijskih grana. Period koji je iza nas, takav oblik komunikacije sveo je na minimum i najčešće je predstavljan i interpretiran u neadekvatnom značenju. Situacija u kojoj se naše društvo i industrija nalaze, kao i vreme koje dolazi, ukazuju na potrebu i značaj razvoja interne komunikacije unutar industrijskih preduzeća. Tranzicija, restrukturiranja preduzeća i privatizacija pokazali su koliko ovaj vid komunikacije unutar industrijskih preduzeća nije razvijen, a samim tim i ukazali na pojavu nezadovoljstva i bojazni da su potezi koje povlači Vlada Srbije, ali i uprave preduzeća, pogrešni za društvo i ekonomiju u celini. Cilj ovog rada je da ukaže na važnost interne komunikacije i marketinga unutar mašinske industrije, kao dela privrede bez koga zemlja koja teži privrednom prosperitetu ne može napredovati niti se razvijati. Važnost interne komunikacije je velika zbog čega je ovaj proces sastavni deo QMS-a, a funkcionisanje procesa jasno je definisano zahtevima standarda JUS ISO 9000:2001.

Cljučne reči: interna komunikacija, menadžment kvalitetom, marketing

IMPROVEMENT OF INTERNAL COMMUNICATION IN CONSEQUENCE OF ADVANCING THE PROCES OF PRODUCTION MANAGEMENT

Abstract: Internal communication has gotten on its importance and significantly developed during 90-es due to a large fusions, overtaking, and reductions within industrial branches. During period in the past such kind of communication has been reduced to minimum and mostly it has been inadequately represented and interpreted. Situation in which our society and industry are now, and in the time which we are going to meet, urges necessity and importance to develop internal communication within industrial companies. Transition, consolidation of companies, and privatization indicated in which extent this kind of communication in industrial companies has not been developed, and thus pointed toward dissatisfaction and concern that moves driven by Serbian government could be erroneous for economy and society in general. Issue of this thesis is to indicate to significance of internal communication and marketing within machinery industry, necessary part of the economy of any economically advancing and prosperous country. Importance of internal communication is huge because this process is an integral part of QMS and functionality of process is defined with requirement of standard ISO 9000:2000.

Key words: internal communication, quality management, marketing

1. UVOD

Organizaciona ili interna komunikacija se može definisati kao proces kreiranja i razmenjivanja poruka unutar mreže međusobno zavisnih odnosa kako bi se pomoglo u razrešavanju nesigurnosti u okolini. Neki od opšte poznatih pozitivnih aspekata efikasne komunikacije su:

- bolja efikasnost,
- zaposleni su upoznati sa situacijom, više motivisani i uključeni u rad organizacije,
- bolji odnosi i bolje razumevanje među zaposlenima,
- zaposleni bolje shvataju potrebu za promenama.

Menadžeri preduzeća treba da vladaju visoko razvijenim komunikacijskim veštinama, ne samo da bi stekli prednost, već i da bi bili efikasni u postojećoj klimi koja vlada unutar firme tokom tranzicije i procesa privatizacij. Na primer:

- Promene u zakonodavstvu zahtevaju od menadžera da protumače implikacije koje će se odraziti na načela i praksu njihovih organizacija.
- Promene usled privatizacije, zahtevaju od novih menadžera da koordiniraju i organizuju svoj rad u izmenjenom okruženju kao i u slučajevima pojave krize u organizaciji.
- Promene usled novih tehnologija, novih znanja i sl.
- Rad firme zavisi od vertikalnih i horizontalnih komunikacijskih kanala. Sa većom složenosti i povećanim obimom posla, informacija treba da se razmenjuje između zaposlenih, a ne da se kreće gore-dole po hijerarhijskoj lestvici (što obično rezultuje kašnjenjem i izobličenjem

informacije).

- Zaposleni očekuju više od svojih menadžera, ne samo bolje plate već i veću ličnu odgovornost, inicijativu i bolji pristup informaciji.

Dakle, interna komunikacijom se ostvaruje posredovanje između menadžmenta i zaposlenih u ostvarivanju poslova i ciljeva organizacije. Komunikacija je alat koji zaposlenima omogućava zadovoljenje socijalnih i psiholoških potreba ali i sredstvo kojim se prenosi organizaciona kultura firme - sve poruke bazirane na misiji, viziji, strategiji i organizacijskim vrednostima. Ovaj rad treba da ukaže široj stručnoj javnosti na važnost internog marketinga i interne komunikacije koja se ogleda u sledećem:

- prenosi se vizija, strategija i poslovni ciljevi,
- osećaj uključenosti zaposlenih u poslovni život firme stvara osećaj odgovornosti za rezultate,
- dosledno sprovođenje interne komunikacije dovodi do rasta zadovoljstva i motivacije zaposlenih,
- uspešnije pružanje usluga klijentima,
- profitabilnije poslovanje = više RSD/€ .

2. KOMUNIKACIONI PROCES

Komunikacijski proces zahteva uključivanje najmanje dvoje ljudi; pošiljaoca i primaoca informacije. Pošiljalac inicira komunikaciju kada pokušava da prenese informaciju, koja sadrži npr. ideje, činjenice ili osećaje, primaocu (tj. osobi kojoj šalje poruku). Pošiljalac kodira informaciju, npr. ideju

koju želi pretvoriti u poruku koristeći se simbolima, rečima, itd. Važno je kako pošiljalac kodira poruku jer to može uticati na način na koji će je primalac shvatiti. Poruka se šalje jednim, ili kroz više kanala, npr. neposredno na sastanku, pismom, telefonskim pozivom, ili e-mail-om. Primalac dekodira simbole koje su u poruci i pokušava da rekonstruiše pošiljaocu prvu zamisao. Kodiranje i dekodiranje je potencijalni izvor greške u komunikaciji jer primalac i pošiljalac mogu imati različit nivo znanja, obrazovanja, iskustva ili interesa. U završnoj fazi primalac odgovara na poruku, dajući povratnu informaciju pošiljaocu. Ovim se jednostrana komunikacija pretvara u dvostranu. Pošiljalac, bez povratne informacije ne može znati da li je poruka primljena i da li protumačena na odgovarajući način.

Protok informacije između strana je kontinuiran i recipročan; svako odgovara dajući povratne informacije onom drugom. Komunikacija je potpuna samo onda kada primalac primi i razume poruku na željeni način.

Efektivni komunikatori shvataju dvostrani aspekt komunikacije i proveravaju dokaz povratne informacije. Oni se ne oslanjaju na jednostrane metode, već se postaraju da primalac ima mogućnost i podsticaj da odgovori. Jedan od najvažnijih načina pokazivanja komunikacione efikasnosti jeste *feedback sistem*. Dva osnovna tipa feedback sistema su *personalni* koji obuhvata koncept „lice u lice“, telefonski razgovor i e-mail i *nepersonalni* koji obuhvata izveštaje, budžetiranje ili planove. Bez bilo kakvog odgovora (npr. klimanja glavom, pitanja koje u sebi sadrži odgovor, pisma ili e-maila o tome da je informacija primljena) pošiljalac ne zna da li je uspešno komunicirao. Ovo znači da je komunikacija moguća samo ako postoji interaktivna razmena informacija, sa povratnom informacijom, tj. ako postoji dijalog. [1.2.4]

3. FORME I NAČINI KOMUNICIRANJA

Verbalna komunikacija, javni govor i pisana reč, u svakoj kulturi, korišćeni u poslovnoj komunikaciji imaju tri funkcionalne varijante: formalni, neformalni i familijarni jezik. *Formalni jezik* predstavlja jezik naučnih, poslovnih i vladinih izveštaja, udžbenika i novinskih članaka. Njega karakteriše velika emotivna distanca između pripovedača i slušaoca. Ovakav vid izražavanja je logičko organizovan, gramatički ispravan i isključuje svakodnevno izražavanje, sleng i skraćenice. *Neformalni jezik* predstavlja oblik svakodnevnog komuniciranja između prijatelja i poznanika, sadrži skraćenice i sleng. *Familijarni jezik* se koristi u razgovoru sa bliskim članovima porodice i intimnim prijateljima. Karakterističan je po tome što se potencira prvo lice jednine i veoma malo pažnje se poklanja pravilnom gramatičkom izražavanju.

Bez obzira o kojoj se formi komuniciranja radi, ona mora biti odgovarajuća prilikom internog komuniciranja, zavisna od situacije, osobe sa kojom se komunicira i svrhe razgovora.

S druge strane, pred verbalne komunikacije kao forme prenošenja informacija sa određenom svrhom ili ciljem, postoje i forme neverbalnog komuniciranja koje ponekad prenose više informacija nego što je to u slučaju klasičnog izražavanja. Forme neverbalnog komuniciranja vezane su za prostor, vreme i neverbalno telesno komuniciranje (izraz lica, govor tela, gestikulacije, način odevanja i sl.).

Prostor i njegovo korišćenje zauzimaju sve veće interesovanje kao naučna disciplina zvana *Proxemics*. Ljudi obično svoj poslovni prostor posmatraju kao prošireni deo sebe i veoma često upućuju signal kojim upozoravaju na mogućnost ugrožavanja istog. Koliko je „blizu“ zaista blizu pri uobičajnim upoznavanjima, različitim konverzijama i poslovnim pregovorima prvenstveno zavisi od učesnika, situacije i kulture.

Neposredovanje vlastitog poslovnog prostora može izazvati veliki problem zaposlenima. U zavisnosti od posla

koji obavlja, zbog rada u frekventivnim i otvorenim kancelarijama, zaposleni može biti neskoncentrisan na posao koji obavlja, nervozan i negativan u okruženju (osećaj dislociranosti, bez korena i nepripadnosti organizaciji u kojoj rade). Takođe negativno osećanje može biti izazvano činjenicom da menadžent, po pravilu ima sopstvene prostorije, dok su izvršioци bez sopstvenog prostora. Danas je iz tog razloga sve češće korišćenje „open office“ u kojem su smešteni zaposleni i njihovi neposredni nadređeni.

Raspored sedenja prilikom poslovnih razgovora predstavlja bitan vid neverbalne komunikacije. Formalni način rada kada sagovornici sede jedan naspram drugog ukružuje situaciju; vlasnik stola je u poziciju da vodi i odlučuje o toku razgovora. Situacija kada sagovornici sede pod pravim uglom je manje formalna i nagoveštava da razgovor može izaći iz strogog okvira pa tako postavlja sagovornike u ravnopravni položaj. Situacija kada u kancelariji postoje sofe ili udobne stolice ukazuje pre na neformalnu priču nego ozbiljan i strog poslovni razgovor.

Okrugli stolovi postavljaju sagovornike na jednake udaljenosti i ohrabruju komunikaciju među njima. Pravougaoni stolovi formalizuju razgovore, liderska pozicija je u čelu koje je udaljenije od ulaznih vrata dok osoba koja sedi nasuprot lidera služi kao pomoć da se sastanak uspešno održi. Obično osobe koje se nalaze levo i desno od lidera govore manje ili su tu da mu asistiraju i pomognu. Osobe koje se nalaze u centru jedne od strana imaju veliku šansu da preuzmu reč i dominiraju sastankom.

Vreme predstavlja bitnu formu neverbalne komunikacije. *Chronemics* proučava na koji način se koristi vreme u neverbalnoj komunikaciji u različitim kulturama. Razlikujemo *Monochronics* i *Polychronics* time sisteme koji se koriste za opis forme vremena i njegovog uticaja na društvo. *Monochronics time sistem* je onaj u kojem se stravi obavljaju na linijski način, prelazak sa okončanog na novi problem. Vreme se posmatra kao nešto što se može kontrolisati i koristiti pametno. *Polychronics time sistem* je suprotnost predhodnog i odgovara onim licima koja nameravaju da istovremeno obave više stvari. Vići značaj se polaže na ličnu umešnost nego na to kada bi to sve trebalo da bude obavljeno u vremenu. U ovim slučajevima raspored je podređen ličnim odnosima, sastanci započinju sa zakašnjenjem i zbog mogućnosti prekidanja mogu trajati jako dugo. Prekidanje je zanimljiv aspekt forme vremena. Ukoliko osoba sa kojom obavljamo poslovni razgovor biva često u toku istog prekidana možemo doći do zaključka da je sastanak koji obavljamo, ovoj osobi nebitan obzirom da isti može u svakom trenutku izdati naredbu da ne bude prekidani ili preći u salu za sastanke.

Neverbalno telesno komuniciranje je takođe bitan vid komunikacije, a oblast koja se bavi njome naziva se *Kinesics*. *Izraz lica*, najmoćniji vid neverbalne komunikacije, daje mnogo više informacija i utisaka od, recimo, boje i visine glasa ili pokreta tela. Poruke se prvenstveno prikupljaju posmatranjem očiju, a potom usta sagovornika. Tokom razgovora sagovornici konstantno upoređuju visinu i boju glasa sa smislom izgovorenih reči, a zatim, sa položajem tela, pomeranjem ruku i pokretima glave. *Oculistics* izučava komunikaciju kroz kontakt očima i dug pogled. Proučavanje ovog fenomena je od značaja jer npr. ukočen pogled ili konstantno dugo držanje pogleda prema sagovorniku mogu da prouzrokuju negativan efekat kod istog. *Govor tela* (pokreti i držanje) je dominantan faktor socijalne, pre nego poslovne kulture. Ispitivanje su pokazala da muškarci i žene koriste različite načine komunikacije putem tela i to često rezultuje velikim ličnim, a samim tim i poslovnim nesporazumima. Osobe koje žele da komuniciraju ili izraze slaganje sa sagovornikom prilaze bliže, nagnju se ka njemu, smeše se i više kontaktiraju očima. Često ljude čujemo da razgovaraju ali tek na osnovu izraza lica i položaja tela

zaključujemo da li su u dobrim odnosima, uzbuđeni ili posvađani. [1.2.3.6]

4. KOMUNIKACIONI KANALI

Organizacija koristi dva osnovna kanala za komuniciranje; formalni i neformalni, oba bitna za prenošenje poruka (nekada u interakciji, a nekad su u konfliktu) u organizaciji. Formalni su direktno u vezi sa organizacionom strukturom koja je hijerarhijski formalna i takva da se tačno zna ko koga izveštava, nadgleda i šta su čije odgovornosti.

Ipak, kao i u svim organizacijama, ljudi komuniciraju izvan formalnih struktura i kanala, npr. u hodniku, holu ili tokom pauze za ručak.

4.1 Formalna komunikacija

Službeno definisane kanale komunikacije obično možemo naći u organizacionoj šemi, procedurama ili hijerarhijskim strukturama. Postoje tri oblika formalne komunikacije: silazna i uzlazna komunikacija kao celine unutar vertikalne komunikacije i horizontalna komunikacija.

Silazna komunikacija je komunikacija koja teče od vrha prema dole, npr. od menadžmenta do zaposlenog. Silazni komunikacijski kanali treba da informišu, ubede, objasne, oduševе, usmeravaju i podstiču na akciju. Oni su posebno važni tokom promena. Drugi komunikacijski mehanizmi (uzlazni i horizontalni) ne mogu efikasno funkcionisati bez uspešnog funkcionisanja ovih silaznih kanala. Primeri poruka kojima se komunicira na ovakav način su: instrukcije za zadatak, dodatna objašnjenja, procedure i praktična informacija. Silazna komunikacija se može ostvariti velikim sastancima otvorenog tipa, brifinzima tima, biltenima i e-mail sistemima.

Uzlazna komunikacija je prenos poruka sa nižeg na više nivo, tj. komunikacija koju su inicirali podređeni sa svojim nadređenima. Vrste poruka koje se koriste u ovoj formi: kvalitet rada, problemi vezani za posao, kolege zaposlenih i njihovi problemi, percepcija podređenih o praksi i načelima unutar organizacije, zadaci i procedure. Uzlazna komunikacija može pospešiti moral među svim zaposlenima, ali je za menadžere ova vrsta komunikacija teža za prihvatanje. Važno je da menadžeri razviju metode slušanja mišljenja i sugestija osoblja. Kanali za uzlaznu komunikaciju koji su posebno relevantni za okolinu uključuju obilazak osoblja od strane menadžera, učešće predstavnika zaposlenih u savetodavnim timovima, postavljanje telefonskih linija za pomoć ili savetodavnih centara (intranet) i ankete za zaposlene.

Horizontalna komunikacija je protok poruka kroz funkcionalna područja organizacije na bilo kojem nivou; prelazi granice sektora i funkcionalne granice, te povezuje ljude na širim sličnim nivoima unutar organizacije. Vrste poruka koje se koriste u ovom obliku su: problematika rešavanja problema, podela informacija između radnih grupa i timova, koordinacija zadatka između sektora i timova.

Menadžeri treba da osiguraju timsku koordinaciju tako što će ohrabriti horizontalnu interakciju i pobrinu da kolege prenesu informacije o trenutnom stanju poslova jedni drugima, tako da svaki sektor može biti spreman da doprinese radu po potrebi. [1.2.5]

4.2 Neformalna komunikacija

Neformalna komunikacija se odnosi na onu vrstu interakcije koja se ne odvija kroz službeno određene kanale komunikacije. Potiče iz društvenih i ličnih interesa zaposlenih, a ne iz formalnih zahteva organizacije odnosno firme. Neformalna komunikacija je nasledna, i neophodan je aspekt organizacionog života i kao takva, stvara opuštenu, ugodnu klimu i ne treba da bude zamena efikasnom

formalnom sistemu. Sa druge strane, korišćenje formalne komunikacije u svakoj situaciji može predstavljati veliki problem u komunikaciji i razumevanju (ukoliko želimo da određene strateške ciljeve kao i pravne forme poslovanja predstavimo svima koji su zaposleni u organizaciji).

Najčešće korišćen način neformalnog komuniciranja u organizacijama su informacioni „grozdovi”. Pojedina istraživanja pokazuju da je ovo jedan od najsnažnijih izvora informisanja za većinu zaposlenih. Informativni „grozdovi” mogu biti jednokanalni, ogovaranje, najverovatniji i grozdoviti. [1.2.3]

5. MEDIJUMI ZA KOMUNICIRANJE

Medijumi mogu da se posmatraju sa dva aspekta, tehničkog i fizičkog. Tehnički to je način na koji se isporučuju informacije, kao recimo, putem telefona, telefaksa, email, radija, časopisa i sl. Fizički aspekti podrazumevaju način prenošenja informacija: čitanje (knjige, novine ili časopisi); vizuelni (televizija, filmovi za obuku zaposlenih); govorni ili slušni (konverzacija licem u lice). Često se primenjuje kombinacija različitih načina (internet, intranet, što je kombinacija vizuelnog zvučnog istovremeno). U svakom slučaju, oba vida, usmeno ili pisana reč veoma su bitni u poslovnim odnosima, uglavnom lične karakteristike pojedinca i situacija opredeljuju koji će se medijum koristiti za saopštavanje informacija. Neke osobe se mnogo bolje izražavaju usmeno nego što to čine pisanjem. Drugi mnogo bolje komuniciraju dokumentima i elektronskom poštom.

Kao što različite ličnosti preferiraju različite medijume, tako i određene organizacije mogu biti više orjentisane ka jednom ili drugom načinu komuniciranja. U delovima organizacije koji se bave marketingom i prodajom, često insistiranje na pisanim izveštajima oduzima vreme potrebno za obradu informacija, pa je mnogo efikasnije da se one saopštavaju usmeno. Sa druge strane može postojati odupiranje usmenom izveštavanju jer može sadržati suviše detalja, oduzimati dosta vremena, a ni menadžmentu nisu potrebne apsolutno sve informacije. U tom slučaju bolje je periodično pisati izveštaje i preglede nego vršiti strogo svakodnevno izveštavanje.

Pisani dokument je ujedno i potvrda da ste informaciju, predlog i sugestiju poslali potencijalnom korisniku. Iz tog razloga e-mail je najbolje sredstvo za internu komunikaciju obzirom da dokument ostaje i kod pošiljaoca i primaoca istog.

Medijume možemo opisati kao bogate, sa velikim rasponom verbalnih i neverbalnih formi i mogućnosti povratne veze. Siromašni medijumi sadrže malo formi, bez mogućnosti povratne informacije i dosta ličnog pečata. Primer bogatog medijuma je razgovor „lice u lice“, a siromašnog izveštavanje na oglasnoj tabli. Svakako da treba forsirati bogate medijume za komuniciranje, dok siromašne koristiti u slučaju periodičnih pregleda. [2.3]

6. PREPREKE EFIKASNOJ KOMUNIKACIJI

Nije uvek teško pisati i govoriti ali je često veoma teško ostvariti puno međusobno razumevanje. Ljudi potiču iz različitih sredina (obrazovnih, kulturalnih i društvenih), imaju različita iskustva i lične potrebe. To utiče na njihovu sposobnost razumevanja poruka koje do njih dopiru iz drugačijih sredina, tj. utiče na značenje koje pridaju rečima ili izrazima lica. Kao posledica toga, komunikacija može biti znatno otežana.

Najznačajnije barijere za efikasno komuniciranje su žargon, pretrpanost informacijama, filtriranje informacija, percepcija, emocije i sposobnost slušanja.

Sledeći praktični primeri predstavljaju neke od učestalih mišljenja koja često deluju kao prepreke dobroj internoj komunikaciji.

1. *Ako ja to znam, onda bi i svi ostali trebali to da znaju.* - Možda najčešći komunikacijski problem je pretpostavka menadžera da, ako su oni svesni neke informacije, da su i svi ostali upoznati sa njom. Menadžeri treba da upamte šta su kome rekli i da se pobrinu da svim relevantnim osobama prenesu tu informaciju. Proces se ovde ne zaustavlja, već se širi dalje.

2. *Izbegavanje tereta birokratije.* - Kada se u organizacijama dogode velike promene, menadžeri mogu namerno izbeći da postave nova pravila i procedure, izbegavajući ovaj teret birokratije. Ipak, kako promene postaju veće, potrebna je pojačana komunikacija, kao i potreba za povratnom informacijom. Ako se ova komunikacija ne poštuje može doći do konfuzije.

3. *Da li si čuo ono što sam želeo da čuješ?* - Ako se razlike u obrazovanju, sredini i interesima ignorišu, može se desiti da neke pošaljete informaciju, a da pritom ne uvidite da je vaša poruka pogrešno protumačena. Nažalost, pošiljalac često nije svestan ovog problema sve dok ovo ne preraste u još veći problem.

4. *Ne trebaju mi tuđi pored svojih problema!* - Lakše je raditi hitnije nego važnije stvari, posebno kada su zaposleni umorni ili pod stresom. Potrebno je ostvariti jasnu komunikaciju kako bi svi zaposleni znali šta treba da rade.

5. *Dobro, o čemu to treba da razgovaramo?* - Komunikacijski problemi se mogu pojaviti kada neiskusni ili arogantni menadžeri misle da se njihov posao sastoji samo u rešavanju problema, tako da ako nema problema-krize, onda ne treba ni komunicirati.

6. *Jedno je podatak, a drugo informacija.* - Kada je sektor pod velikim pritiskom (npr. zbog neobavljenih poslova, pribijeh rokova), kooperanata i sl., menadžeri se obično fokusiraju na problematiku efikasnosti. Oni često stvaraju sisteme koji proizvode velike količine podataka, sirovu informaciju koja nije toliko bitna.

7. *Obratiću ti se onda kada to budem hteo.* - Komunikacijski problemi se mogu pojaviti kada menadžment jednostavno ne ceni komunikaciju sa podređenima i kada misli da sa njima ne treba komunicirati. [1.4.5.6]

7. RAZVOJ KOMUNIKACIJSKOG PLANA

Bez obzira da li se planira interna ili eksterna komunikacija, bilo bi dobro razviti plan komunikacije, bilo neformalan ili formalan plan. U razvoju komunikacijskog plana, koji obično razvija marketing menadžer u saradnji sa svojim timom i menadžerima relevantnih sektora, trebaju se razmotriti sledeći faktori: Kako se komunikacijska strategija uklapa u celokupni proizvodni program i program usluga? Koji su ciljevi komunikacije? Koje poruke treba preneti? Ko su ključni igrači u komunikacijskom procesu? Potrebno je uzeti obzir uloge menadžera sektora, šefova službi ili informacijskog službenika. Koji je najbolji pristup u kontaktu sa ključnim osobama, uključujući kome/kako će se poruka preneti? Koji se trenutno komunikacijski kanali koriste u komunikaciji sa relevantnim osobama i koliko su efikasni? Kako se isti mogu više angažovati u komunikacijskom procesu? Kako dobiti povratne informacije? Koliki je ukupni budžet za komunikaciju?

Menadžeri treba da uzmu u obzir sve ove faktore pre nego što postave ili razviju bilo koji oblik komunikacije. Trebalo bi da ohrabre participaciju relevantnih osoba u razvoju komunikacijskog plana kroz timski rad. Rezultat bi bio bolje posvećenost i razumevanje strategije organizacije. U ovom procesu, menadžeri treba da zatraže povratnu informaciju, da saslušaju i da reaguju na komentare i predloge koji iziskuju eventualne promene.

Kada marketing menadžer investira u komunikacijski plan, onda se treba i zauzeti za dosledno sprovođenje istog. U protivnom, postoji realan rizik da će doći do razočarenja i

demotivacije zaposlenih ili da će zaposleni na to gledati kao na pokušaj stvaranje „sedmog čuda“. [1.2.5]

8. ZAKLJUČAK

Komunikacija se odnosi na prenošenje i tumačenje poruka na jasan način tako da ljudi mogu razumeti jedni druge i raditi zajedno. Efikasna komunikacija počinje sa efikasnim veštinama slušanja, govora, ispitivanja i podele povratnih informacija. Načela interne komunikacije su ona koja ukazuju na to da ista treba biti redovna, sadrži važne informacije, bude ujednačena u celokupnoj organizaciji, usmerena prema svim zaposlenima, višesmerena (horizontalna i vertikalna), organizovana prema formi i sadržaju kao i kontinualno praćena i nadgledana.

Efikasna komunikacija drži ljude ažuriranim, navodi ih da se uključe u organizaciju, povećava motivaciju i posvećenost zaposlenih, poboljšava odnos i razumijevanje među zaposlenima i pomaže ljudima da razumeju potrebu za promenama.

Marketing menadžer i menadžeri relevantnih sektora kao i Direktor firme bi trebalo da razmotre postojeće komunikacijske aranžmane kako bi osigurali da kanali za slanje poruka omogućuju efikasnu komunikaciju unutar organizacije. Osoblje i zaposleni koji sprovedu internu komunikaciju imaju sledeće zadatke: ostvarivanje feedback sistema; stvaranje sistema pro-aktivnog informisanja; podržavanje menadžmenta u implementaciji strategije; konsultovanje menadžmenta o načinima i kanalima interne komunikacije i korišćenje potencijala zaposlenih i njihovo uključivanje u promene unutar organizacije.

Kako bi projekat unapređenja interne komunikacije ostvario svoj cilj potrebno je sprovesti niz aktivnosti koje obuhvataju: istraživanje (koje informacije se dobijaju; koji su najčešći kanali i gde; kada ih dobijaju; njihovi stavovi; koje informacije bi hteli dobiti, a ne mogu doći do njih...), komunikacijski plan, sprovođenje plana, evaluacija.

9. LITERATURA

- [1] M. Petković, N. Janićijević, B. Bogićević-Milikić: *Organizacija*, IV izdanje, Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteteta, Beograd, 2006.
- [2] B. Rakita: *Međunarodni biznis*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2006.
- [3] B. Ilić: *Interna komunikacija kao sastavni deo uspešne organizacije*, H45-H48, Kragujevac, Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije, Maj 2005.
- [4] D. P. Norton, R. S. Kaplan: *The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*, Harvard Business School Publishing Corporation, 2000.
- [5] C. McNamara : *Field Guide to Leadership and Supervision*, Authenticity Consulting, LLC; 2nd edition, 2003.
- [6] S.P. Robbins, T.A. Judge: *Organizational Behavior*, 13th Edition, Prentice Hall, 2008

Autori: Pavićević A. Željko¹, Vuković Đorđe², Mićunović Jelena³, Hamzić Damir⁴

¹ Lola Institut d.o.o., Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 2542 510.

² Montavar Lola d.o.o., Jugoslavenska 2, 11250 Beograd, Srbija, Tel: + 381 11 2571 456

³ Metro Cash & Carry d.o.o., 22. Decembar Br.2, 18000 Niš, Srbija, Tel: + 381 18 518 404

⁴ Ekonomski fakultet, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija

E-mail: zeljkopavicevic@lola-ins.co.yu
george.vukovic@montavar-cc.co.yu
jelena.micunovic@metro-cc.co.yu
hamzic_damir@yahoo.com

Pavićević, Ž., Mićunović, J., Hamzić D.

STRATEGIJSKI PRISTUP UPRAVLJANJU PROIZVODNIM SISTEMIMA

Rezime: Novi okviri u kojima se obavlja poslovanje kao i period tranzicije kroz koji prolazi industrija Republike Srbije ukazuju na neminovnost postojanja stratezijskog pristupa planiranju i upravljanju proizvodnjom. Preduzeće koje želi da opstane na globalnom tržištu mora imati jasnu viziju svoje budućnosti i strategiju kao način ostvarivanja ciljeva preduzeća u okruženju u kojem posluje. Vizija i strategija se prevode u niz konkretnih ciljeva preduzeća. Implementacija i kontinualno unapređenje strategije osigurava ostvarivanje ovih ciljeva kroz definisanje ključnih faktora uspeha, ili generatora performansi, pod kojima podrazumevamo sve one faktore koji utiču na performanse preduzeća u budućnosti i ključno ih opredeljuju. Najzad, neophodno je odgovarajućim merilima pratiti redosled i dinamiku ostvarivanja ciljeva. U svetu se u poslednjih petnaest godina kao sredstvo merenja performansi preduzeća koristi »lista usklađenih ciljeva« (The Balanced Scorecard). Dakle, neophodno je stvoriti organizaciju u čijem fokusu će biti stratezijsko razmišljanje odnosno stvoriti »organizaciju vođenu strategijom«.

Ključne reči: vizija, strategija, lista usklađenih ciljeva, organizacija vođena strategijom

STRATEGIC APPROACH TO MANAGING CORPORATE SYSTEMS

Abstract: New borders of doing business as well as transition period that industry of Republic Serbia is passing through suggest that strategic approach to production planning and guiding is inevitable. Corporation who wants to survive on global market must have a distinct vision of its own future, and also a strategy of accomplishing its goals in existing environment. Vision and strategy are turned into corporation's precisely defined goals. Strategy implementation and continuous improvement assure goal effectuation through defining key factors of success, or performance generator, that imply all those factors who affect corporation performances in future, and define them essentially. Finally, it is necessary to monitor sequence and dynamics of accomplishing goals with adequate resources. In last fifteen years, resource for measuring corporate's performances is The Balanced Scorecard worldwide. So, it's necessary to form the organisation whose focus will be strategic thinking; to create the Strategy-focused organization.

Key words: vision, strategy, The Balanced Scorecard, The Strategy-focused organization.

1. UVOD

Suočavanje sa globalizacijom i svim onim što ista nosi primorava učesnike na svetskom tržištu na stratezijsko razmišljanje. Izmenjeno okruženje, tranzicija industrijske u informatičku privredu, razvoj novih tehnologija i stavljanje akcenta na menadžment znanja utiče na menadžment preduzeća da stalno preispituje i unapređuje svoju strategiju posmatrajući je kao svoju ključnu kompetentnost. Ove promene utiču na sve faze stratezijskog menadžmenta (SEM-Strategy Enterprise Managementa) počev od istraživanja eksternih i internih faktora u svrhu definisanja budućih ciljeva preduzeća, usmeravanja preduzeća (misija i vizija), formulisanja strategije ili stratezijskog fokusa, vrednovanja strategije i na kraju do implementacije i kontinualnog unapređenja strategije kroz stratezijsku kontrolu.

Poslednje dve decenije mnogi teoretičari i konsultanti naglašavaju činjenicu da su formulacija i implementacija strategije od podjednake važnosti za uspeh jednog preduzeća. Danas je ključno pitanje kako implementirati dobro formulisanu strategiju ako pri tome imamo u vidu podatak da manje od 10% strategija biva uspešno implementirano što ukazuje na visoku smrtnost strategije. Dakle, izlaz nije u „više planiranja“ već u „više primene“.

Svakoj formulaciji strategije predstoji sagledavanje trendova i prekretnica u složenom i promenljivom okruženju ali i samom preduzeću koje je veliko i diversifikovano. Opstanak i prosperitet preduzeća pre svega zavisi od sagledavanja internih i eksternih faktora koji predstavljaju uvod u razvoj koncepta i alata stratezijskog menadžmenta. Trendovi koji idu u prilog ovome su usloznavanje okruženja, investicija kao „cena opstanka“ i dominacija nematerijalne aktive nad materijalnom.

U ovom radu akcenat ćemo staviti na nematerijalnu aktivu i dominaciju iste koja se pre svega ogleda u promeni koncepta planiranja, koncepta koordinacije, značaja liderstva, kontrole i značaja planskih odluka. Cilj je u napuštanju planskog, odnosno socijalističkog načina proizvodnje i operativnog planiranja i prelazak na jačanje međunarodne orijentacije, stratezijski management i upravljanje znanjem.

Evropske integracije, ali i ukupan razvoj Republike Srbije mora se bazirati na organizovanom istraživanju trendova, sagledavanju prilika koje vladaju u svetu, analizi procesa tranzicije i transformaciji privreda pojedinih zemalja u okruženju (posebno zemalja srednje Evrope) i transformaciji procesa koji treba da proizvedu stalni tehnološki razvoj u vidu unapređenja postojećih i stavljanju novih tehnologija.

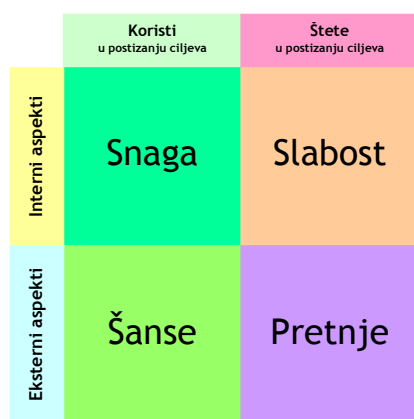
2. ANALIZA SITUACIJE U CILJU FORMULISANJA STRATEGIJE (SWOT ANALIZA)

Svakom uspešnom formulisanju strategije preduzeća predhodi istraživanje i analiza situacije odnosno sagledavanje internih i eksternih faktora u nameri prepoznavanja najboljih načina za ostvarivanje postavljenih ciljeva. Izmenjeno okruženje i sve veća dinamičnost koja vlada na tržištu primorava preduzeće da pažljivo pristupi formulisanju strategije, između ostalog i kao vida borbe sa konkurencijom koja je postala sveobuhvatnija, kompleksnija, jača i po profilu mnogo više međunarodna.

Jedan od načina sagledavanja internih sposobnosti i eksternih mogućnosti kao i uravnoteženje istih pruža SWOT analiza.

SWOT analiza predstavlja skup analitičkih metoda

kojima se upoređuju sopstvene snage i slabosti sa mogućnostima i opasnostima u izmenljivom okruženju (Slika 1).



Slika 1. SWOT analiza

Ona ima za cilj da proceni koliko je preduzeće konkurentski sposobno da koristi mogućnosti, da zaustavi ili preusmeri opasnosti, odnosno da kroz angažovanje sopstvenih sredstava i resursa prevaziđe iste. Ona pokazuje najbolji način orijentacije resursa kao i određivanja strukture resursa pre svega onih skrivenih koji obuhvataju informacije, procese znanja, poznavanje tržišta, istraživačke veštine i dr. ali i onih uočljivih (sirovine, postrojenja, oprema, ...).

Eksterni aspekti SWOT analize su šanse (ulazak na nova tržišta i segmente, vertikalna integracija, sposobnost kretanja ka boljim i profitabilnijim granama, proširivanje komplementarnih proizvoda, raznovrsnost u srodnim proizvodima, brzi rast tržišta i dr.) i pretnje (postojanje političko-ekonomskih rizika; recesija; nepovoljne demografske promene; ulazak konkurencije na sopstvena tržišta; usporeni tržišni rast; rast pregovaračke snage distributera i kupaca; promene potreba, želja i ukusa kupaca).

Interni aspekti SWOT analize su snaga (jasna vizija i misija, jasni ciljevi, jasna strategija, konkurentske prednosti, know-how, potvrđeno tržišno liderstvo, dobra likvidnost i profitabilnost, ekonomija obima, tehnologija u vlasništvu, razvijen R&D, dakazani management, dobar plan interne komunikacije, dobar imidž, brend proizvod, marka, ...) i slabosti (odsustvo lidera, vizije, misije; nejasni ciljevi, nerazumevanje strategije, slaba implementacija strategije, nemanje plana interne komunikacije, silazni trend u R&D, slab know-how, loš imidž, prisustvo operativnih problema, loša likvidnost i profitabilnost, ...).

Uspješno sprovođenje SWOT analize, sagledavanje sopstvene snage i slabosti kao i dinamičkog okruženja sa mogućnostima ali i opasnostima koje donosi, omogućava usmeravanje preduzeća i formulisanje strategije kao instrumenta za postizanje vizije i ciljeva preduzeća. [1.5.6.7]

3. FORMULISANJE I IMPLEMENTACIJA STRATEGIJE KORIŠĆENJEM LISTE USKLAĐENIH CILJEVA

Strategiju možemo definisati kao kontinualno unapređenje ideje vodilje za donoše odluka u promenljivim uslovima kako bi se ostvarila vrednost za vlasnika, konkurentska prednost i dodata akcionarska vrednost. Formulisanje strategije obuhvata stratejsku analizu, planiranje (primenom liste usklađenih ciljeva) i vrednovanje strategije (Value Based Management), odnosno izbor skupa stratejskih ciljeva i definisanje skupa pretpostavki kako bi se ostvarili stratejski ciljevi.

Preduslov za stvaranje strategije jeste prelazak sa konvencionalnog na stratejski management. Stratejski menadžment (SEM) uključuje analizu okruženja (SWOT analiza), usmeravanje preduzeća, formulisanje strategije, implementaciju strategije i stratejski kontroling. U procesu SEM stratejski ciljevi se transformišu u operativne zadatke na različitim nivoima, operativni zadaci se moraju izraziti pomoću ključnih indikatora performansi (Key Performance Indicators-KPI; mogu biti finansijski i nefinansijski) koji predstavljaju spregu između operativnih ciljeva definisanih u procesu planiranja i realiteta konkretnih procesa. Ukoliko se odsupanja otkriju rano i korektno analiziraju, odnosno ukoliko sprega između KPI i stratejskih ciljeva postane aktivna, moguće je predložiti korektivne akcije. Pokretači KPI mogu biti makro pokretači i mikro-operativni pokretači. Lista usklađenih ciljeva (LUC – engleski termin / The Balance Scorecard - BSC) povezuje KPI sa strategijom i postaje mehanizam upravljanja strategijom.

Godine 1992. je uveden The Balance Scorecard (BSC), pristup koji zadržava indikatore finansijskih performansi ali ih dopunjuje indikatorima ključnih pokretača vrednosti tj. kritičnim faktorima uspeha. Osnovna pretpostavka LUC je da se SEM ne može obavljati samo pomoću finansijskih merila performansi (Return on Investment-ROI, Return on Equity - ROE itd.) i budžeta jer upravljanje iz samo jedne perspektive dovodi do suboptimizacije. Kontrola na bazi finansijskih indikatora je neadekvatna pošto su to merila prošlih performansi tj. govore o rezultatima kao o posledici prošlih aktivnosti i podstiču kratkoročno na uštrb dugoročnog stvaranja vrednosti. Zbog toga LUC kombinuje finansijske i nefinansijske indikatore performansi i postaje alat za upravljanje strategijom koja se ne bazira na redukciji troškova već na nefinansijskim pokazateljima kao što su: repozicioniranje u odnosu na kupce i konkurente, tržišno učešće, inovativnost, kompetentnost, know-how, itd.

LUC omogućava da se u preduzeću izgradi novi sistem upravljanja koji se koncentriše na strategiju i koji ima četiri dimenzije: *Strategija* - LUC omogućava da se strategija formuliše i, kroz proces komuniciranja, razume i implementira; *Fokus* - LUC je sredstvo navigacije tako da se svaki resurs i svaka aktivnost preduzeća povezuje sa strategijom; *Povezivanje* - LUC daje strukturu novog organizacionog lančanog spoja između poslovnih jedinica, zajedničkih funkcija i pojedinaca; *Transformacija* - tzv. „prepoznavanje vrednosti” opisuje kontekst u kome se nematerijalna aktiva postepeno transformiše u retencionu stopu, prihode od novih proizvoda i, konačno, u profit.

LUC omogućava kompanijama da se usredsrede na strategiju organizacije i da sa njom povežu svoj upravni odbor, poslovne jedinice, ljudske resurse, informacionu tehnologiju, budžet i kapitalne investicije - integracija strategije u menadžment.



Slika 2. Pet principa organizacije vođene strategijom

Iako svako preduzeće pristupa ovom izazovu na različit način, različitim brzinom i u različito vreme, mogu se izdvojiti pet zajedničkih principa koje svaka od njih sledi: prevođenje strategije u operativne termine, povezivanje „vrha i baze“ pomoću strategije, strategija kao svakodnevni posao svakog izvršioca, strategija kao kontinualan proces i liderstvo kao osnova promena (Slika 2) [1.2.4.5.8]

4. NOVI SISTEM UPRAVLJANJA

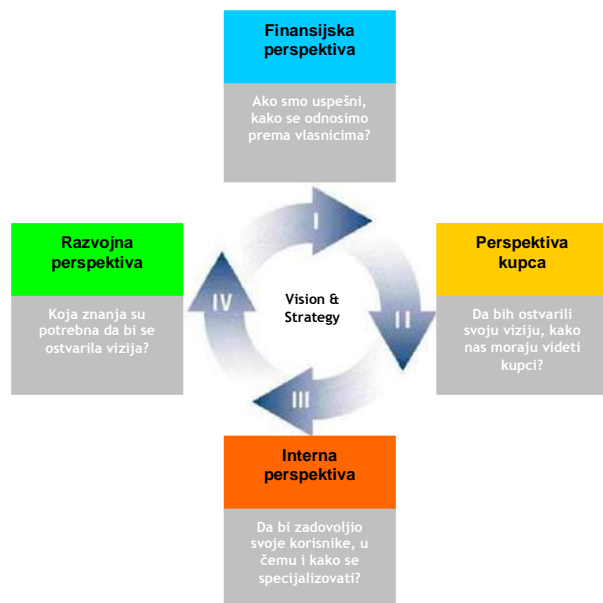
Važan aspekt u formiranju strategije jeste upravljanje strateškim izazovima koji su uslovljeni promenama. U složenom i nemirnom okruženju preduzeće može da opstane samo ukoliko je vođeno strategijom da brzo ostvaruje iznad prosečne rezultate i ukoliko je sposobno da se fokusira i integriše oko strategije.

Dve kritične veštine modernog preduzeća su liderstvo i menadžerstvo. Lideri su „agenti promena“ koji stimulišu nove ideje i pristupe za rešavanje postojećih problema. Menadžeri, s druge strane, predstavljaju „stubove stabilnosti i poretka“ sa zadatkom da formulišu i primenjuju operativne odluke.

Strategijski menadžment zahteva koncepte i alate za formulisanje i implementaciju strategije. LUC predstavlja alat koji povezuje preduzeća sa strategijom i strategiju (liderstvo) sa vođenjem poslova (menadžerstvom).

Razlikujemo tri nivoa upravljanja promenama: liderstvo, anticipacija i reakcija. Svi navedeni nivoi imaju svoje karakteristične događaje preko kojih se definišu i odgovarajuće strategije. Dakle, polazi se od definisanih ciljeva i razrade na nivou prihvatanja odgovarajuće strateške doktrine koje se odnose na predviđujuće događaje. Rezultat je strateško reagovanje definisano kroz strateška opredeljenja.

BSC produkuje okvir kojim se sagledava strategija za stvaranje vrednosti iz četiri različite perspektive (Slika3):



Slika 3. Sagledavanje strategije kroz 4 perspektive

I) *Finansijska perspektiva* / Strategija treba da obezbedi rast, profitabilnost i kontrolu rizika iz ugla akcionara tako da se stratezijske posledice iz finansijske perspektive odnose na sagledavanje međuuticaja rasta i produktivnosti. Standardne indikatore finansijskih performansi zamenjuju VBM indikatori..

II) *Perspektiva kupaca* / Jezgro svake poslovne strategije čini tkz. 'propozicija vrednosti' koja se nudi kupcu tako da strategija treba da obezbedi vrednost za kupca i to na bazi

diferenciranja (proizvodno liderstvo, prisnost sa kupcima, operativna izvrsnost).

III) *Interna perspektiva* / Suština strategije leži u određivanju stratezijskih prioriteta za različite poslovne procese koji obezbeđuju satisfakciju kupcima i vlasnicima. Preduzeće se treba specijalizovati u onom procesu koji ima najveći uticaj na formiranje 'propozicije vrednosti' za kupca.

IV) *Razvojna perspektiva* / Određivanje prioriteta koji stvaraju klimu za promene u organizaciji, inovaciju i rast, definiše neophodnu kompetentnost za obavljanje aktivnosti i uspostavljanje odnosa sa kupcima i usklađuje ciljeve iz oblasti informacionih tehnologija, ljudskih resursa i kulture preduzeća sa zahtevima poslovnih procesa i strategije diferenciranja. Ove četiri perspektive u kombinaciji sa pet principa produkuju detaljan okvir. [1.2.4.5]

5. ULOGA NEMATERIJALNE AKTIVE U IMPLEMENTACIJI STRATEGIJE

Pod implementacijom strategije se podrazumeva povezivanje LUC sa svim elementima menadžment procesa u SEM, koji predstavlja ključnu kompetentnost preduzeća. Sposobnost implementacije strategije tj. prevođenja strategije u akciju predstavlja suštinu svakog biznisa. Činjenicu da je implementacija, najvažniji faktor koji oblikuje menadžment i korporativne procene, bitna koliko i sam kvalitet strategije, formulacija i dobra vizija, potvrđuju i rezultati mnogih istraživanja. Visoka smrtnost strategije, afirmisana empirijskim podacima, ukazuje na to da je implementacija glavni problem.

Istraživanja pokazuju da je manje od 10% efikasno formulisanih strategija bilo uspešno implementirano, a u 70% slučajeva, glavni problem predstavlja loša implementacija, a ne loša formulacija strategije.

Postavlja se pitanje iz kojeg razloga organizacije retko implementiraju čak i dobro formulisane strategije. Jedan od problema je to što se strategije, jedinstveni načini stvaranja vrednosti i upravljanja promenama u određenoj organizaciji, menjaju, a alati za njihovo implementiranje ne idu u korak sa promenama. U industrijskoj privredi, preduzeća su stvarale vrednost pomoću materijalne aktive, prerađivanjem sirovina u gotove proizvode. Skorašnja studija procenjuje da je do kraja 20-og veka knjigovodstvena vrednost materijalne aktive opravdavala samo 10-15% tržišne vrednosti.

Dakle, mogućnosti za stvaranje vrednosti se pomeraju od upravljanja materijalnom na upravljanje nematerijalnom aktivom tj. strategijama zasnovanim na znanju. U nematerijalnu aktivu organizacije ulaze: odnosi sa kupcima, inoviranje proizvoda i usluga, operativni procesi visokog kvaliteta, informaciona tehnologija, sposobnosti, veštine i motivacija zaposlenih itd. Bolje rečeno, nematerijalnu aktivu predstavljaju informacije i znanje (primenjene informacije kroz „najbolju praksu“), a posledice njene dominacije su: promena koncepta planiranja, promena koordinacije i kontrole, značaja planskih odluka i značaja liderstva.

Ekonomija danas, kada je nematerijalna aktiva glavni izvor konkurentske prednosti, zahteva sredstva kojima se objašnjava strategija bazirana na znanju. Ukoliko ne raspolazu takvim sredstvima, preduzeća imaju poteškoće u upravljanju onim što ne mogu objasniti.

Iza neuspešne implementacije, takođe, leži neoborna činjenica da preduzeća pokušavaju da implementiraju strategije bazirane na znanju u organizacijama stvorenim za konkurenciju u industrijskoj privredi. Mnoga preduzeća koja su imala centralizovanu strukturu odluke su donosila na vrhu, a sprovodila na nižem stupnju uz jaku kontrolu. Problem je što mnogi menadžeri i u informatičkoj privredi koriste takvu strukturu i taktički kontrolni sistem koji se bazira na hijerarhiji i finansijskim indikatorima. Takav sistem sporo reaguje na promene i nije adekvatan za današnje dinamično

okruženje koje se rapidno menja.

Mnoga preduzeća danas rukovode preko decentralizovanih poslovnih jedinica i timova koji su mnogo bliži kupcima nego velika korporativna osoblja i koji prepoznaju činjenicu da konkurentska prednost više zavisi od znanja i sposobnosti zaposlenih kao i od odnosa među njima nego od investicija u materijalnu aktivu i kapital. Stoga, implementacija strategije zahteva da sve poslovne jedinice, jedinice podrške i zaposleni budu povezani sa strategijom, čineći je na taj način kontinuiranim procesom u kome je svaki izvršilac uključen. U tom slučaju, čak i uz rapidne promene u tehnologiji, konkurenciji i propisima, formulacija i implementacija strategije predstavljaju jedan neprekidan i participativan proces. Uspeh se postiže tako što strategija postaje svakodnevni posao svakog zaposlenog u preduzeću. [1.2.4.8]

6. LIDERSTVO KAO OSNOVA PROMENA

Iskustvo je pokazalo da je angažovanost lidera najbitniji uslov za uspeh. Ukoliko oni na vrhu nisu energični lideri celog procesa, promene neće biti, a strategija se neće implementirati.

Uspešan LUC program nije 'metrički' projekat već projekat promene. Najpre je fokus na mobilizaciji ljudi i resursa i izboru momenta promene. Ta faza traje od 3 do 6 meseci i posvećena je izgrađivanju zamaha na rukovodećem nivou. Kada je preduzeće mobilisano fokus se stavlja na upravljanje tranzicijom, tj. procesom promena, sa akcentom na timski pristup. Najzad, razvija se novi menadžment sistem-strategijski menadžment koji institucionalizuje nove kulturne vrednosti i nove strukture. To je tkz. 'nepovratni zamah' pri kome se strategija integriše u svakodnevni rad i kulturu preduzeća.

J.Kotter objašnjava kako transformacione promene počinju na vrhu putem tri diskretna poteza lidera: stvaranje osećaja urgentnosti, stvaranje vodeće koalicije, prenošenje vizije i strategije. Svi lideri uspešnih preduzeća slede ovaj model.

Dakle, najpre treba svima u preduzeću razjasniti zašto je promena potrebna, a zatim stvoriti koaliciju koja će upravljati periodom tranzicije. Lideri su ti koji treba da upravljaju promenama, da prenesu viziju i stimulišu proces strategijskog učenja. Ovim procesom, koji uključuje stvaranje strategijskih timova, održavanje sastanaka i top-down komuniciranje, se definišu, demonstriraju i uvode nove kulturne vrednosti preduzeća. Kako se proces odvija, tako se postojeći sistem sve više modifikuje dok ne bude zamenjen novim sistemom.

Povezivanjem tradicionalnog procesa kao što je kompenzacija i alokacija resursa sa LUC, organizacije stvaraju strategijski menadžment. Za dobre menadžere ne postoji "stanje stabilnosti". Pošto se okruženje stalno menja, strategije se moraju neprekidno razvijati kako bi reflektovale promene, što potvrđuje činjenicu da je strategija kontinuiran proces. Umetnost liderstva je delikatno održavati ravnotežu između stabilnosti i promene. [1.2.3.5]

7. ZAKLJUČAK

Brzina postizanja velikih rezultata pojedinih kompanija otkriva moć menadžmenta koji koristi LUC da vodi celokupnu organizaciju strategijom. Kako bi to postiglo, preduzeće mora da sprovede sveobuhvatnu transformaciju- da redefiniše odnose sa klijentima, da obuča svoje radnike novim veštinama, da razvije novu tehnološku infrastrukturu itd.

Iz ovog rada se može zaključiti da je za postizanje konkurentске prednosti neophodno stvoriti novi menadžment - onaj koji produkuje mehanizam za pokretanje i upravljanje promenama. Time se rađa nova kultura koja se ne fokusira na tradicionalne funkcionalne silose već na timski rad neophodan za implementaciju strategije. Pod novom kulturom se podrazumeva stvaranje nove organizacije koja se bazira na zahtevima strategije - otuda termin organizacija vođena strategijom.

Treba naglasiti da stvaranje organizacije vođene strategijom nije homogen proces - proces u kome se može primeniti standardni skup zahteva. Strategije se razlikuju tako da se i organizacione promene razlikuju od kompanije do kompanije. Međutim, zajedničko je to što svaka organizacija vođena strategijom stavlja strategiju u centar svojih promena i upravljačkog procesa. Strategija postaje srce menadžmenta. Gotovo 50% američkih kompanija je implementiralo LUC, a ostale su na putu ka tome. Imperativ je razumeti da LUC mora biti koherentan i sveobuhvatan proces, a ne fragmentiran i epizodan.

Organizacija vođena strategijom koristi LUC koja daje jedinstven doprinos opisivanjem strategije na konzistentan način. Pre razvoja LUC, menadžeri nisu imali opšte prihvaćeni okvir za opisivanje strategije i stoga nisu mogli implementirati ono što nisu bili u mogućnosti da objasne tako da je opisivanje strategije preko strategijskih mapa i liste ciljeva bio veliki napredak.

8. LITERATURA

- [1] R. Kaplan, D. Norton : *Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action*, Harvard Business School Publishing Corporation, 1996.
- [2] D. Norton, R. Kaplan: *The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*, Harvard Business School Publishing Corporation, 2000.
- [3] J. Kotter : *The Leadership Factor*, Harvard Business School Publishing Corporation, 1998.
- [4] D. Đurićin : *Strategijski menadžment*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2000.
- [5] D. Williamson, P. Cooke, W. Jenkins: *Strategic Management and Business Analysis*, Butterworth-Heinemann; Pap/Cdr edition, 2003.
- [6] *SWOT Analysis I: Looking Outside for Threats and Opportunities*, Harvard Business School Press, 2008.
- [7] *SWOT Analysis II: Looking Inside for Strengths and Weaknesses*, Harvard Business School Press, 2008.
- [8] B. Rakita: *Međunarodni menadžment*, Ekonomski fakultet, Beograd, 2003.

Autori: Pavićević A. Željko ¹, Mićunović Jelena ², Hamzić Damir ³

¹ Lola Institut d.o.o., Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd, Srbija, Tel: +381 11 2542 510.

² Metro Cash & Carry d.o.o., 22. Decembar Br.2, 18000 Niš, Srbija, Tel: + 381 18 518 404

³ Ekonomski fakultet, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija

E-mail: zeljkopavicevic@lola-ins.co.yu
jelena.micunovic@metro-cc.co.yu
hamzic_damir@yahoo.com

Šebo, D., Jurčišin, R.

ALGORITHM OF SIMULATION AND OPTIMALIZATION OF CONVENTIONAL MECHANICAL PRODUCTION

Abstract: The main idea of article is the assignment of components to machines by mathematical algorithm. Algorithm is able to calculate each queue which is arranged to production and calculate continuous period of production of each component. Mentioned algorithm is able to determine structure of machining time needs for fulfilled order according to individual components and machines, or separate for each component. There is also other given information for farther technical - economical analyses in global aspect.

Key words: algorithm, production, management, machines, component

1. INTRODUCTION

Following article deals with problems of engineering and production scheduling in conventional machine-industry production. For filling of production was used method FIFO (First in First Out) which is suitable for conventional machine-industry production. In this algorithm, we were looking for an optimal solution with the shortest technological times of production. This thesis has also wide possibilities to use in technical-economic analysis and also pricing of machinery products, technical preparation of production using expert methods and so on.

2. THE ALGORITHM OF MECHANICAL PRODUCTION MANAGEMENT

In this article the problematic of production scheduling of component basis by FIFO method is solved which is suitable for conventional mechanical production. However, problematic of production scheduling is solved by the other methods too, such as network analysis where we can use methods for example CPM, PERT, GERT, MPM. These methods with increasing number of components are non-transparent. Our aim is to outline the problematic of solving conventional mechanical production, where the solution is completely deterministic and component base is variable.

We will not concern with these methods in the companies such as KIA, PSA, and GETRAG FORD where the production is controlled by computers for big series and machines are controlled by NC or CNC. The production in these companies is on the basis of line flow manufacturing where we can use balancing of lines with heuristic approach.

There is a case study in application part of this article which concerns with production scheduling for conventional mechanical production with deterministic approach.

2.1 Methods of network analysis

These methods refer to single-use production process and are suitable for time coordination of big amount of related operations sharing on realization of production processes. These methods are not suitable for periodic processes. They come out of the idea that production process will be projected in oriented network graph of relevant type with which realize time capacity analysis and cost analysis with the aim to find minimum time of production processes and consequences arising from that such as critical activities, the probability of realization in calculated time and so on.

In term of logistic we try to coordinate production operations, find the time of their start, finish and make detail time planning according to which production process will be run.

Methods are divided by the type of network graph:

- according to edge (edge is operation)
- according to corner (corner is operation)

According to duration of activity:

- deterministic
- stochastic

According to number of activities between two corners:

- methods for monographs
- methods for multigraphs

Methods:

CPM (Critical Path of Method) – is suitable for deterministic production processes which we can design by edge graph

MPM (Metra Potencial Method) – is suitable for deterministic production processes with parallel running of processes and feed-backs

PERT (Program Evolution and Review Technique) – is suitable for non-deterministic production processes where the operations can be evaluated by the time defined by normal distribution of probability and we can design them by edges - oriented graph

GERT – is suitable for production processes of probability character which we design as a general flowchart (multigraphs) such as type GAN (General Activity Network).

2.2 Utilization managing (BOA)

BOA (Belastungsorientierte Auftragsfreigabe) is a procedure which comes from the fact that production order can be unloaded to production only when it can be machined. It can not increase the number of components in front of production equipments. We can name this stage of production orders as the unloading of production orders to production.

The main aim of this method is a continual removal of fronts in front of production equipments. The key to control of the length of the continuous times in production is in system BOA the regulation of entry of production tasks to production system.

We can imagine the machine, group of machines, equipments, whole work-room or production system as a “funnel” to which enter production tasks which have necessary time for realization. After machining production orders leave the group of production machines and equipments. Exit from funnel symbolizes possible available capacity and volume of funnel means existing stage of waiting production tasks. Provided that we can not change capacity of production machines and equipment in a short term it is possible to control their stock only through the entering of the production tasks to system.

We can imagine this “funnel” like this:

The narrower is the hub, the more is the system automatically prolonging and fronts are prolonging too, what is an impassable stage which have to crash automatically. Therefore the aim is to enlarge the hub and transmissivity of this hub will be controlled by FIFO method and we will be able to control fronts by this method.

Production tasks are unloaded to system in three steps:

1. Determination of urgent production orders. Starting terms are determined coming out of the latest term of finishing of production orders.
2. Specification of capacity utilization of production machines and equipments. In this step it is necessary to think about very important decision parameters such as bounds of utilization and percentage of utilization.

Bounds of utilization = planned exit of order in planned period + planned average stock

Percentage of utilization is possible to determine as relation bounds of capacity to planned output

3. Unloading of production orders. Production order can be unloaded only if its expected capacity demands are not exceeding bounds of utilization by any production equipment during planned period.

2.3 The structure of mechanical production process

Formal concept of structure of mechanical production process is based on transformation analysis which is there by production of mechanical products in one production system, where it is necessary to notice first dominant position of components as well as procedure of their production. The shape of components and their construction – technological elements predestine genesis of their production, sometimes variantly but always deterministic. The structure of production objects in mechanical production system is illustrated in picture number 1. It is obvious from this structure that with special logistic configuration of components will be created the product and we will make components by adding or removing of construction – technological element.

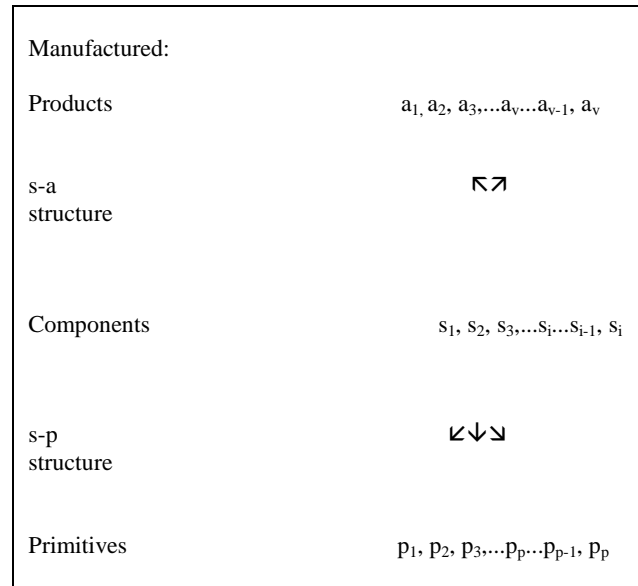


Figure 1. Formal structure of mechanical products

Formal description of elementary structure of products and relations between components and its construction – technological elements is the basis of logistic process net for mechanical production systems and relative industrial production systems.

2.4 Simulation and optimization of charging of conventional mechanical production

For the simplest algorithm of calendar charging of mechanical production system by components we can use as an entrance series of components $S_i, 1 \rightarrow i \rightarrow m$ according to the order they come to production system and on which machine $VZ_j, 1 \rightarrow j \rightarrow n$ are assigned (its priority in system is assigned by FIFO from table of assigning and for calculation is obliged – working with the waiting list of components is an external operation and serves for finding optimal solution of continuous time of production of components).

The entrance for simulation algorithm is a matrix of assignment t_{ij} , which sets how much time is needed for realizing the operations of i – part of component on j – part of machine.

The second entrance for initialization formula of algorithm is the matrix ${}^1B_{iv}$, which determines how many components of the kind of i – part is in v – part of product (number of components is taken over from bill of material of composition drawing of product).

The third entrance is matrix ${}^uB_{uv}$ (number of components of product $A_{1\dots v}$, which is necessary to produce for the certain order D_{vQ}).

We will still following interval of time jump of finishing work T_k find from initialization formula,

$$T_k = t_{ij} \sum_v {}^vB_{uv} {}^1B_{iv} - \sum_{\substack{k \in V \\ S_i \neq Z_j}} T_{k-1} \rightarrow \min,$$

where for minus item hold the rule of counting off for f k $k_{si} \neq VZ_j$, if in the last step the component was on the same machine and where [1]:

- (i) sequence of the components

- (j) sequence of production equipment
 $S_{1...i}$ component
 $VZ_{1...j}$ production equipment
(v) sequence of the product
 $A_{1...v}$ product
 ${}^iB_{iv}$ matrix determines, how many components of i-type is in the v-type of the product, (countability of piece list of composition drawing)
(u) sequence of batch
 $Q_{1...u}$ order, (u-type of batch in countable expression in v-type of the product)
 D_{vQ} batch
 ${}^uB_{uv}$ (numbers of pieces of the product $A_{1...v}$ which we want to produce in given order)
 t_{ij} operation time i-type of the component on j-type of the machine

Times interval of jump will create time series which is in calendar expression at relevant shifts very quick and simple output which determines dominant time state of course of production. We can express production time of each components by loading data $\sum_f T_k ; f \in k \forall k_{si} \approx VZ_j$ and by simple summing $\sum_f T_k > \max ; f' \in k \forall k_{s'i}$ we can define the continuous production time of batch i.e. time horizon for verification and confirmation term of finishing its production. Optimization of calendar plan of production charging will be accomplished by combinatory changes of sequence the components on entry to production system [1].

Production system in which 5 production equipments are situated has a right to manage and charge production by computer even if its processes are simply controlled and dispatching control does not exceed human abilities.

It would be more complicated if there were tenths of machines and equipments and thousands of components in production system and conventional small batch production for which mentioned algorithm is suitable for.

3. CASE STUDY OF SCHEDULING CONVENTIONAL MECHANICAL PRODUCTION

We will illustrate the case study of production scheduling in conventional mechanical production on virtual company in which there are situated four following machines:

- VZ1: Centre lathe SV 18RA
VZ2: Table milling FC 50V with system NS 350
VZ3: Centre lathe SU 80A
VZ4: Grinding machine BP1/600

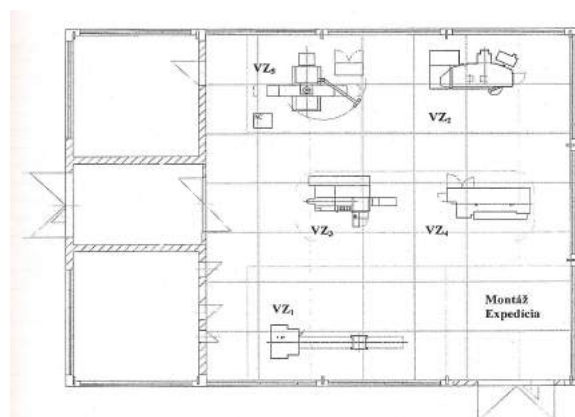


Figure 2. Disposition solution of production system

We are concerned with conventional mechanical production in which machines do not have NC or CNC

control but controlled by human factor. Company runs at twelve hour shifts on principle of JIT (Just in Time). Running of the company is based on cooperating agreements with submitters who provide raw products in required quantity and quality in order to finalize the components according to drawing documentation.

Two orders were received in the company for cooperation. Submitter delivered drawing documentation, its production times that need to be accepted by cooperation company. Mathematically we try to find optimal solution with the shortest time of production. According to combinatory analysis we have $n!$ possibilities for choosing the order of components. In our case we have exactly 120 possibilities. Therefore we showed the principle of algorithm only for illustration on three examples.

3.1 Table and calculations

1.Example¶

S_i/VZ_j	VZ_1	VZ_2	VZ_3	VZ_4	A_1	A_2
S_1	38,6	6,9	3,6	3,8	16	16
S_2	77,6	16,3	8,3	14,3	8	8
S_3	27,5	5,3	-	-	20	20
S_4	10,3	-	3,4	5,3	70	70
S_5	6,7	-	5,7	-	10	10
					5	5
					Q1	Q2

Table 1.: Table with input data of calculation matrix

$$T_0 = 0$$

$$F_1 = S_2, S_3, S_4, S_5 \quad VZ_1 = S_1 \quad T_1 S_1 = 38,6. (16,5 + 16,5) = \underline{6\,176}$$

$$F_2 = 0 \quad VZ_2 = 0$$

$$F_3 = 0 \quad VZ_3 = 0$$

$$F_4 = 0 \quad VZ_4 = 0$$

$$T_1 = 6\,176$$

$$F_1 = S_3, S_4, S_5 \quad VZ_1 = S_2 \quad T_2 S_2 = 77,6. (8,5 + 8,5) = 6\,208$$

$$F_2 = 0 \quad VZ_2 = S_1 \quad T_2 S_1 = 6, 9. (16,5 + 16,5) = \underline{1\,104}$$

$$F_3 = 0 \quad VZ_3 = 0$$

$$F_4 = 0 \quad VZ_4 = 0$$

$$T_2 = 1\,104$$

$$F_1 = S_3, S_4, S_5 \quad VZ_1 = S_2 \quad T_3 S_2 = 6\,208 - 1\,104 = 5\,104$$

$$F_2 = 0 \quad VZ_2 = 0$$

$$F_3 = 0 \quad VZ_3 = S_1 \quad T_3 S_1 = 3, 6. (16,5 + 16,5) = \underline{347,4}$$

$$F_4 = 0 \quad VZ_4 = 0$$

.....
.....
.....
.....

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + \dots + T_{15} = 6\,176 + 1\,104 + 347,4 + 608 + 4\,148,6 + 1\,304 + 664 + 1\,144 + 2\,388 + 1\,060 + 6\,150 + 670 + 1\,710 + 570 + 3140 = \underline{31\,184 \text{ norm minute}}$$

Total machine time by setting of components from $S_1 - S_5$ is 31 184 norm minutes, what equal rounded is 520 norm hours.

4. DATA EQUATION

1.Example	31 184 norm min	520 norm hour
2. Example	26 624 norm min	444 norm hour
3. Example	28 052 norm min	467 norm hour

Table 2.: Table with results of calculations

5. CONCLUSION

The combination of components in the second example is for our calculation more preferable than the other two. The company which ordered this cooperation for both orders has a big share on the mechanical companies market compared to our virtual company. But in other point of view the company wants to save own performance for other activities and decided for cooperation. Certainly the big company has much more machines for multi machine running, what reflected in cutting-down the time for machining the components. It is important to think on interoperable logistic, which was not calculated in main production time. One of the several problems of this company was logistic between operations. There was a problem sometimes to provide the car or people or a crane. The task to shift the components was carried out by incompetent people who were unable to read drawing documentation. Each problem in logistic causes is additional times and also loss for company. It is crucial to coordinate all the times which are important for technological calculations because it affects the price of our products. If we do not manage to do so, it may result in the loss for a company.

The following and the best combination by FIFO method requires 444 norm hours for machining both orders. Selected algorithms show how important it is for mechanical companies with conventional machines and also it can be a feedback for own technological preparation of production.

This work has additional possibility for using such as calculation of machine times for whole order for each machine or equipment and each component but also utilization of machines and it gives details for additional technical – economic analysis such as price making of mechanical products, technical preparation of production using expert method and so on.

This project will be programmed into integrated software package, where the whole program will be synergically built on three autonomous programs. The first program will ensure expert calculations of technological times for machining based on method of primitives. The second program will ensure managing of stocks from production point of view. The third and the most important program will ensure algorithm which on the basis of initialization formula calculates the shortest time for machining production batch or whole order. This software package will work with the help of interface such as autonomous universal system on existing systems and will be tested in real mechanical production.

6. REFERENCING

This article is published under the project AV 4/0005/07.

7. REFERENCES

- [1] Šebo, D.: *LOGISTIKA AKO NÁSTROJ MANAŽERSKEJ ČINNOSTI*, Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Strojnícka fakulta, ISBN 978-80-8073-776-4, Košice, 2007.
- [2] Malindžák, D.: *VÝROBNÁ LOGISTIKA I.*, Vydavateľstvo ŠTROFFEK KOŠICE, ISBN 80-967636-6-0, Košice, 1997.
- [3] Leščišin, M., Stern, J., Dupaľ, A.: *MANAŽMENT VÝROBY*, 1. Vydanie EU v Bratislave, ISBN 80-968881-0-2, Bratislava, 2002.
- [4] Kavan, M.: *Výrobní a provozní management*, Grada Publishing, spol. s.r.o., ISBN 80-247-0199-5, Praha, 2002.
- [5] Tomek, G., Vávrová, V.: *Řízení výroby a nákupu*, Grada Publishing, a.s., ISBN 978-80-247-1479-0, Praha, 2007.

Authors: Prof. Ing. Dušan Šebo, PhD., Ing. Róbert Jurčišin, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Management and Economics, Nemcovej 32, 040 01 Košice, Slovakia, Tel.: (+421) 55 602 3232, Fax: (+421) 55 602 3234
E-mail:

dusan.sebo@tuke.sk
robert.jurcisin@tuke.sk

Šebo, D., Jurčišin, R.

SIMULATION ALGORITHM OF MANAGING OF STOCKS IN DEPENDENCE ON MECHANICAL PRODUCTION DEMAND

Abstract: The main idea of article is the calculation of optimal amount of stocks. It assumes the consecutive solving in deterministic model with unbalanced demand. Optimization is performed by methods of branching and bounds.

Key words: algorithm, production, management, components, stocks

1. INTRODUCTION

The target of this article is to define an optimal strategy for purchasing of material. That means to define how many quantitative units will cover needs in certain time. We used in the case study example absolutely determined by unequal consumption (the method of branching and bounds).

2. THE MODEL OF MANAGING OF SUPPLIES

The elementary task in theory of stock is to determine the optimal amount of stock to ensure continuous course of production with minimal costs. The main division of stock models:

- deterministic models
- stochastic models

By deterministic models are known moments of supplying, consumption, time of delivery and so on. Controllability of the system means that system which controls the stock can determine according to the need the scale and time of division of each value. [2]

By stochastic models one of the values is random for example delivery shift, consumption or time. On the basis of strategy of filling up the stocks i.e. rules according to which we determine the amount of delivery and time of delivery are divided to:

- models with signalizing the changes
- models with periodical control

The elementary model of theory of stock consists of three parts:

- mechanism of entry
- mechanism of storage
- mechanism of output

The mechanism of entry to system represents the group of rules according to which we fill the stock with deliveries.

We differ from four types of delivery:

- deterministic delivery assigned to size and time
- deterministic delivery assigned to size but randomly divided in time
- delivery randomly assigned to size but deterministic divided in time
- delivery randomly assigned to size and time

The mechanism of storage represents the group of rules which assign in which way the inputs are changed to outputs. These are decision rules which control operation of storage system. The prevailing numbers of storage models presume that the aim is to achieve the maximum level of service provided minimal costs. So it is the costs which make the point.

The mechanism of output represents the group of rules according to which the stored components are used up within the company or as a delivery from outside of the company.

2.1 Deterministic models of stock

These models are based on the principle of total informedness and total controllability. Total informedness means we know all the basic elements of the model such as moment of delivery, consumption, time of delivery and so on. The total controllability assumes that system which controls the store can determine the size and time division of individual values according to the need.

To say in simple words, we suppose that we need to fill up the stores of material that is used continuously e.g. propellant. The storage has certain costs as well as delivery, but the loss arises as a result of the lack of material (non operating state in production, losing of customers). The question is when and how much of stock we should fill up to achieve the minimal costs on storage, filling up and the lack of material.

We can imagine a simple model in which we assume:

- there is no restriction to dividing of material
- consumption is uniform and well-known, λ units in one unit of time
- the amount of delivery (Q) in the store is not limited, we can choose the moment of delivery in any time
- the time of storage is not limited and material is not getting too old
- the costs of one delivery is not depended on its amount
- it is not allowed to admit the lack of material on the store during the in trivial time period. [6]

2.2 Stochastic models of supplies

Only few real storage systems act deterministic. At least some of these factors – consumption, time of delivery, amount of delivery are usually random – stochastic. Stochastic models are divided according to more aspects. The aspect of filling up of stock is the most important i.e. rules on the base of which we determine the amount of delivery and time of delivery or time of setting of order. [2]

2.3 Stochastic model with signalization of change

More of the variables that occur in the theory of stock such as consumption, time of delivery can be random. Because of that we can not plan filling up the stocks at the time when we run out of them. That is why we solve the filling up by 2 ways: [6]

1. Delivery is ordered when the stocks descent at the given amount (system with signaling)
2. The amount of delivery is controlled automatically (system with the periodical control)

In the following text we will take into account random consumption, whereas time of delivery will be considered deterministic.

Used substitution:

λ - (random) consumption per unit of time,
cd; cs – costs of delivery or storage of unit of goods in the unit of time

r – the level of stocks by which we realize delivery

Q – delivered amount

ρ – average level of rest of stocks in time of delivery

δ – length of term of delivery

Supposed that the stocks are running out equally that means average consumption per period t is $t\lambda$;

where $\bar{\lambda} = E(\lambda)$.

Then average level of stock is $\rho + \frac{1}{2}Q$

$$\rho = r - \delta\bar{\lambda}$$

Supposed $\rho > 0$; i.e. $r > \delta\bar{\lambda}$; then the total average costs are:

$$C(r, Q) = c_s \left(\frac{1}{2}Q + r - \delta\bar{\lambda} \right) + c_d \frac{\bar{\lambda}}{Q} + D(r, Q) \quad (1.3),$$

where $D(r, Q)$ is the loss caused by random shortage.

In the case of random consumption there are also other interesting tasks, e.g. how should be the stock, to satisfy demand with 90% probability. [6]

2.4 Stochastic model with periodical control

The role of stochastic theory of stock is with signaling is constant monitoring of the amount of stock. Another disadvantage is that it is not possible to coordinate delivery of more goods. To solve these problems it is necessary to fill up the stock in regular time intervals according to stock which is in the store. We will control the amount of stock in the equivalent moments that are distant T time units from each other and we will fill them up them up at the level R . We will keep our assumption of consumption and time of delivery from the paragraph 2.3.1. . If the first delivery is in the time 0, in time δ will be the amount of stock equal to $R - \lambda_\delta$ and T +in time δ before delivery of time $R - \lambda_T + \delta$. The average amount of stock during one cycle will be

$$\frac{R - \bar{\lambda}\delta + R - \bar{\lambda}(T + \delta)}{2} = R - (\delta + T/2)\bar{\lambda}$$

The total expected costs per unit of time will be

$$C(R, T) = c_s \left(R - \bar{\lambda}(\delta + T/2) \right) + c_d \frac{1}{T} + D(R, T)$$

where $D(R, T)$ is the loss caused by shortage.

3. THE METHOD OF BRANCHING AND BOUNDS

- **The principle of branching** – the set of acceptable solutions (MPR) is decomposed to series of disjunctive subsets.
- **The principle of estimation of boundaries** – it refers to estimation of criterial function on MPR i.e. on any of its subsets i.e. upper and lower boundary [5]
- ❖ **MPR** is the short cut of the set of acceptable solutions.

The procedure (for the maximizing of criterial function): [5]

1. We consider the total MPR the only candidate of branching and we assess the lower boundary of criterial function $f_s = -\infty$ (it has been the best solution, globally valid) and the upper boundary of criterial function on MPR or on any of its subsets f_H (it is valid only for the given (sub)set of solutions) its estimation will be dependent on the character of the assignment (it is the biggest theoretically possible value of criterial function for the solution from MPR).

2. Branching – we will choose one set from the candidates according to the chosen rule of branching (e.g. the highest value f_H) and we will decompose it to one or more subsets of acceptable solutions.

- If the group of candidates is empty, the algorithm will finish. The solution referring to actual lower boundary f_s is optimal i.e. $f_s = f(\bar{x}) \Rightarrow \bar{x}$ is optimal solution.
- If $f_s = -\infty$ then solution does not exist (MPR is empty).

3. Assessing of the upper boundary f_H - we assess for each new subset the upper boundary of criterial function on this subset (it is the best theoretically possible value of criterial function for the solution from given subset).

4. Trimming – from further examination we exclude those subsets for which $f_H < f_s$ or which are empty.

5. Assessing of the lower boundary f_s – we assess the best acceptable solution \bar{x} for each new subset:

- If $f(\bar{x}) \geq f_s \Rightarrow$ we adjust actual lower boundary $f_s = f(\bar{x})$, \bar{x} is the best found solution and we will afresh perform the trimming whereby we will find out if it is not possible to exclude further subsets on the base of condition from step 4.

6. Return to step 2.

3.1 Absolutely deterministic, unequal consumption

We face the situations by assembly of difficult equipments (in building industries and so on) when future consumption of the specific item of stock during the whole planned period T is absolutely well known but it is unequal. We suppose that we fill up the stock of this item with the orders from the suppliers (or from own production) and there are certain costs connected with every order (we will mark them the cost of order) independent on size of order. However it arises by storage of each unit of amount given item of stock the carrying-costs of storage costs it means they are directly proportional the time of storage. The question arises how many orders are required for the future consumption and how big should be each order to achieve minimal costs for the sum of cost of order and carrying-costs

of storage cost. We will find the answer with the help of dynamically programming. [11]

We will mark the costs for one of order C_s and the carrying-costs unit of amount given material in the storage per unit of time C_1 . We suppose that amount Q_i of given item of stock which is to be consumed in i -type of period must be in the storage by the beginning of this period. It is possible to order this amount to be available in the storage one, two or more periods before the beginning of the period of the i -type. It means that to find an optimal strategy of filling up the stocks it is not necessary to take into account carrying- costs arising from storage from the beginning of this i -type period to the moment of the real consumption of the amount consumed in i type period. These costs arise independently on the size of individual orders. It practically means that the carrying costs will be counted only from the stocks kept in the storage at least one total consumption period. It means that the size of order in i type period will come into following values [11]:

$$x_i = Q_i, x_i = Q_i + Q_{i+1}, \dots, x_i = Q_i + \dots + Q_n \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Other size of order is disadvantageous. If the size of order which is to cover the consumption in several periods was assessed not to cover consumption completely in the last period. It would be necessary to make the new order by filling up the stock to the required level before beginning of the last period. In this case it would be more advantageous to provide the whole consumption of the given period by one order. We would achieve decreasing of the average stock coming from the previous order at the same level of order costs.[11]

It is necessary to have the stock in the storage at last at level of the assumed consumption Q_i in this period in the beginning of i type period expressed by the time t . The time is measured in of time $i=1, 2, \dots, n$. $N(i,j)$ expresses the sum of order costs which is to satisfy consumption in periods $i \dots j$ and carrying – costs having arisen by this order. Here we have the equation: [11]

$$n(i,j) = C_s + C_1 \sum_{k=i}^j (t_k - t_i) Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ j = i, i+1, \dots, n$$

Our aim is to assess the size of individual orders to achieve the minimal costs including order costs, carrying costs for the given period t . If $F(j)$ are minimal costs for ensuring necessary stock to provide assumed consumption from the beginning of the planned period until period of j type including, then we can write [11]

$$f(j) = \min_{1 \leq i \leq j} [n(i,j) + f(i-1)], \quad (1.6),$$

whereas

$$f(1) = C_s. \quad (1.7),$$

From the recurrent relations (1.6) a (1.7) can be calculated $f(2), f(3), \dots, f(n)$, The last item of this sequence expresses minimal obtainable stock costs for the whole planned period.

4. CASE STUDY

Assumed consumption of the certain item of stock for the following year is:

	Period (i)								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
The beginning of i -type period (measured in months from the beginning of the planned year)	0	3	4	6	7	8	11	12	
The size of consumption, Q_i	20	30	60	20	50	70	40	10	300

Table 1: Table of consumption of stock

The costs connected with one order (independent on its size) are 150 money units. The storage costs per unit of amount in one month are in the considered case 2 money units. We are to assess optimal number of orders and the size of individual orders, if the interval of acquiring of stocks is 6 weeks.

We must calculate the table of values $n(i,j)$ in order to use the recurrent relations (1.6) and (1.7).

i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8
1	<u>150</u>							
2	330	150						
3		270	150					
4		<u>390</u>	<u>230</u>	150				
5		790	530	<u>250</u>	150			
6				530	<u>290</u>	<u>150</u>		
7					610	390	150	
8							170	150

Table 2: Table of values $n(i, j)$

The values in this table are calculated according to following equation: (1.5):

$$n(i,j) = C_s + C_1 \sum_{k=i}^j (t_k - t_i) Q_i$$

$$n(1,1) = 150$$

$$n(1,2) = 150 + 2(3 - 0) * 30 = 330$$

$$n(2,2) = 150$$

$$n(2,3) = 150 + 2(4 - 3) * 60 = 270$$

$$n(2,4) = 150 + 2\{(4 - 3) * 60 + (6 - 3) * 20\} = 390$$

$$\dots\dots,$$

$$\dots\dots,$$

$$\dots\dots,$$

$$n(6,7) = 150 + 2(11 - 8) * 40 = 390$$

$$n(7,7) = 150$$

$$n(7,8) = 150 + 2(12 - 11) * 10 = 170$$

Data in the table express costs $n(i, j)$. E.g. $n(2,3) = 270$ which lies in the intersection point of the line $j=3$ and column $i=2$ means that if we order together the amount necessary for the covering of consumption in the 2-nd and 3 rd month, the order costs for the whole amount will arise and the carrying-

costs for stocks for the period of 1 month for the covering of at the 3 rd month at the level of 270 money units. [11]

The calculation is going on in every column as long until the difference btw. two consecutive columns does not exceed 150. The difference higher than 150 in two consecutive items of the same column means that carrying costs for stock for the covering of consumption are higher than 150. So it is more advantageous to cover this consumption by a new order, which will come into storage in the beginning of the consumption period. So arises the maximal time horizon which can be covered by the only order. In the table it is marked by outlining of the relevant item. E.g. the data „390“ in the second column means that the order which would come into storage in the beginning of the second period and would be big enough to cover also the consumption of the given item in the second and the third period will create the total costs in the level of 390. If we wanted to cover also the consumption of the following period by this order, the related increase of order by 50 units of amount would lead to increase of costs by 400 money units. [11]

The calculation of values $f(j)$ pre $j = 1, 2, \dots, 8$:

$$f(j) = \min_{1 \leq i \leq j} [n(i,j) + f(i-1)]$$

$$f(1) = 150$$

$$f(2) = \min \left\{ \begin{matrix} n(1,2) \\ n(2,2) + f(1) \end{matrix} \right\} = \min \left\{ \begin{matrix} 330 \\ 150 + 150 \end{matrix} \right\} = 300$$

....,
....,

$$f(8) = \min \left\{ \begin{matrix} n(7,8) + f(6) \\ n(8,8) + f(7) \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 170 + 820 \\ 150 + 970 \end{matrix} \right\} = 990$$

Minimal obtainable costs are $f(8) = 990$. Optimal strategy of obtaining of stocks leads to orders:

1. 20 units of amount to cover consumption in 1. period,
2. 30 units of amount to cover consumption in 1. period,
3. 80 units of amount to cover consumption in 3. and 4. period,
4. 120 units of amount to cover consumption in 5. and 6. period,
5. 50 units of amount to cover consumption in 7. and 8. period.

As the interval of obtaining of stocks is 6 weeks and also the total planning period begins with January, it is necessary to:

1. The 15th of November to send the order of 20 units of amount,
2. The 15th of January to send the order of 30 of amount,
3. The 15th of February to send the order of 80 units of amount,
4. The 15th of May to send the order of 120 units of amount,
5. The 15th of September to send the order of 50 units of amount.

5. CONCLUSION

The method of solving of stocks in mechanical production is a complex problematic which we can not take blithely. It is important to take into account the size of the company, number of series in production and so on. We have to divide our approach to managing the stocks according to deterministic or stochastic models. The problem seems to be simple by deterministic approach while the delivery terms are

short, offer of materials and stocks are on the market in required quality and suppliers are reliable because sometimes we need a few days for delivery. Logistic problem will arise if one of the conditions fail or it is profitable to accumulate the orders due to bulk discounts, transportation and so. We can use deterministic model in both cases with unequal demand. The inputs are assigned from previous analyses and optimization we carry out by method branch and bound what we illustrated in article.

The problem of supplying is difficult in production system with service status for order production where the requirements for inputs have stochastic status and possible use in smaller production systems.

This project will be programmed into integrated software package, where the whole program will be synergically built on three autonomous programs. The first program will ensure expert calculations of technological times for machining based on method of primitives. The second program will ensure managing of stocks from production point of view. It will use deterministic approach with unequal demand where the method branch and bound will be used for assignment of optimal number of the orders and size of particular orders. The optimization according to the suppliers will be made in the second step also by method branch and bound. The third program will ensure algorithm which on the basis of initialization formula calculates the shortest time for machining production batch or whole order. This software package will work with the help of interface such as autonomous universal system on existing systems and will be tested in real mechanical production.

6. REFERENCING

This article is published under the project AV 4/0005/07.

7. REFERENCES

- [1] Šebo, D.: *LOGISTIKA AKO NÁSTROJ MANAŽERSKEJ ČINNOSTI*, Edícia vedeckej a odbornej literatúry – Strojnícka fakulta, ISBN 978-80-8073-776-4, Košice, 2007.
- [2] TER-Manuelliac, A.: *Matematické modely teórie zásob*, In ., Matematicko – ekonomický obzor č. 2 , Praha, 1972.
- [3] Linda, B, Fronc, M.: *Operačná analýza II*, Edičné stredisko VŠDS, ISBN 80-7100-041-8, Žilina, 1991.
- [4] Mach, M, Paralič, J.: *Úlohy s ohraničeniami – od teórie k programovaniu*, Elfa, ISBN 80-88964-48-2, Košice, 2000
- [5] Peško, Š, Smieško, J.: *Stochastické metódy operačnej analýzy*, EDIS, ISBN 80-7100-570-3, Žilina, 2000.

Authors: Prof. Ing. Dušan Šebo, PhD., Ing. Róbert Jurčíšin, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Management and Economics, Nemcovej 32, 040 01 Košice, Slovakia, Tel.: (+421) 55 602 3232, Fax: (+421) 55 602 3234

E-mail:

dusan.sebo@tuke.sk

robert.jurcisin@tuke.sk

Simonović, S.

TEORETSKI PRINCIPI FILOZOFIJE KVALITETA EVROPSKE UNIJE

Rezime: Standardi serije ISO 9000, "Novi pristup" i "Globalni pristup" su doktrine kvaliteta koje je Evropska Unija uvela doslednom primenom principa kooperacije W. E. Deming-a na globalnom nivou. Serija standarda ISO 9000 omogućava primenu menadžmenta potpunog kvaliteta i ohrabruje kulturu kooperacije na nivou organizacije, na nivou snabdevačkog lanca i na nivou zainteresovanih strana. "Novi pristup" i "Globalni pristup" uvode kooperaciju na nivou konkurencije putem uvođenja specifičnih, prinudnih tipova sistema kvaliteta, putem uvođenja institucije "bitnih zahteva", putem uvođenja institucije "harmonizovanih standarda" i ohrabruju njihovu implementaciju u skladu sa standardima ISO 9000.

Ključne reči: kooperacija, menadžment potpunog kvaliteta

THEORETICAL PRINCIPLES OF EUROPEAN UNION QUALITY PHILOSOPHY

Abstract: The ISO 9000 series of standards, the New Approach and the Global Approach are quality doctrines that European Union has introduced by thoroughly applying W. E. Deming's principle of cooperation at global level. The ISO 9000 enables Total Quality Management and encourages culture of the cooperation at the level of the organization, at the level of supplier chain and at the level of interested parties. The New Approach and the Global Approach introduce cooperation at competition level by introducing specific, compulsory kinds of quality systems, by introducing institution of "essential requirements", by introducing institution of "Harmonized standards" and encouraging their incorporation according to ISO 9000 standards.

Keywords: Cooperation, Total Quality Management

1. DEFINITIONS

For the purpose of those analyse the following definitions are introduced:

Quality: Degree to which a set of inherent characteristic fulfils requirements [6]

Requirement: need or expectation that is stated, generally implied or obligatory [6]

Process: set of interrelated or interacting activities which transform inputs into outputs. Inputs to a process are generally outputs of other processes [6]

System: set of interrelated or interacting components [6]

Product: result of a process [6]

Organization: Group of people and facilities with an arrangement of responsibilities, authorities and relationships [6]

Supplier: organization or person that provides a product [6]

Customer: organization or person that receives a product [6]

Interested party: person or group having an interest in performance or success of an organization. For example interested parties are customers, owners, peoples in an organization, suppliers, bankers, unions, partners or society. [6]

Total quality management is management approach of an organization, centred on quality, based on participation of all its members and aiming at long term success through customer satisfaction, and benefits to all members of organization and to society. [7]

Stakeholder: An individual or group of individuals with a common interest in performance of the supplier's organization and in environment in which it operates [8]

The "New Approach" to technical harmonization and standards is the regulatory technique under which the harmonization of national legislation is limited to essential health and safety requirements laid down in New Approach directives that products placed on the Community market

must meet if they are to benefit from free movement within the Community, whereas technical specifications for meeting these essential health and safety requirements are given in European harmonized standards [5]

The "Global approach" to conformity assessment lay down general guidelines and detailed procedures for conformity assessment that are to be used in New Approach directives.[5]

Technical specification is a specification contained in a document which lays down the characteristics required of a product such as levels of quality, performance, safety or dimensions, including the requirements applicable to the product as regards the name under which the product is sold, terminology, symbols, testing and test methods, packaging, marking or labeling and conformity assessment procedures. The term 'technical specification' also covers production methods and processes used in respect of agricultural products as referred to Article 38(1) of the Treaty, products intended for human and animal consumption, and medicinal products as defined in Article 1 of Directive 65/65/EEC (2), as well as production methods and processes relating to other products, where these have an effect on their characteristics [4].

Standard is a technical specification approved by a recognized standardization body for repeated or continuous application, with which compliance is not compulsory and which is one of the following:

- international standard: a standard adopted by an international standardization organization and made available to the public,
- European standard: a standard adopted by a European standardization body and made available to the public,
- National standard: a standard adopted by a national standardization body and made available to the public [4].

Harmonized standards are European standards, which are adopted by European standards organizations, prepared in

accordance with the General Guidelines agreed between the Commission and the European standards organizations, and follow a mandate issued by the Commission after consultation with the Member States [5].

2. INTRODUCTION

This work will try to expose the basis of the European Union Quality philosophy as deeply rooted at W. E. Deming's teaching and Total Quality Management doctrine. For that purpose first the short preview of W. E. Deming's teachings and Total Quality Management doctrine will be displayed, than European Union Quality doctrine will be exposed. That way the close correlation between these should be obvious

3. THEORETICAL BACKGROUND OF EU QUALITY DOCTRINE

Main messages of the W. E. Deming's teaching are "[9, 10]:

1. detrimental competition between market entities in the chain supplier-organization-customer due to their short term benefits philosophy;
2. detrimental competition in organizations themselves, between its organizational units and between its employees due to the view of organizational units as individual profit centers and ranking employees on individual basis;
3. detrimental competition between organizations themselves due to the lack of negotiations about common interest which is expansion of the market, not expansion of the share;
4. lack of constancy of aims and purposes of the organization;
5. Lack of understanding that beside shareholders and customers there are other stakeholders, satisfaction of which is vital for survival of the organization.

Therefore, an organization in order to survive must apply following principles of cooperation:

- a. to view its suppliers and customers as a part of a system, to achieve long term cooperation with its suppliers and customers with aim to lower prices and enhance quality of its products, so that total benefit be optimized;
- b. to view the organization as a system and to start cooperation between its organizational units and its employees in order to organization as a whole achieves profit which is greater than summation of individual profits;
- c. to cooperate with its competitors with view to enlarge market for its products, not only to enlarge its share in current market;
- d. to post its aims and purposes, to learn everybody about these and to sustain in constant improvements toward achievement of these through overall mutual cooperation;
- e. beside owners to view also customers, employees, suppliers and society as stakeholders which expectations must be satisfied and cooperation obtained in order their total benefit to be optimized.

In summary, the things must be viewed as a system which frontiers must be made as wide as possible in the dimensions of the space and time. That is to be achieved at all levels by means of cooperation instead by detrimental competition

As a basic form to execute its teaching at the level of the organization W. E. Deming suggest view of the organization

as a chain of interrelated processes that are repeatedly executed as a PLAN-DO-CHECK-ACT cycles.

The basic principles of Total Quality Management are [11,12]:

- Customer focus
- Process Improvement
- Total involvement

The TQM principles are executed through

- Leadership
- Education and training
- empowerment

The European Union has established a unique way of accomplishing the aforementioned systemic approach. That will be exposed in the next passage.

4. THE EU WAY OF ACCOMPLISHING W. E. DEMING'S TEACHING AND TQM PRINCIPLES

The main characteristic of EU quality approach is globalization and unification of a kind of quality management culture. That has been introduced

- by issuing, at the level of European Union, ISO 9000 standards
- by adopting the "New Approach" to technical harmonization and standards [3,4]
- and by adopting Global approach to conformity assessment that is to be used in New Approach directives [1,2]

What is to be obviously discerned from above mentioned facts is unprecedented cooperation between Member States that has formed Global Quality Management approach. This way W. E. Deming's principles of cooperation, especially principle concerning cooperation between competitors to enlarge market has been introduced in magnificent manner.

Facts follow that expose ISO 9000 as having all elements of Total Quality Management.

According to ISO 9000-1:1994 [8] "The supplier should address the expectations and needs of all its stakeholders.

Supplier's stakeholders	Typical expectations and needs
Customers	Product quality
Employees	Career/work satisfaction
Owners	Investment performance
Subsupplier	Continuing business opportunity
Society	Responsible stewardship

The International Standards in the ISO 9000 family focus their guidance and requirements on customer."

"The quality management system is that part of organization's management system that focuses on the achievement of result, in relations to the quality objectives, to satisfy the needs, expectations and requirements of interested parties, as appropriate". [6]

According to ISO 9000:2001 [6]: "Eight quality management principles have been identified that can be used by top management in order to lead the organization towards improved performance":

1. Customer focus
2. Leadership
3. Involvement of people
4. Process approach
5. System approach to management
6. Continual improvement
7. Factual approach to decision making
8. Mutually beneficial supplier relationships

Next sentences show the “New approach” and the “Global approach” as able and encouraging to be incorporated into ISO 9000 Quality Management System.

“The Council Resolution of 1985 on the New Approach to technical harmonization and standardization, which established the following principles:

- Legislative harmonization is limited to essential requirements that products placed on the Community market must meet, if they are to benefit from free movement within the Community.
- The technical specifications of products meeting the essential requirements set out in the directives are laid down in harmonized standards.
- Application of harmonized or other standards remains voluntary, and the manufacturer may always apply other technical specifications to meet the requirements.
- Products manufactured in compliance with harmonized standards benefit from a presumption of conformity with the corresponding essential requirements”. [5]

“The Council Resolution of 1989 on the Global Approach to certification and testing states the following guiding principles for Community policy on conformity assessment:

- A consistent approach is developed in Community legislation by devising modules for the various phases of conformity assessment procedures, and by laying down criteria for the use of these procedures, for the designation of bodies operating these procedures, and for the use of the CE marking.
- The use of European standards relating to quality assurance (EN ISO 9000 series), and to the requirements to be fulfilled by conformity assessment bodies operating quality assurance (EN 45000 series) is generalized...

Modules based on quality assurance techniques derived from the EN ISO 9000 series of standards establish a link between the regulated and non-regulated sectors. This should help the manufacturers to meet simultaneously the obligations based on directives and client needs. Further, under certain conditions it allows manufacturers to benefit from their investment in quality systems. It contributes also to the development of the quality chain (from the quality of products to the quality of companies themselves), and promotes awareness of the importance of quality management strategies for improving competitiveness” [5]

“The use of quality systems for the purpose of conformity assessment procedures in the directives is described in modules D, E and H and their variants.

Compliance with standards EN ISO 9001, 9002 and 9003 gives a presumption of conformity with the corresponding quality assurance modules as regards the provisions covered by the standard in question, provided that the quality system takes into consideration — as necessary — the specific requirements of the products for which they are implemented.

Compliance with modules D, E, H and their variants does not require a certified quality system according to standards EN ISO 9001, 9002 or 9003, although it provides a useful means of establishing compliance. The manufacturer is free to apply other quality system models than those based on EN ISO 9000 standards for the purpose of complying with these modules.

For the purpose of complying with the applicable directives

the manufacturer shall ensure that the quality implemented and applied in such a way that it ensures the full

system is application of the essential requirements in question”. [5]

5. CONCLUSION

The ISO 9000 series of standards, the New Approach and the Global Approach are quality doctrines that European Union at global level has introduced by thoroughly applying W. E. Deming’s principle of cooperation. The ISO 9000 comprises all elements of Total Quality Management and encourages culture of the cooperation at the level of the organization, at the level of supplier chain and at the level of interested parties. That means that according to ISO 9000, system streaming to quality improvement can be formed at organization’s level, at supplier chain level and interested parties level. The New Approach and the Global Approach at the level of competition introduce specific, compulsory kinds of quality systems and encourages its incorporation into ISO 9000 Quality management systems. The essential parts of the “New approach” are forms of global cooperation at competition level embodied in institutions of “Essential requirements” and “Harmonized standards”

6. LITERATURE

- [1] *Council Resolution of 21 December 1989 on a Global Approach to Conformity Assessment*
- [2] *Council Decision 93/465/EEC of the European parliament of 22 July 1993*
- [3] *Council Resolution of 7 May 1985 on a New Approach to technical harmonization and standardization*
- [4] *Directive 98/34/EC of the European parliament and of the Council of 22 June 1998- consolidated text*
- [5] *European Commission: Guide to the implementation of directives based on the New Approach and the Global Approach*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2000
- [6] *ISO 9000: 2001- Quality management systems- Fundamentals and vocabulary*
- [7] *ISO 8402: 1994- Quality management and quality assurance- Vocabulary*
- [8] *ISO 9000-1: 1994 - Quality management and quality assurance standards- Part1: Guidelines for selection and use*
- [9] *Deming, W. E: The New Economics for Industry, Government, Education*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, Massachusetts, 1994.
- [10] *Deming, W. E: Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, Massachusetts, 1986.
- [11] *Tenner, A. , De Toro, I.- Total Quality Management*, Addison Wesley, New York, 1992
- [12] *Ashok, R. et al- Total Quality Management*, John Wiley & Sons, New York, 1996

Author: Svetomir Simonović, Ph. D., Professor, High technical school, Bulevar Zorana Đinđića 152a, 11070 New Belgrade, e-mail: svetomir@sezampro.yu

Skoko, D., Crnojević, C., Ristivojević, M.

PRIMENA PNEUMATSKE METROLOGIJE U KONTROLI MAŠINSKIH DELOVA

Rezime: Poslednjih nekoliko decenija kontrola kvaliteta obrade površina i izrade oblika mašinskih delova, najčešće se obavlja primenom pneumatskih metroloških sistema, a naročito u visokoserijskoj proizvodnji što je i tema ovoga rada. Usled jednostavnog principa rada, preciznog merenja i velike primene, postoji veliki broj konstrukcija pneumatskih metroloških uređaja. Kod pneumatskih diferencijalnih komparatora, strujanje vazduha je veoma složen proces na koji utiče mnogo faktora. Strujni prostor između mlaznice i mernog kanala predstavlja mikrokanal

Cljučne reči: pneumatska metrologija, diferencijalni pneumatski komparator, mlaznica, laboratorijska instalacija, merni komad, vrtložna zona

USING PNEUMATIC METROLOGIC SYSTEM IN CONTROL OF THE MACHINE PARTS

Abstract: Within the last few decades, control of the surface treatment quality and shape forming of the machine parts has most often been done by using pneumatic metrologic systems, especially in the high serial production which is the topic of this thesis. Due to their simple operation principle, precise measurement and extensive use, there is a large variety of constructions of pneumatic metrologic devices. In pneumatic differential comparators, air flow is a very complex process that is influenced by many factors. The flow space between the nozzle and the measurement channel forms a microchannel.

Key words: pneumatic of metrologic, pneumatic differential comparators, nozzle, laboratory set-up, control part, swirl zone.

1. UVOD

Uporedo sa razvojem proizvodnih mašina razvija se tehnika kontrole i merenja proizvedenih komada. Prvi uređaji za kontrolu su bili mehanički. Ovi uređaji su mogli da zadovolje potrebu u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji jednostavnih komada. Razvojem savremene industrije XX-tog veka, koju karakterišu velikoserijska proizvodnja komplikovanih oblika i velika tačnost izrade, mehanički uređaji nisu mogli da zadovolje u svim segmentima proizvodnje. To naročito dolazi do izražaja u automobilskoj i avio industriji. Za merenje i kontrolu razvijeni su potpuno novi uređaji: mehanički, optički, električni, pneumatski, hidraulički i laserki uređaji. Najvažnija prednost u odnosu na mehaničke je njihova tačnost. Tačnost mehaničkih uređaja je 1 μm , a pomoću savremenih uređaja mogu se meriti i deseti i stoti delovi mikrometra.

Pneumatski merni sistemi se intenzivno razvijaju tridesetih godina XX-tog veka, počev od najjednostavnijih [1], pa sve do vrlo savremenih uređaja [2]. Zbog velike mogućnosti primene, jednostavne konstrukcije, lakog održavanja, jednostavnog rukovanja a iznad svega velike tačnosti, ovi uređaji su dominantni u kontroli mašinskih delova. Prednost ovih uređaja, u odnosu na ostale, je što komprimovani vazduh koji izlazi iz mlaznice merne glave velikom brzinom, oduva mehaničke nečistoće i tanak sloj tečnosti za hlađenje komada i ostalih nečistoća. Na ovaj način se smanjuje mogućnost pojave greške pri merenju i kontroli. Druga prednost je što se može kontrolisati više mera istovremeno, bilo spoljašnjih ili unutrašnjih. Vrlo značajnu primenu ima dinamička pneumatska metoda koja se primenjuje kod obrtnih komada, znači u toku rada, bez zaustavljanja rada mašine, vrši se merenje i kontrola obratka.

Teorijske osnove ovog postupka su obrađene u literaturi [1], [2] i [4]. Stepen tačnosti kontrole mašinskih delova zavisi od: izbora izlazne mlaznice, pritiska napajanja, prečnika prigušnice u mernoj komori i prečnika merne glave. U radu su prikazani vrste diferencijalnog pneumatskog

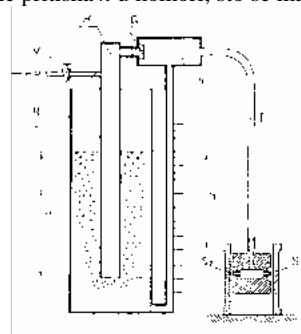
komparatora i njihova primena za kontrolu mašinskih delova. Analiziran je uticaj pritiska napajanja, oblika vrha izlazne mlaznice i odstojanja vrha mlaznice od kontrolisane površine na polje pritiska.

2. PODELA PNEUMATSKIH KOMPARATORA

Pneumatski merni sistemi se intenzivno razvijaju tridesetih godina XX-tog veka, počev od najjednostavnijih, pa sve do vrlo savremenih uređaja. Zbog velike mogućnosti primene, jednostavne konstrukcije, lakog održavanja, jednostavnog rukovanja a iznad svega velike tačnosti, ovi uređaji su dominantni u primeni danas. Rad pneumatskih komparatora se zasniva da promena zazora izaziva promenu pritiska, masenog ili zapreminskog protoka vazduha u mernoj komori.

2.1. Jenokomorni pneumatskom komparatori sa piježometrijskom cevi

Bili su u upotrebi do 70-tih godina prošlog veka. Koristili su se za kontrolu spoljašnjih i unutrašnjih mera. Radi na principu promene pritiska h u komori, što se manifestuje



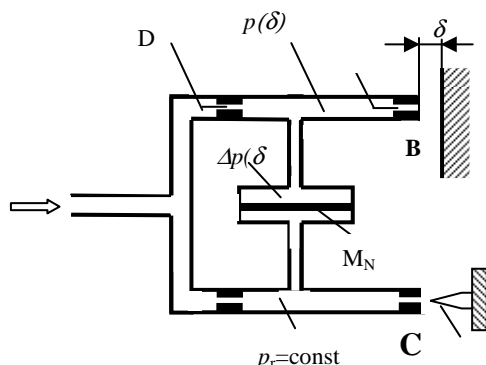
Slika 1 Jednokomorni komparator sa piježometrijskom cevi [2]

promenom visine vodenog stuba u pneumatskoj cevi f i cevi zaronjenoj u vodu T , slika 1. Zbog neusavršenosti i

glomaznosti zamenjen je drugim pneumatskim komparatorima.

2.2. Pneumatski komparator sa manometrom

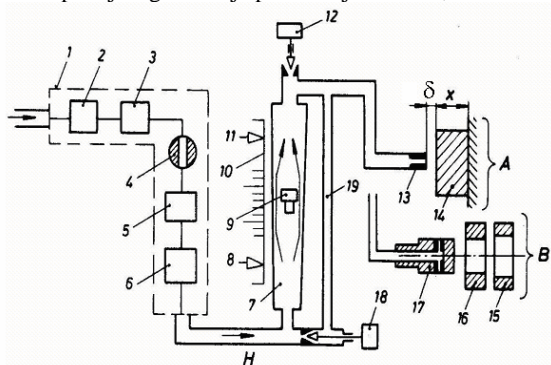
Nekada su se koristili jednokomorni ali su zamenjeni dvokomornim-diferencijalnim, slika 2. Sastoji se od radne (merne) B i pomoćne komor C. U pomoćnoj komori je $p = \text{const}$ a u mernoj se menja zavisno od rastojanja – zazora δ . Ako je δ malo, veliki je pritisak u radnoj komori i obrnuto. Za membranu M_N je povezan pipak manometra koji u zavisnosti od razlike pritisaka dobija odgovarajuće pravolinijsko kretanje. Ovo kretanje se dalje prenosi na manometar koji je etaloniran da pokazuje veličinu δ .



Slika 2 Dvokomorni diferencijalni komparator [1]

2.3. Komparator sa rotametrom

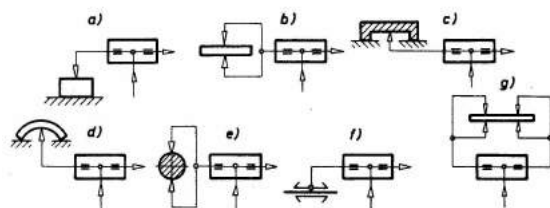
Ovaj komparator radi na principu merenja protoka rotametrom, koji je u funkciji rastojanja δ . Za mali zazor δ mali je protok pa se plivajuće telo 9 malo diže u komori 7. Ako je zazor δ veći, veći je protok i plivajuće telo se diže na veću visinu u komori. Na komori je skala na kojoj se očitava visina plivajućeg tela koja predstavlja zazor δ , slika 3.



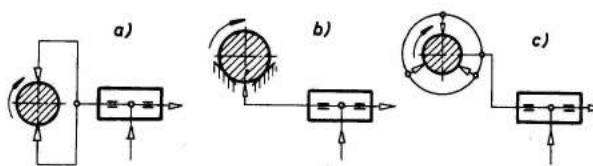
Slika 3. Diferencijalni pneumatski komparator rotometrijskog tipa [5]

3. PRIMENA PNEUMATSKIH DIFERENCIJALNIH KOMPARATORA

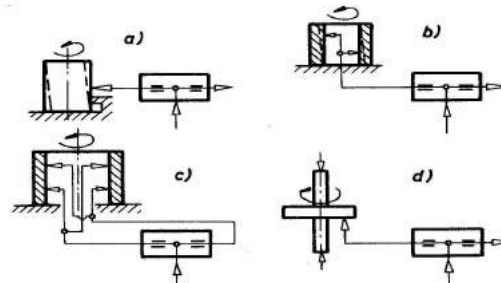
Zbog velike tačnosti, jednostavnog rukovanja, lakog održavanja, ovi uređaji su dominantni u velikoserijskoj proizvodnji za kontroli mašinskih delova.



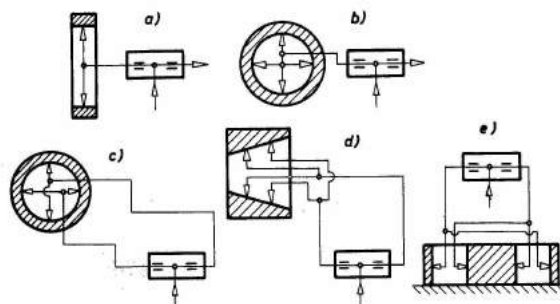
Slika 4. Pneumatske merne šeme za merenje: (a) visine, (b) debljine, (c) dubine, (d) krivine, (e) prečnika, (f) prečnika žice, i (g) promene debljine [5]



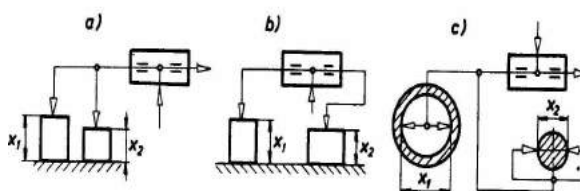
Slika 5. Pneumatske merne šeme pribora za merenje: (a) ovalnosti, (b) trogranosti i (c) poligonalnosti [5]



Slika 6. Pneumatske merne šeme pribora za merenje: (a) normalnosti površina, (b) normalnosti ose otvora, (c) normalnosti ose čelone površine i (d) iskošenje čelone površine [5]



Slika 7. Pneumatska šema za merenje: (a) prečnika otvora, (b) srednjeg prečnika otvora, (c) ovalnost otvora – razlika prečnika $x_1 - x_2$, (d) konusnost i (e) rastojanje osa vratila [5]



Slika 8. Pneumatska merna šema za merenje: (a) i (b) zbira $x_1 + x_2$ i (c) razlike $x_1 - x_2$ dveju geometrijskih veličina [5]

Pored toga što se diferencijalni komparatori koriste za kontrolu pojedinačnih mašinskih delova, takođe se koriste kao deo uređaja koji kontroliše više mera istovremeno radi sparivanja. Tako postoje uređaji za izradu spružućih delova, primer izrada klipa za već urađen cilindar. Takođe su osnova kod preprocesnih i posle procesnih uređaja, sparujućih automata itd. To su selektori za razvrstavanje kuglica kotrljajnih ležaja na osnovu mera spoljašnjeg i unutrašnjeg prstena.

4. REZULTATI MERENJE

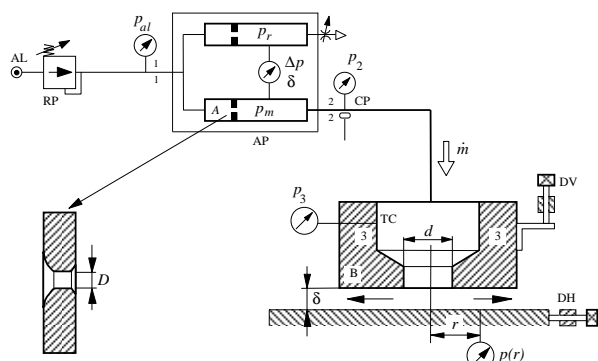
Za dobijanje karakteristika pneumatskog komparatora koristi se instalacija koja predstavlja diferencijalni pneumatski uređaj - komparator. Strujni prostor δ između izlazne mlaznice i površine mašinskog dela koji se kontroliše, predstavlja mikrokanal, slika 9, ref. [5]. Strujanje u

mikrokanalu je vrlo kompleksno, zbog toga, sva eksperimentalna merenja u pneumatskoj metrologiji se baziraju na merenju polja pritiska na površini mašinskog dela koji se kontroliše.

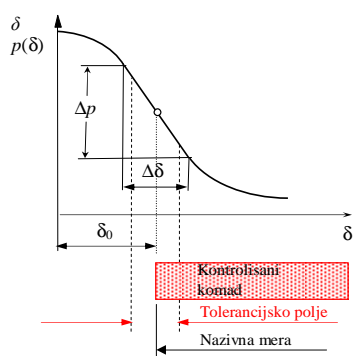
Vazduh pod pritiskom izlazi iz mlaznice M i udara o površinu komada K čija se dimenzija kontroliše, slike 9. Pritisak p koji se meri na površini komada, zavisi od više faktora i to od: pritiska napajanja p_a , prečnika prigušnice merne glave D , geometrijskog oblika izlazne mlaznice M, radijalne kordinate r i aksijalnog rastojanja izlazne mlaznice od površine mernog komada δ .

Tipičan dijagram zavisnosti $p(\delta)$ prikazan na slici 10. Za $\delta=0$, pritisak ima maksimalnu vrednost, tj. ima vrednost p_a . Sa povećanjem rastojanja δ pritisak naglo opada. Najveći pad pritiska je na *linearnom* delu zavisnosti $p(\delta)$ slika 10. Dalje, sa povećanjem vrednosti δ pritisak opada, zavisnost je nelinearna. Upravo, pravolinijski deo dijagrama $p(\delta)$, gde je linearna zavisnost pritiska od rastojanja δ , tj. dimenzija komada, koristi se u pneumatskoj metrologiji za kontrolu mašinskih delova. U pneumatskoj metrologiji može da se koristi i nelinearni deo dijagrama ali nije našao primenu radi potrebe poznavanja funkcije $p(\delta)$.

Pneumatski komparator je transformisani manometar. koji umesto skale pritiska ima skalu za očitavanje zazora δ . Pomoću instalacije sa slike 9, za zadati pritisak napajanja p_a , izabrani prečnik prigušnice D i mlaznicu M, mere se zavisnosti $p(r)$ i $p(\delta)$, koje predstavljaju osnovni interes ovog rada.

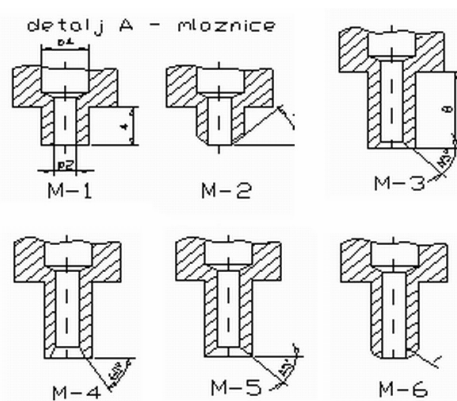


Slika 9. Šema merne instalacije [2]



Slika 10. Dijagram zavisnosti pritiska od rastojanja mlaznice i mernog komada [1]

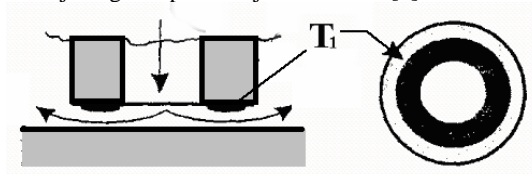
Karakteristični geometrijski oblici vrha izlazne mlaznice su dati na slici 11. i ima ih ukupno šest.



Slika 11. Geometrija izlazne mlaznice [5]

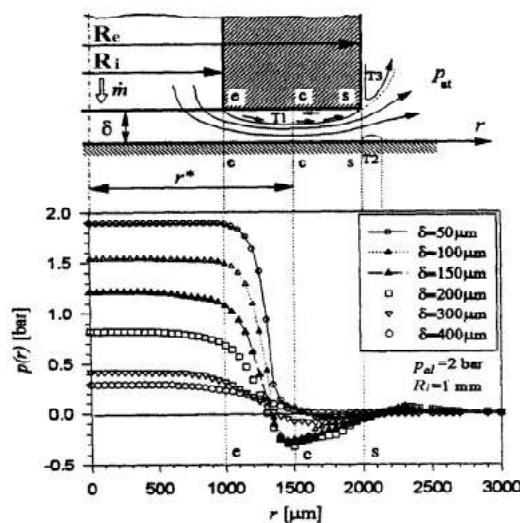
4.1 Rezultati merenja polja pritiska

Polje pritiska na površini mašinskog dela koji se kontroliše zavisi i od geometrije izlazne mlaznice. Analizom uticajnih faktora na polje pritiska, bira se takva mlaznica da se potpuno eliminiše potpritisak tj. vrtložna zona, na komadu koji se kontroliše ili da taj pritisak bude, ako je moguće, što manji. Pojava potpritiska na mernom komadu je nepoželjna zbog skupljanja nečistoća, koje remeti ispravan rad komparatora. Takođe pogodnim odabirom geometrije izlazne mlaznice teži se da polje potpritiska bude što dalje od ose mlaznice. Analiza polja pritiska na rad pneumatskog diferencijalnog komparatora je data u radu [5].

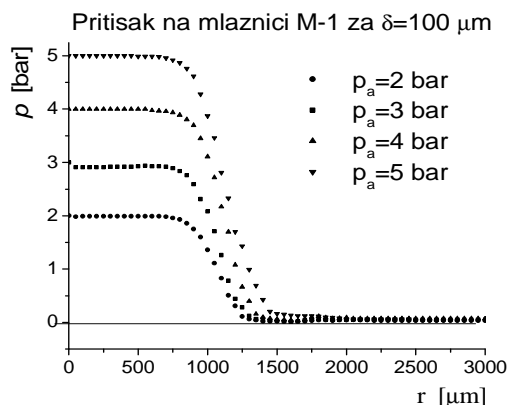


Slika 12. Pojava vrtložne zone [2]

Pri radu diferencijalnog pneumatskog komparatora javljaju se vrtložne zone koje su negativna pojava. Zona T1, slike 12 i 13 je oblast nagomilavanja nečistoća ispod izlazne mlaznice. Može se smanjiti ili potpuno eliminisati pravilnim izborom mlaznice i pritiska napajanja p_a . Vrtložna zona T2 se javlja na mernom komadu a T3 na bočnoj ivici i nemaju značajan uticaj na ispravan rad komparatora.

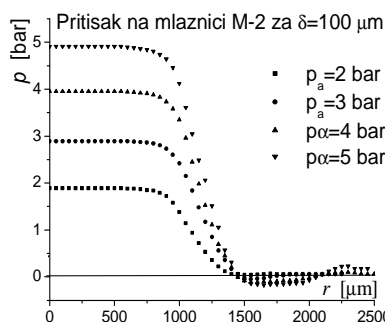


Slika 13. Nagomilavanja nečistoća na površini mlaznice [4]

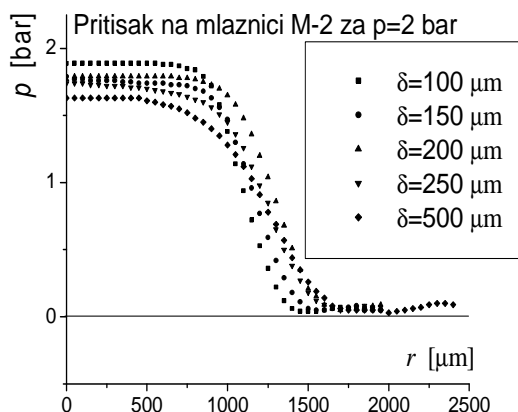


Slika 14. Zavisnost polja pritiska od pritiska napajanja p_a [5]

Dijagram polja pritiska na površini mernog komada dobija se merenjem pritiska u zavisnosti od radijalnog pomeranja r za određeno aksijalno rastojanje δ . Kombinacijom pritiska napajanja p_a , aksijalnog rastojanja δ , izlazne mlaznice M, dobijaju se brojni rezultati. Analizom rezultata merenja vrši se odabir mlaznice M koja za određeni pritisak napajanja p_a ima najmanje polje potpritiska T1. Na slici 14 prikazano je polje pritiska za mlaznicu M1 i pritiske napajanja $p_a = 2, 3, 4$ i 5 bar. Uočava se da pri ovim parametrima ne postoji vrtložna zona. Porastom pritiska napajanja i povećanjem δ dolazi do pojave vrtložne zone, slika 15 i 16.

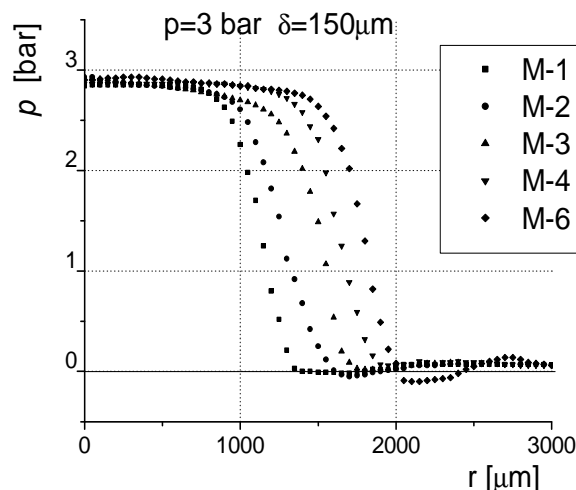


Slika 15. Nagomilavanja nečistoća na površinu [5]



Slika 16. Nagomilavanja nečistoća na površinu [5]

Na slici 17, dati su dijagrami $p=p(r)$ za sve mlaznice M1 do M6, za pritisak napajanja $p_a = 3$ bar i $\delta = 150 \mu m$. Uočava se da postoji vrtložna zona samo za mlaznicu M4.



Slika 17. Nagomilavanja nečistoća na površinu [5]

5. ZAKLJUČAK

Na kvalitet kontrole mašinskih delova pneumatskim komparatorom dominantan uticaj imaju pritisak napajanja i geometrija izlazne mlaznice.

Sprovedena eksperimentalna istraživanja pokazuju da vrtložna zona strujanja vazduha koja se javlja ispod vrha izlazne mlaznice se povećava sa povećanjem pritiska napajanja p_a . Takođe, smanjenje ove zone ili njeno potpuno eliminisanje se postiže promenom vrha izlazne mlaznice.

6. LITERATURA

- [1] Fortier, M.: Application industrielles des écoulements gazeux à la vitesse critique, Revenu chaleur et Industrie, N°299, p.145.2. (1950)
- [2] Crnojevic C., Roy G., Bettahar A. and Florent P.: Influence of regulator diameter and injection nozzle geometry on flow structure in pneumatic dimensional control systems. Transactions of ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 119., pp. 609-615 (1997).
- [3] Crnojević C., Skoko D.: O nekim pojavama koje utiču na rad pneumatskog komparatora. XXXI JUPITER konferencija, Zlatibor 2005. Zbornik radova (na CD-u), str. 5.14-5.17.
- [4] Roy, G., Crnojevic C., Bettahar A., Florent P. and Vo-Ngoc, D., "Influence of nozzle geometry in radial flow applications," International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion, Proc. Vol. 1, pp.363-368 (1994), Bali, Indonesia
- [5] Skoko, D., Magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd 2007.
- [6] Skoko D., Crnojević C., : Eksperimentalno određivanje osetljivosti pneumatskog komparatora. XXXII JUPITER konferencija, Zlatibor 2007. Zbornik radova , strana -5.43.
- [7] Skoko D., Crnojević C., Ristivojević M.: Analiza izbora merne glave diferencijalnog pneumatskog komparatora. XXXIII JUPITER konferencija, Beograd 2008. Zbornik radova , strana -5.52.

Autori: Skoko, D., Crnojević, C., Ristivojević, M.

Stević, M., Hodolić, J., Pavlov, A.

IZBOR NAJPOVOLJNIJEG MERNOG MESTA KOD NUMERIČKI UPRAVLJANIH MERNIH MAŠINA

Rezime: U prvom delu rada predstavljena je uloga i značaj numerički upravljanih mernih mašina u proizvodnom procesu. Objašnjen je pojam greške merenja i istaknuti uticajni faktori na rezultat merenja.

U drugom delu su prikazani načini izbora najpovoljnijeg mernog mesta korišćenjem graničnih merki, odnosno etalon prstenova. Na kraju su izvučeni odgovarajući zaključci.

Ključne reči: merna mašina, tačnost merenja, merno mest.

SELECTION OF OPTIMUM MEASURING PLACE OF COORDINATE MEASURING MACHINES

Abstract: The purpose of Coordinate Measuring Machines was described in first part of this paper. The measurement error and significant factors on measurement results were described. In the second part, the method of selection of optimum measuring place utilizing gauge blocks or calibration rings were described. On the end the conclusions were made.

Key words: measuring machine, measuring accuracy, measuring place.

1. UVOD

Istorijski gledano u proizvodnim procesima, merenje i kontrola su predstavljali usko grlo proizvodnje. To je posebno dolazilo do izražaja kada se u tehnološke sisteme uvodila nova proizvodna oprema, ili se povećavala kompleksnost proizvoda. S druge strane, razvoj obradnih sistema kao i računarske tehnologije je bio od posebnog značaja za razvoj novih generacija metroloških sistema, zasnovanih na elementima fleksibilne automatizacije.[1]

Koordinatna merna tehnika se pojavila kao produžetak konvencionalne merne tehnike i primenjuje se sa uspehom u različitim karakterističnim oblastima.

To su: (i) specijalna merenja - MM (merna mašina) smanjuju potrebe za specijalnim mernim priborima, čime se eliminišu troškovi proizvodnje ovih pribora, održavanja, popravki i lagerovanja; troškovi projektovanja i izmene tehničko-tehnološke dokumentacije su takođe eliminisani; pomoću MM se smanjuje vreme pripreme i merenja u odnosu na specijalne merne pribore; greške mernog pribora i operatora se značajno smanjuju; (ii) ulazna inspekcija - MM se smanjuje potrebno vreme inspekcije, posebno kod 100% inspekcije, kada je potreban visok i ujednačen nivo tačnosti; veličina uzorka se može povećati kao i pouzdanost inspekcije; pomoću MM se dobijaju različiti izlazni izveštaji, (iii) procesna inspekcija - delovi se mogu meriti brzo i tačno; frekvencija (delova i uzorka) se može povećati, a da to ne utiče na tačnost i pouzdanost merenja; vreme prelaska sa jedne na drugu inspekciju se značajno smanjuje; uticaji i greške čoveka su smanjeni, (iv) inspekcija prvog komada na NUMA (numerički upravljana mašina alatka) - pomoću MM se vreme inspekcije smanjuje u odnosu na konvencionalne metode i za 95%; vreme čekanja NUMA na inspekciju prvog komada se takođe drastično smanjuje: rezultati merenja, posebno kompleksnih delova su tačniji i pouzdaniji, na osnovu čega se može izvršiti pravilna korekcija alata, što je pri inspekciji konvencionalnih metroloških sistema nemoguće, (v) inspekcija alata i pribora - prethodna komplikovana merenja su sada mnogo jednostavnija pomoću MM; smanjuje se vreme merenja a povećava tačnost rezultata inspekcije, (vi) inspekcija sklopova i komponenti od limova -

MM se koriste za brzu i tačnu inspekciju, i u pogonu različitih sklopova i delova od limova, (vii) inspekcija "samo jednom" - nepotrebni su pomoćni kompleksni pribori za stezanje mernog predmeta: ne treba posebna obuka kontrolora; brza i tačna inspekcija prototipa i nulte serije, (viii) analiza trenda - inspekcija se može koristiti i za istraživanje uticaja promene režima rezanja na tačnost dimenzija i oblika; inspekcijom uzorka se može verifikovati završna kontrola serije; analizom izlaznih izveštaja možemo utvrditi odgovarajuće trendove, i (ix) obuka - MM ne zahtevaju dugotrajnu i skupu obuku; rad i iskustvo na NUMM-a (numerički upravljana merna mašina) omogućuje povećanje produktivnosti merenja i dobijanje tačnijih rezultata.[2]

2. GREŠKE MERENJA

Rezultat svakog merenja javlja se kao funkcija dve nezavisne veličine, jedne koja odražava pravu vrednost merene veličine, i druge, koja predstavlja grešku njenog merenja. Prema tome, pod greškom merenja neke veličine treba smatrati razliku između rezultata merenja i prave vrednosti izmerene veličine. [3, 4]

Ako se prava vrednost izmerene veličine označi sa Q , a greška njenog merenja sa dx , tada se rezultat merenja x može predstaviti relacijom $x = f(Q, dx)$, odnosno $x = Q + dx$, odakle, sledi [3]:

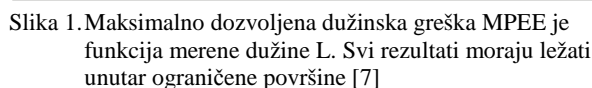
$$dx = x - Q \quad (1)$$

U tehnici merenja prava vrednost merene veličine je nepoznata. Razlog za to je nesavršenost merila. Smanjenjem greške merenje mi se sve više približavamo pravoj vrednosti merene veličine.

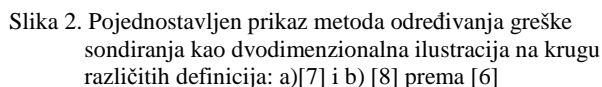
Merne mašine poslednje generacije, predstavljaju složene mehatronske proizvode, koji imaju svoje parametre tačnosti. One se primenjuju za precizna merenja i inspekciju čak i najsloženijih delova (krive linije i površine), u metrološkoj laboratoriji, u pogonskoj metrološkoj laboratoriji i u pogonu. Izloženi su često i različitim uticajima (temperatura, vlažnost, prašina, buka i vibracije), pa je potrebno ne samo pri proizvodnji, instalisanju, već i u toku procesa eksploatacije, vršiti njihovo ispitivanje, radi utvrđivanja njihove tačnosti. [5, 2,]

- NUMM imaju mogućnost merenja svih geometrijskih obeležja radnog komada, za razliku od jednonamenskih mernih instrumenata koji su pogodni za samo jedan zadatak,
- Rezultati nastaju analitičkom obradom mnoštva proizvoljnih tačaka sa površine radnog komada,
- Objekti se mogu meriti primenom različitih mernih strategija i na različitim mestima unutar merne zapremine mašine i
- Način na koji je definisan koordinatni sistem mernog predmeta utiče na prikupljanje podataka.

Maksimalno dovoljena greška za dužinsko merenje paralelnih i stepenastih merki označena je sa MPE_F (slika 1).

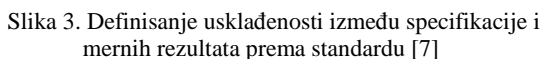

$$\text{MPE}_F = \pm (A + L/K) \quad (2)$$

Parametar koji se posebno izdvaja je greška uzimanja mernih tačaka. U tu svrhu potrebno je uzeti 25 mernih tačaka jednako raspoređenih po hemisferi referentne sfere. MPE_P predstavlja opseg svih radijalnih rastojanja sfere koja se proračunavaju korišćenjem Gausovog metoda najboljeg poklapanja. (slika 2)

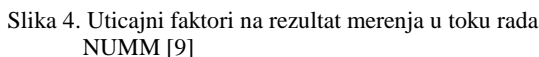


utvrđenim od strane korisnika.

Rezultati bi trebalo (ako ne postoji nikakav poseban sporazum između proizvođača i kupca) da se nalaze unutar zone usklađenosti ili kako je to propisano standardom ISO 14253 – 1 (slika 3). Zona usklađenosti isporučioaca i kupca različita je za oblast nesigurnosti. Ova nesigurnost uzima u obzir nesigurnost mernog tela sa kojom se vrši provera tačnosti parametara kvaliteta. Proizvođač mora da bi se osigurao da NUMM odgovara originalnoj specifikaciji da na nju doda dvostruku vrednost nesigurnosti merno-kontrolnog tela. Stoga proizvođači NUMM moraju da obrate posebnu pažnju na tačnost svojih merno-kontrolnih tela i tela koje poseduju njihovi servisi.



Kada se analiziraju izvori grešaka merenja kod NUMM, jasno je iz predhodnih analiza da su uticajni faktori na rezultat merenja, mnogobrojni i raznovrsni. Obuhvatnije i preglednije predstavljanje metodom riblje kosti dato je na slici 4. [9]



Poznavanje uticajnih faktora i pronalaženje zakonitosti njihovih promena, omogućuje kompenzaciju greške merenja, odnosno korekciju rezultata merenja.

3. IZBOR NAJPOVOLJNIJEG MERNOG MESTA

Prilikom izbora najpovoljnijeg mernog mesta u zavisnosti od merno kontrolnog zahvata prvi neophodni korak je analiza proizvodnog programa sa stanovišta merenja da bi se došlo do dimenzija najčešće pojavljivanih mernih predmeta.

Nakon ovog koraka sledi utvrđivanje dimenzija koje se najčešće mere na konkretnoj NUMM kako bi se uspostavila metodologija izbora.

Takođe je potrebno izvršiti izbor etalon mernog tela i neophodnih mernih pribora. Za izabrana etalon merna tela neophodno je definisati njihovu tačnost i proveriti da li poseduju odgovarajući atest.

Na osnovu analize mernog prostora NUMM i utvrđenih dimenzija najčešće pojavljivjanog mernog predmeta određuje se broj mernih mesta i test dužina neophodnih za definisanje plana provere. Raspored test dužina treba da pokrije područje najčešće merenih dimenzija i to ravnomerno u koliko je to moguće. Potrebno je definisati i broj uzastopnih merenja čime je definisan plan provere i stvorena mogućnost izbora

najpovoljnijeg mernog mesta.

Izbor najpovoljnijeg mernog mesta vrši se sistemom bodovanja zasnovanom na upoređenju određenih statističkih veličina koje se računaju za svako merno mesto. Pri tome najpovoljnije merno mesto dobija 5 bodova, sledeće 4 i tako redom 3 boda, 2 boda i na kraju jedan bod.

3.1 Izbor najpovoljnijeg mernog mesta korišćenjem graničnih merki

Merenja su vršena na numerički upravljanoj mernoj mašini tipa IOTA 2203 italijanskog proizvođača DEA iz Torina (slika 5) instalisanoj u DD "Pobeda" Holding u Novom Sadu-Petrovaradin. Ova merna mašina sadrži u sebi komponente i sklopove drugih proizvođača kao što su optičke letve i davači (iz Nemačke), pojedini elektronski sklopovi, Renishaw merna glava i njen interfejs (iz Velike Britanije), računar, deo softvera i periferije (iz USA).

Osnovne konstruktivne osobine omogućavaju merenje dužine sa mernom nesigurnošću $\pm(4+L/1000)$ μm , u mernom prostoru od 1320x950x950 (mm).



Slika 8. Numerička upravljana merna mašina DEA IOTA 2203 instalisana u DD "Pobeda" Holding

Proizvođač je propisao posebne uslove za okruženje u kome je postavljena i u kome radi NUMM. Temperatura mora biti $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, a vlažnost vazduha se mora kretati u granicama od 40 - 60%.

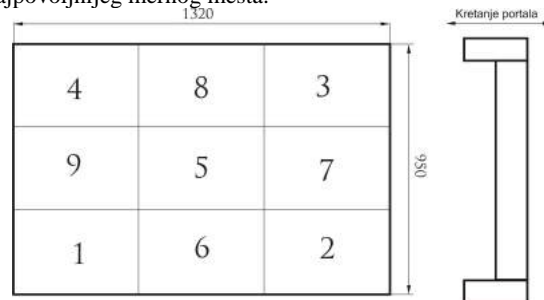
Prilikom izvođenja merenja temperatura se kretala između 19,8 i 19,9 $^{\circ}\text{C}$ dok se vlažnost vazduha kretala u granicama od 54 - 55 %, čime su propisani uslovi od strane proizvođača bili zadovoljeni.

Uticaj vibracija je eliminisan postavljanjem NUMM-e na sistem za prigušivanje vibracija pomoću vazdušnih jastuka.

Merenje je vršeno na 9 mernih mesta (slika 10) pri čemu je na svakom mernom mestu proveravana 3D merna nesigurnost (U3), 2D merna nesigurnost (U2, merena u ravni XY na mernom stolu i visini 200 mm) i 1D merna nesigurnost (U1, merena u pravcu X, Y i Z ose na mernom stolu i u pravcu X i Y ose na visini od 200 mm).

Provera je vršena za šest različitih merno kontrolnih dužina i to: 10, 60, 120, 180, 240 i 300. Rezultati merenja se mogu predstaviti putem dijagrama tačnosti, tabelarno i pomoću histograma. Ovde se pokazuje tabelarni način predstavljanja rezultata merenja koji služi kao osnova za izbor

najpovoljnijeg mernog mesta.



Slika 10. Raspored mernih mesta na mernom stolu NUMM

RUMM	1	2	3	4	5	6	7	8	9
120.008						1	1,25		1
120.005						1	1,25		
120.004	2	2,5	3	3,75	1	1,25	4	5	2
120.003	7	8,75	4	5	4	5	3	3,75	2
120.002	8	10	8	10	5	6,25	3	3,75	11
120.001	23	26,75	6	7,5	12	15	10	12,5	13
120.000	24	30	12	15	33	41,25	14	17,5	21
119.999	9	11,25	26	32,5	16	20	19	23,75	15
119.998	6	7,5	16	20	7	8,75	16	20	4
119.997	1	1,25	4	5	2	2,5	14	17,5	8
119.996									
119.995									
119.994									
Xar	120.0005	119.9996	119.9999	119.9999	120.0001	120.0007	119.9994	120.0006	119.9994
μ	2,895E-06	3,277E-06	1,817E-06	2,641E-06	3,589E-06	2,392E-06	2,935E-06	2,802E-06	3,549E-06
σ	0,001447	0,001010	0,001348	0,001625	0,001895	0,001042	0,001713	0,001575	0,001884
s	0,001457	0,001022	0,001357	0,001636	0,001907	0,001053	0,001724	0,001585	0,001896
s+e	0,001828	0,002286	0,001702	0,002052	0,002393	0,002326	0,002163	0,001989	0,002379
s-e	0,001085	0,001358	0,001011	0,001219	0,001421	0,001381	0,001285	0,001181	0,001413
e	3,712E-04	4,642E-04	3,457E-04	4,168E-04	4,859E-04	4,723E-04	4,393E-04	4,040E-04	4,831E-04
Bodovi	4	-	5	2	-	-	1	3	-

Slika 11. Tabelarni prikaz rezultata merenja kontrolne dužine 120 mm

Na osnovu rezultata možemo rangirati merna mesta za slučaj pojedinih kontrolnih dužina. Rezultati su prikazani u tabeli 1.

Rangiranje mernih mesta prema tačnosti rezultata merenja					
Kontrolna dužina (mm)		Merna mesta			
10		9	6	8	1
60		2	5	1	4
120		3	1	8	4
180		8	6	5	3
240		1	2	4	3
300		2	9	8	5

Tabela 1. Rangiranje mernih mesta

Na osnovu rangiranja vršimo bodovanje u skladu sa usvojenim sistemom. Rezultati bodovanja su prikazani u tabeli 2.

Bodovanje mernih mesta prema tačnosti rezultata merenja	
Merno mesto	Broj bodova
1	15
2	14
3	11
4	8
5	9
6	8
7	1
8	15
9	9

Tabela 2. Bodovanje mernih mesta

Na osnovu rezultata bodovanja vidimo da su najpovoljnija merna mesta 1 i 8.

3.2 Izbor najpovoljnijeg mernog mesta korišćenjem etalon prstenova

Merenja su vršena na numerički upravljanoj mernoj mašini tipa „SIP+a 560 M“ Švajcarskog proizvođača iz Ženeve instalisanoj u vazduhoplovnom zavodu „Orao“ u Bijeljini. Osnovne konstruktivne osobine omogućavaju merenje sa mernom nesigurnošću $U1 = \pm(0,5+L/1200)$ μm i

$U_3 = (0.8+L/500) \mu\text{m}$ u mernom prostoru 410 x 260 x 310 (mm).

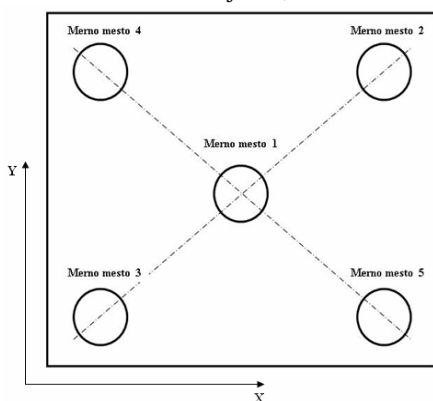


Slika 12. Numerički upravljana merna mašina tipa SIP-a 560M

Uslovi okruženja NUMM su temperatura $20^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$, I vlažnost vazduha 40 - 60%.

Prilikom izvođenja merenja temperatura je bila $19,9^\circ\text{C}$ dok je vlažnost vazduha iznosila 55 %.

Merenje je vršeno na 5 mernih mesta (slika 13.), a na svakom mernom mestu mereni su etalon prstenovi $\phi 19.9995$: $\phi 50.0000$ i $\phi 99.9995$ sa uzimanjem 4, 12 i 20 mernih tačaka.



Slika 13. Raspored mernih mesta na mernom stolu NUMM
Ovde se u tabeli 3 prikazuje vrednovanje mernih mesta sa merenjem u 12 tačaka.

Rangiranje mernih mesta prema tačnosti rezultata merenja					
Nominalna mera	Merna mesta				
$\phi 19.9995$	1	3	5	2	4
$\phi 50.0000$	4	2	3	1	5
$\phi 99.9995$	3	2	5	4	1

Tabela 3. Rangiranje mernih mesta

A nakon bodovanja imamo situaciju predstavljenu tabelom 4.

Bodovanje mernih mesta prema tačnosti rezultata merenja	
Merno mesto	Broj bodova
1	8
2	10
3	12
4	8
5	7

Tabela 4. Bodovanje mernih mesta

Ukupnu ocenu mernih mesta dobijamo kada objedinimo

bodove za sve merene prečnike i brojeve uzimanja tačaka (tabela 5).

Bodovanje mernih mesta prema tačnosti rezultata merenja	
Merno mesto	Broj bodova
1	27
2	24
3	33
4	25
5	26

Tabela 5. Prikaz ukupnog bodovanja mernih mesta

Najpovoljnije merno mesto je merno mesto sa brojem 3 sa najvećim brojem bodova 33.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata merenja izvršenih za specificirane merno-kontrolne zahvate jasno je da se može razviti posebna metodologija za konkretne uslove za izbor najpovoljnijeg mernog mesta. To bi bio još jedan doprinos povećanju tačnosti merenja.

5. LITERATURA

- [1]: *ISO 10360 Part 1-6, Coordinate metrology*, International Standard Organization, Geneve, 1994.
- [2]: *Međunarodni rečnik osnovnih i opštih termina u metrologiji*, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Prizma, Kragujevac, 1996.
- [3] Korotov, V.P., Tajc, B.A.: *Osnovi metrologii i teorii točnosti izmeriteljnih ustrojstv*, Izdateljstvo standardov, Moskva, 1978.
- [4] Knapp, W.: *Circular Test for Three-Coordinate Measuring Machines*, Precision Engineering, Vol.5, No.3, 115-124, 1983.
- [5] Majstorović, V., Hodolić, J.: *Numerički upravljane merne mašine*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1998.
- [6] Neumann, H., J.: *Industrial Coordinate Metrology (Ten years of innovations)*, Himmer, Augsburg, 2000.
- [7] Rodić, M., Uzunović, R., Stanić, J., Stankov, J.: *Put ka TQM i metrologiji u proizvodnom mašinstvu*, Mašinstvo za XXI vek, 341-358, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Jun 1995.
- [8] VDI/VDE 2617, *Genauigkeit von Koordinatenmessgeräten - Konngößen und deren Prüfung*, Blatt 1, 2 und 3, Beuth Verlag, Berlin und Köln, 1986 und 1984.
- [9] Weckemann, A.: *Influences on result value and uncertainty using flexible measuring instruments*, Summer Academy 2001., Dubrovnik, 2001.

Napomena: Ovaj rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru Bilateralnog projekta naučno-tehnološke saradnje Republike Srbije i Slovačke Republike pod nazivom „Progresivne tehnologije i novi tehnološki principi upravljanja AFTS“.

Autori: **Doc. dr Miodrag Stević, Prof. dr Janko Hodolić**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2320, Fax: +381 21 454-495. **Doc. dr Angel Pavlov**, Strojnicka faculta SVU Bratislava, Katedra vyrobnej techniky, Namestie Slobodi 17, 81231 Bratislava, Slovačka Republika, Tel.: +421 905 205 037, Fax: +421 252 497 810.
E-mail: miodrags@uns.ns.ac.yu
hodolic@uns.ns.ac.yu
angel.pavlov@stuba.sk

Tomov, M., Kuzinovski, M., Cichosz, P.

UTICAJ VELIČINE SEMPLIRAČKOG RASTOJANJA NA VREDNOSTIMA PARAMETARA PROFILA HRAPAVOSTI

Rezime: U ovom radu predstavljeni su rezultati analize uticaja promene veličine sempliračkog rastojanja na vrednostima parametara kojim se isti opisuje. Izvorni profil hrapavosti dobijen je pomoću kontaktnog profilometra Surtronic 3+ korišćenjem veličine sempliračkog rastojanja od 0,5 μm . X i Y vrednosti koordinata za izmerene tačke profila hrapavosti preuzeti su iz profesionalnog softvera TalyProfile. Promena veličine sempliračkog rastojanja omogućena je korišćenjem programa Microsoft Office Excel.

Ključne reči: Profil hrapavosti, sempliračko rastojanje, kontakti profilometar.

EFFECT OF SAMPLING SPACING ON SURFACE ROUGHNESS PARAMETER VALUES

Abstract: This study presents achieved results of the analysis of the effect of sampling spacing change of pre-recorded roughness profile on surface roughness parameter values, which same is described with. Basic roughness profile is gained by means of stylus profilometers Surtronic 3+ with 0,5 μm sampling spacing. X and Y values of measured points of basic roughness profiles are undertaken by professional software TalyProfile. Sampling spacing change is provided by use of program Microsoft Office Excel.

Key words: Roughness profile, sampling spacing, stylus instrument (profilometer).

1. INTRODUCTION

Determination of surface roughness profile is a complex process with tendency to define the representative surface area. In this process, a database is formed with space coordinates for measured surface area in the form of a pre-recorded roughness profile [5]. The graphics interpretation of the pre-recorded roughness profile is the next step. Then follows determination of mathematical models and techniques for processing and analysis of roughness profile. In the end are defined the roughness parameters and functional properties, which describe the roughness profile and are basis for reaching quantitative and qualitative conclusions for the whole measured surface [7,8]. Determination accuracy of real surface topography, thereby of the roughness profiles as well, depend on many factors, as the effect of the surrounding, measurements conditions, measurement methods, metrological and other measurement equipment characteristics, operator competency, mode i.e. applied methodology for transformation of measurement values into adequate profiles (primary profile, roughness and waviness profile), and further on also of the calculation methods of adequate parameters and functions [1,12]. Representative profile reaching is always performed against a prescribed, previously determined methodology with the purpose of providing high quality level of gained results.

Gained results is expected to provide a clear picture of the real condition of the specimen, however also to perform contrasting with results gained from other measurements, which are previously defined to be taken against same conditions and same methodology.

Various processing types generate occurrence of various surface topography. In question here are roughness profiles with periodic (deterministic), non-periodical (stochastic) and combined profile characters [10]. This requires strict respect of previously defined procedures for measurements i.e. holding onto recommendations in standards, as well as to the ability of forecasting the effect of each step of measured

process onto final result, thereby also onto the parameters and functions of roughness profile.

Sampling spacing is a characteristic of measurement equipment and directly influences the quality of gained pre-recorded profile [10,11]. Analysis were made in this trend with the purpose of determining the effect on roughness profile form and roughness profile values. Research results are presented by analysis of roughness amplitude parameters (peak and valley) and amplitude average parameters.

2. MEASUREMENT EQUIPMENT AND MEASUREMENT CONDITIONS

Measurements are performed by use of roughness standards (etalons), representatives for turning and grinding process, Figure 2 and 3, use of stylus stand ME10, upgraded with a computerized profilometer Surtronic 3+ connected to a professional software TalyProfile, Figure 1.



Figure 1. Computerized measurement equipment for surface roughness measurement

In measurement process, profilometer Surtronic 3+ is characterised by 0,5 μm horizontal resolution where roughness evaluation length (l_n) is less than or equal to 8

mm, and 1 μm when roughness evaluation length (l_n) is greater than 8 mm and 10 nm vertical resolution.



Figure 2. Deterministic – standard surface representative of turning process

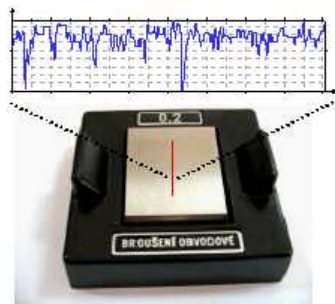


Figure 3. Stochastic – standard surface representative of grinding process

Measurement conditions are in conformance with prescriptions defined in ISO 3274 and ISO 4288, table 1 and table 2. Used instruments are pick-up type 112-2672 (DCN 001) with stylus tip radius 2 μm and skid radius 8,7 mm, and pick-up type 112-1502 (DCN 001) with stylus tip radius 5 μm and skid radius 8,7 mm. Pick-up measurement speed is 1 mm/s. Size of roughness sampling length (l_r) is 0,8 mm, while as evaluation length (l_n) includes five sampling lengths.

Equipment calibration is made by use of calibrated standard (etalon) type C with $R_a = 6 \mu\text{m}$ in accordance with [2,6].

3. EXPERIMENTAL STUDY

In the frames of the cooperation between Faculty of Mechanical Engineering in Skopje and Institute of Production Engineering and Automation in Wroclaw University of Technology an international scientific-research project was realized under title: Study on possibilities and accuracy of surface layer geometrical structure determination by using contact profile meters [9]. The main objective of this project is effect analysis of single factors that participate in the surface topography determination and accuracy enhancement. Part of these activities are also analysis of the effect of sampling spacing change onto determining accuracy of roughness profiles and roughness parameters' value.

Sampling spacing represents distance between two adjacent sampling points of measured surface against x-axis. Sampling spacing size, stylus type radius, size of l_s and l_c profile-filters, and measurements surface, deterministic or stochastic, are in correlation [13], Table 1 and Table 2.

Experiment focus is to determine the trend of roughness profile form change and value change of amplitude average parameters R_a , R_q and amplitude parameters (peak and valley) R_p , R_v , R_z (ISO), R_t in the function of sampling spacing size change.

λ_c (mm)	λ_s (μm)	λ_c / λ_s	Stylus tip radius r_{tip} (μm)	Maximum sampling spacing (μm)
0.08	2.5	30	2	0.5
0.25	2.5	100	2	0.5
0.8	2.5	300	2 (5 at $R_z > 3 \mu\text{m}$)	0.5
2.5	8	300	5 or 2	1.5
8	25	300	10, 5 or 2	5

Table 1. Relations between roughness cut-off wave length λ_c , tip radius, roughness cut-off ratio and maximum sampling spacing [3].

R_a (μm)	R_z (μm)	R_{Sm} (μm)	$l_r = \lambda_c$ (mm)	$l_n = 5 \times l_r$ (mm)
Non-periodic profile		Periodic profile		
$(0.006) < R_a \leq 0.02$	$(0.025) < R_z \leq 0.1$	$0.013 < R_{Sm} \leq 0.04$	0.08	0.4
$0.02 < R_a \leq 0.1$	$0.1 < R_z \leq 0.5$	$0.04 < R_{Sm} \leq 0.13$	0.25	1.25
$0.1 < R_a \leq 2$	$0.5 < R_z \leq 10$	$0.13 < R_{Sm} \leq 0.4$	0.8	4
$2 < R_a \leq 10$	$10 < R_z \leq 50$	$0.4 < R_{Sm} \leq 1.3$	2.5	12.5
$10 < R_a \leq 80$	$50 < R_z \leq 200$	$1.3 < R_{Sm} \leq 4$	8	40

Table 2. Relations between roughness sampling length (l_r), roughness evaluation length (l_n), and expected value of R_a , R_z , R_{sm} parameters for periodic and non-periodic profiles [4].

Analisis refers to periodic (deterministic) and non-periodic (stochastic) real-etalon surfaces, Figure 2 and Figure 3. Microsoft Office Excel program is used for reaching roughness profiles with various sampling spacing, since used measurement equipment performs measurement process only with one sampling spacing value. Sampling spacing size change is simulated by change of x-distance between sampling (recorded) points of roughness profile through omission of one, two, three, four and five points of basic profile, always initiating from same starting point. In this way roughness profiles are gained with sampling spacing of 1; 1,5; 2; 2,5 and 3 μm . For each profile gained in this way a mean line is determined against the least square method, then analyzed amplitude parameters are calculated. As basic roughness profiles are considered profiles measured and gained with measurement equipment shown on Figure 1 with sampling spacing of 0.5 μm and stylus tip radius of 2 and 5 μm . Value calculation of amplitude parameters R_a , R_q and amplitude parameters (peak and valley) R_p , R_v , R_z (ISO), R_t , as for basic profile, also for gained profiles with various sampling spacing, is performed in accordance with ISO 4287.

Basic roughness profile is reached by software filtering of primary (P) profiles by use of Gaussian (λ_c) profile-filter with filter size 0.8 mm. Such gained basic profiles are documented in TXT-Ascii Profiles format by use of software TalyProfile.

4. RESULTS ANALYSIS

Basic roughness profiles, subject of analysis of this study, are obtainable by means of X and Z coordinates, which are undertaken from professional software TalyProfile with TXT-Ascii Profiles format and recorded in program Microsoft Office Excel. Measured and calculated values of roughness profile amplitude average parameters and amplitude parameters (peak and valley) for values of 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3 μm sampling spacing are shown in Table 3; 4; 5 and 6.

(μm)	Sampling spacing (μm)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Ra	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.187
Rq	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237	0.237
Rp	0.618	0.617	0.617	0.616	0.599	0.602
Rv	0.698	0.697	0.697	0.668	0.666	0.631
Rz	1.316	1.314	1.314	1.284	1.265	1.233
Rt	1.569	1.563	1.563	1.563	1.524	1.560
Difference (%)						
Ra		0.00	0.00	0.00	0.00	0.53
Rq		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rp		0.16	0.16	0.32	3.07	2.59
Rv		0.14	0.14	4.30	4.58	9.60
Rz		0.15	0.15	2.43	3.88	6.31
Rt		0.38	0.38	0.38	2.87	0.57

Table 3. Results of measured and calculated values for grinding standards surface by use of stylus tip radius 2 μm .

(μm)	Sampling spacing (μm)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Ra	0.165	0.163	0.163	0.163	0.162	0.163
Rq	0.213	0.207	0.207	0.207	0.206	0.207
Rp	0.532	0.524	0.524	0.522	0.524	0.486
Rv	0.594	0.588	0.592	0.583	0.591	0.576
Rz	1.126	1.112	1.116	1.105	1.115	1.062
Rt	1.522	1.363	1.361	1.362	1.362	1.362
Difference (%)						
Ra		1.21	1.21	1.21	1.82	1.21
Rq		2.82	2.82	2.82	3.29	2.82
Rp		1.50	1.50	1.88	1.50	8.65
Rv		1.01	0.34	1.85	0.51	3.03
Rz		1.24	0.89	1.87	0.98	5.68
Rt		10.45	10.58	10.51	10.51	10.51

Table 4. Results of measured and calculated values for grinding standards surface by use of stylus tip radius 5 μm .

(μm)	Sampling spacing (μm)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Ra	0.196	0.196	0.195	0.195	0.195	0.195
Rq	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244	0.244
Rp	0.616	0.616	0.610	0.616	0.601	0.608
Rv	0.500	0.498	0.500	0.497	0.492	0.490
Rz	1.160	1.113	1.109	1.112	1.093	1.097
Rt	1.229	1.224	1.229	1.223	1.204	1.204
Difference (%)						
Ra		0.00	0.51	0.51	0.51	0.51
Rq		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rp		0.00	0.97	0.00	2.44	1.30
Rv		0.40	0.00	0.60	1.60	2.00
Rz		4.05	4.40	4.14	5.78	5.43
Rt		0.41	0.00	0.49	2.03	2.03

Table 5. Results of measured and calculated values for cutting standards surface by use of stylus tip radius 2 μm .

Research of possibilities for enhancing accuracy of roughness profiles determination by sampling spacing change are made in accordance with prescriptions given in Table 1 and 2, when heeded is the selection of correspondent stylis tip radius and evaluation length.

(μm)	Sampling spacing (μm)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
Ra	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188	0.188
Rq	0.233	0.233	0.233	0.233	0.233	0.232
Rp	0.534	0.533	0.527	0.523	0.521	0.512
Rv	0.484	0.481	0.480	0.478	0.464	0.465
Rz	1.017	1.015	1.008	1.002	0.985	0.977
Rt	1.124	1.119	1.112	1.112	1.080	1.081
Difference (%)						
Ra		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rq		0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
Rp		0.19	1.31	2.06	2.43	4.12
Rv		0.62	0.83	1.24	4.13	3.93
Rz		0.20	0.88	1.47	3.15	3.93
Rt		0.44	1.07	1.07	3.91	3.83

Table 6. Results of measured and calculated values for cutting standards surface by use of stylus tip radius 5 μm .

Gained roughness profiles confirmed the effect of mechanical filtration of stylus tip radius at radius change from 2 onto 5 μm . Mechanical filtration increment is registered at stochastic profile in terms of deterministic profiles.

Figure 4 and Figure 5 show roughness profile form change with sampling spacing increase. From shown graphic interpretation of part of roughness profiles with sampling spacing increase from 0.5 onto 3 μm , larger deviations can be noticed on roughness profiles on stochastic surfaces (Figure 4) rather than on deterministic surfaces (Figure 5).

By sampling spacing size change missed are certain points of roughness profile, which directly effects the roughness profile form, Figure 4 and 5, and the roughness parameter value change, Table 3; 4; 5 and 6.

Larger change of roughness parameters values is noticed at amplitude parameters (peak and valley) Rp, Rv, Rz (ISO) and Rt, unlike amplitude average parameters Ra and Rq.

Change of parameters values Rp and Rv is due to the mean line position change by omission of peak and valley points of roughness profile by sampling spacing increase.

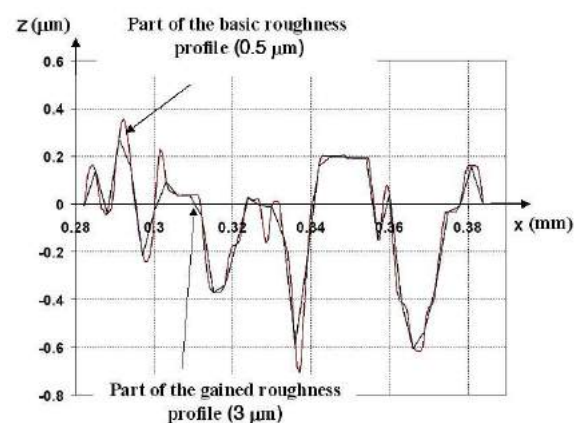


Figure 4. Graphic interpretation of part on roughness profile from grinding standard surface by sampling spacing 0.5 and 3 μm .

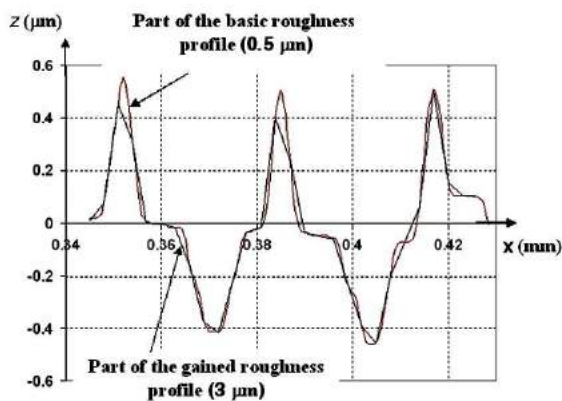


Figure 5. Graphic interpretation of part on roughness profile from turning standard surface by sampling spacing 0.5 and 3 μm .

5. CONCLUSIONS

Gained results provide following conclusion:

- that by increase of stylus radius size and increase of sampling spacing, there is direct effect on the determining of accuracy of roughness profiles and roughness parameters value, when larger deviations are noticed on stochastic surfaces.
- considered from quantitative aspect, by sampling spacing increase roughness parameter values are reduced, regardless whether deterministic or stochastic surfaces are in question. These changes are more reflected at amplitude parameters (peak and valley).
- change of roughness profile form (coordinates), as a result of the effect of stylus radius size and sampling spacing change, leads to mean line position change.
- researches are required that would determine the ratio between stylus radius and sampling spacing value, at which ratio there effect on roughness profile accuracy defining would be minimal.

6. REFERENCES

- [1] Whitehouse D. J.: *Handbook of Surface Metrology. Inst. of Physics*, Bristol, 1994.
- [2] EAL-G20: *Calibration of Surface Instruments for Measuring Surface Roughness*, 1996.
- [3] ISO 3274:1996: Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Nominal characteristics of contact stylus instruments.
- [4] ISO 4288:1996: Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture.
- [5] ISO 4287:1997: Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters.
- [6] ISO 12179: 2000: Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Calibration of contact (stylus) instruments.
- [7] Stout K. J.: *Three-Dimensional Surface Topography; Measurements, Interpretation and Applications*. Center for Metrology the University of Birmingham, 1994.
- [8] Stout K. J., Blunt L.: *Tree-Dimensional Surface Topography*. Secont edition. School of Engineering. University of Huddersfield, Penton Pres, London, 1994.
- [9] Kuzinovski M., Tomov M., Cichosz P., Neven T.: *Study*

on possibilities and accuracy of surface layer geometrical structure determination by using contact profilometers. Scientific-research project, finance by Ministry of Education and Science on Republic of Macedonia. Number: 13-977/3-05, 1.7.2006- 30.6.2009.

- [10] Gorecka R., Polanski Z.: *METROLOGIA WARSTWY WIERZCHNIEJ*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 1982.
- [11] Pawlus P.: *TOPOGRAFIA POWIERZCHNI*. Pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Poilitechniki Rzeszowskiej, Rzeszow, 2005
- [12] Protocol of the discussion hold on the 8th June 1999 by the round table during the *International Symposium "Surface Engineering in Machining"*. Wroclaw – Szklarska Poreba, Poland, 7-9.06.1999..
- [13] Swornowski P.: *The influence of the mechanical filtration of the measuring-pin on the waviness and surface roughness*, Arhives of Mechanical Technology and Automation, ISSN 1233-9709, Vol. 26 nr 2. p 129-137, Poznan 2006.

Authors: Ass. Tomov Mite, MSc, Prof. Kuzinovski Mikolaj, PhD, University "Ss. Cyril and Methodius", Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, , Karposh II bb, P. Fax 464, 1000 Skopje R.Macedonia., **Prof. Cichosz Piotr, DSc**, Institute of Production Engineering and Automation of the Wroclaw University of Technology, str. Lukasiewicza 3/5, 50-371 Wroclaw, Polska

E-mail:

mitetomov@yahoo.com

mikolaj@mf.edu.mk

piotrc@itma.pwr.wroc.pl

Tomov, M., Kuzinovski, M., Cichosz, P.

UTICAJ VELIČINE UKUPNE MERNE DUŽINE NA REZULTATE MJERENJA HRAPAVOSTI POVRŠINE

Rezime: U ovom referatu predstavljeni su rezultati istraživanja uticaja promene veličine ukupne merne dužine na ponovljivost dobijenih vrednosti parametra hrapavosti. Ponovljivost je ocenjena preko promene vrednosti standardne devijacije na visinskih R_p , R_v , R_z , R_t i srednjih R_a i R_q parametri hrapavosti. Analizovani su deterministički i stohastički etalon površine. Istraživanja su izvedeni za vrednosti ukupne merne dužine od 8, 4 i 2,5 mm. Merenja hrapavosti etalon površina izvedeni su primenom kompjuterizovanog kontaktnog profilometara Surtronic 3+. Proračuni vrednosti visinskih i srednjih parametara hrapavosti o različitim ukupnim mernim dužinama izvedeni su korišćenjem softvera TalyProfile.

Cljučne reči: Hrapavost površina, ponovljivost, ukupna merna dužina, kontakti profilometar.

EFFECT OF EVALUATION LENGTH ON RESULTS OF SURFACE ROUGHNESS MEASUREMENTS

Abstract: Research results of the effect of evaluation length change on recurrence of gained roughness parameter values are presented in this study. Recurrence is evaluated through value change of standard deviation of roughness amplitude parameters (peak end valley) R_p , R_v , R_z , R_t and amplitude average parameters R_a and R_q . Deterministic and stochastic standard surfaces are analyzed. Researches are made for values of evaluation length of 8; 4 and 2,5 mm. Roughness measurements of standard surfaces are made by use of a computerized stylus profilometer Surtronic 3+. Calculation of amplitude parameter (peak end valley) and amplitude average parameter value is made by means of software TalyProfile.

Key words: Surface roughness, repeatability, evaluation length, stylus instrument (profilometer).

1. INTRODUCTION

Industry representatives as well as those of scientific-research institutions pay special attention to the evaluation of quality of results gained of surface roughness measurement process. Quality of results is defined through reliability [9], i.e. uncertainty of measurement results or the interval of trust. Analysis of results gained from measurements made on same standard surfaces in various scientific-research institutions shows significant differences. A debate arises whether we know how to perform measurement? What do we measure? and How can differences be reduced? [12]. It is considered that reduction of those differences can be influenced by single measurement mode defining, re-precision of definitions for roughness parameters and calibration of measurement equipment immediately prior measurement. Basis for defining measurement reliability i.e. uncertainty of measurement results is the analysis of recurrence of gained roughness parameter values. Factors that participate in evaluation or defining of uncertainty of measurement results are analyzed and directions for their effect reduction are provided. In this trend, researches were made for defining possibilities for increasing determination precision of surface topography by use of stylus profilometer [10]. Measurement process accuracy is influenced by: measurement surface type, applied measurement equipment, adopted measurement procedure and measurement results interpretation. There are a large number of factors that have direct influence on failure occurrence when analyzing surface roughness profile, as radius and stylus tip angle, measurement force and speed, pick-up positioning, skid dimensions and type, leveling in the frames of evaluation length, quantification, sampling spacing, measurement direction, number of recurrence measurements, selection of evaluation length and sampling length, adopted reference system, environment influence, etc. [1,7,8].

Analysis of surface topography determination process provides obtaining values for roughness parameters in the frames of the adopted evaluation length that consists of five sampling lengths.

Sampling length must not be too small, since it has to be a good representative for the measurement surface from statistical aspect. Adoption of a rather small value for sampling length causes occurrence of waviness. Empirical studies show that most often sampling length of 0,8 mm is applied, while as evaluation length consists of five sampling lengths [11]. Evaluation length value has to provide collection of sufficient number of recorded points, measurement surface coordinates, with the purpose of defining qualitative and quantitative conclusions for describing measured surface characteristics in an argumentative mode. It is recommended measurement process to be repeated at least 5 times for the purpose of reaching satisfactory statistical recurrence of measurement results. During measurement process recurrence, identical measurement techniques and conditions have to be applied for providing comparison of gained results. Criteria for evaluation acceptability of measured results are defined in ISO 4288 (1997).

Prescriptions for selection of limit values of sampling length (l_r) and evaluation length (l_n) for periodic (deterministic) and non-periodic (stochastic) profiles are given in Table 1. For non-periodic profiles, selection of spacing length value can have significant effect on values of amplitude parameters (average or maximum) or horizontal parameter R_{Sm} , while as for periodic profiles, selection is exclusively made based on value of horizontal parameters.

Researches show that reduction of sampling length, thereby also of evaluation length, causes reduction of recurrence of roughness parameter values [10].

Ra (μm)	Rz (μm)	RSm (μm)	lr = λ_c (mm)	ln = 5 x lr (mm)
Non-periodic profile		Periodic profile		
$(0.006) < Ra \leq 0.02$	$(0.025) < Rz \leq 0.1$	$0.013 < RSm \leq 0.04$	0.08	0.4
$0.02 < Ra \leq 0.1$	$0.1 < Rz \leq 0.5$	$0.04 < RSm \leq 0.13$	0.25	1.25
$0.1 < Ra \leq 2$	$0.5 < Rz \leq 10$	$0.13 < RSm \leq 0.4$	0.8	4
$2 < Ra \leq 10$	$10 < Rz \leq 50$	$0.4 < RSm \leq 1.3$	2.5	12.5
$10 < Ra \leq 80$	$50 < Rz \leq 200$	$1.3 < RSm \leq 4$	8	40

Table 2. Dependence among sampling length (lr), evaluation length (lr), and expected value of Ra, Rz, Rsm parameters for periodic and non-periodic profiles [4].

Tracing length against measurement surface is sum of evaluation length and length pre-travel and post-travel, Figure 1. Acceleration of stylus tip in measurement process is made within the frames of pre-travel length, while as deceleration of stylus tip until final stop within the frames of post-travel length [5].

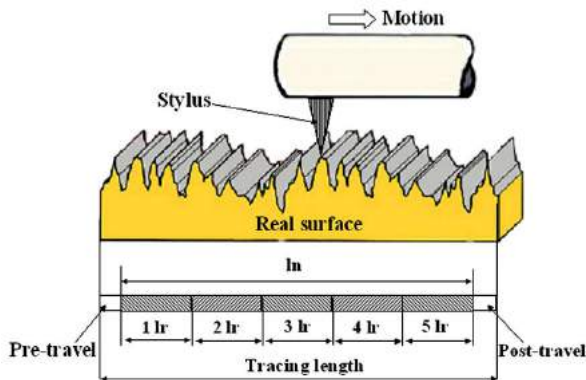


Figure. 1. Tracing length

Generally, evaluation length is variable (with a selection possibility) characteristic of surface roughness measurement equipment [3]. Simultaneously, computerized measurement units provide roughness profile analysis by adoption of various number of sampling lengths within the frames of evaluation length. Further on, results of the research of effect of evaluation length change on recurrence of gained values of roughness parameters at constant sampling length are presented.

2. MEASUREMENT EQUIPMENT AND MEASUREMENT CONDITIONS

The research of surface topography determination process was performed in the Laboratory for metrology of geometrical characteristics and quality research at the Faculty of Mechanical engineering in Skopje by use of a computerized stylus profilometer Surtronic 3+ connected to professional software Talyprofile. Profilometer is calibrated with a standard (etalon) type C with $Ra=6 \mu\text{m}$ [2,6].

It is characterized by vertical resolution of 10 nm and horizontal resolution of $0.5 \mu\text{m}$, when evaluation length is smaller or equal to 8 mm. For evaluation length larger than 8 mm, horizontal resolution amounts $1.0 \mu\text{m}$.

Profilometer provides selection of various sampling length of 0,25; 0.5 and 2.5 mm and selection of various evaluation length of 0.25; 0.8; 1.25; 2.5; 4; 8; 12.5; 16 and 25 mm, for correspondent

software filters 2CR (ISO) and Gaussian (phase-corrected).

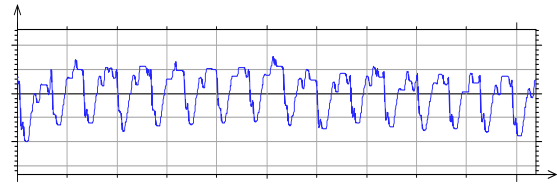


Figure.2. Deterministic profile, standard representative for turning process.

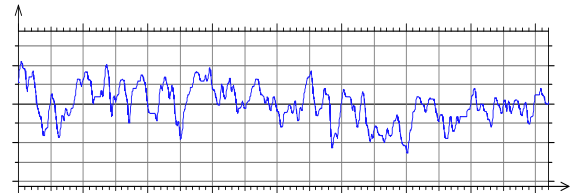


Figure.3. Stochastic profile, standard representative for grinding process

Tracing length against measurement surface on used profilometer Surtronic 3+ is sum of evaluation length and $1/4$ of sampling length (length pre-travel and post-travel). Used instrument for measurement is pick-up type TYPE 112-2672 (DCN 001) with stylus tip radius of $2 \mu\text{m}$ and spherical skid with radius of 8.7 mm. Pick-up motion speed against measurement surface is 1 mm/s. Adopted sampling length value is 0.8 mm and evaluation length values of 8; 4 and 2, 5 mm.

Profiles of deterministic and stochastic standard surfaces are analyzed. For deterministic profile, a standard (etalon) is adopted that is representative of the turning surface with $Ra=0.8 \text{ mm}$, Figure 2., while as for stochastic profile, a standard (etalon) is adopted that is representative of grinded surface with $Ra=0.4 \text{ mm}$, Figure 3.

Recurrence is evaluated through value change of standard deviation of five measurements for gained values of amplitude (peak end valley) R_p , R_v , R_z , R_t and amplitude average R_a and R_q roughness parameters.

Calculation of values of amplitude (peak end valley) and average roughness parameters for various evaluation length is made by assistance of software TalyProfile. TalyProfile software provides recording of measured profiles in 2D and 3D domain, their preparation including levelling, cutting-off profile parts, software filtration, inverse profile creation and their processing by parameter and functional calculation. It provides graphic interpretation of part of roughness parameters.

3. ANALYSIS OF RESULTS OF ANALYTICAL - EMPIRICAL RESEARCHES

Researches are realized with the purpose of determining the effect of evaluation length value change at adopted constant sampling length value onto the recurrence of gained values of roughness parameters. Repeatability is evaluated through value change of calculated standard deviation of performed five measurements on deterministic and stochastic roughness profiles.

Roughness amplitude parameters (peak end valley) R_p , R_v , R_z , R_t and average parameters R_a and R_q are analyzed.

At roughness profile measurement process recorded are coordinates of the representative spot of the topography of standard (etalon) surfaces at evaluation length of 0,8 mm, consisting of ten sampling lengths of 0,8 mm.

Etalon (standard) – turning process						
Evaluation length 2,5 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.796	0.939	2.350	1.500	3.850	4.04
II	0.816	0.962	2.930	1.460	4.390	4.58
III	0.792	0.927	2.210	1.500	3.710	3.92
IV	0.809	0.951	2.310	1.490	3.790	3.98
V	0.801	0.934	2.320	1.280	3.600	3.63
\bar{X}	0.803	0.943	2.424	1.446	3.868	4.030
X_{\min}	0.792	0.927	2.210	1.280	3.600	3.630
X_{\max}	0.816	0.962	2.930	1.500	4.390	4.580
s	0.0097	0.0139	0.2877	0.0942	0.3065	0.3454
Evaluation length 4 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.785	0.924	2.350	1.440	3.790	4.040
II	0.803	0.945	2.680	1.440	4.120	4.590
III	0.795	0.931	2.170	1.520	3.690	4.200
IV	0.806	0.946	2.280	1.440	3.730	3.990
V	0.802	0.934	2.360	1.310	3.670	3.890
\bar{X}	0.798	0.936	2.368	1.430	3.800	4.142
X_{\min}	0.785	0.924	2.170	1.310	3.670	3.890
X_{\max}	0.806	0.946	2.680	1.520	4.120	4.590
s	0.0084	0.0094	0.1902	0.0755	0.1847	0.2744
Evaluation length 8 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.795	0.927	2.240	1.410	3.650	4.090
II	0.801	0.940	2.460	1.460	3.920	4.830
III	0.786	0.930	2.50	1.460	3.950	4.680
IV	0.788	0.921	2.410	1.430	3.840	4.520
V	0.784	0.920	2.410	1.360	3.770	4.450
\bar{X}	0.791	0.928	2.404	1.424	3.826	4.514
X_{\min}	0.784	0.920	2.240	1.360	3.650	4.090
X_{\max}	0.801	0.940	2.500	1.460	3.950	4.830
s	0.0070	0.0081	0.0991	0.0416	0.1210	0.2790

Table 1. Calculated, average, minimum and maximum values of Ra, Rq, Rp, Rv, Rz and Rt parameters with their standard deviations for various evaluation lengths for etalon representative for cutting process.

Evaluation length value change is realized by means of software using the option "zoom" of software TalyProfile. Recorded profile represents basis for realization of the simulation process of evaluation length value change. Evaluation length value is defined by cutting-off of majority of points of recorded initial signal when it is always initiated at the beginning of the recorded profile. Against analytical mode two signals are created from source signal with length of 8 mm, where 10 sampling lengths participate. One signal has evaluation length of 2,5 mm and three sampling lengths and second signal has evaluation length of 4 mm and five sampling lengths.

Software change of evaluation length value eliminates the effect of result dispersion upon values of reviewed parameters for various evaluation length values, which would occur at recurrent measurement.

Prescribed evaluation length value for performing experimental measurements is 4 mm, which consists of five sampling lengths of 0,8 mm, against ISO 4288.

Gaussian (λc) profile-filter with filter size 0,8 mm is used for calculation of analyzed roughness parameters at various evaluation lengths. Measurement results are presented in Table 2 and 3. Minimum and maximum values of performed measurements are determined.

Etalon (standard) – grinding process						
Evaluation length 2,5 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.437	0.535	1.500	1.730	3.210	3.710
II	0.366	0.472	1.150	2.130	3.430	4.640
III	0.429	0.54	1.360	1.750	3.110	3.370
IV	0.369	0.458	1.190	1.380	2.570	3.010
V	0.424	0.531	1.260	1.750	3.000	3.120
\bar{X}	0.405	0.507	1.292	1.748	3.064	3.570
X_{\min}	0.366	0.458	1.150	1.380	2.570	3.010
X_{\max}	0.437	0.540	1.500	2.130	3.430	4.640
s	0.0346	0.0390	0.1410	0.2654	0.3184	0.6559
Evaluation length 4 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.411	0.503	1.300	1.580	2.880	3.700
II	0.388	0.501	1.240	1.390	3.030	4.900
III	0.416	0.526	1.240	1.240	2.920	3.370
IV	0.36	0.452	1.220	1.220	2.630	3.080
V	0.410	0.515	1.270	1.650	2.920	3.780
\bar{X}	0.397	0.499	1.254	1.416	2.876	3.766
X_{\min}	0.360	0.452	1.220	1.220	2.630	3.080
X_{\max}	0.416	0.526	1.300	1.650	3.030	4.900
s	0.0233	0.0283	0.0313	0.1948	0.1484	0.6924
Evaluation length 8 mm						
	Parameters of five measurements (μm)					
	Ra	Rq	Rp	Rv	Rz	Rt
I	0.409	0.505	1.210	1.530	2.740	3.980
II	0.384	0.484	1.250	1.870	2.920	5.190
III	0.394	0.493	1.180	1.470	2.650	3.380
IV	0.375	0.479	1.180	1.740	2.920	3.920
V	0.404	0.518	1.180	1.770	2.940	3.770
\bar{X}	0.393	0.496	1.200	1.676	2.834	4.048
X_{\min}	0.375	0.479	1.180	1.470	2.650	3.380
X_{\max}	0.409	0.518	1.250	1.870	2.940	5.190
s	0.0140	0.0159	0.0308	0.1691	0.1311	0.6798

Table 2. Calculated, average, minimum and maximum values of Ra, Rq, Rp, Rv, Rz and Rt parameters with their standard deviations for various evaluation lengths for etalon representative for grinding process.

Average values of performed five measurements are calculated, as well. Also, given are values of calculated standard deviations for analyzed roughness parameters as a dispersion indicator of roughness parameter values in terms of their average values. Simultaneously, change of value of standard deviations on certain parameters speaks of the degree (high or low) of gained results repeatability.

Calculated standard deviations have higher values at stochastic profiles analysis, while as deterministic profiles are not that much sensitive on the effect caused by increasing recurrence number of experiments or by increasing number of coordinates that participate in roughness profile analysis, expressed through evaluation length increase.

Gained results of standard deviations provide conclusion that they have higher values at smaller evaluation length. By increasing evaluation length value for standard deviations, roughness parameters Ra, Rq, Rp, Rv and Rz (ISO) are reduced. This shows that by increasing evaluation length statistical stability of results is reached. Standard deviation of parameter Rt has unpredictable trend change since that roughness parameter is directly measurable and refers to the evaluation length. Incidental peak or valley points on measured surface can significantly affect measured values for Rt.

4. CONCLUSION

Based on analyzed literature and performed experimental researches, the following can be concluded:

- when analyzing stochastic and deterministic profiles by evaluation length increase the difference between smallest and largest value of gained results for roughness parameters reduces,
- evaluation length increase reduces deviation of gained values for reviewed roughness parameters of correspondent average values,
- when analyzing stochastic surfaces special attention has to be paid onto the selection of evaluation and sampling length,
- prescriptions provided in ISO 4288 for selection of evaluation length value, at selected sampling length, have to be additionally defined dependent on surface type and desired uncertainty of measurements results,
- further researches are required in terms of additional defining of prescriptions for selection of sampling length and evaluation length values, sampling spacing and stylus tip radius in the function of participation rate of deterministic and stochastic effect in the analyzed profile.

5. REFERENCES

- [1] Whitehouse D. J.: *Handbook of Surface Metrology. Inst. of Physics*, Bristol, 1994.
- [2] EAL-G20. *Calibration of Surface Instruments for Measuring Surface Roughness*, 1996.
- [3] ISO 3274:1996: Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Nominal characteristics of contact stylus instruments.
- [4] ISO 4288:1996: Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture.
- [5] ISO 4287:1997: Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters.
- [6] ISO 12179: 2000: Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Calibration of contact (stylus) instruments.
- [7] Stout K. J.: *Three-Dimensional Surface Topography: Measurements, Interpretation and Applications*. Center for Metrology the University of Birmingham, 1994.
- [8] Stout K. J., Blunt L.: *Three-Dimensional Surface Topography. Second edition*, School of Engineering. University of Huddersfield, Penton Press, London, 1994.
- [9] KLA-Tencor: *Roughness Measurements with a stylus profiler*. Application Note 5/98 M-DS-AN4, Metrology Division.
- [10] Kuzinovski M., Tomov M., Cichosz P., Neven T.: Study on possibilities and accuracy of surface layer geometrical structure determination by using contact profilometers. Scientific-research project, finance by Ministry of Education and Science on Republic of Macedonia. Number: 13-977/3-05, 1.7.2006- 30.6.2009.
- [11] Pawlus P.: *TOPOGRAFIA POWIERZCHNI*. Pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszow, 2005
- [12] Protocol of the discussion hold on the 8th June 1999 by the round table during the *International Symposium "Surface Engineering in Machining"*. Wrocław – Szklarska Poreba, Poland, 7-9.06.1999.

Authors: Ass. Tomov Mite, MSc, Prof. Kuzinovski Mikolaj, PhD, University "Ss. Cyril and Methodius", Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, , Karposh II bb, P. Fax 464, 1000 Skopje R.Macedonia., Prof. Cichosz Piotr, DSc, Institute of Production Engineering and Automation of the Wrocław University of Technology, str. Lukasiewicza 3/5, 50-371 Wrocław, Polska
E-mail:

mitetomov@yahoo.com

mikolaj@mf.edu.mk

piotrc@itma.pwr.wroc.pl

Vukas, S., Grozdanić, B.

PRIMENA TQM PRISTUPA U ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIM ISPITIVANJIMA MENJAČKIH PRENOSNIKA TRAKTORA

Rezime: Danas kada se svi procesi odvijaju vrlo brzo, i kada vrlo brzo treba dati odgovor na sve promene, funkcija Razvoja predstavlja faktor koji odgovor na promene može znatno usporiti. Zbog toga istraživanje funkcije Razvoja i mogućnost primene TQM koncepta u funkciji Razvoja može biti izuzetno važno. U aktivnostima koje se odvijaju u okviru funkcije Razvoj značajnu ulogu imaju istraživačko-razvojna ispitivanja.

Cilj ovog rada je da istraži mogućnost primene TQM pristupa na aktivnosti vezana za Istraživačko-razvojna ispitivanja, koja su deo funkcije Razvoja. Ako Istraživačko-razvojna ispitivanja posmatramo kao poseban proces možemo primenjujući principe reinženjeringa izvršiti reorganizaciju i unaprediti sprovođenje istraživačko razvojnih ispitivanja. Na taj način može se povećati nivo kvaliteta razvojnih ispitivanja, a samim tim i efikasnost i efektivnost funkcije Razvoja. Primena ovakvog pristupa u ovom radu biće prikazana na primeru ispitivanja menjačkog prenosnika traktora, koje se sprovodi u okviru istraživačko-razvojnih ispitivanja kada se projektuje novi proizvod ili se vrše drastične promene na postojećim proizvodima.

Glavne reči: TQM pristup, reinženjering procesa ispitivanja, istraživačko razvojna ispitivanja

APPLICATION OF TQM APPROACH IN RESEARCH-DEVELOPMENT TESTING OF TRACTOR GEARBOX TRANSMISSION

Abstract: Today when all process is happening very quickly, it is necessary to have all solutions to track changes, function of sector of development is representing crucial factor to ever existing answers on fast changes that must be kept to be slower. Because of that, research process in developing of product in development organization unit gives opportunity of application TQM concept on activity in process of R&D that could be very important. Significant role in process of innovation and development had group of activities in R&D testing.

Goal of this paperwork is to explore possibility of application of TQM approach in activity of research-development testing. If we examine research-development, activities as individual process we could apply principles reengineering by reorganizing and improving conducting of research- development testing. On this way, we could increase level of quality development testing, and with that efficiency and selectivity of development function. Application of this kind of approach in this paperwork will be examine on example of testing mechanical gearbox transmission, which is conducting in research and in designing new product or by introducing drastically new changes on existing products.

Key words: TQM approach, reengineering of process of measuring, research - development testing

1. UVOD

Obzirom na kapacitet i resurse koje je imao Sektor razvoj u složenoj radnoj organizaciji koju smo posmatrali kao i zbog specifične delatnosti koju je obavljao kao posledica promena u okruženju i tranzicionih promena unutar organizacije došlo je do:

- Smanjenja obima proizvodnje
- Smanjenja asortimana proizvoda
- Nedovoljne iskorišćenosti visokokvalifikovanog ljudskog resursa koji poseduje multidisciplinarna znanja
- Nedovoljne iskorišćenost specifične opreme za istraživačko razvojna ispitivanja

Da bi se sačuvali i efikasnije iskoristili postojeći resursi promenjen je pristup upravljanju. Analizom postojećeg sistema upravljanja u složenoj organizaciji, koji je zasnovan na modelu prema standardu ISO 9001:2001, došlo se do zaključka da kreiranjem nezavisnog modela upravljanja za Sektor razvoj koji se zasniva na principima TQM u značajnoj meri mogu da se sačuvaju i efikasnije iskoriste postojeći resursi.

Cilj ovog rada je da prikaže način definisanja problema koji su se nametnuli u okviru rešavanja postavljenog zadatka, način rešavanja problema i rezultate dobijene rešavanjem problema na jednom od (pod) procesa.

2. DEFINISANJE PROBLEMA

Za definisanje problema bilo je potrebno izvršiti analizu postojećeg stanja u organizaciji odnosno evidentirati postojeće procese i aktivnosti u okviru svakog sektora i njihove međusobne veze na nivou makroorganizacione šeme. Ovo je bilo neophodno da bi se definisala pozicija Sektora Razvoj u okviru složene organizacije. Analiza je pokazala da se uspostavljanjem internog sistema upravljanja kvalitetom u Sektoru razvoj otvara mogućnost kreiranja sopstvenog sistema upravljanja, koji bi omogućio daleko veće iskorišćenje svih resursa sa punim kapacitetom. To stvara osnovu da se deo nedovoljno iskorišćenih kapaciteta u Sektoru razvoj iskoristi za poslove za eksterne korisnike. Na taj je problem definisan kroz pitanje: "Kako stvoriti mogućnost za transformaciju Sektora razvoj u profitabilni centar", odnosno kako formirati organizaciju sa ograničenom odgovornošću koristeći priručnik koji podrazumevaju najnoviji sistema upravljanja kvalitetom kao što je TQM.

3. ZADACI KOJE JE TREBALO REŠITI

Sektor razvoj kao profitabilni centar treba da ima efikasan i efektivan sistem upravljanja. To znači da pored unutrašnjeg redefinisavanja sistema treba da ispuni i sledeće minimalne uslove:

- Da bude kompatibilan sa sistemom upravljanja složene organizacije, kako bi i dalje mogao da se obavlja deo

aktivnosti razvoja složene organizacije

- Da bude zasnovan na principima TQM, jer će na taj način povećati efikasnost i efektivnost uz obezbeđenje kompatibilnosti sa složenom organizacijom
- Da definiše strategiju i ciljeve koji će obezbediti kontinualan razvoj i unapredjenje čime bi se omogućilo pružanje usluga razvojnih ispitivanja, verifikacije i homologacije za eksterne korisnike.

Obzirom na specifičnosti ovako definisane organizacije čija je osnovna delatnost istraživanje i razvoj u oblasti za koju je kompetentna i da su njeni proizvodi/usluge: istraživačko razvojne studije, izveštaji o kvalitetu, sertifikati, tehničko tehnološka dokumentacija, prototipovi, uređaji za različita ispitivanja, istraživačko razvojna ispitivanja i dr., bilo je potrebno te specifičnosti ugraditi u sistem upravljanja kvalitetom.

Efektivan i efikasan sistem kvaliteta mora da zadovolji pre svega zahteve i očekivanja eksternih (naručioci) i internih (zaposleni) korisnika, a zatim i da obezbedi uslove za stvaranje fleksibilnog i kontrolisanog sistema poslovanja. To znači da projektovani sistem kvaliteta mora da zadovolji različite potrebe eksternih korisnika, složene organizacije i svoje posebne ciljeve koji proizilaze iz specifičnosti vezanih za delatnost istraživanja i razvoja. Krajnji cilj istraživačko-razvojne organizacije mora biti dostizanje projektovanog kvaliteta pomoću projektovanja u svim definisanim procesima (podprocesima) procesa Istraživanje i razvoj i kontinualno unapredjenje sistema upravljanja organizacijom kroz kontinualni razvoj sistema upravljanja kvalitetom.

Ovakav pristup zahteva definisanje proizvoda u ovakvoj organizaciji i definisanje kvaliteta. Usvojeno je da proizvod istraživačko razvojne organizacije bude "Projekat" čiji su rezultat inovativna i optimalna rešenja, pri čemu moraju biti ispoštovani dogovoreni rokovi bez prekoračenja planiranih troškova. Na osnovu toga pod kvalitetom možemo podrazumevati: "sposobnost organizacije da realizuje projekat u predviđenom roku bez prekoračenja troškova, pri čemu moraju biti ispunjeni zahtevi i očekivanja svih korisnika".

Usvajajući ove definicije sistem kvaliteta je tako postavljen da može da obezbedi merljivost poslovnih performansi organizacije i to:

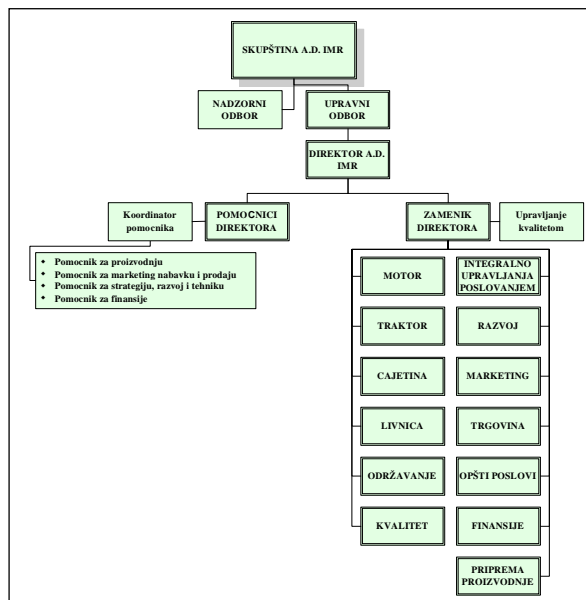
- Merenjem Potencijala organizacije preko merenja kvaliteta preispitivanjem: sistema upravljanja, raspoložive opreme, znanja izraženog kvalifikacijom, stečenim znanjima i referencama zaposlenih.
- Merenjem Procesu organizacije kontrolisanjem procesa
- Merenjem Rezultata organizacije procenom pogodnosti ostvarenog rešenja (usluge) u okviru projekata i njegove stvarne koristi za korisnika.

4. NAČIN REŠAVANJA PROBLEMA

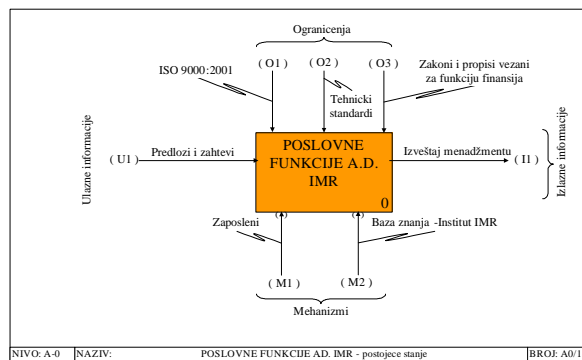
Usvajajući jedinstven pristup da proizvod bude Projekat i odnos sa svim korisnicima kako eksternim tako i složene organizacije bude korisnik-preizvodjač usluge, definisan je jedinstven način obavljanja usluge. To je bilo neophodno da bi se stvorio preduslov za kreiranje sopstvenog modela upravljanja. Sledeći korak bio je reinženjering svih procesa u složenoj organizaciji kako bi se definisali procesi i aktivnosti Sektora razvoj. Reinženjering je urađen metodom IDF0. Urađena je dekompozicija svih procesa u organizaciji do nivoa aktivnosti i izdvojene su aktivnosti koje se odnose na istraživanje i razvoj. Rezultat je redizajn organizacije. Prvobitna organizaciona šema data je na slici br. 1.

Iz ovakve organozacione šeme dijagram konteksta prokazan je na slici br.2.

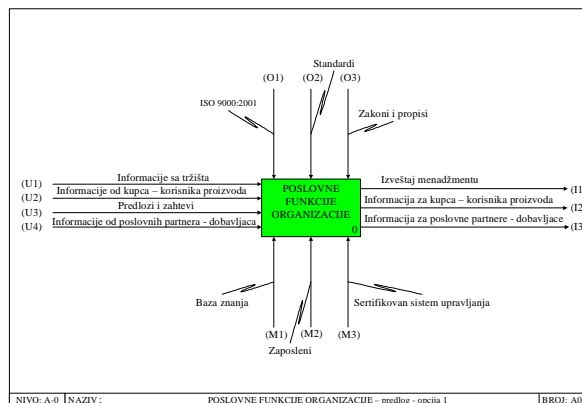
Dijagram konteksta posle dekompozicije postojećih procesa prikazan je na slici br.3



Slika 1. Predhodno stanje



Slika 2. Dijagram konteksta predhodnog stanja

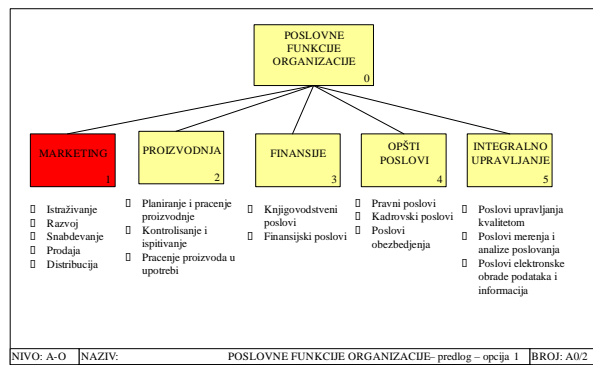


Slika3. Dijagram konteksta složene organozacoje posle dekompozicije

Glavni procesi na osnovu dijagrama konteksta prikazani su na slici br.4.

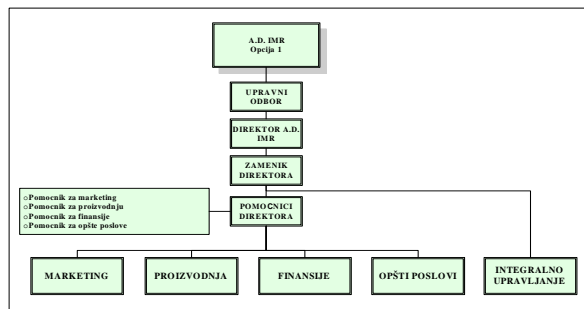
Na ovaj način stvorena je osnova za redizajniranje organizacione šeme složene organizacije. Reinženjeringom su izostavljene aktivnosti koje su opterećivale procese i uspostavljene su efikasnije horizontalne i vertikalne veze između procesa, što obezbeđuje efikasnije praćenje i kontrolisanje procesa.

Posebno je bilo značajno izdvojiti sve podprocese vezane za istraživanje i razvoj i kreiranje novih proizvoda, kako bi se sačuvali i efikasnije iskoristili značajan visokokvalifikovan ljudski resurs i specifična oprema za istraživačko razvojna ispitivanja.



Slika 4. Glavni procesi složene organizacije

Nova organizaciona šema pre izdvajanja istraživačko razvojnih aktivnosti prikazana je na sici br. 5.



Slika 5. Organizaciona šema složene organizacije posle reinženjeringa

Analizom stanja dobijenog posle reinženjeringa i redizajniranja utvrđeno je da se najveći deo aktivnosti odvija u glavnom procesu marketing i one se mogu svrstati u dve grupe:

- Aktivnosti koje se rade za potrebe složene organizacije u koje spadaju:
 - Aktivnosti koje se odnose na razvoj novih i inoviranje postojećih proizvoda
 - Aktivnosti koje se odnose na ispitivanje novih i inoviranih proizvoda
 - Aktivnosti koje se odnose na kolnsaltig pri izradi prototipa i nulte serije novih i inoviranih proizvoda do nivoa serijske proizvodnje
- Aktivnosti koje nisu isključivo vezane za proizvodni program složene organizacije u koje spadaju:
 - Homologacija dizel motora srednjih snaga, traktora i vozila i njihovih delova.
 - Provera kvaliteta i funkcionalnosti traktora i dizel motora srednjih snaga.
 - Ispitivanja pouzdanosti određenih tipova traktora i dizel motora srednjih snaga.
 - Provera kvaliteta goriva i maziva za traktore i dizel motore.
 - Ispitivanje emisije izduvnih gasova i dr.

Pored ovoga analizom stanja utvrđeno je da se uz određena ulaganja mogu obavljati i sledeće aktivnosti:

- Remontovanje dizel motora.
- Servisiranje dizel motora, traktora i motornih vozila.
- Tehnički pregled.
- Konsalting vezan za uvođenje i implementiranje sistema upravljanja kvalitetom.
- Provera kvaliteta određenih proizvoda-sertifikacija proizvoda idr.
- Istraživanje procese sagorevanja,

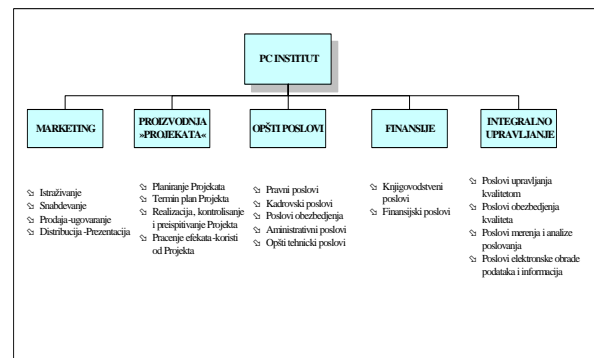
- Istraživanja i ispitivanja u oblasti buke i vibracija
- Istraživanja i ispitivanja goriva i maziva za dizel motore
- Istraživanja i ispitivanja iz oblasti tribologije
- Istraživanja u oblasti emisije izduvnih gasova

Ove aktivnosti bi u značajnoj meri doprinele efikasnosti i efektivnosti organizacije jer neke od ovih aktivnosti spadaju u aktivnosti koje su vezane za usluge/proizvode koje sa malim ulaganjima donose veliku dobit, veću nego što su potrebe za njihovu realizaciju. To su pre svega:

- Remontovanje dizel motora.
- Servisiranje dizel motora, traktora i motornih vozila.
- Tehnički pregled i sl.

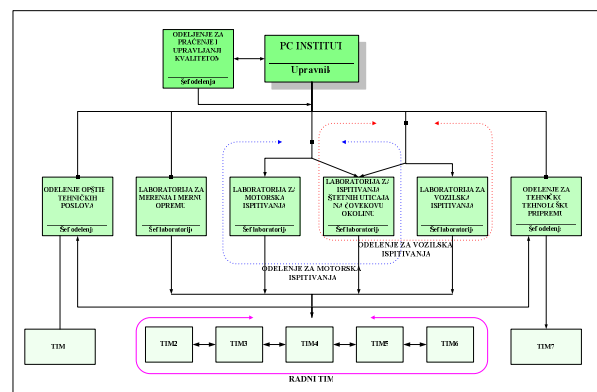
Uvođenje ovih aktivnosti, odnosno proizvod/usluga koje su njihov rezultat, zahtevaju relativno malo vreme reprodukcije i brzu realizaciju dobiti.

Na slici br. 6 prikazani su glavni procesi u organizaciji koja može da se formira posle reinženjeringa i redizajniranja složene organizacije a čija je osnovna delatnost istraživanje i razvoj.



Slika 6 Organizaciona šema istraživačko-razvojne organizacije posle reinženjeringa

Na slici br. 7 prkazna je funkcionalna šema istraživačko-razvojne organizacije modelirane prema principima TQM.



Slika 7. Funkcionalna šema istraživačko-razvojne organizacije

Usvajajući rezultate analize i preispitivanjem mogućnost primene ovakvog pristupa došlo se do zaključka da je potrebno promeniti i pristup kod realizacije samog proizvoda/usluge.

5. NOVI PRISTUP REALIZACIJI PROIZVODA

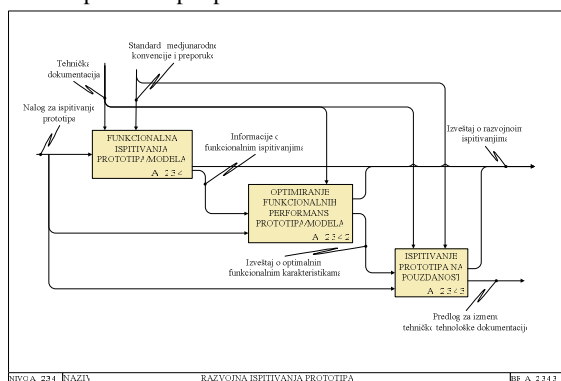
Pošto je jedna od aktivnosti organozacije razvoj novih i inoviranje postojećih proizvoda usvojeno da se ova aktivnost posmatra kao proces čiji bi podproces bili:

- Projektovanje i konstrukcija novog proizvoda

- Izrada tehnološkog postupka
- Izrada prototipa
- Razvojna ispitivanja
- Korekcija konstruktivne i tehnološke dokumentacije

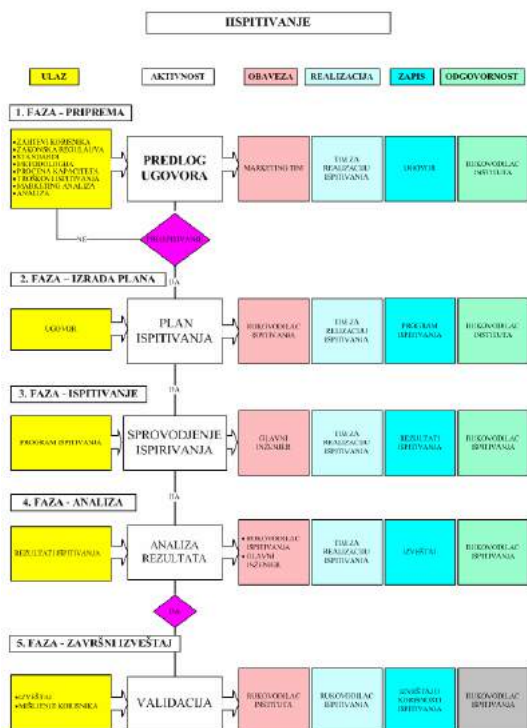
Za svaki od ovih podprocesa uradjena je dekompozicija na podprocese do nivoa proste aktivnosti.

Na slici br.8 kao primer prikazan je dekompozicioni dijagram podprocesa Razvojna ispitivanja prototipa sa horizontalnim i vertikalnim vezama sa predhodnim i narednim procesima/podprocesima.



Slika 8. Dekompozicioni dijagram podprocesa razvojna ispitivanja prototipa.

Rezultat dekompozicije procesa/podprocesa Razvoj proizvoda koji je spada u grupu aktivnosti vezane za složenu organizaciju je Algoritam aktivnosti. Kao primer na slici br. 9 prikazan je Algoritam za proces Ispitivanje koji je univerzalan i može se primeniti i na razvojna ispitivanja za složenu organizaciju i za razvojna ispitivanja za druge korisnike.



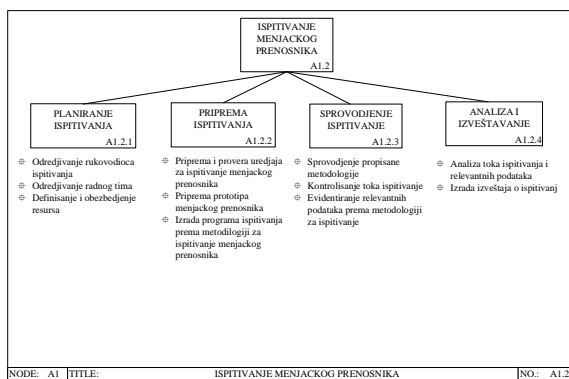
Slika 9. Algoritam procesa ispitivanja

6. ISPITIVANJE MENJAČKOG PRENOSNIKA TRAKTORA NA POUZDANOST

Kao primer izvodljivosti primene TQM pristupa u realizaciji aktivnosti Razvojna ispitivanja prikazano je

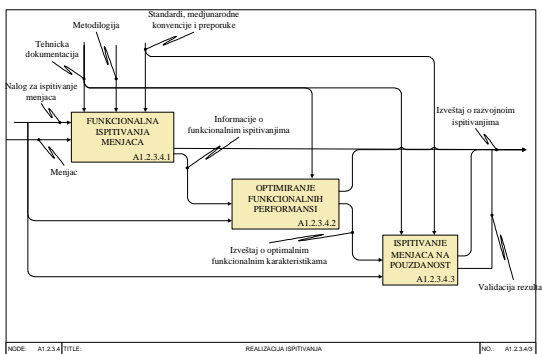
ispitivanje prototipa menjačkog prenosnika traktora na pouzdanost.

Stablo aktivnosti za ispitivanje menjačkog prenosnika traktora na pouzdanost uradjeno je na osnovu algoritma ispitivanje i prikazano je na slici br. 10.



Slika 10. Stablo aktivnosti podprocesa ispitivanje menjačkog prenosnika traktora

Dekompozicioni dijagram za aktivnost sprovođenje ispitivanja dat na slici br. 11.



Slika 11. Dekompozicioni dijagram za aktivnost realizacija ispitivanja

7. UMETSTO ZAKLJUČKA

Primenom principa i pristupa TQM ne samo na organizacione procese već i na sve aktivnosti koje se mogu definisati kao proces i analizirajući dobijene rezultate došlo se do saznanja da je moguće primeniti TQM pristup na sve aktivnosti koje se mogu definisati kao proces. Primenom ovakvog pristupa samo na primeru procesa Ispitivanje prototipa menjačkog prenosnika povećana je efikasnost i efektivnost u delu koji se odnosi na pripremu ispitivanja, analizu rezultata i izradu izveštaja.

8. LITERATURA

- [1] Mr. Vukas Svetlana, dipl. maš. ing.-"Koncept TQM i mogućnost njegove primene u razvojnoj funkciji proizvođača motora u Jugoslaviji"-Magistarski rad, Fakultet za menadžment BK univerziteta, Beograd, 2006.
- [2] Mr. Grozdanić Branka, dipl. maš. ing.- "Laboratorijsko istraživanje pouzdanosti menjačkog prenosnika traktora"-Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beogradu, 2005

Autori: Mr. Svetlana Vukas, dipl ing maš, Mr. Branka Grozdanić, dipl ing maš, Institut IMR, Patrijarha Dimitrija 7-13, 11090 Beograd, tel/fax 3564 031.
E-mail: office@imr-institute.co.yu

METHOD AND CASE STUDY ON COMPUTER AIDED DESIGN OF GROUPS OF PIECES

Abstract: In order to get a generalised description of the constructive characteristics of the given pieces group, it is necessarily to define certain representative pieces. In conditions of CAD activities, it could be generated certain representative parts, which through adequate couplings give an assembly of representative pieces. The design of the representative pieces, on the ground of the representative parts, is achieved by a complex activity consisting of an analysis of the initial parts group, by the establishment of the materials list and of the representative zones, by the designing and coupling of the representative parts. This paper presents a case study of the above-mentioned methodology, using some original software routines, programmed in AutoLISP, which are running under AutoCAD.

Key words: distinctive feature, representative piece, representative zones, pieces group, coupling.

1. INTRODUCTION

Overview. In order to get a generalised description of the constructive characteristics for a given pieces group, it is necessary to define certain representative pieces [Ciocardia et al., 1983; Draghici, 1984; Vlase, 1996].

The representative pieces could be conceived as monoblock objects from which, by proper particularisation of shape, dimensions and material, the effective pieces are resulting. In conditions of computer aided design, it could be generate certain representative parts made from one or more distinctive features (DF) [Doicin & Gheorghe, 1999] By coupling the representative parts could be obtained an assembly of representative pieces from which, by proper particularisation of the dimensions and the material, the effective pieces result [Doicin & Gheorghe, 1999; Fabian et al., 2007].

Representative piece. The tasks involved by the defining of the representative pieces based on the representative parts and, consequently, on the DF are accomplish through a complex activity of:

- Analysing the initial pieces group;
- Adopting any feasible constructive changes and, consequently, defining the adopted pieces group;
- Establishing the list of materials and the representative geometric zones of the analysed pieces group;
- Designing the representative parts;
- Coupling the representative parts;
- Identifying the DF which unambiguously define the representative piece;
- Assigning values to the representative piece characteristics in order to define the final pieces group.

Taking into consideration the need of increasing the efficiency of designing and manufacturing activities, a pieces group is defined, a reunion of two or more pieces having geometric and material characteristic between certain values. For any pieces group a representative piece can be generated, a piece from which, all the group members result, by particularisation [Ciocardia et al., 1983; Draghici, 1984; Vlase, 1996].

Work stages. There are two work stages for creating the pieces groups: *pieces classification* and *creating the groups of pieces* [Draghici, 1984].

The systems of pieces classification are based on the same main rule: assigning a code for each piece and

identifying – on the basis of the code – the pieces with geometric shapes and dimensions which could be obtained using the same sequence of machining phases [Ciocardia et al., 1983; Draghici, 1984]. The groups are formed taking care that the constitutive pieces could be manufactured following the same process plan [Ciocardia et al., 1983; Draghici, 1984] or different process plans with some identical operations. The problem can be solved using the computer, in both variants [Draghici, 1984].

Case study. Some defined elements with general validity and essential aspects concerning computer aided design of representative pieces – using the representative parts – and pieces groups, taking into consideration only the constructive criteria, and referring to a real case of a group of bolts (coded, by convention, **Pz**) are presented as follows.

2. PROGRAMMES FOR COMPUTER AIDED DESIGN OF PIECES GROUPS

General Algorithm. There were developed many applications offering the tools for identifying the shape of the representative piece and drawing the pieces blueprint (printed at a printer or a printer-plotter) for a certain piece shape and dimensions. After the process of defining the dimensioned shapes according with the analysed instance of the piece is finished, variants of machining sequences conforming to the prescribed roughness for every piece's surface could be extracted (from a database).

The paper presents a general algorithm for automation of the representative piece generating (Fig. 1). The algorithm was made after the study of over 40 blueprints of bolt type pieces (**Pz**).

Programmes. In the particular case of this type of pieces, the programmes package developed, *GrPz1* is written using the AutoLISP programming language. The files used are drawing files – of type *.dwg* – and ASCII data files – of type *.dat*, *.txt*. The applications can be launched on any computer having installed the AutoCAD software.

The whole system is working interactive. The user can command the application through a dedicated interface, which allows the dialog during the running period.

Work session. The AutoLISP applications are passing through many stages, according to the general scheme of the algorithm created.

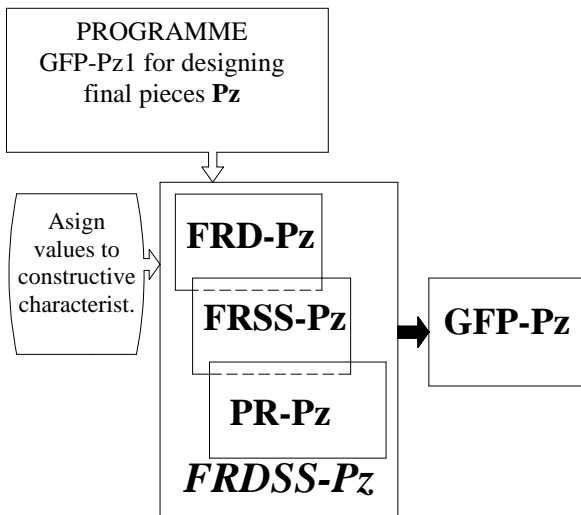


Fig. 1 The general scheme of the algorithm

1. Generation of the representative piece shape, made by a sequence of activities as follows.

a) Defining the shape of a certain piece of the group by coupling the shapes of the representative parts (zones) as they are identified on the body of the piece (left zone: 3 possible shapes – see Fig. 2, middle zone: 3 possible shapes – see Fig. 3, right zone: 4 possible shapes – see Fig. 4).

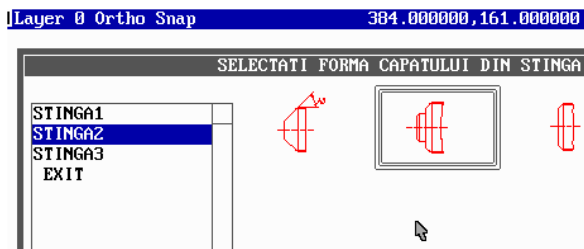


Fig. 2 Possible shapes for the left zone

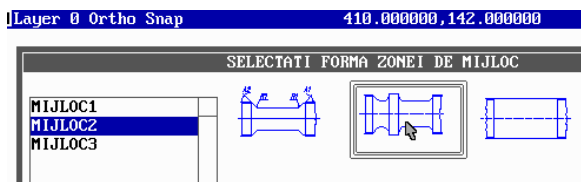


Fig. 3 Possible shapes for the middle zone

b) Defining the elements used for thread graphic representation.

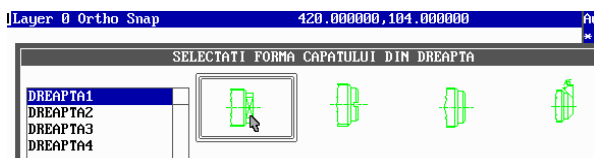


Fig. 4 Possible shapes for the right zone

2. Defining the dimensioned representative zones (*FRD-Pz*).

3. Defining the symbolised surfaces of the representative zones (*FRSS-Pz*).

4. Defining the representative piece (*PR-Pz*).

All these shape modifications are made having in the background a virtual shape model named Model Shape. The

model is composed of all representative zones defined on the pieces belonging to the initial group. During the piece shape transformation – by choosing the certain shapes for every representative zone – the Model Shape is changing. At the end, the Model Shape is transformed into a representative piece.

5. Defining the shape of the piece belonging to the final group (*GFP-Pz*).

6. Displaying the symbols defined for the representative piece surfaces. The user has to specify the general and the particular roughness, by selecting the surface codes with different roughness values and indicating the real value. According to the roughness values, for each piece's surface a few series of technical – possible phases for machining that surface are displayed. These machining sequences are extracted from a data file, created before the program launching, based on the specifications from the technical literature. The user has to select one of the proposed sequences, by indicating the surface code.

In the above situation, for a particular value of the general roughness of 12,5 µm, the application proposes maximum three variants of machining sequences for each surface from the identified zones (left surfaces - *LSx*, middle surfaces - *MSy*, right surfaces - *RSz*).

7. The last stage is the representative piece particularisation, by dimensioning. The drawing containing the dimensioned representative piece is displayed (*FRDSS-Pz*). The user completes the values of the real piece instance by selecting the dimension codes and assigning real values.

As a first step, the constructive characteristics for thread detail drawing are asked for. The user has to define the nominal dimensions and the associated dimensional tolerances are automatically generated. Then, the order of representative zones for dimension defining is: left, right, middle. This approach is imposed by the dimensioning system used for the analysed bolt type pieces. Thus, first dimension given in the drawing is the total length. The left and the right zones are positioned through a dimension having the closer planar surface as dimension base.

This is the reason why it is necessary to know the position of the planar surfaces in order to dimension the middle zone.

Results. Finally, the drawing for the particular bolt analysed is drawn (Fig. 5) and stored in a ".dwg" file. Then, the user can launch one application for designing, completely automated, the T ("pass") – see Fig. 6 – and NT ("non-pass") ring gauges used to control the metric threads of the bolt.

3. CONCLUSIONS

The paper presents a case study regarding computer-aided design of a pieces group, following some original concepts for describing the representative shapes, zones and parts.

Starting with a study of over 40 blueprints of bolt type pieces, manufactured at the Energoreparatii Company from Bucharest, a methodology for computer-aided design of rotational pieces was created.

Consequently, software applications following the developed algorithm were programmed. The AutoLISP programming language was used.

The new developed methodology is based on activity of „coupling”. Thus, representative part is obtained by coupling the DF. Then, by coupling the representative parts, a Model Shape and a representative piece are created.

The final result is the drawing for a particular piece belonging to the initial pieces group. Optional, the T and/or NT ring gauges drawings for metric thread control can be automatically obtained.

The algorithms and the software applications developed by the author were used at the Energoreparatii Company, as a first tool component of an integrated CAD/CAM system.

4. REFERENCES

- [1] Ciocârdia, C., et al. (1983), *Bazele elaborării proceselor tehnologice în construcția de mașini*, EDP, București.
- [2] Doicin C.V., Gheorghe M. (1999), A Feature-Based CAPP Methodology for Rotational Parts, *Proceedings of the International Regional DAAAM-CEEPUS Workshop on INTELLIGENT MACHINES and TECHNOLOGIES in the 21-st CENTURY*, Kalmar L. (Ed.), pp. 97 – 102, ISBN 963 661 371 0, Miskolc, May 1999, Miskolc.
- [3] Drăghici, G. (1984), *Tehnologia construcției de mașini*, București, E.D.P.
- [4] Fabian, M; Spisak, E.; Dovica, M.; Draganovská, D.; Šeminský, J. (2007). The study of the effect of pre-set CAM parameters for cutting surface quality, *Ovidius University Annual Scientific Journal: Mechanical Engineering Series*, Vol. 9, No. 1, July 2007, pp. 33-38, ISSN 1224-1776.
- [5] Vlase A. (1996), *Tehnologia construcțiilor de mașini*, E.T., ISBN 973-31-0777-8, Bucuresti.

Author: Assoc.Prof.Eng.Ec. Cristian Vasile Doicin,
Manufacturing Engineering Department, POLITEHNICA
University of Bucharest, Splaiul Independentei 313, RO-
060042, Sector 6, Bucharest, Romania, Phone:
+40214029373, Fax: +40214029975
E-mail: cristian.doicin@cont-edu.pub.ro.

Antić, R.

POBOLJŠANJE TEHNOLOGIČNOSTI MAŠINSKIH DELOVA POMOĆU FUZZY CAPP SISTEMA

Rezime: Objašnjava se određivanje tehnologičnosti delova pomoću fuzzy logike. Dati su fuzzy modeli pomoću kojih se definišu karakteristike tehnologičnosti. Određene su vrednosti tehnologičnosti.

Ključne reči: Tehnologičnost, fuzzy logika, CAPP sistem, FUZZY CAPP sistem

TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF MECHANICAL PARTS BY FUZZYCAPP SYSTEMS

Abstract: It explains technological of parts by fuzzy logic. Fuzzy models are given and they help us to define technological. Technological characteristics are determined.

Key words: Technological, fuzzy logic, CAPP system, FUZZY CAPP system.

1. UVOD

Može se reći da postoje dva osnovna cilja kod projektovanja tehnološkog procesa. Prvi je da on bude optimalan a drugi da se postigne što veća tehnologičnost dela koji se proizvodi /1, 10/. Prva aktivnost se postiže isključivo pri projektovanju tehnološkog procesa u okviru funkcije optimizacije, dok se druga osvaruje u okviru projektovanja proizvoda, ali se može poboljšati pri projektovanju tehnološkog procesa. Naime pri projektovanju tehnološkog procesa tehnolog ili program analiziraju crtež dela, u zavisnosti od načina njegove izrade, manuelna ili pomoću kompjutera. Posmatra se projektovanje tehnološkog procesa kod pojedinačne proizvodnje. Kod manuelne izrade obavezno je poboljšane tehnologičnosti dela prilikom usaglašavanja njegove tačnosti i materijala. Ovo usaglašavanje ostvaruju projektanti proizvoda i tehnologije. Kod analiziranih CAPP sistema /1, 9/ ne ostvaruje se sistematizovano poboljšanje tehnologičnosti dela. Moj cilj je bio da pomoću fuzzy logike omogućim sistematizovano rešavanje tog problema.

Elementi tehnologičnosti delova su: geometrijski oblici, dimenzije i tolerancije dimenzija, tolerancije oblika, hrapavost obrađene površine, vrsta materijala sa njegovom tvrdoćom i veličina serije. Geometrijski oblik pripada funkciji projektovanja proizvoda. Veličina serija je određena samim razmatranjem pojedinačne proizvodnje /1/.

Prvi segment dimenzije i tolerancije se posebno posmatra. Dimenzije su definisane kroz prečnik i dužinu za cilindrične delove i pomoćne otvore (otvori koji se dobijaju bušenjem). Dalje su obuhvaćene dužina, širina i visina za prizmatične i kutijaste delove. Tolerancije dimenzija, oblika i hrapavost obrađene površine su definisane jednim fuzzy modelom. Vrsta materijala sa tvrdoćom je obrađena posebnim fuzzy modelom /9/.

Fuzzy modeli dimenzija – tolerancija i vrste materijala sa tvrdoćom definišu veličine koje imaju dobre i loše tehnologičnosti. Dobre tehnologičnosti su sa stepenom pripadnosti većim od 0,5, a loše sa jednakim ili manjim od 0,5.

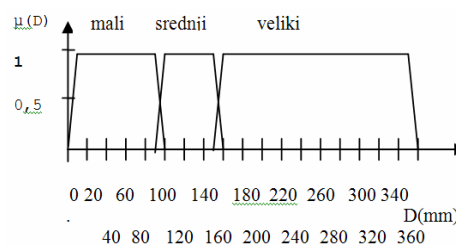
Dimenzije se definišu pomoću minimalnih i maksimalnih veličina delova koji se obrađuju. Minimalne veličine prouzrokuju maksimalne troškove izrade na mašinama, koje troše normalnu snagu za minimalni kapacitet skinute strugotine. Maksimalne veličine delova prouzrokuju

smanjenje njegove tačnosti zbog ugrožavanja krutosti mašine. Tolerancije delova su definisane pomoću cene koštanja prilikom njenog ostvarivanja za minimalne vrednosti, i ugrožavanja funkcionisanja za maksimalne vrednosti. Materijal delova je određen sa minimalnim i maksimalnim vrednostima tvrdoće. Minimalne vrednosti ugrožavaju funkcionisanje delova, dok maksimalne imaju lošu obradivost.

CAPP (Computer Aided Process Planning) predstavlja sistem za projektovanje tehnološkog procesa podržan računarom. Dok FUZZYCAPP sistem ostvaruje navedeno projektovanje korišćenjem fuzzy logike. Kod fuzzy modela tehnologičnosti se koriste fuzzy funkcije pripadnosti trougaonog i trapeznog oblika sa jednim preklapanjem. Ovaj sistem automatizovano određuje vrednosti elemenata tehnologičnosti i ispisuje njihove minimalne vrednosti kod elemenata tehnološkog procesa. Vrednosti karakteristika tehnologičnosti se nalaze kod onih elemenata tehnološkog procesa od kojih zavise pri projektovanju.

2. FUZZY MODELI ZA ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA TEHNOLOGIČNOSTI DELA

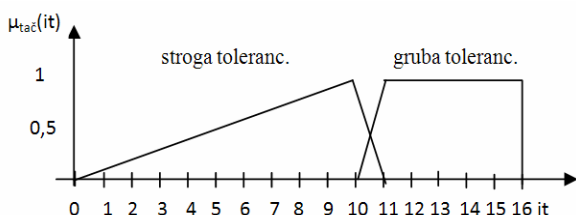
Navedene karakteristike tehnologičnosti se dobijaju pomoću sledećih fuzzy modela: dimenzija, tolerancije i materijala delova. Fuzzy model dimenzija je urađen za sve navedene vrste delova, kroz prečnik, dužinu, širinu i visinu. Kao primer se navodi fuzzy model prečnika i dužine za cilindrične delove na slici 1, /9/. Prema navedenom modelu tehnologičnost prečnika je dobra za sledeće vrednosti: 5mm do 95mm, 95mm do 155mm i 155mm do 350mm.



Slika 1. funkcija pripadnosti prečnika obrade dela /9/

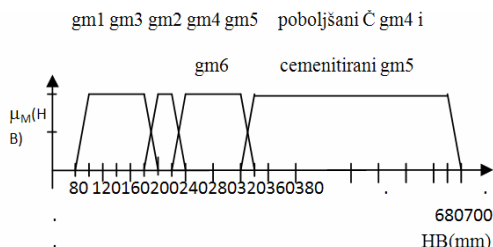
Za ostale urađene fuzzy modele /9/ dobru tehnološkičnost imaju dužine cilindričnih delova: 100mm do 300mm, 300mm do 700mm i 700mm do 3950mm. Kod prizmatičnih delova dužine imaju dobru tehnološkičnost za sledeće vrednosti: 25mm do 275mm, 275mm do 475mm i 475mm do 975mm. Za iste delove širine i visine su sa vrednostima: 25mm do 175mm, 175mm do 325 i 325mm do 375mm. Dužine kutijastih delova za: 100 mm do 500 mm, 500 mm do 900 mm i 900 mm do 1900 mm. Širine ovih delova imaju dobru tehnološkičnost za: 100 mm do 500 mm, 500 mm do 900 mm i 900 mm do 1600 mm. Na kraju modela dimenzija dužine i prečnici pomoćnih otvora imaju dobru tehnološkičnost za: 5mm do 25mm, 25mm do 65mm i 65mm do 95mm.

Sledeći model koji se analizira je tačnost, on obuhvata tolerancije, međusobni položaj dimenzija i hrapavost obrađene površine dat na slici 2, /9/.



Slika 2. Funkcija pripadnosti tačnosti u zavisnosti od it

Veza navedenih tačnosti se daje u tabeli br.1. Tolerancija dimenzija je označena sa it, tačnost međusobnog položaja sa y i hrapavost obrađene površine sa R. Dobra tehnološkičnost je za vrednosti tolerancije it6 do it16 ili odgovarajuće vrednosti drugih tačnosti. Navedene vrednosti tačnosti isključuju precizne obrade sa tolerancijom it1 do it5 kao skupe. Zadnji fuzzy model je vezan za materijal delova prema slici 3, /9/.



Slika 3. Funkcija pripadnosti fuzzy promenljive materijala dela

Prema modelu materijala delova dobre tehnološkičnosti su za sledeće tvrdoće: 90 do 190 HB (ne 190 do 200), 190 do 230HB (ne 230 do 240), 230 do 330HB (ne 330 do 340), 330 do 690HB. Navedene dobre tehnološkičnosti isključuju minimalne do 10HB i maksimalne vrednosti manje za 10HB, kao granične vrednosti, zbog ugrožavanja funkcionisanja u prvom slučaju i otežane obradivosti u drugom slučaju. Zavisnost tehnološkičnosti od dimenzija, tačnosti i materijala se može predstaviti pomoću fuzzy logike i IF – THEN pravila. Fuzzy logika se u najkraćim crtama izlaže u narednom tekstu.

Veza između IF i THEN fuzzy pravila se ostvaruje pomoću fuzzy relacije R koja je definisana sa: /2/, /6/, /9/.

$$Z = P \cdot R \quad (1)$$

- * Z - izlazna fuzzy promenljiva, zaključak,
- * P - ulazna fuzzy promenljiva, pretpostavka,
- * · - fuzzy operator.

Proizvod $P \cdot R$ se daje pomoću njihovih stepena pripadnosti za CAPP sisteme, ulazna fuzzy promenljiva se obeležava sa pr. TEHNOL (tehnološkičnost) a izlazna sa DIMENZ (dimenzije radnih predmeta). Promenljiva DIMENZ je fuzzy a TEHNOL predstavlja klasinu

promenljivu, oni su vezani relacijom:

$$\text{TEHNOL} = \text{DIMENZ} \cdot R \quad (2)$$

Pretpostavka $\text{DIMENZ} = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ je ulazni fuzzy skup.

Zaključak $\text{TEHNOL} = (o_1, o_2, \dots, o_n)$ je izlazni fuzzy skup ili klasična promenljiva u slučaju tehnološkičnosti.

Oznaka	Vrednost T y R	POC_INTER VAL_Y	KRA_INTER VAL_Y	POC_INTER VAL_R	KRA_INTER KRA_INTER
it5	5 1 1	0	0,005	0,1	0,2
it6	6 2 2	0,005	0,01	0,2	0,4
it7	9 3 3	0,01	0,03	0,4	0,8
it8	8 4 4	0,03	0,1	0,8	1,6

Tabela 1.

$f_1 = B_1, f_2 = B_2, \dots, f_n = B_n$ predstavljaju fuzzy podskupove za izlazne vrednosti sa značenjem: mala, srednja, velika vrednost (pr. na sl. 1 mali, srednji, veliki, prečnik).

Stepen pripadnosti fuzzy promenljive se označava sa μ , za pretpostavku μ_f i za zaključak μ_o . Vrednosti podskupa B_1 su v_1 .

Fuzzy promenljive se pomoću trapeznog oblika mogu predstaviti prema sl. 1,2,3.

Za rešavanje projektovanja tehnološkog procesa, koji za više pretpostavki elemenata proizvoda ima jedan zaključak, koristi se fuzzy prostor koji može biti k dimenzionalan. Fuzzy prostor može i obrnuto da se koristi, da za više izlaza imamo jedan ulaz. Opšti slučaj se prikazuje pomoću sledećih izraza:

$$F_k = \{f_1^k, f_2^k, f_3^k, \dots, f_n^k\}, \mu_f(f_i^k) \quad (3)$$

Sa datim stepenima pripadnosti.

Tačnost može da se označi sa tač a materijal sa M. Sa ovim oznakama imamo fuzzy relaciju:

$$\text{IF DIMENZ sa } \mu_{f1}, \text{ tač sa } \mu_{t2}, \text{ M sa } \mu_{t3} \\ \text{THEN TEHNOL } \min(\mu_{f1}, \mu_{t2}, \mu_{t3}) \quad (4)$$

Ovo znači da promenljiva tehnološkičnost TEHNOL nije fuzzy promenljiva ali prihvata stepen pripadnosti ulaznih fuzzy promenljivih sa njihovom minimalnom vrednošću. Ovde se koristi fuzzy t norma minimiziranje.

3. ZAKLJUČAK

U radu je obrađeno dobijanje tehnološkičnosti korišćenjem fuzzy logike kao jedne od metode veštačke inteligencije. Ovo je bitno sa ekonomskog stanovišta, jer se pored optimizacije smanjuju troškovi. To se čini kroz naglašavanje minimalnih vrednosti dimenzija za: cilindrične, prizmatične, kutijaste delove i pomoćnih otvora. Kod svih elemenata se obrađuju dužine, prečnici, visine i širine. Svuda se tehnološkičnost označava kao loša. Kod tačnosti su vrednosti tolerancije dimenzija i međusobnog položaja kao i hrapavosti obrađene površine za vrednosti it1 do it5 označene za lošu tehnološkičnost, gde su obrade jako skupe. Maksimalne vrednosti tvrdoće iziskuju korišćenje skupih materijala, pa su zbog toga takođe označene kao vrednosti sa lošom tehnološkičnost.

Sa druge strane maksimalne vrednosti navedenih vrsta mašinskih delova za prečnike, dužine, širine i visine su takođe označene kao loše jer se sa njima ugrožava stabilnost mašine na kojim se obrađuje a sa tim i tačnost mašinskog dela, što je druga važna karakteristika. Takođe minimalne vrednosti tvrdoće mašinskih delova, ugrožavaju njihovu funkciju.

Važno je reći i to da tehnološkičnost može da se definiše pomoću fuzzy logike, jer ona zavisi od fuzzy promenljivih. Sa ovom definisanošću tehnološkičnost može kvalitetnije da se izrazi. Tako da za jednu vrednost promenljive (dimenzija, tačnosti i kvaliteta materijala) u određenom domenu imamo najmanje dva rešenja za stepen pripadnosti).

4. LITERATURA

- [1] Babic B.: *Projektovanje tehnološkog procesa*, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.
- [2] Fzhang, Y., Gu., Z., Nee, A., Y., C., *Generic form feature recognition and operation selection using connectionist modelling*, Journal of Intelligent Manufacturing, 6, 263-273, 1995.
- [3] Wong, T. N., Chan, L. C. F., Lau H. C. W.: *Machining process sequencing with fuzzy expert system and genetic algorithms Engineering with Computers*, 19, 191-202, 2003.
- [4] Mitrović R., V.: *Projektovanje tehnološkog procesa*, Naučna knjiga, Beograd, 1991
- [5] Manić, M.: *Eskpertini sistem za projektovanje tehnoloških procesa pri rezanju u obradi rotacionih delova*, doktorska disertacija Mašinskog fakulteta u Nišu, 1995.
- [6] Devedžić G.: *Rešavanje problema disperzije kriterijuma i automatizovanog izbora reznih alata*, doktorska disertacija Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1998.
- [7] Todić V., Stanić J.: *Osnovi optimizacije tehnoloških procesa izrade i konstrukcije proizvoda*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
- [8] Lazić, M.: *Tehnologija obrade metala rezanjem, Izbor režima rezanja*, Mašinski fakultet, Jugoslovensko društvo za tribologiju u Kragujevcu, 2002.
- [9] Antić R.: *Model projektovanja tehnološkog procesa obrade metala rezanjem pomoću fuzzy logike*, Doktorska disertacija u rukopisu, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2008.
- [10] Chang, T., C., Wysk, R., A.: *An Intrduction to Automated Process Planning systems*, Prentice - Hall, 1985.

Autor: Mr Antić Radivoje, Visoka škola primenjenih strukovnih studija, Vranje, tel. 017/422-213.
E-mail: anticrade@gmail.com

Babić, A., Petrović, A., Ilić, N., Pršić, D.

INTEGRACIJA CAD/CAM U PROJEKTOVANJU PUTNIH GLODAČKIH GLAVA

Rezime: Integracijom CAD/CAM sistema u projektovanju glodačkih doboša omogućena je razmena podataka u cilju smanjenja vremena reagovanja na promene u zahtevima tržišta. HTML prezentacijom sklopa glodačkih doboša obezbeđen je direktan odgovor na zahteve kupaca izražene putem interneta, kako u modelu proizvoda, tako i u tehnologiji njegove izrade.

Ključne reči: CAD, CAM, HTML, integracija.

INTEGRATION OF CAD/CAM IN THE ROADHEADER DESIGN

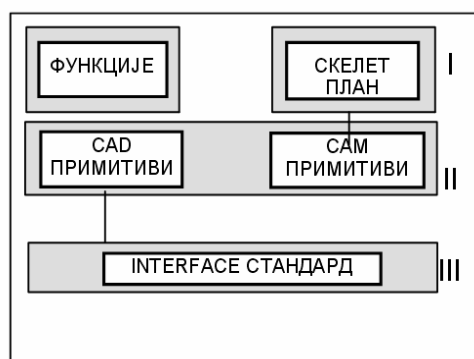
Abstract: By the integration of CAD/CAM systems in the roadheader drums design it has become possible to exchange information in order to reduce time of reacting to changes in the market demands. By the HTML presentation of the rodheader drums structure, a direct answer to the customers' demand expressed through the Internet has been provided, both in the production pattern and in the technology of its production.

Key words: CAD, CAM, HTML, integration.

1. РАЗМЕНА ИНФОРМАЦИЈА У CAD/CAM СИСТЕМУ

Повезивањем CAD/CAM система у функционалну целину повећава се ниво аутоматизованости укупног система пројектовања производа и технологије, значајно се смањује па и потпуно елиминише дуплирање поступка уношења потребних информација о производу и избегава се могућност субјективне грешке у процесима пројектовања.

Повезаност CAD/CAM система се заснива на размени података о геометријским, тополошким и технолошким карактеристикама производа који се смештају у модел производа.

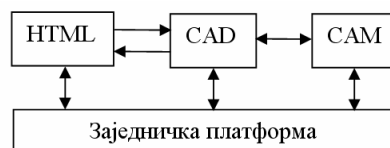


Слика 1. Интеграција СА система на квалитативном нивоу

Размена података се може реализовати интеграцијом функција (слика 1) уз уважавање чињенице да CAD примитиви имају исту структуру као CAM примитиви. Процес препознавања дефинисаних примитива заснива се на грађи структура технолошких САМ примитива. Ово подразумева да производ пројектован у неком CAD систему увек формира хијерархијску структуру. Пошто су све могуће површине производа обухваћене скупом атомик САМ примитива, функција интеграције може репродуковати било који CAD примитив у скупу САМ примитива.

Интеграција процеса пројектовања производа и технологија CAD/CAM се заснива на размени података између ова два или више компјутерских система који су засновани или на истим или различитим платформама. Да би физички реализовали производ прво треба да га пројектујемо. Пројектна информација се чува у фајловима и треба да буде доступна пројектанту технологије да би развио технолошки процес израде производа. Зато су потребни системи способни да изврше транслацију модела креираних од стране других система. Ово је у суштини проблем транслације базе података, зато што се сваки модел чува или ствара у бази података. Ова функција се постиже помоћу транслатора, а стратегија транслације може бити директна или индиректна.

При пројектовању глодачких глава у овом раду коришћени су програмски пакети Solid Edge и EdgeCAM засновани на истој платформи PARASOLID. Овако интегрисани системи, односно модел производа и процеса омогућавају и брзо реаговање на захтеве купца преко HTML приказа производа коришћењем заједничке платформе.



Слика 2. Заједничка платформа

Размена информација на релацији произвођач - корисник на нивоу XML технологије се огледа у томе што корисник једноставно може генерисати своје захтеве коришћењем интернета. Они се преко модела производа транслирају у технологију израде производа.

Parasolid представља геометријски моделер производа, језгро у коме је писан CAD/CAM/CAE програм. Моделирање у Parasolid -у представља скуп квалитетно интегрисаних инжењерских СА технологија за пројектовање производа и процеса, које омогућују да модели комплексних делова или сложених монтажних структура могу бити подржани у технолошки различитим

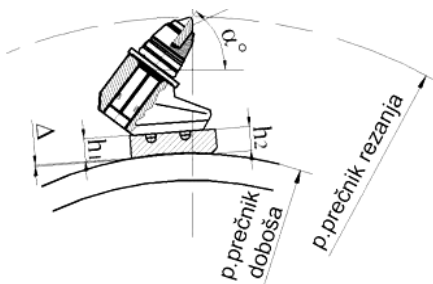
компанијама широке интеграције. Да бисмо успешно транслирали фајл формат облик представљања фајловима мора бити дефинисан или као солид (просторни) модел или као површински модел са топологијом.

Активност неопходна за реализацију размене ибформација је креирање параметарског модела производа. Улога и предност размена информација на релацији произвођач - корисник на нивоу XML технологије се огледа у томе што корисник једноставно може генерисати своје захтеве коришћењем интернета.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ГЛОДАЧКИХ ДОБОША

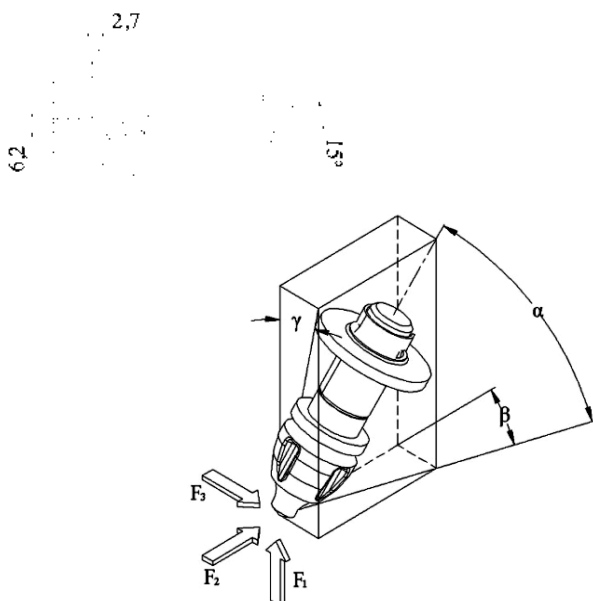
Специфичност пројектовања глодачких глава се састоји у сагледавању функционалних захтева и њиховој примени, у циљу повећања продуктивности и смањења трошкова, како производње, тако и одржавања.

Глодачке главе су пројектоване са аспекта потребне снаге и запремине скинутог материјала. Пошто геометрија алата и отпорност на хабање имају значајан утицај на трансформацију улазне енергије у количину скинутог материјала, они су коришћени као полазни елементи при пројектовању. Основни параметри резне геометрије су размак резних врхова ножа S (изводнице алата) и дубине продирања P . Њихов однос S/P , заједно са типом ножа и својствима подлоге дефинишу ефективност процеса резања, као однос уложене енергије и количине скинутог материјала.



Слика 3. Положај ножа на глодачком добошу

На слици 4 је приказан изглед ножа у захвату, где је $S=2,7$ mm, дубина резања, а $P=6,2$ mm, корак. Размак између резних врхова ножева има значајан ефекат на силе резања.



Слика 4. Положај ножа у захвату

Мали размак између ножева значи веома неефикасан процес резања и стварање прашине. Када се размак повећава, резање постаје ефикасније до извесне мере када међудејство фракција између суседних ножева престаје.

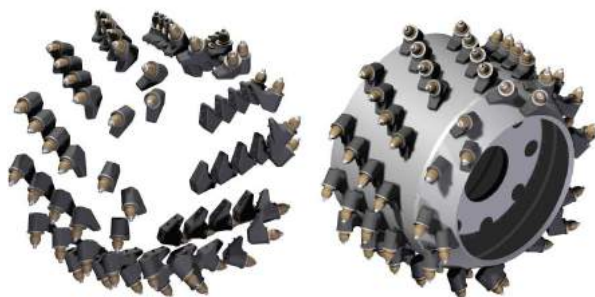
Успостављена кинематика обраде захтева посебне услове у моделовању глодачких алата. На слици 4. је приказан положај ножа у простору, који обезбеђује додатну ротацију ножа, са следећим елементима :

- α - Нападни угао,
- β - Угао ротације;
- γ - Угао накретања.
- F_1 – Отпор продирању
- F_2 – Отпор клизању у правцу резања
- F_3 – Отпор клизању у правцу управном на правац резања

Имајући у виду захтеве обраде инфраструктурних објеката, који се огледају у одговарајућој геометрији ножева и њиховом положају у односу на подлогу која се обрађује, глодачке главе су параметарски пројектоване тако да промене функционалних захтева могу да се одразе на модел производа и технологију израде.

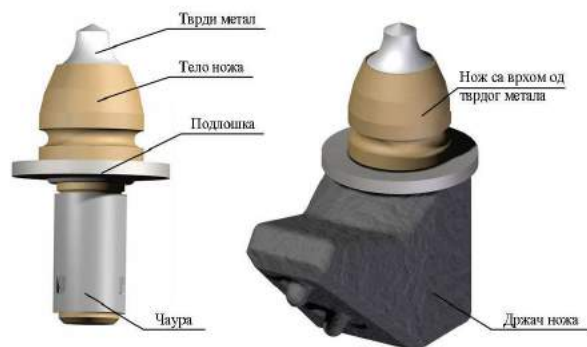
Пројектовање монтажне структуре глодачких глава је извршено коришћењем приступа „Bottom-up“, где је повезивањем компонената добијена монтажна структура као највиши ниво хијерархијске структуре.

Подсклоп ножа и држача, као основни елементи глодачке главе су распоређени по ободу плашта у веома специфичном, хеликоидном распореду (сл.5.).



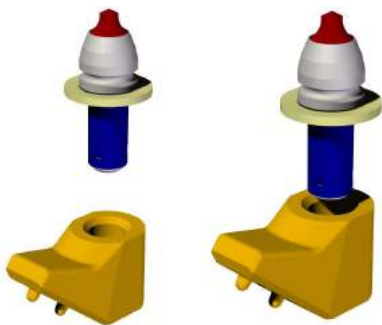
Слика 5. Хеликоидни распоред ножева и њихов положај на глодачкој глави

Подсклоп ножа и држача омогућава позиционирање ножа у пројектовани положај, уважавајући процес резања, у односу на површину која се обрађује. Овај подсклоп је саставни елемент монтажне структуре подскопа глодачке главе.



Слика 6. Подсклоп ножа и држача

Држачи ножева су елементи који омогућавају ротацију ножа у њима, и они обезбеђују ножу потребан просторни положај у процесу резања.

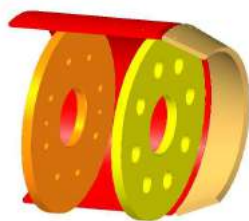


Слика 7. Међусобни положај ножа и држача ножа

3. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Пројектовање технологије израде представља следећи сегмент интеграције. Реализација пројекта обухвата моделовање технологије за све елементе монтажне структуре.

Све компоненте које учествују у монтажnoj структури су пројектоване варијантно у програмском пакету за пројектовање производа, Solid Edge-u. Геометријска информација представља улаз у програмски пакет за пројектовање технологије, у овом случају EdgeCAM.



Слика 8. Пресек глодачке главе

Плашт глодачке главе слика 10. је компонента која поставља највише захтеве у погледу геометријске тачности. На њој се налазе отвори за позиционирање држача алата. Због остваривања захтеваног положаја ножа у односу на подлогу која се обрађује, уважавајући кинематику процеса резања, потребно је избушити рупе у одговарајућем хеликоидном распореду по површини плашта.

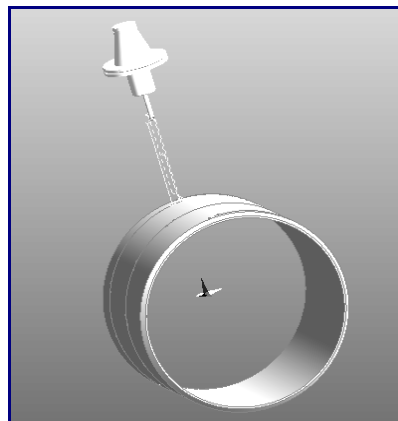


Слика 9. Плашт глодачке главе

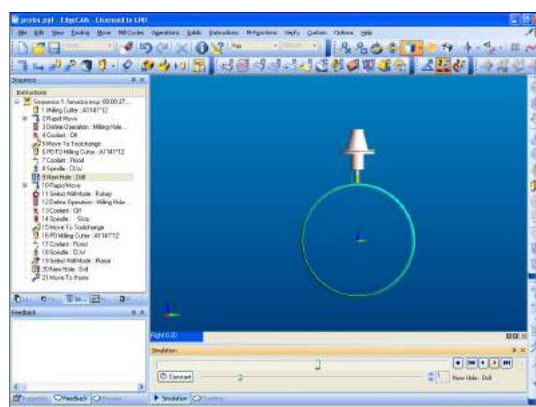
Специфичност обраде плашта глодачке главе се огледа у бушењу рупа у хеликоидном распореду. Функционални захтев бушења рупа је у зависности од пречника добоша, броја ножева и корака хеликоиде.

Плашт/део се моделује варијантно и параметарски у Solid Edge-u, а затим се уводи у програмски пакет за пројектовање технологије, EdgeCAM (Слика 6) чији је излаз NC код за бушење рупа на CNC машини алатки. Услов је да НУ машина алатка омогући позиционирање по оси С, а кретање алата по Y (Нумерички управљан струг са Y/C управљањем). Свака измена у моделу дела се директно транслира у модул за технологију и обрнуто

ако дође до измене алата на захтев купца дефинисан преко HTML-а.



Слика 10. Просторни положај алата и обратка



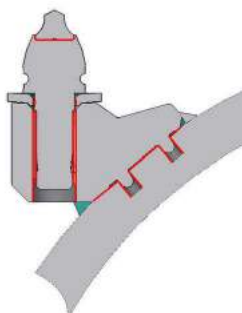
Слика 11. Изглед прозора у EdgeCAM-y

На плашт се позиционирају подсклопови држача ножа према рупама на плашту глодачког добоша где налазе испупчења на држачу ножа. Обзиром да држачи имају релативно дуг радни век и није их потребно често мењати, веза држача ножева са добошима изведена је заваривањем.



Слика 12. Позиционирање подскопа држача ножа и ножа на плашт глодачке главе

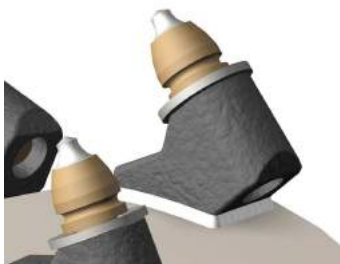
Отвори на плашту и одговарајућа испупчења на држачу су спојени преко примитива спајања, успостављањем одговарајућих веза између површина, тако да се њихов однос не нарушава променом захтева који се постављају пред глодачке добоше.



Слика 13. Детаљ монтажне структуре глодачке главе на глобалном нивоу

Путања главе за заваривање држача ножева за плашт глодачког добоша је у директној вези са њиховим примитивима спајања, тако да се промена захтева, која се огледа у другачијем распореду и броју држача, као и у димензијама плашта, преко модела монтажне структуре, преводи у генерисање нове путање главе за заваривање.

CAD/CAM системи могу да генеришу информацију о путањи алата CAM/CNC/NC из геометријског модела дела који је дат у CAD датотеци. Елементи технологије, резни алати и потребни режими обраде накнадно се дефинишу интерактивно. Програмски се одређује путање алата потребне за тражени облик путање.



Слика 14. Држач ножа на плашту глодачке главе, спојен заваривањем

Једна од највећих предности програмског генерисања заснованог на CAD/CAM концепту је могућност провере путања алата на екрану компјутера у циљу откривања евентуалних грешака пре покретања програма на машини. Функција верификације путање алата се користити за проверу могућих колизија алата са стезним и помоћним прибором, пошто су модели ових прибора доступни из CAD датотеке.. Као посебна предност наводи се да се коришћењем пројектантских података о производу, као основе за генерисање NC кода, избегава проблем понављања геометријских података у CAM/CNC систему, обезбеђује се конзистентност података и лако се реагује при било којој промени модела која може да наступи.

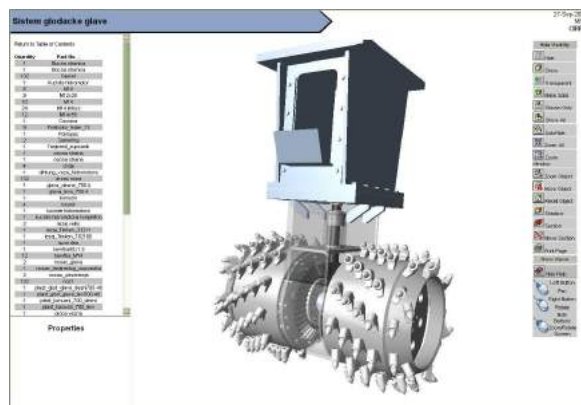
4. РАЗМЕНА ПОДАТАКА НА НИВОУ ГЛОБАЛНЕ МРЕЖЕ

Активност неопходна за реализацију размене информација је креирање параметарског модела производа. За креирање свих модела у овом раду је коришћен програмски пакет за пројектовање производа Solid Edge који као геометријски кернел користи Parasolid.

Улога и предност размена информација на релацији произвођач - корисник на нивоу XML технологије се огледа у томе што корисник једноставно може генерисати своје захтеве коришћењем интернета. Наиме, корисник може своје захтеве изложити једноставним

попуњавањем обрасца, дефинисаног помоћу JAVA платформе који му стоји на располагању на сајту предузећа. Овако дефинисан захтев се помоћу XLS протокола трансформише у XML, који на основу интегрисане синтаксе XML-а у апликацији (у овом случају Solid Edge-у) генерише варијанту производа на захтев купца.

Solid Edge је систем који је доста пажње посветио оваквом виду пословања, тако да поседује алате за аутоматско генерисање описа модела у HTML формату, те је у могућности да на овакав захтев корисника аутоматски одговори. На слици 14 је приказан модел производа у HTML формату, који уз помоћ програма IPA Web Viewer омогућава манипулисање моделом, а уз то пружа информације о хијерархијској структури.



Слика 14. HTML приказ система глодачких глава

5. ЗАКЉУЧАК

Развојем савремених технологија омогућава се произвођачу брзо пројектовање производа и технологије према захтевима тржишта, чиме се обезбеђује конкурентност на тржишту. Варијантним и параметарским пројектовањем глодачке главе излази се у сусрет различитим потребама, односно експлоатационим захтевима који се постављају пред глодачке главе. Интеграцијом CAD/CAM омогућено је и аутоматско пројектовање технологије за одговарајуће моделе производа. Применом XML технологије излази се у сусрет специфичним захтевима купаца који се одражавају у моделу производа и технологији израде.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Babić, A., Ilić, N., *Savremen koncept projektovanja glodačkih glava u rudarstvu i izradi profila tunela*, 31 Savetovanje Proizvodnog Mašinstva, Kragujevac 2006, objavljen u zborniku radova i na CD –u.
- [2] Babić, A., Petrović A., *Sistem analiza sistema alata i mašina za obradu infrastrukturnih objekata* Časopis Instituta IMK „14. oktobar“ Kruševac, broj (22-23) 3-4/2005, стр. 169.175.
- [3] H. Copur, L. Ozdemir, J. Rostami: *Roadheader applications in mining and tunneling industries*, Earth Mechanics Institute, Colorado school of mines, Golden, Colorado, 80401
- [4] Babić, A., *Projektovanje tehnoloških procesa*, Udžbenik, MFK, Kraljevo, 2005.
- [5] Бабић, А., *Технологија монтаже*, уџбеник МФК, 2005.

Autori: Ph.D. Arandjel Babić, Profesor of the Faculty of Mechanical Engineering Kraljevo,

Bojanić, P.

INTEGRACIJA INŽENJERSTVA NA BAZI PRIMENE KOMPJUTERA NA VOKSELSKOJ PLATFORMI INTERNOG MODELA OBJEKTA ¶

Rezime: Nove metode izrade radnih predmeta koje se baziraju na internom CAD modelu i tehnici dodavanja materijala (Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing) i uključivanje kompjuterizovane tomografije u industrijsku primenu za kontrolu geometrije nameće potrebu istraživanja novih oblika memorisanja internog modela. Vokselni model ima najveći potencijal za ispunjenje zahteva sistema za primenu kompjutera u inženjerstvu ali istovremeno znači i potrebu istraživanja novih struktura za memorisanje modela.

Ključne reči: Voksel, CT, CAD model

INTEGRATED COMPUTER AIDED ENGINEERING ON VOXEL PLATFORM OF INTERNAL OBJECTS MODEL

Abstract: New methods of manufacturing based on internal CAD model and adding materials technique (Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing) and inclusion of computerised tomography in industrial application for geometry control imposes the need of investigating new shapes of memorising the internal model. Voxel model has the greatest potential for fulfilling the demands of the system for computer application in engineering but in the same time makes the need for investigation new structures for memorising the model.

Key words: Voxel, CAD model, CT

1. UVOD

Primena kompjutera u inženjerskim aktivnostima predstavlja danas imeprativ za opstanak u sve većoj konkurenciji na tržištu. Problemi geometrijskog modeliranja radnih predmeta, problemi proračuna metodom konačnih elemenata, problemi simulacije kinematike i problemi programiranja numerički upravljanih mašina alatki vrlo uspešno se rešava primenom komercijalnih CAD/CAM sistema. Svi ti sistemi počivaju na poligonalnom predstavljanju geometrije radnog predmeta što podrazumeva da su u internom, kompjuterskom modelu, predstavljeni atributi samo površina dok se unutrašnjost geometrijskog objekta smatra homogenom. Poligonalno predstavljanje internog modela je je široko prihvaćen u mnogim aplikacijama i ako ne sadrži sve potrebne podatke za specifične primene. Ono je u širokoj upotrebi jer ne zahteva moćne procesore niti veliku memoriju. Poligonalno predstavljanje je nerealistično zbog svoje oštre regularnosti. Forme iz realnog sveta često imaju izvesnu nesavršenost i varijacije. Ovo je naročito vidljivo ako se poligoni koriste za predstavljanje formi koje nisu sastavljene od pravilni oblika.

Nove metode izrade radnih predmeta, koje se baziraju na CAD modelu sa jedne strane i tehnici dodavanja materijala, sa druge strane, usloveli su potrebu adaptacije izlaza, iz postojećih CAD sistema, za potrebe novih tehnologija. Skoro da nema komercijalnog CAD/CAM sistema koji nema mogućnost generisanja STL formata za potrebe novih, brzih tehnologija (Rapid prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing). Sa druge strane, uključivanje kompjuterizovane tomografije (CT) u industrijsku primenu za kontrolu dimenzija i oblika, kao nove tehnologije bezkontaktnog merenja, nameće potrebu preispitivanja oblika internog modela na kojima počivaju gore pomenute nove tehnologije [1,2]. Poznati su mogući oblici internog modela radnog predmeta, njihove prednosti i mane.

Imajući u vidu zahteve pomenutih tehnologija najveći potencijal ima interni model zasnovan na vokselima. Korišćenje vokseli ima izvesnih prednosti nad korišćenjem poligonalnog predstavljanja u daleko većem nivou detalja.

2. VOKSELSKI MODEL

Jednom uspostavljen vokselni model kao prostorna rešetka elementarnih kubova, omogućava detaljnu analizu pripadnosti vokseli objektu sa jedne strane, kao i generisanje površinske aproksimacije predstavljenog objekta [3-5]. Kroz analizu susednih vokseli, moguće je uočiti da jedan voksel ima šest susednih vokseli sa kojima ima zajedničku stranu, osamnaest vokseli koji imaju zajedničku ivicu i dvadeset šest susednih vokseli sa kojima deli zajedničko teme.

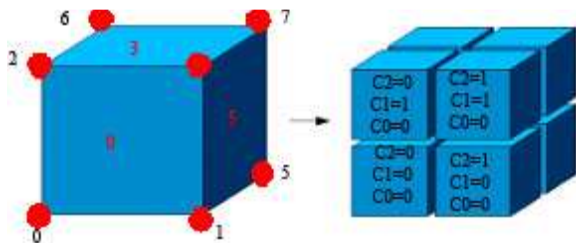
Jedan jednostavan metod diskretizacije bio bi da se svakom vokselu dodeli vrednost zavisno od toga da li je unutar ili van objekta:

$$f(x,y,z) = \begin{cases} -1 & \text{ako je } (x,y,z) \text{ van površine} \\ 0 & \text{ako je } (x,y,z) \text{ na površini} \\ 1 & \text{ako je } (x,y,z) \text{ unutar površine} \end{cases}$$

Može se zamisliti da je svaki voksel tačka u 3D prostoru. Prednost ove funkcije je ta što se algoritam za trodimenzionalno skeniranje može primeniti na određivanje stanja svakog vokseli unutar domena. Ovo rezultira u brzom konverziji objekta u voksel podatke, ali generisana površina je uveliko zavisna od od gustine voksel podataka. U nastojanju da se dobije finiji opis površine, potrebna je funkcija koja finije varira u oblasti površine objekta. Funkcija koja bolje opisuje neposrednu pripadnost okolini površine može se definisati kao funkcija rastojanja:

$$f(x,y,z) = \begin{cases} -\text{rast}(x,y,z) & \text{ako je } (x,y,z) \text{ van površine} \\ 0 & \text{ako je } (x,y,z) \text{ na površini} \\ \text{rast}(x,y,z) & \text{ako je } (x,y,z) \text{ unutar površine} \end{cases}$$

gde je $\text{rast}(x,y,z)$ Euklidovo rastojanje tačke od površine. Imajući u vidu da se u analizi koristi centar vokselu to ima za posledicu da tačnost predstavljanja površine nije u prevelikoj osetljivosti na vokselnu rezoluciju. Korišćenje funkcije rastojanja ima efekat da proces vokselizacije rezultira u finijem predstavljanju originalne površine.



Slika 1. Kodiranje temena i strana

Sa druge strane vokseli zahtevaju veću memoriju i neke nove tehnike pamćenja da bi se smanjila potreba za memorijom.

Da bi se smanjila memorija za predstavljanje vokselnog modela u obliku hijerhijske strukture oktanata, moguće je pamti strukturu kodova svakog oktanta. Kod svakog oktanta moguće je uspostaviti kodirani položaj zavisno od vrednosti njegovih koordinata. Ako uporedimo koordinatni sistem podprostora sa centralnom tačkom kuba dobićemo tri logičke promenjive C_0 , C_1 i C_2 , gde je C_1 povezano sa x-koordinatom, C_1 sa y-koordinatom i C_2 sa z-koordinatom.

$$C_0 = (X \geq d/2 + x)$$

$$C_1 = (Y \geq d/2 + y)$$

$$C_2 = (Z \geq d/2 + z) \quad (d - \text{dimenzija vokselu})$$

Sada je svaki oktant predstavljen sa sopstvenim setom vrednosti $C_0C_1C_2$ sto predstavlja kod oktanta. Za ovakav način kodiranja oktanta potrebna su samo 3 bita.

Takođe je neophodno imati u strukturi podataka i identifikaciju temena vokselu relativno u odnosu na sopstveni lokalni koordinatni sistem, slika1. Kako voksel ima 8 temena to je potrebno utrošiti samo tri bita, $8=2^3$, da bi se preko kodova K_x, K_y i K_z predstavilo svako teme, tabela 1.

K_x	K_y	K_z	Teme
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	2
1	1	0	3
0	0	1	4
1	0	1	5
0	1	1	6
1	1	1	7

Tabela 1.

Svaki od navedenih kodova može imati vrednost 0 ili 1. Vrednost koda je nula ako iz lokalnog koordinatnog sistema do tog temena nije potrebna nikakva translacija u pravcu bilo koje ose, x, z ili z. Vrednost koda će imati vrednost 1 kada je do datog temena potrebno izvršiti translaciju duž neke od osa.

Strana	Temena	K
0	0,1,3,2	$K_z=0$
1	5,4,6,7	$K_z=1$
2	1,0,4,5	$K_y=0$
3	2,3,7,6	$K_y=1$
4	0,2,6,4	$K_x=0$
5	3,1,5,7	$K_x=1$

Tabela 2. Kodiranje strana

Tabela 2 predstavlja model memorisanja temena koje pripadaju nekoj od strana kuba. U koordinatnom početku kuba nalazi se teme označeno sa 0. Temena svake strane su navedena u redosledu suprotnom od kretanja kazaljke na časovniku gledano ispred posmatrane strane.

3. INŽENJERSTVO NA BAZI PRIMENE KOMPJUTERA

Postojećim komercijalnim CAx sistemima vrlo uspešno se rešava čitav niz inženjerskih problema počev od proračuna i analize, preko simulacija kinematike i dinamike, oblikovanja do programiranja NC mašina alatki. Posmatrajući nivo primene kompjutera u inženjerskim aktivnostima, baziranim isključivo na CAD modelu radnog predmeta, mogli bismo navesti da su u primeni sledeći CA sistemi: CAD, CAE, CAM. Sa druge strane uveliko se razvija sistem konkurentnog inženjerstva i reverznog inženjerstva. Uvođenjem novih tehnika proizvodnje na bazi dodavanja materijala koja u suštini počiva na CAD modelu radnog predmeta, stvoreni su novi inženjerski sistemi za brzu izradu prototipova, kalupa za livenje ili brizganje, što je osnova za novi koncept brze proizvodnje. Konačno uvođenjem kompjuterizovane tomografije (CT) u industrijsku primenu za kontrolu defekata i geometrije izrađenih radnih predmeta, zatvara se krug primene kompjutera u inženjerstvu danas na osnovama CAD modela radnog predmeta, slika 2.

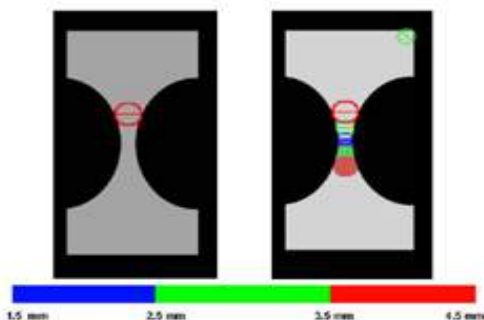
Svi pomenuti sistemi su razvijani zasebno na sopstvenim konceptima internih struktura podataka. Sistemi su međusobno nekompatibilni pa se proces integracije ostvaruje konverzijom jednog oblika podataka u drugi. Pri konverziji jednog oblika podataka u drugi neminovno dolazi do gubljenja podataka. Ključni pojam pri razvoju solid CAD sistema, kao preteče navedenih CA sistema bila je „oblik“. Međutim, pokazalo se da mnogi sistemi ne mogu da funkcionišu na poligonalnom predstavljanju objekta, kao što je to solid CAD, jer se memoriše samo površina, opna, objekta dok se unutrašnjost smatra monolitnom. Dakle ovakvim konceptom je nemoguće predstaviti unutrašnje strukture objekta. Savremeni zahtevi se odnose na vrlo kompleksne delove koji mogu da imaju svoju internu strukturu. Neki imaju različite fizičke osobine u različitim oblastima. Ovde se nameće primarno pitanje šta je osnovno „oblik“ ili „sadržaj“. Predstavljanje objekta kao trodimenzionalne strukture sa njenim internim delovima, omogućuje nam da izrazimo podatke u jednoj jedinstvenoj formi od faze projektovanja do izrade i inspekcije. Glavni izazov u istraživanju u ovom pravcu biće stvaranje nove generacije CA sistema koje će počivati na zapreminskoj strukturi podataka.

Nova vokselna struktura trebalo bi da u sebi sadrži, ne samo podatke o osobinama, nego i podatke o presečnim tačkama gde granični podaci seku ivice ili teme praleloipeda iz kompleksa ćelija paraleloipeda.

4. PRIMENA CT U KONTROLI DIMENZIJA

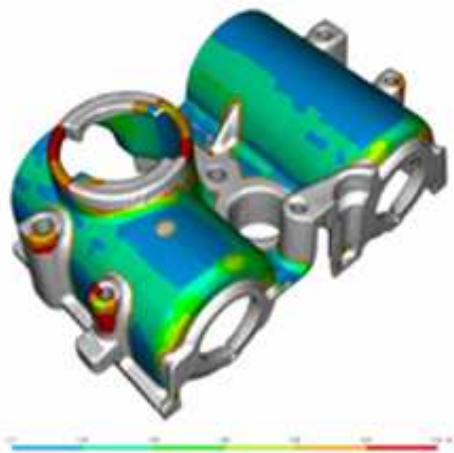
Mnogi radni predmeti koji imaju kompleksnu strukturu mogu se ispitivati ograničeno sa konvencionalnim

razaranja može se dosegnuti jedino sa CT. Ako je objekat sastavljen od više različitih materijala, npr. metal i plastika, koji imaju vrlo različite faktore apsorpcije x-zraka, tada je kontrast između materijala veoma visok i ne mogu se dobiti valjane geometrijske mere.



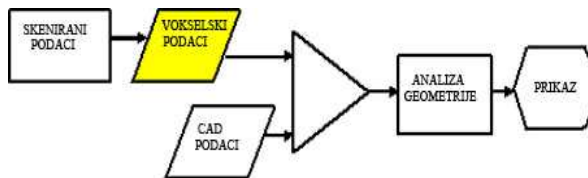
Slika 3. Debljina zida

CT rezultira u vokselskim podacima generisanim na osnovu crno belih slika poprečnih preseka. Površina objekta koji se ispituje predstavljena je sa nivoom sivog prelaza između vazduha i materijala. Ova površina, označena kao tzv. izo površina sivog, definisana je specifičnim vrednostima sivog u prostoru i izdvojena kao oblak tačaka ili mreža poligona. Zbog velikog broja podataka poligon mreža koji predstavlja površinu objekta, sastoji se od enormnog broja trouglova, tako da ni jedan softverski alat ne operiše sa ovim skupom podataka. Zbog toga se poligona mreža optimizuje, što znači da se broj trouglova mora smanjiti za red veličine. Korisnik mora da dozvoli izvesnu toleranciju i da omogući softveru da redukuje broj trouglova.



Slika 4. Vizuelni prikaz debljine zidova

Danas već imamo softverske alate koji mogu da operšu direktno sa vokselskim podacima pa gore opisani proces se znatno skraćuje i dovodi u direktnu korelaciju CAD podatke i CT podatke, Slika 5. Ovim postupkom je u stvari stvorena virtuelna merna mašina.



Slika 5. Tok podataka u kontroli geometrije

5. ZAKLJUČAK

Razvoj CA sistema u oblasti inženjerstva generisao je sa faznim pomakom komercijalne softverske alate koji su nastajali na sopstvenim konceptima strukture podataka. Integracija CA sistema u oblasti inženjerstva zasniva se na konverziji jednog oblika podataka u drugi u svakoj fazi primene različitih CA sistema. Polazni oblik podataka je generisan u tzv. solid CAD sistemu a on se zasniva na poligonalnom predstavljanju samo površine objekta. Delotvornija integracija inženjerstva, na bazi primene kompjutera, mora se graditi na zapreminskom modelu strukture podataka objekta. Vokselski model je pokazao da ima najveći potencijal da postane okosnica novog koncepta interne strukture podataka za sve CA sisteme. Stalni rast performansi PC hardvera i veliki istraživački napor u iznalaženju novih tehnika analize i novih struktura memorisanja ogromnog skupa podataka, daju osnove za optimizam da će se uskoro pojaviti nova generacija CA sistema zasnovane na zapreminskom CAD modelu.

6. LITERATURA

- [1] C. Reinhart, C. Poliwoda, T. Guenther, W. Roemer, S. Maass, C. Gosch: *Modern Voxel data and Geometry analysis software tools for industrial CT*, Volume Graphics GmbH, Heidelberg, 2005
- [2] P. Bojanic, *Model baziran na vokselskim podacima i njegova primena u novim tehnologijama*, Zbornik radova 34 JUPITER konferencije, Beograd, 2008.
- [3] N.A. Taranukha, Z. A. Izabekov: *A Method for Voxel Visualization of 3D Objects*, Programming and Computer Software, 207, Vol. 33, No6 pp336-342..
- [4] J. Mille, R. Boné, P. Makris, and H. Cardot: *3D Segmentation using Active Surface: A Survey and a New Model. Proceeding Visualization, Imaging, and Image Processing* - 2005
- [5] Carsten Maple, *Rotating squares to boundary cubes: boundary representation and classification techniques for two- and three-dimensional objects*, Geometric modeling: techniques, applications, systems and tools, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 2004

Autor: Prof. dr Pavao Bojanić, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 11120 Beograd, Kraljice Marije 16
E-mail:

Borojević, S., Jovišević, V., Vukelić, Đ.

RAZVOJ PODSISTEMA ZA IZBOR KOMPONENTI MODULARNIH PRIBORA

Rezime: U radu je prikazan model podсистema za izbor komponenti modularnih pribora za baziranje i stezanje predmeta obrade. Predstavljeni model prikazuje strukturu podсистema, kao i način njegovog funkcionisanja. Podсистem funkcioniše na interaktivnom dijalogu između projektanta i projektovanog modela. Projektovanje modularnih pribora je podjeljeno na nekoliko važnih koraka a izbor komponenti modularnih pribora predstavlja početni korak u tom procesu. Simulacija primjene razvijenog modela za izbor komponenti modularnih pribora obrade izvršena je na konkretnom primjeru radnog predmeta.

Cljučne reči: modularni pribori, I-CAFD, izbor komponenti

DEVELOPMENT OF SUBSYSTEM FOR MODULAR FIXTURE COMPONENTS SELECTING

Abstract: In this paper is presented model of subsystem for selecting modular fixture components for locating and clamping of work piece. This presented model shown structure of subsystem and way how to use it. This subsystem operates on interactive dialog between designer of modular fixtures and this development model. Design of modular fixture is divided on several important steps, and selecting of modular fixture components present one of the very first steps in this process. Simulation of application this development model for selecting modular fixture components is executed on real part – work piece.

Key words: modular fixture, I-CAFD, component selecting

1. UVOD

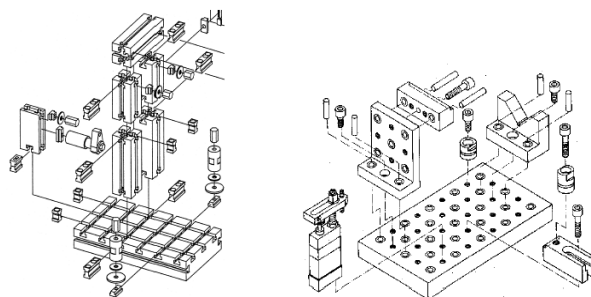
Obrada rezanjem se prema toku svog izvođenja može podijeliti na nekoliko cjelina: priprema i planiranje procesa, izbor mašina, izbor reznih alata, izbor optimalnog redoslijeda operacija, izbor režima obrade i ostalih sastavnih dijelova procesa obrade rezanjem. Međutim, ukoliko se izbor svih navedenih faktora izvrši na optimalan način, a pri tome se ne obrati dovoljna pažnja za stezanje i baziranje radnog komada, odnosno izbor pribora, pojava greške pri izvođenju procesa biće neminovna. U gotovo svim sastavnim dijelovima izvođenja procesa obrade rezanjem se mnogo napredovalo u pogledu izbora optimalnih varijantnih rješenja posebno u pogledu izbora alata i mašina, te režima obrade. Na drugoj strani, izbor i projektovanje pribora za obradu rezanjem još uvijek predstavlja nedovoljno istraženo i nedovoljno definisano područje.

Imajući u vidu trendove domaće proizvodnje, koja se u najvećoj mjeri ogleda u maloserijskoj i srednjeserijskoj proizvodnji, potrebno je u ovoj oblasti istraživati odgovarajuća rješenja. Kao opravdani zahtjevi se nameću male količine proizvedenih dijelova, veliki broj različitih dijelova, male serije, visoki zahtjevi u pogledu tačnosti i kvaliteta, kratki rokovi isporuke itd. Odgovor na rješenje ovih zahtjeva je u korelaciji sa modularnim priborima.

2. MODULARNI PRIBORI

Modularni pribori se već dugu niz godina koriste u SAD, Zapadnoj Evropi i Japanu kao optimalno rješenje za stezanje i baziranje radnih predmeta. Modularni pribori su bazirani na tzv. modularnom principu (slika 1), što znači da se baziraju na korišćenju garniture od većeg broja standardnih i tipiziranih elemenata (modula) koji omogućavaju brzo i tačno sastavljanje pribora. Elementi pribora iz svih funkcionalnih grupa (baziranje, stezanje, itd.) su izrađeni u više različitih tipova, a svaki tip u više veličina (dimenzija) koje čine grupe pojedinih funkcionalnih grupa. Elementi garniture sistema modularnih pribora izrađuju se od kvalitetnih konstrukcionih

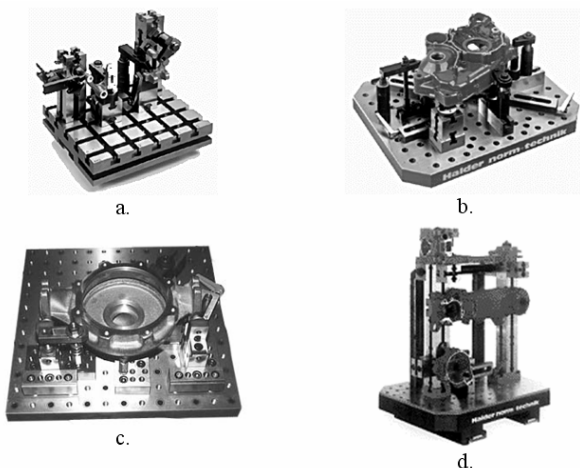
čelika (ugljenični čelici za poboljšanje i cementaciju) što utiče na dugo vreme eksploatacije sistema. Tačnost dimenzija i položaja površina svih elemenata je izuzetno visoka čime se obezbeđuje visoka tačnost sklopljenih pribora. Kombinacijom i montiranjem elemenata garniture u jednu cjelinu moguće je dobiti veoma veliki broj varijantnih rješenja pribora. Upravo ova karakteristika predstavlja odgovor na zahtjeve u pogledu velike fleksibilnosti i kratkog vremena izrade koji se postavljaju pred preduzeća koja se bave mašinskom obradom. Pri tome je neophodno naglasiti da se ovi pribori koriste prije svega u maloserijskoj i srednjeserijskoj proizvodnji, gdje namjenski pribori ne predstavljaju adekvatno rješenje [1].



Slika 1. Princip modularne gradnje pribora

Modularni pribori mogu se svrstati u tri grupe (slika 2) prema površinama koje služe za određivanje međusobnog položaja pojedinih elemenata. Čine ih:

1. sistemi sa žlebovima (slika 2.a);
2. sistemi sa otvorima (glatki - za pozicioniranje i sa navojem - za spajanje),
 - 2.1. sistemi sa osnih otvora (slika 2.b),
 - 2.2. sistemi nesaosnih otvora (slika 2.c);
3. kombinovani sistemi (kombinacija sistema sa žlebovima i sistema sa otvorima), (slika 2.d).



Slika 2. Karakteristične grupe modularnih pribora

Od niza prednosti modularnih pribora mogu se navesti sledeće:

- Znatno se smanjuju troškovi izrade pribora, pošto je vreme sklapanja pribora kratko, a mogućnost primene elemenata garniture višestruka;
- Primenom većeg broja modularnih pribora sastavljenih iz elemenata čiji je vek dug znatno se smanjuje potrošnja materijala za izradu pribora;
- Moguće su proste i brze izmene ukoliko se pokaže da sastavljeni pribori ne odgovaraju zahtevima;
- U toku eksploatacije oštećeni elementi pribora se brzo i lako zamenjuju;
- Omogućava se primena odgovarajuće tehnološke opreme i u slučajevima kada pre pojave modularnih pribora to nije bilo isplativo, čime se povećava indeks opremljenosti proizvodnih procesa.

Valja, međutim, ukazati i na neke nedostatke sistema modularnih pribora:

- Visoki zahtevi za tačnost i kvalitet izrade elemenata i korišćenje kvalitetnog i skupog čelika uslovljavaju relativno visoka početna ulaganja;
- Zbog postojanja većeg broja spojeva nužno se smanjuje krutost pribora.

3. BAZIRANJE I STEZANJE RADNIH KOMADA

Baziranje predmeta obrade se zasniva na oduzimanju stepeni slobode kretanja u prostoru. Svaki predmet prizmatičnog oblika, ako se posmatra u prostornom koordinatnom sistemu, ima šest stepeni slobode kretanja [3]. Prema tome, da bismo predmetu obrade potpuno definisali položaj potrebno mu je oduzeti sve stepene slobode kretanja (slika 3).

Prema tome, ako je broj tačaka za oslanjanja manji od šest, predmet obrade ima određen broj stepeni slobode. To znači da u pravcu u kojem ne postoji tačka oslanjanja, položaj predmeta obrade nije određen. Zamjena nedostajuće tačke za oslanjanje stezanjem u tom pravcu nije pouzdano.

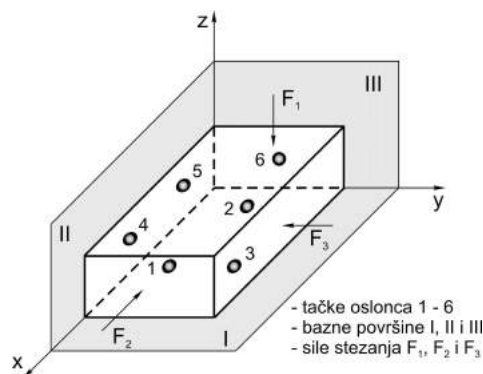
Baziranje predmeta obrade u praksi, korišćenjem manje od šest tačaka je moguće i primenjuje se često, jer broj tačaka za oslanjanje zavisi od metoda obrade i broja mjera koje se moraju održati. Od toga zavisi broj baza neophodnih za baziranje predmeta obrade a time i broj tačaka za oslanjanje.

Potpuno oduzimanje svih šest stepeni slobode osim ispravnog baziranja izvodi uz pomoć stezanja predmeta obrade. Na slici 3 su prikazane sile stezanja F_1 , F_2 i F_3 koje uz ispravno baziranje potpuno određuju položaj radnog komada u odnosu na izabrani koordinatni sistem ili nul-tačku

obradnog sistema.

Postoji nekoliko metoda za stezanje radnih komada kao što su: stezanje pomoću ekscentra, stezanje klinom, stezanje vijkom, stezanje polugama, i stezanje kombinacijom vijka i poluge. U ovom radu je razmatrano stezanje kombinacijom vijka i poluge, što se najviše podudara sa koncepcijom i konstrukcijom komponenti modularnih pribora.

Komponente modularnih pribora za stezanje se mogu podijeliti i prema položaju stezanja na komponente za stezanje sa strane i na komponente za stezanje odozgo. Koju vrstu komponenti upotrebiti zavisi od geometrije i oblika radnog predmeta, zahtevane tačnosti ali i iskustva projektanta modularnih pribora.

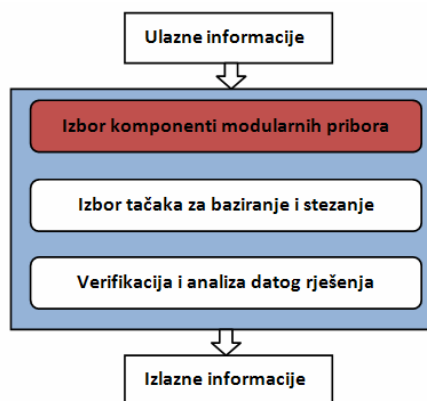


Slika 3. Primjer baziranja i stezanja predmeta obrade

4. PODSISTEM ZA IZBOR KOMPONENTI MODULARNIH PRIBORA

Imajući u vidu razvoj računarskih tehnika u procesu projektovanja i proizvodnje (CAD/CAM) ali i ukupnog koncepta računarom integrisane proizvodnje (CIM), potrebno je u dati doprinos u pogledu projektovanja pomoćnih pribora [5]. U tom smislu na modularne pribore se mogu primjeniti računarske tehnike upravo zbog njihove tipizacije. Interaktivno projektovanje modularnih pribora pomoću računara predstavlja jedan korak ka potpunoj automatizaciji projektovanja pomoćnih pribora, koja još uvijek predstavlja koncept.

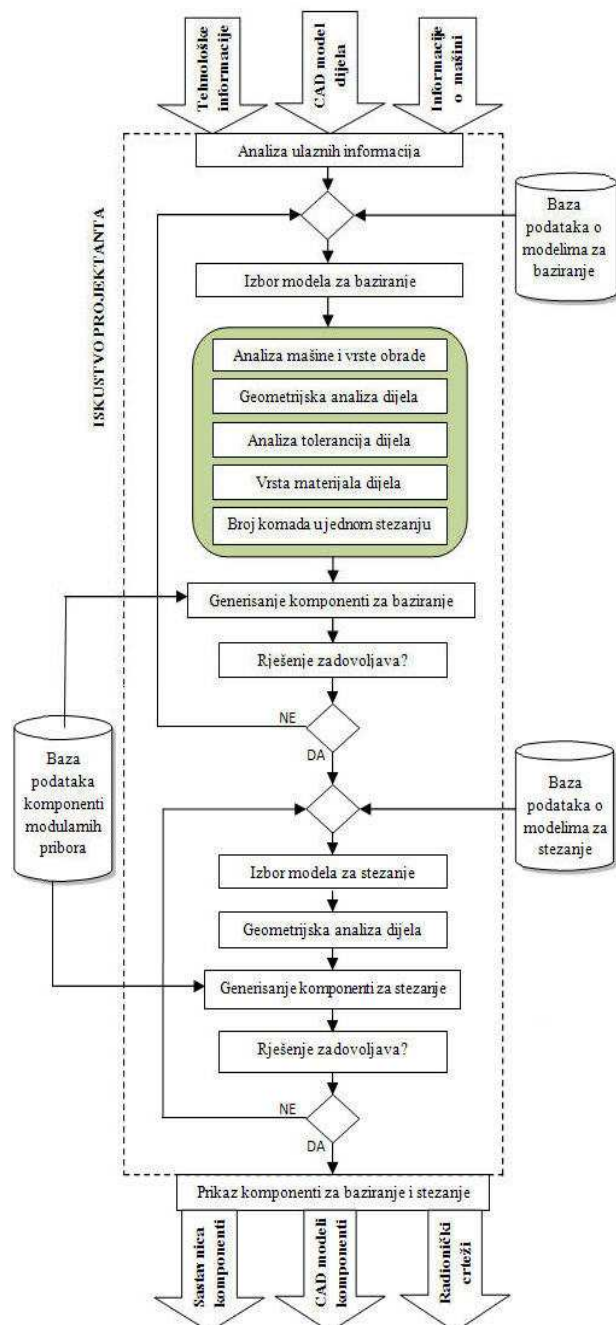
Interaktivno projektovanje modularnih pribora pomoću računara (I-CAFD – Interactive Computer Aided Fixture Design) [4] predstavlja podršku projektantu pomoćnih pribora ili tehnologu pri izboru optimalne varijante pribora za dati radni komad. Interaktivno projektovanje modularnih pribora pomoću računara izvodi se po fazama koje su prikazane na slici 4. U ovom radu se razmatra prva faza koja se odnosi na izbor komponenti modularnih pribora.



Slika 4. Faze interaktivnog projektovanja modularnih pribora pomoću računara

Prvi korak pri realizaciji interaktivnog sistema za projektovanje modularnih pribora predstavlja izbor i generisanje elemenata za baziranje i stezanje. U komponente za baziranje modularnih pribora se ubrajaju tipske ploče za oslanjanje, osloni čepovi, podesivi čepovi, čivije za baziranje, stezni zavrtnjevi, osnovne ploče, ugaone ploče i pomoćni ugaonici, dok su komponente za stezanje: stezne poluge, stezni vijci, podesive ploče i dr.

Navedeni elementi se biraju na osnovu interaktivnog dijaloga izmenu korisnika i razvijene baze podataka, koji omogućuje razvijeni model za izbor komponenti modularnih pribora (slika 5).



Slika 5. Algoritam podsistema za izbor komponenti modularnih pribora

Korisnik – projektant na osnovu realne geometrije dijela, zahtjeva tehnoloških procesa, kao i mogućnosti mašine, u interaktivnom dijalogu koristi razvijeni model i kao rezultat dobija generisane komponente za baziranje i stezanje.

Razvijeni model funkcioniše na principu generisanja numeričkog koda iz projektovanog klasifikatora. Klasifikator je razvijen na principu geometrijskih i tehnoloških zahtjeva dijelova, mogućnosti mašine i ostalih važnih faktora koji karakterišu radni predmet. Pri svakom novom koraku razvijeni model generiše po jednu ili više numeričkih oznaka i na osnovu formiranog koda vrši se izbor komponenti iz baze podataka [1].

Razvijeni model je projektovan primjenom objektno orijentisanog programiranja i MySQL baze podataka. Baza podataka je povezana sa programskim paketom *SolidWorks®*. Kao izlaz iz razvijenog modela, preko klasifikacionog koda, generiše se potreban oblik i broj komponenti za baziranje i stezanje.

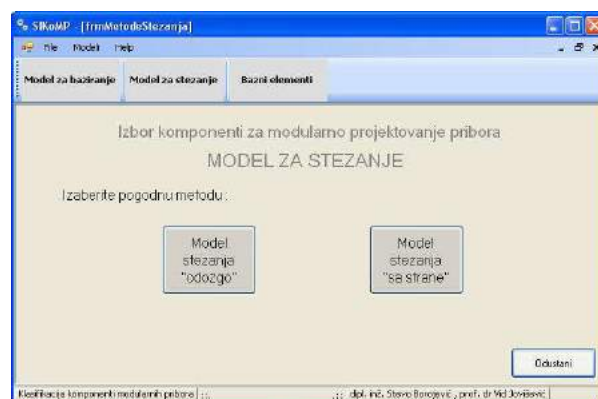
Komponente se mogu prikazati u 3D formi, u formi radioničkog crteža kao i preko sastavnice komponenti modularnih pribora. Prikaz razvijenog modela preko formi interaktivnih dijaloga je dat na slikama 6a-b. Forme razvijenog modela su jednostavne za korištenje, a projektovane su u saglasnosti sa strukturom modela koja je data na slici 5. Prema strukturi razvijenog modela, prvo se vrši izbor komponenti za baziranje i pozicioniranje radnog predmeta, a nakon tog se pristupa izboru komponenti za stezanje radnog predmeta. Projektant ima mogućnost da ukoliko nije zadovoljan sa datim rješenjima, promjeni model za baziranje ili model za stezanje, kako bi došao do povoljnijeg rješenja odnosno do podesnijih komponenti modularnih pribora.

Iskustvo projektanta u procesu izbora komponenti modularnih pribora čini veoma bitan faktor za iznalaženje rješenja.

Kao referentni modularni pribor, čiji su pojedini dijelovi prikazani u ovom radu, usvojen je modularni pribor za obradu rezanjem *Bluco®* - Njemačka [2], sa svojim geometrijsko-tehnološkim karakteristikama.



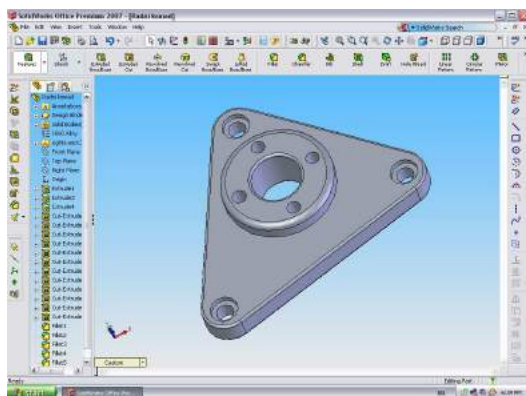
Slika 6a. Prikaz razvijenog podsistema za izbor komponenti pribora



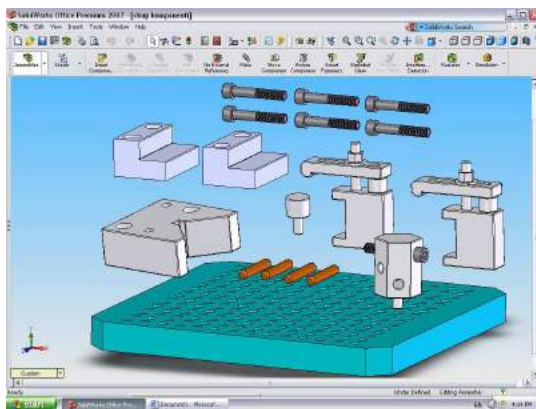
Slika 6b. Izbor modela za stezanje u razvijenom podsistemu

5. PRIKAZ REZULTATA

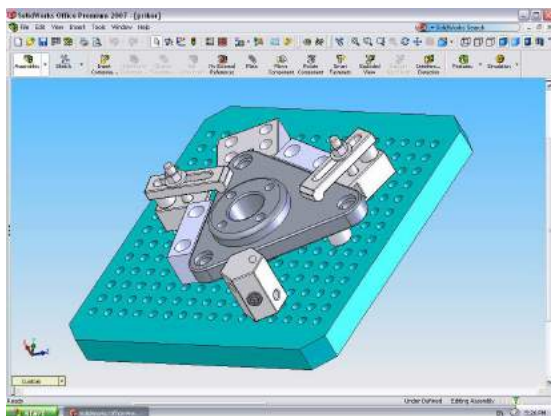
Prikazani radni predmet po svojim geometrijskim karakteristikama spada u prizmatične dijelove sa stepenastim površinama. Na osnovu geometrijskih karakteristika radnog predmeta, dimenzija, tehnoloških karakteristika, projektovanog tehnološkog procesa, kao i raspoloživih mašina, preko generisanja numeričkog koda iz klasifikatora, izvršen je izbor komponenti modularnog pribora. Simulacija primjene projektovanog modela za izbor komponenata modularnih pribora za baziranje i stezanje je izvršena na primjeru za radni predmet koji je prikazan na slici 7. Komponente su generisane u programskom paketu *SolidWorks®* - modulu za montažu ili sklopljenje *Assembly*. Na slici 8. su prikazane generisane komponente modularnih pribora koje su dobijene kao izlazna informacija iz razvijenog podsistema za izbor komponenti modularnih pribora, a na slici 9. izgled sklopljenog pribora zajedno sa radnim predmetom.



Slika 7. Radni predmet – poklopac



Slika 8. Generisane komponente modularnih pribora



Slika 9. Modularni pribor

6. ZAKLJUČAK

Korištenjem ovog podsistema omogućuje se i manje iskusnim projektantima da projektuju modularne pribore. Pri tome projektant ne mora da poznaje kompletnu bazu podataka o komponentama modularnih pribora, nego preko ovog sistema vrši njihovo odabiranje. Prema tome, podsistem za izbor komponenti modularnih pribora povećava brzinu projektovanja modularnih pribora, utiče na povećanje kvaliteta projektovanja pribora i smanjuje potrebu za izuzetno iskusnim projektantima pribora.

Sledeći korak u razvoju cjelokupnog sistema za interaktivno projektovanje modularnih pribora pomoću računara predstavlja razvoj podsistema za interaktivni izbor tačaka za baziranje i stezanje. S tim korakom bi se omogućilo formiranje kompletne konfiguracije pribora, koja se prije usvajanja i primjene mora analizirati i verifikovati, što predstavlja još jedan korak ka konačnom rješenju odnosno interaktivnom projektovanju modularnih pribora.

7. LITERATURA

- [1] Borojević, S., Jovišević, V. : *Prilog razvoju modularnog projektovanja pribora na bazi klasifikacije komponenti za baziranje*, XXXIV JUPITER konferencija str. 219-223, Beograd, Jun 2008.
- [2] Bluco Corporation, web-site: www.bluco.com
- [3] Jovišević V.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2005.
- [4] Mamula-Berdan, T.: *Integracija baze znanja i baze podataka na primjeru pomoćnih pribora fleksibilnih sistema LOLA CIM preduzeća*, Magistarska teza, Beograd, 1999.
- [5] Rong K.Y., Zhu S.Y.: *Computer Aided Fixture Design*, Marcel Dekker, New York - Basel, 1999.
- [6] Hodolić, J., Vukelić, Đ.: *Pribori*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [7] Dai, J. R., Nee, A. Y. C., Fuh, J. Y. H.: *An approach to automating modular fixture design and assembly*, Journal of Engineering Manufacture 211, pp. 509-521, 1997.
- [8] Hou, J. L., Trappey, A. J. C.: *Computer-aided fixture design system for comprehensive modular fixtures*, International Journal of Production Research 39 (16), pp. 3703-3726, 2001.
- [9] Kakish, J., Zhang, P. L., Zeid, I.: *Towards the design and development of a knowledge-based universal modular jigs and fixtures system*, Journal of Intelligent Manufacturing 11, pp. 381-401, 2000.
- [10] Kow, T. S., Sentil Kumar, A., Fuh, J. Y. H.: *An Integrated Approach to Collision-Free Computer-Aided Modular Fixture Design*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 16, pp. 233-242, 2000.

Autori: Asistent Borojević Stevo dipl. inž., Prof. dr Vid Jovišević, Univerzitet u Banjaluci, Mašinski fakultet, Katedra za obradu rezanjem, Stepe Stepanovića 75a, 78000 Banjaluka, BiH, Tel.: +387 51 462-320, Fax: +387 51 462-400.

mr Đorđe Vukelić dipl. inž., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2350, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: stevoborojevic@hotmail.com
vid.jovisevic@blic.net
vukelic@uns.ns.ac.yu

Budak, I., Soković, M., Hodolić, J., Kopač, J.

RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA PRE-PROCESIRANJE TAČAKA NA BAZI FUZZY LOGIKE U REVERZIBILNOM INŽENJERSKOM MODELIRANJU

Rezime: Savremeni sistemi za 3D-digitalizaciju, namenjeni reverzibilnom inženjerskom (RE) modeliranju, odlikuju se sve većom brzinom skeniranja, ali i mogućnošću generisanja velikog broja tačaka u jedinici vremena. To, u opštem slučaju, doprinosi povećanju efikasnosti procesa RE-modeliranja, međutim, u praksi ovakav ogroman broj tačaka može predstavljati ozbiljan problem u fazi generisanja CAD-modela. Osim toga, proces 3D-digitalizacije je usled karakteristika mernih sistema i/ili objekata neretko povezan i sa pojavom grešaka merenja. Posledica toga je da se danas značajna pažnja posvećuje problemu pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, pri čemu se, zbog složenosti problema, sve češće u te svrhe koriste i alati veštačke inteligencije. U ovom radu je predstavljen upravo jedan takav sistem za pre-procesiranje baziran na fuzzy logici, uz prikaz i rezultata njegove praktične primene.

Cljučne reči: Reverzibilno inženjerstvo, pre-procesiranje, 3D-digitalizacija, filtriranje, redukcija.

DEVELOPMENT OF A PROGRAMME SYSTEM FOR THE PRE-PROCESSING OF DATA-POINTS BASED ON FUZZY LOGIC IN REVERSE ENGINEERING

Abstract: Modern 3D-digitization systems, intended for use in Reverse Engineering (RE), are characterized with high scanning velocity and capability for the acquisition of a large amount of data-points in time unit. Generally, this fact contributes to a raise of RE-process efficiency. However, in practical applications such a large amount of data-points is often connected with problems in the phase of CAD-model generation. Furthermore, because of systems' and/or models' features, 3D-digitization process is frequently followed by occurrences of measuring errors. Consequence of previous is a significant research interest to the problem of data/point pre-processing, where application of artificial intelligence tools is not rare, having on mind problem complexity. Within this paper, a system for data-point pre-processing based on fuzzy logic has been presented. Also, a result of system's practical application is included in the paper.

Key words: Reverse Engineering, Pre-processing, 3D-digitization, Filtering, Reduction

1. UVOD

Savremeni sistemi za 3D-digitalizaciju, koji se primenjuju u reverzibilnom inženjerskom modeliranju, se odlikuju sve većom brzinom skeniranja, ali i mogućnošću generisanja velikog broja tačaka u jedinici vremena. Aktuelni laserski 3D-skeneri generišu i preko 40.000 tačaka u sekundi. To, u opštem slučaju (teoretski), doprinosi podizanju kvaliteta i efikasnosti procesa RE-modeliranja. Međutim, u praksi, ovakav ogroman broj tačaka, generisan u fazi 3D-digitalizacije, može predstavljati ozbiljan problem kasnije, u fazi generisanja CAD-modela [1]. Takođe, proces 3D-digitalizacije je neretko povezan i sa pojavom grešaka merenja, što zbog same prirode mernih sistema, što zbog karakteristika objekata koji se digitalizuju, odnosno subjektivnih grešaka rukovaoca [2,3].

Uzimajući u obzir prethodno, faza pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, koja obuhvata procese filtriranja grešaka, uravnavanja podataka i možda najsofisticiraniji proces redukcije podataka-tačaka, postaje nezaobilazna u gotovo svakom RE-sistemu [3,4]. U prilog prethodnoj tvrdnji govori i činjenica da je, poslednjih nekoliko godina, pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije vrlo česta tema naučno-istraživačkih radova, gde redukcija broja tačaka zauzima centralno mesto.

Kao rezultat toga, do sada je razvijen veliki broj sistema za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije, baziranih na različitim prilazima, koji su, pre svega, zavisni od metodologije RE, odnosno sistema za 3D-digitalizaciju kojima su namenjeni. To se odnosi na sva tri segmenta pre-procesiranja: *filtriranje*, *uravnavanje* i *redukovanje*, pri čemu ipak treba napomenuti da je redukovanje u većoj meri zavisno

od metodologije RE i tehnike 3D-digitalizacije. Drugim rečima, većina prilaza za filtriranje i uravnavanje mogu se uspešno primenjivati u sistemima za RE baziranim na različitim metodologijama, dok je to u slučaju redukovanja vrlo retko [1,4,5].

U mnoštvu razvijenih prilaza za redukovanje podataka-tačaka, mogu se identifikovati tri dominantne grupe prilaza za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije: *metode semplanja tačaka*, *metode redukovanja poligona* i *mrežne metode* [5,6].

Treba napomenuti da su, u cilju podizanja kvaliteta i efikasnosti procesa, sve češći pokušaji integracije metoda veštačke inteligencije u proces pre-procesiranja, odnosno pre svega redukovanja podataka-tačaka [1].

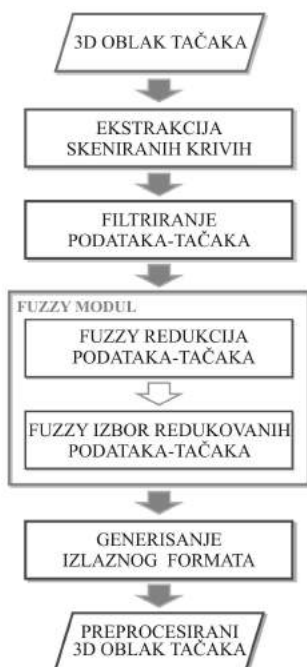
Redukcija tačaka kod "cross-sectional" metodologije RE, zasnovana je na tzv. sampling metodama, među kojima su najpoznatije: *prostorna*, *tetivna*, *ugaona* itd. [5,6]. Sve ove metode su zasnovane na različitim parametrima (na bazi kojih donose odluku o redukciji tačaka). Svaka od metoda pokazuje određene prednosti/nedostatke na različitim (skeniranim krivama u) oblicima tačaka. Drugim rečima, svaka od metoda je manje ili više efikasna (daje veći procenat redukcije uz manju grešku-odstupanje).

U okviru ovog rada je predstavljen programski sistem za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije, namenjen, prevashodno, sistemima za RE-modeliranja na bazi "cross-sectional" prilaza, u kom centralno mesto zauzima modul za redukciju podataka-tačaka zasnovan na fuzzy logici. Uzimajući u obzir ograničenost prostora, autori su akcent stavili na prikaz ukupnog modela sistema, uz detaljniji prikaz modula za redukovanje podataka tačaka prostornom metodom na bazi fuzzy logike.

2. MODEL SISTEMA ZA PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE NA BAZI FUZZY LOGIKE

Razvijeni sistem za pre-procesiranje podataka-tačaka na bazi fuzzy logike (radnog naziva *SiPreF*), prevashodno namenjen potrebama reverzibilnog inženjerskog modeliranja na osnovama „cross-sectional” metodologije, koncipiran je na modularnom principu (opšti model sistema je prikazan na slici 1), a čine ga:

- 1) Modul za ekstrakciju cross-sectional krivih
- 2) Modul za filtriranje grešaka (šuma) i uravnavanje podataka-tačaka
- 3) Modul za redukovanje podataka-tačaka na bazi fuzzy logike
 - 3.1) Pod-modul za redukovanje tačaka na bazi fuzzy logike zasnovan na dve metode semplovanja (tetiva i pravost)
 - 3.2) Pod-modul za izbor metode redukovanja na bazi fuzzy logike
- 4) Modul za generisanje izlaznog formata.



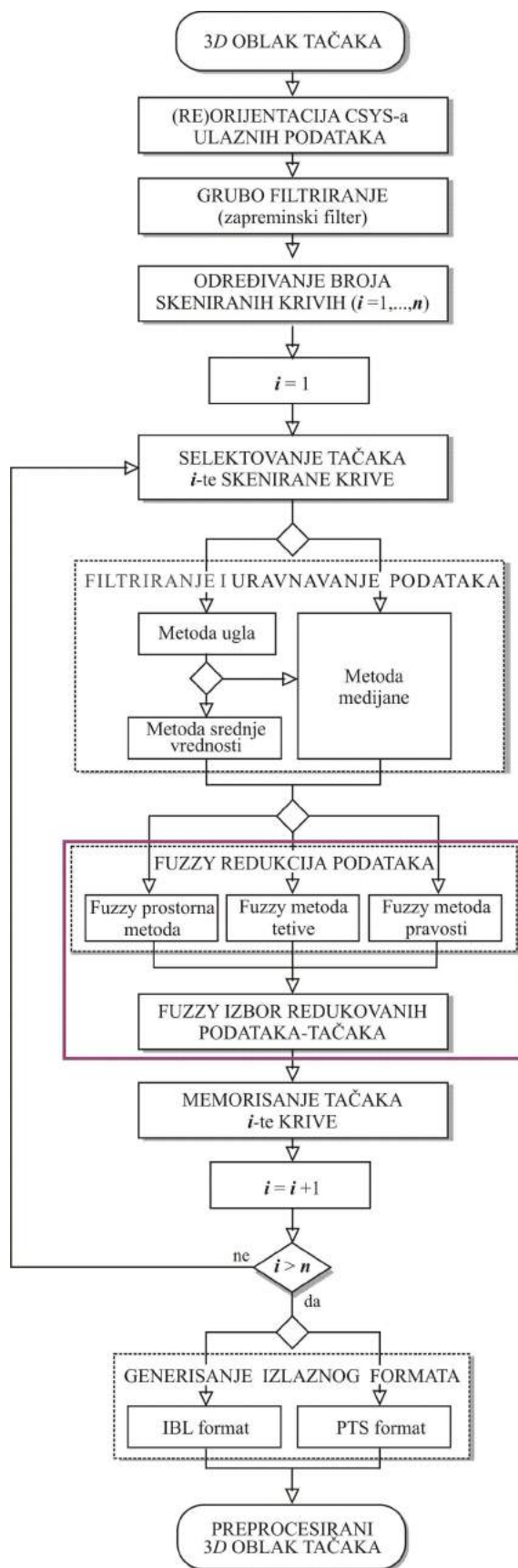
Slika 1. Opšti model sistema *SiPreF*

Kao osnova za razvoj sistema *SiPreF*, poslužio je sistem za klasično pre-procesiranje podataka-tačaka, koji je detaljno predstavljen u [7]. Osnovna unapređenja *SiPreF*-a, u odnosu na spomenuti osnovni sistem, su:

- razvoj i integracija modula za analizu devijacija koje se javljaju kao posledica redukcije, što je detaljnije opisano u [8];
- razvoj i integracija procedura za ravnomerniju distribuciju redukovanih podataka-tačaka, baziranih na promeni smera redukcije;
- razvoj i integracija procedura za odlučivanje o redukciji tačaka baziranih na fuzzy logici, u prostornu metodu, metodu tetive i metodu pravosti;
- razvoj i integracija modula za izbor metode redukovanja, kod konkretnih skeniranih krivih, na bazi procenta redukovanih tačaka, maksimalne i prosečne devijacije, zasnovan na fuzzy logici.

U realizaciji sistema za pre-procesiranje podataka-tačaka (*SiPreF*) korišćene su metode veštačke inteligencije,

konkretnije fuzzy logike, kao i softverski alati za klasično programiranje. *SiPreF* je razvijen u programskom okruženju *Matlab R2006*, a detaljniji algoritamski prikaz realizovanog programskog rešenja je dat na slici 2.



Slika 2. Algoritamski prikaz programskog rešenja sistema *SiPreF*

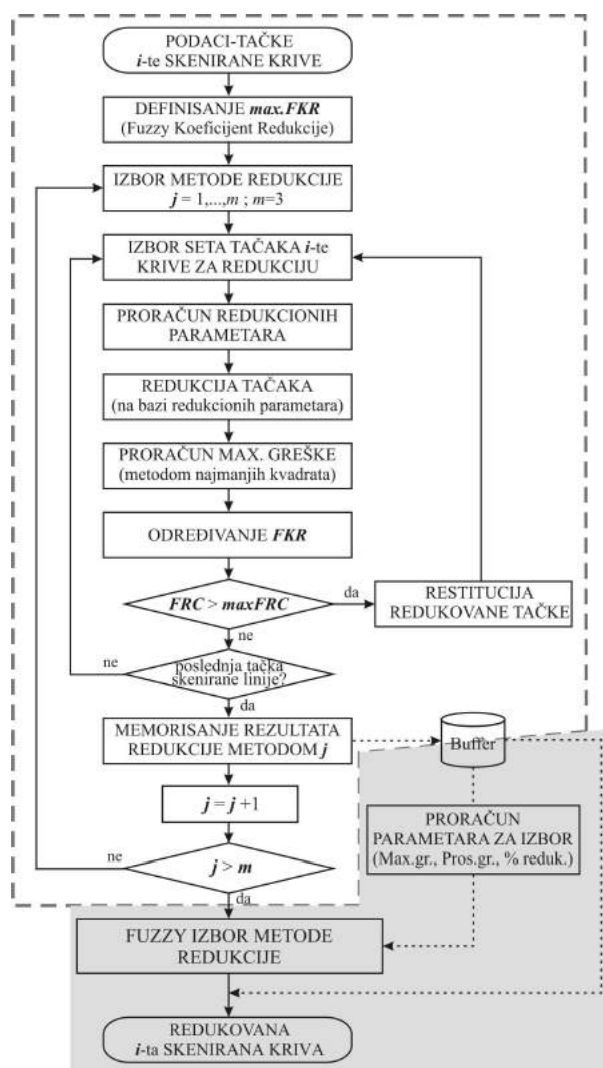
3. MODUL ZA REDUKOVANJE PODATAKA-TAČAKA NA BAZI FUZZY LOGIKE

Ovaj modul predstavlja središnji deo sistema *SiPreF*, zasnovan na, kao što i sam naziv sugeriše, fuzzy logici, a čine ga dva pod-modula:

- 1) pod-modul za redukovanje podataka-tačaka i
- 2) pod-modul za izbor optimalne metode za redukovanje podataka-tačaka.

Algoritamski prikaz razvijenog programskog rešenja ovog modula dat je na slici 3 i na njemu se mogu uočiti dve celine, odnosno prethodno navedena dva pod-modula – isprekidanom linijom je uokviren pod-modul za redukovanje podataka-tačaka, dok je osenčenim okvirom označen pod-modul za izbor optimalne metode za redukovanje podataka-tačaka.

Programsko rešenje je tako koncipirano da su pod-moduli nezavisne programske celine, integrisane povezivanjem ulaznih/izlaznih podataka.



Slika 3. Algoritamski prikaz pod-modula za redukciju podataka-tačaka

Osnovu pod-modula za redukciju podataka-tačaka na bazi fuzzy logike čine tri metode: *prostorna*, *tetivna* i *ugaona* (detaljno opisane u [7]), kod kojih su procedure za odlučivanje o redukciji podataka-tačaka unapređene primenom fuzzy logike. Izbor navedene tri metode je direktna posledica prethodne analize primene na većem broju različitih rezultata 3D-digitalizacije, dobijenih sa različitim, laserskih i

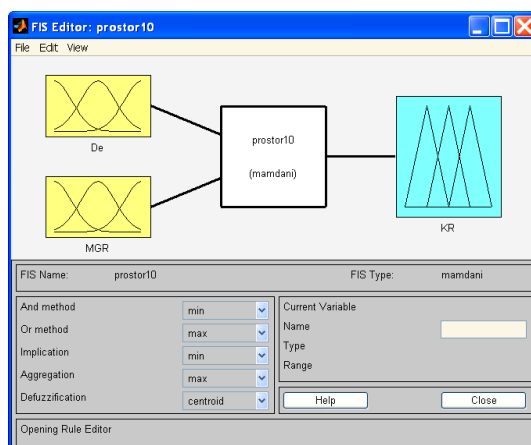
kontaktnih sistema, kroz koju su se navedene tri metode izdvojile od ostalih, korišćenih u prvobitnom sistemu.

Implementacija fuzzy logike u procedure odlučivanja spomenutih metoda, izvršena je u cilju unapređenja efikasnosti i kvaliteta procesa redukovanja podataka-tačaka, a istovremeno je ostvareno i pojednostavljenje upotrebe sistema od strane korisnika. U tom smislu, kao osnovni benefiti, implementacije fuzzy logike u procedure odlučivanja, mogu se navesti:

- poboljšanje odnosa % redukcije/maksimalna devijacija i
- značajno smanjenje nivoa prosečne devijacije.

Jednostavnost korišćenja razvijenog sistema je ostvarena kroz uvođenje sintetičkog parametra *KR* (*Koeficijent Redukcije*) u sve tri metode, tako da korisnik ne mora da poznaje (i unosi) parametre za svaku metodu pojedinačno.

Ulazni parametri u fuzzy procedure, na bazi kojih se dobija izlazni parametar *KR*, su parametri na kojima su zasnovane metode i maksimalna devijacija koja se javlja u slučaju redukcije određene tačke. Grafički prikaz fuzzy procedure implementirane u prostornu metodu, realizovan u *Matlab*-ovom specijalizovanom modulu za fuzzy logiku, prikazan je na slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz fuzzy procedure implementirane u prostornu metodu

Motivacija za razvoj pod-modula za izbor metode redukovanja na bazi fuzzy logike, leži u činjenici da spomenute tri metode pokazuju različite nivoe efektivnosti i efikasnosti kod primene na različitim skeniranim krivama (u smislu oblika i distribucije tačaka). Imajući prethodno u vidu, razvoj ovog pod-modula omogućava da se dodatno poveća kvalitet pre-procesiranja, odnosno redukcije ukupnog rezultata 3D-digitalizacije, pre svega kroz smanjenje nivoa devijacije i povećanja % redukovanih tačaka. Parametri na bazi kojih se, primenom fuzzy logike, sprovodi izbor metode su: % redukcije tačaka, maksimalna devijacija i prosečna devijacija.

4. PRIKAZ REZULTATA PRIMENE *SiPreF*-a

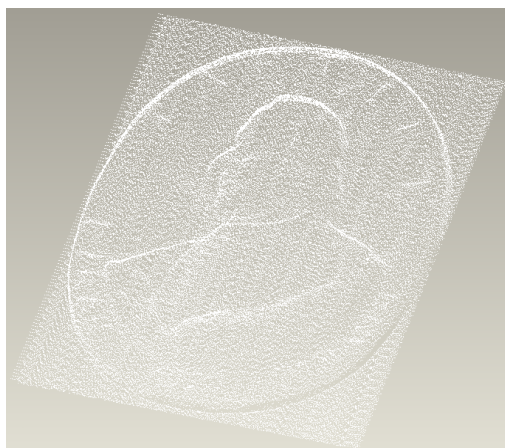
Funkcionalnost i efikasnost razvijenog sistema je verifikovana na primeru reljefaste površine medaljona (slika 5), koji je skeniran (digitalizovan) na kontaktnom 3D-digitaljzeru *Cyclon II - Renishaw*. S obzirom na složenost reljefaste površine, sprovedena je 3D-digitalizacija visoke rezolucije (0,1 mm po obe ose skeniranja), koja je rezultirala oblakom tačaka od ukupno 2.968.870 tačaka (slika 6), što ovaj primer čini idealnim za proveru sistema *SiPreF*. U okviru ovog rada, prikazan je rezultat pre-procesiranja *SiPreF*-om na bazi fuzzy prostorne metode sa koeficijentom redukcije $KR = 85$. Grafički prikaz rezultata je dat na slici 7, a brojčane vrednosti u Tabeli 1.



Slika 5. Polazni fizički model – medaljon sa portretom Tartinija



Slika 6. Rezultat 3D-digitalizacije fizičkog modela



Slika 7. Rezultat pre-procesiranja

Polazni br. tačaka	Pre-proc. br. tačaka	% redukcije	Max. greška [mm]	Prosečna greška [mm]
2.968.870	1.063.572	64,2	0,006157	0,000862

Tabela 1. Pregled osnovnih parametara pre-procesiranja

5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen sistem za pre-procesiranje rezultata 3D-digitalizacije, baziran na fuzzy logici, a namenjen primeni u sistemima za reverzibilno inženjersko modeliranje na bazi metodologije poprečnih preseka.

Prikazani su detaljni modeli ukupnog sistema, kao i modula za redukciju podataka-tačaka, koji predstavlja centralni i najkompleksniji deo sistema.

U radu su dati i praktični rezultati primene predstavljenog

sistema, na osnovu kojih je moguće izvesti zaključak da je razvijeni sistem, iako još uvek u probnoj fazi rada, pokazao zadovoljavajuće rezultate.

Buduća istraživanja će biti usmerena ka analizi odnosa parametara, odnosno odgovarajućih funkcija pripadnosti u fuzzy procedurama, sa ciljem finog podešavanja funkcionisanja samih metoda, kao i usaglašavanja nivoa koeficijentata redukcije između metoda.

6. LITERATURA

- [1] Wu J., Wang Q., Huang Y., Li Y.: *A Hybrid Fuzzy Heuristic for Point Data Reduction in Reverse Engineering*, The 2008 International Congress on Image and Signal Processing (CISP2008), pp 615-619, Sanya, Hainan, China, May, 2008.
- [2] Curless B.: *From Range Scans to 3D Models*, Computer Graphics, Vol 33, No 4, Nov 1999.
- [3] Sokovic M., Kopac J., *RE (Reverse Engineering) as necessary phase by rapid product development*, Proceedings of the 12th International Conference AMME 2003, pp. 825–830, Zakopane Poland, December, 2003.
- [4] Huang M.C., Tai C.C., *The pre-processing of data points for curve fitting in Reverse Engineering*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, pp. 635–642, 2000.
- [5] Chang D.Y., Chang Y.M., *A freeform surface modelling system based on laser scan data for Reverse Engineering*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ISSN1433-3015, Vol 20/1, pp. 9–19, July 2002.
- [6] Lee K.H., Woo H., Suk T., *Data reduction methods for reverse engineering*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, ISSN 1433-3015, Vol. 17 (10), pp. 735–743, May 2001.
- [7] Budak, I. ; Hodolič, J.; Soković, M.: *Development of a programme system for data-point pre-processing in Reverse Engineering*, Journal of Materials Processing Technology, ISSN 0924-0136, Vol. 162-1, str. 730- 735, 2005.
- [8] Budak, I.; Soković, M.; Hodolič, J.: *Implementation of innovative procedure for error estimation in cross-sectional data-point reduction in reverse engineering*, Proceedings of the 4th International Working Conference "Total Quality Management - Advanced and Intelligent Approaches", ISBN 86-7083-594-0, str. 201-206, Mechanical Engineering Faculty, Beograd, May, 2007.

NAPOMENA: U radu je prezentovan deo rezultata ostvaren u okviru realizacije projekta: "Razvoj sistema za reverzibilno inženjersko projektovanje proizvoda sa složenom geometrijom" iz programa Bilateralne naučno-tehnološke saradnje sa Slovenijom, Vlade R. Srbije, kao i projekta "Razvoj i izrada proizvoda na principima reverzibilnog inženjerstva" iz programa Tehnološkog razvoja, Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine.

Autori: Mr Igor Budak, Prof. dr Janko Hodolič, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: budaki@uns.ns.ac.yu

hodolic@uns.ns.ac.yu

Izr. prof. dr Mirko Soković, Prof. dr Janez Kopač, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, SI-1000 Ljubljana, Slovenija, Tel.: +386 1 4771 200, Fax: +386 1 2518 567.

E-mail: mirko.sokovic@fs.uni-lj.si

janez.kopac@fs.uni-lj.si

Čvokić, A., Sovilj, B., Radonjić, S., Sovilj-Nikić, I., Milenković, D.

AUTOMATIZACIJA ODREĐIVANJA KINEMATSKIH PARAMETARA ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Rezime: Kinematska geometrija alata za obradu rezanjem uzima u obzir realne uslove rada alata, tj. karakter relativnih kretanja između površina obratka, strugotine i kontaktnih površina alata. Drugim rečima, kinematski elementi reznog klina alata definišu međusobni položaj reznog klina alata, pravca toka strugotine i površina obratka u toku obrade.

U radu su izvedeni izrazi za odgovarajuće kinematske parametre alata za obradu rezanjem, a takođe je osmišljena i automatizacija njihovog određivanja.

Ključne reči: automatizacija, kinematski parametri, alati za obradu rezanjem

AUTOMATION OF DETERMINATION OF CUTTING TOOLS KINEMATICAL PARAMETERS

Abstract: Kinematical geometry of cutting tools takes into consideration the real working conditions of tool, i.e. character of relative motions among the working piece surfaces, chips and contact surfaces of the tool. Kinematical elements of the tool cutting edge define mutual position among the tool cutting edge, direction of the chips flow and the working piece surfaces during the processing.

In this paper expressions for kinematical parameters of cutting tools are derived. Also, the automation of determination of those parameters was created.

Key words: automation, kinematical parameters, cutting tools

1. UVOD

Obrada metala rezanjem zasniva se na kretanjima koja vrše rezni elementi alata u odnosu na obradak pri čemu sečiva alata, neprekidno ili periodično, prodiru u materijal obradka skidajući ga u vidu strugotine. Oblik i dimenzije obrađenih površina biće određeni oblikom i dimenzijama sečiva alata i zakonima njihovog relativnog kretanja u odnosu na obradak. Istraživanje zakona kretanja alata i obradka u toku procesa obrade i određivanje efektivnih geometrijskih parametara reznog dela alata predstavljaju predmet kinematike rezanja.

2. ANALIZA KINEMATSKIH PARAMETARA PROCESA REZANJA

Sva kretanja alata i obratka saopštena mehanizmima mašine alatke u procesu rezanja mogu se predstaviti principijelnim kinematskim šemama rezanja. Zavisno od primenjene kinematske šeme rezanja, u procesu obrade, rezni elementi alata kreću se u odnosu na površine obratka po trajektorijama relativnog kretanja. Trenje i habanje na kontaktnim površinama reznog klina alata (grudnoj i leđnoj površini) javljaju se u pravcima trajektorija relativnih radnih kretanja alata, obratka i strugotine, pa je potrebno u tim pravcima definisati radnu geometriju sečiva alata.

Kinematske šeme rezanja izražavaju apsolutna kretanja koja mehanizmi mašine alatke saopštavaju alatu i obratku u toku njihovog međusobnog kontakta u procesu obrade. Kretanja alata i obratka su pri tome, kod primenjenih kinematskih šema rezanja, elementarna: pravolinijska i kružna, jer ih je moguće jednostavno ostvariti.

U opštem slučaju kinematska šema rezanja ne poklapa se sa kinematskom šemom mašine. Naime, neka od kretanja koja se ostvaruju u kontaktu alata i obratka mogu biti složena, rezultat više kretanja na mašini, i sa druge strane kinematske šeme rezanja ne obuhvataju i kretanja praznih (pomoćnih)

hodova. Prema tome kinematske šeme rezanja obuhvataju samo ona apsolutna kretanja alata i obratka koja se vrše za vreme njihovog kontakta i koja imaju uticaj na oblikovanje obrađenih površina i radnu (kinematsku) geometriju alata. Jasno je da ta kretanja određuju i parametre režima rezanja, a time i habanje i postojanost alata, odnosno proizvodnost i ekonomičnost obrade.

Od praktičnog značaja su kinematske šeme rezanja sa: jednim, dva i tri kretanja. Veći broj kretanja se vrlo retko pojavljuje u obradi rezanjem. Na osnovu toga moguće je principijelne kinematske šeme rezanja svrstati u osam grupa, gde u svakoj grupi učestvuju određeni broj elementarnih kretanja, pravolinijskih i kružnih [2,4].

Pri primeni odgovarajuće kinematske šeme rezanja, ako se zna koja od elementarnih apsolutnih kretanja vrši alat, a koja obradak, i kakvi su odnosi njihovih brzina, mogu se definisati i trajektorije relativnih kretanja tačaka sečiva alata pa time i metod obrade.

Tehnološka složenost, tehnička i ekonomska celishodnost svakog metoda obrade zavise od sledećih kinematskih faktora:

- od broja, vrste i pravaca elementarnih kretanja kinematske šeme rezanja;
- od broja i karaktera pojavljivanja kretanja van ciklusa rezanja;
- od kombinacije u kojoj se elementarna kretanja saopštavaju alatu ili obratku;
- od odnosa linearnih ili ugaonih brzina elementarnih kretanja;
- od ravnomernosti ili neravnomernosti (prekidnosti) kretanja.

Istraživanje svih ovih faktora, kao što je rečeno, je predmet kinematike rezanja i predstavlja osnovu za definisanje stvarne – optimalne geometrije tela i sečiva alata, sa ciljem da se obezbede dve osnovne funkcije alata (odnosno procesa rezanja): oblikovanje zadatih obrađenih površina obratka i obezbeđenje optimalnih uslova odvijanja procesa rezanja.

U obradi skidanjem materijala rezanjem, oblik i mere obrađenih površina obratka određeni su oblikom i merama reznih sečiva alata i njihovim relativnim kretanjem u odnosu na obradak u procesu obrade. Pri tome telo alata u toku procesa rezanja dodiruje obrađenu površinu obratka, pa se sečiva alata moraju nalaziti na konturnoj površini tela alata koju nazivamo *izvornom površinom*. Izvorna površina alata ili njegovo sečivo obrazuju obrađenu površinu obratka, zahvaljujući njihovom rezultujućem relativnom kretanju u odnosu na obradak, a koje odgovara primenjenoj kinematskoj šemi rezanja. Međutim, za obrazovanje oblika i mera obrađene površine, sa alatom određene izvorne površine, nisu merodavna sva, kinematskom šemom rezanja obuhvaćena, kretanja. Zbog toga je za određivanje oblika obrađene površine, zadatom izvornom površinom alata, i obrnuto, za određivanje izvorne površine alata za oblikovanje zadate obrađene površine, potrebno definisati *kinematsku šemu oblikovanja površina*.

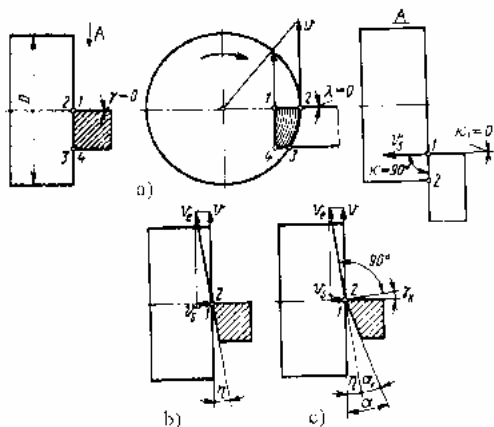
3. ANALIZA KINEMATSKIH PARAMETARA REZNOG KLINA STRUGARSKOG NOŽA PRI UZDUŽNOJ OBRADI

Obrada struganjem je zasnovana na četvrtoj grupi kinematskih šema rezanja, gde učestvuju dva elementarna kretanja, kružno i pravolinijsko.

Rezultujuća trajektorija istovremeno dejstvujućih kretanja, glavnog i pomoćnog, je zavojna trajektorija rezultujućeg kretanja rezanja. Ugao njenog uspona η može se izraziti jednačinom:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{ns}{1000v} = \frac{s}{\pi D} \quad (1)$$

U osnovi, nož za struganje može imati najjednostavniji konstrukcioni oblik predstavljen telom pravougaonog preseka (slika 1.).



Slika 1. Šema formiranja kinematskih uglova α_k i γ_k na strugarskom nožu

Ugaoni geometrijski parametri reznog klina alata, u procesu rezanja, a takođe i ravni u kojima se oni mere, ne podudaraju se sa onima koji su obeleženi na radioničkom crtežu alata. Zbog toga je neophodno uspostaviti vezu između statičkih ugaonih veličina, datih na radioničkom crtežu alata, i kinematskih ugaonih veličina, kada se sečivo alata relativno kreće u odnosu na obradak po površini rezanja saglasno kinematskoj šemi rezanja. Tu vezu uspostavlja *kinematika rezanja*, koja se bavi ispitivanjem zakona relativnih kretanja i sa njima povezanih ugaonih geometrijskih parametara reznog klina alata, koristeći pri tome zakone matematike i mehanike.

Prema tome kinematika rezanja ispituje:

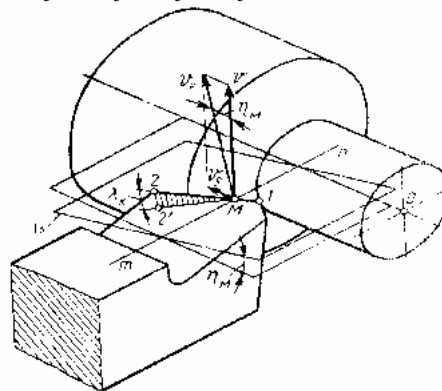
- zakonitosti sabiranja vektora, koji karakterišu sva elementarna kretanja saopštena, alatu i obratku kada se oni

nalaze u uzajamnom kontaktu, od strane mehanizama mašine.

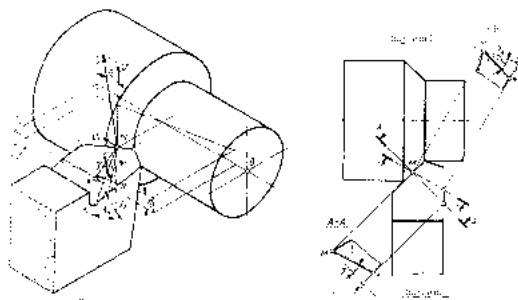
- kvalitativno i kvantitativno ocenjuje rezultate takvog sabiranja.

Vrednosti uglovnih kinematskih parametara, strugarskog noža za uzdužno struganje, se definišu na sledeći način:

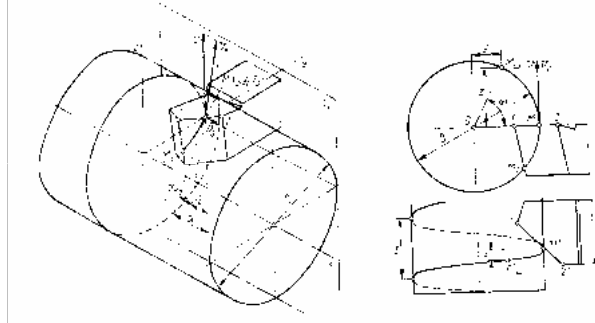
- *Kinematski napadni ugao* κ_k , je ugao između glavnog sečiva noža i pravca vektora brzine pomoćnog kretanja \vec{V}_s .
- *Kinematski pomoćni napadni ugao* $\kappa_{k'}$, je ugao između pomoćnog sečiva noža i pravca vektora brzine pomoćnog kretanja \vec{V}_s .
- *Kinematski ugao nagiba* λ_k , je ugao između glavnog sečiva i ravni koja je normalna na vektor brzine rezultujućeg kretanja rezanja \vec{V}_e . Na slici 2. prikazan je nož kod koga je glavno sečivo 1 – 2 izbrušeno pod uglom $\lambda=0$ i postavljeno je na suprotu struga u visini ose obrtanja obratka.
- *Kinematski grudni ugao* γ_k , je ugao između ravni koja je normalna na vektor rezultujućeg kretanja rezanja \vec{V}_e i grudne površine u pravcu klizanja strugotine po njoj.
- *Kinematski leđni ugao* α_k , je ugao između prave na kojoj leži vektor brzine rezultujućeg kretanja \vec{V}_e i tangente na trag preseka glavne leđne površine sa površinom trajektorije (u slučaju zavojne trajektorije – cilindrom).



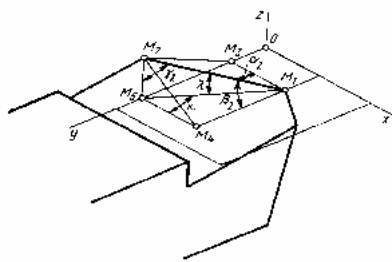
Slika 2 Kinematski ugao nagiba glavnog sečiva λ_k



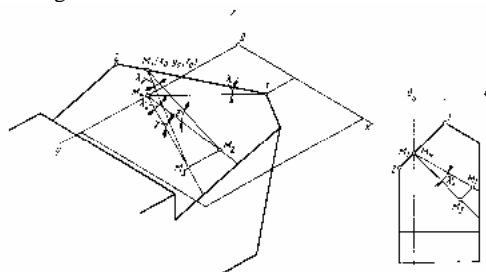
Slika 3. Kinematski grudni ugao γ_k



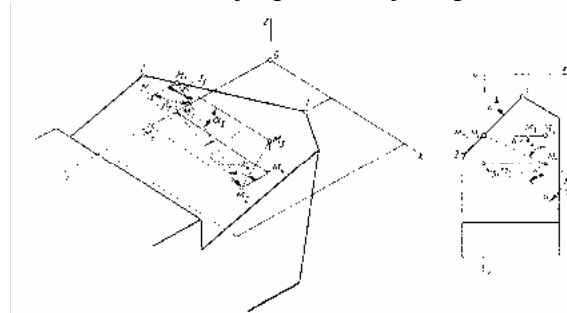
Slika 4. Kinematski leđni ugao α_k



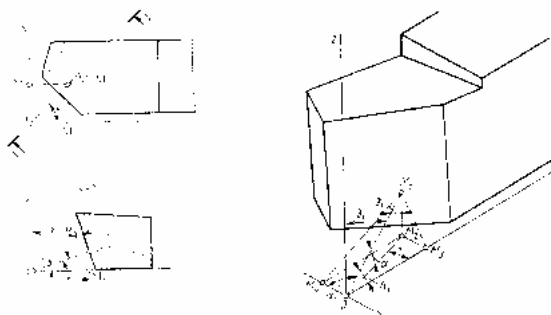
Slika 5. Šema definisanja kosinusa pravca pravolinijskog glavnog sečiva



Slika 6. Šema definisanja ugla λ_k klizanja strugotine



Slika 7. Šema definisanja kosinusa pravca linije po kojoj klizi strugotina



Slika 8. Šema definisanja kosinusa pravca normale na glavnu leđnu površinu

Na osnovu prethodnih definicija kinematskih parametara alata za obradu uzdužnim struganjem i datih skica određeni su sledeći izrazi:

$$\begin{aligned} \sin \lambda_k &= \cos \kappa \cos \lambda \sin \eta - \sin \kappa \cos \lambda \sin \rho \cos \eta + \sin \lambda \cos \eta \cos \rho \\ \sin \gamma_k &= \sqrt{1 - \sin^2 \gamma \cos^2 \lambda_k} \left[\sin(\kappa + \lambda'_k) \sin \eta + \cos(\kappa + \lambda'_k) \cos \eta \sin \rho \right] + \\ &+ \sin \gamma \cos \lambda_k \cos \eta \cos \rho \end{aligned} \quad (2)$$

$$\cos \alpha_k = \frac{D \sin \kappa + \frac{s}{\pi} (tg \alpha \cos \rho - \cos \kappa \sin \rho)}{\sqrt{\sin^2 \kappa + (tg \alpha \cos \rho - \cos \kappa \sin \rho)^2} \sqrt{D^2 + \left(\frac{s}{\pi}\right)^2}}.$$

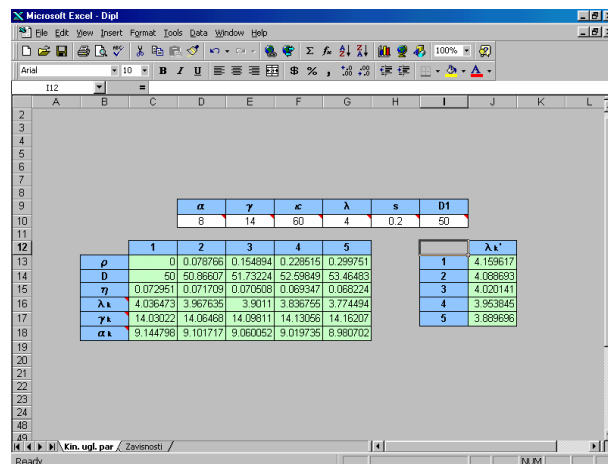
4. AUTOMATIZACIJA PRORAČUNA KINEMATSKIH UGLOVNIH PARAMETARA

STRUGARSKOG NOŽA ZA UZDUŽNO STRUGANJE

Teorijska razmatranja prethodno izneta iskorišćena su za kreiranje modela za automatizovani proračun kinematskih uglovnih parametara strugarskog noža za uzdužno struganje. Automatizacija proračuna je izvršena uz pomoć programa *MICROSOFT EXCEL*. U njemu je kreirana *radna sveska* koja se sastoji od dva *radna lista*.

Prvi radni list je nazvan *kinematski uglovni parametri* (slika 9.) i u njemu je predviđeno da se unesu sledeći podaci:

- statička geometrija strugarskog noža za uzdužno struganje ($\alpha, \gamma, \kappa, \lambda$);
- vrednost pomoćnog kretanja (pomaka) s ;
- prečnik D_1 kruga na kome se nalazi vrh noža.



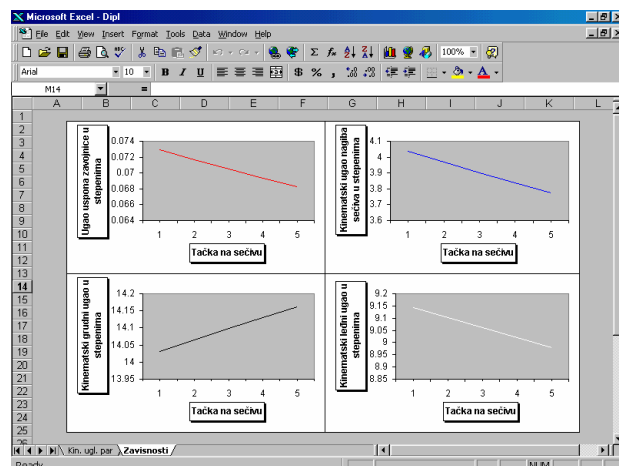
Slika 9. Izgled EXCEL-ovog programskog prozora sa otvorenim prvim radnim listom

Na osnovu unetih podataka program automatski izračunava vrednosti:

- ugla uspona zavojne trajektorije η ;
- kinematskog ugla nagiba λ_k ;
- kinematskog grudnog ugla γ_k ;
- kinematskog lednog ugla α_k .

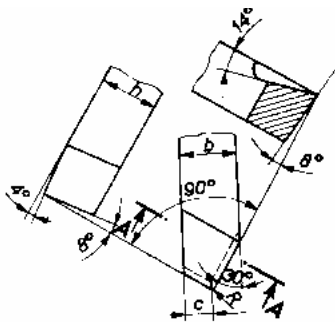
Ove vrednosti se izračunavaju u pet tačaka (1, 2, ... 5). Prva tačka (vrh noža) se nalazi na prečniku D_1 i leži u visini ose obrtanja obratka. Ostale tačke su raspoređene niz sečivo u smeru udaljavanja od ose obratka.

Drugi radni list je nazvan zavisnosti. U njemu su prikazani dijagrami promena uglovnih parametara η , λ_k , γ_k i α_k u zavisnosti od tačke na sečivu (1, 2, ... 5) (slika 10.).



Slika 10. Izgled EXCEL-ovog programskog prozora sa otvorenim drugim radnim listom

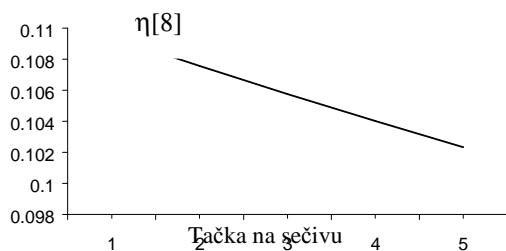
Primena modela za automatizovani proračun kinematskih uglovnih parametara noža za uzdužno struganje sa statičkom geometrijom dato na slici pri $s = 0.3 \text{ mm/o}$ i $D_1 = 50 \text{ mm}$.



Slika 11. Statički uglovni parametri strugarskog noža

	1	2	3	4	5
ρ	0	0.078766	0.154894	0.228515	0.299751
D	50	50.86607	51.73224	52.59849	53.46483
η	0.109427	0.107564	0.105763	0.104021	0.102335
λ_k	4.054708	3.985558	3.918722	3.854085	3.791542
γ_k	14.06274	14.09662	14.12948	14.16139	14.19237
α_k	9.108322	9.065863	9.024798	8.985062	8.94659

Tabela 3 Kinematski uglovni parametri u pet tačaka sečiva



Slika 12. Dijagram promene ugla η u funkciji tačaka na sečivu

5. ZAKLJUČAK

U obradi metala rezanjem efektivnost procesa rezanja zavisi od oblika i položaja reznog klina alata prema površini rezanja i obrađenoj površini obratka.

Kinematska geometrija u opštem slučaju se ne poklapa sa statičkom geometrijom, ali između njih postoji određena stroga matematička zavisnost, koja je iskorišćena pri

kreiranju modela za automatizovani proračun kinematskih uglovnih parametara strugarskog noža za uzdužno struganje

Matematička zavisnost statičke i kinematske geometrije alata za obradu rezanjem, omogućava da se na osnovu utvrđene optimalne kinematske geometrije (eksperimentalno obzirom na mehaniku procesa rezanja, postojanost alata, tačnost i sl.) odredi i izradi odgovarajuća optimalna statička geometrija alata za obradu rezanjem.

6. LITERATURA

- [1] Brunis, D.H., Dräger, H.J.: *Werkzeuge und Werkzeugmaschinen für die spanende Metallbearbeitung*, Car Hanser Verlag, München Wien, 1975
- [2] Čvokić, A.: *Analiza kinematske geometrije alata za obradu rezanjem*, FTN Novi Sad, 2000.
- [3] Грановский, Г. И.: *Кинематика резания*, Машгиз, Москва, 1948
- [4] Грановский, Г. И., Грановский, В. Г.: *Резание металлов*, Высшая школа, Москва 1985.
- [5] Ящерицкин, П. И., Ерменко, М. Л., Жигалко, Н. И.: *Основы резания материалов и режущий инструмент*, Высшая школа, Минск, 1981.
- [6] Kimer, J.: *Tehnološki postupci i alati I deo-Alati za obradu rezanjem*, Novi Sad, 1973.
- [7] Семенченко, И. И., Матюшин, В. М., Сахаров, Г. Н.: *Проектирование металлорежущих инструментов*, Машгиз, Москва, 1962.
- [8] Sovilj, B.: *Profilni noževi*, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1995.

Autori: Aleksandar Čvokić, *dipl.ing.*, Unimet d.o.o., Delfe Ivanića 51. 21241 Kač, Sbjia, Tel.: +381 21 711-410, Fax.: +381 21 711-061

Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić Phd student, Đorđe Milenković, dipl.ing., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 485-133

Prof. dr Snežana Radonjić, Univerzitet u Kragujevcu, Tehnički Fakultet u Čačku, Svetog save 65, 32000 Čačak, Tel.: +381 32 302-763 Fax.: +381 32342-101

E-mail: aca@unimet.co.yu

bsovilj@uns.ns.ac.yu

snezar@tfc.kg.ac.yu

diomed17@gmail.com

milenkovic_djordje@yahoo.com

Rad je nastao u okviru projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Grujić, J., Živković, A., Zeljković, M., Gatalo, R.

RAČUNARSKO MODELIRANJE PONAŠANJA TELA PROTEZE ZGLOBA KUKA

Rezime: U radu je prikana računarska i eksperimentalna analiza tela proteze zgloba kuka. Računarskom analizom primenom metode konačnih elemenata je određeno naponsko stanje i stanje deformacije. Na taj način je određeno i mesto kritičnog preseka, kao i naponsko stanje u kritičnom preseku. Eksperimentalnim ispitivanjem je određeno naponsko stanje na fizičkom modelu tela proteze zgloba kuka primenom mernih traka.

Ključne reči: telo proteze zgloba kuka, metoda konačnih elemenata, eksperimentalna ispitivanja

COMPUTER MODELING OF THE JOINT SHELLBONE BODY PROTHESIS BEHAVIOUR

Rezime: In this paper present computer and experimental analysis of the joint shellbone body prothesis. Stress and deformations stay are obtain computer analysis by finite element method. In this way is determinate and area critical cross section, stress stay in critical cross section. Stress stay on real model of the joint shellbone body prothesis is obtain with experimental analysis by measurements strip.

Key words: joint shellbone body prothesis, finite element method, experimental analysis

1. UVOD

U savremenoj medicini sve su izražajniji zahtevi za uspostavljanje funkcije ljudskih organa koji su oštećeni degenerativnim promenama, teškim oboljenjima ili povredama. Ovo se naročito odnosi na probleme vezane za ekstremitete, kako za koštano zglobni sistem i potrebu za ugradnjom implantata, tako i za potpunu zamenu izgubljenih delova ekstremiteta nadogradnjom protetičkih komponenti. Primenom implantata i protetičkih komponenti ostvaruje se davnašnja želja medicinske misli da se oboleli ili oštećeni deo ljudskog tela zameni u potpunosti funkcionalno i estetski.

Usled mehaničkog uticaja, opterećenja i kretanja, svi organi, a naročito koštani sistem, izgrađeni su tako da sa minimumom materijala ostvare maksimalnu funkciju. Znači, koštani sistem se stalno prilagođava mehaničkim uticajima. Taj proces prilagođavanja se ostvaruje hipertrofijom i atrofijom i predstavlja osnovni biološki zakon (Artur-Shulz), tj. prilagođavanje organa na funkciju izvršavanjem funkcije (feedback).

Uz određenu aproksimaciju može se reći da su za koštani sistem mehanička svojstva, masa, sila, ravnoteža, kretanje, naprezanja slični kao u mehanici čvrstog tela. Zbog toga i nije slučajno koštano zglobni sistem najpogodniji biomehanički istraživački objekat i aktuelna interesna sfera stalnih istraživanja, a naročito zglob kuka.

Razvojem računarske tehnike stvoreni su bolji uslovi za razvoj novih implantata, analizom njihovog ponašanja i izradu. Savremenim programskim sistemima je moguće modelirati implantate i protetičke elemente, izvršiti proračune i provere, simulirati funkcionalnost. Sve ovo je u funkciji omogućavanja normalnog života i rada pacijentima sa ugrađenim implantatima i protetičkim elementima.

U kliničkoj praksi dolazi do pojave loma tela proteze zgloba kuka (stema) (slika 1). Učestanost ove pojave iznosi $0,5 \pm 0,25$ %. Ovo predstavlja dramatičan događaj kako za korisnika proteze-bolesnika, tako i za hirurga koji je ugradio-implantirao, protezu, kao i za proizvođača i konstruktora proteze zgloba kuka. Lom tela proteze se smatra kasnom komplikacijom.



Slika 1 Prelom tela proteze



2. BIOMEHANIKA ZGLOBA KUKA

Sam zglob kuka je izložen stalnom dejstvu gravitacionih i antigravitacionih (mišićnih) sila. Pri kretanju čoveka karakteristična su dva slučaja oslanjanja:

- oslanjanje na dve noge, bipedalni oslonac
- oslanjanje na jednoj nozi, monopedalni oslonac

2.1 Bipedalni oslonac

U ovoj fazi hoda masa gornjeg dela tela raspoređena je na obe noge. Kuk tzv. zadnje noge je u ekstenziji, a prednje u fleksiji. Kolena su u početku faze ispružena, da bi se kasnije blago savijala. Stopalo zadnje noge upire o podlogu prednjim delom i palcem, a stopalo prednje noge u početku upire petom, a na kraju potpuno. Povećanjem površine kontakta prednjeg stopala smanjuje se površina kontakta zadnjeg sve do odvajanja palca od podloge [1].

Biomehaničkom analizom zaključeno je da prednja noga pre kontakta petom o podlogu nije bila opterećena silom težine tela. Od trenutka kontakta pa sve do potpunog oslanjanja na stopalo odvija se proces preuzimanja sile težine tela sa druge noge. Znači, noga od oslanjanja petom do punog oslonca stopalom pređe fazu od neopterećene noge do faze punog opterećenja [1].

2.2 Monopedalni oslonac

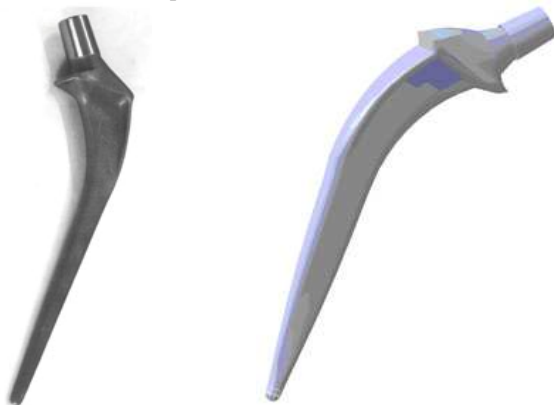
U fazi monopedalnog oslonca kuk noge preuzima masu trupa i druge noge oko 80% opterećene, što se sa masom te noge prenosi na stopalo u iznosu blizu 100% ukupne mase čoveka. Nameće se ideja da je kuk slobodne noge u fazi ljučenja opterećen masom te noge (oko 20% ukupne mase), ali na ekstenziju. To bi bio logičan zaključak ako bi se telo čoveka posmatralo kao prost mehanički sistem. S obzirom da je uloga mišića u procesu hodanja vrlo složena, mišljenja naučnika o rasterećenju kuka slobodne noge su vrlo različita.

Ako se posmatra stanje kada je oslonac na celom stopalu, gravitaciona sila odnosno masa čovečijeg tela više ne prolazi kroz osu, nego se pomera ka onom ekstremitetu koji je u vazduhu, za oko 25 [mm] od središnje linije i deluje nadole. Time se i krak poluge do centra rotacije glavice femura (butne kosti) noge koja je oslonac povećava na 110 [mm]. Da bi karlica ostala u horizontalnom položaju, dolazi do kontrakcije mišića čija rezultantna sila ima pravac pod uglom od 21 [°] u odnosu na osu tela i smer nadole..

3. MODELIRANJE PROTEZE ZGLOBA KUKA

3.1 Model tela proteze zgloba kuka

Na osnovu podataka o veličini raspoloživog biološkog prostora za ugradnju tela proteze zgloba kuka u proksimalni deo femura, modelirana je proteza zgloba kuka pod komercijalnim nazivom BB2 (slika 3). Na slici 2 je prikazan fizički model tela proteze kuka.



Slika 2. Fizički model tela proteze kuka

Slika 3. Računarski model tela proteze kuka

3.2 Definisanje opterećenja i ograničenja tela proteze kuka

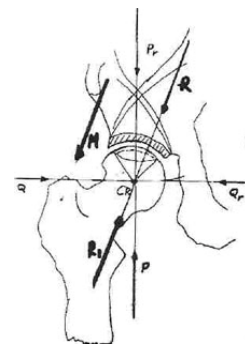
Telo proteze zgloba kuka ima zadatak da prenese sile koje se javljaju u zglobo kuka na okolno koštano tkivo femura. Sile reakcija (slika 4) u kuku se javlja u vidu jedne vertikalne komponente R_V , jednake polovini sile G_2 i horizontalne komponente R_H nastale kontrakcijom mišića M. Znači, reakcija kuka R (slika 5) nije strogo vertikalna već iskošena za izvesni ugao ϕ .

Telo čoveka pri stajanju je u ravnoteži, a to znači da svaka komponentna sila ima svoju ravnotežnu silu. Na osnovu toga se zaključuje da je kuk u ovom slučaju opterećen i određenom horizontalnom silom. Veličina horizontalne komponente R_H prvenstveno zavisi od mase tela, a takođe i od dimenzija i oblika karlice i kukova.

Veličina ugla ϕ , odnosno horizontalne komponente R_H je relativno mala, pa se može reći da je sila koja opterećuje kuk R približno jednaka vertikalnoj komponenti R_V . To upravo predstavlja najmanju vrednost pri statičkom opterećenju kuka.

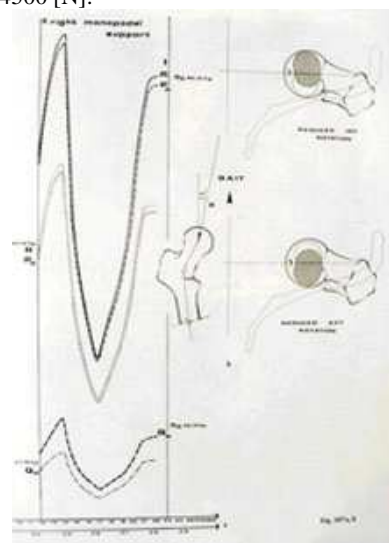


Slika 4. Šema razlaganja sile u zglobo kuka i zone opterećenja



Slika 5. Rezultantne sile u zglobo kuka

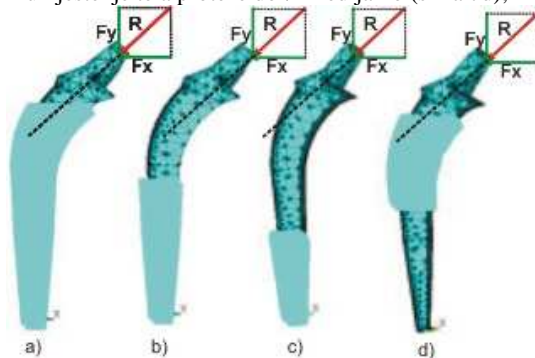
Na osnovu dijagrama (slika 6) je određena horizontalna i vertikalna komponenta kao i rezultantna sila u zglobo kuka u zavisnosti od faze koraka za masu ljudskog tela od oko 100 kg, što odgovara redukovanom opterećenju zglobo kuka od približno 4500 [N].



Slika 6. Dijagram promene sile kuka, u zavisnosti od faze koraka

Izbor visine uklještenja (ograničenja) je definisan na osnovu kliničkog iskustva posmatranjem pojave razlabavljenja tela proteze zgloba kuka i to za četiri različita slučaja:

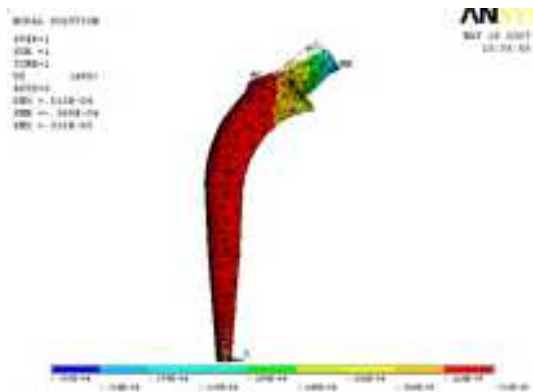
- uklještenje tela proteze kuka po celoj dužini, do kolara (kragne) (slika 7a);
- ulještenje tela proteze kuka do 1/2 dužine distalno (slika 7b);
- uklještenje do 1/3 tela proteze kuka (slika 7c);
- uklještenje tela proteze do 1/2 medijalno (slika 7d);



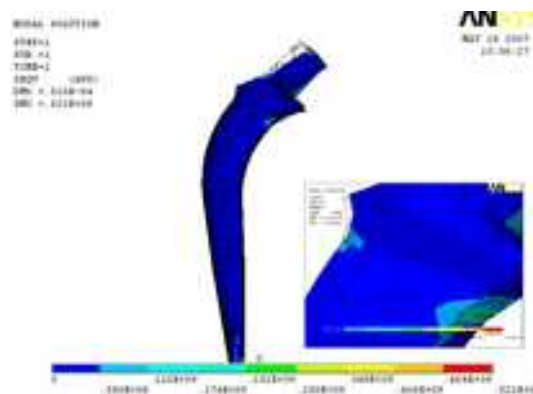
Slika 7. Prikaz analiziranih ograničenja i opterećenja na telu proteze zgloba kuka

4. PRIKAZ REZULTATA RAČUNARSKOG MODELIRANJA

Na osnovu stanja deformacija i naponskog stanja uklještenja tela proteze kuka po celoj dužini, do kolara, može se konstatovati da su maksimalne deformacije (slika 8) od oko 30 [μm] na proksimalnom delu proteze, a da su maksimalni naponi od 460 do 500 [MPa] i javljaju se neposredno ispod kolara proteze (slika 9), što se u kliničkoj praksi manifestuje kao resorpcija koštane mase neposredno ispod kolara.

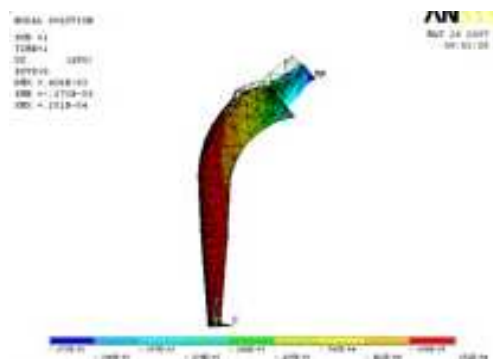


Slika 8 Prikaz maksimalnih pomeranja tela proteze kuka pri uklještenju po celoj dužini, do kolara

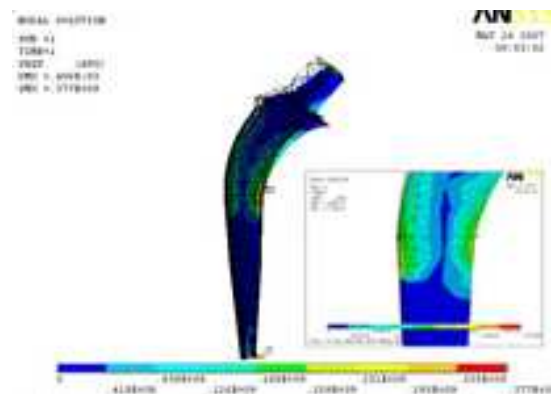


Slika 9 Prikaz maksimalnih Von/Misses-ovih napona tela proteze kuka pri uklještenju po celoj dužini, do kolara

Pri ulještenje tela proteze kuka do 1/2 dužine distalno zaključeno je da su maksimalne deformacije (slika 10) u proksimalnom delu proteze i iznose oko 27 [μm], a maksimalni naponi (slika 11) na lednoj površini tela proteze i kreću se u granicama od 330 do 370 [MPa]. Ovo je ujedno i kritičan presek gde se mogu pojaviti inicijalne prskotine usled zamora materijala.



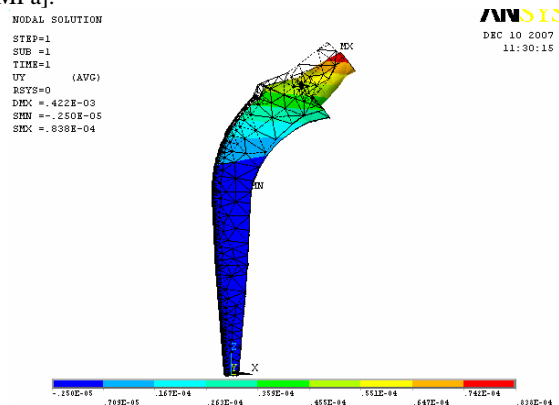
Slika 10 Prikaz maksimalnih pomeranja tela proteze kuka pri uklještenju do 1/2 dužine distalno



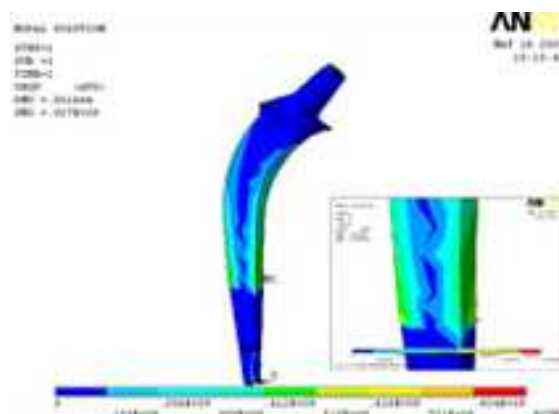
Slika 11 Prikaz maksimalnih Von/Misses-ovih napona tela proteze kuka pri uklještenju do 1/2 dužine distalno

Maksimalne deformacije (slika 12) od 80 [μm] pri uklještenje do 1/3 tela proteze kuka se i u ovom slučaju javljaju na proksimalnom delu proteze, dok se kritični naponi (slika 13) od 900 MPa javljaju ispod 1/2 tela proteze i to je kritičan presek gde se mogu pojaviti inicijalne prskotine usled zamora materijala. Usled velikih deformacija, opasnost od loma proteze usled zamora materijala je visoka.

Maksimalni naponi na lednoj površini proteze kuka (što odgovara mestu eksperimentalnog ispitivanja) iznose oko 412 [MPa].

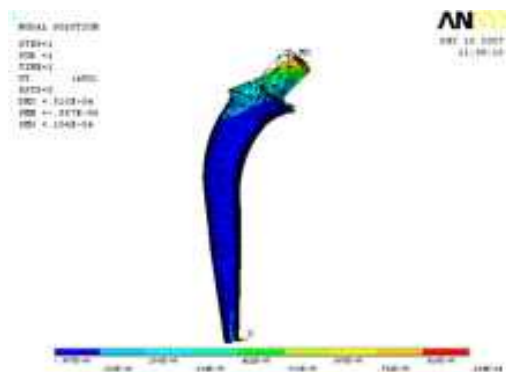


Slika 12 Prikaz maksimalnih pomeranja tela proteze kuka pri uklještenju do 1/3 tela proteze kuka

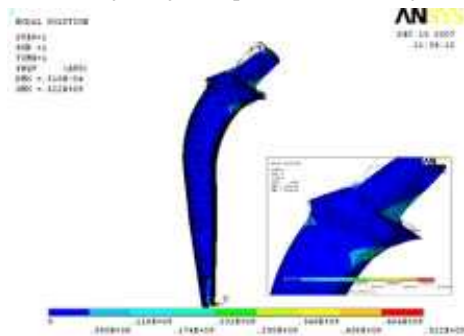


Slika 13 Prikaz maksimalnih Von/Misses-ovih napona tela proteze kuka pri uklještenju do 1/3 tela proteze kuka

U slučaju uklještenje tela proteze do 1/2 medijalno, proksimalni i distalni delovi proteze su slobodni, razlabavljeni, što ima za posledicu da su maksimalne deformacije oko 104 [μm] (slika 14), u proksimalnom i delom na distalnom delu proteze, dok su maksimalni naponi oko 500 [MPa] (slika 15).



Slika 14 Prikaz maksimalnih pomeranja tela proteze kuka pri uklještenju tela proteze do 1/2 medijalno



Slika 15 Prikaz maksimalnih Von/Mises-ovih napona tela proteze kuka pri uklještenju tela proteze do 1/2 medijalno

5. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA NAPONSKOG STANJA

5.1 Eksperimentalni model

U cilju eksperimentalnog određivanja stvarnog naponskog stanja u kritičnom preseku tela proteze zgloba kuka, korišćene su merne trake LY 1x 3/120, „HBM“. Merne trake su zalepljene na telo proteze zgloba kuka pomoću lepila tip Z-20. Jedna traka je postavljena na leđnoj površini tela proteze, lateralno, na mestu kritičnog preseka, a druge dve na bočnim stranama u istoj visini (slika 16).

Telo proteze je do 1/3 dužine uliveno, ankerisano distalno, u čelični nosač sa epoksidnom smolom

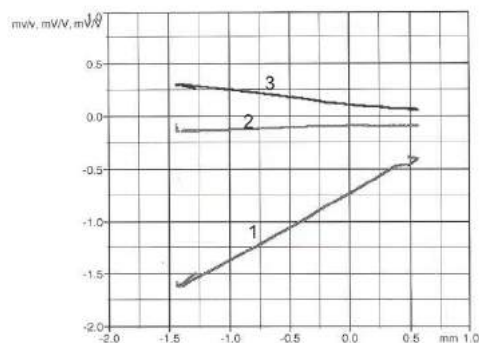


Slika 16. Raspored postavljenih mernih traka na telo proteze

Merenje promene napona na mernim trakama koje je nastalo usled deformacije tela proteze pod dejstvom opterećenja, urađeno je uz pomoć uređaja DMC, a veličina deformacije merena je pomoću davača pomeranja tip W103.

5.2 Analiza rezultata eksperimentalnih ispitivanja

Na osnovu merenja, dobijen je dijagram (sl. 17), iz kojeg se vidi da se napon na leđnoj površini (1), na kritičnom preseku, linearno povećava sa povećanjem opterećenja, a na bočnim stranama (2,3) je skoro zanemariva promena napona, koja odgovara naponskom stanju teorijskog modela simuliranog na računaru, metodom konačnih elemenata.



Slika 17. Dijagram promene napona u mernim trakama usled deformacija

Na osnovu dijagrama (slici 17) i poznatih relacija za Hukov zakon se lako može izračunati maksimalni napon na leđnoj površini tela kuka i on iznosi 420 [MPa], što odgovara veličini napona dobijenog metodom konačnih elemenata. Greška proračuna metodom konačnih elemenata u ovom slučaju iznosi – 1,94 [%].

6. ZAKLJUČAK

U radu su na osnovu biomehničke analize i kliničke prakse, određeni granični uslovi, pravac i veličina rezultantne sile koja deluje u zglobu kuka, kao i načini uklještenja, ankerisanja tela proteze zgloba kuka.

Pri ovako određenim graničnim uslovim, definisan je računarski model tela proteze zgloba kuka. Metodom konačnih elemenata određeno je naponsko stanje i stanje deformacija kod tela proteze zgloba kuka.

Položaj kritičnog preseka na računarskom modelu tela proteze zgloba kuka i mesto loma poznato iz kliničke prakse, se približno podudara.

Eksperimentalno određeni naponi metodom mernih traka na mestu kritičnog preseka pri uklještenju do 1/3 tela proteze kuka su vrlo bliski sa naponom koji je izračunat metodom konačnih elemenata i iznosi oko 400 [MPa].

7. LITERATURA

- [1] Mombelli, R.: *Osteoarthritis of the hip springen verlag*, New York, 1983..
- [2] Zlatić, M., Radojević, B.: *Degenerativna oboljenja kuka i hirurško lečenje*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [3] Grujić, J., Sovilj, B., Krklec, V., Vukelić, B.: *Analiza triboloških procesa veštačkog zgloba kuka*, Zbornika radova, Savetovanje tribologije, Kragujevac, 1992.
- [4] Grujić, J., Novaković, D., Jakovljević, M., Gerić, K., Gatalo, R.: *Korišćenje savremene računarske tehnike u modeliranju delova ljudskog tela i protetičkih komponentata*, Zbornik radova, Medicinska informatika-monografija, Novi Sad, 1994. str. 203, ISBN 86-7197-103-1
- [5] Grujić, J.: *Računarsko modeliranje i eksperimentalno ispitivanje tela proteze zgloba kuka*, magistarska teza u pripremi, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [6] Orlić, D., Domazet, N., Jovanović, S.: *Morfometrijska analiza acetabuluma u bolesnika s oštećenim zglobovima kuka*, Zbornik radova, JUREMA, Zagreb, 1986.

Autori: Grujić Jovan, dipl. maš.ing., D.O.O "Grujić i Grujić, Bul. Vojvode Stepe 6, Novi Sad, Mr Aleksandar Živković, Prof. dr Milan Zeljković, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495. **Prof. dr Ratko Gatalo**, Mašinski fakultet u Istočnom Sarajevu, E-mail: milanz@uns.ns.ac.yu; acoz@uns.ns.ac.yu; gatalora@uns.ns.ac.yu

Hodolić, J., Bešić, I., Vukelić Đ., Budak, I., Kuric, I.

SAVREMENI PRILAZI U PROGRAMIRANJU I POSTPROCESIRANJU UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA ZA NUMM

Rezime: U ovom radu govori se o potrebnom sadržaju merenja. Ukazuje se na osnovnu strukturu toka programiranja NUMM. Poseban naglasak se daje na savremene sisteme koji baziraju na korišćenju savremenih CAD sistema u sprezi sa sistemima za automatizovano programiranje NUMM ili CAD sistema korišćenjem svojih specijalizovanih modula za programiranje NUMM. Navedeno povezivanje obavlja se preko određenih sprežnih sistema čiju osnovu čine datoteke-fajlovi (IGES; STEP; NDF; DMIS itd.).

Prikazuje se korišćenje programskog paketa PRO/Engineer i njegovog modula za programiranje PRO/CMM. Primenjeni postupak programiranja NUMM odlikuje se mogućnošću korišćenja kod vrlo složenih geometrijskih oblika; beznačajnim subjektivnim uticajem na kvalitet programa; mogućnošću korišćenja programa na NUMM različitih proizvođača (bez postprocesora); efikasnošću programiranja itd

Glavne reči: NUMM, postprocesiranje, DMIS, off-line programiranje

CONTEMPORARY APPROACHES IN PROGRAMMING AND POSTPROCESSING OF PROGRAMS FOR CMMs

Abstract: This paper is related to necessary content of a measurement. It deals with basic structure of flow of programming CMMs. Special attention is added to contemporary systems which are based on modern CAD software combined with specialised software for CMM programming, and also in addition to CAD systems with integrated modules for CMM programming. The integration is achieved with use of neutral file formats such as IGES, STEP, NDF, DMIS.

To achieve this, paper shows the use of PRO/ENGINEER software and its modules for CMM programming. This program is tested on DEA CMM in production environment. This procedure of programming can be used for vary complex geometry; it has a insignificant subjective impact on the program; the program can be used on a CMM of various vendors and producers; it increases the programming efficiency etc.

Key words: CMM, postprocessing, DMIS, off-line programming

1. UVOD

Programiranje numerički upravljanih mernih mašina (NUMM) podrazumeva niz aktivnosti i radnji koje je neophodno realizovati, da bi se za određenu operaciju merenja na NUMM došlo do svih potrebnih informacija na bazi kojih se realizuje merenje. Na osnovu ovih informacija NUMM se priprema za proces merenja, zatim se u automatskom režimu realizuje operacija ili ciklus merenja i dolazi se na bazi rezultata merenja do određenih protokola - izveštaja merenja [1].

Skup svih predhodno spomenutih informacija najčešće se naziva program merenja. On sadrži informacije o mernim glavama, priborima za stezanje i pozicioniranje, koordinatnim sistemima. Ove informacije služe za pripremu mašine za operaciju merenja. Pored toga, program merenja sadrži i upravljački program. Oblik i struktura mernog programa a pre svega upravljačkog, istorijski se menjala u zavisnosti od stepena i nivoa automatizacije NUMM.

Osnovni sadržaj upravljačkog programa su podaci sa kojima je definisana putanja mernih pipaka. To su u stvari koordinate svih mernih tačaka i odgovarajućih međupozicija. Upravljački program takođe sadrži naredbe sa kojima se definišu [1]:

- dovođenje određenog pipaka u radni položaj,
- brzina kretanja mernog pipka,
- povezivanje koordinatnog sistema NUMM i koordinatnog sistema mernog predmeta,
- uključivanje obrtnog stola u slučaju da NUMM raspolaže sa obrtnom osom i ako se isti koristi,
- sila kontakta merni pipak - merni predmet (ukoliko

NUMM ima tu mogućnost),

- vrsta mernog ciklusa kao dela merne operacije (merenje kruga u četiri tačke, merenje konusa, itd.),
- nominalne mere i tolerancije,
- pravac dodirivanja mernog pipka sa mernim predmetom (vektor normale za svaku mernu taču),
- način obrade rezultata merenja, i
- način protokoliranja rezultata merenja.

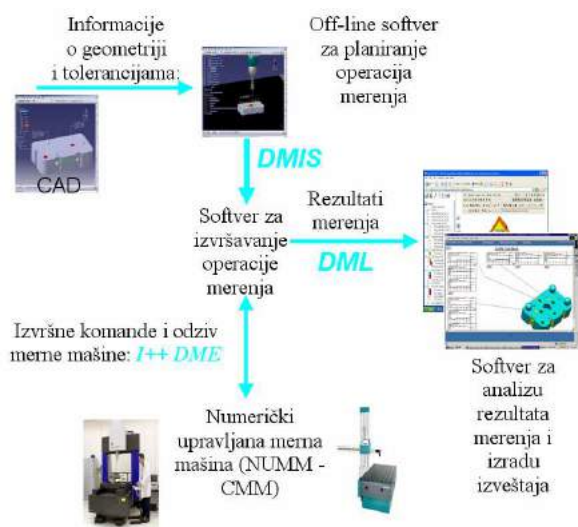
Upravljački program je u kodiranom obliku tj. programskom jeziku razumljivom za konkretnu mernu mašinu odnosno njenu programsku podršku [1].

Danas, kodirani i nestandardizovani programski jezici ustupaju mesto savremenim neutralnim programskim jezicima (DMIS - Dimensional Measuring Interface Standard) ili preko neposredne, integrisane podrške u okviru programske podrške ili koristeći programe za prevođenje neutralnog formata u kodirani oblik - postprocesore.

Pojam postprocesor u području automatizovanog programiranja datira od pojave sistema za automatizovano programiranje numerički upravljani mašina alatki (NUMA). Naime i kod NUMA kao i kasnije kod NU mernih mašina i industrijskih robota postojala je znatna neujednačenost u pogledu sintakse i semantike programskog jezika upravljačkih jedinica. Ova raznolikost bila je prisutna zbog želje za originalnošću sopstvenih rešenja pojedinih proizvođača kao i nepostojanjem odgovarajućih standarda u ovoj oblasti i neprekidnim razvojem i promenama upravljačkih jedinica odnosno njihovih programskih jezika. Takva neujednačenost programskih jezika upravljačkih jedinica nije omogućavala razvoj sistema za automatizovano

programiranje (SAP) za širi spektar NUMA, kao i SAP za NUMM. Rešenje je nađeno u razvoju SAP koji se sastoji od dva osnovna dela: procesorskog i postprocesorskog. Procesorski deo SAP predstavlja u principu osnovni deo sistema. U njemu se vrši projektovanje potrebnih upravljačkih informacija u opštem obliku koji još nije prilagođen semantici i sintaksi jezika za programiranje numerički upravljanih jedinica. Zadatak postprocesora je da koristeći podatke o mašini i upravljačkoj jedinici mašine, translira, prevede upravljačke informacije iz opšteg oblika u oblik prepoznatljiv upravljačkoj jedinici konkretne mašine [10].

Uvođenjem standarda programskih jezika u ovoj oblasti prvenstveno standarda za programske jezike NUMA: DIN66024 - ISO/R 1056-1058, EIA274D; i standarda za programske jezike NUMM: ISO 22093/2003 - DMIS otvorena je mogućnost upotrebe generalizovanih postprocesora kako za NUMA tako i za NUMM. Mesto standarda ISO22093/2003 - DMIS vezano za automatizovano programiranje mernih mašina prikazano je na slici 1.



Slika 1. Pregled standarda vezanih za automatizovano programiranje mernih mašina [10]

Generalizovani postprocesor bazira na principu da je u okviru jednog opšteg važećeg programskog modula moguće kod njegovog pojedinačnog izvršavanja uzeti u obzir različite karakteristike, koje proizilaze iz karakteristika kombinacije upravljačke jedinice i mašine, od kojih zavisi i sam programski jezik upravljačke jedinice. Ove karakteristike obično su smeštene u nekoj datoteci ili u datotekama i kod izvršavanja generalizovanog postprocesora iz navedenih datoteka učitavaju samo oni podaci koji se odnose na potrebnu kombinaciju upravljačke jedinice i mašine.

2. SAVREMENI KOMPLEKSNI INTEGRALNI PROGRAMSKI SISTEMI

2.1 PRO/CMM - modul programskog sistema PRO/ENGINEER

Pro/CMM je modul CAx programskog sistema Pro/ENGINEER. Koristi se za automatizovano off-line programiranje NUMM. Izlaz iz ovog modula programskog sistema predstavlja upravljački program za konkretnu operaciju merenja u DMIS formatu. Upravljački program se koristi prilikom provere dimenzionih tolerancija i tolerancija oblika i položaja. Informacije o tolerancijama moraju biti integrisane u okviru CAD modela i kroz prateće crteže.

Modul Pro/CMM je proizvod matičnog proizvođača (Parametric Technology Corp.) i u potpunosti je integrisan u programski sistem. Upotrebom ovog modula i korišćenjem parametarskih CAD modela moguće je stvarati

parametrizovane upravljačke programe. Osobina parametrizovanih upravljačkih programa je da se svaka izmena u konstrukciji CAD modela odražava na izmene upravljačkog programa.

2.2 Metrolog V5 - modul programskog sistema CATIA V5

Metrolog predstavlja modul CAx programskog sistema CATIA V5. Proizvod je rezultat saradnje partnerske firme DELMIA i matičnog proizvođača programskog sistema CATIA (Dassault Systèmes Company). Modul nije deo standardne ponude programskog sistema CATIA i nabavlja se odvojeno.

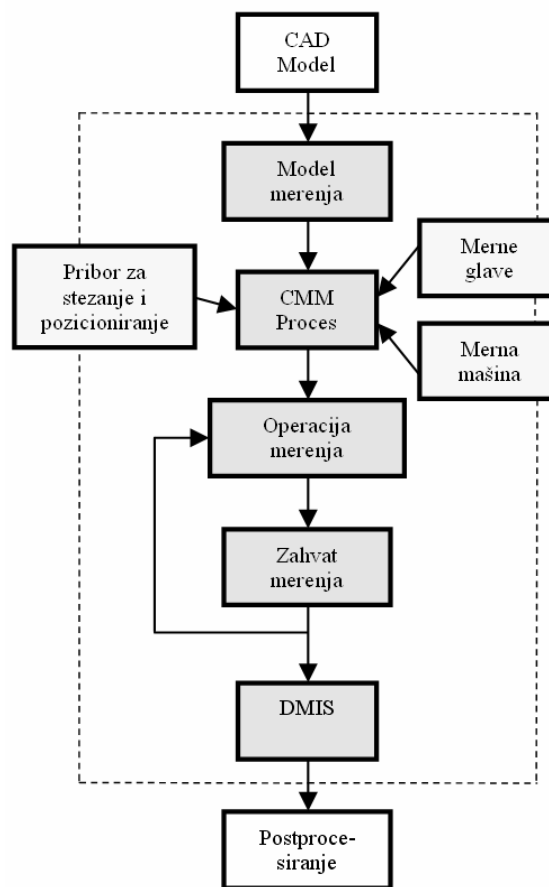
Metrolog II je modul koji je u potpunosti integrisan u programski sistem CATIA V5. Njegovom upotrebom moguće je realizovati parametrizovane upravljačke programe za konkretne operacije merenja koristeći NUMM. Izlaz iz ovog modula programskog sistema predstavlja upravljački program u DMIS formatu. Na slici 2 je prikazan korisnički interfejs i neke od mogućnosti ovog modula.

3. PRO/ENGINEER modul PRO/CMM

3.1 Globalni blok dijagram

Na slici 2 je prikazan opis rada u modulu programskog sistema Pro/ENGINEER - Pro/CMM. Za izradu programa merenje potredno je nekoliko ulaznih informacija:

- CAD model koji uključuje podatke o tolerancijama,
- podaci o priboru za stezanje i pozicioniranje (plan stezanja - postavljanja),
- podaci o mernim glavama (plan mernih pipaka) i
- podaci o mernoj mašini (radni prostor, brzina brzog hoda itd.).



Slika 2: Algoritamski opis rada u Pro/CMM [4]

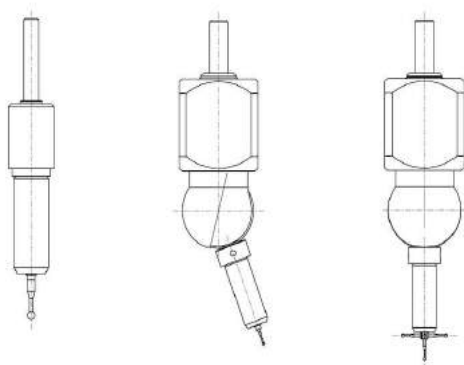
U okviru operacije merenja potrebno je definisati koordinatni sistem merenja ili nultu tačku. Ovaj podatak je

- zahvati merjenja u užem smislu - prevode se u naredbe koje utiču kretanja u okviru merne mašine. Zahvati definišu putanju, pomake, ubrzanja i koordinate mernih tačaka sa priloženim vektorima normale. Ovi zahvati se mogu koristiti za merenje izvedenih geometrijskih oblika: prava, ravan, krug, cilindar, sfera, konus i složena površina.
- zahvati konstruisanja - na bazi izmerenih geometrijskih oblika moguće je konstruisati geometrijske oblike koji fizički ne postoje (npr. osna linija ili osna kružnica).
- zahvati verifikacije - služe za upoređivanje podataka o izmerenim ili konstruisanim geometrijskim oblicima sa nominalnom geometrijom kojoj su priložene tolerancije.

3.2 Model mernog predmeta

Budući da je Pro/CMM integralni deo programskog sistema Pro/ENGINEER izbegnuta je upotreba neutralnih formata i preprocesora prilikom uvoza CAD modela. CAD model mernog predmeta može da bude u potpunosti parametrizovan.

Pro/CMM ima mogućnost izrade mernih programa za koje se koriste rotirajuće i fiksne merne glave (ilustrovano na slici 3). Ove merne glave su definisane CAD modelima uz prateće parametre: koordinate mernih pipaka i njihov broj, radijusi mernih pipaka, inkrementi rotacije i granični položaji za rotirajuće merne glave.



Slika 3: Tri tipa mernih glava u okviru Pro/CMM

Glavni nedostatak off-line programiranja u odnosu na radioničko ili programiranje obučavanjem predstavlja rizik od pojave kolizije prilikom izvršavanja upravljačkog programa. Stoga je provera kolizije obavezna mogućnost programa za off-line programiranje mernih mašina. Da bi provera kolizije bila preciznija potrebno je uključiti podatke o priboru u model merenja. Pribori za stezanje i pozicioniranje mernog predmeta su CAD modeli koji mogu da se uključe u model procesa.

3.5 Zahvati merenja

Zahvati verifikacije imaju mogućnost korišćenja tolerancija koje su definisane u okviru CAD modela. Ovim je olakšana provera izmerenih veličina tako što je:

- izbjegnuto korišćenje paralelne 2D dokumentacije koja mora da prati CAD model da bi se definisale tolerancije i
- izbjegnuto ručno upoređivanje odstupanja sa odstupanjima propisanim u okviru standarda.

Program merenja dobijen na ovaj način je parametrizovan. Svaka promena na modelu mernog predmeta se odražava na promene u mernom programu. Tako je moguće uključiti kasne konstruktivne izmene dela u program merenja bez potrebe ponovnog definisanje programa merenja. Ovo je glavna prednost modula Pro/CMM u odnosu na autonomne programske sisteme za off-line programiranje.

Izlag iz programskog modula Pro/CMM predstavlja upravljački program u DMIS formatu. Slika 4 ilustruje izgled dela DMIS upravljačkog programa vezano za proveru paralelnosti.

```

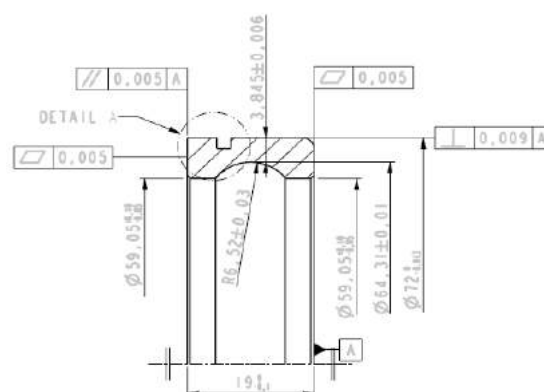
$$ % KRAFTN 7 245
$$ Validity: ALL y1
TIME1 $1= 101 / 14567, 0000-0000 / 14567000
CURRENT / KRAFTN1, 14567000
$$-> END

```

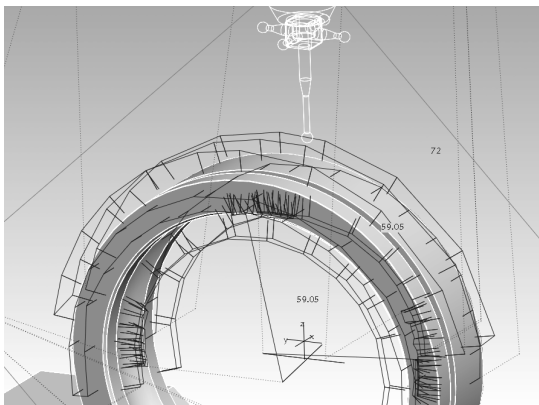
Slika 4. Izled upravljačkog programa u DMIS formatu -
primer, provera paralelnosti

4. PRIMER UPOTREBE

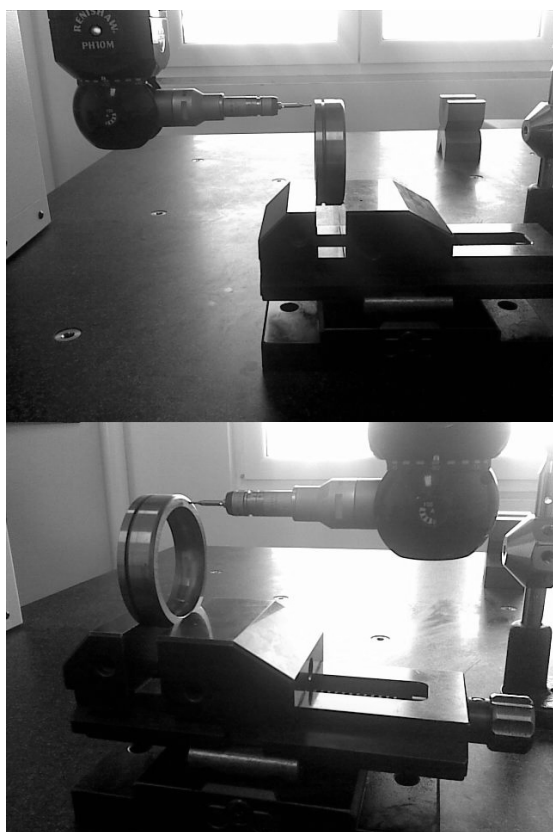
Realizovan je mereni program za merenje konkretnog dela: deo sklopa kugličnog ležaja. Izgled i dimenzije i tolerancije mernog predmeta su ilustrovane na slici 5. Slika 6 prikazuje rezultat simulacije putanje merne glave. Nakon što je uočeno da nema opasnosti od kolizije, upravljački program je prosleđen na izvršavanje na mernoj mašini proizvođača DEA. Softverska podrška ove merne mašine uključuje program za automatizovano programiranje i izvršavanje upravljačkih programa - PC-DMIS. Ovaj program ima ugrađenu podršku za standardni programski jezik, tako da nije bilo potrebe postprocresirati upravljački program i tako ga prilagoditi konkretnoj mašini.



Slika 5. CAD model, 2D projekcija sa tolerancijama



Slika 6. 3D model sa putanjom merne glave



Slika 7. Merni sto, pribor, radni predmet i merna glava
prilikom izvršavanja operacije merenja

Na slici 7 je prikazan merni sto, pribor, merni predmet i merna glava prilikom izvršavanja operacije merenja.

5. ZAKLJUČAK

Analizirana je mogućnost upotrebe savremenih programskih rešenja i standarda za automatizovano off-line programiranje numerički upravljanih mernih mašina. Pokazano je da je moguće izbeći upotrebu pre- i postprocesora prilikom prenošenja CAD modela u sisteme za programiranje mernih mašina. Takođe je pokazana mogućnost upotrebe savremenih programskih sistema za izvršavanje programa merenja koji imaju integrisanu podršku za standardizovani format upravljačkog programa (DMIS).

Ovim je moguće izbeći troškove koji se javljaju zbog nesavršenosti pre- i postprocesora kako programskih sistema za programiranje tako i programskih sistema za izvršavanje programa merenja. Ovo otvara mogućnosti kao što su: uslužno programiranje mernih mašina; realizacija programa merenja u fazi konstruisanja proizvoda; mogućnost

prenošenja programa merenja na drugu mernu mašinu itd.

Proverom standarda i mogućnosti programske podrške numerički upravljane merne mašine može se izbeći pojava troškova u eksploataciji mašine i značajan je podatak koji treba uzeti u obzir prilikom nabavke nove merne mašine.

6. LITERATURA

- [1] Majstorović, V., Hodolić, J.: *Numerički upravljane merne mašine*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1999.
- [2] Durakbasa, M. N.: *Geometrical product specification and verification for the analytical description of technical and non-technical structures*, TU Wien, 2003.
- [3] DMIS standard WEB site: <http://www.dmis.com>
- [4] *Pro/CMM Topic Collection*, Parametric Technology Corporation, Waltham, USA, 2000.
- [5] Hodolić, J., Budak, I., Stević, M.: *3D-Digitization in Production Engineering*, Proceedings - 9th International conference Mechanical Engineering 2005, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 766-775, 16th November, Bratislava, 2005.
- [6] Stević, M.; Hodolić, J.; Budak, I.: *Correction of Measuring errors in CMMs*, Modern Metrology in Quality Management System - CEEPUS Science Report, Kielce: Kielce University of Technology, pp. 245- 256., 2006.
- [7] *3D CMM measuring Software on Catia V5*, Metrolog V5, <http://www.metrologic.fr/uk/mtV5.html>
- [8] Hodolić, J.; Stević, M.; Bešić, I.; Budak, I.: *Contemporary approaches in programming of CMMs*, Mechanical engineering 2007, Bratislava: STU Bratislava - Faculty of Mechanical Engineering, 29. - 30. November, 2007.
- [9] Hodolić, J.: *Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1989,
- [10] Rippey W.: *AIAG Demonstrates Metrology Interoperability: TO SAVE YOU TIME AND MONEY*, National Institute of Standards and Technology, Manufacturing Engineering Laboratory, International Dimensional Workshop, Nashville, May 2005.

Napomena: Rad predstavlja segment istraživanja na projektima "Unapredjenje sistema tehničke pripreme u uslovima maloserijske proizvodnje primenom savremenih programskih paketa univerzalne namene" (Republički program-Tehnološki razvoj, br. projekta TR 6330A, 2005-2007.) koji je finansiralo Ministarstvo nauke Vlade Republike Srbije i "From preparation to Development, implementation and utilisation of Joint Programs in study area of Production Engineering – contribution to higher flexibility and mobility of students in Central European region" (CEEPUS II, 2008/2009, broj projekta CII-SK-0030-04-0809).

Autori: Prof. dr Janko Hodolić, dipl. inž. Igor Bešić, mr Đorđe Vukelić, mr Igor Budak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2350, Fax: +381 21 454-495.
E-mail: hodolic@uns.ns.ac.yu
besic@uns.ns.ac.yu
vukelic@uns.ns.ac.yu
budaki@uns.ns.ac.yu

Prof. dr Ivan Kuric, University of Žilina, Dpt. of Machining and Automation, Univerzitná 1, 01026 Žilina, Slovakia.
ivan.kuric@fstroj.utc.sk

Hristovska, D. E.

STATE ON CANTILEVER BEAM WITH STATIC LOADINGS

Abstract: This paper analyses the state of the carrying construction of the working wheel at rotating excavator SRs - 630, of static loadings. Carrying construction of working wheel represents a cantilever beam. Static loadings of this carrying construction are defined for its characteristic positions. For this positions, it is defined a deformity state based on established methodology, by using a software package. Carrying construction is hanged on two clamp dogs, that represent its component and responsible elements, over which part of the loadings are being transferred on the top ballast construction of the excavator. Because of this fact, along with carrying construction, the clamp dogs are analysed, too. Results of this kind of research are systematically represented in this paper. This methodology has a possibility to be used for similar construction - carrying construction at other excavators and mechanization machines.

Keywords: rotating excavator, cantilever beam of working wheel, static loadings, deformity state.

1. INTRODUCTION

The static loading of the component elements of the lattice carrying structure of the working wheel of excavator is from the own weight of the construction elements and the other parts and mechanisms mounted on it.

The carrying construction of the working wheel of the rotating excavators SRs-630 is space lattice, console placed in berth on the upper construction of the excavator and on the opposite side it is hanged on two clamp dogs.

Because the carrying structure is hanged on two clamp dogs, they represent its component, and responsible elements, over which part of the loadings are being transferred on the upper ballast construction of the excavator.

The static loading of the clamp dogs comes from the own weight of the construction, that they are holding, and theoretically this loading appears when the excavator is not working.

The static loading of the clamp dogs are tension forces as a reaction of the weight of the elements of the working wheel and his carrying structure.

The tension forces in the both clamp dogs are determined with usage of the static conditions for balance for three characteristic positions of the carrying structure.

2. MODEL OF THE OBJECT OF RESEARCH

The carrying structure of the working wheel of the excavator is space steel lattice with length of 18,55 m and rectangle transversal cut with dimensions: 3,5 m width and 2,4 m height.

The carrying structure is made with combination of materials in which the basic one is steel Č 0371 (according to MKS).

Part of this carrying structure is shown in picture 1.

The carrying structure of the working wheel consists the following parts: chief cantilever I – front side of the lattice and chief cantilever II – back side of the lattice, one upper and one under side – top and bottom side of the lattice and two transversal frames - transversal frame 1 and transversal frame 7 (figure 2).

The real model of this carrying structure is shown in figure 2.

The determination of the forces in the componential elements of the carrying structure as a reaction of the static loadings is a long and hard work taking in consideration the high number of elements of the construction.

This activity can be concretely realized with usage of computer calculation with appropriate software package for

this purpose.

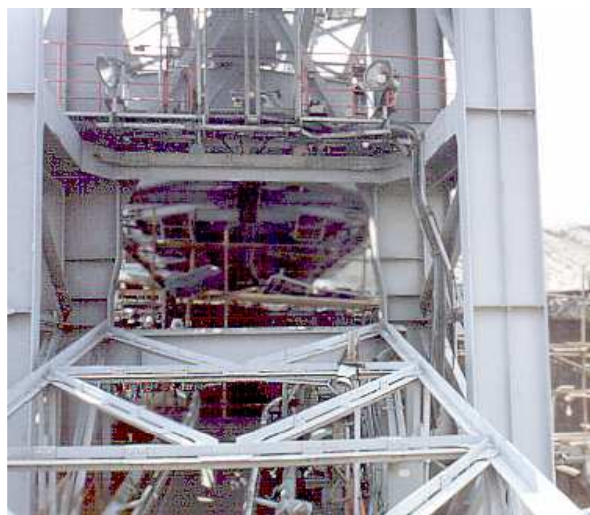


Fig. 1 View of a part of the carrying structure of the working wheel (view from the top side of the construction)

For appliance of computer treatment of the carrying structure, based on the real model with allowed approximations, a mathematical modelling of the carrying structure has been done.

The mathematical model of the carrying structure and its clamp dogs with all the componential parts are shown in figure 3.

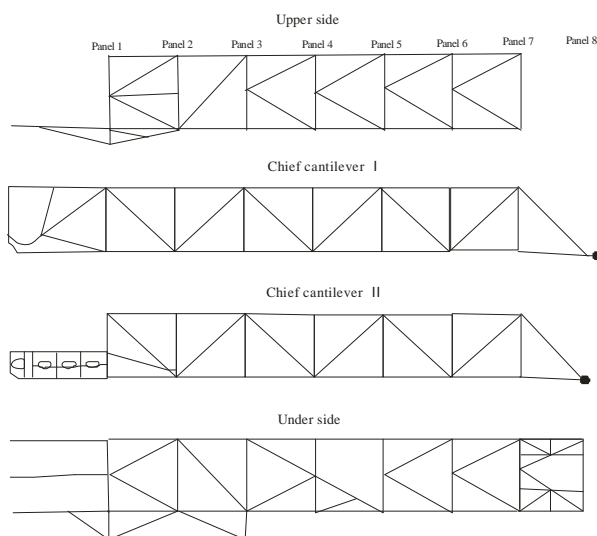


Fig. 2 Real model of the carrying structure of the working wheel

3. ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION

The static loading of the carrying structure is analyzed for the three characteristic positions of the carrying structure: horizontal position, uttermost up position and uttermost down position.

Based on the determined loadings of the carrying structure of the working wheel from static loadings, with usage of the program package SAP2000 the loadings of the clamp dogs and the other elements of the construction are calculated for all of the characteristic positions of the carrying structure.

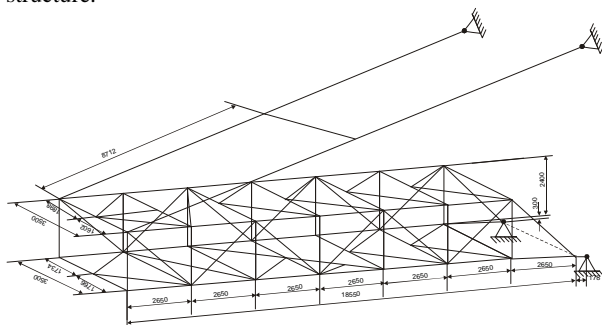


Fig. 3 Mathematical model of the carrying structure of the working wheel and hers clamp dogs

With the program SAPLOT of the program package SAP2000 the deformation state is determined for the clamp dogs and the carrying structure of the working wheel of the excavator for the calculated static loadings in the characteristic positions of the construction.

The deformation state of the construction in characteristic positions is shown in figure 4, 5 and 6. The figures contain the values of the minimal and maximal displacement of the joints in the construction in units cm, according to the three axes of the global coordinate system (with orientation of the axes like it is shown in the figures).

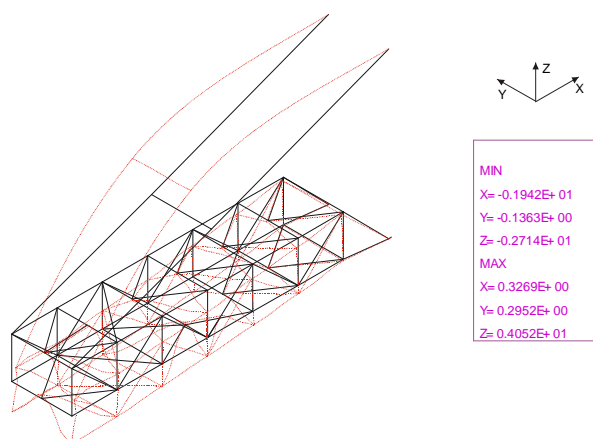


Fig. 4 Deformity state of static loadings for the clamp dogs and the carrying structure, for horizontal position of the carrying structure

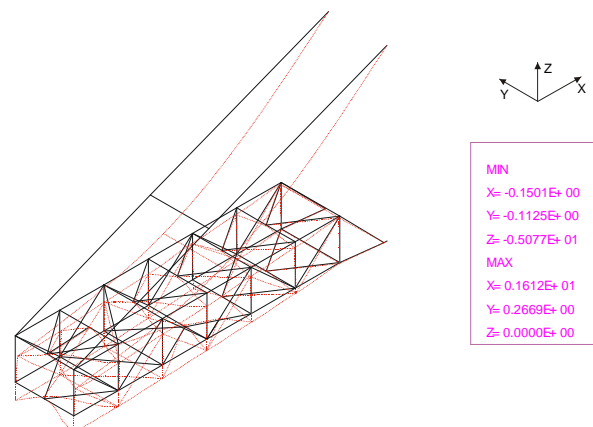


Fig. 5 Deformity state of static loadings for the clamp dogs and the carrying structure, for uttermost up position of the carrying structure

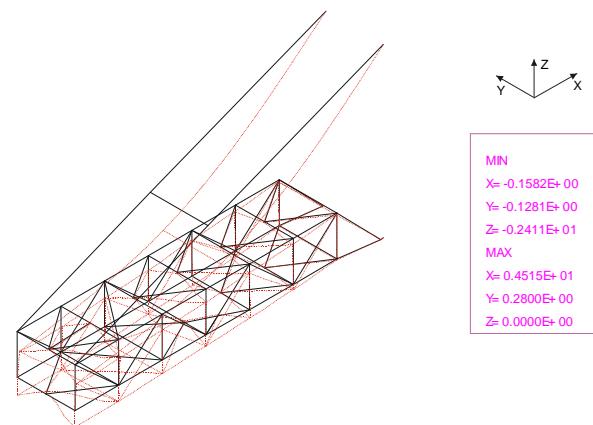


Fig. 6 Deformity state of static loadings for the clamp dogs and the carrying structure, for uttermost down position of the carrying structure

The calculated values of the forces in the clamp dogs caused by static loadings are shown in table 1.

Tab 1 Forces in the clamp dogs

Position of carrying structure	Tension force [kN]	
	Right clamp dogs	Left clamp dogs
Horizontal	850,32	823,39
Uttermost up	773,13	748,01
Uttermost down	819,47	792,92

4. CONCLUSION

The theoretical research of the global deformity state of stress of the clamp dogs and the carrying structure of the working wheel of the excavator SRs-630 is practised with contemporary methodology and original model for static analysis.

With this methodology the specifications of the construction and the working conditions are taken in consideration.

The established model can be generalized also for theoretical research for other static structures.

The static loading of the clamp dogs for the uttermost down position is lower for 3,65 % and for the uttermost up position is 9,15 % lower than the loading for the horizontal position of the carrying structure.

For all of the positions of the carrying structure the static loadings of the right clamp dog are larger than the loadings of

the left clamp dogs.

For the positions between the horizontal and the uttermost up and the horizontal and the uttermost down positions, the values of the static loadings are decreasing from the value for the horizontal position and to the value for uttermost up position when elevating the carrying structure, apropos to the value for uttermost down position when declining the carrying structure.

5. REFERENCES

- [1] Hristovska, E., *"Deformity state of stress correlation and clamp dogs structure characteristic with carrying structure of the working organ of excavators"*, doctor's dissertation", Skopje MK, 2000
- [2] Jonuzovic, E., *"Staticka analiza liniskih listema pomocu racunara"*, Gradjevinska knjiga, Beograd YU, 1986
- [3] Poceviski, A., *"Teorija na konstrukciite"*, Skopje MK, 1986
- [4] Simonce, V., *"Matricna analiza na konstrukciite"*, Skopje MK, 1989

Autori: Assoc. Prof. Ph.D. Elizabeta Hristovska,
Faculty of Technical Sciences-Bitola, R.Macedonia.
E-mail: elizabeta.hristovska@uklo.edu.mk

Janković, N., Mandić, V.

OPTIMIZACIJA POPREČNOG PRESEKA ZAVOJKA CILINDRIČNIH ZAVOJNIH OPRUGA

Rezime: U ovom radu su prikazane cilindrične zavojne opruge sa posebnim osvrtom na optimizaciju poprečnog preseka zavojka. Ponašanje opruga je u direktnoj vezi sa njenim geometrijskim karakteristikama (oblik i dimenzije žice, oblik i dimenzije opruge). Jedan od načina da se problemi visokih radnih napona u oprugama smeštenim u ograničen radni prostor prevaziđu jeste primena opruga koje, umesto kružnog, imaju neki drugi oblik poprečnog preseka zavojka. Promenom oblika poprečnog preseka utiče se na raspodelu napona po poprečnom preseku zavojka i na mogućnost smeštaja poprečnog preseka veće površine u isti radni prostor.

Primena CAD softvera predstavlja nezaobilazan korak u savremenom načinu konstruisanja i određivanja karakteristika mašinskih sistema. Novi 3D CAD softverski alati se već uveliko koriste u svim segmentima proračuna mašinskih sistema i mašinskih elemenata. U ovom radu, sve prikazane opruge su modelirane korišćenjem softverskog alata Autodesk Inventor, a zatim je izvršen proračun i analiza napona primenom metode konačnih elemenata.

Glavne reči: Opruga, Poprečni presek, Naponsko stanje, CAD

OPTIMIZATION OF CROSS SECTION COIL FOR HELICAL SPRINGS APPLICATION

Abstract: In this paper the helical springs and a special view to various cross section of helical springs are presented. Geometric attributes (shape and dimension of wire, shape and dimension of spring) have direct effect on behavior of springs. Distributions of stress in coils depend from cross section shape. High working stresses can be reduced by changing the shape of cross section. Coils with high area can be settling in same working space by modification of cross section shape.

Modern way of design and determine characteristic of mechanical elements is based on using CAD software. New 3D CAD software tools are widely used in all segments of calculation of mechanical construction and mechanical elements. For modeling helical springs it is used program package Autodesk Inventor. In this paper, a special attention is done to modeling helical springs with the various cross section of the coils.

Key words: Spring, Cross section, Stress, CAD

1. UVOD

Opruga je mašinski element koju karakteriše njeno elastično ponašanje. Rad opruga zasniva se na osobini tela da se pod dejstvom spoljašnjeg opterećenja deformišu, tj. da mehanički rad transformišu u potencijalnu energiju i da kasnije tu apsorbovanu energiju mogu ponovo da pretvore u mehanički rad. Kod tehničkih opruga ovo svojstvo se uvećava primenom visokoelastičnih materijala i odgovarajućim konstrukcionim izvođenjem.

Jedan od najvažnijih faktora pri izboru opruge je primena odgovarajućeg tipa opruge i odabir odgovarajućih karakteristika opruge u zavisnosti od njene konkretne primene. U ovom radu izvršena je optimizaciju poprečnog preseka zavojka opruge. Prvo su definisane teorijske postavke za kružni i pravougaoni poprečni presek zavojka i prikazano je njihovo naponsko stanje, a zatim su ti rezultati potvrđeni numeričkom analizom. Nakon toga je sa stanovišta raspodele napona duž opruge i po poprečnom preseku zavojka izvršena optimizacija poprečnog preseka zavojka cilindrične zavojne opruge. Za modeliranje opruge, kao i analizu naponskog stanja metodom konačnih elemenata, korišćen je programski paket Autodesk Inventor.

Cilj ovog rada je da se promenom poprečnog preseka zavojka utiče kako na raspodelu napona po poprečnom preseku zavojka tako i raspodelu napona po dužini opruge. Na taj način se postižu bolje karakteristike opruga i vrši se optimizacija oblika poprečnog preseka zavojka. Cilj je da se u jednom obliku poprečnog preseka zavojka objedine sve prednosti i kružnog i pravougaonog poprečnog preseka.

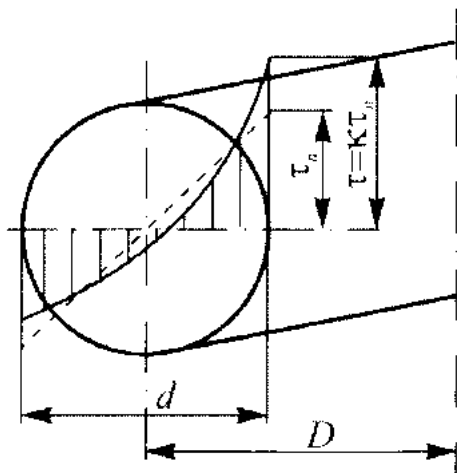
2. USLOVI OPTIMIZACIJE

Pri analizi opruga razmatranih u ovom radu, za sve opruge su isti uslovi ispitivanja. Na svim oprugama je primenjena ista sila od 20 N. Zbog konstrukcionih zahteva, odnosno da bi sve opruge mogle da se montiraju u isti radni prostor, visina svih opruga je jednaka i iznosi 100 mm. Takođe, spoljašnji prečni svih razmatranih opruga je 10 mm. Uslov za određivanje broja zavojaka za svaku oprugu pojedinačno je dužina blok stanja opruge i ona za sve razmatrane opruge iznosi 20 mm. Pri promeni poprečnog preseka žice od koje se namotava opruga uslov je da površina poprečnog preseka zavojka za sve razmatrane opruge bude ista. Na taj način se obezbeđuje da poređenje naponskih stanja razmatranih opruga bude što je moguće vernije i relevantnije.

Pri ovoj optimizaciji poprečnog preseka zavojka cilindričnih zavojnih opruga polazi se od kružnog poprečnog preseka zavojka s obzirom da je on do sada najčešće korišćen i da je sa teorijskog stanovišta potpuno definisan. Nakon toga, zbog prednosti koje pruža kvadratni poprečni presek, a u skladu sa do sada usvojenim preporukama, vrši se poređenje sa pravougaonim poprečnim presekom, pri čemu je ispoštovana preporuka da odnos širine i visine stranice bude 1,5. S obzirom da se dobila povoljnija raspodela napona po poprečnom preseku zavojka, ali da su se javili pikovi na ivicama poprečnog preseka, korektivna mera je obaranje ivica pravougaonika i to za petinu njegove širine. S obzirom na tako dobijene rezultate, na kraju se vrši zaobljavanje ivica poprečnog preseka i dobija oblik sličan elipsi.

3. TEORIJSKE POSTAVKE

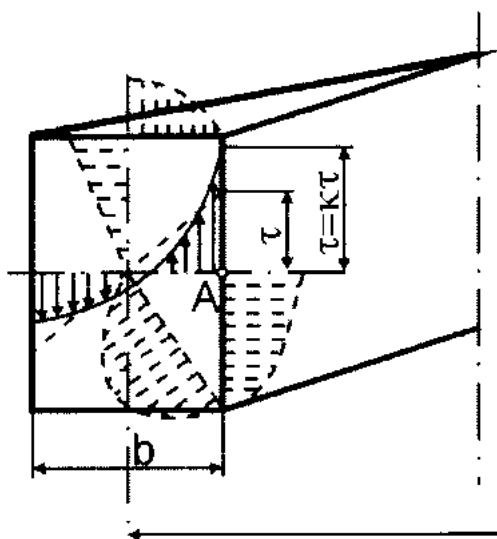
Raspodela napona po površini poprečnog preseka zavojka cilindričnih zavojnih opruga je neravnomerna. Kod opruga navijenih od žice kružnog poprečnog preseka maksimalni napon se zbog zakrivljenosti žice javlja na unutrašnjoj strani krivine zavojka. Ove opruge imaju najbolje iskorišćenje radnog prostora s obzirom na zapreminu materijala koji je utrošen za njihovu izradu.



Slika 1. Raspodela napona po zavojku kružnog poprečnog preseka

Žica pravougaonog poprečnog preseka koristi se za izradu opruga kako bi se smanjio ugradbeni prostor za oprugu ili da bi se u ograničeni ugradbeni prostor smestila opruga zahtevanih karakteristika koja će imati pouzdan rad. Prema načinu savijanja ove opruge mogu biti:

- opruge navijene od žice kvadratnog poprečnog preseka, čime se u odnosu na kružni poprečni presek postiže veća opružna sila a manja visina bloka,
- opruge navijene od žice pravougaonog poprečnog preseka kada se žica savija preko uže strane pravougaonika, čime se postiže veća opružna sila i veća visina bloka dok se spoljašnji prečnik opruge smanjuje, i
- opruge navijene od žice pravougaonog poprečnog preseka kada se žica savija preko šire strane pravougaonika, čime se bitno smanjuje sila u opruzi i visina bloka dok se spoljašnji prečnik opruge povećava.



Slika 2. Raspodela napona po zavojku pravougaonog poprečnog preseka zavojka

Mesto maksimalnih napona u zavojku pravougaonog poprečnog preseka zavisi od položaja stranica pravougaonika prema osi opruge kao i od međusobnog odnosa stranica pravougaonika. Ako je uža stranica pravougaonika upravna na osu opruge maksimalni naponi će se javiti na sredini veće stranice pravougaonika koja je bliža osi opruge. Ako je šira stranica pravougaonika upravna na osu opruge maksimalni naponi se mogu javiti na sredini uže stranice ili na široj stranici bliže osi opruge, zavisno od odnosa stranica pravougaonika i od odnosa prečnika opruge i šire stranice.

Materijal u oprugama od žice pravougaonog poprečnog preseka je znatno manje iskorišćen u poređenju sa oprugama kružnog poprečnog preseka zavojka. Ova pojava je posledica različite raspodele napona po površini poprečnog preseka zavojka. Slabije iskorišćenje materijala žice pravougaonog poprečnog preseka nadoknađeno je boljim iskorišćenjem raspoloživog prostora.

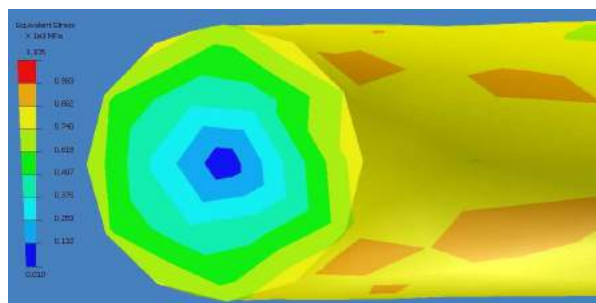
Tokom analize karakteristika cilindričnih zavojnih opruga kružnog i pravougaonog poprečnog preseka, razmatraju se uporedni pregledi krutosti, sila, izazvanih napona i stepena sigurnosti. Ovom uporednom analizom dolazi se do sledećih zaključaka:

- krutost je veća kod opruga pravougaonog poprečnog preseka,
- sila u opruzi je veća kod opruge pravougaonog poprečnog preseka,
- maksimalni naponi su veći kod opruge kružnog poprečnog preseka (ovo je posledica pogodnog odabira dimenzija poprečnog preseka zavojka i njegovog položaja prema osi opruge, tj. manja stranica pravougaonika je paralelna osi opruge),
- stepen sigurnosti je veći kod opruga pravougaonog poprečnog preseka.

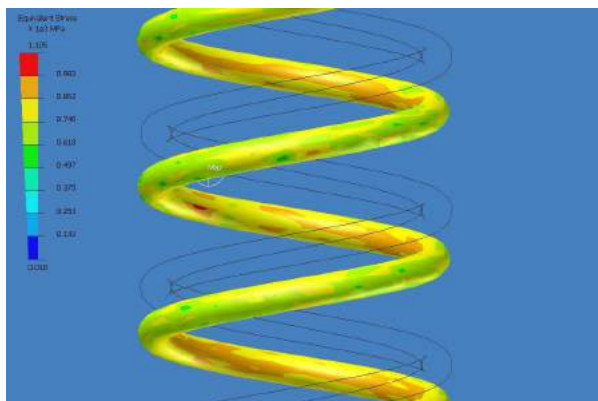
4. DOBIJENI REZULTATI

Aksijalno opterećenje zavojne cilindrične opruge koje deluje u osi opruge izaziva torziju poprečnog preseka zavojka opruge. Iz tog razloga se analitički proračun opruga svodi na slučaj torzije zakrivljenog štapa. Prema ovako definisanom načinu opterećenja se na oprugama diskretizovanim metodom konačnih elemenata i zadaju granični uslovi. Na jednom kraju opruge granični uslovi su definisani po pomeranjima i on je uklješten a na drugom kraju se zadaje aksijalna sila redukovana iz ose opruge na pravac zavojka i moment torzije dobijen ovom redukcijom.

Pri diskretizaciji svih razmatranih opruga korišćena je najfinija mreža koju dozvoljava programski paket Autodesk Inventor. Softver sam generiše mrežu i za svaku oprugu pojedinačno navodi se broj čvorova kao i broj elemenata koji sačinjavaju mrežu. Treba imati na umu da se radi o izuzetno malim dimenzijama žice za oprugu. Za oprugu kružnog poprečnog preseka, broj čvorova je 20922 a broj elemenata je 9832.



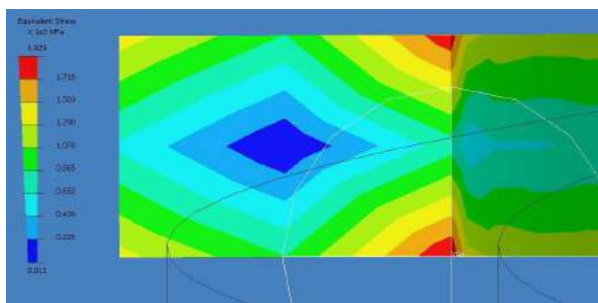
Slika 3. Raspodela napona kod kružnog poprečnog preseku zavojka



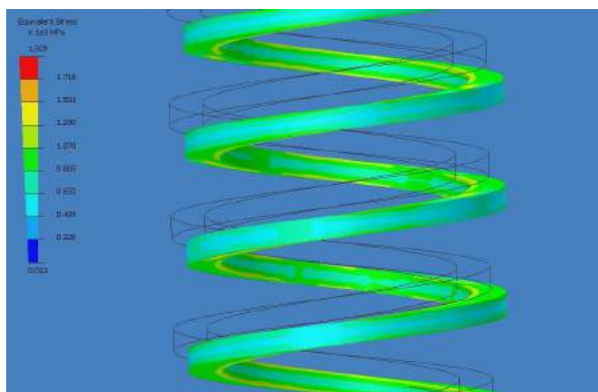
Slika 4. Raspodela napona po dužini opruge sa kružnim poprečnim presekom zavojka

Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da je raspodela napona neravnomerna i da su maksimalne vrednosti napona (1105 MPa) na unutrašnjoj strani poprečnog preseka zavojka. Razlika napona na spoljašnjoj i unutrašnjoj strani zavojka je u granicama od $150 \div 200$ MPa.

Za oprugu pravougaonog poprečnog preseka, broj čvorova je 13454 a broj elemenata je 1288.



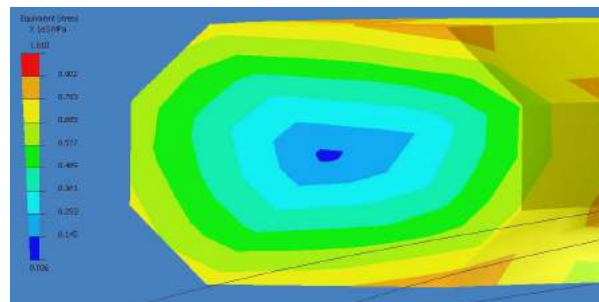
Slika 5. Raspodela napona kod pravougaonog poprečnog preseka zavojka



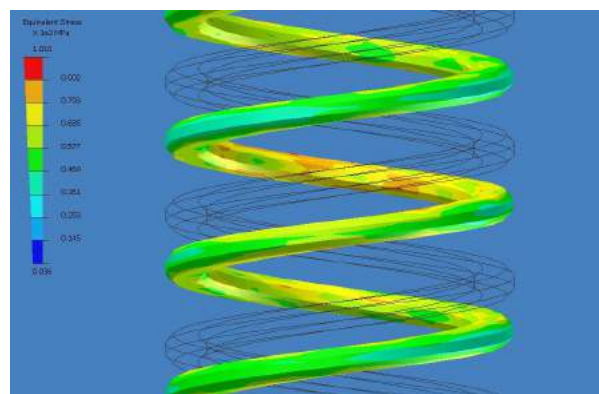
Slika 6. Raspodela napona po dužini opruge sa pravougaonim poprečnim presekom zavojka

Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da je maksimalna vrednost napona 1929 MPa, što je znatno više nego kod kružnog poprečnog preseka. Razlika napona na spoljašnjoj i unutrašnjoj izvodnici opruge ide i do 500 MPa. Međutim, treba primetiti da to nije napon koji se javlja na većem delu opruge, već su te vrednosti samo pikovi u uskoj oblasti poprečnog preseka zavojka. Materijal je znatno manje iskorišćen u poređenju sa kružnim poprečnim presekom. S obzirom da se primenom pravougaonog poprečnog preseka dobija bolje iskorišćenje radnog prostora, cilj je da optimizujemo ovaj poprečni presek i prvi korak je da se odstrane uglovi pravougaonika koji predstavljaju veoma ozbiljne koncentratore napona.

Za oprugu pravougaonog poprečnog preseka sa oborenim ivicama, broj čvorova je 15182 a broj elemenata je 6995.



Slika 7. Raspodela napona kod pravougaonog poprečnog preseka zavojka sa oborenim ivicama

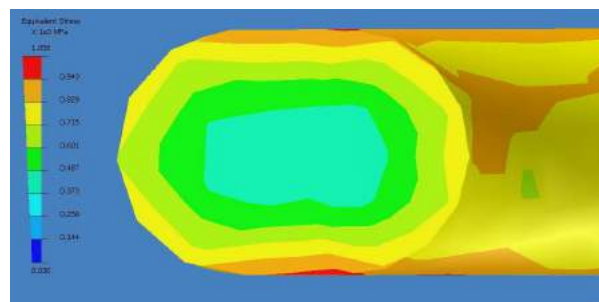


Slika 8. Raspodela napona po dužini opruge sa pravougaonim poprečnim presekom zavojka sa oborenim ivicama

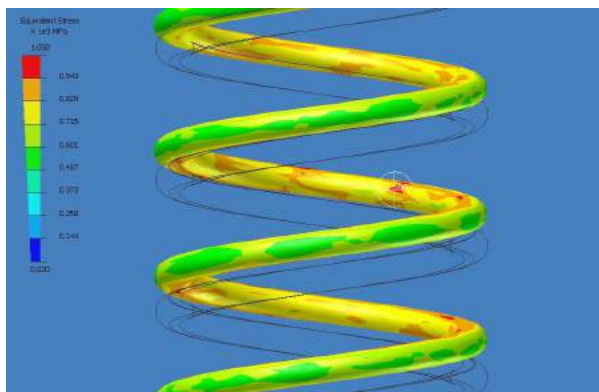
Sa slike se jasno vidi da su rezultati znatno bolji nego što se očekivalo. Maksimalna vrednost napona se gotovo prepolovila. Maksimalni naponi (1010 MPa) se i dalje javljaju u uglovima ali je njihova vrednost gotovo zanemarljiva u poređenju sa prethodnim rešenjem. S obzirom da su eliminisane oštre ivice pravougaonika, maksimalne vrednosti u poprečnom preseku zavojka se polako udaljavaju od ose opruge i prostiru ka središnjem delu poprečnog preseka zavojka. Opterećenje poprečnog preseka je i dalje neravnomerno, pa je sledeća ideja da se opterećenje poprečnog preseka što je moguće više ujednači i da se izbegnu svi mogući uglovi na poprečnom preseku zavojka koji mogu da predstavljaju koncentratore napona. Kao jedno od sledećih rešenja je da se zaoblate ivice opruge.

Jedno od mogućih rešenja koje bi dalo veoma slične rezultate bi bio eliptični oblik poprečnog preseka zavojka opruge. Iz tehnoloških razloga i zbog ekonomičnosti neće se razmatrati ovaj oblik poprečnog preseka zavojka.

Za oprugu pravougaonog poprečnog preseka sa zaobljenim stranicama, broj čvorova je 42177 a broj elemenata je 20956.



Slika 9. Raspodela napona kod pravougaonog poprečnog preseka zavojka sa zaobljenim ivicama



Slika 10. Raspodela napona po dužini opruge sa pravougaonim poprečnim presekom zavojka sa zaobljenim ivicama

Sa slike je evidentno da se postigao željeni rezultat. Raspodela napona je znatno ujednačenija i nema pikova sa velikom koncentracijom napona. Ovaj efekat je postignut postepenim uklanjanje oštih ivica poprečnog preseka zavojka. Da bi se održao uslov nepromenjene površine poprečnog preseka zavojka uklanjanjem oštih ivica povećavale su se dimenzije poprečnog preseka.

Na ovaj način obezbeđuje se realizacija unapred definisanih ciljeva da se izborom optimalnog poprečnog preseka zavojka objedine sve prednosti koje poseduju i kružni i pravougaoni poprečni presek zavojka. Naponi su ujednačeni, maksimalne vrednosti napona su znatno redukovane a poboljšanje iskorišćenja radnog prostora je evidentno.

5. ZAKLJUČAK

Prilikom projektovanja opruge moraju se zadovoljiti specifični zahtevi konstrukcije u koju se opruga ugrađuje i sama namena opruge. Zato se projektuju opruge kružnog, pravougaonog ili nekog drugog oblika poprečnog preseka. Zbog zavojnog oblika opruga, raspodela napona po poprečnom preseku zavojka je neravnomerna a maksimalni naponi se javljaju bliže osi opruge. Tačno mesto najvećih napona zavisi od oblika i dimenzija poprečnog preseka. Kod cilindričnih zavojnih opruga navijenih od žice kružnog poprečnog preseka najveći naponi se javljaju na unutrašnjoj strani krivine zavojka. Ove opruge imaju i najbolje iskorišćenje materijala u odnosu na ostvareni rad u opruzi.

Kod cilindričnih zavojnih opruga navijenih od žice

pravougaonog poprečnog preseka može se uticati na položaj maksimalnih napona i to promenom položaja stranica pravougaonika prema osi opruge. Materijal je znatno manje iskorišćen nego što je to slučaj kod kružnog poprečnog preseka zavojka, ali to je nadoknađeno boljim iskorišćenjem smeštajnog prostora.

Korigovanjem pravougaonog poprečnog preseka zadržavaju se njegove dobre karakteristike a izbegavaju nepovoljni uticaju oštih ivica koji predstavljaju koncentratore napona. Taj efekat se postiže samim obaranjem oštih ivica pravougaonika. Vrednost maksimalnih napona je gotovo prepolovljena. Daljom optimizacijom poprečnog preseka, potpunim uklanjanjem oštih ivica i zaobljavanjem ivica pravougaonika, zadržavaju se maksimalne vrednosti napona u istim granicama a dobija se znatno bolje iskorišćenje materijala.

Ovom optimizacijom zadržavaju se sve prednosti koje poseduju kružni (bolje iskorišćenje materijala) i pravougaoni poprečni presek zavojka (bolje iskorišćenje radnog prostora). Čak su vrednosti maksimalnih napona manji od 5 ÷ 10% u odnosu na opruge sa kružnim poprečnim presekom zavojka.

6. LITERATURA

- [1] Janković N., *Uticaj promene poprečnog preseka žice na naponsko i deformaciono stanje cilindričnih zavojnih opruga*, Pristupni rad za prijavu doktorske disertacije, Kragujevac, 2008.
- [2] Janković N., *Primena novih oblika zavojnih opruga sa nelinearnom karakteristikom za vozila*, Diplomski rad, Kragujevac, 2002.
- [3] Janković N., *Autodesk Inventor Professional 9*, Seminarski rad, Kragujevac, 2005.
- [4] Janković N., *O zavojnim oprugama sa nelinearnom karakteristikom*, Zbornik radova sa naučno-stručnog skupa IRMES '04, str. 709 ÷ 714, Kragujevac, 2004.
- [5] Janković N., *Modeliranje i proračun zavojnih opruga sa promenljivim korakom korišćenjem programskog paketa Autodesk Inventor*, Zbornik radova sa naučno-stručnog skupa IRMES '06, str. 125 ÷ 130, Banjaluka, 2006.

Autori: Janković Nikola, dipl. maš. inž., Prof. dr Vesna Mandić, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Centar za virtuelnu proizvodnju, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel: +381 34 501-201, Fax: +381 34 501-201.

E-mail: jnikola78@kg.ac.yu
mandic@kg.ac.yu

Jokanović, S., Čiča, Đ.

APLIKATIVNI PROGRAMSKI INTERFEJS CAD/CAM SISTEMA *SOLIDWORKS*

Rezime: Aplikativni programski interfejsi (API) savremenih CAD/CAM sistema su posebna programska rješenja koja predstavljaju svojevrsnu vezu između nekog od viših programskih jezika i CAD/CAM sistema. U radu je detaljno prikazana struktura aplikativnog programskog interfejsa CAD/CAM sistema *SolidWorks*. Prikazan je i primjer njegove implementacije u *Visual Basic*-u za modeliranje evolventnog profila.

Ključne riječi: CAD/CAM, Aplikativni programski interfejs, *SolidWorks*

APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE OF CAD/CAM SYSTEM *SOLIDWORKS*

Abstract: Application programming interfaces (API) up to date CAD/CAM systems are special programs solutions which represent link between higher program languages and CAD/CAM systems. Detailed structures of application programming interface of CAD/CAM system *SolidWorks* is presented in this paper with some detailed solutions of its *Visual Basic* implementation for modeling involute curve.

Key words: CAD/CAM, Application programming interface, *SolidWorks*

1. UVOD

CAD/CAM sistemi predstavljaju veoma moćna sredstva automatizacije inženjerskog projektovanja, koji funkcionišu na principu interaktivnog rada, pri čemu korisnik izdaje komande i unosi neophodne podatke za realizaciju istih, a softver ih zatim konvertuje u interni geometrijski model proizvoda. Pri tome su mnoge operacije poput presjeka površina, geometrijskih transformacija i sl. potpuno automatizovane. Međutim, prava korist nastaje tek poslije kreiranja internog geometrijskog modela dijela. Naime, kada je on jedanput kreiran, tada je na osnovu njega moguće automatski dobijanje projekcija, presjeka, definisanje putanja alata, generisanje mreže konačnih elemenata itd.

Naravno da ovim CAD/CAM sistemi nisu iscrpili sve mogućnosti automatizacije prilikom inženjerskog projektovanja, jer je još uvijek moguća automatizacija pojedinih radnji, kao što su specifični proračuni vratila, ležajeva i sl. Takve proračune moguće je izvesti u nekom od viših programskih jezika, ali se javlja pitanje prenošenja rezultata takvih proračuna na CAD/CAM sistem. Da bi se omogućila automatizacija i ovakvih aktivnosti CAD/CAM sistemi su obezbijedili aplikativne programske interfejse.

Aplikativni programski interfejsi (API) nisu ništa drugo nego posebna programska rješenja koja predstavljaju svojevrsan link između nekog višeg programskog jezika i CAD/CAM sistema. Dakle, API posjeduju sve karakteristike višeg programskog jezika, poput ulazno-izlaznih operacija, aritmetičko-logičkih operacija, funkcije za kontrolu toka programa itd., ali su i dodatno proširene sa komandama za aktiviranje funkcija CAD/CAM sistema, tj. komandama kroz koje je moguće programski kreirati, manipulirati i ispitivati geometrijski model proizvoda. CAD/CAM API prošli su kroz buran razvoj, a današnja rješenja postavljena su na paradigmatično orijentisanog programiranja.

2. PROGRAMSKI INTERFEJS CAD/CAM SISTEMA *SOLIDWORKS*

Savremeni CAD/CAM sistemi, u koje sasvim sigurno spada i *SolidWorks*, posjeduju programske interfejse već duže vrijeme, a obezbijedili su ih čim se za njima ukazala potreba. U početku su uglavnom bili integrisani unutar samog CAD/CAM sistema, funkcionisali su na principima *MACRO* jezika i bili su interpreterskog tipa. Današnji CAD/CAM sistemi imaju objektno orijentisane programske interfejse, koji se mogu pozivati iz viših programskih jezika, a postavljani su povrhu CAD/CAM sistema.

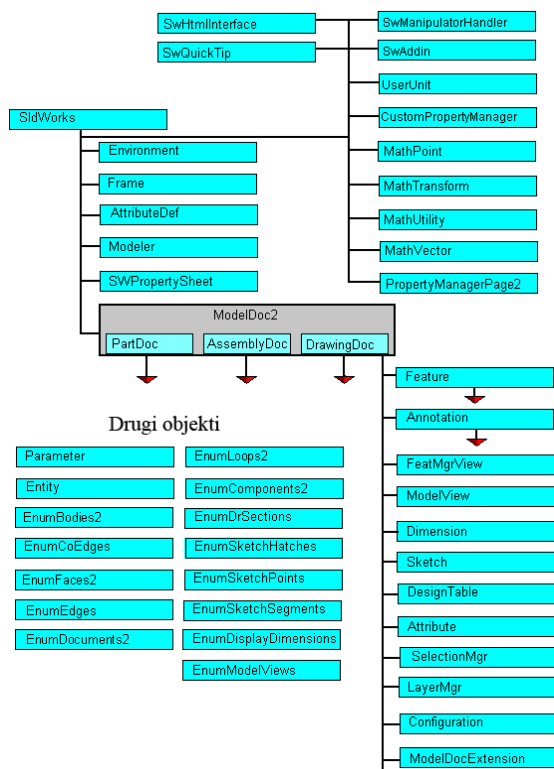
Najpoznatiji i najrasprostranjeniji programski interfejs računarskih aplikacija, otopšte, je *ActiveX Automation*, razvijen od strane *Microsoft*-a, koji je koncipiran na način da obezbjeđuje, pored programskog upravljanja pojedinom aplikacijom, povezivanje više *Windows* aplikacija u jednu. To je omogućeno na način što programski interfejsi pojedinih *Microsoft*-ovih aplikacija svoje objekte preko biblioteka klasa (objekata), stavljaju na raspolaganje i vanjskim, drugim aplikacijama, prvenstveno programskim jezicima *Visual Basic* i *C++*.

Ideje i rješenja *ActiveX Automation* privukle su i mnoge proizvođače CAD/CAM softvera, tako da su mnogi savremeni CAD/CAM sistemi, poput *SolidWorks*-a, *AutoCAD*-a, *ProEngineer*-a itd., implementirali upravo *ActiveX* standard.

Na slici 1. prikazana je *ActiveX* struktura objekata programskog paketa *SolidWorks*. Kao što je vidljivo sa slike na vrhu hijerarhije je objekat same *SolidWorks* aplikacije *SldWorks*, a potom slijede raspoloživi potomci. Kako u *SolidWorks*-u postoje tri osnovna tipa dokumenata

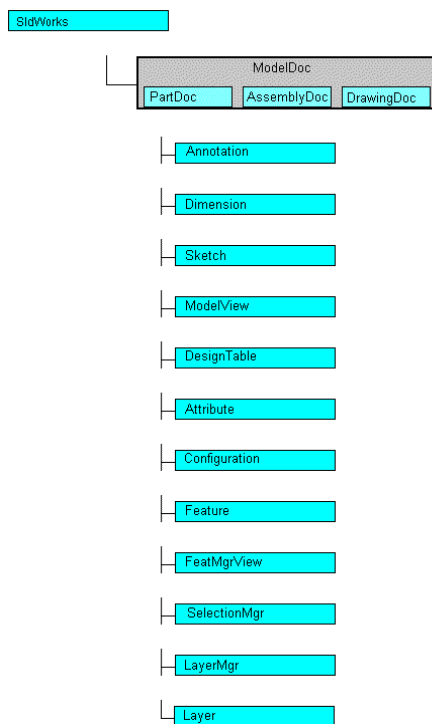
- Dio (*Parts*),
- Crtež (*Drawings*) i
- Sklop (*Assemblies*),

to svaki od njih ima sopstveni objekat (*PartDoc*, *DrawingDoc* i *AssemblyDoc*) sa sopstvenim skupom povezanih funkcija.



Slika 1. Dio SolidWorks ActiveX objektna hijerarhije

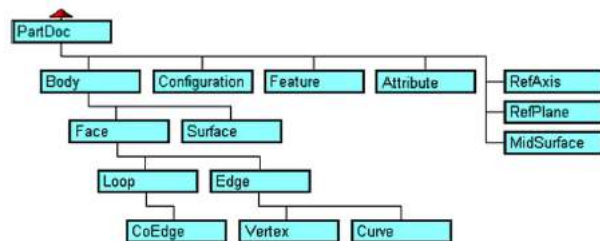
Za ekspoziciju svih zajedničkih funkcija *SolidWorks* API koristi *ModelDoc* objekat. Dakle, pomoću *ModelDoc* objekta omogućen je direktan pristup *PartDoc*, *AssemblyDoc* i *DrawingDoc* objektima (Slika 2).



Slika 2. Direktan pristup različitim vrstama objekata preko *ModelDoc* objekta

Funkcije za kreiranje tipskih formi (*feature*), tijela (*body*) i referentne geometrije ugrađene su u *PartDoc* objekat (slika 3.).

PartDoc Objects



Slika 3. SolidWorks potomci *PartDoc* objekta

eneralno, *AssemblyDoc* objekat obezbjeđuje pristup funkcijama koje se koriste pri sastavljanju sklopa, kao što su dodavanje novih komponenti, uparivanje postojećih, prikaz sklopa u rastavljenom stanju, skrivanje komponenti itd.

omoću *DrawingDoc* objekta obezbjeđen je pristup funkcijama koje se koriste pri kreiranju crteža, kao što su automatsko generisanje projekcija i slično.

ored navedenih *SolidWorks* API takođe raspoložu sa funkcijama koje su uobičajene za sve tipove dokumenata kao što su npr. štampanje, spašavanje, davanje imena fajlu itd.

ao ilustrativan primjer navešćemo funkciju za kreiranje linije, pridružene *ModelDoc* objektu (i njegovim potomcima), koja ima slijedeću sintaksu:

```
retval = ModelDoc.CreateLine2(xStart,
yStart, zStart, xEnd, yEnd, zEnd),
```

a koja zahtjeva koordinate početne i krajnje tačke linije. *Visual Basic* program koji najprije pokreće *SolidWorks* aplikaciju, a zatim kreira liniju između tačaka *Pt1(0,0,0)* i *Pt2(50,50,50)* u prostoru modela aktivnog dokumenta (*ActiveDoc*) bio bi prilično jednostavan, a imao bi sljedeći izgled:

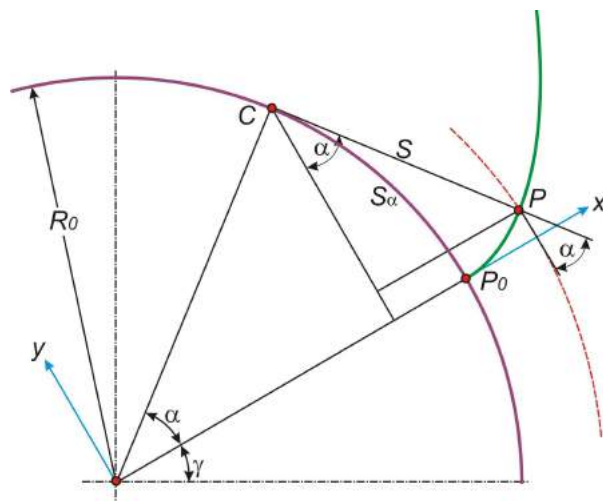
```
Sub main()
'Pokretanje SolidWorks aplikacije
Dim swApp As SldWorks.SldWorks
Dim swModel As SldWorks.ModelDoc2
Dim swLine As SldWorks.SketchSegment
Set swApp =
CreateObject("SldWorks.Application")
Set swModel = swApp.ActiveDoc
'Kreiranje linije
swModel.Insert3DSketch2 True
Set swLine = swModel.CreateLine2(0,
0, 0, 50, 50, 50)
End Sub
```

olidWorks API sadrži na stotine funkcija koje se mogu pozivati iz *Visual Basic*-a, VBA (*Access*, *Excel*, itd.), C, C++ ili *SolidWorks* makro datoteke. Koristeći interfejsa za automatizaciju, program napisan npr. u *Visual Basic*-u, može pokrenuti i zaustaviti *SolidWorks*, nacrtati ili učitati grafičke objekte, manipulirati njima, promijeniti korisnički interfejs, te izvršiti mnoge druge naredbe. Makro aplikacije najlakše su za kreiranje, a za njih je karakteristično korištenje mnogih *Visual Basic* komandi. Dobra stvar u vezi makroa je što je platforma za njihov razvoj već integrisana u *SolidWorks* softveru. Loša stvar u vezi makroa je što se jasno ne mogu odrediti njihovi limiti. *Visual Basic* aplikacije su mnogo naprednije od makroa i omogućuju integraciju menija, dijalog okvira, kao i prikazivanje informacija. Ovaj rad je i fokusiran na korištenju *Visual Basic*-a jer je pomoću njega moguć

pristup 99% svih API funkcija, a pored toga omogućeno je i kreiranje formi za grafički korisnički interfejs. Najteži za implementaciju je C++, ali je pomoću njega omogućeno pisanje programa na višem nivou.

3. PROGRAMSKO RJEŠENJE MODELIRANJA EVOLVENTNE FUNKCIJE

Evolventa se može definisati kao kriva koja nastaje kotrljanjem, bez klizanja, prave (izvodnice ili generatrise) po kružnici (slika 4) [3,5]. Svaka tačka te prave opisuje po jednu evolventu. Kružnica po kojoj se generatriisa kotrlja predstavlja osnovnu kružnicu za datu evolventu. Evolventna funkcija je osnova proračuna geometrijskih veličina kod zupčanika.



Slika 4. Geometrijski prikaz evolvente

Evolventa se može matematički opisati u Kartezijevim ili polarnim koordinatama. Radi pojednostavljenja pretpostavićemo da je početni ugao $\gamma = 0^\circ$, a evolventu ćemo opisati u Kartezijevim koordinatama. Iz uslova kotrljanja slijedi:

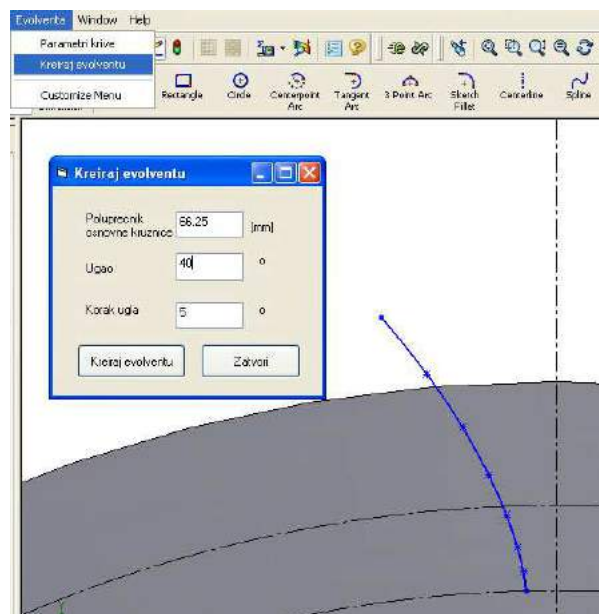
$$\overline{PC} = \overline{P_0C} \quad (1)$$

Nakon sređivanja tražene koordinate tačke na evolventi bile bi:

$$\begin{aligned} X &= R_0 \cos \alpha + \alpha R_0 \frac{\pi}{180} \sin \alpha \\ Y &= R_0 \sin \alpha - \alpha R_0 \frac{\pi}{180} \cos \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

Konstruisanje cilindričnih zupčanika sa evolventnim profilom zupca u CAD paketu *SolidWorks* zahtjeva dosta vremena, jer je za dobijanje konačnog oblika evolvente potrebno, na osnovu nekoliko matematičkih obrazaca, tačno definisati geometrijsko mjesto tačaka koje definišu profil zupca – evolventu.

Na osnovu matematičkog rješenja, korištenjem programskog jezika *Visual Basic*, a uz pomoć aplikativnog programskog interfejsa CAD/CAM paketa *SolidWorks*, urađena je programska implementacija rješenja automatskog kreiranja evolventne funkcije. Prije pokretanja programa *Evolventa*, korisnik je dužan unijeti podatke vezane za poluprečnik osnovne kružnice, ugao i korak ugla evolvente. Dobijeni evolventni profil, podnožna i tjemena kružnica u potpunosti definišu tačan oblik zupca zupčanika. Razvijeni program testiran je na primjeru kružnog zupčastog noža.

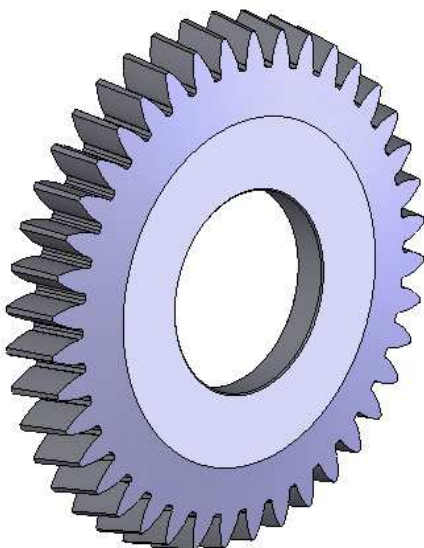


Slika 5. Automatsko kreiranje evolvente

Nako što su preko formula (2) definisane koordinate tačaka na evolventnom profilu, korištenjem API funkcije (metoda) *ModelDoc.SketchSpline* (*morePts*, *x*, *y*, *y*) crta se splajn kriva kroz date tačke. Kod ove funkcije sa *x*, *y*, *z* su označene koordinate tačaka na splajn krivoj, dok *morePts* označava broj preostalih tačaka koje treba definisati nakon tekuće tačke. Prikazaćemo dio koda za generisanje evolvente:

```
Set swApp =
CreateObject("SldWorks.Application")
Set swPart = swApp.ActiveDoc
Set swSelMgr = swPart.SelectionManager
Part.InsertSketch2 True
boolstatus =
swPart.Extension.SelectByID2("Front
Plane", "PLANE", 0, 0, 0, False, 0,
Nothing, 0)
Part.ClearSelection2 True
...
X = R * Cos(alpha / 180 * PI) + alpha * R
* (PI / 180) * Sin(alpha / 180 * PI)
Y = R * Sin(alpha / 180 * PI) - alpha * R
* (PI / 180) * Cos(alpha / 180 * PI)
swPart.SketchSpline n, X, Y, 0
...
swPart.ClearSelection2 True
```

Korištenjem dobijene evolvente, dalje definisanje geometrije je trivijalno, te zbog toga neće biti ni razmatrano, a kao krajnji rezultat dobije se model kružnog zupčastog noža prikazan na slici 6.



Slika 6. Model kružnog zupčastog noža

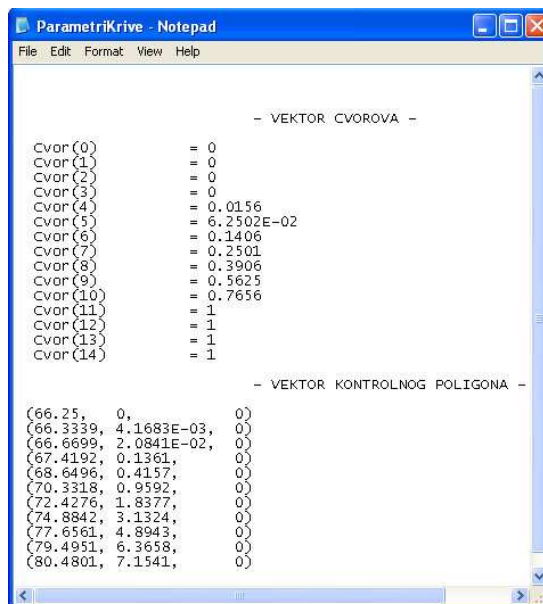
Pored navedenog programa *Evolventa*, razvijen je i program pod nazivom *Parametri krive* pomoću kojeg se dobijaju svi neophodni parametri potrebni za jednoznačnu definiciju krive tj. vektor čvorova, niza tačaka kontrolnog poligona, te stepen krive. Pomoću aplikativnog programskog interfejsa moguće je kreirati forme koje u potpunosti odgovaraju standardnim formama CAD/CAM paketa SolidWorks, kao što je to prikazano na slici 7.



Slika 7. Prikaz forme programa *Parametri krive*

Svi parametri dobijaju se pomoću API funkcije `Curve.GetBCurveParams(wantCubicIn)`. Navedenom funkcijom dolazimo do niza vrijednosti vezanih za selektovanu krivu, kao što su: red krive, broj kontrolnih tačaka, periodnost, vektor čvorova, vektor kontrolnog poligona, težinski koeficijenti.

Parametri kojima je definisana evolventna funkcija kružnog zupčastog noža prikazani su na slici 8.



Slika 8. Parametri evolvente

4. ZAKLJUČAK

Napredak aplikativnih programskih interfejsa ogleda se u objektnoj orijentaciji i postavljanju ostvarenja iznad CAD/CAM sistema. Usprkos tome što CAD/CAM programski interfejsi, izgrađeni na *MS ActiveX* obrascu imaju izuzetne mogućnosti, ipak još uvijek oni ne predstavljaju standardna rješenja, jer nije moguće različite CAD/CAM sisteme pokretati istim programom. Cilj standardizacije je da se u području API CAD/CAM sistema isti program može pokrenuti u različitim CAD/CAM okruženjima.

Osnovna težnja ovog rada bila je da se istraže mogućnosti primjene aplikativnog programskog interfejsa CAD/CAM paketa *SolidWorks* u smislu automatizacije prilikom kreiranja inženjerskih aplikacija. Iako je u radu prikazan jedan jednostavan primjer primjene aplikativnog programskog interfejsa, koji se odnosi na automatsko kreiranje evolventnog profila, moguća je primjena API i kod složenijih inženjerskih aplikacija, kako je to pokazano u [1].

5. LITERATURA

- [1] Čiča, Đ., *Razrada algoritma za ostvarenje $C^{(1)}$ putanje alata pri CNC obradi složenih površina*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Banja Luka, 2006.
- [2] Jokanović, S., *Aplikacioni programski interfejsi CAD/CAM sistema*, DEMI, 64-68, Banja Luka, 2000.
- [3] Ognjanović, M., Plavšić, N., Janković, M., *Teorija mašinskih elemenata*, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [4] Stephens, R., *Visual Basic – Graphic programming*, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [5] Vitas, D., Trbojević, D., *Mašinski elementi III*, Naučna knjiga, Beograd, 1981.

Latinović, T., Todić, M., Zrilić, R.

GENETSKI FAZI ADAPTIVNI EKSPERTSKI SISTEM U AUTOMATIZOVANOM PROIZVODNOM SISTEMU

Rezime: Korištenje Genetskog Algoritma za dizajniranje Fazi Ekspertskog Sistema, koji nam omogućuje da se sistem uči i adaptira u Automatskom Proizvodnom Sistemu. Ova oblast je jako interesantna u području primjenjene Kompiuterske Inteligencije. U Ovom radu date su smjernice i trendovi u razvoju Genetskih Fazi sistema.

Ključne reči: : fazi logika, proizvodni sistemi, genetski sistemi, ekspertski sistemi

ADAPTIVE GENETIC FUZZY EXPERT SYSTEMS IN AUTOMATED MANUFACTURING SYSTEMS

Abstract: The use of Genetic Algorithms for designing Fuzzy Expert Systems allows us to introduce the learning and adaptation capabilities in Automated Manufacturing Systems. This topic has attracted considerable attention in the Computation Intelligence community. This short paper briefly reviews the classical models and the most recent trends for Genetic Fuzzy Systems.

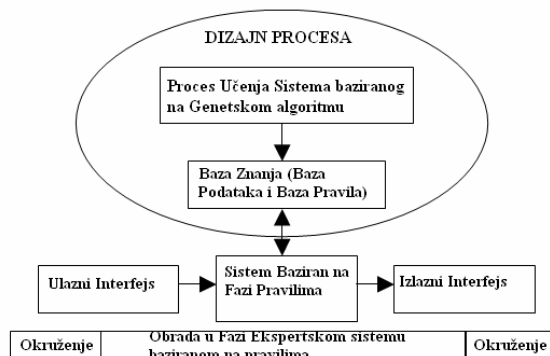
Key words: fuzzy, manufacturing systems, genetic system, expert systems

1. UVOD

Inteligentne tehnike kao što su umjetne neuronske mreže, fazi logika i genetski algoritmi su popularne tehnike razvoja. One mogu riješiti mnogobrojne kompleksne inženjerske probleme klasičnim metodama [5]. Jedan od najpopularnijih pristupa je hibridizacija između Fazi Logike i Genetskih Algoritama. To se zove genetski fazi sistem (GFS). Genetski algoritmi (GA) su pretraživački algoritmi bazirani na prirodnoj genetici koja omogućava robustne mogućnosti pretrage [4].

Fazi sistemi su idealni za probleme u okviru specificirang domena upotrebe.

Analizirajući pisanu i elektronsku literaturu, možemo zaključiti da se najčešće koriste Genetski fazi ekspertski sistemi bazirani na pravilima.[2]. Slika 1 ilustruje grafički tu ideju. Unutar Genetski Fazi Ekspertskog Sistema baziranog na pravilima (GFRBS) imamo one koji optimiziraju parametre ili one koji optimiziraju proces generisanja pravila koji mora biti adaptivan i mora da uči.



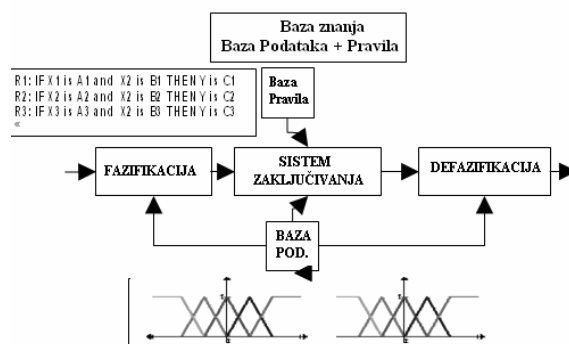
Slika 1. Genetski Fazi Sistem

predstavlja tekući status GFRBS sistema u Poglavlju 3. Poglavlje 4 je i zaključak.

2. FAZI EKSPERTSKI SISTEM BAZIRAN NA PRAVILIMA I GENETSKI ALGORITAM

2.1 Fazi sistemi bazirani na pravilima

Glavni dio jednog Fazi Ekspertskog Sistema Baziranog na pravilima (FRBS) sistema je skup IF-THEN pravila, koji su sastavljeni od fazi komandi i čine pravilo koje je dio sistema odluke u ekspertskom sistemu. FRBS je sastavljen od baze znanja (KB), koji uključuje informacije koje je dao Ekspert u formi fazi pravila i Fazifikacijski interfejs, koji transformiše ulazne podatke u fazi skupove i Sistem za odlučivanje, kao i defazifikacijski interfejs koji prevodi fazi pravila. Struktura FRBS sistema je kao na Slici 2.



Slika 2. Generička struktura fazi sistema

- Za više informacija o fazi sistemima pogledajte knjige [2] i [6]

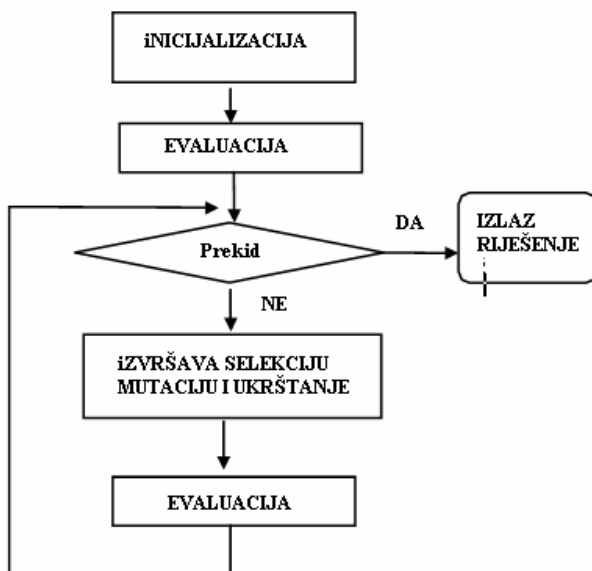
Rad u startu objašnjava FRBS i GAS u Poglavlju 2. Takođe

B. Genetski Algoritam (GAS)

GAS je generalni algoritam pretraživanja koji koristi principe prirodne genetike da riješi probleme pretraživanja [4]. Osnovna ideja je održavati populaciju hromozoma (reprezentativnih kandidata za rješenje problema), koji evoluiraju tokom vremena kroz proces konkurentnosti i kontrolisane promjene.

GA startamo sa populacijom slučajno generisanih hromozoma i tražimo one koji prirodno zadovoljavaju naš proces. Tokom ponavljanja koji se zovu generacije, hromozomi u populaciji se rangiraju na osnovu njihove adaptacije na rješenje i na kraju evolucije nova populacija hromozoma se formira koristeći mehanizme kao što su mutacija i recipročna izmjena. Za svaki problem koji moramo riješavati razvija se Evolucija ili fitnes funkcija. Svakom hromozomu fitnes funkcija daje numeričku vrijednost koja je proporcionalna adaptaciji hromozoma na dati problem. Osnovni genetski Algoritam se sastoji od tri operacije:

- evaluacija individualne fitnes funkcije,
- formatizacija gena preko selekcijskog mehanizma i
- rekombinacija preko operacija mutiranja i unakrsnih operacija. GAS je prikazan na slici 3.



Slika 3. Genetski Algoritam (GAS)

Da bi riješila problem aplikacija GA mora odrediti:

- Genetsku prezentaciju (genotip) za rješenje problema (fenotip)
- Način kreiranja inicijalne populacije rješenja
- Evaluacijska funkcija (fitnes funkcija) koja dodjeljuje vrijednost svakom hromozomu.
- Operatore koji modifikuju genetsku kompoziciju potomaka tokom reprodukcije
- Vrijednosti za korištene parametre (populacijska vrijednost, vjerovatnoća aplikacije genetskih operatora, itd)

Dakle Gas nije specijalno dizajniran za učenje, nego za globalno pretraživanje i mašinsko učenje. Mnoge metodologije problem učenja svode na problem pretraživanja ili temeljnu operaciju. Pretraživanje se vrši u domenu modela što znači da kodifikujemo model u kromozomu. Kada se zadržimo na sistemima baziranim na naučenim pravilima, postoje dva pristupa; kako genetski metod pristupa kod kodiranja pravila u nekoj populaciji [2]:

- Hromozom = Skup pravila**, koji se zove i

Pitsburški pristup, u kome svaki individualni hromozom predstavlja skup pravila [3]

- Hromozom = Pravilo**, u kome se svaka kodifikacija pravila i cjelokupni skup pravila, omogućava kombinacijom nekoliko individualnih pravila u populaciji.

3. GENETSKI FAZI SISTEMI: STATUS

Osnova korištenju GA za automatsko učenje u FRBS je da se proces prikupljanja znanja može analizirati, kao optimizacijski problem.

Sa Optimizacijske tačke gledišta pronalaženje elementa baze znanja je ekvivalent kodiranju strukture parametara kojom nalazimo optimum za fitnes funkciju. Parametri baze znanja omogućavaju prostor pretraživanja koji se transformiše u skladu sa genetskom prezentacijom.

Objasnićemo klasični GFRBS pristup zajedno sa novim trendovima koji daju nove smjernice za ubacivanje GA u klasične FRBS sisteme.

A. Klasičan GFRBS pristup:

Baza znanja (KB) se sastoji od [2]:

- DB (baza podataka) koja mora sadržavati dovoljno podataka za svaku lingvističku varijablu, kao i fazi funkciju pripadnosti za svaku labelu.
- RB (baza pravila), zahtjeva određivanje broja pravila i kompoziciju svakog od njih, od postojećih podataka u bazi podataka.

B. Novi trendovi u GFRBS sistemima

U dodatku klasičnim sistemima radimo sledeće:

- Dizajniramo FRBS sisteme sa genetičkim programiranjem
- Genetski odabiramo skup fazi pravila
- Genetski biramo karakteristike sistema
- Održavamo prevodljivim bazu znanja, preko multi objektivnih genetskih procesa
- Genetski baziran pristup učenju sastoji se od više modalnih struktura: duplo-dosljedna fazi pravila, težinska fazi pravila, hijerarhijska baza znanja KB
- Genetski baziran pristup znanju

Možemo zaključiti da nam fleksibilno kodiranje GA dopušta da predstavimo različite vrste struktura, kao što su težine, osobine zajedno sa parametrima pravila itd. Širok dijapazon pristupa nam je potreban da bi odredili genetsku komponentu (hromozom) [1]

4. ZAKLJUČAK

Hibridizacija između fazi sistema i genetskih algoritama (GA) i genetski fazi sistema (GFS) postaje izuzetno važna tokom naredne decenije. Istraživači moraju da obrate pažnju na mogućnosti GFS sistema, koristeći prednosti teorije fazi sistema. Pošto su to pretežno nova saznanja, treba u narednom periodu obratiti pažnju na uvođenje ovakvih sistema u nastavu. Preko Matematike, Automatike, i svih ostalih predmeta gdje možemo koristiti Fazi logiku, Ekspertske sisteme, Genetske algoritme, moramo ih uvesti u obrazovanje. Posebno to treba da se primjeni na tehničkim fakultetima iako sistemi imaju primjenu i na organizacionim i ekonomskim fakultetima. Takođe je potrebno obratiti pažnju na primjenu takvih sistema u industriji. Zbog ograničenosti domena znanja u industrijskim sistemima, Genetski Fazi

Ekspertski sistemi bazirani na pravilima imaju veliku primjenu u Industriji . Sistemi su primjenljivi u upravljanju proizvodnjom i kvalitetom proizvoda.

5. LITERATURA

- [1] Córdón O. , Gomide F. , Herrera F. , Hoffmann F., Magdalena L.: *“Ten years of genetic fuzzy systems: Current framework and new trends,”* Fuzzy Sets and Systems, vol. 41, Redni broj strane 5-31, 2004.
- [2] Córdón O. , Herrera F. , Hoffmann F. , Magdalena L.: Genetic „Fuzzy Systems. Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases“. World Scientific, Redni broj strane 14-20, 2001.
- [3] De Jong K.A. , Spears W.M. , Gordon D.F. , “Using genetic algorithms for concept learning,” Machine Learning, vol. 13, pp. 161-188, 1993.
- [4] Goldberg D. E. , Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.
- [5] Konar A. , Computational Intelligence: Principles, Techniques and Applications. Springer-Verlag, 2005.
- [6] Yager R.R , Filev D.P. , Essentials of Fuzzy Modeling and Control, John Wiley & Sons, 1994.

Autori: Doc. dr Latinović Tihomir, Doc. dr Todić Mladen, Doc. dr Zrilić Radenko, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski Fakultet, Departman za Mehatroniku, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, Bosna i Hercegovina.
Tel.: +381 65 530 723.
E-mail: tiho@inecco.net

Lukić, D., Todić, V., Milošević, M., Kuric, I.

DEFINISANJE OSNOVNIH ELEMENATA TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADE U SPECIJALIZOVANOM CAPP SISTEMU

Rezime: Osnovni cilj razvojnih aktivnosti u oblasti proizvodnih tehnologija predstavlja integracija svih segmenata proizvodnje i uspostavljanja računarom integrisane proizvodnje (CIM). Projektovanje tehnoloških procesa pomoću računara, odnosno CAPP, predstavlja jedan od osnovnih elemenata razvoja CIM-a i ima ključnu ulogu u integraciji aktivnosti projektovanja proizvoda i njihove proizvodnje. U radu se prikazuje automatizovani izbor, odnosno definisanje osnovnih elemenata tehnološkog procesa obrade u specijalizovanom CAPP sistemu za izradu alata za brizganje plastike.

Ključne reči: CAPP, Baza podataka, Baza znanja.

DEFINING BASIC ELEMENTS OF MANUFACTURING PROCESS PLANNING IN THE SPECIALIZED CAPP SYSTEM

Abstract: Integration of the all elements of manufacturing and configuration of Computer Integrated Manufacturing (CIM), are the basic goals of development activities within production technologies. Computer aided process planning (CAPP), corresponds as the one of the basic elements in development of CIM, and has the key role in the integration activity of product design and manufacturing. In this paper presents automated selection and definition of basic elements of the process planning in the specialized CAPP system for plastics injection mold manufacturing.

Key words: CAPP, Data Base, Knowledge Base.

1. UVOD

Rad tehnološke pripreme proizvodnje se u najvećoj meri ogleda u projektovanju kvalitetnih rešenja tehnoloških procesa izrade odgovarajućih proizvoda. U cilju automatizacije projektovanja tehnoloških procesa razvijaju se odgovarajući CAPP (Computer-Aided Process Planning) sistemi. [1]

Zbog raznovrsnosti proizvoda i nemogućnosti razvoja univerzalnog programskog sistema koji bi bio efikasan u projektovanju i planiranju velikog broja aktivnosti koji čine tehnološki proces, najčešće se pristupa razvoju specijalizovanih sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade proizvoda, primenom odgovarajućih programskih sistema opšte namene. Razvijeni programski sistemi namenjeni za automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade proizvoda zasnivaju se na integraciji odgovarajućih CAX sistema, i uglavnom se sastoje iz više modula. Tako se i specijalizovani sistem za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike zasniva na integraciji CAD, CAPP i CAM sistema, odnosno razvoju integrisanog CAPP sistema.

U radu će se prikazati automatizovani izbor ili definisanje osnovnih elemenata tehnološkog procesa, kao jedan od osnovnih segmenata u ovom specijalizovanom CAPP sistemu.

2. OSNOVNA ALGORITAMSKA STRUKTURA SPECIJALIZOVANOG CAPP SISTEMA

Kao polazna osnova za razvoj posmatranog sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike, postavljen je model, odnosno algoritamska struktura sistema, koja je detaljno predstavljena u radovima [2, 3] i sastoji iz tri osnovne celine. Prva se odnosi na ulazne podatke, druga na projektovanje alata za brizganje plastike i izbor tipskih delova alata (CAD modul), i treća na projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata (CAPP/CAM modul).

Programsko rešenje je bazirano na integraciji više različitih programskih sistema, među kojima su najznačajniji: sistem za projektovanje, odnosno modeliranje proizvoda, sistem za razvoj i upravljanje relacionim bazama podataka, sistem za razvoj baze znanja i sistem za generisanje upravljačkih programa.

Rezultati iz prva dva modula, odnosno 3D model i 2D crtež alata, delova alata i priprema, kao i postavljeni proizvodni uslovi čine ulazne podatke u modul za projektovanje tehnoloških procesa izrade delova alata.

Na slici 1 predstavljen je algoritamski tok definisanja tehnoloških procesa, koji se odvija u sledećim etapama:

- **Izbor elemenata standardnog tehnološkog procesa,**
- **Izbor mašina, pribora i merila,**
- **Izbor fleksibilnog sistema reznih alata,**
- **Izbor režima obrade.**

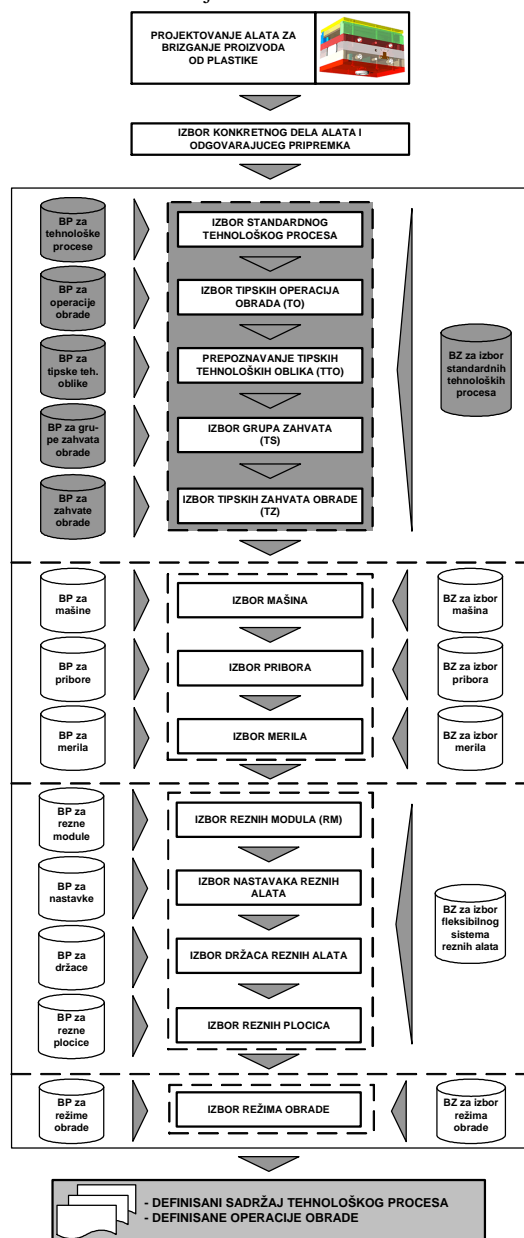
Standardni, odnosno tipski tehnološki procesi se definišu za određene tipske delova alata. U konkretnom slučaju posmatraju se prizmatični tipski delovi i odgovarajući tehnološki procesi njihove izrade u određenim proizvodnim uslovima. Treba napomenuti da su u pripremnoj etapi, koja je prethodila razvoju ovog sistema usvojeni tipski tehnološki procesi izrade pojedinih delova alata za slučaj pojedinačne i serijske proizvodnje, na osnovu čega su definisane odgovarajuće baze podataka i baze znanja.

Bazu podataka za projektovanje tehnoloških procesa čine baze podataka za operacije, tipske tehnološke oblike, grupe zahvata i tipske zahvate, baze podataka za mašine, pribore i merila, baze podataka za elemente fleksibilnog sistema reznih alata, kao i baze podataka za režime obrade.

Bazu znanja za tehnološke procese čine: standardni tehnološki procesi i pravila za njihovo izbor, operacije obrade i pravila za njihov izbor, tipski tehnološki oblici i pravila za njihovo prepoznavanje, zahvati obrade i pravila za njihov izbor, kao i pravila za izbor mašina, pribora, merila, elemenata fleksibilnog sistema reznih alata i režima obrade.

U okviru algoritamskog toka na slici 1, posebno su

naglašene aktivnosti definisanja, odnosno izbora osnovnih elemenata tehnološkog procesa, sa odgovarajućim bazama podataka i bazama znanja.



Slika 1. Algoritamski tok definisanja tehnoloških procesa izrade delova alata za brizganje plastike [3]

3. RAZVOJ BAZE PODATAKA I BAZE ZNANJA ZA ELEMENTE TEHNOLOŠKOG PROCESA

Organizovanje i upravljanje podacima se zasniva na relacionom modelu podataka, odnosno primeni relacione baze podataka. U okviru razvijene baze znanja koja se koristi u ovom sistemu, znanje se predstavlja korišćenjem tehnike produkcionih sistema. Odlučivanje i zaključivanje se vrši na osnovu ulaznih podataka zadatih od strane korisnika i podataka koji su memorisani u bazi podataka sistema. Ovi podaci se uglavnom odnose na geometrijske i tehnološke podatke. Ulazni podaci, koje unosi korisnik, definišu se pomoću namenskog grafičkog korisničkog okruženja. [3, 4]

Najveći deo integrisane baze podataka i baze znanja u okviru posmatranog programskog rešenja, čine elementi baze podataka i baze znanja za projektovanje tehnoloških procesa.

Na osnovu predstavljenog algoritamskog toka na slici 1, prikazaće se deo rešenja koji se odnosi na razvoj baze znanja za definisanje tehnoloških procesa izrade grupe prizmatičnih

delova kućišta alata. Ovu bazu znanja čine:

- **Pravila za definisanje, odnosno izbor sadržaja standardnog tehnološkog procesa,**
- **Pravila za izbor tipskih operacija obrade, odnosno:**
Pravila za prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika,
Pravila za izbor grupa tipskih zahvata obrade, i
Pravila za izbor i preciziranje zahvata obrade.

Za posmatrani deo alata definiše se sadržaj tehnološkog procesa njegove izrade na bazi razvijenih produkcionih pravila. Ova pravila su definisana u sledećem obliku:

AKO JE (Deo Λ Grupa materija dela Λ Tip proizvodnje)

ONDA JE (Tipski tehnološki proces)

U tabeli 1, dat je primer produkcionih pravila za definisanje sadržaja standardnog tehnološkog procesa izrade nepokretne kokile, kao i njen crtež i sadržaj standardnog, odnosno tipskog tehnološkog procesa.

AKO JE Tipski deo= $N10A$ Λ materijal čelik 1.2718 Λ Proizvodnja serijska ONDA JE Tipski tehnološki proces TTP 10A Tipska skica dela: Nepokretna kokila N10A			
Sadržaj tehnološkog procesa:			
Op.	Naziv operacije	Mašina	Tpz
10	Autogeno isecanje	Aparat za autog. isec.	10
20	Poboljšanje	Peć za poboljšanje	30
30	Kontrola	Kontrolni sto	5
40	Doterivanje	Radni sto	10
50	Glodanje	NC Glodalica	15
60	Ravno brušenje	NC brusilica	15
70	Kontrola	Kontrolni sto	5
80	Bušenje	NC bušilica-glodalica	30
90	Izrada gravure	NC glodalica	30
95	Izrada kanala za temper.	NC bušilica-glodalica	20
100	Kaljenje i otpuštanje	Peć, kada	30
110	Dorada kokile erodiranjem	Erozimat	20
120	Doterivanje	Radni sto	10
130	Odmašćivanje	Kada za odmašćiv.	5
150	Završna kontrola	Kontrolni sto	5

Tabela 1. Primer produkcionih pravila za izbor sadržaja standardnog TP izrade nepokretne kokile N10A

Nakon izbora sadržaja standardnog tehnološkog procesa sledi faza njegovog preciziranja, uključujući i preciziranje operacija obrade. U zavisnosti od posmatranog prizmatičnog dela alata i odgovarajuće operacije, zavisi i pripadnost određenih tipskih tehnoloških oblika. Ova pravila imaju sledeći oblik:

AKO JE (Tipski tehn. proces Λ Tipska operacija obrade)

ONDA JE (Tipski tehnološki oblik)

U tabeli 2, prikazan je deo produkcionih pravila za prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika, koja se odnose na definisanje operacije obrade bušenjem za nepokretnu i pokretnu kokilu alata za brizganje plastike. U navedenoj operaciji obrade, vrši se obrada dva tipska tehnološka oblika, TTO84 i TTO86. Ova pravila imaju sledeći oblik:

AKO JE (Tipski teh. oblik Λ Karakt. tipskog teh. oblika)

ONDA JE (Grupa tipskih zahvata)

Ozn. tipskog dela	Tipski tehnološki oblik	Karakt. tipskog tehnološk. oblika	Oznaka grupe zahvata
N10A N10B	TTO 84	$14 \leq d \leq 18 \wedge$ $16 \leq d_1 \leq 22 \wedge$ $16 \leq T \leq 56$	TS 80.18
		$24 \leq d \leq 32 \wedge$ $28 \leq d_1 \leq 36 \wedge$ $17 \leq T \leq 146$	TS 80.19
		$42 \leq d \leq 50 \wedge$ $46 \leq d_1 \leq 54 \wedge$ $36 \leq T \leq 206$	TS 80.20
	TTO 86	$6 \leq M \leq 8 \wedge$ $12 \leq t_2 \leq 15 \wedge$ $17 \leq t_3 \leq 21$	TS 80.23
		$10 \leq M \leq 12 \wedge$ $18 \leq t_2 \leq 20 \wedge$ $26 \leq t_3 \leq 28$	TS 80.24
		$M = 16 \wedge$ $t_2 = 26 \wedge$ $t_3 = 35$	TS 80.25

Tabela 2. Prikaz dela pravila za prepoznavanje TTO

Nakon prepoznavanja tipskih tehnoloških oblika, sledi izbor odgovarajućih grupa zahvata. Pravila za njihov izbor imaju sledeći oblik:

AKO JE (Oznaka grupe zahvata)

ONDA JE (Redosled, vrsta i kod tipskih zahvata)

U tabeli 3 dat je prikaz izabrane dve grupe zahvata koji su potrebni za obradu prethodno definisanih tipskih tehnoloških oblika TTO84 i TTO86, određenih karakteristikama.

Oznaka grupe zahvata	Tipski zahvati obrade	Kod tipskog zahvata
TS 80.19	<ul style="list-style-type: none"> Zabušiti $4 \times \varnothing 4$ Bušiti $4 \times \varnothing d_4 =$ Proširiti $4 \times \varnothing d_7 =$ Fino bušiti $4 \times \varnothing d_{H7} =$ Upustiti $4 \times \varnothing d_1 =$ na dubinu $t_1 =$ 	BZ10 BS10 BP10 SC21 BU11
TS 80.24	<ul style="list-style-type: none"> Zabušiti $4 \times \varnothing 2,5$ Bušiti $4 \times \varnothing d_{m1} =$ na dubinu $t_3 =$ Urezati 4 navoja $M =$ na dubinu $t_2 =$ 	BZ10 BS20 UN20

Tabela 3. Prikaz pravila za izbor grupa tipskih zahvata

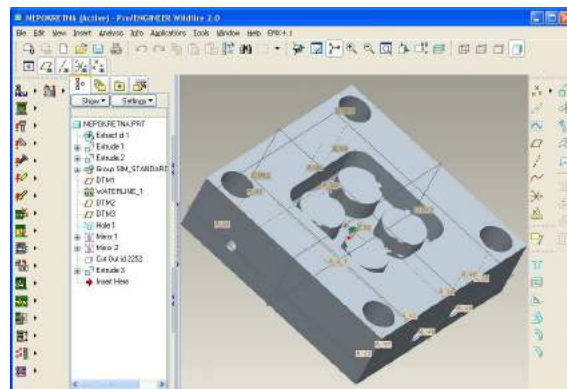
Tipski zahvati koje sadrže operacije obrade pojedinih tipskih tehnoloških oblika kodiraju se na osnovu razvijenog sistema kodiranja. Kodovi tipskih zahvata obrade čine jedan od osnovnih ulaznih podataka za automatizovani izbor fleksibilnog sistema alata i režima obrade.

Naredna faza u definisanju tehnoloških procesa prema algoritamskom toku sa slike 1, obuhvata izbor mašina alati, pribora, merila, elemenata fleksibilnog sistema alata, kao i režima obrade za pojedine operacije i zahvate obrade.

4. VERIFIKACIJA PRIMENE RAZVIJENOG PROGRAMSKOG REŠENJA

Verifikacija primene razvijenog CAPP sistema, odnosno njegovog dela koji se odnosi na definisanje osnovnih elemenata tehnološkog procesa obrade, prikazaće se na primeru odgovarajuće nepokretne kokile alata za brizganje tela razvodnika (slika 2).

Nakon potpunog definisanja navedenog alata, odnosno pripadajuće nepokretne kokile, kao i izbora vrste i materijala priprema kokile, što je prikazano u [3], sledi faza projektovanja tehnološkog procesa njene izrade.



Slika 2. 3D model nepokretne kokile

Na bazi razvijenih produkcionih pravila koja su definisana u tabeli 1, dobija se sadržaj standardnog tehnološkog procesa izrade izabrane nepokretne kokile alata, oznake TTP10A (slika 3). Za ovako definisan sadržaj tehnološkog procesa, u okviru MS Accessa, koristi se mogućnost formiranja izveštaja u štampanom obliku.

SADRŽAJ TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADE			
Podaci o delu alata:			
Naziv dela: Nepokretna kokila		Oznaka tipskog tehnološkog procesa: TTP10A	
Oznaka dela: N10A-2020-06			
Br. Op.	Naziv operacije	Naziv mašine	Traj.
10	Autogeno isecanje	Aparat za autogeno isecanje	10
20	Poboljšanje	Peć za poboljšanje	30
30	Kontrola TO	Kontrolni sto	5
40	Doterivanje	Radni sto	10
50	Glodanje	NC glodalica	15
60	Ravno brušenje	Brušilica na ravno brušenje sa NC upravljanjem	15
70	Kontrola	Kontrolni sto	5
80	Bušenje	NC bušilica-glodalica	30
90	Izrada gravure nepokretne kokile	NC glodalica	30
95	Izrada kanala za temperiranje i dr.	NC bušilica-glodalica	20
100	Keljanje, otpuštanje i brušenje	Peć, kade	30
110	Dorada kokile elektroerozivnom obradom	Erozimat	20
120	Doterivanje	Radni sto	10
130	Odmastivanje	Kada za odmaštivanje	5
150	Završna kontrola	Kontrolni sto	5

Slika 3. Generisani sadržaj tehnološkog procesa izrade nepokretne kokile

Za verifikaciju je izabrana tipska operacija obrade bušenjem, oznake OP80.

Nepokretna kokila sadrži odgovarajuće tipske tehnološke oblike TTO84 i TTO86, čija se obrada izvodi u posmatranoj operaciji bušenjem (slika 4). Pravila za definisanje tipskih tehnoloških oblika su sledeća:

AKO JE (TTP10A) \wedge (Operacija 80)

ONDA JE (TTO84 \wedge TTO86)



Slika 4. Tipski tehnološki oblici operacije obrade bušenjem nepokretne kokile

Obrada posmatranih tipskih tehnoloških oblika se realizuje primenom određenih grupa zahvata, što je prema prema tabeli 2, određeno produkcionim pravilima:

AKO JE (TTO84, $24 \leq d = 28 \leq 32 \wedge 28 \leq d_1 = 32 \leq 36 \wedge 7 \leq T = 56 \leq 146$)

ONDA JE (Grupa tipskih zahvata TS80.19)

AKO JE (TTO86, $10 \leq M = 12 \leq 12 \wedge 18 \leq t_2 = 20 \leq 36 \wedge 26 \leq t_3 = 28 \leq 28$)

ONDA JE (Grupa tipskih zahvata TS80.24)

Nakon toga sledi definisanje grupa zahvata potrebnih za njihovu obradu, na bazi razvijenih pravila prema tabeli 3, kao i preciziranje ovih zahvata obrade u smislu preciziranja dimenzija i kodova zahvata. Pravila za preciziranje posmatranih zahvata su sledeća:

AKO JE (TS 80.19)

ONDA JE (Redosled, vrsta i kod tipskog zahvata)

- Zabušiti $4x\varnothing 4$ BZ10
- Bušiti $4x\varnothing d_4 = 26$ BS10
- Proširiti $4x\varnothing d_7 = 27,7$ BP10
- Fino bušiti $4x\varnothing d_{H7} = 28H7$ SC21
- Upustiti $4x\varnothing d_1 = 32$ na dubinu $t_1 = 6,1$ BU11

AKO JE (TS 80.24)

ONDA JE (Redosled, vrsta i kod tipskog zahvata)

- Zabušiti $4x\varnothing 2,5$ BZ10
- Bušiti $4x\varnothing d_{M1} = 10$ na dubinu $t_3 = 28$ BS20
- Proširiti $4x\varnothing M = 12$ na dubinu $t_2 = 20$ UN20

Na slici 5, prikazan je izvod iz programskog rešenja za preciziranje zahvata obrade sa prikazom tipskog zahvata obrade finog bušenja u prolaznom otvoru, oznake SC21.



Slika 5. Definisani zahvati operacije obrade bušenjem i prikaz jednog tipskog zahvata

Nakon definisanja svih podataka, koji se odnose na preciziranje zahvata obrade, mašina, pribora, merila, elemenata fleksibilnog sistema reznih alata, režima obrade i vremena u okviru odgovarajuće operacije, vrši se preciziranje karte operacije kao osnovnog tehnološkog dokumenta. Na slici 6, dat je prikaz forme za definisanje operacije obrade bušenjem posmatrane nepokretne kokile.

U okviru forme na slici 6, prikazan je definisani parametrizovani 3D model obradka koji se dobija u datoj operaciji obrade bušenjem posmatrane nepokretne kokile, koji je korišćenjem OLE tehnologije povezan sa modelom u Pro/E. Ovaj model, zajedno sa modelom dela iz prethodne operacije obrade koristi se za dobijanje obradnog modela u CAM modulu Pro/ENGINEER-a i definisanje upravljačkog programa operacije obrade bušenjem, koja se realizuje na izabranom NC obradnom sistemu. Generisanje upravljačkih programa se vrši na principima parametarskog programiranja. Na bazi projektovane operacije bušenjem tipске nepokretne kokile i generisanog upravljačkog programa, automatizovano se dobija upravljački program za ovu operaciju obrade, što je detaljno prikazano u radu [3].



Slika 6. Izgled forme za preciziranje karte operacije obrade

5. ZAKLJUČAK

Razvijeno programsko rešenje, odnosno integrisani CAPP sistem, omogućuje automatizaciju značajnog broja aktivnosti u procesu projektovanja alata za brizganje plastike i njihovih tehnoloških procesa.

U ovom radu je pokazano da se specijalizovani CAPP sistemi mogu uspešno razvijati primenom programskih sistema opšte namene.

6. NAPOMENA

Rad predstavlja deo istraživanja na projektima "Razvoj i izrada proizvoda na principima reverzibilnog inženjerstva" iz programa Tehnološkog razvoja, Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine i "From preparation to Development, implementation and utilisation of Joint Programs in study area of Production Engineering – contribution to higher flexibility and mobility of students in Central European region" (CEEPUS II, 2008/2009, broj projekta CII-SK-0030-04-0809).

6. LITERATURA

- [1] Eversheim, W., Schneewind, J.: *Computer-Aided Process Planning – State of the Art and Future Development*, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol.10, No1/2, pp 65-70, 1993.
- [2] Lukić, D., Todić, V., Milošević M.: *Model sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike*, IX Međunarodna konferencija Fleksibilne tehnologije MMA 2006, Zbornik radova, str. 107-108., FTN, Novi Sad, jun 2006.
- [3] Lukić, D.: *Razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike*, Magistarska teza, FTN, Novi Sad, 2007.
- [4] Lukić, D., Todić, V., Milošević, M.: *Baza podataka i baza znanja za tehnološke procese u integrisanom CAPP sistemu*, 8. Međunarodno savetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije - DEMI 2007, MF Banja Luka, str. 145- 152, maj 2007, ISBN 978-99938-39-15-6.
- [5] Milošević, M.: *Razvoj specijalizovanog CAD/CAPP/CAM rešenja primenom savremenih programskih sistema opšte namene*, Magistarska teza, FTN, Novi Sad, 2005.

Autori: Prof. dr Velimir Todić, mr Dejan Lukić, mr Mijodrag Milošević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2331, Fax: +381 21 454-495.

Prof. dr Ivan Kuric, University of Žilina, Dpt. of Machining and Automation, Univerzitna 1, 01026 Žilina, Slovakia.

E-mail: todvel@uns.ns.ac.yu
lukicd@uns.ns.ac.yu
mido@uns.ns.ac.yu
ivan.kuric@fstroj.utc.sk

Lukić, D., Todić, V., Milošević, M.

IZBOR ELEMENATA FSA U SPECIJALIZOVANOM CAPP SISTEMU

Rezime: Izbor reznog alata predstavlja veoma bitnu aktivnost u projektovanju tehnoloških procesa izrade proizvoda, jer su troškovi nabavke, pripreme i održavanja reznog alata veoma visoki i čine znatan udeo u ukupnim troškovima obrade. Savremene uslove proizvodnje karakteriše primena obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem, pa se pod definisanjem reznog alata uglavnom podrazumeva izbor fleksibilnog sistema alata (FSA).

U radu se prikazuje automatizovani izbor elemenata fleksibilnog sistema alata u specijalizovanom CAPP sistemu za izradu alata za brizganje plastike, koji se najčešće proizvode na NC obradnim sistemima.

Cljučne reči: CAPP, Fleksibilni sistem alata, Baza podataka, Baza znanja.

SELECTION OF THE ELEMENTS IN FLEXIBLE TOOL SYSTEM WITHIN THE SPECIALIZED CAPP SYSTEM

Abstract: Selection of cutting tools is very important activity in the process planning for products manufacturing. This is because costs of purchasing, preparation and maintenance of cutting tools are very high, and present significant part in the total cost of manufacturing products. As contemporary production systems are characterized with the application of processing systems with numerical control, under cutting tool definition selection of flexible tool system is usually implied.

The paper presents automated selection of elements in Flexible Tools System, within the specialized CAPP System for plastics injection mold manufacturing on the NC machines.

Key words: CAPP, Flexible Tool System, Data Base, Knowledge Base.

1. UVOD

Projektovanje tehnoloških procesa prema SME (Society of Manufacturing Engineers) predstavlja sistemsko definisanje metoda i tehnika pomoću kojih se proizvodi izrađuju ekonomično i produktivno [1]. Osnovna karakteristika razvoja sistema projektovanja sistema tehnoloških procesa odnosi se na razvoj i primenu CAPP sistema.

U okviru projektovanja tehnoloških procesa izrade proizvoda, izbor reznog alata predstavlja veoma bitnu aktivnost, kako zbog toga što su troškovi nabavke, pripreme i održavanja reznog alata veoma visoki, tako i zbog činjenice da od reznog alata u velikoj meri zavisi kvalitetet i tačnost obrade. Savremenu proizvodnju karakteriše primena obradnih i tehnoloških sistema sa numeričkim upravljanjem, pa se pod definisanjem reznog alata uglavnom podrazumeva izbor fleksibilnog sistema reznih alata (FSA).

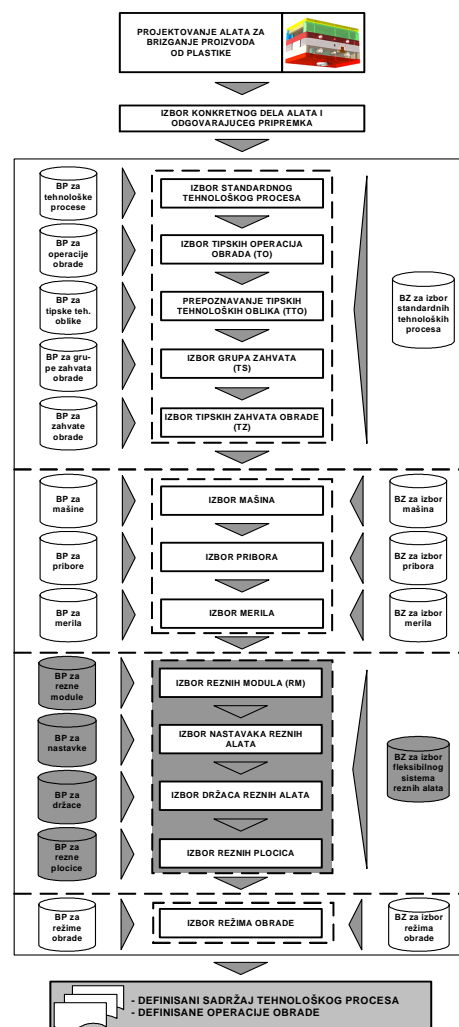
U radu će se prikazati automatizovani izbor elemenata fleksibilnog sistema reznog alata u specijalizovanom CAPP sistemu za izradu alata za brizganje plastike, što predstavlja nastavak tematike rada [5].

2. OSNOVNA ALGORITAMSKA STRUKTURA SPECIJALIZOVANOG CAPP SISTEMA

U radovima [2] i [3] predstavljena je algoritmska struktura za razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike. Struktura sistema se sastoji iz tri osnovne celine: ulaznih podataka, projektovanja alata za brizganje plastike i izbor tipskih delova alata (CAD modul) i projektovanja tehnoloških procesa izrade delova alata (CAPP/CAM modul).

Na slici 1 predstavljen je algoritamski tok definisanja tehnoloških procesa, koji se odvija u sledećim etapama:

- Izbor elemenata standardnog tehnološkog procesa,
- Izbor mašina, pribora i merila,
- Izbor fleksibilnog sistema reznih alata,
- Izbor režima obrade.



Slika 1. Algoritamski tok definisanja tehnoloških procesa izrade delova alata za brizganje plastike [3]

Organizovanje i upravljanje podacima u okviru ovog sistema zahteva razvoj odgovarajuće baze podataka, koja je u ovom slučaju zasnovana na relacionom principu i predstavlja jedan od ključnih elemenata programskog rešenja. U okviru ove integrisane baze podataka postoji i baza podataka za elemente fleksibilnog sistema reznih alata.

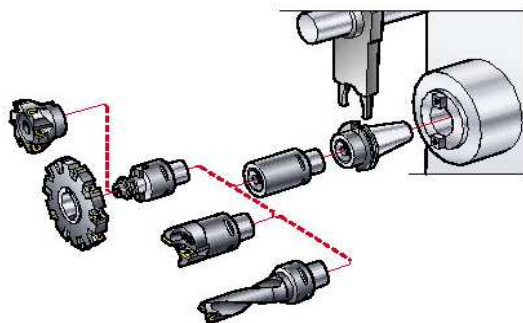
Baza znanja koja se koristi u okviru sistema sastoji se od produkcionih pravila i činjenica za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa, u okviru koje je i baza znanja za izbor elemenata fleksibilnog sistema reznih alata.

Na algoritamskom toku na slici 1, posebno su naglašene aktivnosti izbora elemenata fleksibilnog sistema reznih alata, sa odgovarajućim bazama podataka i bazama znanja.

3. RAZVOJ BAZE PODATAKA I BAZE ZNANJA ZA FLEKSIBILNE SISTEME REZNIH ALATA

Pošto se u definisanim tehnološkim procesima izrade posmatranih delova alata, veliki broj operacija realizuje na obradnim sistemima sa numeričkim upravljanjem, pod izborom reznog alata se uglavnom podrazumeva definisanje fleksibilnog sistema reznog alata. Pod fleksibilnim sistemom reznog alata se podrazumeva modularni sklop sledećih elemenata ili modula (slika 2):

- *Držača reznog alata,*
- *Nastavaka reznog alata,*
- *Reznog modula, i*
- *Rezne pločice.*



Slika 2. Prikaz elemenata fleksibilnog sistema reznih alata

Pred fleksibilne sisteme reznih alata postavljaju se sledeći zahtevi [4]:

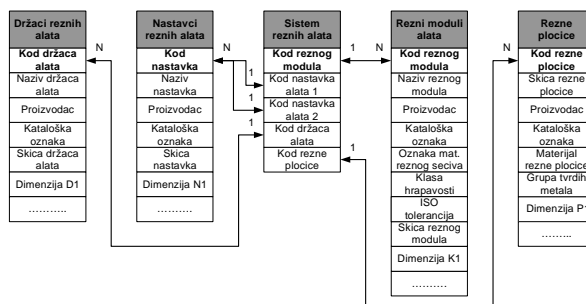
- *Obezbeđenje tačnosti mera, oblika i odnosa površina,*
- *Jednostavno i tačno podešavanje alata izvan mašine,*
- *Brzo, lako i tačno nameštanje alata na mašinu,*
- *Brza i efikasna zamena alata,*
- *Krutost i stabilnost u radu,*
- *Efikasno hlađenje i podmazivanje,*
- *Visoke rezne sposobnosti,*
- *Kompatibilnost reznih modula sa nastavcima, držačima i reznim pločicama,*
- *Upotreba standardnih modula gde god je to moguće,*
- *Što niža cena, itd.*

Na slici 3, dat je prikaz strukture relacione baze podataka za fleksibilne sisteme reznih alata sa njihovim međusobnim vezama.

U posmatranom slučaju baza znanja za izbor reznih alata sastoji se od:

- *Baze znanja za izbor reznih modula,*
- *Baze znanja za izbor držača i nastavaka reznih alata, i*
- *Baze znanja za izbor reznih pločica.*

Izbor reznog alata se vrši na osnovu prethodno izvršenog definisanja sadržaja tehnološkog procesa, operacija obrade i zahvata unutar operacija.



Slika 3. Struktura relacione baze podataka za fleksibilne sisteme alata sa međusobnim relacijama

3.1. Baza podataka i baza znanja za izbor reznih modula

Analizom kataloga i prospekata proizvođača reznih alata koji se odnose na znanje i preporuke za izbor i upotrebu reznih alata, razvijena su određena pravila za izbor reznih modula alata. Na osnovu sistematizovanih tipskih zahvata obrade određenih operacija koje se realizuju na izabranim obradnim sistemima, vrši se određivanje odgovarajućih reznih modula i ostalih elemenata fleksibilnog sistema alata koji pokrivaju sve opsege mera tipskih zahvata prizmatičnih delova alata za brizganje plastike u konkretnim uslovima.

Osnovni podaci koji čine atribute baze podataka za rezne module su: kod reznog modula, naziv reznog modula, naziv proizvođača, kataloška oznaka, oznaka materijala reznog sečiva, maksimalna klasa hrapavosti koju može postići, maksimalna ISO tolerancija koju može postići, skica reznog modula.

Na slici 4, dat je prikaz dela fizičke strukture baze podataka reznih modula (RM) i jedan primer reznog modula iz baze podataka programskog rešenja sistema.



Slika 4. Prikaz dela fizičke strukture baze podataka za rezne module i primer reznog modula iz baze podataka

Baza znanja za izbor reznih modula čini početnu osnovu za izbor sistema reznih alata. Ova baza znanja se sastoji od određenih pravila za pretraživanje baze podataka za rezne module, koja imaju sledeći oblik:

AKO JE (Kod tipskog zahvata, Opseg karakter. dimenzija reznog modula, Klasa hrapavosti, ISO tolerancijsko polje)
ONDA JE (Kod Rezni Modul)

Opseg karakterističnih dimenzija je određen geometrijskim karakteristikama reznog modula ali često i geometrijskim karakteristikama kompletnog sistema alata. Tako, na primer kod zahvata obrade otvora, rupa, upusta itd., koji se realizuju u okviru definisane operacije obrade bušenjem, opseg karakterističnih dimenzija čine prečnik obrade reznog alata (minimalni i maksimalni prečnik obrade) i dužina obrade, odnosno dužina kombinovanog sistema reznog alata (minimalna i maksimalna moguća dužina obrade). Tada je ovaj uslov vezan za opseg dimenzija u sledećem obliku:

Min. preč. obrade ≤ Merodavna dim.1 ≤ Max. preč. obrade
 Min. duž. obrade ≤ Merodavna dim.2 ≤ Max. duž. obrade

Merodavna dimenzija je zavisna od definisanje grupe zahvata i određenog tipskog zahvata obrade. U okviru operacije obrade bušenjem, merodavna dimenzija2, predstavlja potrebni prečnik obrade a merodavna dimenzija2, predstavlja potrebnu dužinu obrade određenog tipskog zahvata.

U tabeli 1. dat je deo podloga za izbor reznih modula za zahvate obrade koji se odnose za tipski zahvat finog bušenja u prolaznom otvoru (SC21).

Kod tipskog zahvata	Opseg karakterističnih dimenzija reznog alata				Klasa hrapav.	ISO toleran. poje	Kod reznog modula
	Min. preč. obrade	Max. preč. obrade	Min. duž. obrade	Max. duž. obrade			
SC21	10	19.5	0	35	N6	IT7	RF01.01
SC21	12	21.5	0	41			RF01.02
SC21	8.5	18.5	0	48			RF01.04
SC21	16	25.5	0	57			RF01.03
SC21	16	26	0	97			RF01.05
SC21	26	29.6	0	78			RF02.01
SC21	20	30	0	107			RF01.06
SC21	29.6	33.6	0	178			RF02.02
SC21	32	44	0	88			RF02.03
SC21	38.2	43.8	0	230			RF02.04
SC21	40	56	0	94			RF02.05
SC21	43.3	52.9	0	265			RF02.06

Tabela 1. Deo podloga za izbor reznih modula

Pretraživanjem razvijene baze podataka za rezne module u procesu njihovog izbora, javiće se slučajevi da se određeni tipski zahvat sa tačno definisanim opsegom dimenzija može realizovati sa dva ili više reznih modula, čime se javlja varijantnost rešenja. Konačan izbor kvalitetnijeg reznog modula mogao bi se izvršiti primenom metoda tehnoeconomske optimizacije, na bazi minimalnog vremena i troškova obrade, maksimalne krutosti fleksibilnog sistema reznog alata, itd.

3.2. Baza podataka i baza znanja za izbor nastavaka i držača

Moduli nastavaka obezbeđuju vezu između modula držača i reznog modula, pri čemu omogućavaju prilagođavanje dimenzija alata zahtevima dimenzija obrade radnog predmeta. Moduli držača služe, sa jedne strane za povezivanje reznog alata sa mašinom, dok sa druge strane služe za držanje nastavaka i/ili reznih modula.

Moduli nastavaka i držača se biraju tako da zadovolje sledeće uslove:

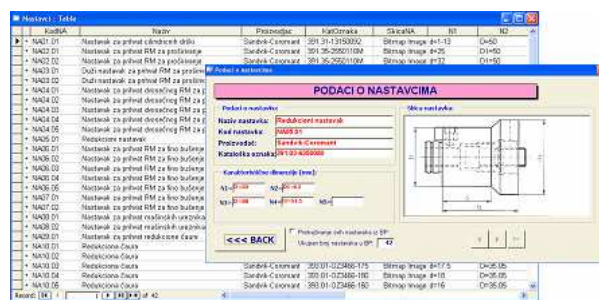
- *Kompatibilnost nastavaka i držača reznog alata sa jedne strane, reznim modulom sa druge strane, kao i završetkom glavnog vretena mašine,*
- *Statičku i dinamičku krutost, posebno u slučaju velikih sila i momenata rezanja,*
- *Potrebnu dužinu za obradu određenih zahvata obrade.*

Na slici 5, dat je prikaz dela fizičke strukture baze podataka nastavaka i jedan primer nastavka iz baze podataka programskog rešenja sistema.

Baza znanja je formirana na osnovu pravila kombinovanja elemenata sistema alata za obradu tipskih zahvata obrade delova alata za brizganje plastike. Detaljnom analizom razvijena su pravila njihovog kombinovanja, koja definišu preporučene veze držača, nastavaka i reznih modula. Treba napomenuti da se u pojedinim konstrukcijama fleksibilnih sistema reznih alata pojavljuju rešenja sa dva nastavka. Ova pravila su definisana u sledećem obliku:

AKO JE (Kod Reznog Modula)

ONDA JE (Kod držača, Kod nastavka1, Kod nastavka2)



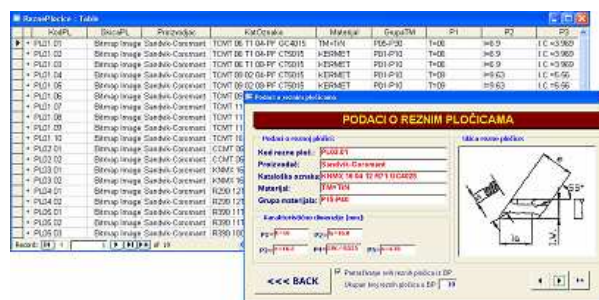
Slika 5. Prikaz dela fizičke strukture baze podataka za nastavke i primer iz baze podataka za nastavke

3.3. Baza podataka i baza znanja za izbor reznih pločica

Izborom reznih pločica za pojedine rezne module u potpunosti se definiše fleksibilni sistem reznih alata potreban za izvođenje sistematizovanih tipskih zahvata obrade. Pod reznim pločicama podrazumevaju se mehanički izmenljive višesečne okretne rezne pločice od tvrdog metala ili nekog drugog materijala za rezne pločice.

Baza podataka za izmenljive rezne pločice sadrži pločice koje su kompatibilne sa odgovarajućim reznim modulom i mogu da zadovolje tražene uslove obrade pojedinih zahvata.

Pri određivanju izmenljivih reznih pločica potrebno je voditi računa o određenim preporukama proizvođača alata, odnosno reznih pločica, određenim uputstvima iz stručne literature kao i povratnim informacijama iz prakse, što sve zajedno predstavlja potrebno znanje za izbor reznih pločica. Na slici 6 dat je prikaz dela fizičke strukture baze podataka reznih pločica i primer iz programskog rešenja baze podataka.



Slika 6. Prikaz dela fizičke strukture baze podataka za rezne pločice i primer iz baze podataka za rezne pločice

4. VERIFIKACIJA IZBORA ELEMENATA FSA U SPECIJALIZOVANO CAPP SISTEMU

Verifikacija izbora elemenata FSA u specijalizovanom CAPP sistemu, prikazaće se na primeru odgovarajuće nepokretne kokile koja čini sastavni deo alata za brizganje tela razvodnika. U okviru rada [5] dat je prikaz definisanja osnovnih elemenata tehnološkog procesa izrade navedene nepokretne kokile, odnosno definisanje sadržaja tehnološkog procesa, operacija obrade, tipskih tehnoloških oblika, grupa tipskih zahvata i tipskih zahvata obrade. Stoga izbor elemenata FSA predstavlja nastavak tematike ovog rada, što važi i za fazu verifikacije izbora FSA.

Dakle, u ovoj etapi preciziranja tehnološkog procesa obrade, definišu se potrebni rezni alati, odnosno elementi fleksibilnog sistema reznih alata, na osnovu razvijene baze znanja i baze podataka. Prvo se vrši izbor reznog modula, a potom i ostalih elemenata fleksibilnog sistema reznih alata.

Izbor reznih modula se vrši na bazi definisanih zahvata obrade u određenoj operaciji. Konkretno, za operaciju obrade bušenjem (OP80) posmatrane nepokretne kokile, koja sadrži odgovarajuće tipske tehnološke oblike TTO84 i TTO86, na bazi razvijenih pravila dobijaju se preporučeni rezni moduli za obradu pojedinih zahvata obrade (slika 7).

OPERACIJA OBRADE

Naziv dela: **Nepokretna kokila** Oznaka tipskog tehnološkog procesa: **TTP10A**
Oznaka dela: **N10A-2020-56** Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

Operacija: **Zahvat** FSA Meda Režur

TTO	Kod	Opis zahvata	Kar. dimenzije	Duž	Naziv alata	Kod RM
TTO84	1	8210 - Zahvat 4xØ1	(Razuk)	7	Zahvatna JUS K.03.061	R201.03
	2	8510 - Bušiti 4xØ4	(Ø4-26)	155	Spiralna burgija JUS K.03.024	R207.02
	3	8P10 - Proširiti 4xØ47	(Ø47-27,7)	210	Spiralna burgija JUS K.03.024	R208.03
	4	SC21 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	63	Jednosmerni alat za proširivanje	R202.03
TTO86	5	0U11 - Uplatiti 4xØ41 na dubinu t1	(Ø41-32,11-6,1)	148	Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01
	6	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	78	Rezni modul za fino bušenje	R202.01
	7	0U11 - Uplatiti 4xØ41 na dubinu t1	(Ø41-32,11-6,1)	107	Rezni modul za fino bušenje	R201.06
	8	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	63	Jednosmerni alat za proširivanje	R202.03
TTO86	9	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	78	Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01
	10	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	78	Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01
	11	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	78	Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01
	12	0U11 - Fino bušiti 4xØ17	(Ø17-28)	78	Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01

<<< BACK Oznaka Slipe: **A-001** PRECIZIRANA OPERACIJA NEXT >>>

Slika 7. Preporučeni rezni moduli za operaciju obrade bušenjem posmatrane nepokretne kokile

Ako se posmatraju zahvati obrade tipskog tehnološkog oblika TTO84, definisanje reznih modula je izvršeno na bazi sledećih podloga koje su predstavljene u tabeli 2.

Kod tipskog zahvata	Opseg karakterističnih dimenzija reznog alata				Klasa hrapavosti	ISO toleran. polje	Kod reznog modula
	Min. preč. obrade	Max. preč. obrade	Min. duž. obrade	Max. duž. obrade			
BZ10	4	4	0	7	-	-	RZ 01.03
BS10	26	26	0	155	≥ N9	≥ IT12	RB 07.02
	26	26	0	210	≥ N9	≥ IT12	RB 06.03
BP10	25	32	0	63	≥ N8	≥ IT9	RP 02.03
	25	32	0	148	≥ N8	≥ IT9	RP 04.01
SC21	26	29,6	0	78	≥ N6	≥ IT7	RF 02.01
	20	30	0	107	≥ N6	≥ IT7	RF 01.06
BU11	25	32	0	63	≥ N8	≥ IT9	RP 02.03
	32	41	0	70	≥ N8	≥ IT9	RP 03.01

Tabela 2. Deo podloga za izbor reznih modula operacije obrade bušenjem TTO 84

Na slici 7 i u tabeli 2 vidi se da postoji varijantnost u pogledu izbora preporučenih reznih modula. U slučaju da se kao merodavna funkcija cilja za izbor reznog alata izabere krutost fleksibilnog sistema reznih alata, onda se biraju rezni moduli koji zajedno sa ostalim elementima sistema alata imaju manju ukupnu dužinu (zatamnjenja polja u tabeli 2).

Na osnovu izabranih reznih modula u okviru posmatrane operacije, iz baze podataka za nastavke, držače i rezne plošice dobijaju se odgovarajući elementi fleksibilnog sistema reznog alata (slika 8).

OPERACIJA OBRADE

Naziv dela: **Nepokretna kokila** Oznaka tipskog tehnološkog procesa: **TTP10A**
Oznaka dela: **N10A-2020-56** Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

Operacija: **Zahvat** FSA Meda Režur

Naziv alata	Kod RM	Kod nastavka 1	Kod nastavka 2	Kod drž. alata	Kod rez. ploš.
Zahvatna JUS K.03.061	R201.03	NA01.01		DA02.01	
Spiralna burgija JUS K.03.024	R207.02	NA12.03	NA11.02	DA02.01	
Spiralna burgija JUS K.03.024	R208.03	NA12.03	NA11.02	DA02.01	
Jednosmerni alat za proširivanje	R202.03	NA02.02		DA02.01	PL01.06
Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01	NA04.05	NA05.01	DA02.01	PL01.03
Rezni modul za fino bušenje	R202.01	NA06.01		DA02.01	PL01.03
Rezni modul za fino bušenje	R201.06	NA13.01		DA02.01	PL01.07
Jednosmerni alat za proširivanje	R202.03	NA02.02		DA02.01	PL01.06
Dvosmerni alat za proširivanje	R204.01	NA04.05		DA02.01	PL01.03
Zahvatna JUS K.03.061	R201.03	NA01.01		DA02.01	
Spiralna burgija	R207.02	NA12.03		DA02.01	
Mašinski uređaj DIN 375	R201.05	NA08.01		DA02.01	

Slika 8. Generisani elementi fleksibilnog sistema reznih alata za posmatranu operaciju obrade bušenjem

Za svaki od elemenata fleksibilnog sistema reznog alata izborom opcije na grafičkom korisničkom interfejsu mogu se dobiti prikazi njihovih osnovnih podataka. Na slici 9, prikazani su podaci izabranih elemenata fleksibilnog sistema reznog alata za zahvat obrade otvora finim bušenjem 4xØ28H7, sa kodom zahvata SC21.

PODACI O DRŽACIMA ALATA

Naziv dela: **Nepokretna kokila**
Oznaka dela: **N10A-2020-56**
Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

PODACI O NASTAVKAMA

Naziv dela: **Nepokretna kokila**
Oznaka dela: **N10A-2020-56**
Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

PODACI O ALATIMA (REZNI MODULIMA)

Naziv dela: **Nepokretna kokila**
Oznaka dela: **N10A-2020-56**
Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

PODACI O REZNIH PLOŠICAMA

Naziv dela: **Nepokretna kokila**
Oznaka dela: **N10A-2020-56**
Broj operacije: **80**
Naziv operacije: **bušenje**

Slika 9. Izabrani elementi fleksibilnog sistema reznog alata

5. ZAKLJUČAK

Savremena proizvodnja zahteva visok nivo kvaliteta rada tehnološke pripreme proizvodnje, koja se u velikoj meri ogleda u automatizovanom projektovanju tehnoloških procesa izrade proizvoda. Jedan od značajnijih segmenata projektovanja tehnoloških procesa je automatizovani izbor reznih alata, odnosno elemenata FSA.

Prikazana metodologija izbora elemenata FSA može se uspešno primeniti u automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa i proizvodnje i drugih proizvoda.

6. NAPOMENA

Rad predstavlja deo istraživanja na projektima "Razvoj tipskih tehnoloških procesa izrade kotrljajnih ležajeva", ev. broj projekta TR 14053 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i "Razvoj i izrada proizvoda na principima reverzibilnog inženjerstva" iz programa Tehnološkog razvoja, Sekretarijata za nauku i tehnološki razvoj AP Vojvodine.

7. LITERATURA

- [1] Kamrani, K.A., Sferro, P., Handelman, J.: *Critical issues in design and evaluation of computer aided process planning system*, Computers Industry Engineering, Vol.29,No,1-4,pp.619-623, 1995.
- [2] Lukić, D., Todić, V., Milošević M.: *Model sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike*, IX Međunarodna konferencija Fleksibilne tehnologije MMA 2006, Zbornik radova, str. 107-108., Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006.
- [3] Lukić, D.: *Razvoj sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa izrade alata za brizganje plastike*, Magistarska teza, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [4] Todić, V., Banjac, D., i dr.: *Istraživanje, razvoj i proizvodnja sistema alata za numerički upravljane mašine alatke i fleksibilne obradne sisteme*, Istraživački projekat, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1986.
- [5] Lukić, D., Todić, V., Milošević, M.: *Definisanje osnovnih elemenata tehnološkog procesa obrade u specijalizovanom CAPP sistemu*, 32. Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije 2008 sa međunarodnim učešćem, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.

Autori: Prof. dr Velimir Todić, mr Dejan Lukić, mr Mijodrag Milošević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2331, Fax: +381 21 454-495.

E-mail: todvel@uns.ns.ac.yu
lukicd@uns.ns.ac.yu
mido@uns.ns.ac.yu

Mandić, V., Stefanović, M., Janković, N., Ćirović, M., Ćurčić, M.

PRIMENA TEHNOLOGIJA VIRTUELNOG INŽENJERINGA U INTEGRISANOM RAZVOJU PROIZVODA I PROCESA

Rezime: U radu je razmatran koncept konkurentnog inženjeringa koji podrazumeva simultane aktivnosti u integrisanom razvoju proizvoda i procesa, kroz primenu inovativnih tehnologija virtuelnog inženjeringa, posebno u delu simulacije proizvodnje, tzv. virtuelne proizvodnje. Cilj je da se minimiziraju projektne izmene u kasnijim fazama projektovanja, a time i vreme i troškovi projektovanja proizvoda i pripadajućih procesa. Primena FE/FV simulacija može eliminisati skupe fizičke prototipove i eksperimente. Vreme razvoja se drastično smanjuje, više projektnih alternativa se može proveriti, što rezultira povećanjem kvaliteta. Primena koncepta ilustrovana je brojnim primerima numeričkih simulacija proizvodnih procesa korišćenjem SIMUFACT.forming softvera: oblikovanje debljih limova, kovanje, net-shape obrada, toplo istiskivanje profila itd.

Ključne reči: Konkurentni inženjering, Virtuelna proizvodnja, FE/FV simulacije

APPLICATION OF VIRTUAL ENGINEERING TECHNOLOGIES IN INTEGRATED PRODUCT AND PROCESS DEVELOPMENT

Abstract: The paper deals with concurrent engineering concept that implies simultaneous activities in integrated product and process development, through application of Virtual Engineering Technologies, especially in simulation of production, i.e. Virtual Manufacturing. The main goal is to minimize design modifications in final design stages, and therewith time and costs of design of product and related processes. Expensive physical prototypes and experiments can be avoided by application of numerical FE/FV simulations. Development time are drastically decreased, many design alternatives can be verified, leading to quality improvements. Application of CE concept is illustrated through numerous case studies of numerical simulations of processes using SIMUFACT.forming software: thick sheet forming, forging, net-shape forming, hot profile extrusion etc.

Key words: Concurrent engineering, Virtual manufacturing, FE/FV simulations

1. UVOD

Poslednjih godina industrijske kompanije su pod velikim pritiskom da zadovolje zahteve potrošača i budu konkurentne na internacionalnom tržištu. Današnji trendovi tržišta su: povećanje internacionalne konkurentnosti, kraći životni ciklus proizvoda, zahtevi u pogledu visokog kvaliteta i visoka pouzdanost u isporuci. Pored toga, tehnološki razvoj i inovacije nude nove mogućnosti za primenu inovativnih VE (Virtual Engineering) alata, novih strategija u razvoju proizvoda i procesa. Sposobnost kompanija da primene i adaptiraju napredne tehnologije u razvoju proizvoda i samoj proizvodnji je esencijalna na današnjem dinamičkom globalnom tržištu.

Procenjuje se da je 80% cene proizvoda određeno već u ranoj fazi njegovog životnog ciklusa, pa su kompanije usmerene na traženje načina za brzo donošenje odluka u njegovom projektovanju, usmerenih na probleme troškova, kvaliteta i zahteva tržišta. Upravo je osnovni cilj inženjerskog projektovanja da razvije i proizvede proizvode koji su optimizovani sa aspekta kvaliteta i pouzdanosti, u najkraćem mogućem vremenu, i sa minimalnom cenom. Idealni proces projektovanja za dostizanje ovakvih ciljeva mora funkcionisati u okruženju za virtuelni razvoj proizvoda, gde projektni timovi, celo proizvodno preduzeće, i dobavljači komponenta i usluga, sarađuju i imaju brzi pristup kompletnim i ažuriranim projektnim informacijama.

Brojne su prednosti i mogućnosti tehnologija virtuelnog inženjeringa u inovativnom razvoju proizvoda i procesa, koji se odvija u računarskom okruženju, sa ciljem da se proizvod modelira, simulira i optimizuje. Međutim, svaka od njih pojedinačno nije dovoljna sama po sebi da zadovolji visoke zahteve i ciljeve inženjerskog projektovanja. Neophodnost

tehnološke integracije VE tehnologija je imperativ danas, posebno imajući u vidu složenost i zahtevanu fleksibilnost proizvoda koji se pojavljuju na tržištu. Ako zamislimo složenost pristupu inženjerskog projektovanja u automobilske industriji, gde tipični automobil može imati 3000-5000 delova, gde većina njih mora funkcionisati u različitim modelima i konfiguracijama sklopova, nameće se zaključak da je nemoguće odgovoriti zahtevima tržišta kroz razvoj složenih proizvoda preko skupih i vremenski zahtevnih fizičkih prototipova. Proces razvoja, projektovanja i proizvodnje složenih proizvoda, bez potpune integracije VE tehnologija, otvara nekoliko ključnih problema u poslovanju, kao što su [1]:

- povećanje troškova, vremena i neuspelih pokušaja – nepovezanost podataka iz CAD sistema, sa virtuelnim modelom proizvoda, i procesa odlučivanja u poslovanju i revizije dizajna proizvoda uvećavaju navedene kategorije;
- loš kvalitet proizvoda – projektne greške, nastale iz nemogućnosti simuliranja performansi svih varijanti i konfiguracija proizvoda, dovode do problema u kvalitetu i održavanju proizvoda;
- visoki troškovi održavanja – usled neadekvatne simulacije performansi proizvoda u ranoj fazi projektovanja ugrožen je kvalitet proizvodnje i održavanja proizvoda.

Integrisano VE rešenje obezbeđuje objedinjeno okruženje za modeliranje, analizu i simulaciju proizvoda i proizvodnih procesa, i takođe onemogućava gubitak informacija i elektronskih podataka, koji često postoji u njihovom transferu. Ono omogućava lak prenos podataka iz različitih sistema, od projektovanja do njihove analize i provere, i obezbeđuje dobru osnovu za virtuelni inženjering baziran na simulacijama. Pored toga, virtuelno okruženje pruža

dizajnerima i projektantima vizuelizaciju proizvoda i njegovo bolje razumevanje, vodeći ka poboljšanju kvaliteta, skraćenju vremena do plasmana proizvoda, obezbeđujući projektno rešenje koje je pravo, bez potrebe za kasnijim skupim redizajnom.

2. KONKURENTNI INŽENJERING

Konkurentni inženjering predstavlja poslovnu strategiju koja tradicionalan način razvoja proizvoda i procesa zamenjuje takvim pristupom u okviru koga se različiti zadaci realizuju paralelno jedan sa drugim, i pri čemu se svim aspektima razvoja proizvoda i procesa poklanja adekvatna pažnja već na samom početku. Takva strategija je usmerena na optimizaciju i distribuciju resursa kompanije u oblasti projektovanja i razvoja, u cilju obezbeđivanja efektivnog i efikasnog procesa razvoja proizvoda i procesa.

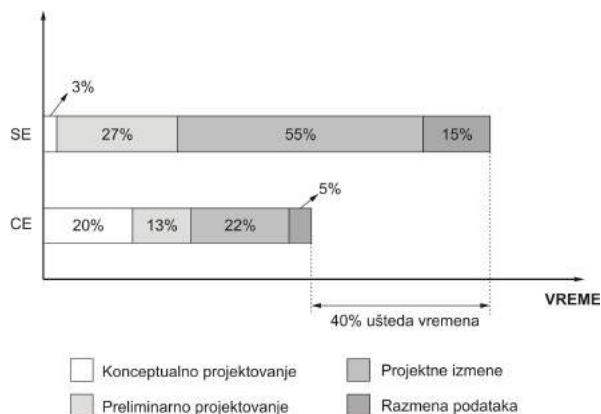
Kompanije često primenjuju konkurentni inženjering makar u nekom delu procesa proizvodnje a da ga pri tom svesno nisu definisale kao takav. Više različitih naziva može da se odnosi na iste te principe, kao što su simultani inženjering, integrisano projektovanje proizvoda i procesa, konkurentno projektovanje i dr. i svi se primenjuju u praksi. Originalna definicija koja se često citira pojavila se prvi put 1986. godine od strane Instituta za analizu odbrane (Institute for Defense Analysis, Report R-338):

Konkurentni inženjering je sistematski pristup integrisanom konkurentnom projektovanju proizvoda i sa njim povezanih procesa, uključujući proizvodnju i montažu. Takav pristup je namenjen tome da se u razvoju proizvoda objedini sve od samog njegovog početka, odnosno da se uključe u posmatranje svi elementi životnog ciklusa proizvoda, od početka ideje do odlaganja, uključujući kvalitet, troškove, planirano vreme i zahteve korisnika.

Od ove prve objavljen je veliki broj drugih definicija. Većina je fokusirana na integrisanje i upravljanje procesom projektovanja u cilju dobijanja skraćenog vremena do pojave proizvoda na tržištu. Različite definicije koje se mogu naći u literaturi pokrivaju široki opseg koncepata, od ovlašćenja timova sve do smanjenja troškova i može se napraviti spisak karakteristika koje opisuju proces projektovanja primenom konkurentnog inženjeringa kao što su:

- fokus na korisnika i njegovo uključanje u proces;
- uključanje dobavljača već u ranoj fazi projektovanja i kontinualna saradnja;
- multidisciplinarni timovi sa većim ovlašćenjima;
- zajedničko korišćenje informacija uz stalno povećanje znanja;
- fokus na životni ciklus proizvoda;
- sistematski i integrisani pristup;
- konkurentni (simultani) projektni timovi;
- primena alata za DFX projektovanje još u ranoj fazi;
- primena savremenih alata kao što su CAD, CAM, CAE, metoda konačnih elemenata i dr;
- kontinualno poboljšanje svih procesa u projektovanju.

Ako se posmatra razlika između sekvencijalnog i konkurentnog inženjeringa mora se najpre poći od smanjenja projektnih izmena u projektovanju, kod konkurentnog inženjeringa, upravo kao posledica uključivanja svih onih parametara vezanih za životni ciklus proizvoda u proces razvoja i projektovanja proizvoda, već od samog početka. S obzirom na to, pitanja kao što su održavanje, proizvodnja i korisnička upotreba proizvoda razmatraju se od samog početka procesa projektovanja upravo zbog multidisciplinarnih projektantskih timova, a i ukupno vreme razvoja je samim tim značajno skraćeno. Prikaz tipičnog skraćenja vremena primenom konkurentnog inženjeringa u odnosu na sekvencijalni dat je na slici 1.



Slika 1. Prikaz ušteda vremena pri primeni konkurentnog inženjeringa (CE) u odnosu na sekvencijalni (SE) [2]

3. VIRTUELNA PROIZVODNJA (VM)

Primena numeričkih simulacija je dobro proveren i ekstremno koristan alat za predviđanje problema u industrijskoj proizvodnji i smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda. Skupo testiranje alata i korekcije u više navrata su prisutne u tradicionalnom «trial-and-error» projektovanju procesa. Iako je baziran na bogatom iskustvu eksperata iz industrije, takav način ne može zadovoljiti potrebe kompanija da na brz i efikasan način, razviju nove konkurentne proizvode za globalno tržište. Već pomenuti koncept konkurentnog inženjeringa, podrazumeva simultano izvođenje svih projektnih aktivnosti, pa su VM tehnologije našle punu primenu u inženjerskim analizama proizvoda i procesa, u ranoj fazi konceptualnog projektovanja. Upravo su VM tehnologije bazirane na nelinearnoj analizi inženjerskih problema, i kao takve se primenjuju u virtuelnom integrisanom razvoju proizvoda i procesa [3]. Njihova osnovna prednost je mogućnost izvođenja «šta-ako» simulacija, omogućavajući projektantima da procene različite projektne alternative na virtuelnim modelima procesa, koji se planiraju u izradi proizvoda. Već je istaknuto da je od esencijalnog značaja za uspešnost projektovanja rana procena projektnih alternativa i smanjenje projektnih izmena u ranoj fazi projektovanja. Kako su virtuelni modeli procesa jako fleksibilni, omogućavaju ispitivanje uticaja projektnih izmena, kako geometrije proizvoda tako i parametara procesa, na kvalitet proizvoda i troškove proizvodnje. U takvim uslovima moguća je optimizacija projektovanja i proizvoda i procesa, predviđanje otkaza i pojave defekata u proizvodu, optimalno korišćenje proizvodne opreme i alata, povećavajući njihov vek smanjenjem habanja i prevencijom loma. Optimalni izbor relevantnih parametara proizvodnje ima pozitivne konsekvence na troškove proizvodnje, troškove materijala i alata, finalni kvalitet proizvoda i njegov životni vek.

Smanjenje vremena do plasmana proizvoda na tržištu može se postići primenom VM tehnologija, odnosno numeričkih simulacija, u ranoj fazi projektovanja, pre same izrade alata za proizvodnju i probne proizvodnje, jer se svi eventualni problemi mogu uočiti i izbeći. To potvrđuje dobro poznatu izreku «prevencija je bolja od lečenja». Alati za numeričku simulaciju proizvodnih procesa su ne samo podrška razvoju proizvoda i optimizaciji proizvodnih procesa, već i sredstvo za podršku PLM sistemu, za donošenje pravih odluka od strane menadžmenta, u ranoj fazi projektovanja, jer omogućava između ostalog [4]:

- pravi izbor proizvodnih tehnologija za proizvodnju proizvoda
- pravi izbor materijala za proizvod
- verifikaciju geometrije alata
- smanjenje broja prototipova alata

- optimizaciju parametara procesa za specifične proizvodne tehnologije
- pravilan izbor proizvodne opreme kroz procenu deformacione sile.

U daljem tekstu će biti predstavljene studije slučaja, u primeni tehnologija virtuelnog inženjeringa u projektovanju proizvoda i procesa, realizovane u Centru za virtuelnu proizvodnju (CEVIP) Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, primenom softverskog paketa SIMUFACT.forming.

4. STUDIJE SLUČAJA

SIMUFACT.forming softverski paket je softver proistekao kao objedinjena varijanta prethodnih programa MSC.SuperForm i MSC.SuperForge, razvijen od strane FEMUTEC (sada SIMUFACT) i MSC.Software za kompjutersku 2D i 3D simulaciju industrijskih procesa oblikovanja, korišćenjem integrisanih FE (Finite Element) i FV (Finite Volume) tehnologija. Predstavlja kombinaciju složenog solvera i jednostavnog korisničkog okruženja koje je posebno prilagođeno za 3D simulacije zapreminskog oblikovanja. Korisnici iz industrije širom sveta sa velikom efikasnošću ga upotrebljavaju. Metoda konačnih zapremina je brza i precizna jer ne primenjuje remeshing, i koristi se za praćenje deformisanja materijala i automatsko poboljšavanje elementarnih malih površina (facet) na slobodnim površinama modela. U ovakvom pristupu, deformisani materijal jednostavno teče kroz (fiksnu) mrežu konačnih zapremina, prateći konture alata. Metoda konačnih elemenata je integrisana u solver, sa opcijom automatskog remeshing-a, za primenu u zahtevnijim aplikacijama i proračunu napona u alatu.

4.1 Oblikovanje debljih limova – elastična povratnost

Savijanje spada u grupu postupaka tehnologije plastičnog deformisanja koji se najčešće primenjuje i omogućava izradu širokog asortimana proizvoda, sa dimenzijama delova od jednog milimetra do nekoliko metara. Kod projektovanja tehnologije savijanja i konstrukcije alata treba uzeti u obzir elastično ispravljanje. Veličina elastičnog ispravljanja zavisi od više faktora: osobine materijala dela, debljina lima, poluprečnik savijanja, oblik dela, način savijanja itd. Sa povećanjem napona na granici tečenja (R_p), odnosa r/s uz smanjenje debljine lima, dolazi do povećanja elastičnog ispravljanja. Povratnost se ne javlja samo kod obrade limova već i kod savijanja šipki, štapova, žica bilo kog preseka.

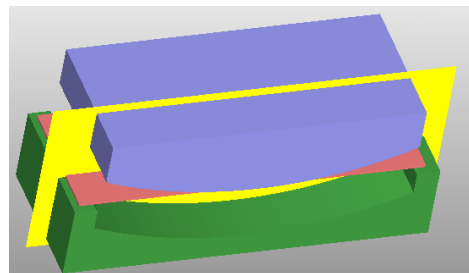
Analizirajući geometriju radnog komada (v.sl.3) primenom raspoloživih teoretskih i poluempirijskih obrazaca utvrđeno je da će dostizanje radijusa $r = 550\text{mm}$ (v.sl.2) nakon savijanja biti otežano jer postoje svi uslovi koji će dovesti do pojave elastičnog ispravljanja. Primenom Simufact.forming softvera sprovedena je 2D FE analiza procesa u karakterističnim presecima, označenim sa 20%, 28% i 80%, kao što je prikazano na slici 3. Materijal lima je Č0361 ($R_p = 240\text{MPa}$), a debljina 3 mm. Kriva tečenja za ovaj materijal opisana je jednačinom

$$k = C \cdot \varphi^n = 677 \cdot \varphi^{0.168}, \text{ MPa}$$

U analiziranom preseku generisano je 1317 četvorougaoih FE elemenata veličine 1mm, korišćenjem Advancing Front Quad mesher-a. Radni hod alata je 75mm.

U Tabeli 1 prikazani su uporedni rezultati FE analize i merenja komada u industriji na CMM (UNIOR components Kragujevac). Na slici 2 dat je vizuelni uporeni prikaz komada nakon oblikovanja i elastičnog ispravljanja, dobijen FE simulacijom. Razlika u FE i merenim vrednostima elastičnog ispravljanja komada je manja od 0,2mm.

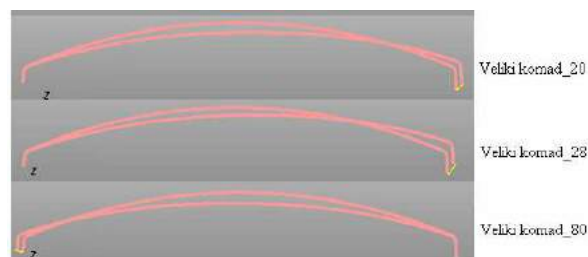
Podudarnost dobijenih rezultata ukazuje na mogućnost i pouzdanost FE analize sličnih procesa oblikovanja debljih limova u početnoj fazi projektovanja tehnologije i alata, gde se na virtuelnim modelima procesa mogu predvideti efekti elastičnog ispravljanja, i tako izvršiti optimizacija procesa i geometrije alata pre same fizičke izrade i probne proizvodnje.



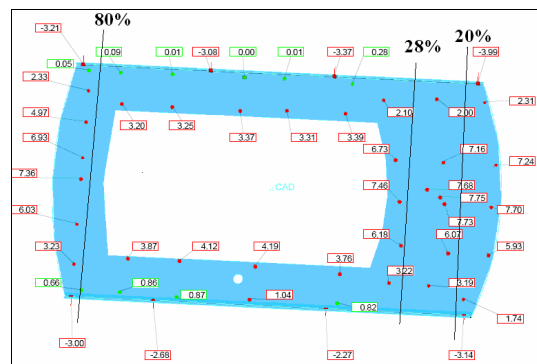
Slika 2. Prikaz alata, lima i izabranog preseka za 2D Simufact FE analizu i procenu elastične povratnosti

Položaj preseka	Pomeranje po z-osi (FE)	Dubina komada (FE)	Proširenje komada po x-osi (FE)	Pomeranje po z-osi (CMM)
20%	10.695	49.305	6.29	10.87
28%	10.605	49.395	6.72	10.56
80%	10.325	49.675	6.03	10.36

Tabela 1. Uporedne vrednosti pomeranja u pravcu x i z ose nakon elastičnog ispravljanja



Slika 2. Prikaz oblikovanog i elastično ispravljenog komada



Slika 3. Merna karta (CMM) komada nakon ispravljanja

4.2 Istiskivanje Al profila kroz komornu matricu

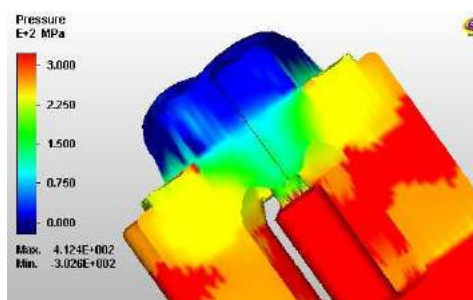
Toplo istiskivanje aluminijumskih legura kroz komornu matricu za izradu šupljih profila ima mnoge prednosti u odnosu na konvencionalan pristup, koji podrazumeva primenu dodatnih elemenata u izlaznom kanalu matrice. Zagrejani pripremak teče kroz kontejner alata i pri nailasku na komornu matricu dolazi do njegovog cepanja i plastičnog tečenja kroz otvore matrice. Nakon toga, u komori dolazi do svarivanja odvojenih delova priprema kako bi se po izlasku iz kanala matrice formirao profil sa unutrašnjim otvorom.

Projektovanje alata za ovakvu vrstu procesa je jako složeno i veoma zavisi od iskustva projektanata. Samo dobro projektovan alat može dati željenu tačnost profila i zadovoljavajuću postojanost alata. Međutim, u ranoj fazi projektovanja ovakvih alata je mnogo nepoznanica, tako da i sami projektanti ne mogu biti potpuno sigurni u valjanost projektnog rešenja dok se ne izvrši probno testiranje. Testiranje u samoj proizvodnji izaziva značajne troškove, kako zbog ometanja tekuće proizvodnje, tako i zbog neophodnih izmena na alatu.

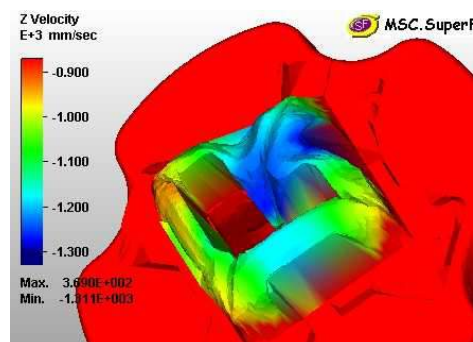
Cilj sprovedenih istraživanja je bio da se proveri kvalitet zavarene zone pri istiskivanju Al profila, primenom FV simulacija procesa. Ispitivanje je najpre izvršeno na preliminarnom projektnom rešenju alata i sa temperaturom pripremk koja je zadao sam proizvođač. U daljim ispitivanjima vršene su varijacije geometrije alata, temperature i vrste materijala u cilju dobijanja što povoljnijeg pritiska u komori za svarivanje, a samim tim i boljeg kvaliteta zavarene površine.

Ulazni podaci za FV analizu i simulaciju procesa su: materijal profila AlMgSi05 (AA6060), materijal alata Č4751 (H13), temperatura alata 420°C, temperatura pripremk 480°C, dimenzije pripremk Ø157x400mm, faktor trenja $\mu=0,6$, brzina deformisanja 0.333 m/s (hidraulična presa).

Na slici 4 prikazane su vrednosti pritiska u preseku istisnutog profila i materijala u komori za svarivanje. Neravnomernost izlazne brzine istisnutog materijala u profil, prikazana na slici 5, vodi savijanju istisnutog profila, ali samo na početku procesa. To potvrđuje i industrijski eksperiment – početak istisnutog profila (slika 6).



Slika 4. Distribucija pritiska u komori za svarivanje



Slika 5. Distribucija izlaznih brzina u pravcu istiskivanja



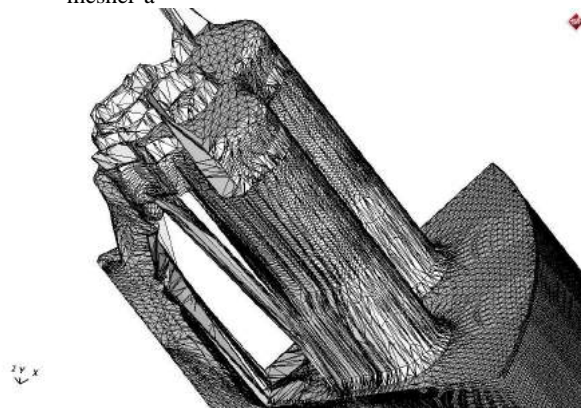
Slika 6. Industrijski eksperiment

Kod istiskivanja profila male debljine zida može doći do pojave prekomernih pritisaka u komori za svarivanje i delovima alata koji formiraju unutrašnji otvor u profilu. Za simulaciju toplog istiskivanja Al profila (v.sl.9) sa debljinom zida 1mm, svi uslovi procesa i materijali profila i alata su isti kao u prethodnom primeru. Takvi procesi su veoma zahtevni za numeričku simulaciju. Primena metode konačnih zapremina obezbeđuje značajno smanjeno CPU vreme, i uspešnu simulaciju složenog oblikovanja materijala.

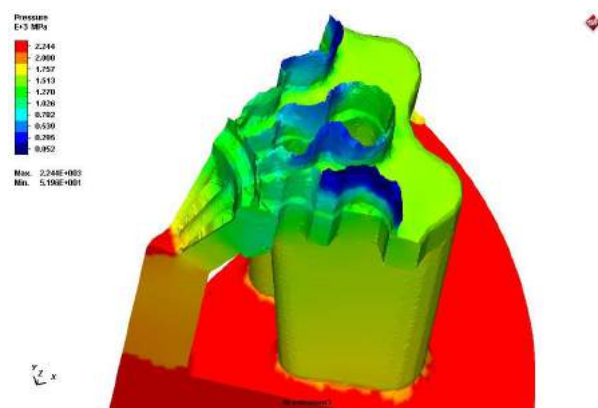
Na slici 7 prikazani su rezultati simulacije procesa primenom Simufact.forming v8.1 softvera, u koji je integrisan novi SIMLAB mesher, koji omogućava automatizovani tzv. SWAP/REMESH tip lokalnog usitnjavanja elemenata. Početna veličina elementa (facet) je bila 1mm, ali je u toku simulacije, posebno u zonama istisnutog profila ona smanjivana prema potrebi, potpuno automatski. Primena Work mesher-a daje lošije performanse lokalnog usitnjavanja elemenata zapremine, što se može videti sa slike 8. Distribucija pritiska na slici 9 pokazuje maksimalne pritiske koji opterećuju centralni deo alata koji formira unutrašnji otvor, kao i mostove komorne matrice.



Slika 7. Rezultati FV simulacije primenom novog Simlab mesher-a



Slika 8. Rezultati FV simulacije primenom Work mesher-a



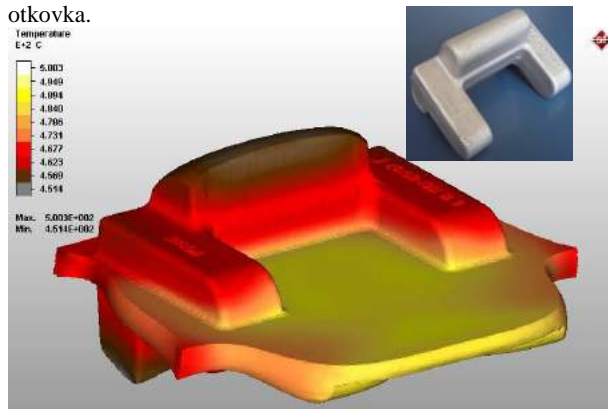
Slika 9. Distribucija pritiska u toku procesa istiskivanja

4.3 Toplo kovanje

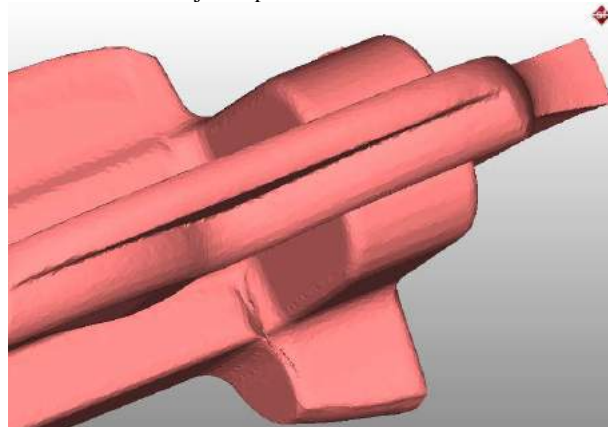
Obrada toplim kovanjem legura aluminijuma povišene čvrstoće (AlSi1Mg) koristi se za dobijanje delova veoma tačnih dimenzija, kvalitetne površine, sa minimalnim zahtevom za dodatnu obradu, od kojih se zahteva povećana eksploatacijska nosivost, npr. u auto i avionskoj industriji. Razvoj preciznog kovanja, na bazi tradicionalnog toplog kovanja, omogućava izradu komplikovanih otkovaka sa tzv. vlaknastom strukturom koja prati konturu otkovka, kvalitetne mikrostrukture i odgovarajućih mehaničkih osobina i tolerancija mera.

Osnovni problem kod kovanja Al-legura je potreba za preciznim održavanjem temperature komada, na šta bitno utiče brzina deformacije. Temperaturni intervali kovanja su uski i moraju se poštovati. U prikazanom primeru, dodatni problem je bio pojava preklopa pri formiranju susednih površina koje su pod pravim uglom u otkovku. Temperaturni režimi obrade su sledeći: pre kovanja alat se zagreva na temperaturu od 250°C, a komad na temperaturu obrade od 470°C.

Na slici 10 prikazana je distribucija temperature u otkovku, a na slici 11 identifikovan preklap na donjem delu otkovka.

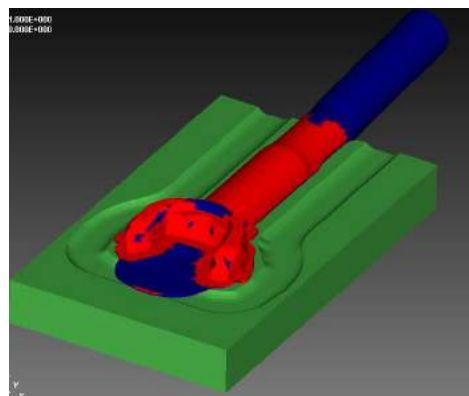


Slika 10. Distribucija temperature u otkovku



Slika 11. Defekti preklopa na donjem delu otkovka

Simulacija kovanja otkovka viljuške pokazala je problem nepopunjavanja alata, a time i dimenzione netačnosti otkovka. Simufact.forming softver omogućava kontrastni prikaz oblikovanog obratka sa crvenim zonama koje su u kontaktu sa alatom u toku kovanja i plavim zonama koje nemaju kontakt (slika 12). Na taj način lako je identifikovati mesta nepopunjavanja alata, i preduzeti korektivne mere reprojektovanja alata, pre same izrade i proizvodnje. Virtualni modeli su fleksibilni za izmene geometrije alata, parametara procesa i ostalih uticajnih faktora, tako da je moguće sprovesti optimizaciju procesa. FV procena tečenja materijala se poklapa sa industrijskim procesom (v.sl.13).

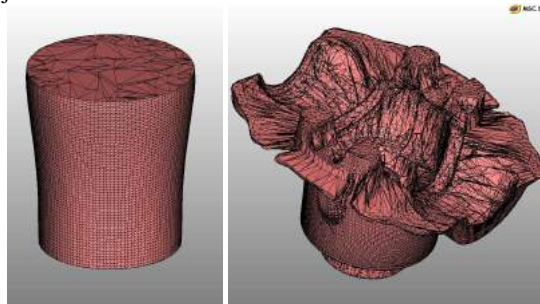


Slika 12. Zone nepopunjavanja alata (plavo)

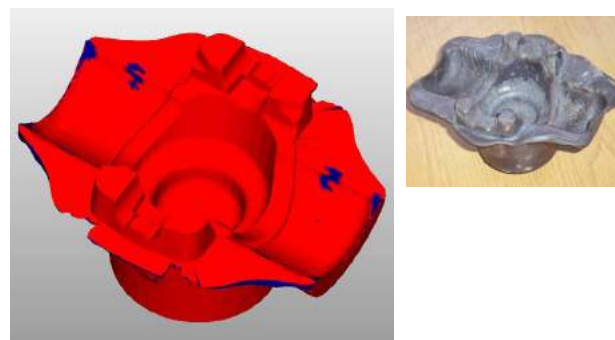


Slika 13. Upoređenje virtuelnog modela i otkovka

Takođe primenom numeričkih simulacija moguće je proceniti deformacionu silu procesa, otkriti kritične zone prekomernih napona, koji mogu dovesti do ubrzanog habanja alata a nekada i do loma. U primeru kovanja u tri operacije, prikazanom na slici 14, došlo je do loma alata u operaciji prethodnog kovanja, pri hodu pritiskivača od 77mm (F=9490t). Pri promeni hoda na 67mm u prethodnoj operaciji, sila je bila F=970t, a otkovak je u potpunosti popunio gravuru za završno kovanje, što se vidi u kontrastnom prikazu kontakta sa alatom na slici 15. Plave zone postoje samo u delu venca koji se krza.



Slika 14. Operacije sabijanja i prethodnog kovanja



Slika 15. Prikaz popunjavanja alata u završnom kovanju

E-mail: mandic@kg.ac.yu
stefan@kg.ac.yu
jnikola78@kg.ac.yu
miloscirovic@kg.ac.yu
mcurcic@kg.ac.yu

Milenković, Đ., Sovilj, B., Seuček, I., Čvokić, A.

PROJEKTOVANJE PROFILNIH NOŽEVA PRIMENOM SAVREMENIH ALATA ZA PROJEKTOVANJE

Rezime: Projektovanje alata za obradu rezanjem specijalne namene zauzima značajan deo vremena i troškova u okviru pripreme proizvodnje. Stoga je unapređenje i usavršavanje postupaka projektovanja ovih alata od izuzetnog značaja.

Profilni strugarski noževi svrstavaju se u grupu specijalnih alata za obradu rezanjem i svoju najveću primenu nalaze u uslovima masovne i velikoserijske proizvodnje.

Ovaj rad koncipiran je kao prezentacija pristupa projektovanju profilnih strugarskih noževa, u kojem su mogućnosti računara iskorišćene na relativno nekonvencionalan način, a u cilju unapređenja kvaliteta projektantskog rešenja u pogledu povećanja tačnosti i skraćivanja vremena projektovanja.

Cljučne reči: alati za obradu rezanjem, profilni nož, profil alata, obrada struganjem.

DESIGNING OF PROFILE KNIVES BY APPLYING MODERN DESIGNING TOOLS

Abstract: Design of specialized cutting tools takes significant amounts of time and money during the production planning. Thus, improvement and development of their design processes are of great importance.

Profile knives belong to the group of specialized cutting tools and their most important application is within mass production.

This paper presents a new approach to profile knives design. In the approach, the possibilities of a personal computer are used in a rather unconventional way with the aim of improving of designer's solution quality.

Key words: cutting tools, profile knife, tool profile, turning process.

1. UVOD

Projektovanje proizvoda je složena inženjerska razvojno - istraživačka delatnost od posebnog značaja za proizvođače i neposredne korisnike proizvoda. S obzirom na to da se radi o složenoj aktivnosti, postoje različiti pristupi, odnosno definicije projektovanja. Jedna od najpogodnijih i najopštijih definicija projektovanja je ona koja pod pojmom projektovanja podrazumeva proces koji obuhvata aktivnosti razjašnjenja zadatka, koncipiranje konstrukcije, formiranje konstrukcije, detaljno konstruisanje.

2. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Alati za obradu rezanjem predstavljaju značajan element proizvodnih sredstava. Primenom alata za obradu rezanjem dobijamo izratke zadanog oblika skidanjem slojeva materijala sa obratka u vidu strugotine [5].

Alat za obradu rezanjem vrši dve funkcije:

- rezanje materijala i
- obrazovanje oblika površine izratka.

S obzirom na to, ciklus obrade deli se na dva perioda:

- period rezanja i
- period oblikovanja

U savremenoj mašingradnji u primeni je veliki broj različitih vrsta alata. Prema načinu dobijanja površina obratka, alate je moguće podeliti na [5]:

1. Alate koji obrazuju površinu izratka kretanjem jedne ili više zasebnih tačaka. Primeri ovakvih alata su: strugarski noževi opšte namene, kopirni noževi, burgije, razvrtači i dr.
2. Alate koji obrazuju površinu izratka kretanjem ravanske ili prostorne linije, pri čemu se površina

izratka javlja kao trajektorija te linije. Ovoj grupi alata pripadaju: radijalni profilni noževi, noževi za usecanje, ureznici i dr.

3. Alate koji obrazuju površinu izratka kretanjem izvorne površine dodirujući se sa površinom izratka po liniji ili u tački (tangencijalni profilni noževi, profilna glodala, odvalna glodala i dr.)

Projektovanje i konstruisanje alata za obradu rezanjem predstavlja skup aktivnosti, koji ima za cilj dobijanje jednoznačne informacije na osnovu koje je moguće izraditi alat. Pomenuta informacija je u najvećem broju slučajeva predstavljena radioničkim crtežom sa pratećom tehničkom dokumentacijom ili NC kodom, zavisno od raspoloživih sredstava rada. Međutim, proces projektovanja i konstruisanja može se nazvati uspešnim samo ako krajnji proizvod ispunjava sve zahteve koji se pred njega postavljaju, što implicira da je ovaj proces završen tek nakon verifikacije potpune funkcionalnosti alata za obradu rezanjem.

Da bi se moglo pristupiti procesu projektovanja i konstruisanja, potrebno je poznavati polazne podatke, ili ulazne parametre, koji proizilaze iz prethodno definisanog tehnološkog procesa obrade. U opštem slučaju, polazni podaci mogu biti:

- tip alata za obradu rezanjem,
- karakteristike mašine alatke,
- podaci o priboru i pomoćnom alatu,
- svojstva obratka (oblik, dimenzije, tačnost, kvalitet obrađene površine, karakteristike materijala itd.),
- podaci koji se odnose na tehnologiju i organizaciju proizvodnje obratka, podaci o ekonomici i organizaciji proizvodnje alata za obradu rezanjem.

Nakon upoznavanja sa polaznim podacima može se otpočeti proces projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem. Kao jedan od najbitnijih elemenata procesa projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem

izdvaja se proračun.

Elementi proračuna su:

1. Proračun konstruktivnih veličina alata za obradu rezanjem;
2. Određivanje i utvrđivanje kinematsko-geometrijskih parametara;
3. Utvrđivanje profila rezne ivice;
4. Proračun na čvrstoću i tvrdoću;
5. Proračun dimenzija i tačnosti konstruktivnih parametara alata poluuniverzalne ili specijalne namene, veličina njihovih režućih, odnosno konstruktivnih osnovnih površina alata za obradu rezanjem.

3. PROFILNI NOŽEVI

U savremenom mašinstvu veoma često se javlja potreba za proizvodnjom rotacionih delova relativno malih dimenzija, ali složenog oblika, pri čemu je neophodno postići zadovoljavajuću tačnost i tehnokonske efekte.

Za izradu ovakvih delova koriste se profilni strugarski noževi. Pri obradi profilnim struganjem profil obratka se u potpunosti izrađuje jednim profilnim nožem. Najizraženije prednosti profilnih noževa ogledaju se u visokoj proizvodnosti, visokoj postojanosti, jednostavnom oštrenju i visokoj tačnosti obrade.

Osnovna razlika između profilnih i strugarskih noževa univerzalne namene jeste u načinu generisanja površine obratka. Naime, strugarski noževi univerzalne namene obrazuju površinu izratka kretanjem **tačke**, pri čemu trajektorija tog kretanja leži na površini izratka. Pri obradi profilnim strugarskim noževima, površina izratka obrazuje se kretanjem **linije** - profilnog reznog dela, a površina izratka se javlja kao trajektorija ovog kretanja.

Profilni noževi razlikuju se prema više karakteristika u koje spadaju: oblik, namena, geometrijska i kinematska šema oblikovanja, karakter i položaj ledne i grudne površine.

Na osnovu prethodnog profilni noževi se dele prema[5]:

- a) obliku tela
- b) pravcu pomaka profila
- c) položaju ose alata u odnosu na obradak
- d) položaju grudne površine
- e) obliku ledne površine:

Izbor vrste profilnog noža zavisi od više parametara, kao što su zahtevana tačnost obrađene površine, oblik obrađivanog profila, oblik strugotine, kompatibilnost sa mašinom alatom, tehnološke mogućnosti proizvodnog sistema, itd. Razlike između pojedinih vrsta profilnih noževa upućuju na činjenicu da postoje određene specifičnosti i razlike i u načinu njihovog projektovanja i konstruisanja.

4. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE PROFILNIH NOŽEVA

Proces projektovanja i konstruisanja profilnih noževa sastoji se iz tri faze:

1. Izbor osnovnih dimenzija profilnih noževa;
2. Izbor rezne geometrije;
3. Određivanje profila profilnih noževa.

Izbor osnovnih dimenzija profilnih noževa svodi se na određivanje konstruktivnih dimenzija alata koje se vrši na osnovu dimenzija obratka. Podaci o konstruktivnim parametrima najčešće su dati tabelarno.

Rezna geometrija profilnih strugarskih noževa određuje se na osnovu materijala alata i obratka kao i u zavisnosti od zahtevane tačnosti obrade i kvaliteta obrađene površine.

Određivanje profila profilnih noževa predstavlja najstroženiji deo projektovanja ovih alata.

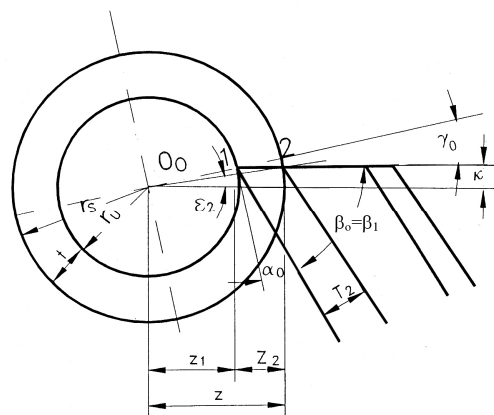
Postojanje lednog i grudnog ugla profilnog noža zahteva korekciju profila noža u odnosu na zadate dimenzije profila

izratka. Određivanje profila noža se sastoji u preračunavanju radijalnog profila izratka u ravan grudne površine alata, a zatim, iz proizvodnih razloga, preračunavanje se vrši na normalnu ravan. Korigovane dimenzije alata odgovaraju radijalnim dimenzijama dela. Dimenzije koje su date u pravcu ose izratka ostaju nepromenjene, ako se sečiva nalaze u ravni paralelnoj osi izratka.

Određivanje profila se razlikuje u zavisnosti od vrste profilnog noža, tako se na primer kod prizmatičnih profilnih noževa profil definiše preko dubina profila, dok je kod okruglih profilnih noževa definisan preko karakterističnih radijusa. Postupak određivanja profila će takođe imati određene razlike ako se alat izrađuje sa uglom nagiba grudne površine u odnosu na alat bez ovog ugla, koji se uvodi radi postizanja bolje tačnosti.

Međutim, bez obzira na ove različitosti sam princip dobijanja oblika profila je isti i svodi se na jedno od osnovnih pravila projektovanja alata za obradu rezanjem, a to je da se sečivo alata mora nalaziti na izvornoj površini alata. Ovo se postiže proračunavanjem položaja pojedinih tačaka koje se nalaze na izvornoj površini i njihovim spajanjem, čime se dobija oblik profila alata.

Radi ilustracije u nastavku je prikazan klasičan postupak određivanja položaja jedne tačke profila radijalnog prizmatičnog noža bez ugla nagiba grudne površine (slika 2).



Slika 2. Određivanje profila prizmatičnog profilnog noža sa $\gamma > 0^\circ$ i $\lambda = 0^\circ$

Tok proračuna za određivanje položaja tačke 2 je sledeći:

$$\begin{aligned} z_1 &= r_u \cdot \cos \gamma_0 & z &= r_s \cdot \cos \varepsilon_2 \\ k &= r_u \cdot \sin \gamma_0 & Z_2 &= z - z_1 \\ \sin \varepsilon_2 &= k / r_s & T_2 &= Z_2 \cdot \sin \beta_0 \end{aligned}$$

Na ovakav način može se odrediti položaj bilo koje tačke profila profilnog noža.

4.1. Greške odstupanja oblika pri projektovanju profilnih noževa

Jedan od osnovnih principa teorije alata za obradu rezanjem jeste da se sečivo alata nalazi na izvornoj površini alata. Izvorna površina alata predstavlja obvojnici uzastopnih položaja obrađivane površine pri relativnom kretanju obratka u odnosu na alat, pri čemu se alat smatra nepokretnim. Oblik sečiva alata dobija se tako što se telo alata, obrazovano izvornom površinom, preseče pogodnim ravnima. Ukoliko se sečivo ne nalazi tačno na izvornoj površini, alat skida više ili manje materijala, tako da se dobija netačna obrađena površina.

Kod određivanja profila profilnih noževa, tačke profila čiji se položaj izračunava, predstavljaju tačke koje se nalaze na izvornoj površini alata. Međutim, delovi profila alata koji se nalaze između tačaka sa određenim, izračunatim položajem imaju aproksimiran položaj, zbog čega se sečivo alata na tim delovima ne nalazi na izvornoj površini. Na osnovu

prethodnog zaključuje se da dolazi do određenih odstupanja pri dobijanju obrađene površine.

Dva najkarakterističnija slučaja odstupanja oblika su: odstupanje oblika sečiva od prave kod okruglih profilnih noževa i odstupanje izvodnice konusne površine obratka pri obradi profilnim noževima.

5. TRODIMENZIONALNI GRAFIČKI METOD PROJEKTOVANJA PROFILNIH NOŽEVA

Trodimenzijski grafički metod (TGM) projektovanja profilnih noževa predstavlja pristup projektovanju alata za obradu rezanjem, koji se direktno oslanja na mogućnosti programskih aplikacija za 3D modeliranje i to najviše u pogledu postizanja dimenzione tačnosti i tačnosti geometrijskih oblika. Kod primene TGM-a programska aplikacija za 3D modeliranje ne predstavlja samo sredstvo koje služi za prezentaciju projektantskog rešenja, već alatku od čijih karakteristika direktno zavisi ispravnost tog rešenja. Treba napomenuti da TGM ne predstavlja automatizaciju postupka projektovanja alata za obradu rezanjem.

Trodimenzijski grafički metod projektovanja profilnih noževa najveću prednost pokazuje u segmentu određivanja profila, koji je ujedno i najsloženiji korak u procesu projektovanja profilnih noževa, pa će zbog toga određivanje profila biti posvećena najveća pažnja.

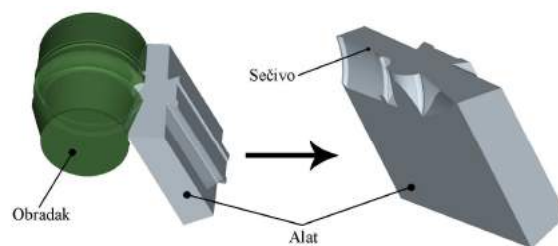
Klasičnim metodom projektovanja profilnih noževa, profil se proračunava samo za određene, karakteristične tačke profila izratka. Ovakav pristup uslovljava odstupanje oblika sečiva alata, čak i kod profila izradaka jednostavnog geometrijskog oblika, kao što je objašnjeno u potpoglavlju 4.1. Zbog pojave ovakve greške profilni noževi se ne mogu koristiti za izradu delova sa zahtevanom povišenom tačnošću obrade na više površina.

Da bi se izbeglo odstupanje oblika sečiva alata od zadatog oblika profila izratka, potrebno je odrediti profil alata koji će se celom svojom dužinom nalaziti na izvornoj površini alata. Ovo bi se moglo postići ukoliko bi se profil alata odredio za svaku tačku profila izratka, odnosno ako bi se celokupna funkcija radijalog profila izratka preračunala u ravan grudne površine alata. Ovakav način određivanja profila alata bi se teoretski mogao izvesti, međutim, samo određivanje funkcije profila izratka bi bilo veoma složeno.

Najjednostavnije rešenje problema predstavlja direktno preslikavanje oblika izvorne površine na telo alata, što je moguće izvesti uz pomoć određenih programskih aplikacija za 3D modeliranje. Za ovakav metod određivanja profila bi se moglo reći da je grafički, jer je projektant usmeren ka grafičkom interfejsu programske aplikacije, dok sam proračun vrši računar, a s obzirom na to da se projektovanje vrši korišćenjem 3D modela, metod je nazvan *Trodimenzijski grafički metod*.

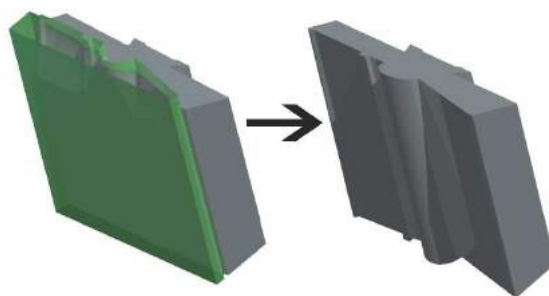
5.1 Osnovni princip trodimenzionalnog grafičkog metoda projektovanja profilnih noževa

Osnovni princip TGM-a je obrnuto posmatranje procesa obrade, tj. da pri relativnom kretanju 3D modela tela alata i izratka, **izradak oblikuje alat**. Pri ovome, relativno kretanje mora biti isto kao i u samom, realnom procesu obrade. Na taj način se, u krajnjem položaju kretanja, dobija oblik sečiva na telu alata, iz čega se zaključuje da je za ovakav postupak relevantan samo krajnji položaj kretanja tela alata i izratka (slika 3). Treba napomenuti da se ovde pod pojmom tela alata podrazumeva profilni nož sa svim konstruktivnim parametrima i reznom geometrijom, ali bez oblika sečiva. Ovim postupkom određivanja oblika sečiva je u potpunosti zadovoljen princip da se sečivo nalazi na izvornoj površini alata. Izvorna površina je u ovom slučaju predstavljena oblikom 3D modela izratka u krajnjem položaju kretanja, a sečivo se dobija u preseku grudne i izvorne površine alata.



Slika 3. Osnovni princip TGM-a

Sledeći korak, posle dobijanja oblika sečiva, je oblikovanje ledne površine. S obzirom na to da kod profilnih noževa ledna površina u svom normalnom preseku ima oblik profila alata, potrebno je ukloniti deo zapremine koji prati oblik sečiva u pravcu normalnom na lednu površinu (slika 4).



Slika 4. Oblikovanje ledne površine

Na ovaj način dobijen je 3D model profilnog noža. Dok se kod klasičnog metoda projektovanja prvo pristupa proračunu, a zatim izradi 3D modela i radioničke dokumentacije, kod primene TGM-a, ova dva koraka su obuhvaćena jednim korakom, odnosno istovremeno se vrši konstruisanje, izrada 3D modela i izrada radioničkog crteža.

Na slikama 3 i 4 osnovni princip TGM-a prikazan je na primeru radijalnog profilnog noža, međutim princip je isti i za ostale vrste profilnih noževa uz određene specifičnosti uslovljene oblikom tela pojedinih vrsta profilnih noževa.

5.2 Verifikacija trodimenzionalnog grafičkog metoda projektovanja profilnih noževa

Korišćenjem TGM-a izvedeno je projektovanje deset vrsta profilnih noževa:

1. okrugli profilni nož sa $\gamma=0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
2. okrugli profilni nož sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
3. okrugli profilni nož sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda>0^\circ$
4. radijalni profilni nož sa $\gamma=0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
5. radijalni profilni nož sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
6. radijalni profilni nož sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda>0^\circ$
7. tangencijalni profilni nož
8. okrugli profilni nož za unutrašnju obradu sa $\gamma=0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
9. okrugli profilni nož za unutrašnju obradu sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda=0^\circ$
10. okrugli profilni nož za unutrašnju obradu sa $\gamma>0^\circ$ i $\lambda>0^\circ$

Za projektovanje je upotrebljen programski paket *Pro/ENGINEER v. Wildfire 3.0*.

Profilni noževi su projektovani za obradak iz [5] (poglavlje 9, str. 191). Verifikacija TGM-a izvedena je kao poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima projektovanja klasičnim metodom dobijenim u navedenom primeru.

Najbolji metod verifikacije dobijenih rezultata bi u svakom slučaju bio izrada projektovanih alata, a zatim realizacija procesa obrade projektovanim alatima.

Verifikacija bi se u ovom slučaju sastojala od provere dimenzione tačnosti dobijenih izradaka. Međutim, ovakav način verifikacije zahteva adekvatne laboratorijske i povišene tehničko-ekonomske uslove, kao i opravdanost uložених sredstava. S obzirom na nedostatak navedenih uslova, kao izradak prema kojem su projektovani profilni noževi izabran je deo za koji već postoji proračun, da bi se moglo vršiti poređenje dobijenih rezultata.

U navedenom primeru, projektovanje profilnih noževa izvedeno je klasičnim metodom, kako je prethodno objašnjeno, odnosno proračun je vršen za devet karakterističnih tačaka zadatog izratka, na osnovu kojih je dobijeno devet karakterističnih dubina profila kod prizmatičnih noževa i devet karakterističnih prečnika kod okruglih profilnih noževa.

Poređenjem ovih devet karakterističnih dimenzija sa radioničkim crteža dobijenih TGM-om sa dimenzijama dobijenim klasičnim metodom, dolazi se do zaključka da se ove mere apsolutno poklapaju, odnosno može se reći da TGM sa stanovišta tačnosti projektovanja u potpunosti zadovoljava.

5.2 Analiza primenetrodimenzionalnog grafičkog metoda projektovanja profilnih noževa

U nastavku su navedene neke od prednosti i nedostataka TGM-a, do kojih se moglo doći teorijskim zaključivanjem. Međutim, prave karakteristike ovog postupka projektovanja najbolje mogu biti utvrđene u realnim proizvodnim uslovima.

Prednosti TGM-a:

• Tačnost

Dimenziona tačnost profilnih noževa projektovanih TGM-om se izdvaja kao najbitnija prednost ovog metoda projektovanja u odnosu na klasičan metod. Razlog povišene tačnosti je činjenica da se pri određivanju profila alata TGM-om, profil alata određuje na osnovu celokupne funkcije profila zadatog izratka, a ne samo na osnovu izabranih karakterističnih tačaka te funkcije što je slučaj kod klasičnog metoda. Tačnost projektovanja TGM-om se najviše ogleda u nepostojanju greške oblika.

• Efikasnost

Efikasnost ovog metoda izražena je time što je jednim korakom obuhvaćeno projektovanje i konstruisanje alata, odnosno izrada 3D modela alata, a zatim brzo i jednostavno generisanje tehničke dokumentacije. Kod klasičnog metoda, izradi 3D modela i tehničke dokumentacije prethodi proračun profila profilnog noža. Ovakav redosled uslovljava izradu 3D modela sa ugrađenim greškama oblika koje prate klasičan metod projektovanja alata.

• Mogućnost automatizacije izrade alata

Nakon izrade 3D modela odmah se može generisati NC kod i, ukoliko proizvodni uslovi omogućuju, na CNC mašini alatki odmah izraditi projektovani alat. Zbog preračunavanja celokupne funkcije profila izratka, profil alata ima veoma složen geometrijski oblik, što implicira da su alati projektovani TGM-om na neki način i namenjeni za izradu na CNC mašinama. Međutim, čak i ukoliko primena CNC mašina nije moguća TGM se može koristiti kao metod određivanja položaja karakterističnih tačaka profila, kao kod klasičnog metoda, s tom razlikom da je moguće odrediti položaje neograničenog broja tačaka profila. Postupak automatizacije izrade najlakše je primeniti kod okruglih profilnih noževa, jer su po svojim konstruktivnim karakteristikama najtehnoložniji.

• Pojednostavljenje geometrijskog oblika

Ukoliko na zadatom izratku postoje delovi kod kojih se zahteva povišena tačnost izrade, pri projektovanju se uvodi ugao nagiba sečiva λ . Svrha ovog ugla je da se deo sečiva, koji oblikuje deo sa povišenom tačnošću, dovede u ravan ose obratka. Međutim, pri projektovanju TGM-om, ovaj ugao nije neophodno izrađivati, jer se na svim delovima profila postiže potpuna tačnost, zbog preračunavanja celokupne funkcije

profila izratka, čime se znatno pojednostavljuje geometrijski oblik alata.

Nedostaci TGM-a:

Kao nedostatak TGM-a može se navesti neophodnost posedovanja kvalitetnog softvera za 3D modelovanje i ostale inženjerske aktivnosti potrebne za projektovanje alata (kao što je *Pro/Engineer*). Ovi softveri su skupi, tako da je potrebno proceniti isplativost jedne ovakve investicije.

6. ZAKLJUČAK

U radu je dat nov pristup projektovanju profilnih strugarskih noževa u kome su mogućnosti računara iskorišćene na relativno nekonvencionalan način, a u cilju unapređenja kvaliteta projektantskog rešenja u pogledu povećanja tačnosti i skraćivanja vremena projektovanja, odnosno efikasnosti i mogućnosti automatizacije projektovanja i izrade alata za profilno struganje

7. LITERATURA

- [1] Borenović, M.: *Projektovanje i konstruisanje kružnog zupčastog noža primenom programskog jezika Visual Basic i programskog sistema CATIA V5*, Diplomski rad, FTN Novi Sad, Novi Sad, 2005.
- [2] Graham, G., Steffen, D.: *Pro/ENGINEER 2001*, "Svetlost" Čačak, Čačak, 2002.
- [3] Miltenović, V.; Ognjanović, M.: *Mašinski Elementi-II*, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1995.
- [4] Nahod, R.: *Automatizacija proračuna odvalnih glodala i računarska animacija izrade ozubljenja cilindričnih zupčanika*, Diplomski rad, FTN Novi Sad, Novi Sad, 2005.
- [5] Sovilj, B.: *Profilni noževi*, FTN - Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1995.
- [6] Todić, V., Banjac, D.: *Projektovanje i optimizacija tehnoloških procesa obrade*, FTN - Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1993.
- [7] *Zbirka jugoslovenskih standarda za alate za obradu metala, I knjiga*, Novinsko - izdavačka ustanova Službeni list SFRJ, Beograd, 1989.

Autori: *Đorđe Milenković, dipl.ing., Prof.dr Bogdan Sovilj*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 485-133

Izv. Prof. dr Ivan Seuček, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, Tel.: +385 1 616-8336, Fax.: +385 1 615-7123

Aleksandar Čvokić, dipl.ing., Unimet d.o.o., Delfe Ivanića 51. 21241 Kač, Sbjia, Tel.: +381 21 711-410, Fax.: +381 21 711-061

E-mail: milenkovic_djordje@yahoo.com
bsovilj@uns.ns.ac.yu
ivan.seucek@fsb.hr
aca@unimet.co.yu

Rad je nastao u okviru projekta "RaProTeLOProKACNC" proisteklog iz naučno-tehnološke saradnje između Republike Hrvatske i Republike Srbije kao I projekta "Razvoj progresivne tehnologije za lednu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B., Bojović, B., Čović, N.

INTELIGENTNI TEHNOLOŠKI SISTEMI U DOMENU PROIZVODNJE DELOVA OD LIMA

Rezime: U ovom radu predstavljen je izvod iz sprovedene analize proizvodnih kapaciteta u kompaniji AD „FMP”. Analiza proizvodnog pogona kompanije izvršena je na osnovu rezultata snimanja karakterističnih parametara proizvodnih linija i na osnovu te analize postavljeni su osnovni pravci istraživanja koji treba da doprinesu poboljšanju proizvodnog procesa kompanije. Naime, uvođenje inteligentnih tehnoloških sistema u onom domenu proizvodnje gde implementacija ove napredne proizvodne paradigme može doprineti ostvarivanju planirane proizvodnje i sprovođenje terminiranih proizvodnih aktivnosti predstavlja jedno od mogućih rešenja problema. Simulaciona analiza bi trebalo da potvrdi potrebu za modernizacijom postojećih kapaciteta implementacijom inteligentnih tehnoloških sistema u cilju podizanja produktivnosti i konkurentnosti kompanije AD „FMP” iz Beograda.

Ključne reči: inteligentni tehnološki sistemi, analiza tehnoloških sistema

INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS IN SHEET METAL PRODUCTION

Abstract: This paper presents results of manufacturing analysis which has been done in company that produces cans FMP-Belgrade. The analysis was carried out by observing the manufacturing processes in can production. Aim of this multidisciplinary research is to identify the main problems in can production and to solve those problems by implementing the novel manufacturing paradigm known as Intelligent Manufacturing Systems (IMS). The simulation should point out the necessity and significance of IMS implementation in order to increase productivity and efficiency of company.

Key words: Intelligent Manufacturing Systems, Manufacturing Systems Analysis

1. UVOD

Na početku 21. veka razvoj novih generacija proizvoda pretpostavlja i konstantnu evoluciju industrije prerade metala i srodnih naučno-tehničkih oblasti, a sve u cilju podizanja nivoa iskorišćenosti i produktivnosti proizvodnih kapaciteta [1]. Modernizacija postojećih proizvodnih kapaciteta ili projektovanje potpuno novog proizvodnog sistema sa odgovarajućim proizvodnim kapacitetima predstavlja osnovu razvoja proizvodno orijentisanih kompanija u sklopu konstantne inovacije kao i primene novih tehnologija. Konstantne promene na tržištu, kako u pogledu sve kompleksnijih zahteva klijenata u vidu veličine naručene serije proizvoda i skraćanja ali i povećanja fleksibilnosti rokova isporuke, tako i u pogledu razvoja i konstruisanja proizvoda, uslovljavaju stalna ulaganja u proizvodnu opremu, sa osnovnim ciljem osvajanja većeg tržišnog udela, održanja koraka sa zahtevima tržišta i podizanja konkurentnosti proizvodno orijentisanih kompanija.

Kompanija AD FMP Beograd je proizvodno orijentisana kompanija čiju osnovnu delatnost predstavlja proizvodnja metalne ambalaže za prehrambenu i hemijsku industriju [1]. AD FMP već duži niz godina investira u poboljšanje postojećih proizvodnih kapaciteta, što doprinosi održanju kompanije na tržištu limenki u širem obimu. Menadžment kompanije je tokom prethodnih godina planski ulagao značajna novčana sredstva u nove tehnologije upravo radi proširenja proizvodnog programa kompanije i ispunjenja osnovnih zahteva klijenata. Ove investicije rezultirale su ostvarivanjem većine postavljenih ciljeva pre svega u pogledu povećanja obima proizvodnje, kao i u pogledu osvajanja novih proizvoda, a samim tim i tržišta. Međutim, tokom dugogodišnjeg ulaganja u proizvodne kapacitete kompanije AD FMP menadžment kompanije je uočio da planska ulaganja ne moraju uvek da imaju i postavljeni cilj za konačni

ishod. Naime, u uslovima konstantne promene zahteva klijenata koji se postavljaju pred kompaniju, neizbežne su česte i neplanirane promene planova proizvodnje. Prethodna konstatacija ima za posledicu neusaglašene dugoročne proizvodne planove, koji definišu tačno određenu poslovno-proizvodnu politiku, sa aktuelnim narudžbinama klijenata u pogledu vrste proizvoda i veličine naručene serije određenih proizvoda. Samim tim, projekcije godišnjih planova proizvodnje na kvartalne, mesečne, nedeljne i dnevne aktivnosti često su fazno pomerane ili pak potpuno promenjene u odnosu na inicijalne postavke, shodno hitnosti i prioritetima aktuelnih narudžbina određenih proizvoda ali i postojećim proizvodnim kapacitetima kompanije.

S druge strane, shodno izraženoj dinamici kontinualnog razvoja kompanije kao što je AD FMP, menadžment planski razmišlja o budućim koracima koje je potrebno preduzeti u cilju dugoročnog održanja na tržištu. Rukovodeće strukture su svesne potrebe za proširivanjem proizvodnog programa što sa sobom povlači i proširenje proizvodnih kapaciteta. Međutim, za investiranje u proizvodnju neophodno je napraviti analizu postojećih proizvodnih kapaciteta i sagledati sve mogućnosti daljeg napretka. Direktno ulaganje u postojeće proizvodne kapacitete pretpostavlja da su svi procesi koji se obavljaju u okviru ovog sistema optimizirani i da je napredak moguće ostvariti jedino nabavkom odgovarajuće moderne proizvodne opreme. U tom smislu, menadžment kompanije je odlučio da aktivno učestvuje u Projektu tehnološkog razvoja Ministarstva nauke Vlade Republike Srbije, koji sprovode Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu i Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu pod nazivom „Fleksibilna automatizacija i implementacija inteligentnih tehnoloških sistema u domenu proizvodnje delova od lima” (TR-14031) sa osnovnim ciljem sprovođenja analize mogućnosti implementacije inteligentnih tehnoloških sistema (ITS) u odgovarajućim tehnološkim sistemima kompanije.

2. FLEKSIBILNA AUTOMATIZACIJA I IMPLEMENTACIJA INTELIGENTNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA U DOMENU PROIZVODNJE DELOVA OD LIMA

2.1 Osnovni ishodi i delokrug projekta

U sklopu sveobuhvatne modernizacije postojećih proizvodnih kapaciteta, projektovanje novih generacija proizvoda podrazumeva i promenu dominantnih pravaca istraživanja što će značajno doprineti poboljšanju postojećih proizvodnih tehnologija a time i novih proizvoda. Međutim, neprestana modernizacija svih aspekata ljudskog života ogleda se i na ovom polju, s obzirom da su proizvodnja i isporuka direktno u korelaciji sa zahtevima tržišta, proizvodnim kapacitetima ali i zahtevima klijenata kompanije AD „FMP” u opštem smislu. Osvajanje novih tehnologija, proizvoda i tržišta podrazumeva konstantnu primenu novih ideja, metoda i koncepata.

U tom smislu, osnovna naučno-tehnička istraživanja u ovom projektu sprovode se u dva dominantna pravca:

- Razvoj novih metoda analize u domenu inženjerstva površina baziranih na fraktalnoj geometriji i veštačkim neuronskim mrežama u cilju predikcije kvaliteta obrađene površine limenke na osnovu parametara obrade, i
- Razvoj naprednih metoda lokalizacije i izgradnje mape tehnološkog okruženja u cilju instalacije inteligentnih industrijskih mobilnih robota u domenu unutrašnjeg transporta repromaterijala, sirovina i gotovih delova.

2.2 Identifikacija obrađenih površina i predikcija njihovog kvaliteta

Ostvarivanje određenog kvaliteta obrade predstavlja jedan od osnovnih uslova u cilju postizanja propisanog kvaliteta izratka. U tom smislu, primenom nekonvencionalnih metoda kao što je fraktalna geometrija, može se identifikovati i opisati kvalitet obrađene površine. S druge strane, fraktalni parametri, kao parametri hrapavosti, mogu se uvrstiti u standard pogotovo u mikropodručju primene.

Kontaktna oblast između lima i izvršnog organa alata za oblikovanje lima, uključujući i sredstvo za podmazivanje, je vrlo kompleksan tribološki sistem. Dosadašnja istraživanja pribegavala su matematičkom modeliranju, analizi kontaktnih površina i eksperimentalnom testiranju radi boljeg shvatanja fenomena trenja i habanja. Rešavanje izraženog problema kontaktnog trenja pri obradi lima plastičnim deformisanjem nailazi na problem određivanja stvarne kontaktne površine, koja predstavlja skup malih kontaktnih površina nastalih na mestima gde se vrhovi (pikovi) površina u kontaktu dodiruju. Površinska hrapavost lima je važna za opis stvarne kontaktne površine. Poznato je da se sa porastom hrapavosti obrađene površine smanjuje kontaktna površina, a samim tim i adhezivno habanje, tj. da se povećava abrazivno. Postoji realna potreba za optimalnom površinskom hrapavošću obrađene površine koja će dovesti do optimalnog tribološkog ponašanja. Fraktalna geometrija je primenjivana za opis obrađene površine, za njenu identifikaciju fraktalnim parametrom hrapavosti, kao i za određivanje stvarne kontaktne površine. Pokazano je da je površina sa fraktalnom dimenzijom od 2.5 upravo ona koja će dovesti do optimalnog ponašanja kod kontaktnih pojava.

Fraktalna geometrija se poslednjih decenija dokazala kao koristan alat u analizi kompleksnih nepravilnih geometrijskih objekata. Fraktalna dimenzija, kao razlomljen broj, predstavlja meru neravnomernosti datog objekta, i uvek je veća od topološke dimenzije, koja je mera ispunjenosti prostora datim objektom. Fraktalna dimenzija površine lima,

pre i posle obrade, bi bila parametar hrapavosti, shodno novoj metodologiji koja se predlaže.

Predložena metodologija za identifikaciju i predikciju hrapave površine lima se bazira na snimanju uzoraka, pripremi sakupljenih digitalnih podataka, fraktalnoj analizi visina neravnina, izboru, treniranju i testiranju veštačkih neuronskih mreža. Istraživanje obuhvata:

- 1) snimanje obrađene površine lima,
- 2) karakterizacija obrađene površine fraktalnom dimenzijom koja se pokazala dobrom merom hrapavosti,
- 3) povezivanje fraktalne dimenzije površine sa njenim tribološkim ponašanjem, kao što je trenje, podmazivanje i habanje,
- 4) snimanje obrađene površine limenke nakon obrade plastičnim deformisanjem,
- 5) predikcija kvaliteta obrađene površine limenke na osnovu fraktalne dimenzije površine priprema od lima korišćenjem veštačkih neuronskih mreža.

Snimanje hrapave površine lima i limenke se može sprovesti na SPM (Scanning Probe Microscopy) i SEM (Scanning Electron Microscopy), koji se nalaze u univerzitetskim laboratorijama u Beogradu (SPM JOEL 5200) i Novom Sadu (SEM JOEL 6480LV).

AFM (Atomic Force Microscopy) kao modul SPM predstavlja kontaktni metod koji uz sliku hrapave površine daje i visinu neravnina. Pošto se uz kvalitativan dobija i kvantitativan prikaz neravnina, fraktalnu dimenziju je moguće izdvojiti iz pridružene datoteke visine neravnina izradom softverske aplikacije u *Matlab*[®] okruženju, bazirane na primeni novih metoda i algoritama, tzv. metodi stubaca (*skyscrepers method*) i metodi preseka (*slit island method*).

SEM kao beskontaktni metod, daje samo kvalitativan prikaz hrapavih površina, tj. sliku. Obrada snimaka uključuje izradu softverske aplikacije u *Image Processing* modulu *Matlab*[®]-a. Pri tome se pozicija piksela smatra x,y koordinatama, a nivo sive boje z koordinatom. Primena komercijalnog *Mex*[®] softvera specijalizovanog za obradu snimaka sa SEM-a omogućava metodom triangulacije određivanje visine neravnine. Analiza slike se bazira na gore navedenim metodama.

Predikcija kvaliteta obrađene površine limenke zasniva se na primeni veštačkih neuronskih mreža (ANN - *Artificial Neural Network*). Izbor veštačkih neuronskih mreža je vrlo logičan zato što su pogodnije za predikciju. Ulazne skupove čine fraktalne dimenzije hrapave površine lima pre obrade, intenziteti sile kojom se vrši oblikovanje, a izlazni skup čini fraktalna dimenzija obrađene površine limenke nakon obrade plastičnim deformisanjem.

Preliminarni rezultati snimanja na eksperimentalnom mikroskopu SPM JOEL 5200 predstavljeni su u [4].

2.3 Inteligentni industrijski mobilni roboti

Unutrašnji transport materijala u okviru proizvodnog pogona predstavlja jedan od problema koji ispoljava značajan uticaj na funkcionisanje celokupnog proizvodnog procesa. Uspešno rešavanje ovog kompleksnog problema može u velikoj meri doprineti ostvarivanju planirane proizvodnje i olakšati sprovođenje planiranih proizvodnih aktivnosti. Unutrašnji transport materijala [5] definisan je kao „kretanje, skladištenje, zaštita i upravljanje materijalom u toku procesa proizvodnje”. Ovaj proces mora da bude obavljen bezbedno, efikasno, ekonomično, precizno i u definisanim vremenskim rokovima, a da tokom procesa ne dođe do oštećenja materijala (delova) u bilo kom pogledu. Iako trivijalan na prvi pogled, pomenuti problem predstavlja jedan od važnih aspekata proizvodnog procesa (time i tehnološkog procesa) koji ne bi smeo da bude zanemaren. Naime, u [5] se navodi da su troškovi upravljanja materijalom reda veličine 20-25% ukupne cene rada radnika što samo potvrđuje značaj

postavljenog problema. U tom smislu, u projektu će poseban akcenat biti posvećen *unutrašnjem transportu materijala*, kao jednoj od integralnih komponenata postavljenog problema i primeni inteligentnih industrijskih mobilnih robota u ove svrhe.

Preko milion instaliranih stacionarnih industrijskih robota u proizvodnim sistemima širom sveta uspešno se primenjuje u različitim tehnološkim procesima već nekoliko decenija, i to za zavarivanje (elektrolučno, tačkasto,...), sečenje metala laserom i vodenim mlazom, površinsku zaštitu (lakiranje i farbanje), itd. **Error! Reference source not found.**, [7], [8], [9], [10]. Međutim, nedostatak ove grupe industrijskih robota je njihovo ograničenje u smislu promene osnovnog položaja baze [10]. Naime, konstantan oblik i konstantna zapremina radnog prostora onemogućavaju promenu osnovnog položaja industrijskog robota u slučaju da postoji takva potreba, shodno tehnološkom procesu. Moguće rešenje ovog problema predstavlja primena robotske ruke koja se nalazi na mobilnoj platformi [9], čime bi se značajno povećao inicijalni radni prostor, a samim tim i upotrebnost vrednost industrijskog robota. S obzirom na izraženu promenu osnovnih zadataka koji se postavljaju pred industrijske robote u 21. veku – od „uzmi i postavi” zadataka (*Pick & Place*) do „uzmi i ponesi” zadataka (*Fetch & Carry*) [7], ova fuzija predstavlja još jedan oblik integracije mobilnih robota u proizvodno okruženje.

Uvođenje industrijskih mobilnih robota u proces proizvodnje podrazumeva prethodno izvršenu analizu postojeće tehnologije, kao i mogućnosti poboljšanja postojećih proizvodnih i tehnoloških procesa implementiranjem IMR, ali i eventualno projektovanje potpuno novog proizvodnog okruženja u kome će IMR biti integralna komponenta tehnoloških sistema. U zavisnosti od ishoda i zaključaka ove analize zavisi i domen primene IMR, kao i njegova funkcija u samom sistemu. Poznato je da nivoi integracije CIM sistema podrazumevaju postojanje [2], [10]:

- Nivoa mehaničke integracije,
- Nivoa komunikacione integracije, i
- Nivoa integracije preko znanja.

Nivo mehaničke integracije predstavlja hardversku strukturu fleksibilnog tehnološkog sistema FTS, odnosno – $FTS(MA \wedge R \wedge IR)$, gde su simbolički prikazani sledeći elementi tehnološkog sistema: MA - mašina alatka, R – računar i IR - industrijski robot.

Nivo komunikacione integracije podrazumeva implementaciju lokalne računarske mreže LAN, simbolički predstavljeno – $CIM(CAD \wedge CAM \wedge CAPP \wedge CAQ \wedge PPC \wedge FTS(MA \wedge R \wedge IR))$. Osnovna ideja ovog nivoa integracije ogleda se u povezivanju upravljačkih jedinica sa mašinama alatkama u pogonu (FTS), kao i u povezivanju sa projektantskim stanicama CAD, CAM, CAE, CAPP, itd.

Nivo integracije preko znanja predstavlja najviši nivo integracije koji obuhvata koncept veštačke inteligencije (VI) i inženjerstva znanja (KE), čime se u potpunosti ostvaruje koncept inteligentnih tehnoloških sistema (ITS). Odnosno, $ITS(VI \wedge CIM(CAD \wedge CAM \wedge CAPP \wedge CAQ \wedge PPC \wedge FTS(MA \wedge R \wedge IR)))$.

Prvi rezultati u domenu rešavanja problema simultane lokalizacije i izgradnje mape tehnološkog okruženja inteligentnog industrijskog mobilnog robota tokom eksploatacije prikazani su u [8], gde je predstavljen i odgovarajući softverski kod razvijen u *Matlab*® okruženju.

2.4 Snimanje i analiza rada tehnoloških sistema kompanije AD FMP

Shodno postavljenim naučnoistraživačkim ciljevima projekta, definisane su sledeće aktivnosti koje su i sprovedene radi valjanog sagledavanja tehnoloških sistema, odgovarajućih tipskih i pomoćnih tehnoloških operacija i

tehnoloških vremena [1]:

- Izbor reprezentativnih proizvoda iz proizvodnog programa kompanije AD FMP shodno aktuelnom proizvodnom planu;
- Snimanje rada proizvodnih linija izabranih reprezentativnih proizvoda i analiza posmatranih tehnoloških sistema;
- Identifikacija osnovnih tipskih tehnoloških operacija;
- Definisanje strukture ukupnog tehnološkog vremena tipskih tehnoloških operacija;
- Analiza vremenskih normativa tipskih tehnoloških operacija;
- Terminiranje proizvodnje na osnovu vremenskih normativa određenih metodom snimanja;
- Projektovanje tehnološke dokumentacije za izabrane proizvode.

Sve usvojene projektne aktivnosti za konačan ishod imaju povećanje obima proizvodnje i mogućnost terminiranja proizvodnje sa uključenim vremenom trajanja odgovarajućih tehnoloških procesa, pošto postojanje vremenskih normi tipskih tehnoloških operacija to omogućava, što u ukupnom zbiru rezultira povećanjem konkurentnosti kompanije na tržištu.

2.5 Terminiranje proizvodnje

Glavno planiranje proizvodnje (terminiranje) podrazumeva formiranje detaljnih lista proizvoda sa definisanim rokovima isporuke i potrebnim količinama odgovarajućih proizvoda [1], [3]. Terminiranje proizvodnje je hijerarhijski posmatrano na najvišem nivou planiranja za proizvodnju i predstavlja osnovni plan na čijim osnovama se izrađuju ostali planovi koji su hijerarhijski na nižem nivou [3]. Naravno, prethodnu konstataciju o hijerarhiji planova treba posmatrati isključivo sa stanovišta menadžmenta kompanije, a ne i sa aspekta prioriteta sprovođenja određenih planova, s obzirom da svi planovi imaju isti prioritet. Shodno pojašnjenju proizvodnog pojma terminiranje, jasno je da svako planiranje proizvodnje započinje sa marketinškom službom proizvodno orijentisane kompanije. Naime, upravo ova služba shodno narudžbinama kupaca i potrebama tržišta, prosleđuje informacije službi za planiranje proizvodnje, koja za zadatak ima ostvarivanje postavljenih ciljeva uz poštovanje količina naručenih proizvoda, kao i rokova isporuke. Međutim, detaljno planiranje proizvodnje koje u sebi obuhvata planiranje potreba i kapaciteta, pretpostavlja postojanje tehnoloških vremenskih normi za pojedinačne tehnološke aktivnosti. Drugim rečima, bez poznavanja vremenskih normativa planiranje proizvodnje je skoro nemoguće ostvariti. U tom smislu, terminiranje proizvodnje može biti shvaćeno kao prioritarna aktivnost čije je adekvatno definisanje neophodno, u cilju ostvarivanja proizvodnih zadataka [1]. Samim tim, vremenski normativi dobijaju još više na specifičnoj težini, posebno prilikom neplanirane promene proizvodnih zadataka.

Vremenska norma predstavlja prosečno vreme trajanja jedne tehnološke aktivnosti za iste usvojene početne uslove okruženja [1]. U tom smislu, vremenska norma proizvodnog radnika je vreme potrebno prosečno uvežbanom radniku da, uz normalno zalaganje i zamor, korišćenjem propisanih obradnih sistema i projektovanog tehnološkog procesa, izvrši određenu promenu na radnom predmetu i ostvari propisani kvalitet [1]. S druge strane, može se definisati i vremenska norma tehnološke operacije koja predstavlja prosečno vreme izvršavanja određene tehnološke operacije na propisanom obradnom sistemu, za iste početne uslove okruženja, uz ostvarivanje potrebnog kvaliteta [1]. Iz ove dve navedene definicije može se videti da problematika tehničkog normiranja rada predstavlja izuzetno važan i složen sastavni

element tehnološke pripreme proizvodnje. Snižavanje normativa rada dovodi do skraćivanja rokova tehnološke pripreme proizvodnje novih proizvoda, što sa aspekta neprestane promene zahteva tržišta, može biti značajna prednost u pogledu dinamike osvajanja novih proizvoda, što direktno utiče i na produktivnost proizvodnog sistema.

Snimanje rada proizvodnih linija i određivanje tehnoloških vremena predstavlja prvi korak prema identifikaciji tipskih tehnoloških operacija i utvrđivanju odgovarajućih vremenskih normi. Kao što je već naglašeno, u procesu određivanja tehnoloških vremenskih normi primenjena je metoda snimanja kao najpouzdanija i najpreciznija metoda, s obzirom da tom prilikom svi značajni faktori koji utiču na odvijanje tehnološkog procesa ispoljavaju svoj uticaj [1]. Drugim rečima, merenjem vremena trajanja posmatrane tehnološke operacije u razumnom broju ponavljanja obuhvata se uticaj svih signifikantnih faktora.

Posmatrano sa aspekta implementacije koncepta ITS-a može se postaviti pitanje svrhe sprovođenja ovog postupka, kao i pitanje upotrebne vrednosti rezultata dobijenih ovom analizom. Naime, na prvi pogled se ne može uspostaviti direktna uzročno-posledična veza sa osnovnim pravcima istraživanja i ciljevima projekta. Međutim, sagledavanje svih aspekata tehnoloških procesa i identifikacija ključnih faktora koji ispoljavaju uticaj na produktivnost tehnoloških sistema predstavlja osnovu na koju će se u narednim fazama izvršiti nadogradnja sa osnovnim naučnoistraživačkim ciljem podizanja produktivnosti i efikasnosti postojećih tehnoloških sistema. U tom smislu, adekvatna implementacija paradigmi veštačke inteligencije u domenu dva osnovna pravca istraživanja predstavlja dominantni naučnoistraživački cilj u projektnim aktivnostima koji može biti ostvaren isključivo nakon detaljnog upoznavanja sa tehnološkim sistemima kompanije AD FMP. S druge strane, simulacijom snimljenih podataka primenom metoda diskretne simulacije [2], [12] moguće je identifikovati „kritična“ mesta u toku procesa proizvodnje limenki, koja se u narednim fazama projektnih aktivnosti mogu značajno unaprediti primenom naprednog koncepta ITS-a.

3. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan pregled istraživanja koja se sprovode u okviru Projekta tehnološkog razvoja Ministarstva nauke Vlade Republike Srbije. Naučnoistraživački opus projektnih aktivnosti fokusira se na dva fundamentalna pravca istraživanja u kojima će se u narednim fazama sprovesti eksperimentalni procesi kao i implementacija naprednih metoda veštačke inteligencije. Prvi pravac istraživanja odnosi se na inženjerstvo površina i priemnu fraktalne geometrije, dok je drugi pravac orijentisan ka problemu unutrašnjeg transporta repromaterijala, sirovina i gotovih delova pomoću inteligentnih industrijskih mobilnih robota. Preliminarni rezultati projektnih aktivnosti predstavljeni su u [4],[8],[10][11].

S tim na umu, analiza proizvodnog programa i tehnoloških sistema u okviru proizvodnog sistema kompanije AD FMP [1] predstavlja osnovu koju treba identifikovati i postaviti da bi napredne metode i algoritmi bili valjano primenjeni. U tom smislu, u radu su predstavljene osnovne aktivnosti pomenute analize, uvedena definicija vremenske norme tehnološke operacije i ukazano na potrebu primene metode snimanja u cilju sagledavanja tehnoloških sistema. Pored dva fundamentalna pravca istraživanja, u planu je i analiza tehnoloških sistema primenom koncepta diskretne simulacije [2][12] pomoću koga je moguće identifikovati „uska grla“ u procesu proizvodnje limenki i pokušati da implementacijom inženjerskih metoda i paradigmi veštačke inteligencije ta kritična mesta budu prevaziđena.

4. ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo Projekta tehnološkog razvoja pod nazivom *Fleksibilna automatizacija i implementacija inteligentnih tehnoloških sistema u domenu proizvodnje delova od lima* i finansira se sredstvima Ministarstva nauke Vlade Republike Srbije (TR-14031).

5. LITERATURA

- [1] Babić, B., Miljković, Z., Bojović, B., Vuković, N.: *Snimanje rada i odgovarajućih tehnoloških vremena linija za proizvodnju limenki u kompaniji AD FMP – Beograd*, Elaborat, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2008.
- [2] Babić, B.: *FLEXY – inteligentni sistem za projektovanje FTS*, Monografija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [3] Babić, B.: *Projektovanje tehnoloških procesa*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2004.
- [4] Bojović, B., Kalajdžić, M., Miljković, Z., Babić, B.: *Fractal Approach for Substrates Surface Topography Image Evaluation*, International Conference "The Coatings", KASSANDRA – CHALKIDIKI, Greece, October 1 - 3 2008. –prihvaćen rad
- [5] Groover, M.P.: *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 2nd Edition*, Prentice Hall, 2001.
- [6] Kalajdžić, M.: *Tehnologija mašinogradnje*, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2006.
- [7] Kopaček, P.: *Intelligent Manufacturing: Present State and Future Trends*, Journal of Intelligent and Robotic Systems, Vol.26, pp. 217-229, 1999.
- [8] Miljković, Z., Vuković, N., Babić, B.: *Mobile Robot Localization in a Manufacturing Environment*, The 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN 2008) and EUREKA Brokerage Event, KASSANDRA – CHALKIDIKI, Greece, October 1 - 3 2008. –prihvaćen rad
- [9] Miljković, Z.: *Sistemi veštačkih neuronskih mreža u proizvodnim tehnologijama*, Monografija, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [10] Vuković, N., Miljković, Z., Babić, B., Čović, N.: *Industrijski mobilni roboti u inteligentnim tehnološkim sistemima*, Časopis Tehnika – Mašinstvo (YU ISSN 0040-2176), 2008. - rad je pozitivno recenziran i prihvaćen za objavljivanje
- [11] Vuković, N., Miljković, Z.: *Extended Kalman Filter (EKF) in Autonomous Mobile Robot Localization and Mapping*, The 4th International Conference on Robotics ROBOTICA '08, Brasov, Romania, November 13-14, 2008 – prihvaćen rad
- [12] www.xjtek.com – AnyLogic Simulation Software – Official Web Page

Autori: Prof. dr Miljković Zoran, Vuković Najdan dipl. inž. maš., Prof. dr Babić Bojan, asistent mr Bojović Božica, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35, Srbija, Tel.: +381 11 3302-468, Fax: +381 11 3370-364.

dr Čović Nebojša, AD „FMP“ Beograd, Lazarevački drum 6, 11000 Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 30 52 050, Fax: +381 11 35 50 273

E-mail: zmiljkovic@mas.bg.ac.yu
nvukovic@mas.bg.ac.yu
bbabic@mas.bg.ac.yu
bbojovic@mas.bg.ac.yu
office@fmp.co.yu

Milojević, Z., Zeljković, M., Navalušić, S.

PROGRAMSKI SISTEM ZA VERIFIKACIJU NC UPRAVLJAČKOG PROGRAMA

Rezime: U radu je predstavljen programski sistem za verifikaciju generisanog NC upravljačkog programa pri obradi tro-osnim glodanjem. U uvodnom delu ovog rada dat je sažeti prikaz virtualnog inženjerstva i virtualne proizvodnje, kao jedne od najznačajnijih komponenti virtualnog inženjerstva. Takođe, dat je prikaz dva različita prilaza pri simulaciji NC upravljačkog programa, egzaktnog i aproksimativnog, kao i njihove prednosti i nedostaci. Predstavljen je model razvijenog programskog sistema sa odgovarajućim modulima. U nastavku je prikazana verifikacija razvijenog programskog sistema na konkretnom primeru. Prednost razvijenog programskog sistema predstavlja mogućnost promene pogleda na obradak u toku simulacije, kao i mogućnost eksporta dobijenog modela izradka u komercijalni CAD programski sistem AutoCAD, radi naknadne analize. Takođe u eri virtualnih tehnologija, posebnu pogodnost predstavlja činjenica da razvijeni programski sistem koristi OpenGL grafičku biblioteku, pri čemu je omogućen stereoskopski prikaz procesa obrade uz upotrebu stereoskopskih naočara.

Cljučne reči: Virtualna proizvodnja, tro-osno glodanje, deksel struktura, verifikacija NC upravljačkog programa

PROGRAM SYSTEM FOR NC MACHINING PROGRAM VERIFICATION

Abstract: In this paper, a program system for 3-axis milling verification of NC machining program is presented. In the introductory part of the article basic remarks of the virtual engineering and virtual manufacturing, as one of the most important components of virtual engineering, are given. In addition, two approaches of the NC machining program verification, an exact and approximate approach, and their advantages and disadvantages are presented. Model of the developed software solution and its modules is shown. After that, verification of the developed software solution is done on the concrete example. Advantage of the developed software solution is the fact that user can change a view on the workpiece in the simulation process and also there is a possibility of final machined workpiece export in AutoCAD program system for later analysis. In the virtual technology era that exists today fact that the developed software solution is based on the OpenGL graphics library enables a stereoscopic view with the use of stereoscopic goggles presents a very useful benefit.

Key words: Virtual manufacturing, 3-axis milling, dixel structure, NC machining program verification

1. UVOD

Sve intenzivniji zahtevi i promene modernog tržišta zahtevali su i brzi razvoj novih proizvoda, koji je postao kritična tačka zadovoljavanja potreba tog tržišta. Novi trendovi dovode do novog inženjerskog koncepta: virtualnog inženjerstva. U suštini, virtualno inženjerstvo je inženjerstvo koje bazira na simulaciji. Postojeće simulacione tehnologije su usavršene tako da sada mogu rešavati probleme kao što su numeričko modeliranje većine mehaničkih karakteristika nekog sistema i detektovati eventualnu koliziju između pojedinih geometrijskih objekata u realnom vremenu. Korišćenjem virtualnih tehnologija, industrija je uspešno primenila virtualno inženjerstvo za smanjenje vremena i troškova potrebnih za razvoj novih proizvoda. Broj aplikacija stalno raste i kada se one u potpunosti razvijaju, virtualno inženjerstvo će postati primarna komponenta u svim inženjerskim aktivnostima.

Virtualno inženjerstvo pomaže inženjerima pri donošenju odgovarajućih odluka i uspostavljanju kontrole procesa razvoja proizvoda. Virtualno okruženje predstavlja okvir u kome geometrijske i fizičke karakteristike realnog sistema mogu biti precizno simulirane. Virtualno inženjerstvo obuhvata simulaciju različitih inženjerskih aktivnosti kao što su proces izrade, montaža, rukovanje proizvodnim linijama, pregled, evaluacija kao i proces projektovanja. Prema tome virtualno inženjerstvo se može primeniti u celokupnom ciklusu razvoja proizvoda.

Virtualno inženjerstvo, kao što je već napomenuto, donosi potpuno novu filosofiju/prilaz u rešavanju inženjerskih zadataka. Korišćenje simulacije svodi na najmanju moguću

meru skupe fizičke prototipove i eksperimente. Vreme potrebno za razvoj proizvoda se značajno smanjuje, više različitih projektnih alternativa se može testirati, a kvalitet se povećava. Sa druge strane, virtualno inženjerstvo predstavlja izuzetnu vezu sa krajnjim korisnikom, koji unapred, uvidom u 3D model proizvoda može zahtevati određene modifikacije. Stvaraju se uslovi da se generišu prototipovi proizvoda koji fizički nije dostupan, koji je opasan ili veoma skup za rukovanje u realnom okruženju.

Virtualna proizvodnja predstavlja jednu od najznačajnijih komponenti virtualnog inženjerstva koja podrazumeva modele svih komponenti mašine alatke, njihovo ponašanje i matematičko – fizički model procesa obrade. Najjednostavnija i najkraća definicija pojma virtualna proizvodnja je, da je to proizvodnja u računaru [3], pošto obuhvata dva ključna elementa virtualnog koncepta – proces (proizvodnja) i okruženje (računar). Osnovne prednosti virtualne proizvodnje su [6][8]:

- Pобољшanje kvaliteta dela koji se obrađuje
- Detekcija grešaka u NC programu
- Smanjivanje habanja mašine i alata
- Povećanje iskorišćenja i produktivnosti mašine alatke
- Smanjivanje troškova proizvodnje
- Povećanje bezbednosti radnika i njihove efikasnosti
- Napredna mogućnost prezentacije i vizuelizacije
- Mogućnost obuke radnika na mašini i programera

Vizuelizacija radnog prostora mašina alatki, pri čemu se, pre svega, misli na prikaz simulacije NC upravljačkog programa, vrlo je značajna sa stanovišta provere i verifikacije tačnosti obradka, kao i eventualnih kolizija u radnom prostoru mašine alatke. Na taj način je moguće, u fazi projektovanja

tehnologije izrade obradka na radnom mestu tehnologa - programera, uočiti i korigovati eventualne greške nastale u procesu generisanja NC upravljačkog programa.

U zavisnosti od načina opisa i prezentacije radnog predmeta i alata, svi pristupi vezani za simulaciju generisanog NC upravljačkog programa mogu se podeliti na: egzaktne i aproksimativne pristupe.

Nedostatak egzaktnog pristupa kod simulacije NC upravljačkog programa, koji se najčešće opisuje CSG (Constructive Solid Geometry) metodom, predstavlja jako velika zahtevnost u smislu računarskih resursa. Pri ovom metodu vrši se primena Bool-ovog logičkog operatora za r oduzimanje (azliku) CSG omotača alata generisanog između početnog i krajnjeg položaja u procesu rezanja od CSG modela radnog predmeta. Osnovnu prednost predstavlja tačan prikaz radnog predmeta nakon obrade. Konkretno, proces vizuelizacije proračunava se ray-tracing algoritmom, što takođe predstavlja veliku zahtevnost u smislu računarskih resursa i dugog vremena proračuna. Prema istraživanjima, hardverska zahtevnost kod ovog metoda može se predstaviti u obliku $O(N^4)$ što predstavlja funkciju broja operacija (O) u zavisnosti od četvrtog stepena broja kretanja alata (N). Ako se uzme u obzir da jedan NC upravljački program može imati i do nekoliko desetina hiljada kretanja alata, broj potrebnih operacija može biti veoma veliki.

Aproksimativni pristup se najčešće zasniva na diskretizaciji modela alata i obradka preko mreže poligona i primeni hardverskih potencijala grafičkih kartica, što omogućava vizualizaciju u realnom vremenu i izbegavanje računarski zahtevnih Bool-ovih operacija. Nedostatak pristupa, gde se najčešće koristi hardverski potencijal grafičkih kartica, je činjenica da je rezultat obradka koji je predstavljen slikom u memoriji grafičke kartice, pri čemu je najšee prikaz definisan za jednu projekciju, a da bi se definisala druga projekcija mora se ponovo izvršiti proračun. Druga varijanta omogućava da se dobijeni obradak prikaže kao skup poligona, koje je kasnije lako prebaciti u neki komercijalni CAD paket i u njemu izvršiti analizu. Funkcija zavisnosti broja operacija od broja kretanja alata je $O(N)$, dakle linearna, što je veoma povoljno za prikaz u realnom vremenu.

Zbog smanjenja broja operacija i mogućnosti realizacije prikaza u realnom vremenu, kao i zbog veoma brzog napretka hardvera grafičkih kartica u poslednje vreme se većina istraživanja fokusira na aproksimativni pristup.

2. DEKSEL METOD

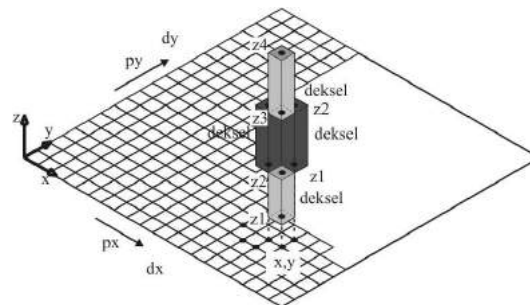
Razvijeni programski sistem za verifikaciju NC upravljačkog programa, je zasnovan na deksel metodi.

Jedan od najpoznatijih aproksimativnih pristupa, takozvani deksel metod, koji je zavisao od pogleda na predmet, predstavlja Van Hook-ov metod [9]. U radu je prvi put uveden pojam deksel (depth element), u skladu sa oznakama piksel i voksel. Deksel se može definisati kao solid oblika kvadra, koji odgovara delu obradka koji se nalazi iza piksela u odgovarajućoj projekciji. Bitna karakteristika ovog pristupa je u tome što svakom piksel-u na ekranu odgovara sortirana lista deksel-a. Navedeno omogućava izradu i prikaz šupljih oblika. Struktura svakog deksel-a sadrži podatke: z-bliže, z-dalje, boju i pokazivač na sledeći deksel, ako postoji na obradku (što znači da postoji otvor na obradku). Oduzimanje alata od obradka je svedeno na jednodimenzionalno oduzimanje deksel-a, tako da su ostvareni preduslovi za simulaciju procesa obrade u realnom vremenu. Ovaj metod je idealan za simulaciju 3-osnog glodanja, pošto se struktura dexela alata ne menja pri obradi. Metod je primenljiv i na 5-osno glodanje, međutim zbog promene strukture dexela alata, ne može se postići prikaz u realnom vremenu. Da bi se obezbedio prikaz u realnom

vremenu, kretanje alata su aproksimirane instancama alata, a ne njegovim omotačem.

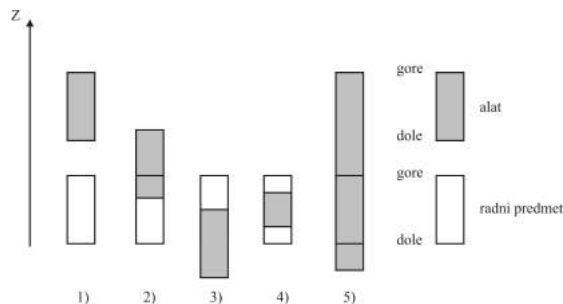
Proširenje Van Hook-ovog metoda izvršili su Huang i Oliver [2], takozvani prošireni deksel metod (Extended dexel). Autori su predstavili novi algoritam pri čemu se generisanje strukture dexel-a priprema obavlja ray-intersection metodom i nije ograničeno definisanim pogledom na pripremak. Prikaz koordinatnog sistema i strukture dexela dat je na slici 1.

Kao što je prikazano na slici 1., granična oblast priprema podeljena je mrežom koja sadrži px i py podela, sa rastojanjem između susednih dexela dx i dy, u x i y pravcu respektivno. Svaka tačka mreže sa koordinatama x, y, može sadržati jedan ili više dexela. Na slici 1., otvor na predmetu predstavlja sivi dekseli.



Slika 1. Deksel kordinatni sistem i struktura

Oduzimanje dexel modela alata od obradka, svodi se na poređenje gornjih i donjih vrednosti dva odgovarajuća dexela alata i obradka (iste x-y koordinate mreže). Pet slučajeva koji se mogu javiti pri oduzimanju respektivnih dexela prikazani su na slici 2. Deksel alata je iznad preseka ne postoji (1). Alat skida gornji deo materijala sa obradka (2), gornji deksel predmeta se setuje kao donji deksel alata. Alat skida donji deo materija sa obradka (3), donji deo dexela radnog predmeta se setuje kao gornji deo dexela alata. Ukoliko alat odstranjuje unutrašnji deo predmeta, generišu se dva dexela na radnom predmetu (4). Ukoliko alat skida deksel radnog predmeta kompletno, broj dexela radnog predmeta na datoj poziciji se setuje na nulu (5).

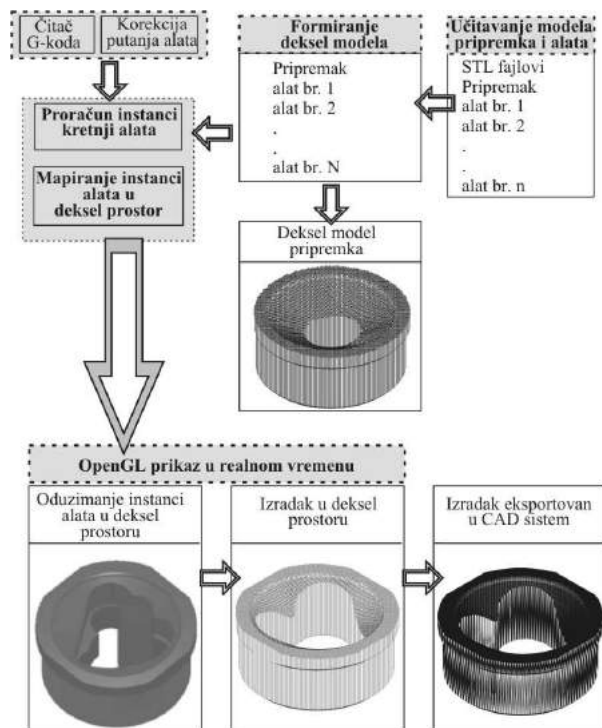


Slika 2. Moguće varijante preseka dexela alata i obradka

3. MODEL RAZVIJENOG SOFTVERSKOG REŠENJA

Softversko rešenje razvijeno je u programskom jeziku C++, dok je za prikaz simulacije obrade u realnom vremenu iskorišćena OpenGL grafička biblioteka.

Model razvijenog softverskog rešenja prikazan je na slici 3. Kao što je prikazano na slici 3, može se videti da je programski sistem građen na modularnom principu. Programski sistem sačinjavaju sledeći moduli:



Slika 3. Model razvijenog softverskog rešenja

- modul za čitanje NC programa (G-koda) i korekciju putanja alata,
- modul za učitavanje modela priprema i alata,
- modul za formiranje deksel modela priprema i alata,
- modul za proračun instanci kretnji alata,
- modul za mapiranje instanci kretnji alata u deksel prostor,
- modul za prikaz simulacije NC upravljačkog programa u realnom vremenu.

U modulu za čitanje NC programa (G-koda) i korekciju putanja alata, prvo se učitavaju putanje alata iz prethodno generisanog NC upravljačkog programa. Ukoliko postoji u NC upravljačkom programu, kompenzacija prečnika alata, vrši se korekcija putanja alata. Detaljan prikaz ovog modula dat je u [5].

Modul za učitavanje modela priprema i alata, vrši učitavanje modela priprema i alata koji su definisani u STL formatu. U ovom formatu, model je zapisan kao skup trougaonih poligona. STL format zapisa je izabran iz razloga što ga podržava većina komercijalnih CAD sistema.

Modul za formiranje deksel modela priprema i alata, na osnovu prethodno učitanih STL modela priprema i alata, formira deksel modele istih. Za određivanje vrednosti broja deksela za svaku tačku mreže, i vrednosti, odnosno z koordinate deksela, primenjen je metod određivanja prodora vektora kroz ravan. Procedura je sledeća, prvo se generiše vektor u tački mreže sa koordinatama x i y koji je normalan na xy ravan. Zatim se određuje presek za svaki trougao mreže sa generisanim vektorom, i proverava se da li se presečna tačka nalazi u granicama trougla ili ne.

U modulu za proračun instanci kretnji alata vrši se proračun instanci alata. Maksimalno rastojanje između dve susedne instance mora biti manje ili jednako veličini deksela. Zatim se u modulu za mapiranje instanci kretnji alata u deksel prostor za svaku instancu pronalazi najbliži deksel, u deksel strukturi priprema.

Poslednji modul predstavlja modul za prikaz simulacije NC upravljačkog programa u realnom vremenu. Za svaku instancu alata vrši se oduzimanje iste od deksel modela radnog predmeta. Ukoliko bi se posle oduzimanja svake instance alata, iscrtavala kompletna površina koja se obrađuje, performanse sistema za prikaz u realnom vremenu

bi bile znatno smanjene. Da bi se izbegao pad performansi, iskorišćene su display liste (liste za prikaz), koje su sastavni deo OpenGL biblioteke. Display lista može da sadrži komande OpenGL biblioteke, koje se prevode samo jednom, i zatim se pozivaju. Najčešće se upotrebljavaju za prikaz modela čija se geometrija ne menja, tako da se jednom, geometrija (poligoni, normale, itd.) definiše u display listi i poziva se po potrebi.

Pošto pri obradi rezanjem, alat skida samo jedan manji deo površine obradka, pri prikazivanju radnog predmeta, površina obradka podeljena je na konačan broj graničnih oblasti. Svaka granična oblast prevedena je u display listu. Pri oduzimanju instance alata od obradka, utvrđuje se koje oblasti alat modifikuje, i zatim se samo redefinišu display liste za te oblasti površine predmeta. Rezultat predstavlja konačan izradak koji je definisan u deksel prostoru. Posebnu prednost razvijenog softverskog rešenja, predstavlja mogućnost eksporta, generisanog izradka u programski sistem AutoCAD, radi naknadne analize [5].

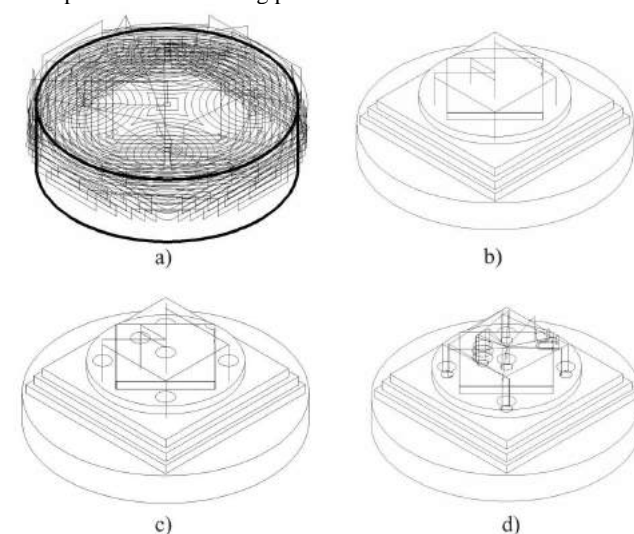
4. VERIFIKACIJA RAZVIJENOG SOFTVERSKOG REŠENJA

Verifikacija razvijenog softverskog rešenja izvršena je na primeru koji se sastoji iz četiri NC upravljačka programa. Verifikacija je izvršena sa rezolucijom modela od 512x512 deksela. U tabeli 1., prikazani su osnovni parametri koji se odnose na tip alata, broj putanja i broj instanci alata.

R. br.	Alat	Br. putanja alata	Br. instanci alata
1	Vretenasto glodalo sa ravnim čelom $d=10\text{mm}$	4660	90863
2	Zabušivač $d=4\text{mm}$	26	1429
3	Spiralna burgija $d=10\text{mm}$	26	1429
4	Vretenasto glodalo sa ravnim čelom $d=4\text{mm}$	3749	8164

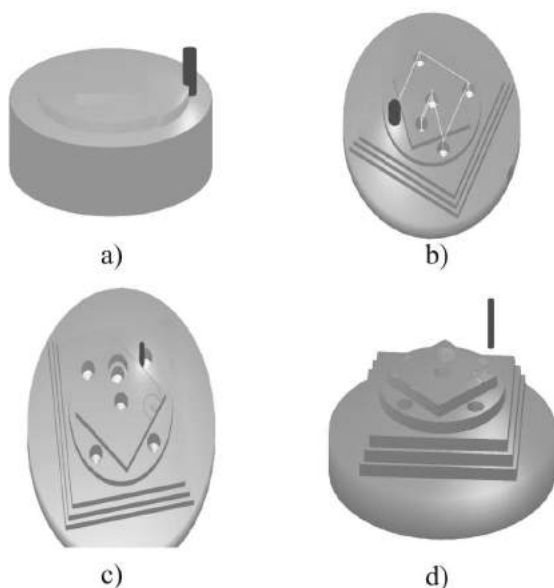
Tabela 1. Osnovni parametri kod verifikacije razvijenog softverskog rešenja na testiranom primeru

Na slici 4, dat je prikaz priprema, kao i putanje sva četiri alata pri obradi navedenog primera.



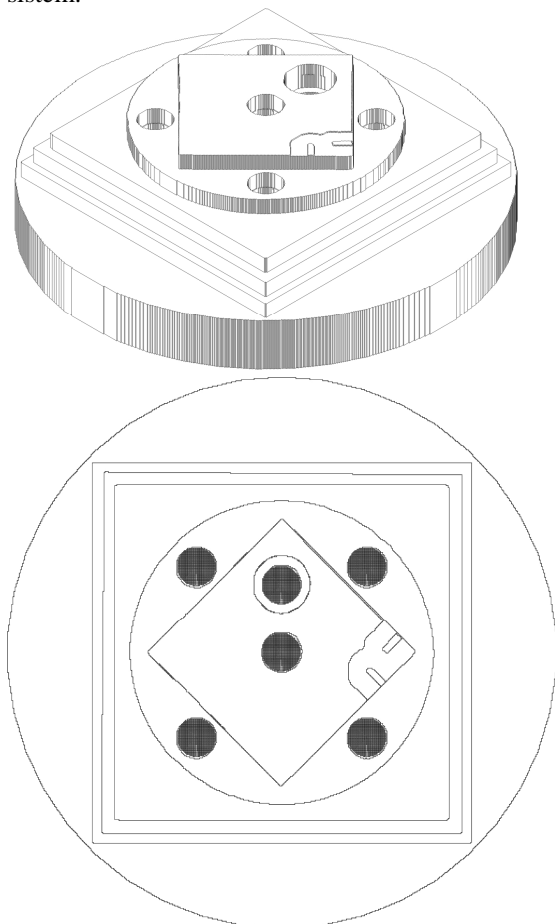
Slika 4. a) Priprema sa putanjama prvog alata (vretenasto glodalo $d=10\text{mm}$), b) Obradak sa putanjama drugog alata (zabušivač $d=4\text{mm}$), c) Obradak sa putanjama trećeg alata (spiralna burgija $d=10\text{mm}$), d) Obradak sa putanjama četvrtog alata (vretenasto glodalo $d=4\text{mm}$)

Na slici 5, dat je prikaz nekih od zahvata alata u procesu obrade u razvijenom programskom sistemu.



Slika 5. a) Obrada alatom br.1, b) Obrada alatom br.3, c) Obrada alatom br.4, d) Generisani izradak

Na slici 6., prikazane su projekcije generisanog izradka, koji je eksportovan u AutoCAD programski sistem.



Slika 6. Izradak generisan razvijenim programskim sistemom eksportovan u AutoCAD programski sistem

5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen razvijen programski sistem za verifikaciju generisanog NC upravljačkog programa pri troosnom glodanju, zasnovan na deksel metodu. Deksel metod je odabran iz razloga što se položaj alata pri ovom glodanju ne menja u procesu obrade. Korišćenjem OpenGL grafičke biblioteke, omogućeno je da se pogled na obradak menja u toku procesa obrade. Takođe, u današnjoj eri virtualnih tehnologija, mogućnost korišćenja opreme za virtualnu realnost kao što su stereoskopske naočare, predstavlja prednost razvijenog programskog sistema. Programski sistem omogućava i eksport generisanog izradka u AutoCAD programski sistem kao solid modela, nad kojim je moguće izvršiti naknadne analize.

U narednom periodu, proširenje programskog sistema, biće usmereno ka podršci za obradu struganjem. Zbog specifičnosti obrade struganjem, programski sistem će biti proširen sa cilindričnim koordinatnim sistemom.

6. LITERATURA

- [1] Chung, Y.C., Park, J.W., Shin, H., Choi, B.K.: *Modeling the surface swept by a generalized cutter for NC verification*, Computer-Aided Design, Vol.30, No.8, Elsevier Science, 1998, pp. 587-594.
- [2] Huang, Y., Oliver, J.H.: *NC milling error assessment and tool path correction*, Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH '94), 1994, pp. 287-294.
- [3] Marinov, V.: *A Generic Virtual Machining Process*, Proceedings, The Third World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Cambridge, 2000., pp: 203 - 208.
- [4] Milojević, Z., Navalusić, S., Zeljković, M.: *Development of the module for real-time verification of NC machining program*, Journal of Machine Engineering Vol. 7, No. 1, Wrocław, 2007., pp. 51-60, ISSN 1895-7595
- [5] Milojevic, Z.: *Sistem za vizuelizaciju radnog prostora mašina alatki u realnom vremenu*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2008.
- [6] NATHAN, V.: *The Benefits of Virtual Manufacturing*, CNC Machining, Vol. 4, No. 12, 2000.
- [7] S. C-Y. LU., SHIPITALNI, M., GADH, R.: *Virtual and Augment Reality Technologies for Product Realization*, Annals of the CIRP, Vol. 48/2, 1999, pp:471-493
- [8] Sridar, J. M., Shailendra, R.: *Virtual Manufacturing: An Important Aspect of Collaborative Product Commerce*, Journal of Advanced Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 1, 2002, pp. 113 – 119.
- [9] Van Hook, T.: *Real-time shaded NC milling display*, Computer Graphics, SIGGRAPH Proceedings, Vol. 20, No 4, 1986, pp. 15-20.

Autori: Prof. dr Zeljović Milan, Prof. dr Navalusić Slobodan, dr Zoran Milojević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2351, Fax: +381 21 454-495.
E-mail:

milanz@uns.ns.ac.yu
naval_sl@uns.ns.ac.yu
zormil@uns.ns.ac.yu

NAPOMENA: Rad predstavlja deo rezultata istraživanja na projektu „Istraživanje i razvoj kotrljajnih ležajnih sklopova i njihovih komponenti”, ev. broj projekta TR 14048 koji finansira Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

Nikšić, P., Mitrović, A.

PREDNOSTI PRIMENE MODELIRANJA U IZRADI TEHNIČKIH CRTEŽA PREDMETA

Rezime: Tehnički radionički crtež predmeta je polazni element od koga svaki tehnolog počinje razradu tehnološkog postupka izrade predmeta. Na crtežu moraju biti dati svi potrebni podaci za definisanje gotovog predmeta, kao što su: oblik, dimenzije, kvalitet obrađene površine, tolerancije, materijal, broj komada i drugi podaci neophodni za izradu predmeta. U radu su, na primeru izrade jednog nosača u CATIA V5R16, prikazane prednosti korišćenja softverskih alata za modeliranje u odnosu na klasičan način izrade crteža istog nosača u 2D pomoću izgleda i preseka. Prednosti se ogledaju kroz mogućnost prostornog modeliranja i izradu idejnog rešenja predmeta u modulu Mechanical Design, projektovanje i izradu tehničkog crteža pomoću skupa paleta alata za izradu tehničkih crteža Drafting, montažu predmeta u željeni sklop kroz modul Assembly Design, simulaciju opterećenja i otpornosti kroz modul Analysis&Simulation, kao i simulaciju načina izrade i povezivanje sa NC mašinom kroz modul Machining. Autori smatraju da je izrada modela predmeta pomoću nekog od softverskih paketa za modeliranje prvi korak u izradi tehničkih crteža predmeta. Primena modeliranja u izradi tehničkih crteža predmeta je danas neophodna i obavezujuća sa aspekta skraćivanja vremena izrade crteža i samih predmeta, proširenja asortimana proizvoda (elemenata i sklopova), smanjenja škarta i povećanja produktivnosti i ekonomičnosti predmeta.

Glavne reči: tehnički crtež, modeliranje, nosač, CATIA V5.

ADVANTAGES OF THE USAGE OF MODELLING IN TECHNICAL DRAWING MAKING

Abstract: Technical workshop drawing of an object is the initial step for each technologist when starting the detailed workout of a technical procedure of the object production. The drawing must contain all the necessary data for defining the completed object such as: shape, dimensions, quality of a treated surface, tolerance, material, number of items and other data necessary for the object production.

This paper contains an example of production of a holder using CATIA V5R16, which shows the advantages of using the software tools for modeling as opposed to the classical procedure of drawing of the same holder in 2D with the help of the view and cross-section. The advantages are shown through the possibilities of spatial modeling and production of the general design of the object using the module Mechanical Design, projecting and creating of a technical drawings, Drafting, assembling the objects into the desired assembly block using the module Assembly Design, loading and resistibility simulation using the module Analysis & Simulation, as well as the simulation of the process of production and connection with the NC machine using the module Machining. The authors consider that the creation of an object model with the help of a certain software suite for modeling is the initial step in creating the objects technical drawing. Nowadays, the application of modeling in creating the objects technical drawings is necessary and obliging from the perspective of time saving in creation of the drawings and the very objects, broadening the variety of products (elements and assembly blocks), reducing the waste and increasing the productivity and economy of an object.

Key words: technical drawing, modeling, holder, CATIA V5.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Tehnički crtež čini osnov za proizvodnju nekog dela i predstavlja osnovno sredstvo sporazumevanja u tehnici. Dobro poznavanje i lako čitanje tehničkog crteža omogućuje da se stvori jasna predstava o predmetu, što je garancija da se on izradi tačno onako kako ga je konstruktor zamislio [1]. Tehnički radionički crtež predmeta je polazni element od koga svaki tehnolog počinje razradu tehnološkog postupka izrade predmeta. Na crtežu moraju biti dati svi potrebni podaci za definisanje gotovog predmeta, kao što su: oblik, dimenzije, kvalitet obrađene površine, tolerancije, materijal, broj komada i drugi podaci neophodni za izradu predmeta.

U okviru predmeta Tehničko crtanje koristi se metoda grafičkih radova kao način nastavnog rada pomoću crtanja. U toku izrade grafičkih radova studenti treba da ovladaju izradom tehničkih crteža, skica i šema i da steknu tehničku pismenost. Tehničko crtanje ima zadatak da studentima

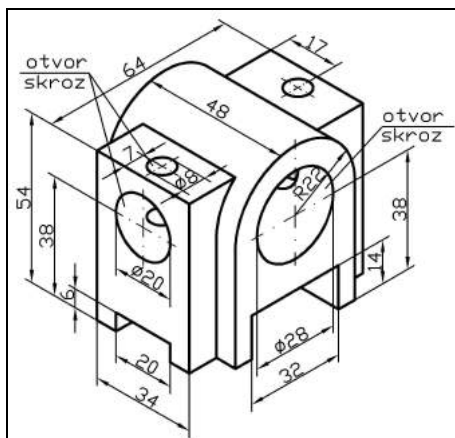
omogući: ovladavanje pojmovima i pravilima tehničkog crtanja i njihovoj primeni u tehnici; shvatanje prostora i prostornog izgleda predmeta; osposobljavanje za čitanje i izradu tehničke dokumentacije [2]. Poznato je da je za izučavanje Tehničkog crtanja potreban ne samo sistemski rad, već i osećaj za prostor. Psiholozi su dokazali da se osećaj za prostor može poboljšati vežbanjem i to predstavlja jedan od osnovnih ciljeva koje treba postići u nastavi Tehničkog crtanja.

Nastavna sredstva služe za približavanje izvorne stvarnosti, čine je pristupačnijom i očiglednijom. Vizuelna nastavna sredstva zasnivaju se na video komponenti koja je ustvari najdominantnija u procesu čovekovog opažanja. Razlikuju se dvodiimenzijalna (slike, crteži) i trodimenzionalna (modeli, makete) nastavna sredstva. U udžbenicima iz Tehničkog crtanja veliki broj grafičkih prikaza nacrtan je u vidu "prostornih" slika, u izometriji, kojom se pokušava "imitirati" treća dimenzija i lakše sagledavanje prostora. Korak napred u pogledu približavanja izvorne stvarnosti odnosno očiglednosti predstavlja izrada trodimenzionalnih modela.

Sa razvojem nauke i tehnike dolazi do sve veće primene novih nastavnih sredstava pre svega računara čime crtanje pomoću računara postaje standardni postupak izrade tehničke dokumentacije. Razvoj računarske grafike tj. crtanje pomoću računara predstavlja napredak u skraćanju vremena za izradu tehničkih crteža kao i pogodnosti čuvanja tehničke dokumentacije [3]. Za prikazivanje modela u prostoru, u svom punom obliku i u sve tri dimenzije, koriste se različiti softverski paketi. Mogućnost modeliranja u velikoj meri pomaže u savladavanju problema vizuelizacije trodimenzionalnih predmeta ili objekata i njihovo predočavanje na dvodimenzionalnim crtežima.

2. MODEL PRIKAZAN U IZOMETRIJI

U dosadašnjoj praksi, prvi korak u procesu sticanja znanja i veština vezano za osećaj prostora je predstavljanje trodimenzionalnih modela, prikazanih u izometriji, u ravni crteža sa dve dimenzije. Poznato je da kada se crtaju odgovarajući izgledi u jednostavnijim slučajevima unutrašnji oblik šupljih predmeta prikazuje se isprekidanim linijama, a u složenijim slučajevima pored odgovarajućih izgleda crtaju se i potrebni preseći. Na slici 1 dat je grafički prikaz jednog modela u izometriji, na osnovu koga treba nacrtati odgovarajuće izgled i pun frontalni presek. To ne predstavlja težak zadatak za one studente koji na osnovu grafičkog prikaza mogu u potpunosti da sagledaju model i zamisle presečnu ravan kako bi se tačno nacrtao traženi presek modela. Za one studente koji da tako kažemo "nemaju dobar osećaj za prostor" jedno od mogućih rešenja je izrada modela na osnovu koga bi problem tačne vizuelizacije modela bio rešen.



Slika 1. Grafički prikaz modela u izometriji

3. IZRAĐEN MODEL

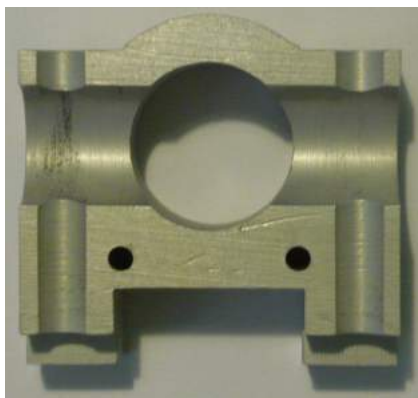
Ukoliko se napravi model, prikazan na slici 2, omogućen je dodir sa stvarnošću, odnosno upoznavanje sa predmetom, čime je u potpunosti zadovoljen princip očiglednosti. U ovom slučaju kada postoji model na osnovu koga se radi crtež. Prilikom crtanja izgleda greške koje su najčešće nastajale prilikom prikazivanja šupljina modela svedene su na najmanju moguću meru.

Kako je potrebno nacrtati i pun frontalni presek modela, to takođe može biti problem jer je potrebno zamisliti presečnu ravan, pa je iz tog razloga urađen presek modela (slika 3). Presek je tako urađen da se obe polovine modela po potrebi mogu spojiti čivijama u celinu.



Slika 2. Izgled model

Izrada tehničkih crteža na osnovu napravljenog modela deluje kao idealno rešenje. Međutim postavlja se pitanje da li je crtanje odgovarajućih izgleda i preseka na osnovu napravljenog modela idealno rešenje po pitanju ekonomičnosti u smislu utroška energije, vremena i materijalno-tehničkih sredstava. Problem racionalizacije i ekonomičnosti koji se javlja kod izrade tehničkih crteža na osnovu napravljenog modela može se rešiti korišćenjem softverskih alata za modeliranje.

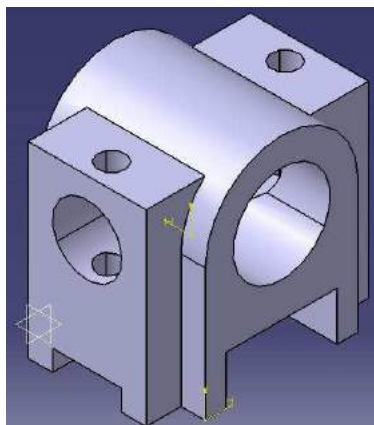


Slika 3. Pun frontalni presek modela

4. MODEL PRIKAZAN U PROGRAMU CATIA

Prednosti korišćenja softverskih alata za modeliranje u odnosu na klasičan način izrade crteža istog modela u 2D pomoću izgleda i preseka se ogledaju kroz mogućnost kreiranja modela u modulu Mechanical Design, pomoću skupa paleta alata za izradu delova (Part Design), a zatim izradi tehničkog crteža sa potrebnim izgledima i presecima pomoću skupa paleta alata za izradu tehničkih crteža (Drafting).

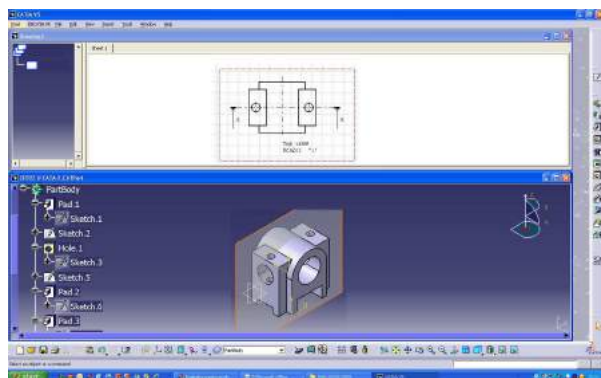
Prema tome prvi korak u izradi tehničkih crteža modela pomoću nekog od softverskih paketa za modeliranje predstavlja kreiranje modela. Napravljeni model, prethodno grafički prikazan u izometriji, kreiran je u softverskom paketu CATIA V5R16 (slika 4). Zapreminski model (3D model) kreiran je pomoću skupa paleta alata za izradu delova upotrebom prethodno izrađenog profila, koji se naziva skica (sketch). Kada je model kreiran može se dogoditi da se na ekranu ne vide sve šupljine modela što ne treba da predstavlja problem vezano za tačnu vizuelizaciju modela. U tom slučaju model se može rotirati pomoću funkcije Rotate, čime se kursor na ekranu menja u šaku i pojavljuje se crveni krug koji predstavlja virtuelnu prostornu kuglu [4].



Slika 4. Model kreiran u programu CATIA

Za izradu tehničkih crteža CATIA V5 nudi skup alata za kreiranje 2D tehničkih crteža, koji se zasnivaju na delovima ili sklopovima. Mogu se kreirati pogledi koji sadrže dimenzije, napomene, simbole i sve ostale elemente neophodne da bi se definisali detalji vezani za tehnologiju izrade proizvoda. Asocijativna priroda modula za izradu tehničkih crteža programa CATIA omogućava automatsko ažuriranje crteža, u zavisnosti od promena na 3D modelima delova i sklopova. Ovo je moćna osobina koja štedi vreme, pošto nije neophodno stalno ažurirati tehničke crteže. Korisnici koji imaju iskustva sa 2D crtanjem u drugim CAD sistemima trebalo bi da za veoma kratko vreme postignu visok kvalitet rada u okviru okruženja za izradu tehničkih crteža [5].

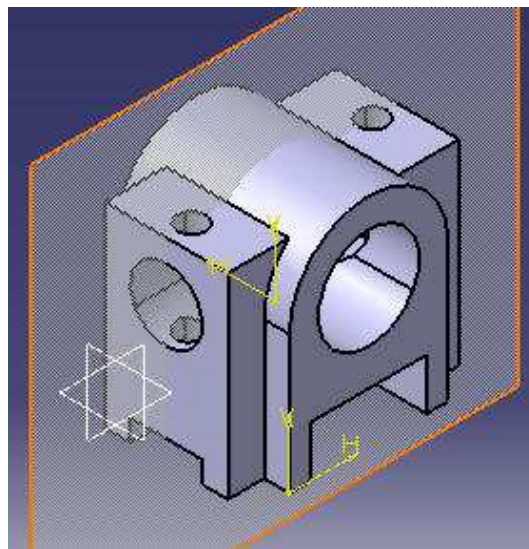
Postupak izrade tehničke dokumentacije modela sa odgovarajućim izgledima i presecima sastoji se u otvaranju novog CATIA dokument tipa Drawing. Nakon toga se na ekranu istovremeno prikazuju Part i Drawing tako što se u meniju Window selektuje opcija Tile Horizontally (ili Vertically). Time je ekran podeljen na dva dela od kojih jedan sadrži Part a drugi Drawing (slika 5).



Slika 5. Prikaz ekrana podeljenog na dva dela

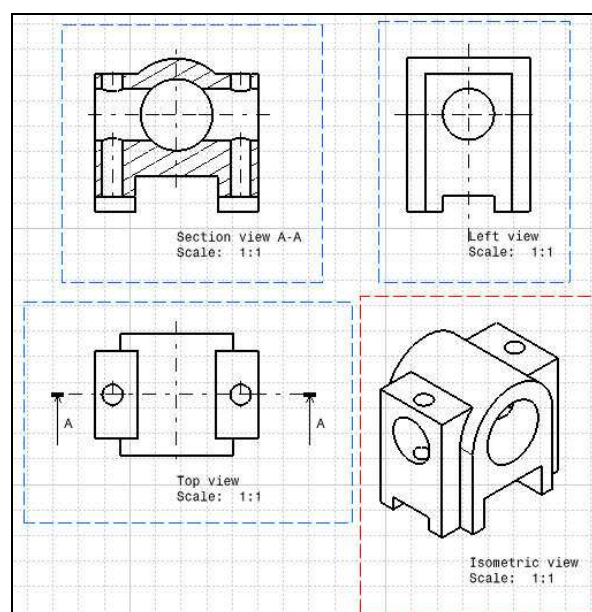
Za kreiranje izgleda prvo se mora odrediti osnovni pogled kojim se definiše veza između ravni crtanja i modela u prostoru. Paleta alata Views nudi sve funkcije koje su potrebne za kreiranje bilo kog pogleda u okviru crteža. Osnovni pogled se dobija pomoću funkcije Front View, pri čemu se u Part-u mora prvo selektovati ravan ili površina modela koja će biti paralelna sa ravni crtanja. Nakon toga je potrebno odrediti orijentaciju pogleda pomoću plavih strelica na kompasu. Pomoću njih pogled se rotira oko tri glavne ose sve dok niste zadovoljni sa prikazom. U sledećem koraku potrebno je uraditi traženi presek modela. To se postiže funkcijom Offset Section View tako što se na aktivnom pogledu kursor dovede u položaj malo izvan projekcije gde

treba da bude prva oznaka preseka, klikne, a zatim vuče linija preseka na suprotnu stranu gde treba da bude druga oznaka preseka. Pored kursora pojavljuje se oznaka 0° što znači da je povučeni trag preseka horizontalan. Istovremeno se na modelu može videti položaj presečne ravni (slika 6).



Slika 6. Prikaz položaja presečne ravni na modelu

Na slici 7 može se videti prikaz odgovarajućih izgleda, preseka i modela u izometriji u dokumentu Drawing.



Slika 7. Prikazi u dokumentu Drawing-u

5. ZAKLJUČAK

Kroz primer izrade tehničkog crteža reprezentativnog predmeta iz prakse nosača u CATIA V5R16, prikazane su prednosti korišćenja softverskih alata za modeliranje u odnosu na klasičan način izrade crteža istog nosača u 2D pomoću izgleda i preseka. Prednosti se ogledaju kroz mogućnost prostornog modeliranja i izradu idejnog rešenja predmeta u modulu Mechanical Design, projektovanje i izradu tehničkog crteža pomoću skupa paleta alata za izradu tehničkih crteža Drafting, montažu predmeta u željeni sklop kroz modul Assembly Design, simulaciju opterećenja i otpornosti kroz modul Analysis&Simulation, kao i simulaciju načina izrade i povezivanje sa NC mašinom kroz modul

Machining. Sve navedeno ne iziskuje nikakve troškove izrade modela, a izbegava zamišljenu vizuelizaciju izgleda nosača što je studentima a i inženjerima u praksi najveći problem pri izadi crteža. Autori preporučuju da izrada modela predmeta pomoću nekog od softverskih paketa za modeliranje bude prvi korak u izradi tehničkih crteža predmeta. Primena modeliranja u izradi tehničkih crteža predmeta je danas neophodna i obavezujuća sa aspekta skraćanja vremena izrade crteža i samih predmeta, proširenja asortimana proizvoda (elemenata i sklopova), smanjenja škarta i povećanja produktivnosti i ekonomičnosti postupka izrade tehničke dokumentacije-crteža.

6. LITERATURA

[1] Marinković B., Nikšić P.: *Tehničko crtanje i kompjuterska grafika*, VTS, Čačak, 2006.

- [2] Stojanović B.: *Metodika nastave tehničkog obrazovanja*, Tehnički fakultet, Čačak, 2006.
- [3] Radonjić S.: *Kompjuterska grafika*, Tehnički fakultet, Čačak, 2004.
- [4] P.Nikšić, A.Mitrović, I. Zemanić, P.Ulemek: *Kompjuterska grafika*, VŠTSS, Čačak, 2008.
- [5] Fred Karam, Charles Kleismit: *CATIA V5*, Kompjuter biblioteka, Čačak, 2007.

Autori: **dr Petar Nikšić, profesor**, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Svetog Save 65, Čačak, **Andelija Mitrović, dipl.maš.ing i prof.teh. i inf.**, Visoka škola tehničkih strukovnih studija, Svetog Save 65, Čačak,
E mail: niksap1@ptt.yu
mitrovic.andjelija@gmail.com

Sovilj, B., Nahod, R., Seucek, I., Čvokić, A., Sovilj-Nikić, I.

PROJEKTOVANJE ODVALNOG GLODALA PRIMENOM PRO/ENGINEER

Rezime: Rad sadrži automatizovani proračun odvalnog glodala za izradu ozubljenja cilindričnih zupčanika, rađen u programskom jeziku Visual Basic. Na osnovu ovog proračuna, urađen je 3D model i tehnička dokumentacija odvalnog glodala u programskom sistemu Pro/ENGINEER. Pored toga, u ovom radu je prikazana i animacija izrade ozubljenja cilindričnog zupčanika na odvalnoj glodalici. Modeliranje odvalne glodalice je rađeno u programskom sistemu Pro/ENGINEER. Animacija je rađena u programskom sistemu 3D Studio MAX.

Ključne reči: alti za obradu rezanjem, odvalno glodalo, projektovanje, konstruisanje, savremeni programski sistemi

DESIGNING OF HOB MILLING TOOL APPLYING PRO/ENGINEER

Abstract: This paper contains automated calculation for a hob milling cutter for cylindrical gear teeth cutting, made using programming language Visual Basic. Based on this calculation, 3D model and technical documentation of the hob milling cutter was created using software Pro/Engineer. Beside that, there is the computer animation of cylindrical gear teeth cutting in this paper. 3D models of all the elements were created using software Pro/Engineer. The animation was made using 3D Studio Max.

Key words: cutting tools, hob milling tool, designing, construction, modern programming systems

1. UVOD

Savremeni proizvodni sistemi u industriji prerade metala karakterišu se: proširenjem asortimana proizvoda, povećanjem učestanosti promene proizvodnog programa, zahtevima za stalno poboljšanje tehničkih karakteristika proizvoda, smanjenjem rokova njihove izrade, stalnom potrebom podizanja tehnološkog nivoa proizvoda, smanjenjem troškova izrade itd. Da bi se tehnološka rešenja podigla na viši nivo, sve elemente je potrebno optimalno rešiti. To se ostvaruje automatizovanim projektovanjem i konstruisanjem, koji predstavljaju novi način projektovanja i konstruisanja proizvoda.

Projektovanje i konstruisanje proizvoda je složena inženjerska razvojno – istraživačka delatnost od posebnog značaja, kako za proizvođače tako i za neposredne korisnike istih.

U savremenim proizvodnim sistemima sa automatizovanom proizvodnjom i automatizovanim projektovanjem i konstruisanjem proizvoda i tehnoloških procesa njihove izrade ističe se potreba za automatizovanim projektovanjem i konstruisanjem i automatizovanim izborom alata za obradu rezanjem. Proizvodnja, projektovanje i konstruisanje alata za obradu rezanjem i pribora, zavisno od tipa proizvodnje, čini od 50 – 80% od ukupnog vremena potrebnog za pripremu proizvodnje. Skraćivanjem tog vremena smanjuju se i pripadajući troškovi. To se postiže, između ostalog, primenom novih metoda u organizaciji, projektovanju, konstruisanju i izradi alata i pribora.

Danas su prisutna dva metoda projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem:

- Ručno (konvencionalno) projektovanje i konstruisanje
- Automatizovano projektovanje i konstruisanje pomoću računara.

Najviše vremena pri manuelnom (ručnom) konstruktivnom osvajanju alata za obradu rezanjem otpada na razradu opšteg vida konstrukcije (oko 40%), detaljnu razradu konstrukcije (30%), traženje informacija o postojećim

rešenjima alata i drugim neophodnim informacijama (10%), izradu neophodnih proračuna (8%). Za sve ostale aktivnosti znatno je kraće vreme a samim tim i troškovi. To su pre svega upoznavanje sa zadatkom projektovanja, sastavljanje sastavnice, kontrola, arhiviranje itd.

Konvencionalni način projektovanja i konstruisanja bazira se na upotrebi klasičnih inženjerskih sredstava za rad i znanju i iskustvu projektanta (konstruktor). Klasična inženjerska sredstva za rad su papir, olovka, guma, šestar, lenjir, priručnici i katalozi. Kao izlazni dokument dobija se crtež alata za obradu rezanjem i sastavnica.

Projektovanje i konstruisanje alata za obradu rezanjem pomoću računara je proces projektovanja i konstruisanja uz pomoć savremenih sredstava za rad. Projektant odnosno konstruktor u interaktivnom radu (korak po korak) sa računarom pretražuje bazu podataka gotovih rešenja alata za obradu rezanjem, vrši izbor alata za obradu rezanjem ukoliko on već postoji, modifikuje određena rešenja ili projektuje sasvim novi alat za obradu rezanjem. Radna rešenja se skladište u računaru.

Po svojoj osnovi sistemi za automatizovano projektovanje i konstruisanje su sistemi koji se temelje na primeni savremenih sredstava informacione tehnologije.

2. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Proizvodi ljudskog rada nastaju iz potrebe. Uočavajući potrebu čovek razmišlja čime i kako potrebu da zadovolji. Od uočavanja potrebe do gotovog proizvoda dug je i veoma naporan put.

Usmeravajući proces razvoja proizvoda na razvoj mašinskih sistema posebno je značajno iznalaženje puteva ka podizanju kvaliteta proizvoda. Nema sumnje da je kvalitet projektovanja i konstruisanja jedan od bitnih faktora kvaliteta mašinskih sistema i jedan od najznačajnijih uslova u razvoju proizvoda.

Projektovanje i konstruisanje se može definisati i kao svojevrsni proces obrade i transformisanja informacija. Sve počinje prikupljanjem informacija (projektni zadatak, literatura, standardi, proračuni). Nastavlja se obradom informacija (analiza, sinteza, razmeštaj, kombinovanje...). Proces se završava formiranjem, predstavljanjem i predajom informacija (definitivne skice, crteži, tablice, upustva).

Projektovanje i konstruisanje se može posmatrati kao više uzajamno povezanih različitih ravni. Te ravni su: ravan psihološkog pristupa i razmatranja, ravan rešavanja i iznalaženja, ravan nastajanja širenja i razmene informacija i organizaciona ravan.

Metodički pristup projektovanju i konstruisanju i analiza postojećih metoda projektovanja i konstruisanja upućuje na poštovanje određenog redosleda kojim se odvija proces projektovanja i konstruisanja. Od momenta postavljanja tehničkog zadatka pa do razrade svih detalja i radnih crteža, proces projektovanja i konstruisanja prolazi kroz osnovne faze [8].

Sve počinje razjašnjenjem postavljenog zadatka, prikupljanjem podataka i dostupnih informacija, a sve u cilju preciznog definisanja postavljenih zahteva i ograničenja koja u sebi sadrži postavljeni konstrukcioni zadatak.

Raščlanjivanje osnovnih faza procesa projektovanja i konstruisanja omogućava formiranje detaljne slike procesa projektovanja i konstruisanja [8], u kojoj se pored faza jasno uočava procedura i redosled, ali i struktura procesa projektovanja i konstruisanja mašinskih sistema.

Neophodno je napomenuti da je dati prikazani redosled faza i toka procesa konstruisanja samo jedan od mogućih načina pristupa metodičkom projektovanju i konstruisanju. [8].

Alat za obradu rezanjem skida relativno tanak sloj materijala i pri tome daje obratku potreban oblik i dimenzije. U ceni operacije značajan udeo ima i cena alata za obradu rezanjem. Efektivnost i proizvodnost alata za obradu rezanjem u mnogome zavisi od materijala reznog dela alata za obradu rezanjem, pa posebnu pažnju treba obratiti prilikom njegovog izbora.

Prilikom projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem za obradu rezanjem neophodni su podaci o obradljivosti priprema, o obliku i dimenzijama obrađivanih površina, o potrebnoj tačnosti i dozvoljenim odstupanjima površina za obradu, o materijalu obratka i njegovim tehnološkim osobinama, a često su potrebni i tehnički podaci o mašinama alatima na kojima će se vršiti obrada. Na osnovu ovih podataka usvaja se vrsta alata za obradu rezanjem, njegova konstrukcija, materijal reznog dela alata za obradu rezanjem i osnovni parametri alata za obradu rezanjem. Nakon toga vrši se određivanje veka trajanja alata za obradu rezanjem odnosno postojanost, neophodna tačnost, naznačavaju se odstupanja i izrađuje se radionički crtež.

Pri projektovanju i konstruisanja alata za obradu rezanjem glavni deo radnog vremena utroši se na proračun alata za obradu rezanjem. Proračun alata za obradu rezanjem ručnim putem zahteva dosta vremena. U cilju smanjenja vremena potrebnog za projektovanje i konstruisanje alata za obradu rezanjem uvodi se automatizovano projektovanje i konstruisanje alata za obradu rezanjem podržano sa automatizovanim proračunom istog.

Razvojem računarske tehnike došlo je do značajne primene računara u svim oblastima ljudske delatnosti a naročito u naučnim radovima. Tako se u poslednje vreme računarska tehnika intenzivno koristi pri automatizaciji projektovanja i konstruisanja proizvoda i mnogo šire, odnosno razvojem fleksibilnih proizvodnih sistema (struktura) moguće je automatizovati celokupu proizvodnju.

Baza podataka alata za obradu rezanjem predstavlja nepohodan element za funkcionisanje proizvodnog sistema

na visokom tehnološkom nivou. U okviru baze podataka alata za obradu rezanjem postoji 12 podmodula [4].

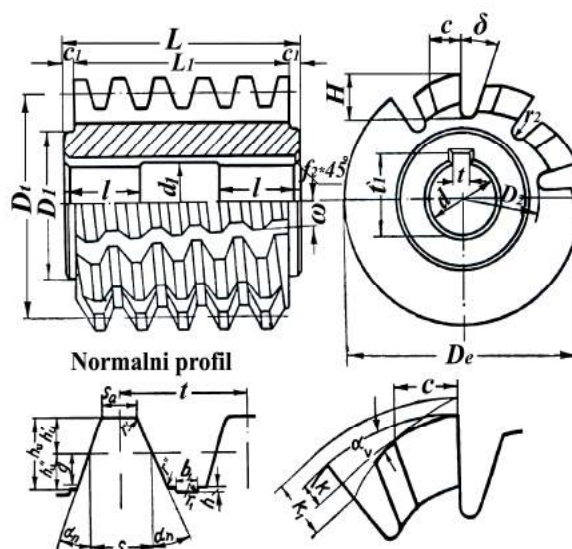
Podsistemi za projektovanje i baza podataka u procesu rada nalaze se u uzajamnom dejstvu. Jedna od varijanti šeme uzajamnog dejstva podsistema za projektovanje i baze podataka dato je u [4].

3. PRIKAZ AUTOMATIZOVANOG PRORAČUNA ODVALNOG GLODALA ZA IZRADU OZUBLJENJA CILINDRIČNIH ZUPČANIKA

Odvalna glodala se upotrebljavaju za izradu ozubljenja zupčanika sa pravim, kosim i zavojnim zubima kao i za izradu pužastih točkova za spoljne sprezanje sa evolentnim profilom (Slika 1.).

Odvalna glodala se najčešće izrađuju kao jednodarna naročito ako se koriste za završnu obradu. Za grubu i prethodnu obradu izrađuju se sa dva ili više hodova, zbog brže i kraće obrade. Prave se do modula 5,5mm iz jednog komada, (6 – 15)mm bilo iz jednog dela ili sa umetnutim zubima, a od modula 16mm najracionalnija je izrada sa umetnutim zubima. U poslednje vreme izrađuju se odvalna glodala sa umetnutim zubima i za manje vrednosti modula.

Ručni tok proračuna predstavlja polaznu osnovu za pisanje programa. Program je pisan u programskom jeziku "Visual Basic 6.0".

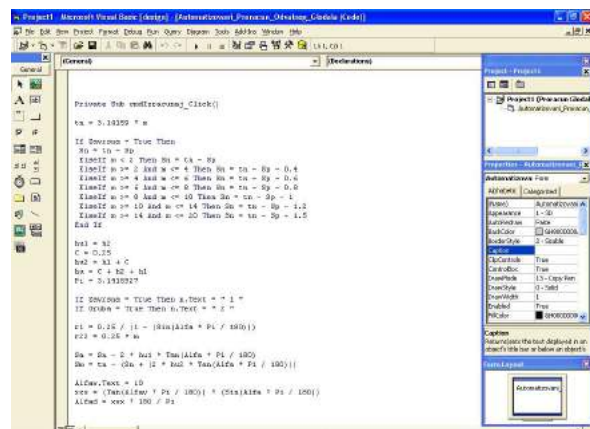


Slika 1. Odvalno glodalo za izradu ozubljenja cilindričnih zupčanika

Primena programskog jezika Visual Basica za automatizovani proračun alata za obradu rezanjem je prihvatljiva za slučaj da se takvi proračuni često koriste. Ovako formirani automatizovani proračuni će u tim slučajevima davati veoma velike uštede u vremenu. Ako je algoritam korišćen za pisanje programa pravilno formulisani i ako je nakon toga pravilno napisan program, kao izlaz će se uvek dobijati optimalno rešenje. Glavni problem koji se javlja kod ovakvih proračuna jeste pravilno postavljanje algoritma i logike koji će omogućiti precizno rešenje postavljenog zadatka. Sam projektant, pre nego što se upusti u ovakav zadatak, treba da poseduje širok spektar znanja i da uspe da to znanje prenese na programski kod, pisan u Visual Basicu.

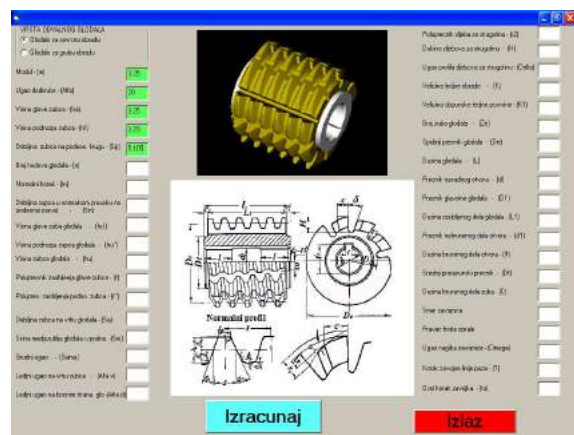
Sledi prikaz korisničkog interfejsa programa koji obavlja automatizovani proračun odvalnog glodala za izradu ozubljenja na cilindričnim zupčanicima metodom relativnog kotrljanja. Na slici 2. može se videti i deo programa pisanog u

Visual Basicu koji izvršava automatizovani proračun gore navedenog alata za obradu rezanjem.



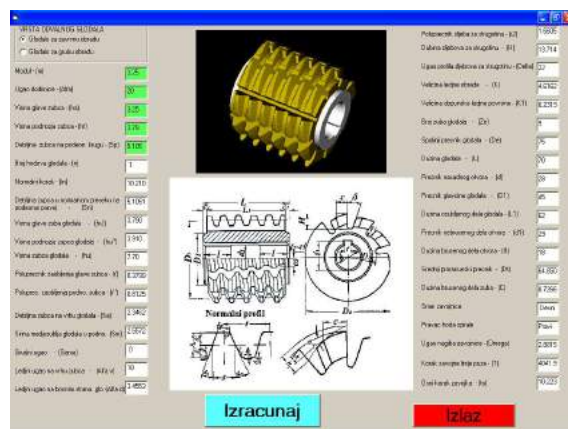
Slika 2. Izgled dela programa za automatizovani proračun odvalnog glodala

Na slikama 3. i 4. može se videti izgled korisničkog interfejsa. Korisnik treba da čeka radio dugme u gornjem desnom uglu monitora, da li je u pitanju glodalo za grubu ili završnu obradu ozubljenja zupčanika. Takođe u zelena polja treba da unese osnovne parametre zupčanika koji će se izrađivati sa ovim odvalnim glodalom (Slika 3.). Korisnik unosi vrednosti modula zuba zupčanika m , zatim ugao dodirnice α , visinu glave zupca zupčanika h_a , visinu podnožja zupca zupčanika h_f i korak zuba s_p . Nakon toga klikne se na dugme "Izracunaj" i program izbacii sve parametre odvalnog glodala (Slika 4.).



Slika 3. Izgled korisničkog interfejsa nakon što smo uneli tražene podatke

Na slici 3. vidi se da su uneti podaci: modul zuba zupčanika $m = 3, 25$ mm, ugao dodirnice $\alpha = 20^\circ$; visina glave zupca $h_a = 3,25$ mm; visina podnožja zupca $h_f = 3,79$ mm i debljina zupca na podonom krugu $s_p = 5,105$ mm. Nakon ovoga korisnik klikne mišem na komadno dugme "Izracunaj" i dobiju se svi željeni podaci za traženo odvalno glodalo (Slika 4.).

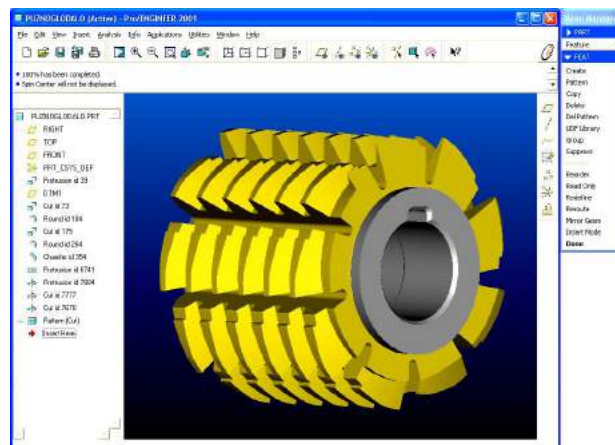


Slika 4. Izgled interfejsa nakon što korisnik klikne mišem na komadno dugme "Izracunaj"

Upoređivanjem ručnog i automatizovanog proračuna mogu se sagledati prednosti i nedostaci jednog i drugog načina proračuna.

4. MODELOVANJE ODVALNOG GLODALA ZA IZRADU OZUBLJENJA CILINDRIČNIH ZUPČANIKA POMOĆU PROGRAMSKOG "PRO/ENGINEER 2001"

Programski sistem Pro/ENGINEER pruža velike mogućnosti korisniku u projektantskom radu. Pomoću njegovog modula Feature omogućuje korisniku prikaz 3D modela i brzu izradu tehničke dokumentacije na osnovu modela, ali tek nakon što korisnik dobro savlada većinu komandi koje nude ovaj programski sistem. Na osnovu parametričnosti i asocijativnosti, ovaj programski sistem omogućuje veoma lake i brze izmene oblika i dimenzija na datom modelu, koje se automatski registruju na sklopovima i bazama podataka u kojima se taj deo nalazi.



Slika 5. Izgled odvalnog glodala nakon "kružnog paternovanja" zuba

Niz prednosti Pro/ENGINEER-a (misli se na njegov modul Feature) u odnosu na ostale slične programske sisteme, pružaju korisniku mogućnost da sa mnogo manje napora i vremena modeluje i najsloženije 3D modele i na osnovu njih uradi tehničku dokumentaciju veoma brzo i lako. Korišćenjem ovog programskog sistema olakšava se posao konstruktora, povećava produktivnost i kvalitet rada a samim tim i ukupan kvalitet budućeg proizvoda. Na slici 5. je dat izgled modelovanog odvalnog glodala u programskom sistemu Pro/ENGINEER.

Kao osnov za modelovanje korišćeni su katalozi proizvođača odvalnih glodalica CIMA. U ovom slučaju se

radi o numeričkoj odvalnoj glodalici oznake CE350CNC6. Glavni razlog zašto je modelovana ova glodalica leži u dobro urađenom katalogu sa prikazom svih osnovnih dimenzija i elemenata neophodnih za uspešno modelovanje. Radi bolje preglednosti kretanja pojedinih elemenata i same animacije nisu modelovani neki delovi glodalice, kao npr. upravljačka jedinica, magacin alata za obradu rezanjem, sistem za nadzor alata za obradu rezanjem itd.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega prikazanog u ovom radu može se zaključiti da savremeni prilazi automatizovanom projektovanju i konstruisanju alata za obradu rezanjem zahtevaju veoma širok spektar znanja od strane projektanta. Projektant, odnosno konstruktor pored opšteg znanja o geometriji alata za obradu rezanjem, materijalima koji se koriste za njegovu izradu, obradljivosti materijala priprema, kimematici i geometriji mašine na kojoj će se tako projektovani, konstruisani i izrađeni alat za obradu rezanjem koristiti, itd., zahteva i veoma dobro poznavanje nekoliko programskih sistema namenjenih za automatizaciju projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem ili proizvodna.

Primena programskog jezika Visual Basic a za automatizovani proračun alata za obradu rezanjem je prihvatljiva za slučaj da se takvi proračuni često koriste. Ovakvo formirani automatizovani proračuni će u tim slučajevima davati veoma velike uštede u vremenu. Ako je algoritam korišćen za pisanje programa pravilno formulisani i ako je nakon toga pravilno napisan program, kao izlaz će se uvek dobijati optimalno rešenje. Glavni problem koji se javlja kod ovakvih proračuna jeste pravilno postavljanje algoritma i logike koji će omogućiti precizno rešenje postavljenog zadatka. Sam projektant odnosno konstruktor, pre nego što se upusti u ovakav zadatak, treba da poseduje širok spektar znanja i da uspe da to znanje prenese na programski kod, pisan u Visual Basicu.

6. LITERATURA

- [1] Elliot, S., Miller, P. : *Pod lupom 3D Studio MAX 2*, Indianapolis, SAD, 1997.
- [2] Graham, G., Steffen, D.: *Pro/ENGINEER 2001*, "Svetlost" Čačak, 2002.
- [3] Miltenović, V; Ognjanović, M.: *Mašinski Elementi – II*, Mašinski fakultet, Niš, 1995.
- [4] Nahod, R.: *Automatizacija proračuna odvalnih glodala i računarska animacija izrade ozubljenja cilindričnih zupčanika*, FTN Novi Sad, 2005.
- [5] Saharov, G. N., Arbuzov, O. B., Borovoi, L., Grečišnikov, V. A., Kiselov, A. S.: *Metallo Režušcie Instrumentlji*, Moskva, 1989.
- [6] Sovilj, B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, FTN Novi Sad, 1988.
- [7] Sovilj, B.: *Automatizacija projektovanja odvalnih glodala*, Seminarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1980.
- [8] Tanasijević, S.: *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [9] Wallace, W.: *Visual Basic 6*, Mikro knjiga, Beograd, 1999.

Autori: Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić Phd student, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2343. , Fax.: +381 21 458-133

Radomir Nahod, dipl.ing., Fadap a.d., Industriska zona bb, 22408 Vrdnik, Tel.: +381 22 466-014. , Fax.: +381 22 465-398

Izv. Prof. dr Ivan Seuček, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, Tel.: +385 1 616-8336, Fax.: +385 1 615-7123

Aleksandar Čvokić, dipl.ing., Unimet d.o.o., Delfe Ivanića 51. 21241 Kać, Sbija, Tel.: +381 21 711-410,

Fax.: +381 21 711-061

E-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu

fadap@nadlanu.com

ivan.seucek@fsb.hr

aca@unimet.co.yu

diomed17@gmail.com

Rad je nastao u okviru projekta "RaProTeLOProKACNC" proisteklog iz naučno-tehnološke saradnje između Republike Hrvatske i Republike Srbije kao I projekta "Razvoj progresivne tehnologije za lednu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Sovilj, B., Damjanov, K., Borenović, M., Sovilj-Nikić, I., Jašćur, M.

PROJEKTOVANJE ODVALNOG GLODALA ZA OŽLJEBLJENJE VRATILA PRIMENOM PROGRAMA VISUAL BASIC 6.0

Rezime: Odvalna glodala upotrebljavaju se i za izradu ožljebljenja vratila srednjih i viših klasa tačnosti. Njihov značaj danas ponovo raste pošto su razvijene mašine sa CNC upravljanjem sa velikim brzinama rezanja, prigušenjem vibracija,...Teorija konstrukcije odvalnih glodala vrlo je komplikovana i obimna. U radu je predstavljen deo neophodne teorije i projektovanje i konstruisanje odvalnog glodala za ožljebljenje vratila u programskom sistemu Visual Basic 6.0.

Ključne reči: projektovanje, konstruisanje, odvalno glodalo, ožljebljeno vratilo

DESIGNING OF HOB MILLING TOOL FOR SPLINED SHAFTS IN VISUAL BASIC 6.0

Abstract: Use of the hob milling tools for producing splined shafts of medium and high classes of precision. Their importance is actual again due to developing of machines with CNC control, with high speed cutting, muffed vibrations etc. Theory of construction of the hob milling tools for splined shaft is very comprehensive and complicated. This paper contains and shows part of the necessary theory, design and construction of the hob milling tolls in the program system of Visual Basic 6.0.

Key words: designing, construction, hob milling tool, splined shaft

1. UVOD

Nauka predstavlja beskrajnu težnju za otkrićima, traganje za novim saznanjima i razumevanjem sveta u kome živimo. Zahvaljujući njoj ukroćena je neizmerna energija Nijagarinih vodopada i podarena je čoveku u drugom obliku, naučnim dostignućem možemo da čujemo glas i primamo velike količine podataka sa drugih kontinenata. Pomoću teleskopa i mikroskopa pošli smo u mašti ka udaljenim prostranstvima vasiona i u svet neprestanog kretanja molekula, upoznali smo kristale u njihovom savršenstvu oblika, videli smo čudesni svet u biološkoj ćeliji,...

Došli smo i do najvećeg otkrića u vezi sa prirodom a to je da se ona može proučavati sa naučnog stanovišta. Zadatak nauke je da se bavi istraživanjem prirode, tumačenjem prirodnih pojava i stalnim proširivanjem čovekovog znanja o svemu što se događa oko njega. Primena ovog znanja može da poboljša i učini lakšim svakodnevni život. Teorijska nauka koja istražuje zakone prirode može da koristi čovečanstvu u slučaju njene praktične primene.

Projektovanje, konstruisanje i tehnologija je sistematska, praktična primena raznih naučnih saznanja. Projektant, konstruktor i tehnolog znanju da je njihov rad neprestan izazov njegovom znanju, veštini i organizacionoj sposobnosti. Zadatak konstruktora-tehnologa je da na najpogodniji način približi naučna otkrića cilju. Često se dešava da teorijska i primenjena nauka napreduju zajedno: uzajamno se dopunjuju i razvijaju. Granice nauke se neprestano pomeraju, a projektanti-tehnolozi nastoje da nova znanja uvedu u praktičnu primenu.

Upotreba računara u projektovanju i konstruisanju alata za obradu rezanjem, dobila je veću ulogu od očekivane. Obrazloženje nalazimo u sledećem: dve trećine svetske proizvodnje u mašinstvu ;ini maloserijska proizvodnja. Baš u takvim vidovima proizvodnje i razvijenim CNC mašinama, u istu svrhu, koristi se velika paleta alata koji svojim geometrijskim i tehnološkim parametrima moraju zadovoljiti tražene tehničke, ekonomske i estetske zahteve. U

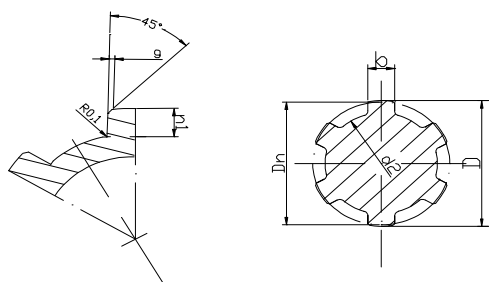
savremenoj proizvodnji, u mašinstvu, koja je većinom maloserijska, lako uvodimo proširenje asortimana proizvoda, visoku frekvenciju promene programa proizvodnje sa stalno postavljenim zahtevima za poboljšanjem kvaliteta proizvoda, smanjenjem rokova izrade i smanjenjem troškova izrade. Usled ovakvih zahteva i daljeg razvoja novih tehnologija i trenda razvoja i projektovanja alata za obradu rezanjem upotreba računara je gotovo nezamenljiva.

2. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Brz razvoj metaloprerađivačke industrije proteklih godina kod nas i u svetu doveo je do velike konkurencije, u kojoj racionalizacija i povećanje produktivnosti postaju imperativ. Osnovne tendencije u metaloprerađivačkoj industriji u uslovima serijske i masovne proizvodnje na proizvodnim operacijama obrade rezanjem, zasnivaju se na primeni visokoproduktivne opreme i alatima za obradu rezanjem visoke postojanosti. Osim ovog, sve se veća sredstva ulažu za pronalaženje zamene za sadašnje materijale alata, zbog deficitarnosti nekih ruda, te u fundamentalna i primenjena istraživanja na području obrade metala skidanjem strugotine i novijih postupaka obrade.

Operacija ozubljenja, ožljebljenja, izrada lančanika, zavojnica, navoja i sl. najčešće predstavljaju usko grlo proizvodnje, i to naročito u višim tipovima proizvodnje. Zbog toga je stalno prisutna i očigledna neophodnost istraživanja i razvoja optimalnih konstrukcija alata za obradu, ali i optimalnih uslova tih procesa, pre svega odvalnog glodanja, najčešćeg u primeni pri izradi nabrojanih profila. Na slici 1. je dato integralno odvalno glodalo, a na slici 2. odvalno glodalo sa umetnutim zubima.

ispupčenja glodala, služe za olakšavanje brušenja kod ovakvog tipa ožljebljenja.



Slika 5. Ožljebljenja bez ispupčenja

Kod odvalnih glodala za obradu ožljebljenja bez ispupčenja (slika 5.) obrađuje se ožljebljenje gde se centriranje vrši po spoljašnjem prečniku, u slučaju postojanja većeg zazora na unutrašnjem prečniku između ožljebljenog vratila i otvora u spregnutoj čauri. Odvalna glodala za obradu žljebljenja bez ispupčenja imaju veću postojanost od odvalnih glodala za obradu ožljebljenja sa ispupčenjima.

Tačnost glodala u pogledu elemenata profila određuje se primenom kontrolnog prstena. Dimenzije prstena treba da zadovolje sledeće zahteve:

- Odstupanje debljine zubaca kontrolnog prstena treba da odgovara odstupanju debljine zubaca vratila, na prostoru manjem od 1/3 visine zupca, počevši od spoljašnjeg prečnika. Na ostalim delovima dozvoljava se odstupanje samo u smislu smanjenja debljine, čija veličina na svakoj bočnoj strani ne sme biti veća od 2/3 odstupanja debljine zupca vratila.
- Odstupanje unutrašnjeg prečnika kontrolnog prstena treba da odgovara odstupanju unutrašnjeg prečnika vratila.

4. PRIMENA PROGRAMA VISUAL BASIC 6.0 ZA PRORAČUN ODVALNOG GLODALA ZA OBRADU OŽLJEBLJENJA NA VRATILU.

Visual Basic razvio se iz originalnog programskog jezika BASIC i sada koristi više stotina izraza, naredbi i funkcija, od kojih je najveći deo direktno povezan sa Windows okruženjem.

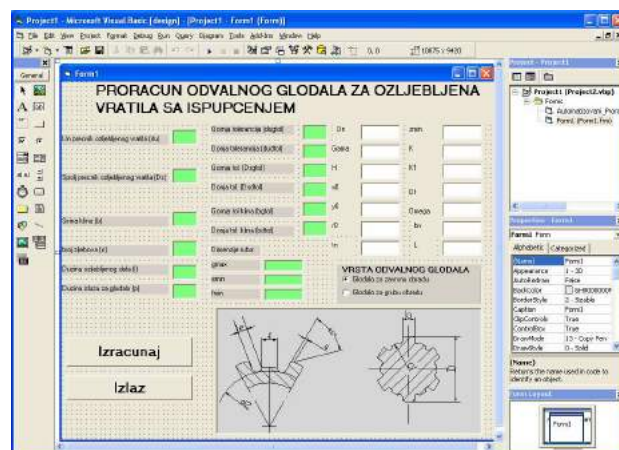
Programski jezik koristi se u svim Microsoft-ovim programskim jezicima i sistemima i uključen je i u programski system CATIA.

Visual Basic obezbeđuje relativno lak način stvaranja aplikacija.

Program za proračun odvalnog glodala za obradu ožljebljenja u programskom jeziku Visual Basic 6.0. urađen je na osnovu procedure i ručnog proračuna, pri čemu su proračun i tabele prilagođeni za automatizaciju.

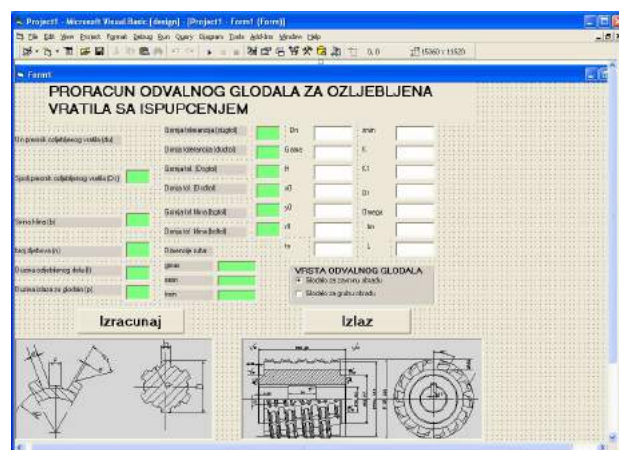
Nakon unosa ulaznih veličina dobijaju se traženi podaci za konstrukciju odvalnog glodala na izvršnoj verziji urađenog programa što je prikazano na slici 6.

Može se veoma brzo dobiti ceo dijapazon konstrukcionih podataka u trenutku posle unošenja ulaznih podataka. Kao i za ulaznu formu, tako su raspoređeni konstrukcioni podaci u izlaznoj formi. Ovo u mnogome olakšava rad i onima koji nisu stručnjaci za konstruisanje odvalnih glodala za obradu ožljebljenja vratila. Program se izvršava skoro trenutno.



Slika 6.View Object forme

Izvršna verzija zadatog programa (slika 7.) po pokretanju zauzima oblik na ekranu monitora kako smo to odredili programom.



Slika 7. Izvršna verzija programa u radnom okruženju

Za projektovanje i konstruisanje podržano programskim jezikom VISUAL BASIC uspešno može da se izvršiti zadatak automatizacije celog postupka, iako spada u programske jezike starije generacije. Kod većih proizvođača alata kod nas, nailazimo na slična rešenja. Uglavnom su to programi koji automatizuju proces konstruisanja, ali su integrisani sa programima koji daju podatke za NU (Numerički Upravljanje) mašine alatke. Programi u sebi sadrže i proračune krive profila odvalnog glodala, i to iteracionim postupcima izračunavaju i po 100 tačaka profila kako bi se što preciznije dobio profil zuba. Ovakvi podaci se koriste za izradu noža za ledno struganje, za izradu šablona ili tzv. „presrolne“ kao i podaci za brušenje odnosno naknadno oštrenje alata. Važna napomena u ovakvim kombinovanim rešenjima je da su nulte tačke koordinatnih centara mašine-alatke, šablona i samog alata vrlo precizno definisane i usklađene.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijske analize uz primenu programskog jezika VISUAL BASIC 6.0 kreiran je program za projektovanje i konstruisanje odvalnih glodala za obradu ožljebljenja vratila. Kreirani program omogućuje jednostavnije, efikasnije i tačnije projektovanje i konstruisanje odvalnog glodala za obradu ožljebljenja vratila uz smanjenje mogućnosti pojave računске greške.

6. LITERATURA

- [1] Borenović, M.: *Projektovanje i konstruisanje kružnog zupčastog noža primenom programskog jezika Visual Basic i programskog sistema CATIA 5*, FTN Novi Sad, 2005.
- [2] Čvokić, A.: *Analiza kinematske geometrije alata za obradu rezanjem*, diplomski rad, FTN Novi Sad, 2000.
- [3] Фрайфельд, И.А.: *Расчеты и Конструкции специального металлорежущего инструмента*, Машиностроение, Москва, 1978.
- [4] Damjanov, K.: *Projektovanje i konstruisanje odvalnog glodala za žljebove primenom programskog jezika Visual Basic 6.0*, diplomski rad, FTN Novi Sad, 2006.
- [5] Nahod, R.: *Automatizacija proračuna odvalnih glodala i računarska animacija izrade ozubljenja cilindričnih zupčanika*, diplomski rad, FTN Novi Sad, 2005.
- [6] Miltenović, V., Ognjanović, M.: *Mašinski elementi 2*, Mašinski fakultet Niš, 2005.
- [7] Sovilj, B., Rudić, I., Jaščur, M. i dr.: *Razvoj i unapređenje proizvodnje alata za ozubljenje*, FTN Novi Sad, 1986.
- [8] Sovilj, B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, FTN Novi Sad, 1988.
- [9] Tanasijević, S.: *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2004.
- [10] Wallace, W.: *Visual Basic 6*, Mikro Knjiga, Beograd.

Autori: Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić Phd student, Milan Jaščur, dipl.ing. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.
Tel.: +381 21 485-2343. , Fax.: +381 21 458-133
Karolj Damjanov, dipl.ing., Le Belier-livnica alumijuma, Miloševački put bb, 23100 Kikinda, Srbija,
Milan Borenović, dipl.ing., NIS-Naftagas-u, OD Proizvodnja, Pogon „Severni Banat“ Kikinda, Trg Srpskih dobrovoljaca 27, 23100 Kikinda, Srbija, Tel.:0230-28-21.7
E-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu
karciju@gmail.com
borm@sezapro.yu
diomed17@gmail.com
yasha@Eunet.yu

Rad je nastao u okviru projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Sovilj, B., Trifunčević, G., Seuček, I., Sovilj-Nikić, I., Milenković, Đ.

PROJEKTOVANJE PROFILNOG MODULNOG KOTURASTOG GLODALA PRIMENOM SAVREMENIH PROGRAMSKIH SISTEMA

Rezime: Profilna modulna glodala upotrebljavaju se za izradu cilindričnih zupčanika srednjih i viših klasa tačnosti. Teorija konstrukcije profilnih modularnih glodala vrlo je komplikovana i obimna. U radu je predstavljen deo neophodne teorije i projektovanje i konstruisanje profilnog modularnog koturastog glodala u programskom sistemu CATIA V5.

Ključne reči: alati za obradu rezanjem, profilno modulno koturasto glodalo, projektovanje, konstruisanje, programski sistemi

DESIGNING OF PROFILED GEAR MILLING CUTTER APPLYING MODERN PROGRAMING SYSTEM

Abstract: Use of the profiled gear milling cutter is in making cylindrical cogwheels of medium and high classes of precision. Theory of construction of the gear tooth cutters is very comprehensive and complicated. This paper contains and shows part of the necessary theory, design and construction of the profiled gear milling cutter in the program system of CATIA V5.

Key words: cutting tools, profiled gear milling cutter, designing, construction, programing system

1. UVOD

U savremenim proizvodnim sistemima projektovanje, konstruisanje i proizvodnja alata za obradu rezanjem i pribora zavisno od tipa proizvodnje čini 50÷80% od ukupnog vremena potrebnog za pripremu proizvodnje. Skraćivanjem tog vremena smanjuju se troškovi. To postizemo primenom novih metoda u organizaciji, projektovanju, konstruisanju i izradi alata za obradu rezanjem. U ovom radu je data automatizacija projektovanja i konstruisanja profilnog modularnog koturastog glodala za izradu cilindričnih zupčanika sa pravim zubima. Na slici 1. prikazani su alati za obradu raznih vrsta ozubljenja



Slika 1. Alati za obradu ozubljenja

Usmeravajući proces razvoja proizvoda na razvoj mašinskih (ili tehničkih) sistema, posebno je značajno iznalaženje puteva ka podizanju kvaliteta proizvoda. Nema sumnje da je kvalitet projektovanja i konstruisanja jedan od bitnih faktora

kvaliteta mašinskih sistema i jedan od najznačajnijih uslova u razvoju proizvoda.

2. PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE ALATA ZA OBRADU REZANJEM

Projektovanje i konstruisanje je u najširem smislu intelektualni poduhvat preduzet zbog zadovoljavanja određenih potreba na najbolji mogući način. To je jedna od tehničkih aktivnosti, prisutna u svim područjima ljudskog života, oslonjena na otkrića i zakone nauke, usmerena ka stvaranju uslova za primenu tih zakona na razvoj i izradu proizvoda.

Sam pojam "projektovanje i konstruisanje" u sebi sadrži i podrazumeva sve potrebne radnje da se određeni proizvod (mašinski ili tehnički sistem) konačno oblikuje i konstrukciono razradi do nivoa da je njegova tehnološka razrada i radionička izrada apsolutno moguća i izvodljiva.

Kako je projektovanje i konstruisanje složen proces sa velikim brojem uzajamno povezanih karakterističnih osobina, projektovanje i konstruisanje se može razmatrati u više uzajamno povezanih različitih ravni.

U ravni psihološkog pristupa i razmatranja, projektovanje i konstruisanje je kreativna aktivnost za čije je uspešno sprovođenje neophodno blagovremeno aktiviranje fundamentalnih naučnih oblasti (matematika, fizika, hemija,...) i niza primenjenih i aplikativnih naučnih saznanja, iskustava i praktičnih znanja iz specijalnih oblasti.

U ravni rešavanja i iznalaženja, projektovanje i konstruisanje je optimizacija datog objekta unutar delimično protivurečnih stavova.

U ravni nastajanja, širenja i razmene informacija, projektovanje i konstruisanje se definiše kao proces obrade i transformacija informacija (projektni zadatak, literatura, standardi, eksperimentalni rezultati, proračuni).

U ravni organizacionog delovanja, projektovanje i konstruisanje je esencijalna karika u lancu sirovi materijal-gotov proizvod.

Bez obzira na aspekt posmatranja i ravan definisanja, osnova projektovanja i konstruisanja je misaonost sprovedenog procesa, gde su posebno važne struktura, geneza

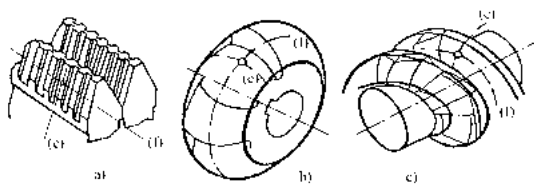
i sinteza misaonog procesa pomoću koga konstruktor formira konstrukciono rešenje.

U sklopu svestrane analize projektovanja i konstruisanja kao stvaralačkog procesa treba napomenuti i to da je projektovanje i konstruisanje u svim svojim oblastima prilagođeno realnosti. Cilj svakog projektovanja i konstruisanja je novi proizvod čije funkcionisanje počiva na zakonima fizike.

U obradi materijala rezanjem, oblik i mere obrađenih površina obratka određeni su oblikom i merama reznih sečiva alata i njihovim relativnim kretanjem u odnosu na obradak u procesu obrade. Pri tome telo alata u toku procesa rezanja dodiruje obrađenu površinu obratka, pa se sečiva alata moraju nalaziti na konturnoj površini tela alata koju nazivamo **izvornom površinom**. Izvorna površina alata predstavlja obvojnici uzastopnih položaja obrađene površine obratka u odnosu na osu alata, koji se smatra kao da je nepokretan. Često se kod alata, zbog dobijanja takve grudne površine koja mora da ima određeni grudni ugao, da bude jednostavna i lako izvodljiva obradom, vrši korekcija izvorne površine alata. Izvorna površina alata ili njegovo sečivo obrazuju obrađenu površinu obratka, zahvaljujući njihovom rezultujućem relativnom kretanju u odnosu na obradak, a koje odgovara primenjenoj kinematskoj šemi rezanja. Međutim, za obrazovanje oblika i mera obrađene površine sa alatom određene izvorne površine nisu merodavna sva kretanja obuhvaćena kinematskom šemom rezanja. Zbog toga je za određivanje oblika obrađene površine, zadatom izvornom površinom alata, i obrnuto, za određivanje izvorne površine alata za oblikovanje zadate obrađene površine, potrebno definisati kinematsku šemu oblikovanja površina.

Ako se radi o potrebi određivanja izvorne površine alata, za obradu zadate obrađene površine obratka, moraju se najpre razmotriti mogućnosti izbora kinematskih šema oblikovanja površina.

Pošto se pri oblikovanju obrađenih površina procesom obrade rezanjem alat i obradak nalaze u kontaktu, potrebno je prvo razmotriti uslove za ostvarenje tog kontakta, vezano za oblike površina u dodiru i kretanja koja se pri tome vrše. Izbor krivolinijskih koordinata izvorne površine u koordinatnom sistemu alata, zavisi od oblika izvorne površine (odnosno metoda obrade). Za slučaj tri osnovna oblika izvornih površina alata, koji se najčešće javljaju u praksi, izbor krivolinijskih koordinata prikazan je na slici 2 [2].

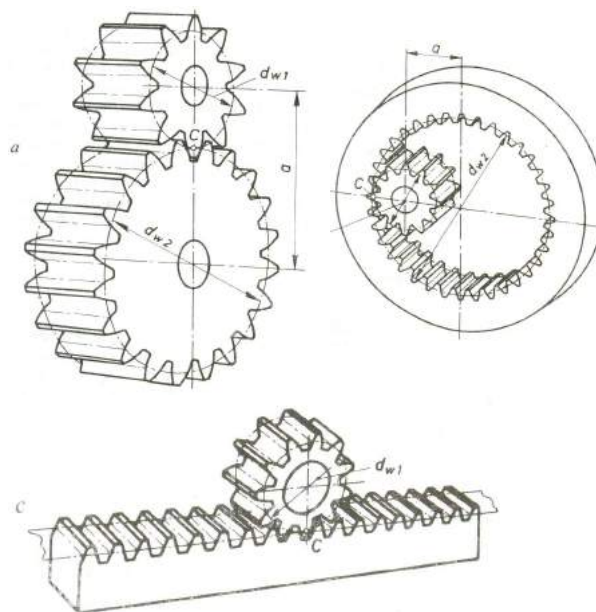


Slika 2. Oblici izvornih površina alata:

- a) cilindrična
- b) rotaciona
- c) zavojna

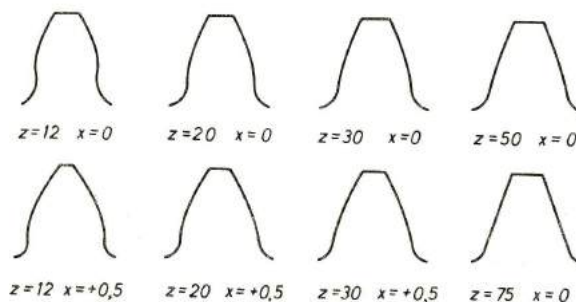
3. PROFILNA MODULNA GLODALA

Proizvod je cilj, a alat za obradu rezanjem je sredstvo kojim se ostvaruje taj cilj, to jest izrada cilindričnog zupčanika. U ovom radu stavljen je akcenat na cilindrične evolventne zupčanike sa pravim zubima. Ako se opišu najvažnije površine, prečnici i ostali konstruktivni elementi jednog cilindričnog zupčanika sa pravim zubima sve će to biti primenljivo i u mnogome pomoći u proračunu i projektovanju profilnog modulnog glodala. Na slici 3. su dati cilindrični zupčasti parovi.



Slika 3. Cilindrični zupčasti parovi

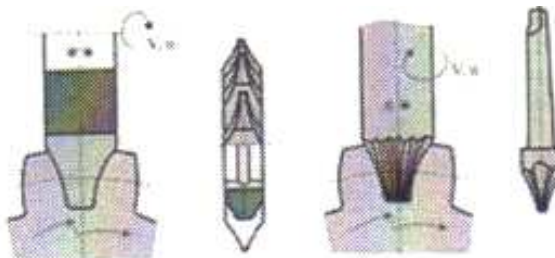
Zupci zupčanika sa većim brojem zuba ($z > 25$) i zubi sa pozitivnim pomeranjem profila imaju relativno visoke poluprečnike krivine profila i debljine zuba u podnožju, te imaju i veću otpornost zuba na površinski pritisak i na savijanje. Kako se menja oblik zuba pri istom modulu i istom pomeranju profila a za različit broj zuba odgovarajućeg zupčanika dato je na slici 4.

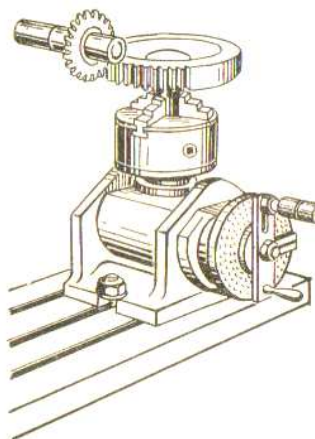


Slika 3. Oblici zuba zupčanika jednakih modula

Profilna modulna glodala se upotrebljavaju za obradu ozubljenja zupčanika sa pravim, kosim i zavojnim zubima.

Za svaki konkretan slučaj obrade ozubljenja glodanja profilnim modulnim glodalima potreban je poseban odgovarajući profil glodala, u zavisnosti od modula, ugla dodirnice, broja zubaca zupčanika, a kod zupčanika sa pomerenim profilom i od koeficijenta pomeranja. Na slici 5. prikazan je način izrade ozubljenja cilindričnih zupčanika profilnim modulnim glodalima.





Slika 5. Način izrade ozubljenja cilindričnih zupčanika profilnim modulnim glodalima

4. PRIMENA PROGRAMA VISUAL BASIC ZA PRORAČUN PROFILNOG MODULNOG KOTURASTOG GLODALA ZA OBRADU CILINDRIČNIH ZUPČANIKA SA PRAVIM ZUBIMA

Tok proračuna predstavlja polaznu osnovu za projektovanje i konstruisanje profilnih modulnih glodala u programskom sistemu CATIA.

U radu je konstruisano profilno modulno koturasto glodalo za obradu ozubljenja cilindričnih evolventnih zupčanika sa pravim zubima, a iz razloga da proračun bude u jednom toku sa ovim alatom obrađuju se zupčanici sa modulom $m=5$. Ako bi se radio „ručni“ proračun za veliki broj modula imali bi veliki broj podataka, dugo bi trajao proračun i bio bi prikazan na prilično velikom broju strana. A sam tok bi zapravo tekao prilično slično za sve module.

Počevši rad ručnog proračuna sa prethodno pomenuta dva generalna uopštenja nazire se prednost projektovanja i konstruisanja uz pomoć PC računara. Pri čemu je sam proračun usled sličnost kod svih modula pogodan za automatizaciju.

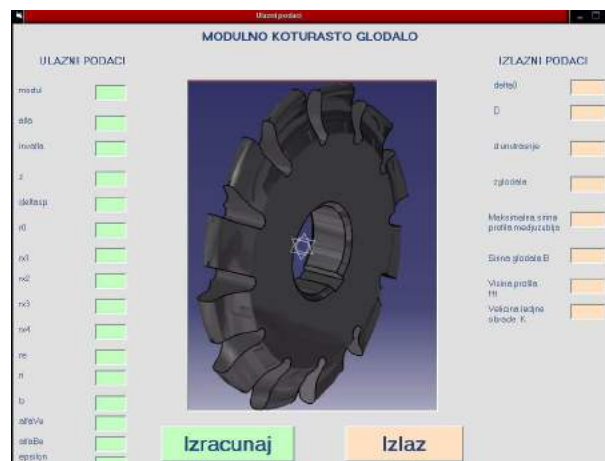
Iz tog razloga su predstavljeni neki elementi toka proračuna [8] u takvoj formi kako bi se mogli lako ispisati i u algoritamskom obliku, a koji su povezani tako da od ulaznih veličina obradom podataka se dobiju izlazne veličine.

Urađen je program za proračun profinog modulnog koturastog glodala na osnovu "ručnog" proračuna.

Proračun i tabele su prilagođene za “automatizaciju”.

Unošenjem ulaznih veličina mogu se dobiti traženi podaci za profino modulno koturasto glodalo. Na izvršnoj verziji urađenog programa vidi se da za sve module od 0.6 do 8 mogu veoma brzo dobiti konstrukcioni podaci. Dakle za veliki dijapazon profilnih modulnih koturastih glodala mogu se dobiti konstrukcioni podaci u trenutku posle unošenja ulaznih podataka.

Koji god modul da se izabere od ponuđena 24 [8] upotrebom izvršne verzije ovog programa na bilo kom računaru dobija se rezultat (slika 6.).



Slika 6. Izgled izvršne verzija zadatog programa .

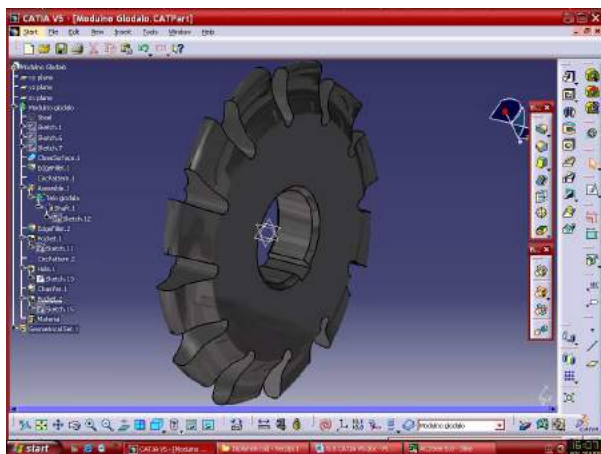
5. PRIMENA PROGRAMSKOG SISTEMA CATIA V5 U PROJEKTOVANJU I KONSTRUISANJU PROFILNOG MODULNOG KOTURASTOG GLODALA

CATIA je vodeći svetski integrirani **CAD/CAM/CAE** programski sistem. **CATIA V4** je najzastupljeniji **CAD/CAM/CAE** programski sistem u automobilske i vazduhoplovne industriji i koristi ga najveće i najpoznatije svetske kompanije i njihovi kooperanti. Osim u velikim kompanijama, **CATIA** se koristi i u brojnim malim i srednje razvijenim firmama, koje takođe imaju potrebe za kvalitetnim i pouzdanim rešenjem za sve svoje proizvodne i poslovne procese. **CATIA V5** je programski sistem nove generacije koji integriše sve aspekte procesa razvoja proizvoda. To znači da obuhvata simultanu upotrebu podataka i geometrijskih informacija, od koncepta proizvoda, do definicije proizvodnog procesa. **CATIA** je razvijena na takvoj arhitekturi koja je okrenuta ka interakciji između korisnika i programa. Radno okruženje programskog sistema **CATIA V5** je prilagođeno prirodnom okruženju operativnog sistema **Windows**, što je bio glavni cilj pri razvoju **CATIA V5** kombinovanje lakoće rada u **Windows** okruženju sa jezgrom za zapreminsko projektovanje industrijske snage.

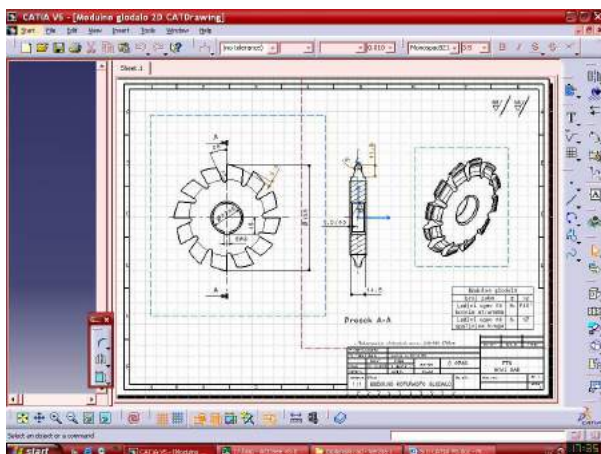
Filozofija CATIA V5 zasniva se na konceptu integracije digitalnih proizvoda u razvoj proizvoda tokom njegovog „životnog veka“. Program je u potpunosti ponovo izgrađen od temelja da bi mogao da ponudi vodeću tehnologiju u industriji.

Impresivni aspekti programskog sistema CATIA V5 jesu integracija različitih skupova paleta alata i neprekidan tok rada u grafičkom korisničkom okruženju. Zapreminski elementi uglavnom se kreiraju na osnovu skiciranih elemenata ili elemenata poznate topologije koji zahtevaju samo reference za postavljanje na model. Ovakav pristup omogućava fleksibilnost u odnosu na ranije verzije programskog sistema CATIA.

Na slici 7. dat je izgled profinog modulnog koturastog glodala moduliranog u programskom paketu CATIA V5, dok je na slici 8. dat izgled generisanog radioničkog crteža profinog modulnog koturastog glodala na osnovu 3D modela (slika 7.).



Slika 7. Konačan izgled



Slika 8. Radionički crtež profilnog modulnog koturastog glodala

Za projektovanje i konstruisanje u programskom sistemu CATIA V5 potrebno je znati i neki od programskih jezika, matematički orjentisanih, a CATIA podržava Microsoft Visual Studio 6.0 iz koga je za ovaj rad izabran najčešće i najšire korišćen programski jezik Visual Basic.

6. ZAKLJUČAK

Korišćenjem programskog sistema CATIA V5 u projektovanju i konstruisanju alata za obradu rezanjem ili u projektovanju i konstruisanju bilo kog mašinskog dela ili pak bilo kog proizvoda, ostvaruje se povezanost, komunikacija i razmena informacija u istoj ravni sa najvećim proizvođačima alata za obradu rezanjem i svim velikim i važnim kompanijama i školskim centrima u ovom trenutku vremena.

U radu je projektovano profilno modulno koturasto glodalo u programskom jeziku Visual Basic i programskom sistemu CATIA V5. U programu urađenom u Visual Basic-u dobijeni su konstruktivni podaci za celu paletu profilnih modulnih koturastih glodala modula od 0.6 do 8. Kao primer projektovanja u programskom sistemu CATIA izabrano je profilno modulno koturasto glodalo modula 5.

Razvijeno programsko rešenje omogućava efikasan izbor profilnih modulnih koturastih glodala.

7. LITERATURA

- [1] Borenović M.: Projektovanje i konstruisanje kružnog zupčastog noža primenom programskog jezika Visual Basic i programskog sistema CATIA 5, FTN Novi Sad, 2005.
- [2] Čvokić, A.: *Analiza kinematske geometrije alata za obradu rezanjem*, diplomski rad, FTN Novi Sad, 2000.
- [3] Ящерицын, П.И., Ерененко, М.Л., Жигалко, Н.И. : Основы резания материалов и режущий инструмент, Минск, 1981.
- [4] Karam ,F. : CATIA V5, Kompjuter biblioteka, Čačak 2005
- [5] Miltenović, V., Ognjanović, M.: Mašinski elementi 2, Mašinski fakultet Niš, 2005
- [6] Ординарцев, И.А., Сергеев, А.К. , Онишко, А.В., Филипов, Г.В., Шевченко, А.Н. : Справочник инструментальщика, Ленинград, 1987.
- [7] Родин, П.Р. : Металлорежущие инструменты, Киев, 1974.
- [8] Sovilj, B., Rudić, I., Jaščur, M. i dr. : Razvoj i unapređenje proizvodnje alata za ozubljenje, FTN Novi Sad, 1986.
- [9] Tanasijević, S.: *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet Kragujevac, 2004.
- [10] Trifunčević, G.: Projektovanje i konstruisanje modulnog koturastog glodala primenom programskog sistema CATIA V5, FTN Novi Sad, 2006.
- [11] Wallace, W. : Visual Basic 6, Mikro Knjiga, Beograd.

Autori: Prof.dr Bogdan Sovilj, Ivan Sovilj-Nikić Phd student, Đorđe Milenković, dipl.ing., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija,

Tel.: +381 21 485-2343. , Fax.: +381 21 485-133

Goran Trifunčević, dipl.ing., Institut za bezbednost u radu i životnoj sredini d.o.o., Aleksandra Tišme 17/6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 655-1208

Izv. Prof. dr Ivan Seuček, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska, Tel.: +385 1 616-8336, Fax.: +385 1 615-7123

E-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu

institutmib@PTT.yu

ivan.seucek@fsb.hr

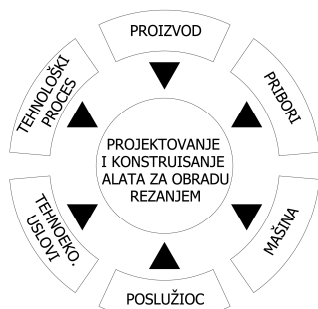
diomed17@gmail.com

milenkovic_djordje@yahoo.com

Rad je nastao u okviru projekta "RaProTeLOProKACNC" proisteklog iz naučno-tehnološke saradnje između Republike Hrvatske i Republike Srbije kao i projekta "Razvoj progresivne tehnologije za lednu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

Slika 2. Razvojne faze konstruisanja

Na slici 3. Dati su uticajni faktori na proces projektovanja i konstruisanja alata za obradu rezanjem.



Slika 3. Uticajni faktori na projektovanje alata za obradu rezanjem

Odvalna glodala se koriste za proizvodnju ozubljenja zupčanika sa pravim, kosim i spiralnim zubima, kao i pužnih točkova za spoljašnje sprezanje sa evolventnim profilom. [6]

S obzirom na značaj geometrijskih parametara odvalnog glodala za ekonomičnost i proizvodnost tokom obrade ozubljenja zupčanika, istraživanje u okviru ovog rada usmereno je ka primeni veštačke inteligencije u cilju određivanja optimalnih geometrijskih parametara odvalnog glodala.

Odvalno glodanje, kao jedan od najsloženijih procesa obrade rezanjem, nalazi najširu primenu pri obradi ozubljenja cilindričnih zupčanika zahvaljujući visokoj proizvodnosti procesa. Komplikovane kinematske i geometrijske veze između odvalnog glodala i obratka stvaraju niz teškoća i problema, koji sprečavaju optimalno korišćenje alata i mašine, kao na primer: određivanje optimalne brzine rezanja i pomaka, utvrđivanje racionalne postojanosti odvalnog glodala, maksimalno i ravnomerno korišćenje što većeg broja zuba alata, utvrđivanje što produktivnije geometrije odvalnog glodala itd.

Unapređenje procesa odvalnog glodanja značajno je i korisno kako za proizvođače zupčanika, tako i za proizvođače odvalnih glodala. Zbog komplikovanosti procesa, visoke vrednosti zupčanika, a osobito alata istraživanja podloga za optimizaciju procesa odvalnog glodanja i optimizaciju geometrijskih parametara zahtevaju znatna finansijska sredstva i značajne napore istraživača.

Postoje mnogobrojni faktori koji utiču na proces odvalnog glodanja. Mnogobrojni faktori, kao i njihovi međusobni uticaji čine proces habanja teškim za proučavanje.

Kao što je već ranije napomenuto, postoje mnogobrojni geometrijski parametri odvalnog glodala. Rezna geometrija je od izuzetne važnosti za proces odvalnog glodanja. Grudni ugao, leđni ugao i radijus vrha zupca kao elementi rezne geometrije takođe utiču na razvoj procesa habanja odvalnog glodala. Stoga je veoma važno odrediti optimalne vrednosti grudnog ugla, leđnog ugla i radijusa vrha zupca. U ovom radu, na osnovu eksperimentalnih istraživanja pomenuti parametri su određeni primenom genetskog algoritma.

2. ODREĐIVANJE FUNKCIJE POSTOJANOSTI ALATA I OPTIMALNIH GEOMETRIJSKIH PARAMETARA PRIMENOM GENETSKOG ALGORITMA

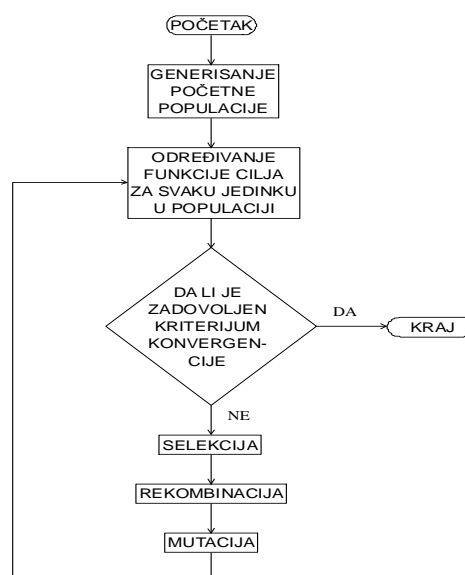
Optimizacija se definiše kao nauka koja se bavi određivanjem "najboljeg" rešenja određenog, matematički definisanog problema. Optimizacijom se teži minimizaciji negativnih efekata (napora, troškova, itd.) ili maksimizaciji pozitivnih efekata (dobiti).

U osnovne pojmove tehnoekonomske optimizacije spadaju: ciljevi, objekti, metode i uslovi pri kojima se optimizuje dati objekat.

Cilj optimizacije iskazuje se preko kriterijuma optimizacije, odnosno funkcije optimizacije, tj. funkcije cilja, dok se metodom optimizacije ostvaruje postavljeni cilj optimizacije na posmatranom objektu.

Formiranje matematičkog modela optimizacije datog objekta predstavlja naročito značajnu i redovno najtežu etapu u dekomponovanom procesu optimizacije. Matematički model mora biti pouzdan, što znači da iskazuje približna svojstva nekog objekta odražavajući najvažnije karakteristike datog realnog objekta.[8]

Uzimajući u obzir prirodu optimizacionog problema i raspoložive podatke na početku procesa optimizacije, za rešavanje optimizacionog problema u ovom radu izabran je genetski algoritam.(slika 4.)



Slika 4. Struktura genetskog algoritma

Genetski algoritam sastoji se iz nekoliko koraka čije izvršavanje dovodi do rešenja optimizacionog problema.

U ovom radu je za modelovanje funkcije L postojanosti jednozubog odvalnog glodala iskorišćen predefinisani model drugog reda.

$$L = k_0 + k_1\gamma + k_2\alpha + k_3r + k_4\gamma\alpha + k_5\gamma r + k_6\alpha r + k_7\gamma\alpha r + k_8\gamma^2 + k_9\alpha^2 + k_{10}r^2 \quad (1)$$

Cilj optimizacije genetskim algoritmom jeste dobiti rešenja za vrednosti koeficijenata $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}$ takvih da razlika između eksperimentalnih i vrednosti predviđenih modelom bude što manja.

Prilikom određivanja odgovarajućeg oblika modela metodom genetskog algoritma polazi se od inicijalne slučajno odabrane populacije $P(t)$. Populacija $P(t)$ sastavljena je od organizama. Svaki organizam predstavlja jedno od mogućih rešenja problema i sastoji se od realnih konstanti (gena): $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}$

Apsolutna devijacija $D(i, t)$ individualnog modela (organizma) i u toku generacije t smatra se merom uspešnosti i definiše kao:

$$D(i, t) = \sum_{j=1}^n |E(j) - P(i, j)|, \quad (2)$$

pri čemu je $E(j)$ eksperimentalna vrednost j -tog merenja, $P(i,j)$ očekivana vrednost dobijena uz pomoć individualnog modela i za j -to merenje, dok je n maksimalni broj merenja.

Jednačina (2) predstavlja standardnu meru uspešnosti prilikom rešavanja regresionih problema koju je predložio Koza [13]. Svrha ovog optimizacionog zadatka je da obezbedi takav model pri kom bi jednačina (2) pokazala što je moguće manje apsolutno odstupanje.

Pošto nije neophodno da najmanje vrednosti jednačine (2) obezbeđuju i najmanju procentualnu razliku, potrebno je definisati prosečnu apsolutnu procentualnu devijaciju za sva merenja sprovedena za individualni model i , koja se može definisati kao:

$$\Delta(i) = \frac{D(i,t)}{|E(j)|n} \cdot 100\% \quad (3)$$

Nakon generisanja početne populacije sledi iterativni postupak primene genetskih operatora selekcije, rekombinacije (ukrštanja) i mutacije na jedinke populacije sve dok ne bude zadovoljen kriterijum konvergencije. Dva roditelja biraju se na slučajni način, oni dobijaju mogućnost da se ukrštaju i prenose svoj genetski materijal na sledeću generaciju. U ovom radu primenjeno je dekadno kodovanje i realna aritmetička rekombinacija. Ukrštanje se vrši između dva slučajno odabrana roditeljska gena sa identičnim indeksom. Ukrštanje se odvija na principu aritmetičke rekombinacije prema izrazu:

$$\text{POTOMAK1} = \frac{\lambda_1 \text{RODITELJ1} + \lambda_2 \text{RODITELJ2}}{2} \quad (4)$$

$$\text{POTOMAK2} = \frac{\lambda_2 \text{RODITELJ1} + \lambda_1 \text{RODITELJ2}}{2} \quad (5)$$

Koeficijenti λ_1 i λ_2 biraju se na slučajni način iz intervala [0,1].

Nakon ukrštanja sledi operacija mutacije. Na slučajni način bira se jedinka, kao i njen gen koji će biti izmenjen. Mutacijom se uvodi potpuno nov genetski materijal u populaciju.

Prilikom odabira populacije na slučajni način generisano je 100 organizama. U početnoj generaciji slučajnim putem generisane su vrednosti koeficijenata $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}$ iz intervala $[-10, 10]$.

Kako bi se ublažile negativne strane elitizma, a opet u dovoljnoj meri ubrzalo izvršavanje genetskog algoritma izabrano je da verovatnoća reprodukcije bude 0.1.

Verovatnoća rekombinacije je 0.3, pri čemu je odabir jedinki koje će dobiti priliku za razmenu genetskog materijala izvršen na osnovu turnir selekcije. Što znači da je na slučajni način iz populacije odabrano 7 jedinki od kojih je nakon međusobnog upoređivanja prilagođenosti odabran jedan roditelj koji će svoj genetski materijal ukrstiti sa pobednikom drugog turnira koji je definisan na identičan način. U okviru turnir selekcije je dozvoljena mogućnost da učesnici jednog turnira budu takođe učesnici drugog, što znači da je moguće da jedinka koja nije bila najbolja u jednom turniru izbori svoje mesto za rekombinaciju u nekom narednom, dok se ne odabere 30% populacije koja će ostaviti svoje potomstvo, premda je ova mogućnost izuzetno mala. Takođe, u okviru rekombinacije se rekombinacija samo na jednom genu ostvaruje između samo 10% parova dok se u ostalih 90% slučajeva ona dešava na više gena.

Mutacija se odvija sa verovatnoćom od 60%. Od ukupnog broja jedinki koje mutiraju kod 50% njih mutacija se odvija samo na jednom genu, dok se kod ostalih ona dešava na više gena.

Procedura generisanja svake civilizacije se odvijala do 5000-ite generacije kada bi se ona privremeno prekidala. U slučaju da je prosečno odstupanje $\Delta(i)$ jednog pretpostavljenog modela (organizma) u populaciji manje od 4% evolucija populacije bi bila nastavljena do 20000-ite generacije, u suprotnom proces bi se prekidao. Nakon svake faze treninga testira se tačnost najboljih modela uz pomoć početnih podataka. Prilikom ovog modelovanja upotrebjeno je 15 nezavisnih civilizacija.

Optimizaciji geometrijskih parametara alata za obradu rezanjem prethodi unutrašnja optimizacija, tj. optimizacija režima rezanja. Da bi se odredila optimalna rezna geometrija neophodno je obezbediti racionalne uslove rada, odnosno da bi se izvršila eksperimentalna istraživanja rezne geometrije alata potrebno je odrediti brzinu rezanja, pomak i aksijalni pomeraj.

Rezultati eksperimenta prikazani su u [6]. Za svaku eksperimentalnu tačku merenjem su dobijene izlazne vrednosti karakterističnih habanja (h_u, h_r, h_i). Na osnovu analize kao kriterijum habanja jednozubbog alata usvojena je širina pojasa habanja na izlaznom boku $h_i = 0.6 \text{ mm}$. Nakon toga, nacrtane su krive razvoja procesa habanja za sve eksperimentalne tačke.

3. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Primenom genetskog algoritma dobijeni su modeli koji zadovoljavaju kriterijume izbora. Stoga, oni predstavljaju potencijalna rešenja problema. Karakteristike jednog od ovih modela su:

Model funkcije postojanosti:

$$L_{\text{opt}} = 3.47514 + 4.84292\gamma + 0.00449625\alpha + 23.1512r - 0.195747\gamma\alpha - 5.9446\gamma r + 0.36683\alpha r + 0.323794\gamma\alpha r - 0.0495238\gamma^2 + 0.0859158\alpha^2 + 18.7778r^2$$

Ukupna apsolutna razlika najbolje jedinke: 40.977

Procentualno odstupanje najbolje jedinke: 2.7318

Generacija sa najboljom jedinkom: 18885

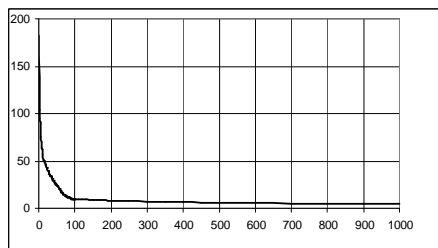
U [6] su pored postojanosti dobijene eksperimentalnim putem i postojanosti predviđene na bazi modela date i apsolutne vrednosti i procentualne vrednosti razlike između rezultata dobijenih eksperimentalnim putem i rezultata koji su predviđeni modelom za koji je uzet najbolji organizam u generaciji.

Iz [6] se vidi da je za veličinu brojčane vrednosti mere uspešnosti $\Delta(i)$ najodgovornije neslaganje vrednosti dobijene u četvrtom merenju sa predviđenom vrednošću za to merenje. U svim ostalim merenjima ovo odstupanje je manje od 10% dok je kod nekih ono manje čak i od 1%. Zbog ovako signifikantne razlike između uspešnosti $\Delta(i)$ četvrtog merenja u odnosu na ostala, može se zaključiti da postoji mogućnost da su greške postojale pri samom merenju (manifestacije grešaka u materijalu alata kao i radnog predmeta, ljudski faktor, vibracije alata mašine, i razni drugi stohastički poremećaji). Takođe, na osnovu ove razlike između $\Delta(i)$ može se zaključiti da kvalitet rešenja dobijenog putem genetskog algoritma izuzetno zavisi od pouzdanosti podataka na osnovu kojih se vrši optimizacija.

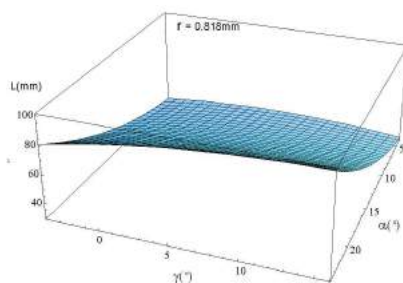
Eksperimentalne i predviđene vrednosti postojanosti alata dati su u [6].

Na slici 5. je dat dijagram koji prikazuje kakva je tendencija pri izvršenju evolucijskih algoritama (kako su se organizmi poboljšavali sa svakom generacijom). Na dijagramu se može uočiti da uspešnost najboljih organizama u početku vrlo brzo raste (tj. kvalitet rešenja raste), odnosno brojne vrednosti mere uspešnosti vrlo brzo opadaju da bi potom posle 1500 generacije ovaj trend počeo

sve više da se smanjuje i prelazi u stagnaciju da bi konačno dosegao najveću uspešnost kod generacije 18885 u kojoj je dobijen organizam sa prosečnom procentnom devijacijom $\Delta(i,t) = 2.7318\%$. Nakon dostizanja najveće uspešnosti dolazi do njenog smanjenja da bi se ona sa identičnom vrednošću u kasnijim generacijama ponovo pojavila. Međutim, broj ovih pojavljivanja je skoro neznan uz stalnu tendenciju smanjenja uspešnosti, odnosno povećanja brojčane vrednosti $\Delta(i)$.



Slika 5. Dijagram zavisnosti procentualne razlike između očekivane i eksperimentalno dobijene postojanosti



Slika 6. Zavisnost postojanosti alata od geometrijskih parametara odvalnog glodala

Tokom svih generacija raznolikost jedinki u populaciji bila je izuzetno visoka uz permanentno oscilovanje. [6]

Na osnovu najboljeg modela izvršeno je određivanje maksimalne postojanosti alata i optimalnih geometrijskih parametara koji obezbeđuju tu postojanost.

Primenom matematičkih metoda određena je maksimalna postojanost alata $L = 105,836 \text{ mm}$. Geometrijski parametri koji obezbeđuju globalni maksimum za dati model su $r = 0,818 \text{ mm}$, $\alpha = 24,092^\circ$, $\gamma = 16,092^\circ$.

4. ZAKLJUČAK

Prilikom optimizacije funkcije postojanosti primenom genetskog algoritma potrebno je mnogo manje informacija o funkciji cilja i nije potrebno zadovoljenje određenih uslova kao kod klasičnih metoda, poput diferencijabilnosti funkcije i njene neprekidnosti.

Rezultati dobijeni u ovom radu pri istraživanju optimalne geometrije sečiva omogućavaju konstrukciju, izradu i primenu odvalnih glodala koja će dati bolje tehnoekonomske efekte.

5. LITERATURA

- [1] Brezočnik, M.: *Uporaba genetskog programiranja v inteligentnih proizvodnih sistemih*, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2000.
- [2] Gen, M., Cheng, R.: *Genetic algorithms and engineering design*; John Wiley & Sons: Canada, 1997.
- [3] Koza, J.R., *Genetic programming*; The MIT Press: Massachusetts, 1992.
- [4] Montgomery, D.C., Runger, G.C., Hubele, N.F.: *Engineering statistics*; Second Edition, John Wiley & Sons: New York, 2001.
- [5] Sovilj, B.: *Identifikacija triboloških procesa pri odvalnom glodanju*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1988.
- [6] Sovilj-Nikić, I.: *Primena genetskog algoritma u optimizaciji geometrijskih parametara odvalnog glodala*, Diplomski-master rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2007.
- [7] Tanasijević, S.: *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [8] Todić, V., Stanić, J.: *Osnove optimizacije tehnoloških procesa izrade i konstrukcije proizvoda*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006.

Autori:

Ivan Sovilj-Nikić, *Phd student*, **Prof.dr Velimir Todić**, **Prof.dr Ilija Čosić**, **Prof.dr Bogdan Sovilj**, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, Tel.: +381 21 485-2343, Fax.: +381 21 458-133

Izr. Prof. dr Miran Brezočnik, Univerza v Maribor, Fakulteta za strojništvo, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenia

E-mail: diomed17@gmail.com

todvel@uns.ns.ac.yu

mbrezocnik@uni-mb.si

ftndeane@uns.ns.ac.yu

bsovilj@uns.ns.ac.yu

Rad je nastao u okviru projekta "Razvoj progresivne tehnologije za leđnu obradu profilnih alata na CNC mašinama", broj TR 14059 Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, Republike Srbije, 2008.

MODERN INDUSTRIAL MANUFACTURING AND FABRICATION TO ACHIEVE HIGH ACCURACY AND HIGH ECONOMY

Abstract: The prescription and consumption of material and energy to achieve the necessary and required workpiece accuracy in series manufacturing depends to a great extent from the workpiece (geometrical) tolerances of any kind (roughness, form, positional, dimensional) which are prescribed for the production and the fulfillment of these tolerances and therefore for the function of the produced workpieces and their fitness for practical application and none the less of the economy of production altogether. This requirement is of great importance at the time being which is characterized by shortage of energy and raw material.

Adequate knowledge in this area is an important presupposition to achieve wastefree production and low costs of manufacturing with high as possible quality and accuracy at the same time. This is of extreme importance in present time of worldwide international competition in industry and production.

Key words: Manufacturing, workpieces, tolerances, design, economy, metrology.

1. GEOMETRICAL TOLERANCES AND GEOMETRICAL DEVIATIONS

If the geometry of machined parts is considered as a whole there exist interactions between the different features forming the periphery of the part. But also within the surface of every single feature there exist interactions between geometrical deviations of different kind and different order. If we take these deviations of dimensions, roughness, form and position collectively the existing interactions are significant for the accuracy and the functions of the parts that should be accomplished during practical application.

2 THE DIFFICULTY OF WORKPIECE ACCURACY

Since about 1970 computer-aided production metrology has been of ever increasing importance for the comprehensive analysis of the workpiece geometry used in modern production technology.

Depending on whether macro geometry or micro geometry is the focus of the analysis, in general distinction is made between geometrical deviations of different order. It is common practice to collectively consider the more or less short-wave geometric deviations of third or higher order as surface roughness, on the basis of internationally established parameters.

As already described in former research reports there is evidence for the existence of "inherent interrelations" and "so to speak a natural relationship", as it were, between the different kinds of form errors or geometric deviations [1]. First and foremost it has been in [2] where the term of a "uniform approach to geometrical deviations of different order" has been coined. This uniform approach and way of analysis has been translated into reality in particular through the development of co-ordinate metrology, and its applicability to microgeometry measurements has been pointed out successfully [3].

Extensive industrial investigations have been carried out as support for practical industrial application and appropriate correlations and guidelines have been worked out. Especially the already mentioned developments of computer-aided metrology supported in building up the basis for correlating permissible and function oriented geometrical deviations with workpiece accuracy [4, 5].

3 COMPREHENSIVE DESCRIPTION OF THE WORKPIECE GEOMETRY

For the geometrical description of workpieces GPS (Geometrical Product Specifications and Verification) defines on a technical drawing the shape (geometry), dimensions and surface characteristics of a workpiece. In this way the optimal function of the respective part is supposed to be guaranteed considering certain manufacturing tolerances. Nevertheless workpieces will be produced, which do not fulfil these requirements. Therefore workpieces are measured and inspected in order to be able to compare the finished parts with the specifications. There is a need to relate between actual workpieces and:

- the workpiece imagined by the designer,
- the workpiece as manufactured,
- the knowledge about the workpiece as measured.

In order to establish this relationship between design, production and measurement and to clarify the mutual importance, standards have been developed in the area of Geometrical Product Specifications and Verification.

A set of requirements concerning the geometry of a workpiece (or of an assembly of several workpieces) is known as the "Geometrical Product Specifications and Verification" covering requirements of size and dimension, geometrical tolerance and geometrical properties of the surface (Figure 1).

Comprehensive knowledge in this area is an important presupposition to achieve economic design, construction, production, metrology and quality management.

The concept of the Geometrical Product Specifications and Verification includes:

- several types of standards, some are dealing with the fundamental rules of specification, some are dealing with global principles and definitions and some of them are dealing directly with the geometric characteristics;
- different geometric characteristics such as size, distance, angle, form, location, orientation, roughness;
- workpiece characteristics as results of different manufacturing processes and the characteristics of specific machine elements
- occurs at several steps of the product life cycle, in the development of a product, design, manufacturing, metrology, quality assurance, etc.

Geometrical Product Specifications and Verification (GPS)

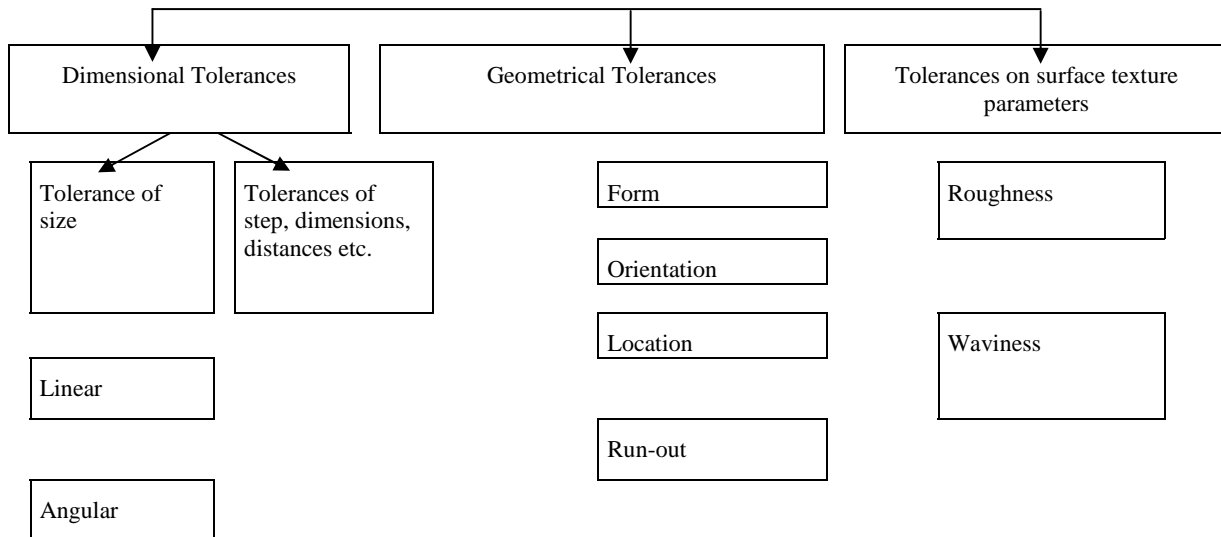


Figure 1: Geometrical Tolerances and Tolerances of Dimension and Geometrical Properties of the Surface.

This concept is represented in Figure 2, showing four different types of GPS standards and designated as the "GPS-matrix-model" (Figure 2).

According to the original idea, the group of fundamental GPS standards should contain such standards which establish the fundamental rules for dimensioning and tolerancing. However, in this group there are only two documents - ISO 8015:1985 [6] and ISO/TR 14638 [7] - which contain the outline of the Masterplan [7].

Global GPS standards are closely related to many other GPS standards - first of all those contained in the General GPS Matrix. Global standards influence general GPS chains of standards directly (being referenced to) or as default documents. A very important global GPS standard is ISO 1 on the standard reference temperature in metrology. Another global GPS standard is for example ISO 14660-1 which establishes terms and definitions of geometrical features. Complementary GPS standards contain technical rules for drawing indications, definitions and verification principles for

specific categories of features or elements. Some of the rules depend on the type of manufacturing process (machining, casting, welding, forming); other may concern the geometry of certain machine elements like screw threads, splines, or gears. Most of the big number of Complementary GPS standards have been prepared by different ISO Technical Committees; only a few are the direct results of activities of TC 213.

The Complementary GPS standards are divided into:

- Tolerancing standards for special production methods (e.g. casting, cutting)
- Geometrical standards for mechanical parts (e.g.: gears, screw thread)

According to the original idea, the group of fundamental GPS standards should contain such standards which establish the fundamental rules for dimensioning and tolerancing. However, in this group there are only two documents - ISO 8015:1985 [6] and ISO/TR 14638 [7] - which contain the outline of the Masterplan [7].



Figure 2: The GPS-matrix-model – GPS Masterplan – Overview

Global GPS standards are closely related to many other GPS standards - first of all those contained in the General GPS Matrix. Global standards influence general GPS chains of standards directly (being referenced to) or as default documents. A very important global GPS standard is ISO 1 on the standard reference temperature in metrology. Another global GPS standard is for example ISO 14660-1 which establishes terms and definitions of geometrical features. Complementary GPS standards contain technical rules for drawing indications, definitions and verification principles for specific categories of features or elements. Some of the rules depend on the type of manufacturing process (machining, casting, welding, forming); other may concern the geometry of certain machine elements like screw threads, splines, or gears. Most of the big number of Complementary GPS standards have been prepared by different ISO Technical Committees; only a few are the direct results of activities of TC 213.

The Complementary GPS standards are divided into:

- Tolerancing standards for special production methods (e.g. casting, cutting)
- Geometrical standards for mechanical parts (e.g.: gears, screw thread)

4 INTERNATIONAL STANDARDISATION IN THE FIELD OF GPS

Since a lot of years - more or less since the 1930's - it has been tried hardly by Technical Committees (TCs) of national and international bodies for Standardisation (especially the International Standardization Association ISA before World War II and the International Standardisation Organisation ISO since the late 1940's) to develop generally understandable and as far as possible harmonized international standards.

So quite a long time the GPS standards have been developed by committees in ISO and published as soon as that there has been a specific requirement. However a comprehensive survey of all GPS standards was sometimes missing. This led to standards with different aims and representations and sometimes also to inconsistent determination. Furthermore there are gaps between the GPS standards. Since 1996, the Technical Committee ISO/TC 213 on "Dimensional and Geometrical Product Specifications and Verification" has been working towards harmonizing previously standardized practices in tolerancing (specification) and related metrology (verification). The Technical Committee ISO/TC 213 works in close collaboration with a similar committee in the European organisation CEN/TC 290. According to the Vienna Agreement all projects are processed in parallel by these two technical committees - so documents on GPS prepared by ISO and CEN are identical.

5 GPS AS BASIC REQUIREMENT FOR WORKPIECE ACCURACY

In general it is the intention of the manufacturer to satisfy all requirements that are demanded for a product. Every manufacturer is looking forward to satisfy all the criteria that its product must have. Technical means, tools and methods are used to ensure the consistency of product characteristics. One of its important characteristic or feature is geometrical specification or it is better to say Geometrical Product Specifications (GPS).

Geometrical Product Specifications are a means to transform function dependent demands into produced workpieces and parts based on:

- mathematical rules and methods,

- consideration of macro and micro geometry,
- possibilities for measuring of quantities and especially tolerated quantities and
- evaluation of uncertainty, etc.

Generally there are many definitions and concepts in Geometrical Product Specifications and Verification (GPS) but one of them which has been presented a few years ago named "Skin-Model" [4] was studied in the frame of some research projects. The "Skin-Model" presents a new description for Geometrical Product Specifications and Verification (GPS) with its associated details and on its basis every workpiece can be geometrically defined and considered by applying manipulations of the workpiece geometry. This determination is based on mathematical rules and definitions. It means that according to this determination every workpiece can be designed and on the other hand according to the design it can be measured very clearly.

6 WORKPIECE CHARACTERIZATION IN COORDINATE METROLOGY AND THE SKIN MODEL

The "Skin-Model" is a geometric model of the physical interface between a workpiece and its environment. It defines non-ideal features with consideration of ideal features at the workpiece circumference. A real feature is a non-ideal feature the shape of which depends of the production process and its conditions whereas ideal features exist only in theory (Figure 3).

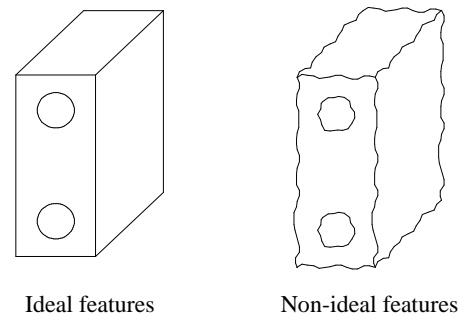


Figure 3: Ideal model and "Skin-Model" of a Workpiece

The Skin-Model is based on some general and basic definitions and it uses some tools which are named "Operations" which can be compared with mathematical operations as in mathematics and especially in arithmetic.

Operations which are applied within the Skin-Model are:

- 1) Partition,
- 2) Extraction,
- 3) Filtration,
- 4) Association,
- 5) Collection,
- 6) Construction and
- 7) Evaluation.

Figure 4 shows the parallel procedures which are given by "Design Intent" and the "Verification of Manufactured Workpieces" so that they comply with the design intent.

By application of appropriate evaluation software the measuring results can be transformed into suitable data format that can be used for further calculation and study. In the next step the measuring results will be evaluated with applying computer programs, which are available for statistical evaluations. Now the quality control department will be able to analyse this phase easily and can give necessary advice or notice to relevant other departments especially in the developing and planning domain.

This gives principal ideas in respect of the evaluation of measurement results with regard to GPS.

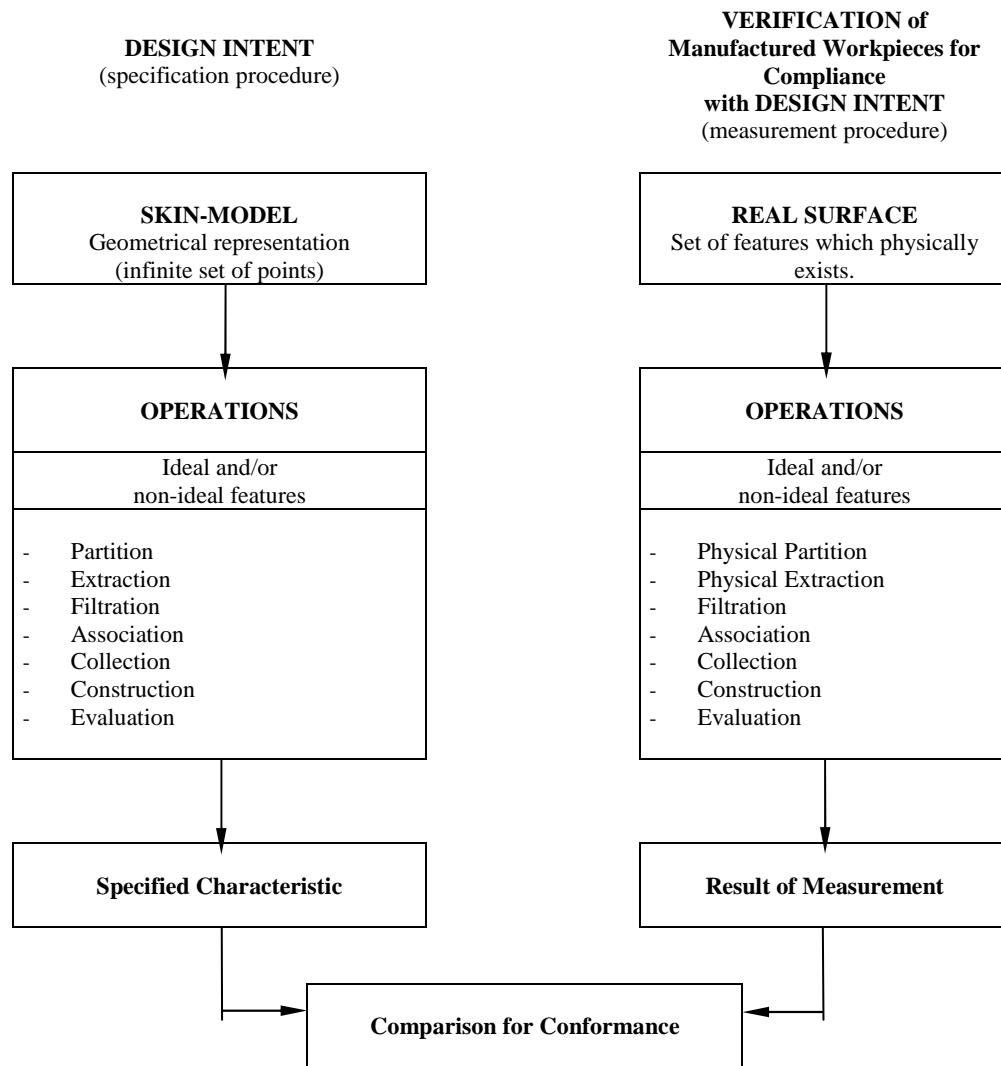


Figure 4: Comparison of Design Intent and Verification of Manufactured Workpieces

7 CONCLUDING REMARKS AND OUTLOOK TO FUTURE DEVELOPMENTS

The presented ideas explain in principal the correlation between different geometrical deviations and the manufacturing conditions. This can help to achieve lower manufacturing costs and at the same time higher quality in present production. The presented study can be seen as a further step in the direction of a comprehensive analysis of workpiece geometry and it is fully in line with research work already carried out in the past. By the described successful application of co-ordinate metrology for the solution of measurement problems of various kind also new challenges are put onto precision production measurement technology especially in the area of GPS.

8. LITERATURE AND REFERENCES:

- [1] Kienzle, O.: Formtoleranzen. Werkstattstechnik und Maschinenbau, 45 (11), (1955), 605/607 and 615.
- [2] Weingraber, H.: Einheitliche Definition, räumliche Messung und eindeutige gegenseitige Abgrenzung von Formabweichung, Welligkeit und Rauheit. Feingerätetechnik 25 (2) (1976), 58/63.
- [3] Osanna, P.H., Durakbasa, N.M.: Comprehensive Analysis of Workpiece Geometry by Means of the Co-ordinate Measurement Technique. Surface Topography 1 (1988), 135/141.
- [4] Ballu, A., Mathieu, L.: Univocal Expression of Functional and Geometrical Tolerances for Design, Manufacturing and Inspection. 4th CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing, Tokyo, Japan, 1995, 31/46.
- [5] Durakbasa, N.M., Osanna, P.H.: Lageabweichungen bestimmen die Werkstückgenauigkeit. wt-Werkstattstechnik 79 (1989), N.3, 141/145.
- [6] ISO 8015:1985: Technical Drawings - Fundamental Tolerancing Principle.
- [7] ISO 14638:1995: Geometrical Product Specifications (GPS) - Masterplan.

Authors: ao.Univ.Prof. Dr.techn. Dipl.Ing. Prof.h.c. M. Numan Durakbasa, o.Univ.Prof. Dr.techn. Dr.mult.h.c. Prof.h.c. P. Herbert Osanna, Dr.techn. Dipl.Ing. Lukas Kräuter. TUW - Vienna University of Technology, Karlspl. 13/3113, A-1040 Wien, Phone: +43 1 58801 31142, Fax: +43 1 58801 31196
E-Mail: osanna@mail.ift.tuwien.ac.at
durakbasa@mail.ift.tuwien.ac.at

OBRAZOVANJE INŽENJERA PROIZVODNOG MAŠINSTVA ZA EVRPSKE INTEGRACIJE: EHEA + ERA ZAJEDNIČKI PROSTOR

Rezime: Visoko obrazovanje u Srbiji bi moralo da bude odgovornije prema realnim potrebama za promenama društva u prilagođavanjima svetskom tržištu. Trenutni rezultati u razvoju zajedničkog obrazovnog (EHEA) i zajedničkog istraživačkog (ERA) prostora kontinenta definišu jedan od najvažnijih trendova u evropskim integracijama. Obrazovanje eksperata proizvodnog mašinstva mora da se realizuje u okvirima Bolonjskog procesa kroz principe studentu orijentisanog učenja sa rešavanjem inženjerskih problema. Važno je da se vrednuje napredak univerziteta Srbije u reformi prema Bolonjskom procesu, kao i da se utvrde uloge svih učesnika u tom procesu: Univerziteta (nastavnika i studenata), Industrije, vlade, Alumni asocijacija i drugih korisnika obrazovanja. Obrazovanje, istraživanje, primena visokih tehnologija i inovaciona klima u društvu presudno utiču na način kreiranja novih i dugoročnih poslova i kvalifikacija za privredu Srbije čija konkurentnost treba da bude osnova za ekonomski razvoj. Ovaj rad daje mnoge odgovore na definisane izazove na putu ka evropskim integracijama.

Cljučne reči: Obrazovanje, Istraživanje, Evropske integracije, Univerzitet, Industrija.

EDUCATION OF PRODUCTION ENGINEERS FOR EUROPEAN INTEGRATIONS: EHEA + ERA COMMON SPACE

Abstract: Higher Education of Serbia should be more responsive to the real needs of a changing society and labour market. Actual results about how the European Higher Education Area (EHEA) and European Research Area (ERA) are being developed across the continent define one of the most important trends in European integrations. Education of production engineering experts must be realised in the scope of Bologna process with principles of more student-oriented and engineering problem based learning. It is important to evaluate progress made by Serbian universities in implementing the Bologna process, as well as to define the roles of all participants: universities (professors and students), Industry, governments, Alumni associations and other stakeholders. Education, research, advanced technologies, and innovations are a significant way of creating new jobs and qualifications in a long term for Serbian Economy or Industry as the key to competitiveness and economic growth. This paper gives many answers to defined challenges on the way to the European integrations.

Key words: Education, Research, European integrations, University, Industry.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Iz glavnih inicijalnih dokumenata [2, 4, 5] vidimo da smo već pri kraju decenije u kojoj se odvijaju reforme visokog obrazovanja i evropskih univerziteta prema *Bolonjskom procesu*, a u okviru jednog od najvećih projekata evropskih integracija. Brojnim deklaracijama i dokumentima Evropa želi da postane društvo zasnovano na znanju u kome će se obrisati granice zemalja. Prema zvaničnim dokumentima [1, 3, 14] u takvoj Evropi 2010 ima mesta za sve zemlje Balkana koje će se integrisati različitim brzinama, a prema usvojenoj proceduri koja sadrži više faza.

Evropa je već formirala zajedničke ekonomske i pravne prostore koje integrisane zemlje prihvataju i unose svoje specifičnosti i vrednosti (fran: *Acquis Communautaire*). Za Univerzitet i Industriju je od značaja integracija zajedničkog obrazovnog prostora EHEA (*European Higher Education Area*) i zajedničkog istraživačkog prostora ERA (*European Research Area*) kako bi se koristili istraživački i razvojni projekti u periodu prilagođavanja evropskim standardima. Sa takvim opšte prihvaćenim trendovima postavlja se pitanje šta u Srbiji treba da rade uspravani Univerzitet i dezorijentisana Industrija. U rešavanju tog kompleksnog problema posmatra se obrazovanje mašinskih inženjera, a posebno inženjera proizvodnog mašinstva u uslovima kada je ugašena proizvodnja u mnogim osnovnim industrijama.

Reforma visokog obrazovanja je na univerzitetima Srbije važan eksperiment koji zahteva promene i od profesora i od studenata postavljanjem novih predmeta sa izmenjenim metodama rada i novim sadržajima za Evropu 2010.

2. ZAOSTAJANJE UNIVERZITETA SRBIJE

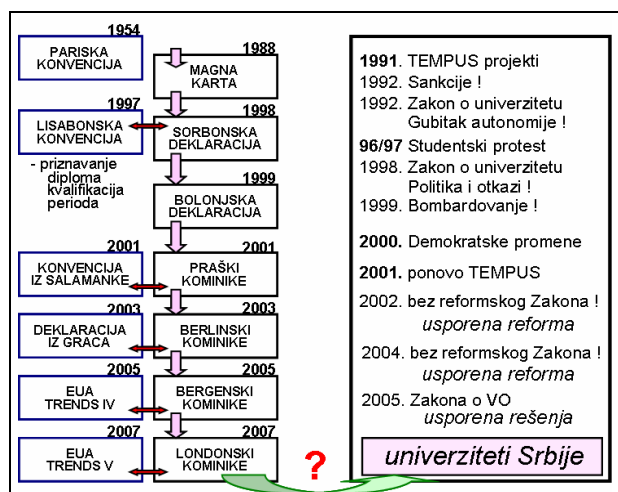
Dok je Evropa brisala granice zemalja a njeni univerziteti, deklaracijama i drugim dokumentima, stvarali zajednički obrazovni prostor, Srbija je zapadala pod totalitarne režime i partijsku zavisnost bez autonomije univerziteta i akademskih sloboda. Ratovi, sankcije i bombardovanja uništili su ono što su prethodne generacije stvarale, postavivši nemoguće uslove da se Srbija i univerziteti brzo oporave. Univerziteti Srbije su takođe trpeli posledice naših sopstvenih grešaka, održavajući u sankcijama kontakte sa drugim univerzitetima, pre svega, ličnom inicijativom profesora. Hronologija događaja u razvoju univerziteta Evrope i zaostajanju univerziteta Srbije je prikazana na slici 1. Naznačene su godine donošenja dokumenata za razvoj univerziteta Evrope i, paralelno sa tim, godine događaja koji su usporili razvoj univerziteta Srbije.

Bolonjskoj deklaraciji [2] su prethodile *Sorbonska deklaracija* [5] i dokument *Magna Charta Universitatum* [4]. Posle uspostavljanja *Bolonjskog procesa* za reformu visokog obrazovanja Evrope (1999. g.), svake druge godine se održavaju *Ministarski sastanci* kao kontrolne tačke u izvršenju zahteva sa prethodnog sastanka i u sagledavanju prioriteta do narednog sastanka. *Pariska konvencija* je 1954. godine postavila osnove za razmenu kulturnih dobara između zemalja. *Lisabonska konvencija* definiše priznavanje diploma, perioda studiranja i kvalifikacija među zemljama Evrope.

Univerziteti sveta čine jedinstven akademski univerzum. Pojmovi kao što su autonomija univerziteta i akademske slobode su deo svetskih standarda ugrađenih u mnoge opšte prihvaćene deklaracije o Univerzitetu. Najznačajnija je

Magna karta univerziteta (Magna Charta Universitatum), doneta na najstarijem evropskom univerzitetu u Bolonji 1988. godine, nekoliko godina pre brisanja granica i drugih ograničenja između zemalja Evropske unije. *Magna karta* je otvorila vrata univerzitetima Srednje i Istočne Evrope kako bi se oni oslobodili uticaja tadašnjih autoritarnih socijalističkih režima i kako bi se približili standardima u nastavi i istraživanju univerzitetima Evropske unije. Postavljeni su osnovni principi dokumenta koji su ukazivali da, tada i uvek, podržavaju misiju univerziteta u društvu kroz širenje znanja generacijama koje će služiti razvoju i modeliranju tog istog društva i investiranju u kontinualno obrazovanje. Osnovni principi dokumenta *Magna Karta* glase [4]:

- *Univerzitet* je autonomna institucija u srcu svih društava, različito organizovanih usled različitog geografskog i istorijskog nasleđa. Univerzitet stvara, ispituje, procenjuje i zaveštava kulturu naroda kroz svoja istraživanja i obrazovanje. Da bi se zadovoljile potrebe svetskog okruženja, univerzitetsko istraživanje i obrazovanje moraju da budu moralno i intelektualno nezavisni od svih političkih autoriteta kao i od ekonomskih moći.
- Nastava i istraživanje na *Univerzitetu* moraju da budu izdvojeni ako njihovi nadzori ne podržavaju potrebe za promenama, zahteve društva i prednosti u znanjima.



Slika 1. Razvoj evropskih i zaostajanje univerziteta Srbije

- Akademske slobode u istraživanju i treninzima su osnovni princip univerzitetskog života, tako da i vlade i univerziteti, svako u okviru svojih kompetencija, moraju da obezbede poštovanje ovih fundamentalnih potreba. Odbacivanjem netolerancija i stalnom spremnošću za otvoreni dijalog, univerzitet predstavlja idealnu sredinu za nastavnike spremne da saopštavaju sopstvena saznanja, a koji su spremni i opremljeni za svoj razvoj istraživanjem i inovacijama, kao i za studente, sposobne i željne da obogate svoja mišljenja ovim znanjima.
- *Univerzitet* je institucija od poverenja proisteklog iz evropskih humanističkih tradicija i težnje da dostigne univerzalna znanja da bi ispunio svoju vokaciju izvan geografskih i političkih granica, kako bi potvrdio vitalnu potrebu za raznim kulturama koje utiču jedna na drugu.

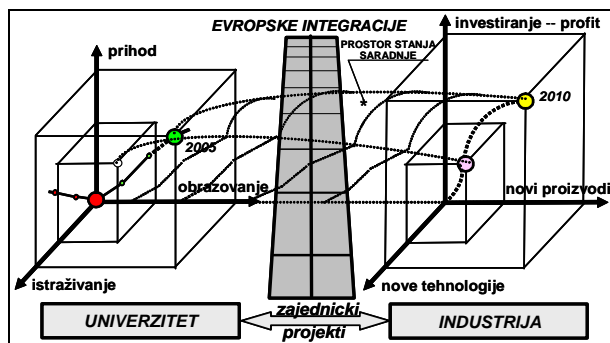
Za univerzitete Srbije dokument *Magna karta* je značio mogućnost razmene informacija i dokumenata, mobilnost profesora i studenata i rad na zajedničkim projektima.

3. ZAJEDNIČKA U&I IZVRSNOST U POSLOVANJU

Univerzitet i industrija (U&I) predstavljaju važno poslovno okruženje jedno drugom, ali u međusobnoj saradnji imaju i zajedničko obrazovno-poslovno okruženje – svetsko tržište proizvoda, tehnologija, znanja, eksperata i usluga [13].

Proizvodi univerziteta su eksperti svih mogućih profila ekspertnosti koji kasnije treba da preuzmu obaveze u razvoju industrije/privrede, a time i u modeliranju prosperitetnog društva. Sve veća mobilnost eksperata proširuje njihovo delovanje na Evropu i svet.

Univerzitet i *Industrija* svojim posebnim i udruženim aktivnostima definišu zajednički model izvrsnosti poslovanja U&I [9]. Zajedničko poslovanje *Univerziteta* i *Industrije* definiše se prostornom površinom koju oblikuju parcijalni dijagrami poslovanja (slika 2). Za *Univerzitet* ili fakultete to je dijagram ukupnog poslovanja čiji prostor određuju koordinate {Obrazovanje – Istraživanje – Ukupan prihod}. Za *Industriju* je to dijagram čiji prostor čine koordinate {Novi proizvodi – Nove tehnologije – Investiranje i profit}.



Slika 2. U&I na putu ka evropskim integracijama

Oba parcijalna dijagrama definišu zajednički prostor stanja *Univerziteta* i *Industrije* na putu ka evropskim integracijama. Taj put znači međusobnu saradnju prema trendovima integracije zajedničkog obrazovnog i istraživačkog prostora Evrope (EHEA+ERA). Integracija prostora visokog obrazovanja i istraživačkog prostora Evrope podrazumeva objedinjavanje programa istraživanja za razvoj obrazovanja (Tempus, Erasmus, Socrates, Leonardo, Naric i drugi) i istraživačkih programa koje finansira Evropska unija (Framework Programme, Eureca, Cost, Alpha i drugi).

Mnoge nastavne discipline osnovnih i master, a naročito doktorskih studija, treba da proisteknu iz oblasti sopstvenih istraživanja nastavnika i institucija visokog obrazovanja. To znači da su predavanja orijentisana rezultatima istraživanja, a treba da postoje i projektima orijentisani nastavni moduli i programi. Praksu studenti stiču u industriji i privredi kao glavnim korisnicima rezultata istraživanja (razvojnih, primenjenih i osnovnih). Studenti u industriji proveravaju teorijske modele i znanja stečena na predavanjima. U drugom smeru edukacije, eksperti industrije treninzima na univerzitetu inoviraju ranije stečena znanja, pripremajući se za nove radne sadržaje [11]. Univerziteti treba da pripreme domaću industriju za integracione procese Evrope. Saradnja u zajedničkom EHEA+ERA prostoru Evrope je neophodnost koja zahteva posebno definisanje zajedničkih projekata.

4. DILEME, ZABLUDE I MOGUĆA REŠENJA

Kao da su nepotrebne zablude naša specifičnost i naš brendirani proizvod [12]. Mada ih svi prepoznaju odmah, i dalje ih proizvodimo i uporno obrazlažemo. Bilo bi bolje da znamo da ih prevedemo u realne dileme koje treba da otklonimo konkretnim akcionim planovima u reformi. Ali za to nam je potrebno društvo u kome su jasno definisane prave vrednosti u svim oblastima. Upravo zbog toga se mnogi plaše evropskih integracija i urednog sistema vrednosti. Oni su verbalno za evropske integracije, ali se ponašaju na sasvim drugi način. Ili mudro čute da vide šta će da se dogodi. U daljem tekstu se navode samo neke nepotrebne zablude razdvojene na *Univerzitet* (posebno za nastavnike i posebno za studente) i *Industriju*.

4.1 Univerzitet – nepotrebne zablude (nastavnici)

- Nisu smele da se ignorišu korektne i tačne primedbe Evropske rektorske konferencije (EUA) u evaluacionom postupku univerziteta Srbije 2002. godine.
- Reforma visokog obrazovanja ne može da se sprovede bez odgovarajućih materijalnih sredstava za nastavnu opremu, nastavne materijale i napor nastavnika za uvođenje velikog broja jednosemestralnih predmeta.
- Reforma visokog obrazovanja ne može da se sprovede neorganizovano i bez koordinacije po hijerarhiji univerzitet – fakulteti – katedre/departmani.
- Studijski programi nisu dovoljno usklađeni sa potrebama privrede i evropskim okvirom kvalifikacija.
- Studijski programi i predmeti nisu međusobno usklađeni. Ima preklapanja po predmetima, katedrama i fakultetima.
- Do snižavanja uslova studiranja smanjenjem obaveznih 60 na 47 bodova nije smelo da dođe, jer je to eksplicitno priznavanje slabosti našeg sistema visokog obrazovanja u odnosu na druge potpisnike *Bolonjske deklaracije*.
- Zakon o visokom obrazovanju je doprineo da univerzitet ostane bez asistenata.
- Ne postoji kontinuitet u radu rektorskih i dekanskih kolegijuma. Skoro svi počinju od početka i negiraju prethodne rezultate i prethodnike (kao političari).
- Nastavnici treba da bolje osmisle blokove od po 5 časova po jednosemestralnom predmetu i da tome prilagode nastavne materijale. Udžbenici sa uputstvima i brojnim primerima za inženjerska projektovanja su dobra rešenja.
- Akreditaciona procedura nije pravilno shvaćena. Ne posluju fakulteti prema uputstvima *Akreditacione komisije* da bi prošli i dobili akreditaciju. *Akreditaciona komisija* treba da utvrdi minimalan stepen usaglašenosti sa standardima. Niko ne zabranjuje fakultetima da posluju i mnogo bolje od tog minimuma.

4.2 Univerzitet – nepotrebne zablude (studenti)

- Nedovoljna iskorišćenost vremena po blokovima od 5 školskih časova po predmetu, kao i nerazumevanje opterećenja (engl: *workload*) za predispitne aktivnosti.
- Studenti se nisu dovoljno upoznali sa svim principima *Bolonjskog procesa*! Kao da ih malo interesuju!
- Studentski parlament ne funkcioniše uspešno na većini fakulteta i univerziteta. Studenti ne znaju svoju ulogu u upravljanju fakultetom i univerzitetom, pa zbog toga i nisu ozbiljni partneri u reformi.
- Izbori za Studentske parlamente fakulteta i univerziteta su skoro uvek neuspešni zbog male izlaznosti studenata. Posledice su neadekvatna zastupljenost svih godina studija i neuspešni mandati studentskih "lidera".
- Neslaganja i netolerancije između studentskih asocijacija i liderske ambicije studenata rukovodioca koji najradije preslikavaju nepovoljnu političku scenu Srbije.
- Prilikom izbora predmeta, modula i studijskih programa studenti uglavnom nemaju prave kriterijume. Ne uzimaju u obzir sadržaje predmeta, ishode (rezultate) učenja, znanja i veštine koje žele da steknu i kvalifikacije sa kompetencijama koje treba da dobiju.
- Protočnost studenata kroz univerzitet ne znači da treba da steknu umanjeno osećanje pripadnosti akademskoj instituciji koja im daje diplomu. Ta pripadnost se razvija kroz Alumni asocijaciju αMEß i njenim usvojenim programima i aktivnostima [6-13].
- Studenti ne znaju da su Bolonjskim procesom oslobođeni bubanja i reprodukcija i da su dobili vremenski resurs za inženjerski pristup u rešavanju problema.
- Studenti dugo nisu putovali u svet (nemaju ni pasoše). Svoja mišljenja su formirali u zatvorenoj sredini. Sada se biraju u ograničenom broju na putuju donacija! Umesto da se slobodno kreću kao slobodni građani sveta.

4.2. Industrija – nepotrebne zablude

- Ne postoji dovoljna zainteresovanost *Industrije* za saradnju sa univerzitetom. U procesu vlasničke transformacije *Industrija* je više zainteresovana za političare nego za eksperte sa *Univerziteta*.
- *Industrija* ne vidi veliku potencijalnu ulogu *Univerziteta* u povećanju vrednosti proizvoda i povećanju vrednosti industrije u tranziciji. Zato i postoje mnogi neuspešni tenderi, tranzicije i vlasničke transformacije.
- Poslovanje *Industrije* mora da se zasniva na ekonomskim i tehnološkim principima, a nikako na stalnom traženju novčanih pomoći od Vlade. Poslovanje treba da bude nezavisno od politike i stranke na vlasti.
- Novi vlasnici kupljenih preduzeća i industrija moraju da se obavežu za dalji razvoj proizvodnog sistema koji su kupili. A ne da seku i prodaju opremu, pa da još i dobijaju pomoć od Vlade! (Na primer, Magnohrom-Kraljevo)!
- Dekompozicija velikih sistema na mala i srednja preduzeća je prespora.
- *Industrija* nije upoznata sa integracionim trendovima Evrope i ne poznaje svoje potencijalne pozicije u međunarodnoj podeli rada.
- *Industrija* ne shvata značaj učešća njenih eksperata na naučno-stručnim skupovima, radi razmene ideja, rešenja i znanja. Ne neguje se inovaciona klima.
- *Industrija* nema kapacitete da bi definisala predloge međunarodnih projekata koje bi finansirala Evropska unija (na primer, FP7). U tome i u definisanju konzorcijuma projekata mora da pomogne *Univerzitet*.
- Potrebe privrede za ekspertima po novim studijskim programima i prema okvirima kvalifikacija nisu iskazane.
- Suviše dugo traje agonija nekih industrija i preduzeća.

5. KVALITET OBRAZOVANJA INŽENJERA

Primer postavljanja novog predmeta u uslovima reforme visokog obrazovanja (slika 3) obuhvata karakteristike predmeta, ishode predmeta i statistiku predmeta.

Predmet: **Kvalitet inženjerskog obrazovanja** (KIO-3.5.5)
Profesor: Dr **Žarko Spasić** (datum postavljanja 01.10.06)
Fond/ESPB/status: 5 časova / 6 bodova / izborni predmet
Predavanja: 416/IV, CeNT, Ikarbus; FAP - stručni treninzi
Mogućnosti: Završni rad.



Slika 3. Udžbenik za predmet [13]

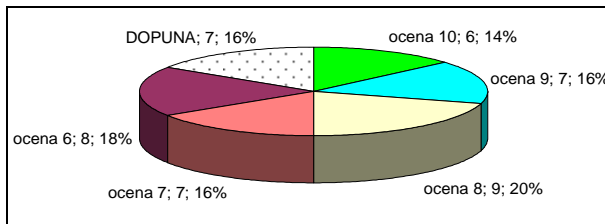
Ishodi predmeta (rezultati učenja): Polaganjem ispita student:

- Razume reformu univerziteta prema *Bolonjskim principima* i trendovima evropske integracije.
- Razume integrisani sistem kvaliteta univerziteta/fakulteta i predlaže poboljšanja.
- Usvaja nove metode učenja i izborom predmeta modelira svoj profil stručnosti.
- Učestvuje u aktivnostima upravljanja univerzitetom.
- Razvija kognitivne osobine budućeg kreativnog inženjera.

- Učestvuje u projektnim timovima studenata i eksperata.
- Razume pedagoški rad u srednjim stručnim i višim tehničkim školama.
- Kritički posmatra aktivnosti i relacije *Univerziteta i Industrije*.

Osnovna statistika predmeta ukazuje na veliki broj pasivnih studenata (14 studenata se nisu pojavili, 4 studenta su odustala na početku semestra) u odnosu na 62 studenta sa zvaničnog spiska *Studentske službe*. Razlog je prilagođavanje studenata sa zaostalim ispitima studiranju po principima *Bolonjske deklaracije*. To je uslovalo slabiju posetu studenata blokovima nastave, iako je novi princip "godina-za-godinu".

Na slici 4 su prikazani rezultati u prvom roku za 37 studenata (60%) koji su ispunili za predispitne aktivnosti.



Slika 4. Statistika rezultata ispita za predmet KIO

6. ZAKLJUČAK

U usporenoj i nedovoljno koordiniranoj reformi *Univerziteta* i politici (umesto tehnologijama i ekonomiji) orijentisanoj tranziciji i vlasničkoj transformaciji *Industrije* otežan je razvoj procesa obrazovanja mašinskih inženjera, a posebno inženjera proizvodnog mašinstva. Samo budući kreativni inženjeri mogu da smanje zaostajanja za prestižnim industrijama radi konkurentnosti na tržištu proizvoda, usluga, kapitala i znanja. Sa usvojenim standardima za evropske integracije *Univerzitet* predstavlja osnovnu instituciju za razvoj znanju orijentisanog društva sa ekspertima za nove kvalifikacije i poslovne izazove. Saradnja u zajedničkom EHEA+ERA prostoru je neophodnost, kako bi *Univerzitet* i *Industrija* definisali projekte prema evropskim prioritetima.

Reforma uspavanog *Univerziteta* je prespora i više formalna nego sa neophodnim inovacijama u metodama nastave, učenja i ocenjivanja. Definisanje prioriteta i ekspertsko predviđanje tehnološkog razvoja *Industrije* i zemlje takođe nedostaju. Zato u integracionim procesima Evrope kasnimo u odnosu na susedne zemlje koje, ulaskom u EU, još više povećavaju te razlike. Integrirani sistem obezbeđivanja kvaliteta je važan u relaciji "Univerzitet -- Industrija" koja uspostavlja poslovne i informaciono-komunikacione veze akademskih institucija (univerziteta, fakulteta/departmana/škole, instituti i centri) sa poslovnim okruženjem (industrija ili privreda). *Univerzitet* i *Industrija* predstavljaju važno poslovno okruženje jedno drugom, ali u međusobnoj saradnji imaju i zajedničko poslovno okruženje – svetsko tržište proizvoda, usluga i znanja.

Kreativni potencijal zemlje znatno se smanjuje stalnim odlivom mozgova (uglavnom tek diplomiranih eksperata) ka boljim uslovima rada i života. To doprinosi nepovoljnoj inovacionoj klimi u *Industriji* i na *Univerzitetu*.

Studenti nemaju potpune informacije o integracionim procesima Evrope, pa ih zato malo interesuje učešće u partnerskom upravljanju Univerzitetom, osim manjeg broja studenata koji često preslikavaju lošu političku scenu Srbije. Studijski programi i predmeti su pretpeli više formalne izmene bez uspešnog koordiniranja samog procesa reforme. Vreme od 5 školskih časova po predmetu mora da se osmisli aktivnijem učešćem studenata, kao i boljom pripremom i prilagođavanjem nastavnih materijala. Postavljeni predmet

Kvalitet inženjerskog obrazovanja treba da doprinese razumevanju i motivaciji budućih kreativnih i inovativnih mašinskih inženjera za nove kvalifikacije i rezultate učenja. Logika novih generacija inženjera mora da se razvije učenjem „po dubini“ za neophodna znanja, veštine i kompetencije koje omogućavaju identifikaciju i rešavanje inženjerskih problema. Zato je inertnom *Univerzitetu* potreban sistemski (ili inženjerski pristup u reformi), a ne spontani haos sa individualnim i ostalim prikrivenim otporima.

7. LITERATURA

- [1] Batt, J., *The EU's New Borderlands*, Centre for European Reform, London, 2003.
- [2] Bologna Declaration 1999: *Joint Declaration of the European Ministers of Education*, 2004.
- [3] European Council, *Thessaloniki Agenda for Western Balkans: Moving towards European integration*, Thessaloniki, 2001.
- [4] Compendium of documents 1988-2004: *Magna Charta Universitatum*, European Higher Education Area, CD, 2004.
- [5] Sorbonna Declaration 1998: *Joint Declaration on harmonisation of the architecture of the European higher education system*, 2004.
- [6] Spasić, Ž., Nedeljković, M., Bošnjak, S., Obradović, A., *Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu – Misija na putu ka evropskoj integraciji*, Mašinski fakultet, Beograd, 2003, str. 520.
- [7] Spasić, Ž., *Projektovane aktivnosti Alumni Fonda aMEß*, Uvodni rad, I Kongres Alumni Fonda Mašinskog fakulteta "Aktuelni zadaci mašinstva", Mašinski fakultet, Beograd, 2005, pp 15-22.
- [8] Spasić, Ž., Veljković, R., Ilić, B., Petrović, P., *Industry in Integrated Education and Research Space of Europe*, Leading paper, XII Conference on Industrial Systems – IS '05, FTN, Herceg Novi, 2005.
- [9] Spasić, Ž., *Modelling of Quality Assurance System in the Relation "University-Industry"*, IFNA-ANS International Journal, Problems of Nonlinear Analysis in Engineering Systems, No. 2(26), vol. 12, 2006. pp. 117-127.
- [10] Spasić, Ž., *Evropske integracije – Sudbina dezintegrirane Srbije*, Uvodni rad, 32. Jupiter konferencije, Mašinski fakultet, Zlatibor, 2006. CD: TF6 –TF17.
- [11] Spasić, Ž., Pilipović, M., *Mogućnosti Industrije i Univerziteta Srbije u evro-atlanskim integracijama – Trenutne alternative su perspektivnost ili besperspektivnost*, Uvodni rad, 33. Jupiter konferencije, Mašinski fakultet, Zlatibor, 2007.
- [12] Spasić, Ž., *Univerzitet i Industrija na predugom putu ka evropskim integracijama – Realne dileme i nepotrebne zablude*, Uvodni rad, 34. Jupiter konferencije, Mašinski fakultet, Beograd, 2008. TF7-TF24.
- [13] Spasić, Ž., *Integrirani sistem kvaliteta digitalnog univerziteta*, Monografija, Mašinski fakultet, Beograd, 2007, str. 516.
- [14] Weidenfeld, W., Wessels, W., *Europa von A bis Z*, Taschenbuch der europäischen Integration, Europa Union Verlag GmbH, Bon, 2002.

Autori: Prof. dr Žarko Spasić; Prof. dr Miroslav Pilipović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Kraljice Marije 16, 11000 Beograd, E-mail: zspasic@mas.bg.ac.yu mpilipovic@mas.bg.ac.yu

Rad je deo projekta „Primena inteligentnih senzorskih sistema u razvoju integrisane automatizacije realnih i virtuelnih procesa proizvodnog preduzeća“ (TR 14035) koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Srbije.

Bracanović, Z.

UTICAJ PONAŠANJA KORISNIKA NA INOVIRANJE PROIZVODA ILI USLUGA

Rezime: Svakodnevna borba za tržište, usled jake konkurencije, dovodi do niza promena koje mora da uslede kako bi se zadržao i pridobio novi korisnik. Bez obzira da li je u pitanju proizvod ili usluga, mora se imati u vidu stalno poboljšanje sa svih aspekata. Krajnji korisnik ima dominantnu ulogu u odnosu na proizvođača i on sa svojim potrebama i željama formira tržište. Da bi se tržišni potencijal uvećao potrebno je kontinualno pratiti korisnika, njegove potrebe i sugestije. Bilo koja vrsta proizvoda ili usluga može se tržišno uvećati tako što će se kroz algoritam pratiti krajnji korisnik i na taj način formirati niz aktivnosti za poboljšanje odnosno inoviranje proizvoda ili usluga. Obzirom da je različitost među korisnicima veoma izražajna što dovodi do složenosti problema. Prilaz rešavanju problema je veoma kompleksan i na treba zanemariti nijedan spoljni faktor. Tržište treba posmatrati kao stalno pomeranje korisnika u smislu potrebe, korisnosti, trajnosti, upotrebljivosti, funkcionalnost i vizualizacije. Da bi se zadovoljili zahtevi krajnjeg korisnika i osvojili novi poslovi kompanija ne samo da mora da ispuni ono što korisnik traži već mora da predvidi ono što će sledeće zahtevati ili u bliskoj budućnosti i to upakovati u proizvod ili uslugu.

Ključne reči: tržište, zahtevi korisnika, inovirani proizvod, predviđanje tržišnog potencijala.

INFLUENCE OF THE USER'S BEHAVIOUR ON INNOVATION OF PRODUCTS AND SERVICES

Abstract: Everyday competition for a market, due to strong rivalry, results in the sequence of changes which should result in order to keep and attract new user. Whether it is a product or a service, constant improvement should be taken into account from all aspects. The final user has a dominant role in relation to the manufacturer and he with his all needs and demands forms the market. In order to increase potential of the market, it is necessary to monitor the user constantly, his needs and suggestions. Any kind of product or service can be increased on a market by method of algorithm of monitoring the final user and in that way, the sequence of activities will be formed for improvement i.e. innovation of products and services. Variety of kind of users is significant which leads to complexity of problems. Approach of solving the problem is very complex and should not disregard any external factor. The market should be regarded as constant movement of the user in terms of needs, effectiveness, durability, usefulness, functionality and visualization. In order to meet demands of the final user and gain new businesses, company should not only fulfil demands of the user but should to anticipate next demands or in close future and that package in the form of a product or service.

Key words: market, users demands, innovative product, prediction of market potential.

1. POSMATRANJE TRŽIŠTA

Tržište je veoma kompleksno, promenljivo, dinamično, zahtevno i samo po sebi veoma nestabilno. Posmatranje tržišta postaje izuzetno složen problem i veoma se lako može dogoditi da radna organizacija izgubi uvid u uslove na njemu. Da bi se tržište lakše istraživalo i posmatralo moramo da ga segmentiramo i kao takvog analiziramo po segmentima u zavisnosti od potreba istraživanja proizvođača i/ili davaoca usluga.

Segmentiranje tržišta može da se definiše na osnovu merila a to su geografski položaj, demografske karakteristike, ukus korisnika, stavovi korisnika i kupovna praksa. Ovde sam navela samo neke od merila za segmentaciju tržišta ali veoma je bitno reći da za svaki segment postoji poseban marketinški pristup. Ono što ih objedinjuje sve segmente jesu korisnici odnosno korisnik, kao najmanji delić tržišta, bilo da je u pitanju proizvod ili usluga.

Najizražajnije istraživanje tržišta je kada se radi o oceni moguće potražnje za novim proizvodom, jer su tu najveće nepoznanice a i rizik.

Kada želimo da projektujemo novi proizvod odnosno plasiramo novu uslugu ili da inoviramo postojeći proizvod i/ili uslugu moramo predhodno sa upitamo tržište. Pitanja koja postavljamo tržištu su brojna, raznovrsna ali sva se svode na zahteve tržišta odnosno korisnika.

Korisnik treba da ima početnu i završnu ulogu u projektovanju i inoviranju proizvoda i/ili usluge. Zato se

posmatranje tržišta svodi na posmatranje korisnika u smislu zadovoljenja korisnika što podrazumeva njegove potrebe i želje u korišćenju proizvoda i/ili usluga.

2. ISTRAŽIVANJE ZAHTEVA KORISNIKA

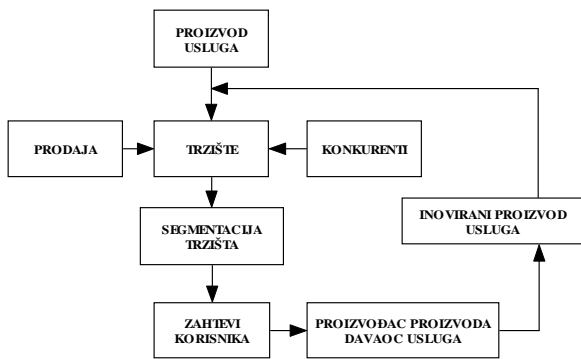
Kada je reč o inoviranom proizvodu i/ili usluzi, onda korisnik ima značajnu ulogu jer sumirani zahtevi potreba korisnika se transformišu u inovaciju proizvoda i/ili usluge.

Ključni elementi u istraživanju zadovoljstva kupca odnosno korisnika su :

- spisak odlika proizvoda i/ili usluge koje kupci koriste za procenu učinka svojih isporučilaca odnosno proizvođača.
- rejting koji pokazuje kako kupac sagledava učinak isporučioca u pogledu svake odlike proizvoda i usluge.
- rejting ukupnog zadovoljstva isporučioca.

Brojne analize su pokazale da je veoma teško ostvariti zadovoljstvo kod novog korisnika i pridobiti ga, nego zadržati već postojećeg korisnika.

Na slici 1. prikazana je blok šema koja omogućava prikaz toka aktivnosti i međusobnih uticaja tržišta, korisnika i proizvoda i/ili usluge. Takođe se ima uvid u pravce za prikupljanje informacija, koji su bitni za proizvođača i davaoca usluga, a sve u cilju inoviranja proizvod i/ili usluge odnosno prilagođavanja željama i potrebama korisnika posmatranog proizvoda i/ili usluge.



Slika 1. Blok šema uloge korisnika u inoviranju proizvoda

Kada imamo korisnike koji su zadovoljni upotrebom proizvoda i/ili usluge, onda je sigurno da ćemo dobiti još potencijalnih korisnika tog istog proizvoda i/ili usluge. Na našim prostorima važno je da se uspostavi neprekidna veza između proizvođača i/ili davaoca usluge sa krajnjim korisnikom odnosno da se prati zadovoljstvo korisnika kroz razne ankete.

Raznovrsni anketni planovi po osnovu aktuelnih aspekata, treba da postanu deo marketinške strategije u prodaji proizvoda odnosno realizaciji usluge, i da se te aktivnosti implementira u deo života proizvoda i/ili usluge. Na ovakav način imamo produžetak ciklusa života jednog proizvoda i/ili usluge a istovremeno možemo da planiramo buduće razne aktivnosti vezane za istraživanje proizvod i/ili uslugu. Za svakog proizvođača i davaoca usluge je značajno da proizvod i/ili usluga što duže opstaju na tržištu.

3. ALGORITAM ZA PRAĆENJE KORISNIKA

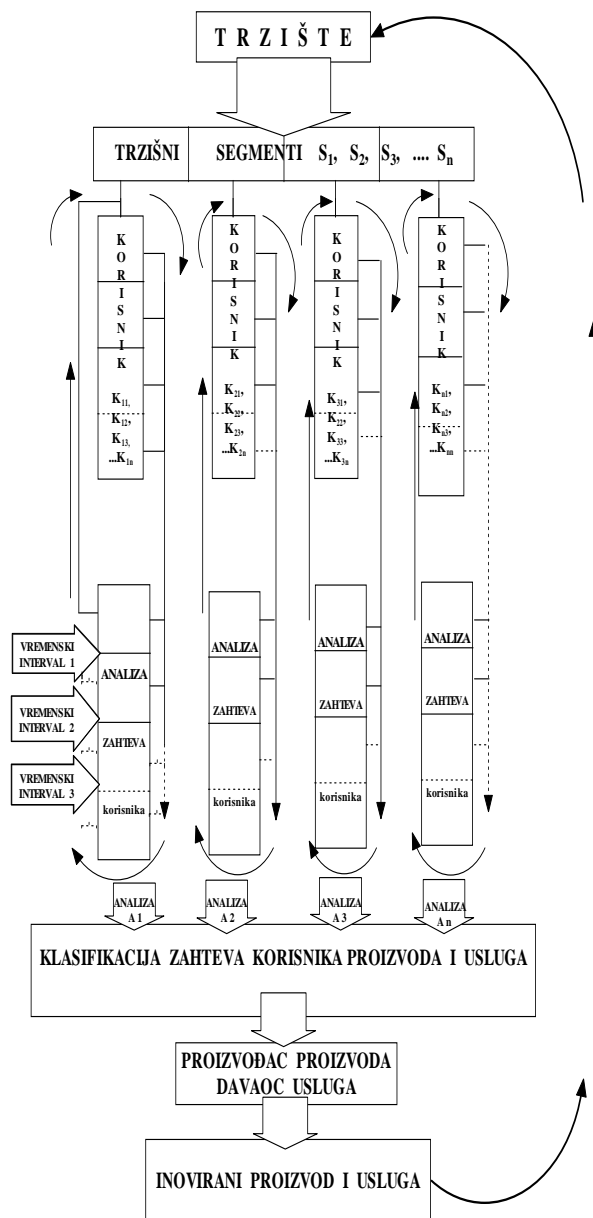
Za konceptualnu procenu potrebe kupca koriste se činjenice umesto predviđanja. Taj proces omogućava da se prilikom promene postojećih proizvoda uzmu u obzir promenljivi zahtevi kupaca i definišu usluge koje zahtevaju kao podršku za kupovinu tog proizvoda i/ili korišćenja usluge.

Algoritam koji je prikazan na slici 2. transparentno i detaljno pokazuje kako i šta treba uraditi da bi potrebe korisnika bile uvažene a proizvod i/ili usluga dobili duži vek trajanja [1].

Kada imamo poznato i definisano tržište na kome se prodaje odnosno koristi posmatrani proizvod i/ili usluga, moramo kontinualno pratiti plasmane prodaje, posmatrati zahteve tržišta i uvek težiti poboljšanju proizvoda i/ili usluge. Obzirom da je tržište veoma kompleksno, raznovrsno i iznad svega vrlo promenljivo, potrebno ga je razvrstati po mnogim osnovama koje definišemo u određenim tržišnim segmentima. Broj tržišnih segmenata ($S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$) zavisi od vrste proizvoda i/ili usluge, kao što je i prikazano na slici 2.

Za svaki tržišni segment potrebno je imati određeni marketinški plan, koji će korisnicima proizvoda i/ili usluge omogućiti pristup proizvođaču i/ili davaocu usluga. Taj pristup mora biti stvaran, iskren, sveobuhvatan, raznovrstan, istančan jer mora se postaviti trajna veza odnosno neprekidna obostrana komunikacija između proizvođača i/ili davaoca usluga i krajnjeg korisnika proizvoda i/ili usluge. Kada se uspostavi i održi takva komunikacija korisna za obe strane, onda se može govoriti o budućem plasmanu proizvoda i/ili usluge i zadovoljstvu korisnika.

Da bi se imao uvid u sve nivoe komunikacije na relaciji proizvođač - davaoc usluge – korisnik, moraju se napraviti planovi za razne ankete, koje će se sprovesti među korisnicima proizvoda i/ili usluge.



Slika 2. Algoritam uticaja korisnika na inovirani proizvod i/ili uslugu

Kao što je prikazano na slici 2. broj korisnika ($K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$) koji se anketiraju odnosno veličina uzorka korisnika potrebna za ispitivanje, zavisi od same procene vode projekta a uslovljena je opisom tržišnog segmenta i faktorima koji figuriraju na tržištu.

Glavni elementi potrebni za određivanje veličine uzorka jesu homogenost celine i zahtevani nivo detaljnosti i tačnosti finalne analize. Prilikom korišćenja statističkih uzoraka veličina uzorka se određuje zavisno od dozvoljene tolerancije i nivoa pouzdanosti rezultata. Veličina uzorka se povećava sa smanjenjem dozvoljene tolerancije i povećanjem nivoa pouzdanosti. Postupak uzimanja uzorka je egzaktna nauka, ali kada je reč o istraživanju tržišta onda se primenjuje pragmatično.

Kao što se vidi na slici 2. broj tržišnih segmenata određuje se u zavisnosti od vrste i namene proizvoda odnosno usluge. Svaki tržišni segment ima određenu grupaciju uzorka krajnjih korisnika namenjenih za istraživanje na osnovu čega se definiše broj potrebnih ispitanika za posmatranu anketu.

Grupacije uzorka korisnika potrebnih za anketu mogu se deliti po polu, starosnoj dobi, bračnom statusu, porodičnoj strukturi, nivou prihoda, mestu stanovanja i dužini korišćenja

proizvoda i/ili usluge.

Na osnovu definicije tržišnog segmenta i njegovih okvira koji ga karakterišu, potrebno je napraviti adekvatnu ispitnu anketu sa kratkim i jasnim pitanjima. Vremenski interval za koje anketirani korisnik treba da odgovori na postavljena pitanja mora biti optimalnog trajanja odnosno u granicama od tri do pet minuta. Sva ta pitanja moraju biti korisniku zanimljiva i interesantna a istovremeno moraju držati pažnju u vremenskom intervalu dok traje anketiranje, tako da korisnik poželi još nešto reći što nije obuhvaćeno trenutnom anketom. Kada se postigne takav odnos anketiranog korisnika, može se konstatovati da su anketna pitanja adekvatna a anketa vrlo uspešna i pogodna za dalja analiziranja.

Sva tržišna istraživanja moraju biti unapred definisana brojem i vrstom pitanja, dužinom trajanja samog toka intervjua korisnika. Istovremeno je od značaja broj dana potrebnih da se posmatrani uzorak korisnika ispita kao i da se naznače sva mesta gde će se vršiti anketa odnosno ispitivanje. Kada se govori o mestu anketiranja korisnika proizvoda i/ili usluge to može biti okvirno prodavnica, agencija, veliki tržišni centri, prometne ulice i parkovi. Istovremeno se mora jasno odrediti koliko će se puta ponoviti anketa i u kojim vremenskim intervalima.

Na slici 2. je prikaz dat sa strelicom i naznakom vremenski interval (1,2,3,...n), koji u svojoj sadržini ima sledeća vremenska ograničenja :

- vreme potrebno za intervju korisnika,
- broj dana za održavanje intervjua uzorka,
- vremenski interval za koji će se ponoviti intervju,
- koliko puta će se ponoviti intervju,
- u koje doba dana će se održavati intervju,

Ovo su samo neke od opcija vremenskih ograničenja koje vremenski interval ima u svojoj osnovi, jer raznovrsnost vremenskih definicija zavisi od vode projekta.

Svi intervjui krajnjih korisnika se analiziraju a završne analiza svih zahteva korisnika, po zadatim vremenskim intervalima, predviđenim tržišnim segmentima kao i adekvatnim brojem ispitanika u definisanom uzorku, prikazani su na slici 2. i obeležene sa (A1, A2, A3 ,... An). Za analiziranje koriste se već poznati matematički modeli. Kada su završene analize zahteva korisnika, njihovih potreba kao i nedostataka posmatranog proizvoda i/ili usluge, vrši se klasifikacija istih po raznim osnovama.

Osnove za klasifikaciju zahteva korisnika mogu biti : upotrebljivost, praktičnost, prilagodljivost, ponovljivost, pakovanje, cena, snabdevenost tržišta, garancija, olakšice pri kupovini, tehnička podrška i kompatibilnost.

Sastavljena lista zahteva korisnika je značajan, merodavan i trenutni pokazatelj za proizvođača i/ili davaoca usluga, na osnovu koje se mogu doneti razne odluke.

Kakve će promene proizvođač i/ili davaoc usluga da sprovede na svom proizvodu i/ili usluzi da bi inovacija bila što kvalitetnija zavisi od većine zahteva kao i od prioriternih želja i potreba korisnika. Proizvođač i/ili davaoc usluga mora da napravi biznis plan koji će pokazati koliko treba uložiti i

koliko će profit biti ostvaren, za svaku od mogućih odabranih inovacija, u nekom predviđenom vremenskom intervalu kada se inovirani proizvod i/ili usluge pojavi na tržištu.

Kao što je prikazano algoritmom na slici 2. može se videti kako svaki inovirani proizvod i/ili usluga kada se pojave na tržištu, iziskuje pažljivo praćenje i istraživanje tržišta sa aspekta zadovoljstva korisnika. Istraživanje tržišta i korisnika se nastavlja po istim ciklusima prikazanim algoritmom ali uvek ostaju prostori za uvođenje novih modela analiziranja koje će omogućiti lakši prilaz do verodostojnijih podataka.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Tržište na našim prostorima je u periodu tranzicije i malo je proizvođača i/ili davaoca usluga koji posvećuju pažnju korisnicima njihovih proizvoda i/ili usluga.

Uglavnom proizvođači i/ili davaoci usluga bilo koju odluku o inoviranu proizvoda i/ili usluge baziraju na osnovu svojih novčanih prilika a ne na osnovu postojećih konkurenata i potreba korisnika.

Usled takvog pristupa, nestručne i površne procene zahteva tržišta i učešća na tržištu, proizvođači i/ili davaoci usluga imaju nestabilne pozicije i plasmene kod krajnjih korisnika. Naravno ta se reflektuje kroz neuspehe u svim vidovima poslovanje kao i na slab profit.

Da bi otklonili ove nedostatke proizvođači i/ili davaoci usluga moraju da se okreću ka tržištu, da usklade svoje mogućnosti sa analizama potreba tržišta sa aspekta ponašanja krajnjih korisnika.

Zato sam kroz moja izučavanja i istraživanja napravila jedan od algoritama koji bi trebao da svakom proizvođaču i/ili davaoca usluga pomogne pri donošenju odluka za inoviranje proizvoda i/ili usluge.

Ovim radom želim da pokažem kako je od izuzetnog značaja za proizvođača i/ili davaoca usluga važno mišljenje krajnjeg korisnika. Kreiranje inoviranih proizvoda i/ili usluga kroz prizmu želja i potreba korisnika, povećava zadovoljstvo korisnika koji to zadovoljstvo dalje širi.

5. LITERATURA

- [1] mr Zlata Bracanović,dipl.inž.razvoja, Magistarski rad, Zrenjanin 2006.
- [2] Milena Dragičević, Branimir Stojković, *Kultura menadžmenta*, - Beograd 2007.
- [3] Filip Kotler, *Kako kreirati, ovladati i dominirati tržištem*, prevod, Novi Sad1999
- [4] Chris West, *Marketing research*, Originally published by Palgrave Publishers Ltd. 1999.
- [5] Filip Begen, *Psihologija u marketingu* - prevod, Beograd 2004.

Autori: mr Zlata Bracanović dipl. inž. razvoja, Institut IMR-a, Patrijarha Dimitrija 7-13,Rakovica, Beograd, Tel / fax : 011-3564-031.

E-mail: office@imr-institute.co.yu
zlatabracanovic@yahoo.com

Ćosić, I., Hodolić, J., Lazarević, M.

DEMONTAŽA I RECIKLAŽA PROIZVODA

Rezime: Demontaža i reciklaža, kao procesi, postali su izuzetno važne aktivnosti kojima se pokušavaju rešiti problemi otpada i iskorišćavanja neobnovljivih prirodnih resursa. Potreba za demontažom i reciklažom proizvoda se sve više nameće. Proces demontaže predhodi procesu reciklaže i on omogućava selekciju komponenti na one koje je moguće ponovo koristiti, koje nije moguće reciklirati i opasnih komponenti od onih komponenti koje je moguće reciklirati. Znanja u navedenim područjima se sve više unapređuju a način i kvalitet kojim se ona prate su neodgovarajući. Tempus projekat, čije je zvanično ime „Obuka institucija u okviru savremenih pristupa i tehnologije za očuvanje životne sredine“ (eng. Training of Institutions in Modern Environmental Approaches and Technologies - TIMEA) ima upravo za cilj stvaranje institucionalne baze koja će kroz različite kurseve sistematizovano razvijati kontinualnu edukaciju za očuvanje životne sredine a takođe i u područjima demontaže i reciklaže.

Ključne reči: demontaža, reciklaža, strategije, kontinualno obrazovanje

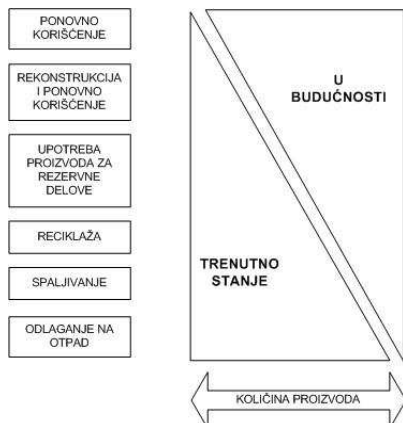
DISASSEMBLY AND RECYCLING OF PRODUCTS

Abstract: In an attempt to solve the problem of waste and slow down the depletion of non-renewable natural riches, disassembly and recycling has become increasingly important. Demands for disassembly and recycling of products are increasing. Disassembly process precede to recycling process, and enables component selection, on those which is possible to use again, which is not possible to recycle and dangerous components, from those which is possible to recycle. The progress of knowledge and technologies in the areas specified are more and more developing, and the way and quality how they penetrate in rigid education system are not appropriate. Tempus project, with official name is "Training of Institutions in Modern Environmental Approaches and Technologies - TIMEA" the main idea behind the platform is to create an institutional basis which will, thru different courses, systematically develop the continuing engineering education in the area of environmental protection, and also in the areas of disassembly and recycling.

Key words: disassembly, recycling, strategies, continuing education

1. UVOD

U pokušaju da se reši pitanje otpada i uspori osiromašenje neobnovljivih prirodnih bogatstava demontaža je naglo dobila na značaju. Naime, došlo se do zaključka da bi veliki broj proizvoda koji dospeva na otpad (zadnja i uobičajena završna faza životnog veka većine proizvoda), sada trebao prolaskom kroz proces demontaže i rastavljanjem na elementarne komponente preusmeriti u najvećem obimu ka sistemima za obnovu, doradu i reciklažu. Samo mali procenat (po mogućstvu i njega svesti na nulu) treba da završi na uobičajeni način - na otpadu (Slika).



Slika 1. Hijerarhija upravljanja proizvodima na kraju životnog veka

Na taj način pojam demontaže postaje nezaobilazna karika u lancu za ostvarenje jednog cilja - održivog razvoja. Za

ostvarenje održivog razvoja razvijene su i prihvaćene različite strategije, koncepti, tehnike i alati. U svakom od navedenih može se primetiti da je demontaža nezaobilazna stepenica u nastojanju da prirodu i njena bogatstva planski koristimo, a svet koji ostavljamo iza sebe bude lepši.

U radu će biti date osnove vezana za pitanja procesa i savremenih trendova u području demontaže i reciklaže kao logičnog nastavka procesa demontaže. Takođe, biće prikazane osnovne ideje i ciljevi Tempus projekta TIMEA, kao jednog od prvih koraka koji ima za cilj sistematizovan razvoj kontinualne edukacije za očuvanje životne sredine a takođe kroz odgovarajući kurs i u područjima demontaže i reciklaže.

2. DEMONTAŽA KAO POSLEDICA WEEE DIREKTIVE

Perspektiva za proizvode koji su došli do kraja upotrebog veka danas je u značajnoj meri izmenjena u odnosu na onu kakva je bila pre samo 10 do 15 godina. U velikom broju zemalja propisani su zakoni, za upravljanje zastarelim proizvodima, koji su usklađeni sa odgovarajućim direktivama čije je donošenje imalo za cilj stvaranje perspektive održivog razvoja. Tim zakonima se zabranjuje odlaganje proizvoda, koji su došli do kraja životnog veka, na otvorene otpade. Ovim pravnim aktima su uglavnom obuhvaćeni električni i elektronski proizvodi (WEEE direktiva) [4].

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) direktiva, i kao njen sastavni deo strategija *product take back* su podrška nastojanju da reciklaža proizvoda bude što efikasnija.

Direktiva WEEE ima širok opseg i obuhvata skoro svu električnu i elektronsku opremu koju koriste privatna lica ili je namenjena za profesionalnu upotrebu, a može završiti na komunalnim otpadima, uključujući proizvode koji se prodaju u EU iz uvoza, kao i proizvode kupljene elektronskim putem. Postoji deset kategorija proizvoda [4]:

1. Veliki aparati za domaćinstvo (frižideri, veš-mašine, šporeti,...);
2. Mali aparati za domaćinstvo (usisivači, tosteri,...);
3. Informaciona i telekomunikaciona oprema (kompjuteri i prateća oprema, mobilni telefoni, kalkulatori,...);
4. Roba za potrošače (radio, televizori, muzički uređaji,...);
5. Osvetljenje (fluorescentne lampe, natrijumske lampe,...);
6. Električni i elektronski alati (bušilice, testere, mašine za šivenje,...);
7. Igračke, oprema za sport i rekreaciju (električni vozići, video-igre,...);
8. Medicinski uređaji (aspiratori, oprema za kardiologiju i radiologiju,...);
9. Uređaji za nadzor (detektori dima, termostati, kontrolne table,...);
10. Automati (uređaji koji izdaju proizvode kao što su topli napitci,...).

Imajući u vidu značaj WEEE direktive i listu proizvoda koje ona obuhvata, jasno je zašto se procesi demontaže nameću kao potreba.

3. OSNOVE DEMONTAŽE PROIZVODA

Pošto sa različitim vrstama proizvoda može različito postupati pre njihove konačne prerade potrebno je sa njima raspolagati na adekvatan način. Proučavanja vezana za strategije kraja životnog veka proizvoda su vrlo brojna. Najprihvatljivija i po svom karakteru sveobuhvatna klasifikacija kraja životnog veka (EoL strategije - End of Life strategies) proizvoda je [2]:

1. Ponovno korišćenje upotrebljivanih proizvoda;
 2. Rekonstrukcija upotrebljivanih proizvoda;
 3. Korišćenje upotrebljivanih proizvoda za rezervne delove;
 4. Reciklaža sa demontažom;
 5. Reciklaža bez demontaže;
- Deponovanje upotrebljivanih proizvoda.

Po izboru odgovarajuće strategije za dati proizvod i sekvencijalnog izvršavanja pojedinih zahvata (operacija) demontaže neophodno je izvršiti selekciju demontiranih komponenti (delova/podsklopova). U osnovi razlikujemo sledeće mogućnosti za selekciju komponenti po izvršenoj demontaži:

1. opasne komponente - materijali (H (hazard)),
2. reciklaža materijala (R),
3. ponovo upotrebiti (P),
4. doraditi, (D),
5. spaljivanje (S ili I (incineration)),
6. odlaganje na otpad (W (waste)).

Sistemske procesi, kao što je demontaža, omogućavaju da se ponovo upotrebljive, ne reciklirajuće i opasne komponente selektivno odvoje od onih koje je moguće reciklirati. Proces demontaže planiran na pravi način, zajedno sa reciklažom i odlaganjem na otpad, može u velikoj meri doprineti da se na najbolji mogući način upravlja proizvodima tokom njihovog životnog veka.

3.1 Uticajni faktori na proces demontaže

Da bi reciklirali ili ponovno preradili proizvode na kraju životnog ciklusa, oni moraju biti prethodno demontirani. Za efektivno izvršenje procesa demontaže, tehnološki postupak demontaže se uspostavlja posle potpunog utvrđivanja uticajnih faktora na demontažu. Uticajni faktori na demontažu su [6]:

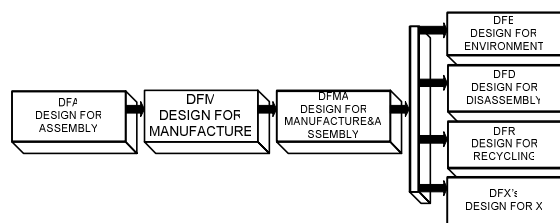
- materijali i delovi (opasni materijali, vredni - skupi materijali, delovi ponovo upotrebljivi),
- struktura i veze (tip delova, broj delova, način spajanja),
- metod demontaže (nedestruktivni, delimična destrukcija, destrukcija),
- troškovi demontaže (vreme demontaže, lokacija demontaže),
- stanje demontiranih delova (stepen čistoće, stepen erozije u vezi, nivo kvaliteta recikliranih delova),
- podaci tehnološkog postupka demontaže (količina, postojeći demontažni sistem, Isplativost),
- upotrebljena tehnologija (tehnika regeneracije, metoda deponovanja, ponovno korišćenje, troškovi ponovne obrade (reprocesiranje)),
- oprema za demontažu (mašine za demontažu, alati za demontažu, pribori za demontažu),
- tehnološki postupak demontaže,
- proces demontaže (sadržaj operacije, pravac demontaže, sila demontaže, napomene).

Uticajni faktori se koriste kao kvalitativni i/ili kvantitativni kriterijumi evaluacije sa različitim težinom prema važnosti uticaja na odluku u svakom koraku.

4. DIZAJN ZA DEMONTAŽU I RECIKLAŽU

Da bi smo povezali dva kraja životnog veka proizvoda, projekti proizvoda moraju zadovoljiti ne samo funkcionalne specifičnosti, već takođe treba da ih je lako montirati, demontirati i da poseduju mnogobrojne druge attribute generalno označenih kao "X".

Ovo je vodilo ka pojavi koncepta tzv. "Design for". Koncept pokriva široki spektar projektnih specifičnosti, npr. Design for Assembly (DfA), Design for Disassembly (DfD), Design for Manufacturing (DfM), Design for Quality (DfQ), Design for Recyclability (DfR), itd.

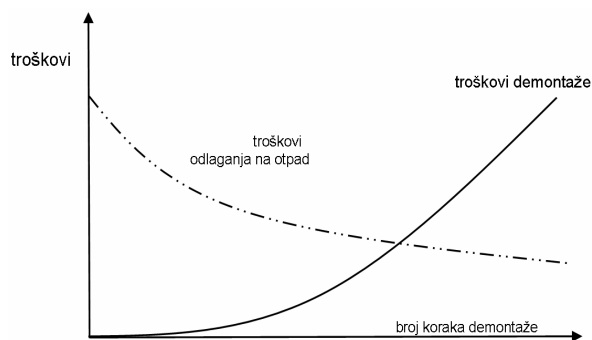


Slika 2. Istorijski redosled razvoja DFX i hijerarhija u primeni [1]

Koncept dizajna za demontažu (Design for Disassembly (DfD)) u današnje vreme sve više dobija na značaju. DfD treba da smanji broj potrebnih koraka i složenost postupka demontaže. Većina proizvoda može biti demontirana. Vremenski duge demontaže nisu ekonomične, pošto troškovi demontaže tada prevazilaze dobiti stečene kroz reciklažu delova i materijala proizvoda (Slika 3.).

DfD projektovanje nam služi da proizvod bude pogodniji za njegove korisnike i pomogne im pri njegovom održavanju i servisu, kao i pri njegovom rukovanju na kraju životnog veka proizvoda.

Dva područja istraživanja se mogu smatrati podskupom DfD a to su: dizajn za okolinu (Design for the Environment (DfE)) i dizajn za reciklažu (Design for Recycling (DfR)).



Slika 3. Uticaj kompleksnosti postupka demontaže na troškove

Reciklaža je pojam koji se uglavnom odnosi na *reciklažu proizvoda i reciklažu materijala*.

Reciklaža proizvoda podrazumeva ponovno korišćenje starih ili popravljenih proizvoda ili pojedinih delova sa istom ili nekom drugom namenom. Prednosti koje reciklaža proizvoda pruža su da svaki put kada je neka komponenta (deo ili sklop) ponovo korišćena, celokupna energija i emisija u okolinu koja nastaje pri proizvodnji kao i potrošnji pri preradi materijala, biva izbegnuta, odnosno u značajnoj meri umanjena. *Ponovno korišćenje* se može definisati kao sekundarno korišćenje proizvoda ili, u većini slučajeva, delova-komponenti, u novim, popravljenim ili servisiranim proizvodima.

Reciklaža materijala se odnosi na reciklažu proizvoda kroz procese prerade njegovih osnovnih materijala za proizvodnju novih ili nekih drugih proizvoda.

U suštini, demontaža i reciklaža se ne mogu posmatrati odvojeno. Razvoj u području demontaže je od velikog značaja za procese reciklaže i obratno.

5. ISTRAŽIVANJA PROCESA DEMONTAŽE

Kao rezultat teorijskog i eksperimentalnog proučavanja sistema za demontažu, nametnuli su se po svom značaju neki od specifičnijih pravaca istraživanja koji bi u budućnosti trebalo više proučiti:

- kreiranje odgovarajućih baza podataka, u kojima će se nalaziti informacije o proizvodima koje je potrebno demontirati na kraju životnog veka,
- ispitati problem razmene i dostupnosti informacija o proizvodima,
- razvoj softvera za planiranje procesa demontaže zasnovan na analitičkim algoritmima za upravljanje procesima demontaže,
- razvoj softvera za planiranje procesa koji integriše ekspertne sisteme i baze znanja da bi pomogli inženjerima u donošenju odluka u procesu demontaže. Baze znanja materijala i pribora će obezbediti planerima procesa bolje mogućnosti za procenu vremena rada, potrebne alate i stepen mogućeg iskorišćenja materijala iz svakog od proizvoda,
- proizvodi stižu u sistem za demontažu u širokom opsegu količina i kvaliteta. Trenutni problem je pojačan činjenicom da sakupljanje korišćenih proizvoda nije regulisano zakonom. Kada skladište korišćenih/odbačenih proizvoda nije postavljeno na centralnoj lokaciji, oni dolaze u sistem bez ikakvog reda. Da bi operacije bile izvedene na isplativ način, trebaju biti pažljivo planirane. Odnos između ekonomičnosti i procesne fleksibilnosti treba da bude pažljivo proučen,
- istražiti klasifikaciju sistema za demontažu prema broju proizvoda i proizvođača: (jedan proizvod/više proizvođača; više proizvoda/jedan proizvođač i više proizvoda/više proizvođača), i
- razviti odgovarajuće sisteme i alate za efikasnu procenu

ekonomičnosti / dobiti od postupka demontaže kao i celog postupka reciklaže proizvoda i materijala.

Napredak u oblasti zaštite životne sredine je veoma brz, i konstantno se razvijaju novi pristupi i tehnologije za smanjenje zagađenja i otpada, kontrolu i preradu otpada. Na osnovu napred navedenog može se uočiti velika širina područja istraživanja koje zahvataju samo pitanja demontaže i reciklaže.

Da bi se obezbedio dovoljan prodor najnovijih saznanja iz oblasti demontaže i reciklaže, i omogućilo njihovo širenje u što veći broj institucija, nameće se zaključak o potrebi obezbeđivanja platforme za razvoj efikasnih institucionalnih platformi za kontinualno obrazovanje u oblasti zaštite životne sredine, kontrole i prerade otpada. Tempus projekat - TIMEA bi trebao da omogući uspešan početak aktivnosti iz platforme kako bi se stvorili uslovi za buduće operacije zasnovane na samofinansiranju.

6. KONTINUALNO OBRAZOVANJE - PROJEKAT „TIMEA“

6.1 Pozadina projekta

Zakonska i institucionalna osnova Srbije se približava nivou zemalja EU. Međutim, još uvek postoji jaz između Srbije i zemalja EU na polju primene standarda životne sredine i tehnologija. Jedan od glavnih razloga kašnjenja primene je nedostatak stručnih lica i nedovoljne mogućnosti obuke i ponovne obuke za pomenute profesionalce.

Ovaj projekat ima sledeće šire ciljeve:

- doprinos unapređenju očuvanja životne sredine i kontrole otpada u Srbiji,
- ubrzanje razvoja i usvajanja zakona, regulativa i drugih potpornih mera vezanih za očuvanje životne sredine što vodi ka usklađivanju nacionalnih zakonskih regulativa Srbije kao i standarda životne sredine sa onima u EU kao deo strategije Srbije pred pristupanje EU.

Ostvarenje ovog cilja zavisi od novih investicija u oblasti očuvanja životne sredine kao i povećanje nivoa znanja i iskustva profesionalaca aktivnih u ovoj oblasti.

Ovaj projekat se fokusira na jedan bitan segment edukacije - kontinualnu edukaciju u sferi inženjerstva. Za ovakvu edukaciju u Srbiji nedostaju odgovarajuće institucionalne osnove i ne postoji dovoljan prodor najnovijih saznanja i iskustva u srpske institucije i industrijska preduzeća. Prema tome FTN Univerziteta u Novom Sadu odlučio je da ustanovi platformu za kontinualnu edukaciju u sferi inženjerstva (PCE - Continuing Engineering Education) u okviru ovog projekta. Fokus platforme je usmeren ka zaštiti životne sredine i odgovarajućim tehnologijama koji bi trebali da budu prisutni u savremenoj kontinualnoj edukaciji na sistematičnoj osnovi.

6.2 Pojedinačni (specifični) ciljevi projekta

Specifični ciljevi projekta „TIMEA“ su:

- unapređenje postojećih sistema kontinualne edukacije u sferi inženjerstva u Srbiji,
- razvoj naprednih kurseva kontinualne edukacije sa akcentom na praktični deo, u okviru evropskih direktiva i standarda životne sredine, kontrole otpada i savremenih tehnologija vezanih za životnu sredinu,
- obuka profesionalnih lica iz Srpskih institucija i preduzeća u okviru evropskih direktiva i standarda životne sredine, kontrole otpada i savremenih tehnologija vezanih za životnu sredinu.

U cilju postizanja specifičnih ciljeva projekata, biće primenjena sledeća metodologija:

- razvoj istraživačkih radova (human research development);
- utvrđivanje razvojnih timova i kurseva kontinualne

edukacije.

Razvoj ljudskih resursa je ključan za uspeh projekta kako bi se usvojili i prilagodili najbolji primeri sa evropskih univerziteta, ali i da bi se učilo iz njihovih projekata ili aktivnosti koje nisu bili uspešni. Prema tome, članovi akademskog osoblja srpskih partnerskih Univerziteta kao i predstavnici srpskih institucija koji imaju ključnu ulogu na nacionalnom ili regionalnom nivou biće obučeni u saradnji sa institucijama – partnerima iz EU.

6.3 Sadržaji pilot kurseva

Teme za probne kurseve su identifikovane u osnovama prethodnih diskusija sa ekspertima angažovanim na projektu kao i sa ekspertima iz srpskih institucija i industrije. Sa obzirom na aktuelne potrebe naše ciljne grupe, odabrane su sledeće glavne teme probnog kursa:

(i) Eko Upravljanje (ISO 14000 serija standarda); (ii) Ekološko projektovanje i održivi razvoj u mehaničkom konstruisanju; (iii) Održivo upravljanje otpadom; (iv) Proizvodi na kraju životnog veka, demontaža i reciklaža; (v) Ekološko označavanje proizvoda; (vi) Zagađivanje okoline, zagađivači i njihova eliminacija.

Svaki razvojni tim će razviti nastavni program i nastavni materijal za odgovarajući probni kurs, i biće potpomognut od strane drugih eksperata ako se za tim ukaže potreba.

(i) Eko Upravljanje (ISO 14000) za koji su odgovorni čelni/EU, Univerzitet u Novom Sadu i TU Košice. Istorija i razvoj eko-upravljanja sistema, njihove karakteristike i struktura, predmet i osnovni koncepti u najnovijem evropskom zakonodavstvu, uslovi za učešće u EMAS akreditaciji, sertifikaciji, verifikaciji i registraciji Ekološkog Upravljačkog Sistema (EMS- Environmental Management System), integrisanje sistema upravljanja.

(ii) Ekološko projektovanje i održivi razvoj u mehaničkom konstruisanju, za koji su odgovorni čelni/EU, Univerzitet u Novom Sadu i TU Košice. Pokazatelji opravdanosti ekološkog projektovanja, osnovnih principa i njihova integracija u tehnički razvoj objekata. Integracija principa ekološkog projektovanja u upravljanje životnim ciklusom proizvoda. Ekonomija ekološkog projektovanja.

(iii) Održivo upravljanje otpadom za koji su odgovorni čelni/EU, Univerzitet u Novom Sadu i TU Košice. Održivo upravljanje otpadom je sastavni deo upravljanja resursima, osnovni deo postupka upravljanja otpadom (logistički, biohemijski, hemijski, mehanički i termalni postupak), mesto za odlaganje, strategije i koncepti upravljanja otpadom, podrška odlučivanju i proceni sistema upravljanja otpadom.

(iv) Kraj životnog veka proizvoda demontaža i reciklaža za koji su odgovorni čelni/EU Univerzitet u Novom Sadu i STU Bratislava. Demontaža proizvoda i ciljevi demontaže/reciklaže, kraj životnog veka proizvoda, strategije za proizvode, reciklaža različitih materijala, implementacija WEEE & RoHS direktiva u nekoliko zemalja – studije slučaja.

(v) Ekološko označavanje proizvoda za koji su odgovorni čelni/EU, Univerzitet u Novom Sadu i Univerzitet u Ljubljani (EU). Standardi eko-označavanja, procedure šema eko-oznaka, ekološka i ekonomska iskustva eko-označavanja, EU šeme eko-označavanja, dobri praktični primeri i studije slučaja.

(vi) Zagađivanje okoline, zagađivači i njihova eliminacija, za koji su odgovorni čelni/EU, Univerzitet u Novom Sadu i TU Košice. Vrste zagađivanja i zagađivača i njihova osnovna klasifikacija, oprema za zaštitu okoline od zagađivača, ekonomija zaštite okoline, praktični primeri i studije slučaja.

Kursevi koji će biti razvijeni u okviru projekta trebalo bi da pomognu njihovim učesnicima: (i) da se prilagode promenljivim zakonodavnim uslovima i tehnološkom razvoju; (ii) da razviju efikasnu i novu politiku i strategije

prema prirodnoj okolini; (iii) da iniciraju i upravljaju novim projektima; (iv) da povećaju međunarodne kontakte i razmenu iskustava na međunarodnom nivou.

Kursevi razvijeni u okviru projekta treba da sačinjavaju sveobuhvatni trening program. Međutim, učesnici takođe mogu pohađati samo pojedinačno odabrane kurseve od većeg broja ponuđenih. Učešće u odabranim kursovima omogućava profesionalcima da nadgrade i dobiju nova znanja iz određenih oblasti koje odgovaraju njihovim stvarnim profesionalnim potrebama.

Učestvovanje u svim kursovima programa, daje učesnicima kompleksan opšti pogled na glavne oblasti upravljanja i tehnologija. Trajanje pojedinačnih kurseva će varirati između 25 i 35 nastavnih časova. Svaki kurs će se okončati sa završnim ispitivanjem, u formi testa, kratko pisanih teza ili aktuelnoj studiji slučaja. Probni kursevi će biti izvedeni uz fizičko prisustvo predavača. Razvijeni nastavni materijal će biti odštampan u Srbiji. Osim toga, nastavni materijal kao i drugi pomoćni materijali i informacije biće dostupni na veb-stranama platforme za kontinuirano obrazovanje kao i na CD/DVD medijima.

7. ZAKLJUČAK

Do sada nije bilo sistemskog prilaza pitanjima demontaže i reciklaže proizvoda. U budućnosti, optimalno upravljanje proizvodima na kraju životnog veka i funkcijama rada pojedinih sistema za demontažu i reciklažu, će se postići ako se uspostavi čvrsta integracija između procesa (razvoj proizvoda, demontaža i reciklaža). Za ostvarivanje tog cilja neophodno je proširiti i stalno osvežavati bazu znanja iz navedenih oblasti, za šta su kursevi kontinualnog obrazovanja predviđeni projektom TIMEA, jedan od ozbiljnih koraka načinjenih u tom pravcu.

Projekat TIMEA treba da pomogne da se stvori sistem od šest pilot kurseva, sa ciljem obrazovanja u području evropskih ekoloških direktiva i standarda, upravljanja otpadom i naprednih ekoloških tehnologija, namenjenih za poboljšanje teoretskog i praktičnog znanja zaposlenih u srpskim industrijskim preduzećima. Od posebnog značaja je kurs - Proizvodi na kraju životnog veka, demontaža i reciklaža.

8. LITERATURA

- [1] Hauschild, M., Jeswiet, J., Alting, L.: *Design for Environment – Do We Get the Focus Right?*, Department for Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark Mechanical Engineering, Queens University, Kingston, Ontario, Canada, 2003,
- [2] Rose CM (1999). Product End-of-Life Strategy Categorization Design Tool, Journal of Electronics Manufacturing, Available from: <http://www.mml.stanford.edu/1999.JEM.SPEC.Rose.pdf> Accessed: 2005-03-17
- [3] Peters, T., *Excelling in a New Management Epoch*, Journal “Made in Europe”, Issue 1, pp. 19-23, 2004.
- [4] *WEEE REGULATIONS: Guidance Notes, Consultation Draft - July 2004.*
- [5] N. N., *Baldrige National Quality Program – Criteria for Performance Excellence*, NIST, Gaithersburg, 2004.
- [6] Park, H.-S.: *Method For Disassembly Sequence Planning Of An End-Of-Life Car*, The 14th International DAAAM Symposium “Intelligent Manufacturing & Automation Focus on Reconstruction and Development”, 22-25th October 2003, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina

Autori: Čosić, I., Hodolić, J., Lazarević, M.: Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad.

Dorđević, M., Dorđević, M.

UTICAJ KJOTO PROTOKOLA NA DALJI RAZVOJ FABRIKE ZASTAVA AUTOMOBILI

Rezime: Globalno zagrevanje je posledica emisije gasova iz industrijskih postrojenja koji se akumuliraju u atmosferi i tako stvaraju efekat staklene bašte. Da bi se postigla stabilizacija koncentracije gasova koji proizvode ovaj efekat, Ujedinjene Nacije (United Nation Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) su na Trećoj konferenciji o klimatskim promenama koja je održana 1997. u Japanu usvojile tekst Kjoto Protokola kojim se ograničava emisija tih gasova i obezbeđuju mehanizmi za ostvarenje ciljnih emisija država podpisnica. Glavni cilj ove Konvencije je da se postigne “stabilizacija koncentracije gasova koji proizvode efekat staklene bašte na nivou koji ne bi doveo do opasnih antropogenih uticaja na klimatski sistem” (član 2. UNFCCC). U cilju obuzdavanja globalnog zagrevanja i promene klime, neophodno je da Republika Srbija, a samim tim i društvo ZASTAVA AUTOMOBILI a.d. kao jedan od vodećih industrijskih činilaca usaglase postojeću zakonsku regulativu sa direktivama EU kako bi dali svoj doprinos ukupnom smanjenju globalnog zagrevanja planete.

Ključne reči: GHG gasovi, Kjoto protokol, fabrika automobila

THE EFFECT OF KYOTO PROTOCOL ON THE FURTHER DEVELOPMENT OF THE FACTORY "ZASTAVA AUTOMOBILI"

Abstract: Global warming is the consequence of the emission of gasses from industrial facilities, accumulating in the atmosphere thus producing the greenhouse effect. In order to achieve the stabilization of concentration of gasses producing this effect, on the third conference on climate changes, held in 1997 in Japan, the United Nations adopted the text of Kyoto protocol by which the emission of these gasses is limited and the mechanisms for the realization of the emission aimed at by signatory countries are provided. The main aim of this Convention is to achieve “the stabilization of concentration of gasses producing the greenhouse effect, in a level which would not lead to dangerous, anthropogenic effect on the climatic system” (article two UNFCCC). For the purpose of suppressing the global warming and the climate change, it is necessary for the Republic of Serbia and therefore the company “ZASTAVA AUTOMOBILI a.d.” as one of the leading, industrial factors to accord the current, legal regulations with the directives of EU in order to give their contribution to the overall decrease of planet’s global warming.

Key words: Greenhouse gasses, Kyoto protocol, car factory

1. EFEKAT STAKLENE BAŠTE

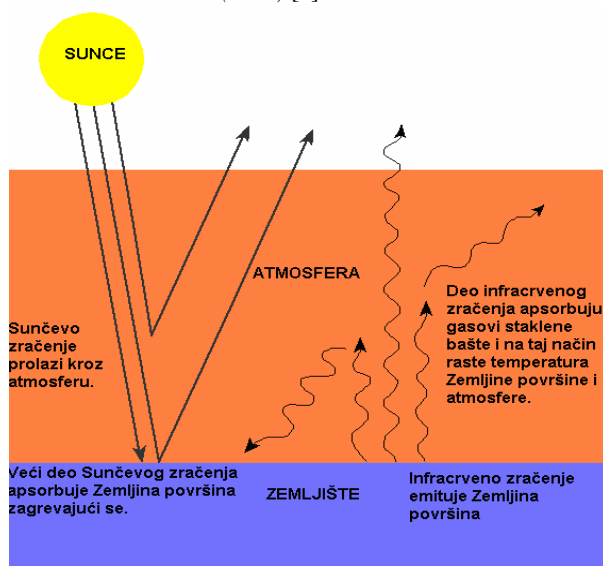
Efekat staklene bašte je gledano u širem smislu, prirodan fenomen koji se na Zemlji događao milionima godina pre nego što su ljudi počeli da sagorevaju fosilna goriva i emituju povećane količine ugljen-dioksida. To je prirodni mehanizam kojim se zagreva atmosfera, a glavni uzročnik ovog efekta je atmosferski gas ugljen-dioksid (CO_2). Manje prisutni ugljen-dioksid i drugi atmosferski gasovi u tragovima za razliku od glavnih komponenti atmosfere, kiseonika (O_2) i azota (N_2) mogu da apsorbuju svetlost većih talasnih dužina i tako zadrže Sunčevu energiju koja se odbija od tla, nalik na toplotu koja se čuva u baštenskom stakleniku, po čemu je efekat i dobio ime (slika 1).

Kada bi nestao sav ugljen-dioksid iz atmosfere, Sunčevo zračenje bi se uglavnom odbijalo od površine planete, a Zemlja bi bila hladnija za oko 400°C . Zbog korišćenja sve većeg broja hemijskih jedinjenja, ljudi su promenili sastav gasova u atmosferi pa umesto da propušta ona akumulira toplotu odbijenu sa Zemljine površine. Ugljen-dioksid antropogenog porekla uvećao je svoj sadržaj u atmosferi za 25 % tokom poslednjih 150 godina, usled čega je došlo do većeg zagrevanja atmosfere i podizanja globalne temperature. Taj fenomen naziva se globalno zagrevanje i mogao bi imati velike i teške posledice na klimu u budućnosti.

Globalno zagrevanje je najvećim delom posledica emisije gasova iz industrijskih postrojenja koji se akumuliraju u atmosferi i tako stvaraju efekat staklene bašte.

Gasovi koji doprinose i imaju najveće posledice na globalno zagrevanje (tabela 1) su ugljen-dioksid (CO_2),

metan (CH_4), azotsuboksid i industrijski gasovi grupe hlorofluorokarbonata (HFC) [5].



Slika 1. Ilustracija efekta staklene bašte[3].

2. KJOTO PROTOKOL I MEHANIZMI SMANJENJA EMISIJE GASOVA

Na Trećoj konferenciji o klimi održanoj u Japanu 1997. industrijalizovane zemlje obavezale su se Kjoto protokolom

(KP) da smanje emisiju gasova staklene bašte tokom perioda 2008-2012 (*Commitment Period*) za najmanje 5,2 % u odnosu na 1990. koja se uzima kao bazna godina. To je najvažniji međunarodni dokument kojim se reguliše količina gasova koji potiču iz industrijskih postrojenja u atmosferu.

Konferencija o klimatskim promenama, koja je trajala od 3. do 14. decembra 2007. godine na indonežanskom ostrvu Baliu, u organizaciji Ujedinjenih nacija, najvažniji je ovakav skup od 1997. godine. Glavna tema ovog pregovora bila je kako do 2009. godine osmisliti novi protokol kojim će se najveći zagađivač planete – Sjedinjene Američke Države ubediti da potpiše već postojeći Kjoto sporazum. Čak je i Australija, posle decenije opiranja, potpisala Kjoto protokol, pa su SAD ostale jedina industrijska zemlja koja se oglašuje o zahtevu čitave planete.

Gas	Doprinos gasa kao posledica zagrevanja planete (%)	Način nastanka
Ugljen-dioksid CO ₂	50 – 55	Raspad čvrstog otpada i sagorevanje fosilnih goriva (ugalj, nafta prirodni gas), drveta i drvenih proizvoda, seča šuma
Hlorofluorokarbonati HFC	25	Pravljenje plastičnih masa i u rashladnim uređajima, poreklo isključivo antropogeno
Metan CH ₄	12	Raspad organskih jedinjenja, a najveća količina metana u atmosferi potiče iz industrijskih postrojenja
Azotsuboksid N ₂ O	6	U toku industrijskih aktivnosti

Tabela 1. Gasovi koji stvaraju efekat staklene bašte, njihov doprinos u zagrevanju planete i način nastanka

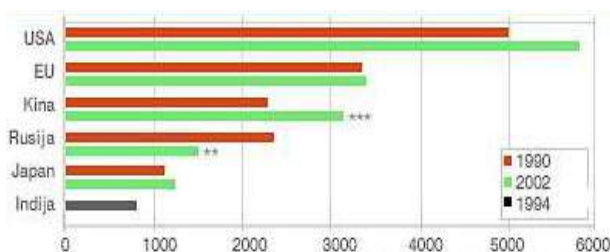
Da bi se smanjila emisija gasova koji stvaraju efekat staklene bašte, Kjoto protokol obezbeđuje tri tzv. fleksibilna mehanizma:

- **Zajednička primena** (*Joint Implementation* - JI, čl. 6 KP): Prema ovom članu industrijalizovana zemlja investira u projekte smanjenja emisije u drugoj industrijalizovanoj ili tranzicionoj zemlji. Po Kjoto protokolu odobrenja (*Carbon Credits*) iz ovog mehanizma, tzv. jedinice smanjenja emisije (*Emission Reduction Units* - ERUs), mogu biti izdate samo tokom obavezujućeg perioda 2008-2012.
- **Mehanizam čistog razvoja** (*Clean Development Mechanism* - CDM, čl. 12 KP): Prema ovom članu industrijalizovana strana ulaže u projekte smanjenja emisije u zemlji koja je u razvoju. Odobrenja (*Carbon Credits*) ostvarena u takvim projektima, tzv. sertifikovano smanjenje emisije (*Certified Emission Reduction* - CERs), se mogu sticati od 2000 - te godine nadalje.

- **Međunarodna trgovina emisijama** (*International Emission Trading* - IET, čl. 17 KP): Države koje imaju utvrdjenu ciljnu emisiju po Kjoto protokolu mogu prodavati emisiona odobrenja (*Emission Allowances*), koja same neće iskoristiti, drugim državama. Ove druge ih mogu iskoristiti za ispunjavanje svojih obaveza.

3. INDUSTRIJSKA POSTROJENJA KAO ZAGAĐIVAČI I ZAKONSKE REGULATIVE U REPUBLICI SRBIJI

Prema mišljenju naučnika, zapaženi trend rasta temperature vazduha i okeana u poslednjih 150 godina posledica je početka industrijske revolucije. Gasovi emitovani iz fabrika, automobila i drugih antropogenih, ali i prirodnih izvora, akumuliraju se u atmosferi i uzrokuju rast globalne temperature. Na taj način, naša planeta postaje slična staklenoj bašti, kod koje se toplota zadržava unutar staklenih zidova. Tek, cilj Kjoto protokola je borba sa globalnim zagrevanjem putem ograničavanja nivoa emisija "gasova staklene bašte". Međutim, dva ozbiljna, nerešena problema dovode u pitanje uspeh protokola. Prvi je pomenut stav SAD, a drugi se odnosi na Kinu i Indiju, koje, kao formalno nerazvijene zemlje, nisu obavezane sporazumom, iako beleže izuzetan privredni porast, a time i porast emisije štetnih gasova (slika 2)[6].



Slika 2. Emisija CO₂ (1,000 miliona tona)

Evropske vlade su počele da ograničavaju količine ugljen-dioksida koje industrija može da emituje, ali su kompanijama omogućile da kupuju i prodaju kvote za emisiju ugljen-dioksida.

Sistem ograničavanja i trgovine podstiče fabrike i industriju da smanje emisiju gasova time što im daje "dozvole za zagađenje". Ako proizvedu manje štetnih gasova nego što im je dozvoljeno, one višak dozvola odnosno "kredita" mogu da prodaju kompanijama kojima je jeftinije da ih kupe nego da smanje emisiju gasova.

Republika Srbija je prvi zajednički pokušaj modernog sveta da se smanji emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte (GHG gasovi) i time bar uspori proces globalnog zagrevanja ratifikovala Kjoto protokol 24. septembra 2007. godine[4]. Ratifikacija ovog dokumenta Srbiju ne obavezuje, ali će joj omogućiti da u okviru svojih mogućnosti doprinese globalnom smanjenju emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte i smanjenje lokalnog zagađivanja životne sredine. Uz to, Kjoto protokol reguliše međunarodno tržište gasova na kojem bi Srbija, kao veliki emiter GHG, mogla da prihoduje desetine miliona evra[2]. Naime, potpisivanjem Kjoto protokola koji su do sada ratifikovale 171 država uključujući i zemlje jugoistočne Evrope, Srbija bi bila svrstana u grupu zemalja u razvoju kojima je „dozvoljeno“ da rastu i nisu u zakonskoj obavezi da smanjuju emisije gasova.

Zaštita životne sredine u Republici Srbiji zasniva se na Ustavu kojim se utvrđuje pravo građana na zdravu životnu sredinu i njihovu dužnost da štite i unapređuju životnu sredinu. Novi zakonski okvir za zaštitu životne sredine uveden je decembra 2004. godine, kao deo usklađivanja

domaćeg prava sa pravom EU i čine ga četiri zakona: Zakon o zaštiti životne sredine, Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu, Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu i Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine. Ovi zakoni su usklađeni sa Direktivama EU o strateškoj proceni uticaja (2001/43/EC), proceni uticaja na životnu sredinu (85/337/EEC), integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja (96/61/EC) i učešću javnosti (2003/35/EC)[1].

Zakon o zaštiti životne sredine propisuje prava i obaveze, nadležnosti, ovlašćenja i odgovornosti u određenoj oblasti.

Zakon o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu se odnosi na procenu uticaja planova ili programa razvoja i svih njihovih izmena na životnu sredinu, kada ti planovi i programi predstavljaju okvir za buduće razvojne projekte za koje je obavezna izrada procene uticaja na životnu sredinu.

Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu se odnosi na ekološku procenu na nivou projekta, sa ciljem da obezbedi donosiocima odluka, sa informacijama o životnoj sredini pre nego što se donese odluka, da bi se osiguralo uzimanje u obzir svih efekata projekata koji imaju verovatnoću značajnog uticaja po životnu sredinu (Listu projekata za koju je obavezna procena uticaja i kriterijume za odlučivanje o potrebi procene uticaja za projekte za koje se može zahtevati procena uticaja propisuje Vlada Republike Srbije).

Zakon o integrisanom sprečavanju i kontroli zagađivanja životne sredine podrazumeva uvođenje integrisane dozvole za rad novih i postojećih postrojenja koja mogu imati negativne uticaje na zdravlje ljudi i životnu sredinu.

4. POSTOJEĆA REGULATIVA KOJA SE ODNOSI NA DRUŠTVO ZASTAVA AUTOMOBILI A. D.

Za razvoj standarda za zaštitu životne sredine veoma su važne Konferencije Ujedinjenih nacija održane u Stokholmu 1972. godine i u Rio de Žaneiru 1992. godine. Rezultati ove konferencije su Agenda 21 i ISO 14000. Pre ove konferencije UN su se obratile Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (ISO) sa zahtevom da sačine standard za zaštitu životne sredine koji bi bio prihvatljiv na globalnom nivou. Kako je ISO bio kreator isključivo tehničkih međunarodnih standarda, na bazi zahteva iz 1980. god. kada je donet standard upravljanja kvalitetom ISO 9000, Tehnički komitet ISO-a je 1993 godine razvio standard za sistem upravljanja zaštitom životne sredine ISO 14000. Na bazi ISO 9000 1994. god. napravljen je predlog standarda ISO 14001 koji je usvojen 1996. god. a kod nas izdat 1997. god. kao JUS ISO 14001. Uspostavljanjem sistema kvaliteta prema standardu ISO 9001 organizacija svoje procese stavlja pod kontrolu radi ostvarenja specifičnih zahteva za proizvod ili uslugu, ali ne stavlja pod kontrolu ispuštanje raznih vrsta emisija u vazduh, ispuštanja zagađenih materija u vodu, čvrst otpad, utroške prirodnih resursa i sl. odnosno ne sadrži zahteve vezane za uticaje proizvodnog procesa na okolinu, već je to predmet standarda ISO 14001.

U toku uvođenja sistema upravljanja zaštitom životne sredine, izvršena je identifikacija i analiza oko stotinu propisa koji se neposredno odnose na delatnost društva ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. Analizom je utvrđeno sa kojim propisima je poslovanje društva usaglašeno, delimično usaglašeno i sa koliko propisa treba još da se usaglasi. Potpuna usaglašenost je postignuta sa propisima iz oblasti zaštite od požara i zaštite na radu. Delimična neusaglašenost sa postojećom zakonskom regulativom je konstatovana kod primene zakona koji se odnose na: emisiju štetnih materija u atmosferu, ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i postupanje sa otpadom. Nizak nivo ekološke svesti, nedostatak postrojenja i

opreme za smanjenje zagađivanja, a i novčanih sredstava za njihovu nabavku i održavanje je opšti problem kod svih industrijskih organizacija u Srbiji, pa i u društvu ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d.[7].

Praćenje zakonske regulative i njene primenljivosti na društvo ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. je kontinualan proces, a putem baze podataka se sprovodi održavanje ažurnih informacija o odgovarajućim propisima i drugim zahtevima.

Društvo ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. iako velika institucija ne poseduje u okviru sebe neku posebnu organizaciju čiji je glavni i osnovni zadatak uvođenje standarda ISO 14001, već se time bavi Odbor i stručnjaci iz različitih oblasti (mašinski inženjeri, tehnolozi, hemijski inženjeri i tehničari...). Takođe, što se tiče emisije gasova i ispuštanja otpadnih voda, zbog nedostatka novčanih sredstava, opreme i stručnog kadra, a pre svega ekološke svesti, merenja ne vrši društvo ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. već se za to angažuje agencija koja još uvek dobijene vrednosti upoređuje sa Službenim glasnikom Srbije, a ne sa propisima EU.

Ekspertska grupa zadužena za uvođenje standarda ISO 14001 je sastavio niz upitnika koji su objedinjeni formirajući na taj način jedinstvenu anketu koja je sprovedena po svim organizacionim celinama. Samom anketom želelo se doći do podataka koji će biti iskorišćeni za formiranje sveobuhvatne baze podataka koja će sumirati rezultate istraživanja na nivou fabrike Zastava automobili. Neka od pitanja koja su predložena anketiranim su i:

- Koje štetne materije izlaze iz procesa za koji su oni odgovorni,
- Način skladištenja tih materija,
- Godišnje količine štetnih materija,
- Količina nerizičnog otpada,
- Količina otpada koji su rizični po životnu okolinu,
- Opasne materije u procesu proizvodnje ili neproizvodnih procesa a koje su potencijalni izazivači ekološkog udesa, itd.

Prvi rezultati sprovedene ankete su pokazali da je nivo ekološke svesti nizak, da se otpad ne klasifikuje, da za mnoge štetne materije radnici nisu ni svesni da dolaze u dodir sa njima ili da su proistekli iz njihovog procesa rada. U Direkciji razvoja automobila, gde je nivo ekološke svesti bio na zavidnom nivou, u prvom trenutku nisu bili svesni svih potencijalnih opasnosti po životnu sredinu: freon u hladnoj ćeliji za ispitivanje vozila, freon u zamrzivačima za statičko dinamička ispitivanja delova vozila, istrošeni pneumatici, akumulatori itd.

Objedinjene informacije u jedinstvenoj bazi podataka omogućile u budućnosti da se menadžmentu predoče svi rizici koji su vezani za ekološki udes, da se ti rizici klasifikuju i na kraju da se preduzmu mere kako bi se rizici smanjili na prihvatljivu meru a ekološka svest kod zaposlenih podigne na zavidan nivo.

5. ZAKLJUČAK

Bez sumnje, možemo zaključiti da je najznačajnija oblast kojom se bavi EU zaštita životne sredine i da je saradnja sa ovom organizacijom teško zamisliva bez našeg angažovanja u oblasti ekologije, kao i usaglašavanjem kako na internom tako i na međunarodnom planu sa propisima i direktivama koje donosi EU.

Osim usaglašavanja sa propisima EU, društvo ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d. treba da obezbedi i poštovanje istih kako bi delujući svojim aktivnostima, proizvodima i uslugama dalo svoj doprinos kako u smanjenju emisije zagađujućih materija u vazduh tako i u smanjenju globalnog zagrevanja planete

Zemlje.

Ipak, kao najvažnije treba istaći podizanje ekološke svesti, obnavljanje već zastarele tehnologije u društvu ZASTAVA AUTOMOBILI, a.d., kao i postavljanje adekvatne mreže za monitoring kvaliteta vazduha i smanjenja emisija krećući se u intervalima graničnih vrednosti zagađujućih materija prema direktivama EU.

6. LITERATURA

- [1] Radenković, R., Popović, Lj.: *Analiza regulative iz oblasti zaštite životne sredine*, 1. Nacionalna konferencija o kvalitetu života, str. 43 – 44, Kragujevac, Asocijacija za kvalitet i standardizaciju Srbije, Kragujevac, maj 2006.
- [2] www.emins.org
- [3] www.polj.ns.ac.yu
- [4] www.srbija.sr.gov.yu

[5] www.tesla.pmf.ni.ac.yu

[6] www.unfccc.int

[7] ZASTAVA AUTOMOBILI A. D. - interna dokumentacija društva

Autori: diplomirani biolog-ekolog Maja Đorđević, Zastava Hortikultura – agro, Trg Topolivca 4, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel.: +381 34 325-220 ext. 39 – 30, Fax: +381 34 336-406. **dipl. ing. Mr Milan Đorđević**, Direkcija razvoja automobila, Zastava automobili, Trg Topolivca 4, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel.: +381 34 325-220 ext. 45 – 50, Fax: +381 34 323-312.

E-mail:

maja1979@verat.net

milan@ia.kg.ac.yu

Erić, M., Tadić, B., Stefanović, M.

MODEL REINŽENJERINGA TEHNOLOŠKIH PROCESA

Rezime: Skraćenje životnog ciklusa proizvoda i tehnologije kao i rastuća konkurencija na tržištu su odlike savremenog industrijskog razvoja sa kojima se suočavaju današnja proizvodna preduzeća. Svedoci smo da današnje tržišne utakmice počinju i završavaju sa "trojkom". Ta trojka je brzo, kvalitetno i jeftino. Odgovor na pitanje "Kako napraviti ovu trojku?", između ostalog, može se naći u reinženjeringu tehnoloških procesa. Karakteristike tehnološkog procesa kao logičkog, iterativnog, varijantnog i višedimenzionalnog procesa, su predstavljale osnovu za izradu metodologije i informacionog modela reinženjeringa tehnoloških procesa. U radu je prikazana arhitektura metodologije odnosno modela reinženjeringa tehnoloških procesa, osnovni pristupi u modelu kao i njegovi izlazi.

Ključne reči: Model, metodologija, reinženjering, tehnološki procesi, informacione tehnologije

MODEL OF REENGINEERING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Abstract: Shortening of the life-cycle for products and technologies as well as the growing competition at the market are characteristics of modern industrial development with which production companies are dealing with today. We are witnesses that nowadays market games start and finish with the "three". That "three" is quick, quality and cheap. The answer to the question "How to make this three?" beside other, can be found in reengineering of technological processes. Characteristics of the technological process as logical, iterative, variant and multidimensional process represented basis for making methodology and information model of reengineering of technological processes. This paper deals with architecture of methodology that is with model of reengineering of technological processes, main approaches at the model as well as its outputs.

Keywords: Model, methodology, reengineering, technological processes, information technology

1. UVODNA RAZMATRANJA

Tehnološko okruženje je u stalnim tehnološkim promenama čiji je smisao da se uz novo inženjersko i tehnološko znanje, proizvodi više sa raspoloživom količinom resursa ili da se data proizvodnja ostvaruje sa manje upotrebljenih resursa. To se iskazuje kroz skraćivanje vremena izrade, smanjenje troškova, efikasnije korišćenje materijalnih sredstava, optimizaciju materijala i protoka informacija itd.

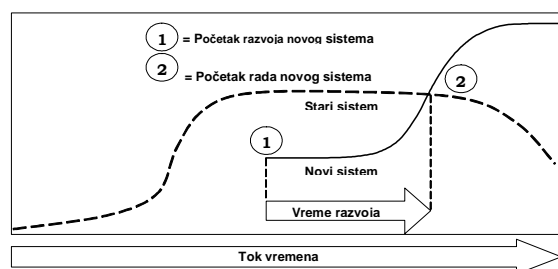
Da bi se ostvarili napred navedeni zahtevi, između ostalog, neophodan je razvoj novih tehnologija (i to prevashodno informatički podržanih tehnologija). S'obzirom da je potrebno skratiti vreme koje protekne od ideje do realizacije novog proizvoda, razmatrane su mogućnosti takozvane "uštede u vremenu" kroz tehnološke procese i kroz proces njihovog projektovanja. Koncept modela reinženjeringa obuhvata sam proces (misli se na proces modeliranja tehnoloških procesa), notaciju i alat za modeliranje. Jasno je da su sve tri komponente kompleksne. Međutim, danas, na raspolaganju nam stoji veći broj informacionih alata, koji nam mogu pomoći pri svakom aspektu razvojnog procesa. Pored toga, standardi u metodama i računarskim alatima su široko prihvaćeni, što omogućava da se akcenat stavi na razvoj i implementaciju.

Da bi se uspešno primenio koncept reinženjeringa i razvio odgovarajući model mora se izvršiti analiza tehnološkog procesa, sa aspekta fleksibilnosti, nivoa automatizacije, kvaliteta proizvoda, tipa proizvodnje, toka tehnoloških procesa, veza sa okolinom, strukture, odnosa (veza) elemenata tehnološkog procesa. Reinženjering tehnoloških procesa se usredosređuje na ponovno promišljanje procesa, eliminišući pri tome procese i podprocese koji nisu neophodni, a nalazeći pri tome mnogo efikasnije načine obavljanja preostalih procesa. Reinženjering je usmeren ka poboljšanju postojećeg sistema (procesa) sa što

većim povraćajem uložених sredstava nego što bi to bio slučaj kod investiranja u potpuno nov razvoj.

Reinženjering tehnoloških procesa, direktno ili indirektno, treba da omogući: skraćenje rokova isporuke, smanjenja cena proizvoda, poboljšanje kvaliteta proizvoda, jednostavnije i jeftinije održavanje proizvoda, kao i zaštitu životne sredine. Takođe, reinženjeringom tehnoloških procesa treba obezbediti mogućnost povećanja obima proizvodnje.

Model reinženjeringa treba da omogući redizajniranje postojećih tehnoloških procesa sa svih napred navedenih aspekata i da da rešenje za unapređenje tehnoloških procesa. Model reinženjeringa omogućava i razvoj novih tehnoloških procesa na bazi reinženjeringa postojećih (*piggybacking*), slika 1.



Slika 1. Piggybacking sistema [5]

Piggybacking ne predstavlja stručan, sofisticiran izraz, niti je unikatan u oblasti teorije sistema. A ipak, predstavlja sasvim egzaktnu sliku jednog sistema koji koristi prethodni sistem da iskorači u jedan napredniji status. Koncept piggybacking-a primorava dizajnere, projektante i tehnologe da redovno i permanentno razmišljaju o uspešnosti postojećeg sistema i razvoju novog na bazi postojećeg. Kao takav, on konceptijski zahteva sprovođenje određenih estimacija, kao što su: (1) kad će postojeći sistem deteriorirati, dakle, procena životnog veka sistema; (2) koliko vremena će biti potrebno da

se razvije novi sistem; i (3) kad započeti sa razvojem novog sistema.

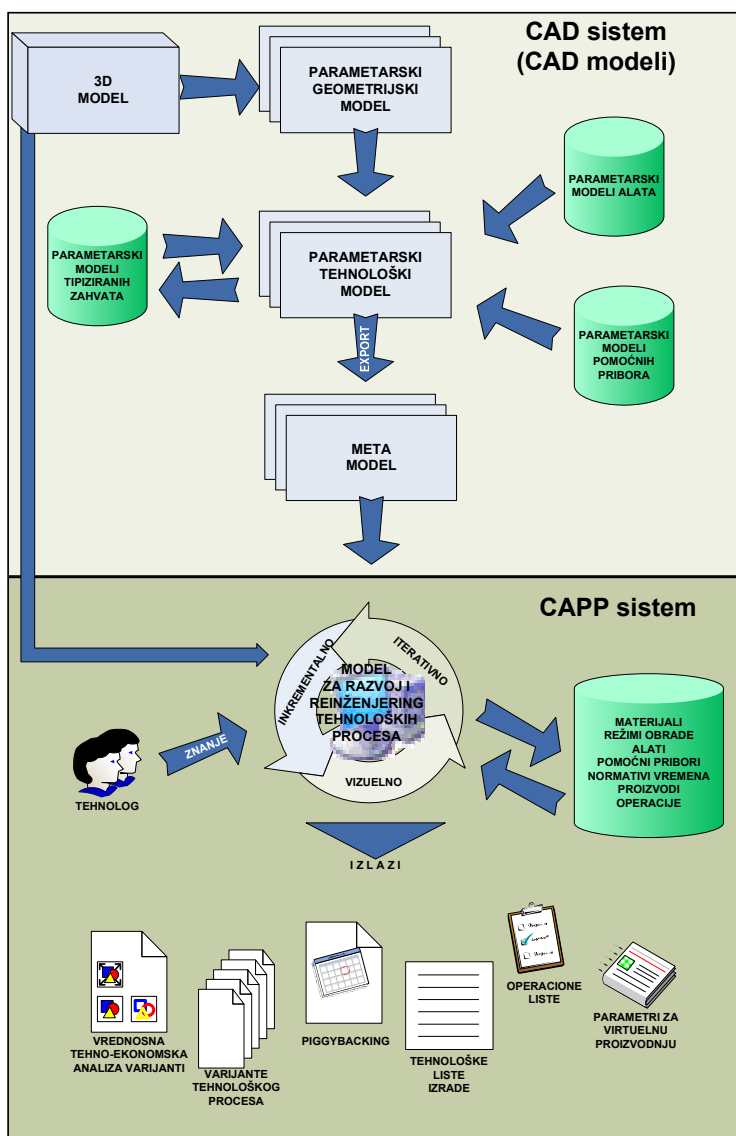
Za analizu tehnoloških sistema (procesa) korišćen je sistemski pristup. S obzirom da i u prirodi i društvu postoji opšta povezanost objekata i pojava, potrebno je pri posmatranju bilo kog sistema izvršiti njegovo izdvajanje od spoljne sredine. Tehnološki proces izrade proizvoda je deo proizvodnog procesa u kome se vrši izmena oblika, dimenzija, estetskog izgleda, unutrašnjih osobina materijala, kao i kontrola, koji za zadate uslove daje najpovoljnije tehničke i ekonomske efekte [9]. Pred tehnološki proces se postavljaju tri vrste zahteva koje treba zadovoljiti. Tehnički zahtevi, kao polazna tačka, proizilaze iz konstrukcione dokumentacije odnosno funkcije pojedinih delova. To su pre svega oblik, dimenzije–tolerancije, kvalitet obradene površine, sastav itd. Druga vrsta zahteva su ekonomski zahtevi. Potrebno je da se tehnički zahtevi postignu i ostvare sa najmanjim troškovima. Za projektovanje optimalnog tehnološkog procesa odnosno optimalne varijante, često je potrebno uporediti više ekonomskih varijanti, jer je uopšteno

moгуće proizvesti neki proizvod u više alternativa. Ovakav način posmatranja tehnološkog procesa čini ga i *varijantnim*.

Nova, skoro svakodnevna, saznanja vezana za tehniku i tehnologiju su doprinela da jednom postavljen tehnološki proces bude izložen promenama. To zahteva od tehnologa da stalno prati i da proširuje svoja znanja novim tehnološkim saznanjima koje kod projektovanja tehnoloških procesa primenjuje. Jedan od zadataka tehnologa je da stalno poboljšava tehnološki proces. Može se reći da tehnološki proces nije nikada tako dobro projektovan da se ne može projektovati još bolje. To stalno sagledavanje i poboljšanje tehnološkog procesa, kako u fazi projektovanja odnosno razvoja tako i u fazi implementacije čine ga *iterativnim*.

2. PREDLOŽENA METODOLOGIJA REINŽENJERINGA TEHNOLOŠKIH PROCESA

Teorijske analize tehnoloških procesa i reinženjeringa, razmatrane kroz "lupu" principa, pristupa i metoda modeliranja procesa i sistema indukovali su metodologiju za reinženjering tehnoloških procesa, slika 2.



Slika 2. Arhitektura metodologije (re)inženjeringa tehnoloških procesa [3]

Struktura prikazane metodologije se sasoji iz dva dela, CAD-a i CAPP-a. Osnovu CAD dela čine CAD modeli i to: 3D model dela/proizvoda, 2D parametarski geometrijski model dela, parametarski tehnološki model, meta model.

CAD modeli se definišu u raspoloživim CAD softverima (Pro/Engineer, CATIA, AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor, CADAM, MicroCADAM, Solid Edge, Solid Works, Solid Designer i td.). 3D model, kao rezultat procesa

dizajna i modeliranja, i meta model kao rezultat transformacije tehnološkog modela, su ulazi modela reinženjeringa tehnoloških procesa. Meta model sadržajno nosi iste informacije koje su neophodne za definisanje tehnološke operacije odnosno zahvata kao i tehnološki model. Razlika je "samo" u načinu kako su te informacije predstavljene, meta model je u domenu rastera a tehnološki model u domenu vektora. Prednost vektorskog domena je u izmenama (*modify mod*), a prednost domena rastera je u drastično manjem zauzimanju memorijskog prostora (*compression file*). Prednost meta modela je iskorišćena za vizuelno modelovanje i komponovanje tehnološkog procesa.

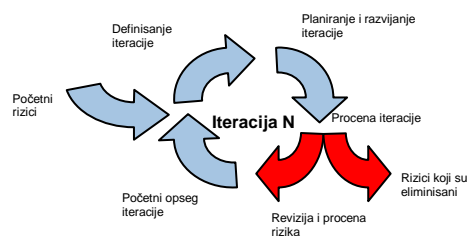
Tehnološki model se definiše na osnovu geometrijskog modela, dodavanjem parametarskog modela alata a po potrebi i parametarskog modela pomoćnog pribora. Navedeni modeli su 2D modeli. Na nivou CAD sistema tehnološki model može da korespondira sa bazom parametarskih modela tipiziranih zahvata. U tom slučaju model tipiziranog zahvata proglašavamo za tehnološki model ili definisan tehnološki model memorišemo u bazu kao tipiziran (tipski ili grupni).

Svi napomenuti modeli u CAD sistemu prikazane metodologije imaju prefiks parametarski. I u svakom slučaju treba iskoristiti prednost koju pruža parametarsko modeliranje, a to je, da su dimenzije definisane pomoću parametara a njihove vrednosti, za pojedine varijante modela, su smeštene u odgovarajućim bazama podataka. Meta model, kao ulaz u model za reinženjering tehnoloških procesa, mora biti definisan sa konkretnim vrednostima iz baze podataka. Meta model daje prikaz raspoređenosti odnosno topologiju elemenata tehnološkog procesa/sistema.

Ulaz za model reinženjeringa tehnoloških procesa, koji se može koristiti i za razvoj/inženjering tehnoloških procesa, su i tehnološke baze podataka vezane za materijale, režime obrade, rezne alate, merne alate, pomoćne pribore, normative vremena, proizvode, operacije itd. Model za reinženjering tehnoloških procesa pripada CAPP delu prikazane metodologije. Model omogućava tehnologu, da na bazi znanja i stečenog iskustva, vizuelnim, iterativnim i inkrementalnim pristupom sprovede proces reinženjeringa tehnoloških procesa.

3. ITERATIVNI, INKREMENTALNI I VIZUELNI PRISTUP U MODELU REINŽENJERINGA TEHNOLOŠKIH PROCESA

U osnovi reinženjeringa, u njegovoj suštini, je razvoj. Razvoj, koji u iterativnom i inkrementalnom životnom ciklusu (slika 3) teče u vidu serije uzastopnih iteracija koje evoluiraju u finalni sistem, varijantu/scenarij/alternativu ili rešenje. Svaka iteracija se sastoji od promene jedne ili više komponenti koje su deklarisanе kao "ulazi" tehnološkog procesa.



Slika 3. Iterativni i inkrementalni razvoj [8]

Variranje vrednosti parametara, koje se nalaze u nekim granicama (pr. režimi obrade), promene odnosa elemenata tehnološkog procesa (pr. promena redosleda operacija ili koncentracija/diferencijacija operacija), primena specijalno konstruisanih pribora ili grupnih i agregatiranih, primena

specijalnih ili standardnih reznih alata pružaju projektantu-tehnologu mogućnost za mnoge pretpostavke i dileme. Pretpostavke i dileme, nose sa sobom i rizik u smislu da ta varijanta nije i ona koja je i najoptimalnija.

Sve dileme i iskušenja s kojima se susreće projektant-tehnolog tokom izbora pojedinih varijanti rešavaju se tako da se mora osloniti na neku metriku, na temelju koje se vrši vrednovanje istih. Najčešće prihvaćena metrika odnosno sistem vrednovanja je određena novčana jedinica.

Proces planiranja iteracija treba da omogućiti kontrolisan i opravdan broj iteracija. Po završetku svake iteracije ponovo se procenjuju rizici, odnosno uticaj promena parametara. Posle koje iteracije će nastati varijanta tehnološkog procesa, kao i njihov broj, zavisi od procene odnosno znanja i iskustva projektanta-tehnologa.

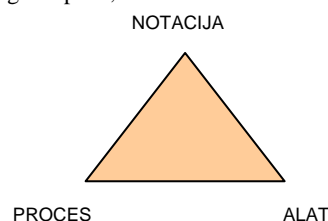
Izlazni parametri modela (komadno vreme, proizvodnost i troškovi obrade), projektantu-tehnologu omogućavaju vrednosnu analizu varijanti i na osnovu njih donošenje odluke o konačnoj varijanti, varijanti u kojoj je zadovoljen najveći broj zahteva.

Ovaj tip životnog ciklusa je proces smanjivanja rizika. U ranim stadijumima životnog ciklusa procenjuju se tehnički rizici i daje im se prioritet, a to se kasnije doraduje tokom svake iteracije. Rizici se razmatraju u svakoj iteraciji, tako da uspešno završavanje iteracije minimizuje u njoj razmatrane rizike. Varijante se tako planiraju da se najpre obrade najveći rizici. Takav način izgradnje sistema razotkriva i umanjuje rizike u sistemu, rano u životnom ciklusu. Rezultat takvog pristupa u životnom ciklusu je smanjen rizik uz minimalna ulaganja.

Razvojni životni ciklus mora da da priliku kreativnosti i inovativnosti projektanta-tehnologa. U isto vreme razvojni proces se mora meriti i kontrolisati da bi se osigurao uspešan završetak projektovanja. Dobro vođeni iterativni i inkrementalni životni ciklus obezbeđuje potrebnu kontrolu i bez narušavanja kreativnosti.

Vizuelno modeliranje je proces uzimanja informacija sa modela i njihovo grafičko prikazivanje korišćenjem niza standardnih grafičkih elemenata. Standardi su neophodni kako bi se izvučla bitna korist od modeliranja: komunikacija. Komunikacija između svih korisnika modela odnosno svih onih koji su uključeni u dizajniranje, modeliranje i projektovanje, je osnovna svrha vizuelnog modeliranja.

Tri važne komponente za uspešnu realizaciju vizuelnog modeliranja su notacija, proces i alat i mogu se prikazati kao temena trougla uspeha, slika 4.



Slika 4. Trougao uspeha [8]

Notacija se može naučiti, ali ukoliko se ne zna kako da se koristi (proces), uspeh će verovatno izostati. Može se imati i odličan proces, ali ako ne umete da ga izrazite (notacija), takođe neće se uspeti. I na kraju, ukoliko ne možete da dokumentujete rezultate svoga rada (alat), verovatno se neće uspeti.

U modelu reinženjeringa tehnoloških procesa notacija je definisana meta-tehnološkim modelom. Ovaj model predstavlja topologiju elemenata tehnološkog procesa, alata i predmeta obrade, na nivou operacije/zahvata i objekat je u grafičkoj notaciji vizuelnog modeliranja tehnološkog procesa. Procesom odnosno funkcijom "drag and drop" moguće je promeniti mesto ovom objektu, a time i promeniti redosled operacija/zahvata u tehnološkom postupku. Istom funkcijom

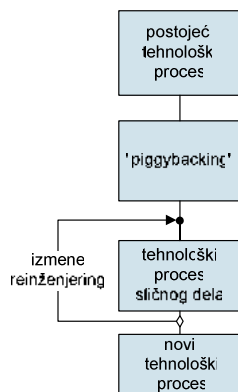
je moguće komponovati novi tehnološki proces na bazi postojećeg, "piggybacking". Funkcija odnosno mehanizam "drag and drop" predstavlja kompletan sistem za kretanje kroz učinjene poteze, čuvanje određenih faza rada i mogućnost menjanja budućnosti korišćenjem prošlosti u sadašnjosti. Rezultati vizuelnog modeliranja se dokumentuju kroz tehnološke i operacione liste.

4. IZLAZI MODELA REINŽENJERINGA TEHNOLOŠKIH PROCESA

Izlazi modela reinženjeringa tehnoloških procesa su: varijante tehnološkog procesa, piggybacking, tehnološka lista (plan obrade), operacione liste, parametri za vrednosnu tehnokoekonomsku analizu varijanti, parametri za virtuelnu proizvodnju.

Varijante tehnoloških procesa (TP) nastaju kao posledica mogućeg velikog broja kombinacija ulaznih parametara, i njihovih odnosa (redosled), koji različito utiču na karakteristike izlaza tehnološkog procesa. Za jedan TP, teorijski se može definisati veliki broj varijanti.

Koncept "piggybacking"-a je prikazan sa osnovnom idejom razvoja novog tehnološkog procesa na bazi postojećeg (slika 5). Može da se primeni u slučaju proizvoda koji imaju tehnološku sličnost. Da se već formirani objekti - meta modeli, funkcijom "drag and drop" iskoriste za komponovanje novog tehnološkog procesa. Može da se primeni i u slučaju grube procene vremena izrade dela ili troškova obrade, kada se nema vremena da se detaljno naprave tehnološki modeli novog sličnog proizvoda. Kreirani novi tehnološki proces može biti predmet izmena i reinženjeringa, što u najvećem broju slučajeva i jeste.



Slika 5. "Piggybacking" tehnoloških procesa [3]

Tehnološka lista i operacione liste, kao integralni tehnološki dokumenti, su izlazni tehnološki izveštaji modela reinženjeringa tehnoloških procesa. Definišu se na osnovu strukture i sadržaja tehnološkog postupka. Tehnološka lista predstavlja plan obrade odnosno redosled operacija i jedan je od osnovnih tehnoloških dokumenata operativne pripreme proizvodnje, operacioni list je osnovni tehnološki dokumenat radnog mesta.

Parametri za vrednosnu tehnokoekonomsku analizu varijanti su izabrani tako da se mogu izračunati na osnovu ulaznih parametara (parametri režima obrade, redosled odnosno koncentracija operacija, normativi vremena, parametri povezani sa reznim alatom, priborom i alatnom mašinom) koji direktno utiču na tehnološki proces. Troškovi obrade, vreme izrade i proizvodnost su izlazni parametri koji treba da upotpune sliku o varijanti tehnološkog procesa. Na osnovu ove ocene, ličnog iskustva i procene, projektant-tehnolog donosi odluku o konačnoj varijanti koja će biti implementirana.

Parametri za virtuelnu proizvodnju su mogući izlazi iz modela reinženjeringa tehnoloških procesa. Definisana konačna varijanta tehnološkog procesa pre nego što se

implementira u proizvodnji može da se simulira u softveru (DELMIA) koji podržava koncept virtuelne proizvodnje. Za simulaciju proizvodnje između ostalih potrebni su i parametri koji definišu tehnološki proces a nalaze se u bazama modela reinženjeringa tehnoloških procesa. Tako je koncept virtuelne proizvodnje još jedan nivo koji omogućava da se uoče greške, isprobaju varijante, poboljšaju procesi, proveriti optimalnost usvojenih vrednosti parametara pre nego što se tehnološki proces implementira.

5. ZAKLJUČAK

Prikazana metodologija i softversko rešenje, koji podržavaju projektovanje odnosno inženjering i reinženjering tehnoloških procesa, imaju četiri osnovna cilja: (1) smanjenje manualnog dela posla u okviru izrade tehnološkog procesa koji predstavlja opterećenje za proizvodne inženjere i iskusne projektante tehnoloških procesa; (2) poboljšanje/optimizaciju postojećih tehnoloških procesa kroz korišćenje dostupnih informacija o mašinama, alatima, priborima, obradivosti, itd.; (3) sistematizaciju najboljih uočenih tehnoloških procesa za familije komponenti unutar preduzeća, čime se obezbeđuje prenošenje znanja i iskustva iskusnih projekatana; (4) sistematizaciju proizvodnih vremena i troškova kao pretpostavku za tehnokoekonomsku analizu.

Prednosti primene sistema, koji omogućava projektovanje novog kao i reinženjering postojećeg tehnološkog procesa, su: redukcija vremena projektovanja; niži troškovi projektovanja i proizvodnje; omogućeno kreiranje tehnoloških postupaka iste valjanosti i kvaliteta; izrada racionalnijih tehnoloških postupaka; povećana proizvodnost itd.

1. LITERATURA

- [1] Arsovski S., Rutić D.: „Tehnološka transformacija preduzeća primenom koncepta reinženjeringa i agilnih proizvodnih sistema, Upravljanje ključnim aspektima transformacije preduzeća“ monografija, Ekonomski fakultet, Kragujevac, 1998.
- [2] Burke G.: Peppard J., "Examining Process Reengineering", Kogan Page, 1995.
- [3] Erić M.: *Model reinženjeringa tehnoloških procesa malih preduzeća*, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2007.
- [4] Longenecker J., Moore C., Pettz W.: "Small Business Management", Thomson Learning, Mason, Ohio, 2003.
- [5] Luhman N.: "Teorija sistema", ПЛАТО, Beograd, 1998.
- [6] Heleta M.: *TQM - Model izvrsnosti – integrisani menadžment sistemi i model izvrsnosti*, Izdanje EDUCTA, Beograd, 2004.
- [7] Stein R.: "Re-engineering the manufacturing system – Applying the theory of constraints", Marcel Dekker, Inc., New York, 1996.
- [8] Quatrani T.: "Visual Modeling with Rational Rose 2002 and UML", Addison-Wesley, Boston, 2003.
- [9] Todić V.: "Projektovanje tehnoloških procesa", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2004.
- [10] Veljović A.: "Kompiuter i kvalitet, ISO 9000: 2000 procesni pristup", Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 2001.

Autori: dr Milan Erić, dr Branko Tadić, dr Miladin Stefanović, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić br. 6, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel.: +381 34 335 990, Fax: +381 34 333 192.

E-mail: ericm@kg.ac.yu
btadic@kg.ac.yu
miladin@kg.ac.yu

Ivanović, L., Devedžić, G.

MODELIRANJE TROHOIDNOG OZUBLJENJA SA ASPEKTA RAVNOMERNOG HABANJA BOKOVA ZUBACA

Rezime: U radu je prezentovan teorijski model ozubljenja sa modifikovanim trohoidnim profilom, koji se primenjuje kod gerotorskih pumpi. Gerotorske pumpe pripadaju grupi planetarnih rotacionih mašina čija je kinematika zasnovana na principu planetarnog mehanizma sa unutrašnjim ozubljenjem. Prikazana je detaljna analiza specifičnog klizanja u tačkama dodira spregnutih profila na bazi razvijenih geometrijskih i kinematskih modela trohoidnog ozubljenja, kao i izrazi za njegovo određivanje. Specifično klizanje je jedan od značajnih faktora ograničenja pri izboru geometrijskih parametara profila ozubljenja i pokazatelj je uslova za pojavu trenja i habanja površina zubaca u kontaktu. Cilj optimalnog izvođenja konstrukcije gerotorske pumpe je da se odgovarajućim izborom geometrijskih parametara ozubljenja ostvari ravnomerno habanje zubaca spregnutih zupčanika u procesu sprezanja. Stoga je neophodno da se obezbedi jednakost specifičnih klizanja u tačkama sa najvećom brzinom klizanja, odnosno u tačkama koje su najudaljenije od trenutnog pola relativnih brzina. U tom smislu, u radu su definisana ograničenja kojima se obezbeđuje ravnomernost habanja bokova zubaca spregnutih zupčanika sa aspekta kinematike.

Ključne reči: trohoidno ozubljenje, specifično klizanje, ravnomerno habanje

MODELING OF TROCHOIDAL GEARING FROM THE ASPECT OF UNIFORM TEETH WEAR

Abstract: The paper presents theoretical model of the gearing with modified trochoidal profile which is applied to the gerotor pumps. Gerotor pumps belong to the category of rotating machines whose kinematics is based on the principles of planetary mechanism with internal gearing. Using geometrical and kinematical models of the trochoidal gearing, we provide detailed analysis of specific sliding at the contact points of the profiles, as well as the relations for its determination. Specific sliding is one of the most significant constraining factors in the selection of the geometrical parameters of the gearing profile, which indicates conditions for appearing friction and wear of the tooth contact surface. The key objective in optimal gerotor pump design is to provide appropriate selection of geometrical parameters of the gearing, leading to the uniform wear of meshing gears teeth profiles. This requires ensuring the uniform wear of meshing profiles at the point with highest value of sliding velocity, i.e. at the contact points the most distant from the pitch point. Consequently, the methodology described in the paper defines the constraints to enable for uniform wear of meshing gears teeth profiles from the kinematical point of view.

Key words: trochoidal gearing, specific sliding, uniform wear

1. UVOD

Gerotorske pumpe pripadaju grupi planetarnih rotacionih mašina, čija je kinematika zasnovana na principu planetarnog mehanizma sa unutrašnjim ozubljenjem. Broj zubaca spoljašnjeg zupčanika je uvek za jedan veći od broja zubaca unutrašnjeg zupčanika. Kod ove vrste ozubljenja, pokretni krug se kotrlja bez klizanja po drugom nepokretnom krugu i pri tome, izabrana tačka opisuje profil zupca, odnosno trohoidu [1, 5]. Nepokretni krug je, uslovno uzeto, kinematski krug zupčanika. Spregnuti profil se može predstaviti kao obvojnica uzastopnih položaja osnovnog profila pri njegovom relativnom kretanju. U opštem slučaju spregnuta obvojnica ima vrhove, koji su nepoželjna pojava zato što dovode do intenzivnog habanja, a da bi se izbegla njihova pojava uvodi se modifikacija osnovne trohoide. Trohoidne krive se modifikuju uz pomoć priraštaja konstantne vrednosti r_c , koji se nanosi duž normale date krive. Dobijena kriva je ekvidistanta, a konstantni priraštaj r_c se može definisati kao poluprečnik ekvidistante.

Na bazi geometrijskih i kinematskih modela, koji su razvijeni u radovima [2-9], u ovom radu biće definisane formule za proračun specifičnog klizanja i definisani uslovi kojima se obezbeđuje jednakost specifičnih klizanja u tačkama sa najvećom brzinom klizanja. U tom cilju uvode se sledeći koordinatni sistemi: generišući koordinatni sistem, vezan za generišuću tačku, koordinatni sistem trohoide,

koordinatni sistem obvojnice i nepokretni koordinatni sistem. Za kinematsku analizu spregnutih profila razmatra se kretanje tačke dodira spregnutih profila.

2. GEOMETRIJSKI I KINEMATSKI ODNOSI TROHOIDNOG OZUBLJENJA

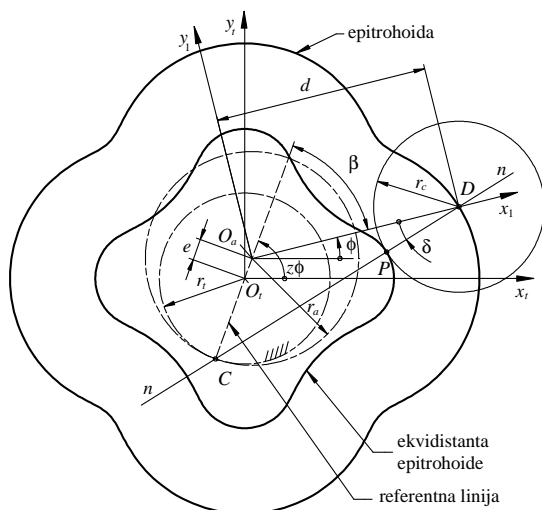
Osnovni geometrijski odnosi pri generisanju nemodifikovane i modifikovane epitrohoide su prikazani na slici 1. Epitrohoidu opisuje tačka D fiksirana u ravni kruga poluprečnika r_a kada se krug svojom unutrašnjom stranom kotrlja po spoljašnjoj strani nepokretnog kruga poluprečnika r_t . Jednačine ekvidistante epitrohoide se izvode u koordinatnom sistemu trohoide $O_t x_t y_t$, prema slici 1.

Na slici 1 je pokazano da u toku relativnog kretanja kinematskih krugova, dok tačka D generiše epitrohoidu, tačka P generiše ekvidistantu. Ugao označen sa δ predstavlja ugao između normale $n-n$ i radius vektora tačke D , a može se definisati kao ugao zahvata. Koordinate tačke dodira P u koordinatnom sistemu epitrohoide mogu se napisati kao:

$$\begin{aligned}x_t &= e(\cos z\phi + \lambda z \cos \phi) - r_c \cos(\phi + \delta) \\y_t &= e(\sin z\phi + \lambda z \sin \phi) - r_c \sin(\phi + \delta)\end{aligned}\quad (1)$$

gde je λ koeficijent trohoide kojim se definiše odnos između

veličina poluprečnika trohoide i poluprečnika pokretnog kruga $\lambda = d/ez$.

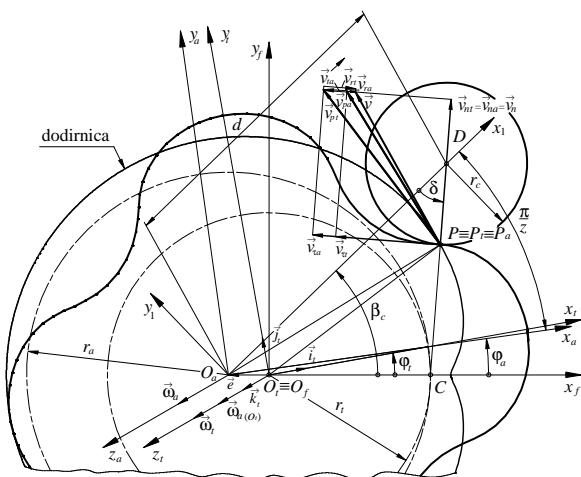


Slika 1. Generisanje nemodifikovane i modifikovane epitrohoide

Na osnovu geometrijskih odnosa sa slike 1 može se dobiti izraz za određivanje ugla δ :

$$\delta = \arctan \frac{\sin(z-1)\phi}{\lambda + \cos(z-1)\phi}. \quad (2)$$

Za kinematsku analizu spregnutih profila razmatra se kretanje tačke P_t na profilu unutrašnjeg zupčanika i tačke P_a na profilu spoljašnjeg zupčanika (slika 2).



Slika 2. Kinematski parametri trohoidnog zupčastog para

U toku sprežanja profili trohoidnog ozubljenja se istovremeno kotrljaju i klizaju, jedan u odnosu na drugi. Klizanje profila u tački dodira je posledica razlike u intenzitetu relativnih brzina tačaka na profilima unutrašnjeg, odnosno spoljašnjeg zupčanika.

Iz teorije ozubljenja je poznato da jedino centroide mogu da ostvare kotrljanje bez klizanja. Na osnovu toga proizilazi da je klizanje profila neizbežno pošto su oni obrazovani krivama koje se razlikuju od centroida. U tom slučaju, brzina klizanja spregnutih profila u posmatranoj tački dodira je brzina tačke dodira pri relativnom kretanju profila.

Na slici 2 dat je raspored brzina u tački dodira dva spregnuta profila gde su $[2, 5]$: \vec{v} je vektor apsolutne brzine

spregnutih profila u tački dodira; \vec{v}_{pt} , \vec{v}_{pa} su vektori prenosnih brzina tačke dodira P_t , P_a ; \vec{v}_{nt} (\vec{v}_{na}) su projekcije prenosne brine na zajedničku normalu i $\vec{v}_{\tau t}$ ($\vec{v}_{\tau a}$) na tangentu u tački dodira; \vec{v}_{rt} , \vec{v}_{ra} su vektori relativnih brzina tačke dodira P_t , P_a ; $\omega_r = \omega_t - \omega_a$ je ugaona brzina epitrohoide u odnosu na obvojnici; \vec{v}_{ta} je vektor brzine klizanja profila unutrašnjeg u odnosu na spoljašnji zupčanik; \vec{v}_{at} je vektor brzine klizanja profila spoljašnjeg u odnosu na unutrašnji zupčanik.

Intenzitet vektora relativne brzina u tački dodira P_t je:

$$v_{rt} = \left\{ ez \left(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta \right)^{\frac{1}{2}} - r_c (1 + \delta') \right\} \omega_r, \quad (3)$$

a u tački P_a jednak je:

$$v_{ra} = r_c \delta' \omega_r. \quad (4)$$

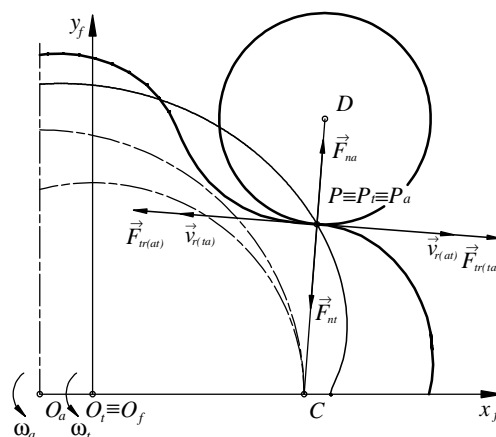
Intenzitet brzine klizanja profila u tački dodira je:

$$v_{kl} = |\vec{v}_{ta}| = \left\{ ez \left(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta \right)^{\frac{1}{2}} - r_c \right\} \omega_r. \quad (5)$$

Na osnovu izvedenih jednačina mogu da se definišu izrazi za određivanje specifičnog klizanja spregnutih profila u tački dodira.

3. SPECIFIČNO KLIZANJE PROFILA

Prisustvo klizanja u procesu sprežanja profila dovodi do njihovog habanja, pri čemu brzine klizanja definišu smer i intenzitet sile trenja koje deluju na profilima spregnutih zupčanika. Sila trenja je usmerena suprotno od relativne brzine kretanja u tački dodira. Tako se smer brzine klizanja \vec{v}_{ta} poklapa sa smerom sile trenja koja deluje na profilu spoljašnjeg zupčanika, a smer \vec{v}_{at} sa smerom sile trenja na trohoidnom profilu (slika 3).



Slika 3. Brzine klizanja, sile trenja i normalne sile u tački dodira spregnutih profila

Za analizu klizanja spregnutih profila potrebno je poznavati osim brzine klizanja u tački dodira i tok njene promene u odnosu na odgovarajuću relativnu brzinu tačke dodira. Odnos brzine klizanja i relativne brzine tačke dodira spregnutih profila predstavlja specifično klizanje [8]. Posle zamene odgovarajućih izraza za brzine dobija se

konačni izraz za specifično klizanje na profilu zupca unutrašnjeg zupčanika:

$$\xi_r = \frac{z(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta)^{\frac{1}{2}} - c}{z(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta)^{\frac{1}{2}} - c(1 + \delta')} \quad (6)$$

i analogno, za spoljašnji zupčanik

$$\xi_a = \frac{z(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta)^{\frac{1}{2}} - c}{c\delta'} \quad (7)$$

Na delu profila, gde se smerovi brzine klizanja i relativne brzine poklapaju, specifično klizanje ima pozitivnu vrednost, a gde se ne poklapaju – negativnu.

Na osnovu izraza (6) i (7) može se zaključiti da vrednosti specifičnih klizanja postaju beskonačno velike kada su vrednosti relativnih brzina jednake nuli. Te tačke su singularne za raspodelu specifičnog klizanja spregnutih profila. Najpre se analiziraju uslovi pri kojim $\xi_r \rightarrow \infty$, odnosno, kada je $v_{rt} = 0$. Polazeći od izraza (6) i njegovim izjednačavanjem sa nulom dobija se:

$$c = \frac{z(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta)^{\frac{3}{2}}}{z + \lambda^2 + \lambda(z+1)\cos \beta} \quad (8)$$

Dobijeni izraza ukazuje na to da ξ_r nije definisano kada je vrednost poluprečnika ekvidistante jednaka poluprečniku krivine osnovne epitrohoide. Kako se vrednost poluprečnika ekvidistante bira tako da bude manja od minimalne vrednosti poluprečnika krivine epitrohoide, to znači da je pojava singulariteta za ξ_r isključena. Međutim, da bi se izbegle ekstremno velike vrednosti specifičnog klizanja preporučuje se izbor vrednosti poluprečnika ekvidistante znatno manjih od graničnih.

Na profilu spoljašnjeg zupčanika postoji tačka sa beskonačno velikim specifičnim klizanjem. Položaj te singularne tačke je definisan kritičnim uglom β_0 , pri kojem se zajednička normala spregnutih profila u tački dodira poklapa sa tangentom na kinematske krugove [2]. U toj tački dolazi do promene znaka relativne brzine i $v_{ra} = 0$, a prema tome i na osnovu izraza (4) i (2) može da se odredi kritična vrednost referentnog ugla, odnosno:

$$\beta_0 = \arccos\left(-\frac{1}{\lambda}\right), \quad (9)$$

što odgovara poslednjoj tački aktivnog dela profila spregnute obvojnice.

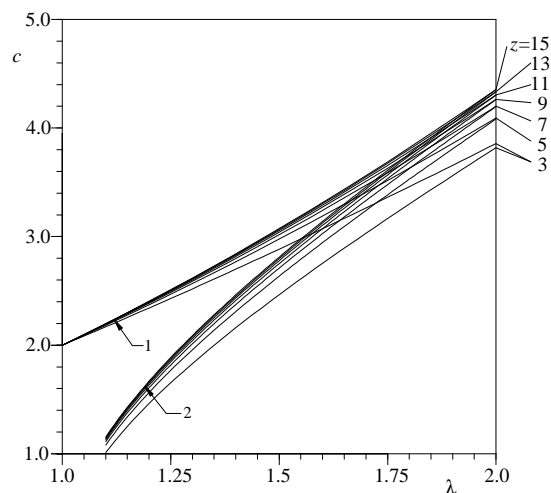
4. DEFINISANJE USLOVA ZA RAVNOMERNO HABANJE ZUBACA

Jedan od glavnih pokazatelja uticaja geometrijskih i kinematskih parametara na veličinu klizanja i intenzitet habanja profila zubaca je specifičnog klizanja profila [8]. Cilj optimalnog izvođenja konstrukcije gerotorske pumpe je da se odgovarajućim izborom geometrijskih parametara ozubljenja ostvari ravnomerno habanje zubaca spregnutih zupčanika u procesu sprežanja. Stoga je neophodno da se obezbedi jednakost specifičnih klizanja u tačkama sa najvećom brzinom klizanja, odnosno u tačkama koje su najudaljenije od trenutnog pola relativnih brzina. Polazeći od izraza (6) i (7) proizilazi da se za date vrednosti broja zubaca z i koeficijenta trohoide λ ravnomerno habanje profila zubaca može ostvariti

kada je ispunjen uslov o jednakosti relativnih brzina, odnosno kada je izabrana vrednost koeficijenta poluprečnika ekvidistante jednaka:

$$c = \frac{z(1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \beta)^{\frac{3}{2}}}{\lambda^2 - 1 + 2z(1 + \lambda \cos \beta)} \quad (10)$$

Potrebno je napomenuti da su iz razmatranja isključene singularne tačke ($\beta = \pm\beta_0$).



Slika 4. Dijagrami za izbor poluprečnika ekvidistante iz uslova za ravnomerno habanje spregnutih profila:

- 1- u tački sa najvećom brzinom klizanja,
- 2- u tački sa najvećom krivinom trohoidnog profila

Ovaj uslov se za tačke sa najvećom brzinom klizanja, a to su tačke na temenu trohoidnog profila ($\beta=0$), može izraziti u obliku:

$$c = \frac{z(1 + \lambda)^2}{2z + \lambda - 1} \quad (11)$$

Geometrijska interpretacija izvedenog izraza data je na slici 4 (dijagram obeležen sa 1), pri čemu su varirane vrednosti broja zubaca z i koeficijenta λ .

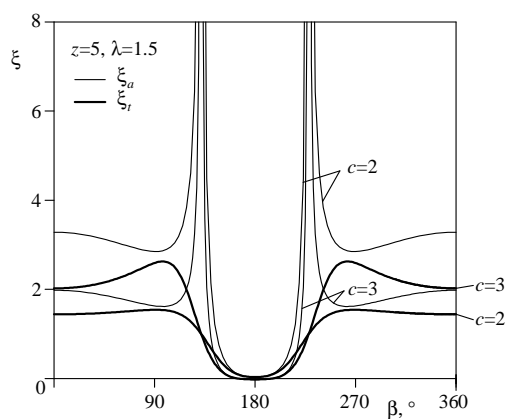
Može se zapaziti da u oblasti preporučenih vrednosti koeficijenta trohoide za pumpe, $\lambda < 2$, broj zubaca ne utiče bitno na uslov za ravnomerno habanje, što je posebno izraženo pri većim brojevima zubaca.

Na sličan način, može da se izvede uslov o jednakosti relativnih brzina u tački sa najmanjim poluprečnikom krivine trohoide. Polazeći od izraza za određivanje ugla koji odgovara tački sa najmanjim poluprečnikom krivine na profilu unutrašnjeg zupčanika, izvedenog u referenci [2], i uslova definisanog izrazom (10) dobija se :

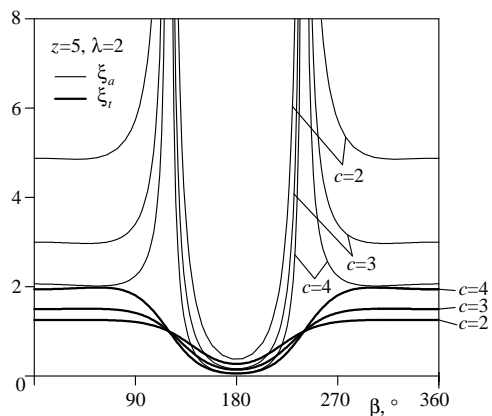
$$c = \frac{z[3(z-1)(\lambda^2 - 1)]^{\frac{3}{2}}}{(z+1)^{\frac{1}{2}}(1-3z+2z^2)(\lambda^2 - 1)} \quad (12)$$

Geometrijska interpretacija izvedenog izraza data je na slici 4 (dijagram obeležen sa 2).

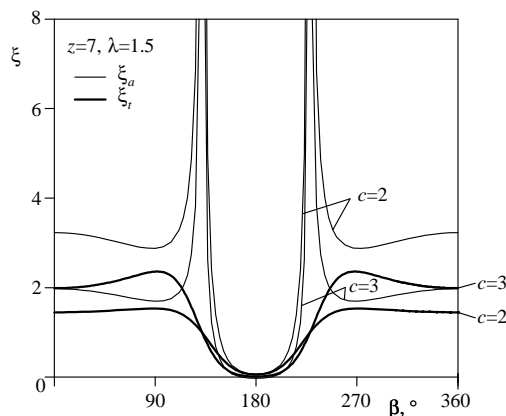
Znači, izborom odgovarajućeg koeficijenta poluprečnika ekvidistante može da se ostvari jednakost specifičnih klizanja u odgovarajućim tačkama trohoidnog zupčastog para sa unutrašnjim ozubljenjem, što je ilustrovano na slici 5. Osim toga, omogućeno je i smanjenje ekstremno velikih vrednosti specifičnog klizanja u okolini tačke sa najvećom krivinom trohoidnog profila.



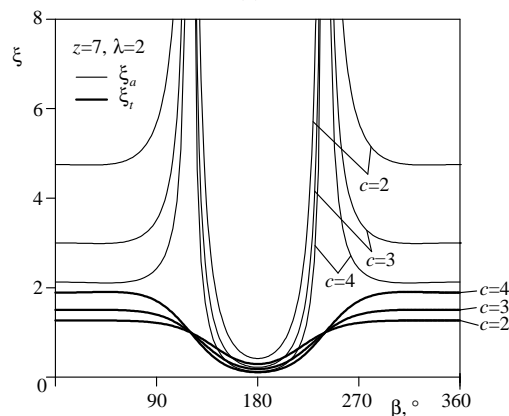
(a)



(b)



(c)



(d)

Slika 5. Uporedni dijagrami apsolutnih vrednosti specifičnih klizanja tačke dodira profila trohoidnih zupčastih parova za različite vrednosti broja zubaca, pri različitim vrednostima koeficijenta c i za različite vrednosti koeficijenta trohoida λ : (a) $z=5, \lambda=1.5$; (b) $z=5, \lambda=2$; (c) $z=7, \lambda=1.5$ i (d) $z=7, \lambda=2$

Na osnovu slika 5 (a) i (c), može se zaključiti da je, sa kinematskog aspekta, obezbeđeno ravnomerno habanje spregnutih profila zubaca zupčanika u tačkama profila koje su najudaljenije od trenutnog pola relativnih brzina, zato što su vrednosti specifičnih klizanja u tim tačkama jednake.

Napomena: Na slici 5 su dati dijagrami apsolutnih vrednosti specifičnog klizanja tačke dodira profila trohoidnih zupčastih parova radi lakšeg međusobnog poređenja.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih izraza može se zaključiti da vrednosti specifičnih klizanja postaju beskonačno velike kada su vrednosti relativnih brzina jednake nuli. Te tačke su singularne za raspodelu specifičnog klizanja spregnutih profila. Na profilu unutrašnjeg zupčanika specifično klizanje nema singularnih tačaka, dok na profilu spoljašnjeg zupčanika postoji tačka sa beskonačno velikim specifičnim klizanjem.

Osim toga, u radu je pokazano da se odgovarajućim izborom geometrijskih parametara može realizovati jednakost specifičnih klizanja u tačkama sa najvećom brzinom klizanja, odnosno da se, sa kinematskog aspekta, obezbedi ravnomerno habanje zubaca spregnutih zupčanika u procesu sprežanja.

6. LITERATURA

- [1] Ansdalet R. F., Lockley D. J.: *The Wankel RC Engine*, Iliffe Books Ltd., London, 1970.
- [2] Ivanović L.: *Identifikacija optimalnog oblika trohoidnog profila zupca elemenata rotacionih pumpi*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2007.
- [3] Ivanović L., Josifović D.: *Specific Sliding of Trochoidal Gearing Profile in the Gerotor Pumps*, FME Transactions, Vol. 34, No 3, pp. 121-127, 2006.
- [4] Josifović D., Ivanović L.: *Kinematska analiza trohoidnog ozubljenja kod pumpi za podmazivanje motora SUS*, Monografija, Mobility and Vehicles Mechanics, 119-132, Kragujevac, 2005.
- [5] Литвин Ф. Л.: *Теория зубчатых зацеплений*, Наука, Москва, 1968.
- [6] Maiti R., Sinha G. L.: *Kinematics of active contact in modified epitrochoid generated rotary piston machines*, Mechanism and Machine Theory, Vol. 23, No 1, 39-45, 1988.
- [7] Manco G., Manco S., Rundo M., Nervegna N.: *Computerized generation of novel gearings for internal combustion engines lubricating pumps*, The International Journal of Fluid Power, vol. 1 – Number 1 - ISBN 1493-9776, pp. 49-58, March 2000.
- [8] Шаников В. М.: *Планетарные редукторы с ванцентричным зацеплением*, Машгиз, Москва, 1948.
- [9] Vecchiato D., Demenego A., Argyris J., Litvin F.: *Geometry of a cycloidal pump*, Computer methods in applied mechanics and engineering, pp. 2309-2330, 2001.

Autori: Dr Lozica Ivanović, Prof. Dr Goran Devedžić, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija, Tel.: +381 34 335-990, Fax: +381 34 333-192
E-mail: lozica@kg.ac.yu
devedzic@kg.ac.yu

Krstić, D.

GLOBALNE STRATEGIJE AUTOMOBILSKJE INDUSTRIJE

Rezime: Neminovni i nemilosrdni globalni tokovi automobilske industrije preusmeravaju ljudske resurse u sferu decentralizovanih malih preduzeća. Ekonomsko finansijski pokazatelji permanentne stagnacije rentabilnosti i likvidnosti velikih industrijskih subjekata, koji karakterišu automobilsku industriju, ne mogu opstati po ekonomskom receptu iz prošlosti, po kome se razvoj preduzeća poistovećivao sa njegovim rastom i povećanjem broja radnika. Danas od preduzeća sa velikim brojem radnika, od 10-20 hiljada zaposlenih i više, nije realno očekivati održivost profitabilnosti, već jedino njihovu tešku borbu za opstankom.

Ključne reči: globalizacija, automobilska industrija, dekomponovanje, poslovna strategija, udaljeni partneri, komunikacijska tehnologija.

GLOBALIZATION STRATEGY OF THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Abstract: Inevitable and merciless global expenses of automotive industry are rerouting human resources to the sphere of decentralized small enterprises. Economic and financial indicators of profitability and liquidity permanent stagnation of great industrial subjects, describing automotive industry, cannot survive according to economic prescription from the past, according to which the company development used to identify with its growth and increase of workers. Nowadays, it is not realistic to expect profitability sustainability from companies with large number of workers, i.e. from 10-20 thousand employees and more, but only their hard struggle for survival.

Key words: globalization, automotive industry, decomposition, business strategy, remote partners, communication technology.

1. UVOD

Globalni tokovi u autoindustriji negiraju ekonomski prosperitet gigantskih kompanija, te se iz tog razloga, znanja i iskustva kadra automobilske industrije sa centralizovanih kompanija presmerava na manja dekomponovana preduzeća, odnosno, koristeći obučenost kadra u automobilske industriji, stvaraju se nova mala, kompetentna preduzeća. Drugim rečima, globalni interes autoindustrije je da razvija mala i srednja preduzeća, oko centralnog tržišnog subjekta, a to je realizacija proizvodnje konkretnog tipa automobila, koja se u novije vreme ostvaruje internacionalnim učešćem kapitala, znanja i same proizvodnje, a već je karakteristična u praksi najrazvijenijih ekonomija u svetu. Može se uzeti primer spajanja donedavnih konkurentskih suparnika na svetskom tržištu, kao što su francuski PSA Peugeot Citroën i japanska Toyota (poznata po najpouzdanijim automobilima na tržištu), koji su zajedničkim snagama (investicijama, znanjima, institucijama i dr.) u češkom Kolinu, izgradili supermoderne pogone za izradu nove generacije malih gradskih automobila.

Potcenjivanje navedenih globalnih tokova mogu katastrofalno uticati na poslovanje velikih autoindustrija, pa i ugroziti samu njihovu egzistenciju. Tako je, na primer, potcenjivanje globalnih tokova, skupo koštalo i najvećeg proizvođača automobila na svetu, američku kompaniju "GM" (General motors).

Naime, vrednost akcija kompanije u 2006. godini su bile najniže od 1987., a uzrok ovome treba tražiti, delom u strahu akcionara od ekonomske budućnosti, delom zbog nemilosrdnih tokova globalizacije. "GM" je izgubio gotovo četiri milijarde dolara samo 2006. godine, a tržišna vrednost je pala na 12 milijardi dolara, nasuprot, na primer, vrednosti Internet-pretraživača Gugla od 112 milijardi dolara. Bankrotstvo kompanije Dženeral motors bio bi težak psihološki udar za SAD, ali i finansijski udar za prateću industriju. Mičigen i obližnje države koje zavise od automobilske industrije već beleže gubitke na hiljade radnih mesta i smanjenje plata.

Ovakvi tokovi su primorali predsednika i generalnog direktora kompanije Rika Vagonera da saradnicima pošalje garantno pismo u kome se navodi da ne postoji apsolutno nikakav plan, strategija ili namera "GM"-a za ulazak u bankrot. Pismo je donelo rast akcija od 4 %, ali je "Bank of America" podigla izgleda za odlazak kompanije u bankrotstvo u naredne dve godine na 40 %. Bez obzira na pad prodaje i skok cena goriva, najveća teškoća kompanije je nagli rast troškova penzija i zdravstvenog osiguranja radnika i penzionera u SAD. Ti troškovi dodaju 3.500 dolara na cenu svakog vozila "GM"-a. Sindikati strahuju da bi pod bankrotstvom kompanija mogla da otkáže radničke ugovore i time uveliko smanji troškove. "GM" osigurava 1,1 milion Amerikanaca (zdravstveni troškovi kompanije su godišnje oko 5,6 milijardi dolara).

Iz tog razloga su permanentni naponi smanjenja trškova za pet milijardi dolara, koji bi po jednom od strateških planova kompanije mogli dovesti do gašenja 25.000 radnih mesta, u prvom redu zatvaranjem komponentnih fabrika, uz dodatno smanjenje radnih mesta u biroima i nastavak zamrzavanja plata, a sa sindikatima je već postignut sporazum o smanjenju troškova za zdravstveno osiguranje od milijardu dolara godišnje.

Iz predhodnog iskustva, kao i iskustava iz domaće autoindustrije, a u cilju očuvanja egzistencije automobilske industrije, se mora shvatiti da je rešenje, ne u smanjenju radnih mesta fabrike Zastava vovila (Zastava automobili, Zastava kamioni, Zastava specijalna vozila i dr.), već u njihovom dekomponovanju i nužnom stvaranju malih i srednjih preduzeća privatnog karaktera, koja se moraju tehnološko-tehnički specijalizovati i globalno umrežiti, uz permanentno praćenje svih novih tehnologija, kako bi postala stvarno stručna i profesionalna u svom sektoru. Konkurentnost ovih preduzeća bi u velikoj meri stvorila njihova sposobnost za razvojem sopstvenih tehnološko-tehničkih inovacija i samostalni razvoj proizvoda u tesnoj saradnji sa drugim inostranim umreženim kompanijama, specijalizovanim za proizvodnju i razvoj konkretne komponente automobila, po važećim međunarodnim

standardima. To u sadašnjoj situaciji daje realnu šansu opstanka autoindustrije u Srbiji, a i uopšte drugih svetskih autoindustrija, po konceptu matične kompanije za realizaciju gotovog proizvoda, koja oko sebe vezuje mala specijalizovana i krajnje profesionalna preduzeća po fizičkom modelu atoma. Naime, ovaj koncept možemo posmatrati modelom atoma, gde jezgro atoma sačinjava matična kompanija sa elektronima koje predstavljaju mala specijalizovana preduzeća, gde ekonomski jedni bez drugih ne bi mogli ni postojati, ni opstati, čime se zadovoljava njihov zajednički interes i motivacija.

2. UTICAJ GLOBALNIH TOKOVA NA POSLOVNU STRATEGIJU

Današnji globalni tokovi automobilske industrije postavljaju veoma visoke zahteve donosiocima odluka, menadžerima, direktorima, koji se konstantno suočavaju sa velikim izazovom odabira jedne od više ponuđenih, mogućih alternativa, poslovnih varijanti od kojih direktno zavisi profit od proizvodnje automobila, pa i buduća društvena korist, jer automobilska industrija, kao prioritetni pokretač razvoja nacionalnih privreda i integrator tehnika, tehnologija i svih drugih naučnih disciplina, u zemljama u kojima je zastupljena proizvodnja automobila, predstavlja njihov nacionalni interes. Značajna pitanja su da li investirati u neki konkretan projekat ili ne, i ukoliko se prihvati izazov, neophodno je i pri njegovoj realizaciji donositi stalno nove, slične odluke, do onog ključnog pitanja, produžiti dalje sa projektom, odnosno proizvodnjom ili ne.

Stoga, neizbežni i sve više prisutni globalni tokovi u automobilskoj industriji održavaju neprekidnu "tenziju" kod proizvođača, inicirajući potrebu opširne strateške analize sa permanentnim sagledavanjem svih relevantnih uticaja, i na osnovu, kako zaključaka, tako i predviđanja, definisanje vizije, postavljanje ciljeva, procenu ograničenja, i drugo, i na osnovu postavljenih parametara, određivanje svih potencijalnih mogućnosti, njihov strateški izbor uz sagledavanje međusobnih zavisnosti (da li su isključive ili ne), kao i rangiranje po prioritetu i drugo. Automobilska industrija je veoma kompleksna, i pored direktnih uticaja brojnih međunarodnih propisa (većinom iz oblasti bezbednosti i zaštite životne sredine), koji se konstantno pooštravaju i brzo menjaju uz težnju ka postizanju kvaliteta i poštovanju zahteva kupaca, takođe su značajni i mnogi indirektni faktori, koji su najčešće apstraktni i nepredvidljivi vremenski i po intenzitetu, a istovremeno mogu biti fatalni za egzistenciju proizvođača automobila.

3. OPTIMIZACIJA AUTOINDUSTRIJE VIRTUELNIM OGORGANIZOVANJEM

Poslednjih godina na sceni autoindustrije je novi tip organizacija, pri čemu se svi subjekti koji učestvuju u realizaciji konkretnog projekta nekog tipa automobila udružuju u virtualnu organizaciju, kao odgovor na zahteve povećanja fleksibilnosti i agilnosti na rastućem svetskom tržištu automobila, koje je globalnog karaktera. Interes automobilskih kompanija se može ostvariti formiranjem različitih virtualnih organizacija, i to:

- virtualnih organizacija kao geografski dislocirane,
- virtualnih organizacija kao eksternalizovane organizacije,
- virtualnih organizacija kao sajber organizacije i
- virtualnih organizacija kao privremene mreže.

Za većinu autora, kao npr. Ajuha Carley (1998), virtualna organizacija je: "geografski distribuirana firma čiji su članovi povezani zajedničkim interesom ili dugoročnim ciljem i koja komunicira i koordinira njihov rad primenom informacija i

komunikacionih tehnologija".

Ovakvo definisana virtualna organizacija uklanja tradicionalne barijere u lancu stvaranja vrednosti između isporučilaca - proizvođača - krajnjih korisnika i utiče na visok stepen decentralizacije rada. Svi članovi međusobno komuniciraju putem elektronske pošte, video konferencije, interneta itd. Stvara se novi stil komunikacija sa višim nivoom informisanosti. Ovaj vid organizacije je decentralizovan i nehijerarhijski.

Za razliku od ovog pogleda, drugi autori smatraju da se prenosom određenih funkcija eksternoj specijalizovanoj firmi stvara virtualna firma čija se virtualnost obezbeđuje podugovorima za svaku fazu procesa stvaranja proizvoda/usluga. Prema ekstremnom viđenju, organizacija je totalno virtualna ako se svaka faza proizvodnog procesa odvija van matične firme, koja se pojavljuje u ulozi koordinatora na ovim različitim stepenima (Kraut & all, 1998). Cilj je optimizacija svih aktivnosti u lancu stvaranja vrednosti. Struktura ovog tipa virtualnih organizacija je u vidu klastera (cluster) koji su članice virtualne organizacije i njihovih veza koje se ostvaruju po principu ključnih kompetencija.

Sajber organizacija je ultimativni oblik eksternalizovane organizacije. Prema Lipnack-u i Stamps-u (1997), sajber organizacija je veza nezavisnih osoba ili grupa na kibernetskoj (cyber - sajber) radnoj platformi. Između klasične virtualne organizacije i sajber organizacije postoji razlika, i to:

- stalni kontakt između članova sajber organizacije i sa okruženjem ostvaruje preko ICT,
- iako sajber organizacija ima pravni status, ona zapošljava samo nekoliko osoba, a ostali poslovi su eksternalizovani

Davidow i Malone su prvi posmatrali VO kao privremenu mrežu. Prema njima, VO je kao molekul sastavljen od različitih atoma i njihovih veza. Članovi virtualne grupe ili VO su na istoj ICT platformi. Povezani su preko interneta, ali postoji i mogućnost "klasičnih" komunikacija.

Prema Byrne (1993) "VO je privremena mreža nezavisnih kompanija - isporučilaca, klijenata, čak i ranijih konkurenata - povezanih pomoću ICT i udruženih u cilju podele kvalifikacija, troškova i pristupa njihovim respektivnim tržištima. To nije hijerarhija ili vertikalna integracija". Na ovaj način definisana VO sastoji se iz glavnih međusobno povezanih klastera. Razlika u odnosu na drugu koncepciju je u tome što nijedan od klastera nema dovoljno snage da se tretira kao hub (glavni čvor) grupe.

Ovakvi Globalni uticaji na automobilsku industriju su prouzrokovali spajanje donedavnih konkurentskih suparnika na svetskom tržištu. Tako, na primer, francuski PSA Peugeot Citroën i japanska Toyota (poznata po najpouzdanijim automobilima na tržištu) zajedno su, u češkom Kolinu, izgradili supermoderne pogone za izradu nove generacije malih gradskih automobila. Ovakvi primeri globalnog udruživanja danas su sve češća pojava, kako u automobilskoj industriji, tako i u mnogim drugim industrijama (npr. ujedinjenje kompanija Nokia i Simens, Sony-a i Eriksa, trojno udružena kompanija "ABB" i drugih).

Pored udruživanja dojučerašnjih konkurentskih kompanija, kao primer dobre strategije u automobilskoj industriji možemo slediti primer koncepta Velike Britanije. Koncept se bazira na zbližavanju akademije i industrije, uz podršku Vlade Velike Britanije. Po ovom konceptu se Konzorcijum iz Velike Britanije zadužuje za razvoj, a ministarstva privrede i nauke za neophodnu pomoć da se potencijalne kompanije osposobe za eksploataciju razvojnih tehnologija. Ovakav koncept se realizuje pod pokroviteljstvom partnerstava "Faraday", koji je formiran upravo u cilju zbližavanja akademije i industrije u Velikoj Britaniji, uz podršku vlade koja daje inicijalni kapital.

Partnerstvo "Automotive" i "Aerospace" predstavlja saradnja između "Cranfield", "Oxford" i "Oxford Brookes" univerziteta, "MIRA", "Oxford Trust" i "Heart of England" poslovnih veza. Podržani su od strane 50 značajnih kompanija. Direktor partnerstva je Dr Patrik Grant, i po njegovim shvatanjima i dalje postoji veliki jaz između akademije i industrije, iako obe strane žele da se kreću zajedno u istom prevcu. Tako su partnerstva sektora zasnovana na mnogobrojnim finansijskim inicijativama, kao što su "Link" i "Smart" nagrade.

Takođe, po Grantu se često javljaju problemi kada se proizvodnja poveća u razmeri sa obimom laboratorijskih istraživanja, što ekonomski nepovoljno utiče na proizvodnju. Ove nepogodnosti se mogu svesti na minimum, ako se potencijalni proizvodni problemi identifikuju i ako se pravovremeno reaguje.

Očekuje se da će u budućnosti biti više među-"Faraday" aktivnosti. Svako partnerstvo će biti u kontaktu sa drugima da bi se količina tehnološkog transfera dovela do maksimuma. Tehnološki transfer često podrazumeva transfer ljudi, i to je suštinska karakteristika partnerstva "Faraday". Partnerstvo takođe mora da ima nacionalno stanovište i da nudi vođstvo industriji. Kako proizvođači postaju sve manje rentabilniji, sve su manje sposobni da izvedu sva potrebna istraživanja koja su planirali, ali su voljni da traže investitore za projekte na drugim mestima. Univerziteti, sa druge strane, mogu da ponude dobro snabdevena laboratorije i postrojenja, kao i veliko istraživačko iskustvo.

Sledeći napred navedeno, za konkurentnost koja predstavlja opstanak domaće automobilske industrije, kao i u svim vodećim svetskim automobilskim industrijama, neophodna je njena saradnja sa univerzitetima, sertifikovanim laboratorijama i stilskim centrima, u cilju uspostavljanja i permanentnog povećavanja obima i inteziteta istraživačkih aktivnosti, koje su nezamislive bez pomoći vlade.

Zbog kompleksnosti problema u kojoj se nalazi domaća automobilska industrija, neophodno je sa vladom definisati razvojni koncept, i odrediti strateške nacionalne i regionalne interese. Analize pokazuju da je potrebno, uz osavremenjavanja tehnologije proizvodnje matične fabrike automobila, istovremeno iz nje dislocirati nerentabilne i nelikvidne proizvodne celine, a iste razvijati u malim i srednjim preduzećima na regionalnom nivu, čije bi formiranje i razvoj pomogla vlada inicijalnim kapitalom. Time bi se znatno smanjili administrativni izdaci i troškovi razvoja i ispitivanja novih tehnologija i materijala, a vertikalna i horizontalna saradnja sa naučnim institucijama bi dala realnu šansu poslovnog uspeha i dostizanja kvaliteta, ili čak postavljanja sopstvenih kvaliteta.

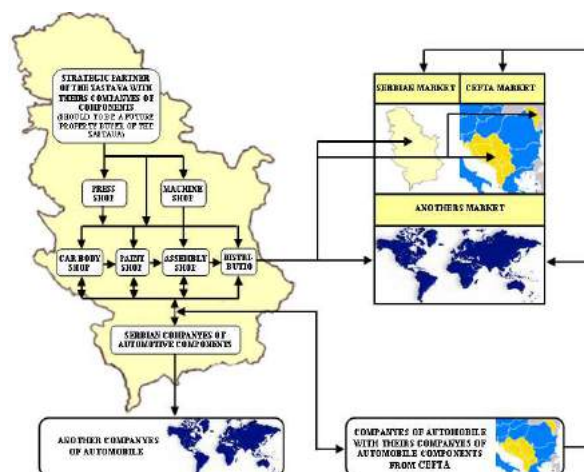
4. GLOBALNI I TRANZICIONI TOKOVI DOMAĆE AUTOINDUSTRIJE

Globalni tokovi, kao i tranzicioni privredni tokovi u našoj zemlji su uticali na promenu i prilagođavanje poslovne strategije u domaćoj automobilskoj industriji. Došlo je do promene vlasničke strukture, dekomponovanja fabrike, sa krajnjim ciljem privatizacije, što je uslovalo i promenu strategije poslovanja. Model potencijalne saradnje sa strateškim partnerom je prikazan na slici br. 1.

Trasiranje razvojnih putanja su višemoguća strateška rešenja potencijalnog razvoja domaće autoindustrije fabrike "Zastava vozila", sa definisanom vizijom, postavljenim ciljem i u zavisnosti od mogućeg razvoja bilateralnim, političkih i privrednih događaja.

U procesu tranzicije domaća autoindustrija nije mogla izbeći spoljne uticaje bilateralnih odnosa i interesa svetskih centara moći, kao i unutrašnje uticaje političkih odnosa i sindikalnih aktivnosti. Uopšteno, glavne uticajne faktore egzistencije automobilske industrije možemo tražiti u:

- globalnim tokovima
- bilateralnim odnosima
- društvenoj podršci
- vladinim agencijama
- finansijskim institucijama
- sindikatima
- koperantima
- stakeholderima
- konkurenciji (uključujući strani interes i uvoznički lobi)
- kupcima
- očuvanju tržišta (i težnje osvajanja novih tržišta) i dr.



Slika 1. Model moguće saradnje "Zastava vozila" sa potencijalnim strateškim partnerom

Pored pomenutih globalnih tokova, jedan od najznačajnijih faktora je tendencija smanjenja vremena stilskog razvoja automobila, razvoja novih materijala i njihove primene u eksploataciji, projektovanja proizvodnje, vremena sklapanja jedinice proizvoda, prodaje, smanjenje životnog ciklusa proizvodnje konkretnog tipa vozila, smanjenje vremena osvajanja novog tipa vozila i svih drugih vitalnih delatnosti zastupljenih u automobilskoj industriji. Do skora se nije moglo pretpostaviti mogućnost drastičnog smanjenja vremena u razvojnom i proizvodnom ciklusu, ali je to danas omogućeno primenom ICT tehnologija i kompatibilnim softverskim paketima koje koriste svi učesnici automobilske industrije, tako da je saradnja i komunikacija i najudaljenijih partnera trenutno moguća. Bez ikakvog organizacionog rasplinjanja i trošenja vremena je moguće istovremeno, za jedan tip automobila, stilski razvoj raditi u Italiji, razvoj proizvoda u Japanu, tehnološki razvoj proizvodnih linija u Nemačkoj, softverske pakete u Indiji a po realizaciji istih proizvodnju ostvariti u Srbiji. Jedan od ovakvih modela globalne strategije je prikazan na slici br. 2.



Slika 2. Model makro - strategije globalnih solucija internacionalnog umreženja "Zastava vozila"

Primena ICT tehnologija u P2P okruženje je najbolji način poslovanja, koji ne poznaje granice između udaljenih partnera u automobilske industriji u njihovoj međusobnoj interakciji. Ovaj savremeni organizacijski pristup i komunikacijska tehnologija omogućava izgradnju nove strategije automobilske industrije i u opšte, omogućava bezbolno i funkcionalno poslovanje umreženih globalnih korporacija. Sa aspekta strateške politike autoindustrije, neminovno je fokus sa masovne proizvodnje lepeze tipova automobila, presmeriti na proizvod, ili proizvode, koji poprimaju karakter internacionalnog proizvoda, sa unapred urađenom analizom njihovih plasmana na domaćem i potencijalnim stranim tržištima, kao i čvrste argumente za to.

Na sledećem dijagramu (slika br. 3.) je slikovito prikazana funkcija životnog toka projekta za pojedinačan tip vozila, finansijskim tokom u funkciji vremena, gde negativna ordinata predstavlja fazu finansijskog ulaganja pre početka serijske proizvodnje konkretnog tipa vozila (za karakter kapitalnih investicija autoindustrije je to nulta godina), a pozitivna ordinata fazu profita u vremenskom periodu proizvodnog ciklusa.



Slika 3. Uticaj globalnog umreženja internacionalnih autoindustrija na efikasnost realizacije projekata

5. ZAKLJUČAK

Danas su sve velike svetske automobilske industrije suočene sa dekomponovanjem na mala i srednja preduzeća, koja su okupljena oko glavnog proizvoda sa neophodnim zajedničkim interaktivnim aktivnostima. Ovakva satelitska mala i srednja preduzeća, neće imati ulogu rešavanja velikih problema autoindustrije, već se od njih očekuje učešće, kako u zajedničkim rešenjima, tako i u samostalnim rešenjima za specifične probleme iz njihovih oblasti, uz saradnju i implementaciju znanja univerzitetskih institucija, specijalizovanih laboratorija, razvojnih i stilskih centara, naučnika, stručnjaka, inovatora i pojedinaca, prateći pogodnosti i mane svih potencijalnih dostignuća i rešenja.

Takođe, novi globalni tokovi automobilske industrije zahtevaju permanentnu eksploataciju novih poslovnih strategija, stalnu reorganizaciju poslovanja, kao i restrukturu samih kompanija. Svi ovi tokovi promena imaju veoma dinamičan karakter, i iz tog razloga današnja autoindustrija ima sve manju perspektivu bez povezivanja kompanija u različite globalne virtualne organizacije, a da li će se one formirati kao geografski dislocirane, eksternalizovane, sajber organizacije ili privremene mreže, zavisi od trenutnih tokova samog tržišta. Naravno, da postojanje ovakvih globalnih virtualnih organizacija podrazumeva i primenu i kompatibilnost elektronskog poslovanja i elektronsko-komunikacijskog povezivanja svih poslovnih subjekata u njoj, što predstavlja i preduslov njihovog potencijalnog formiranja, ili restrukturiranja.

Komunikacijska povezanost se mora odnositi na sve interakcije (korelacije, kordinacije, subordinacije i dr.), bilo da su internog ili eksternog karaktera. Drugim rečima, komunikacijska povezanost treba da objedini rukovođenje, planiranje, zadovoljavanje potreba za informacijama,

razvojem proizvoda, inovacijama i njihovom implementacijom u proizvodnju i proizvode, upravljanje lancem nabavke i prodaje, internetski marketing, planiranje poslovnih resursa, automatizaciju proizvodnje i proizvoda, optimizaciju prodaje i naplate, sigurne metode pristupa i drugo. U konkretnom slučaju domaće autoindustrije, primena ovakve strategije u skladu sa već u praksi postojećom globalizacijom svetske proizvodnje automobila i njihovog tržišta, dalo bi šansu opstanka srpske autoindustrije i očuvanje metalske industrije uopšte.

Međutim, ni ovo nije dovoljno, ako menadžment nije dovoljno agresivan, samouveren i uporan da realizuje projekte proizvoda, odnosno da privuče investicije i implementira proizvod i proizvodnju u neku od globalnih umreženih korporacija, koje imaju na raspolaganju i finansije za investicije, razvojne centre, nove tehnologije i materijale uz već skenirana i obrađena svetska tržišta.

6. LITERATURA

- [1] Arsovski Z.: „*Informacioni Sistemi*“ - *Cim tehnike i tehnologije*, III izdanje, Mašinski fakultet u Kragujevcu, CIM centar, Kragujevac, 2004.
- [2] Stefanović Ž.: *Menadžment*, III izdanje, Ekonomski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2003.
- [3] *Rečnik tehničkih termina u evropskim direktivama novog pristupa i globalnog pristupa*, Beograd, mart 2006.
- [4] Arsovski S.: „*Menadžment tehnologijama*“ - *Menadžment tehnologijama u virtuelnim organizacijama*, I izdanje, Mašinski fakultet u Kragujevcu, CIM centar, Kragujevac, 2004.
- [5] Krstić D.: *Globalni tokovi u autoindustriji*, Nacionalna konferencija o kvalitetu, Festival kvaliteta, Kragujevac 2007.

Autori: Dejan Krstić, dipl.maš.ing, Grupa Zastava vozila.
E-mail: krstic.dejan@zastava.net

Krstić, D.

MODEL POTENCIJALNOG REINŽINJERINGA ZASTAVE REZERVNI DELOVI PRIMENOM ICT ONLINE TEHNOLOGIJE

Rezime: ICT tehnologije On-line poslovanja u internetskom okruženju su postale nezaobilazni način poslovanja za sve velike, srednje i male privredne subjekte, kao i za sve delatnosti drugih grana poslovanja. Međutim, sama prisutost na internetskom okruženju nije dovoljna, ako se teži adekvatnom korišćenju njegovih mogućnosti i konačnom pretvaranju ove informacione tehnologije u moćan alat za optimizaciju poslovanja i ostvarivanju bržeg i većeg profita.

Ključne reči: globalizacija, poslovna strategija, informacija, interaktivna telekomunikacija, On line poslovanje, udaljeni kupci, ICT tehnologija, mrežno bankarstvo, finansijske transakcije.

MODEL OF POTENTIALS REINGINERIN OF THR ZASTAVA REPLACEMENT PART BY THE IMPLEMENTATION OF THE ICT ONLINE TECHNOLOGY

Abstract: ICT technology of the On-line business in the area of internet are becoming unavailables away of the business for all great, middle and small subjects of industry, also for all of another business area. However, the immanent on the area of internet isn't enough, if we gravitate towards at all events and adequates exploitation of his facilities and definitively transformation of this information tehnology in the very strong instrument for optimizing of business and purchasing of the faster and the better profit.

Key words: globalization, business strategy, information, interaction telecommunication, On-line business, remotes customers, ICT technology, net banking, finance transactio.

1. UVOD

Rad se bavi opservacijom implementacije internetskog on-line poslovanja i izradom modela potencijalnog reinžinjerin preduzeća Yastava Rezervni delovi. Modalitet poslovanja bi se prilagodio uslovima koji vladaju na domaćem tržištu. Naime, iako u Srbiji još uvek ne funkcioniše u potpunosti prodaja putem kartica, posebno ne na internetu, kao i činjenici da je u toku užurbana realizacija standardizovanja elektronskog sistema prodaje putem kartica, u konkretnom slučaju bi se primenio, u početnoj fazi eksploatacije web aplikacije, alternativni načini on-line poslovanja, i to plaćanjem pouzecom i plaćanjem preko žiro-računa. Za privredne subjekte koji su uveli elektronsko "ES" klijent poslovanje, kao i korisnicima NetBanking poslovanja, omogućio bi se direktan način plaćanja elektronskim putem sa žiro-računa na žiro-račun.

2. POSLOVNI CILJEVI

- poboljšanje imidža i poverenja kupaca,
- povraćaj primata prodaje RD-a,
- ažuriranje katalogizacije ugradnih delova (u skladu sa standardima i direktivama EU),
- redukovanja troškova administracije i distribucije,
- povraćaj tržišta okruženja i osvajanje novih tržišta,
- unapredjenje tehnicke podrške i e-poslovanja,
- unapredjenje komunikacije sa klijentima i poslovnim partnerima
- adekvatnije iskorišćenje intelektualnih ljudskih resursa

3. KREIRANJE, AŽURIRANJE I ODRZAVANJE WEB SAJTA

Kreiranje web sajta i izradu softverske aplikacije realizovao bi programer internetskih aplikacija, uz

kordinaciju arhitekta softverske aplikacije i dizajnera. Za realizaciju ovog posla bi se angažovali postojeći intelektualni ljudski resursi Zastave, koji su kompetentni sa aspekta stručnosti i međunarodnog iskustva iz konkretne oblasti programiranja, a koji su u ovom trenutku nedovoljno i neadekvatno iskorišćeni. Takođe bi se prihvatilo i savetodavno angažovanje i stručna pomoć (ukoliko bi to bilo potrebno) specijalizovanih softverskih agencija za izradu web aplikacija. Ovaj tim bi vremenom unapređivao web sajt, sa implementacijom dodatnih softverskih aplikacija za potrebe matičnog web sajta u skladu sa proširenjem obima poslovanja, kao i pri potencijalnoj prodaji softverskih proizvoda i usluga.

Funkcija ovakvog informacionog sistema se može opisati na sledeći način, po hronologiji operacija sistema:

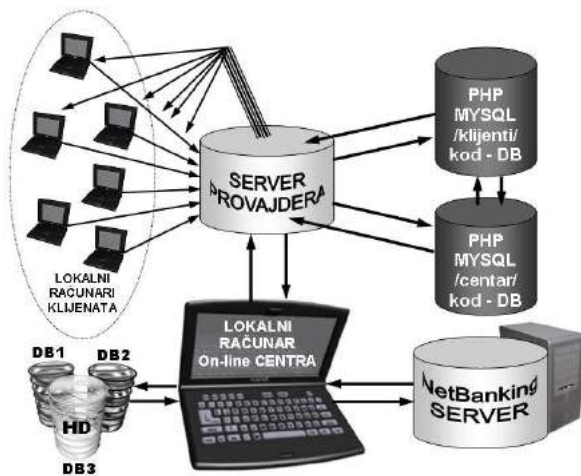
- lokalni računar centra i klijenata se obraćaju serveru preko URL adrese,
- server poziva PHP i MYSQL kod,
- izvršavanje operacija nad distribuiranim podacima,
- potvrda klijenta koji tehnički sam sebi šalje narudžbenicu preko PHP i MYSQL
- ažuriranje radne PHP baze na posebnoj adresi dostupnoj samo lokalnom računaru centra

Održavanje web sajta bi se poverilo provajderu, kroz ugovornu obavezu oko održavanja, kontinualnosti eksploatacije i zaštite podataka na bazama, kao i kontinualnosti i interakcijske funkcionalnosti web stranice na internetu.

4. KREIRANJE, AŽURIRANJE I ODRZAVANJE INTERNIH APLIKACIJA BAZA

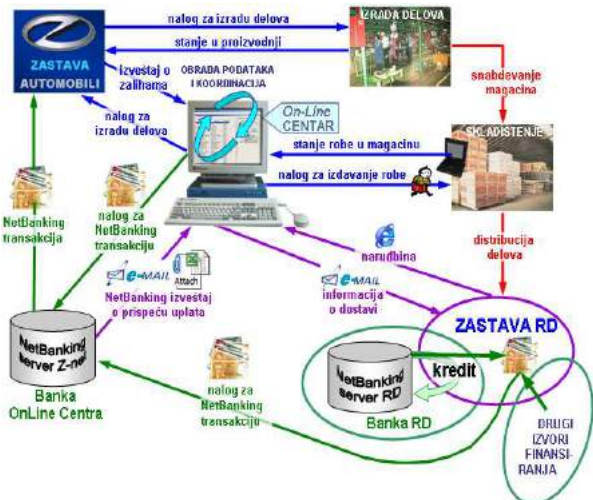
Funkcionisanje On-Line poslovanja i njegovo upravljanje bi se baziralo na više internih baza podataka, koje bi bile interaktivne, kako međusobno tako i sa radnom bazom na serveru provajdera i NetBanking bazom bankarskog izveštaja

Ažuriranje korelacionih baza (radnih tabela) internetskog on-line poslovanja bi se realizovalo interakcijom servera provajdera sa lokalnim računarom on-line centra i lokalnih računara klijenata, preko PHP MYSQL baza, sa dve radne baze. Jedna je sa istovremenim pristupom on-line centra i klijenata, a druga je pristupačna samo on-line centru. Pored ove informaciono tehnološke celine bi se koristio i NetBanking server izabrane banke, kod koje bi on-line centar otvorio svoj račun, a samim tim bi se omogućilo i trenutno ažuriranje svih finansijskih transakcija od strane servera banke. Server banke bi bio u interakciji samo sa lokalnim računarom on-line centra. Šematski prikaz ovog informaciono tehnološkog rešenja je prikazan na slici broj 1.



Ako analiziramo način plaćanja, možemo zaključiti da je realizacija pri plaćanju pouzdaćem u praksi mnogo brža nego kada je u pitanju plaćanje preko računa i zato je on ekonomičniji s aspekta funkcije vremena. S druge strane on podrazumeva i postojanje većeg rizika poslovanja za pošiljaoca, jer u slučaju da narudžbina nije validna, paket se vraća i plaća se dvostruka poštarina. Ovaj problem se može otkloniti direktno softverski (sa vizuelnim pregledom i finalnom potvrdom sadržaja narudbenice od strane klijenta), pri čemu se ne bi uvažavala greška pri naručivanju, ili indirektno, kontaktiranjem naručioca telefonom radi provere i potvrde narudžbine. U slučaju plaćanja preko računa, postupak je nešto duži, što je nepovoljnije s aspekta funkcije vremena. Realno je očekivati relativno duži postupak kada je

U slučaju ostvarivanja ovakvog načina poslovanja, On-Line Centar ne bi bio u mogućnosti, ni tehnički, ni strateški, da posluje "na reč", tako da bi se isporuka rezervnih delova preduzeću Zastava rezervni delovi vršila po modelu poslovanja prikazanom na slici br. 2.



Interpretacija ovog dijagrama se može izvršiti na sledeći način. Preduzeće Zastava Rezervni delovi bi morali podršku i finansijsku pomoć za ponovno pokretanje poslovanja pridobiti krajnje iskrenim stavom i ugovornom garancijom sa svim relevantnim privrednim i finansijskim subjektima, uz istovremenu podršku nadležnih ministarstva, Vladinih Agencija i drugih uticajnih institucija. On-Line Centar, u ovom pogledu, ne može imati nikakav uticaj na investicije

koje su potrebne preduzeću Zastava Rezervni delovi, u cilju ponovnog pokretanja njegovog poslovanja, jer kao što je već istaknuto, sam tehnički karakter konkretnog On-Line poslovanja ne pruža mogućnosti bilo kakvih investicija. Sama suština On-Line poslovanja i jeste da se bilo koji vid investicija, kreditiranja i svih drugih finansiranja prebacuje u nadležnost banke klijenata, a samo internetsko poslovanje se obavlja kristalno jasno putem transakcija sa računa na račun preko NetBanking servisa. Međutim, pomoć On-Line Centra se može realizovati ugovorno, svrstavanjem preduzeća Zastava Rezervni delovi u kategoriju stalnih i velikih klijenata, koji se u specijalnoj kategoriji naručivanja rezervnih delova sa posebnim zaštitnim kodom za prepoznavanje povlašćenih klijenata i odobrenje za ovu opciju naručivanja, čime bi bilo moguće isporučivanje robe bez predhodne uplate na račun, ali sa tačno definisanim terminom izmirenja ovih obaveza, uključujući sve unapred ugovorom definisane relevantne datume, kao što su kasa-skonta, kamatni rokovi i drugo. Prilikom potvrde naručene robe i njene količine od strane nadležne funkcije preduzeća Zastava Rezervni delovi, za na to predviđeni način u WEB aplikaciji, automatski bi se prihvatila obaveza (što definiše i ugovor) prema On-Line Centru za distribuciju robe i istovremeno obaveza plaćanja, u skladu sa ugovorno definisanim rokovima izmirenja obaveza. U ovoj opciji poslovanja, klik mišem na CommandBottom "finalna porudbina" predstavlja virtuelni ugovor za naručenu robu za konkretnu fakturu kojoj se dodeljuje identifikacijski kod. Obaveze za plaćanje bi dospevale svakog "n-tog" dana za kasa-skonta, odnosno "m-tog" dana kamatnog roka, koji bi se odredili ugovorom. Takođe bi se definisao i "k-ti" dan, kao kritični dan izmirenja obaveza, koji bi uslovljavao sledeću isporuku. Međutim, ako bi postojao i neki trenutni debalans potraživanja i obaveza u poslovanju preduzeća Zastava Rezervni delovi, koji bi uticali na kritično kašnjenje, kao što je već napomenuto, ovo preduzeće bi se moralo obratiti svojoj banci ili drugim izvorima za finansijsko premošćavanje poslovanja, jer On-Line Centar nema tehničkih mogućnost prolongiranja rokova, iz razloga softverske kontrole NetBanking uplata i programskog automatizma interakcije svih baza podataka.

Povoljno je što preduzeće Zastava Rezervni delovi poseduju i pasivni kapital u robi skladištenoj u magacinima, koja predstavlja akumulirane količine nekurentnih zaliha, zaliha stvorenih trenutnom situacijom i prekidom poslovanja saradnje sa bivšim klijentima, kao i robe vanautomobilskog programa, koja je akumulirana kompenzacijskim poslovanjem. Ova roba je potencijalni izvor određenog sticanja brze dobiti, a takođe bi se ponudila klijentima-posetiocima i pustala u promet preko On-Line Centra na sajber tržište.

U pogledu izvršene ekonomske analize, On-Line poslovanje rezervnim delovima bi bilo upravo i najoptimalnije realizovati sa poslovno-tehničkim potencijalom preduzeća takvog profila kao što je Zastava Rezervni delovi i to iz razloga veoma smanjenog ekonomskog atagonizma između kategorija likvidnosti i rentabilnosti u robno-novčanoj razmeni, kao posledica optimizacije obrta, jer bi obrt bio znatno intenzivniji usled skraćivanja, kako ciklusa obrta zaliha, tako i ciklusa obrta gotovine. Drugim rečima, ostvario bi se povoljniji koeficijent obrta gotovine sa povećanjem broja gotovinskih ciklusa u toku jedne poslovne godine. Takođe bi se dodatno smanjilo vreme trajanja jednog obrta i sistemom naplate preko internetskog NetBanking servisa bi se vršilo, s jedne strane, direktno izdavanje gotovine za nabavku rezervnih delova, i sa druge strane vršila direktna naplata prodatih rezervnih delova. Ugovorno definisana kasa-skonta i kamatni rokovi za izmirenje obaveza bi doprineli postizanju kontrole poslovanja, sa istovremenim realnim sagledavanjem ocenu

uspešnosti i valjanosti poslovanja, ne samo preduzeća Zastava Rezervni delovi, već i svih drugih klijenata, čime bi se određivao kreditni kredibilitet istih, i u cilju profesionalnog poslovanja, omogućavale satisfakcije za uspešne klijente i sankcije za loše klijente. Ovo bi bilo konformno za analizu, zbog toga što bi svaki klijent imao svoju kod-šifru, sa već funkcionalnim interakcijama baza (baza na serveru banke sa interakcijom NetBanking servisa, radnom bazom na serveru provajdera i svih internih baza na lokalnom računaru On-Line Centra).

5. REALIZACIJA ON-LINE PLATNOG PROMETA

Celokupan platni promet on-line centra bi se realizovao preko izabrane banke pomoću računara, preko čijeg servera bi se vršile sve finansijske transakcije uz stalni uvid sa trenutnim promenama stanja računa bez odlaska u banku. Takođe bi se primenilo "Banking Halcom" poslovanje iz sledećih razloga:

- Trenutno 70% Banaka u Srbiji koristi "Halcom" rešenje iz razloga što omogućava uvid i u više računa u različitim bankama, a samo sa jednom karticom se ima uvid u sve račune u svim bankama koje imaju "Halcom" rešenje.
- Izuzetno olakšava ažuriranje knjigovodstvenih poslova.
- Brza on-line obrada podataka.
- Veliki stepen sigurnosti.

Takođe je neophodno koristiti "NetBanking" poslovanje na podlozi on-line aplikacije zasnovanoj na WEB rešenju. Sigurnost bi se obezbedila korišćenjem TAN tabele, odnosno tabele vremenski promenljive šifre koja je samo korisniku poznata.

NetBanking bi omogućio pristup računu on-line centra 24 sata dnevno svakog dana u nedelji. Pristup bi bio moguć sa bilo kog mesta u svetu gde se može pristupiti internetu (uključujući i javna mesta kao što su hoteli, internet kiosci i sl.). Stalnom vezom sa serverom banke bi se omogućio brz i jednostavan uvid u poslovne aktivnosti obavljene preko vlastitog računa ili na osnovu zadatih transakcija. Stanje poslovnog računa bi predstavljalo stanje zadnjeg preseka, dok bi stanja ostalih računa (ukoliko bi se otvorili) bili rezultat stvarnog stanja na računu on-line centra, koje bi korišćenjem ovog servisa bilo vidljivo odmah nakon zadavanja transakcije. Svi iskazi bi se obavljali u realnom vremenu obraćanjem produkcionoj platformi Banke i bile bi rezultat trenutne analize računa u fokusu. Transakcije nastale na internetu ili drugim kanalima u sistemu banke odmah bi uspostavile novonastalu situaciju na računu on-line centra, koja bi korišćenjem ovih modula bila odmah vidljiva. Pored stanja i prometa na računu, komercijalista on-line centra bi bio u mogućnosti da u svakom trenutku pregleda sve svoje dinarske i devizne transakcije izvršene putem servisa internet bankarstva. Kakve transakcije mogu biti? Dinarske transakcije mogu biti neverifikovane, verifikovane, u prenosu, proknjižene, ili stornirane. Devizne transakcije mogu biti neverifikovane, verifikovane, u likvidaciji, proknjižene, ili stornirane. Transakcije proknjižene u produkcionoj bazi podataka nazivaju se i izvršene transakcije i one se nalaze i u prometima računa na koje su knjižene. Neizvršene su one transakcije koje još nisu proknjižene u produkcionoj bazi podataka. One nisu proknjižene ili zbog toga što je datum izvršenja transakcije veći od tekućeg datuma ili transakcije nisu autorizovane (transakcije izvršene na računu on-line centra uvek prvo postaju neizvršene, pa se tek postupkom verifikacije autorizuju i zatim knjiže). Neizvršene transakcije se mogu menjati, stornirati, verifikovati ili izraditi nove. Izvod prometa po računu se postiže "download" datotekama izvoda sa NetBanking

servera.

Transakcije na izvodu mogu biti sortirane po datumu valute ili datumu obrade. Stavke na izvodu mogu se sortirati knjigovodstvenim (prvo dugovne, zatim potražne stavke) ili hronološkim redom. Postoji više mogućnost izbora načina dostave izvoda i to:

- primanje izvoda u elektronskom formatu putem e-mail poruke
- primanje izvoda u mail u obliku Excel tabele
- primanje izvoda u HTML formatu putem e-mail poruke
- štampanje izvoda na fax uređaju

Ugovorno On-Line poslovanje sa klijentima će se realizovati registracijom klijenta sa dodeljivanjem LIB-a. Ovaj način poslovanja bi se ostvario ugovorno sa pravnim licima, a predviđen je i za kategoriju klijenata ovlašćenih servisa i distributera na veliko sa mogućnošću odloženog plaćanja, sa utvrđenim rokovima izmirenja obaveza (diskontni i kamatni rokovi). Ugovorom se definišu svi međusobni odnosi sa dodelom LIB-a korisniku-potpisniku ugovora.

Dodeljeni LIB će predstavljati zapis u bazi podataka klijenata sa njegovim odgovarajućim podacima i brojem ugovora.

Takođe će LIB predstavljati i lični identifikacioni broj korisnika sa ugovornom kategorijom, pri čemu će LIB imati pravosnažnost elektronskog potpisa klijenta za pristup direktnog naručivanja robe po ugovornim uslovima preko WEB aplikacije na On-Line sajtu kompanije.

Ugovorni korisnik sa dodeljenim LIB-om će verifikovati svaku svoju On-Line internetsku narudžbinu ažuriranjem unosa ličnih podataka u ponuđenim stringovima (Text Box-ovima), i to unosom svog LIB-a, ličnog korisničkog imena i svoje lozinke. Na taj način se ažuriraju sva tri neophodna podatka koja korisnik mora da unese da bi mu bio omogućen pristup direktne elektronske narudžbine robe/usluge, koja će se realizovati pod prethodno ugovorenim uslovima.

Saradnja između kompanija, u ovom primeru između On-Line Centra (Grupa Zastava vozila) i fabrike Zastava Rezervni delovi, može se realizovati ugovorno, svrstavanjem preduzeća Zastava Rezervni delovi u kategoriju stalnih i velikih klijenata, koji se u specijalnoj kategoriji naručivanja rezervnih delova sa posebnim zaštitnim LIB-om za prepoznavanje povlašćenih klijenata i odobrenje za ovu opciju naručivanja, čime bi bilo moguće isporučivanje robe bez predhodne uplate na račun, ali sa tačno definisanim terminom izmirenja ovih obaveza, uključujući sve unapred ugovorom definisane relevantne datume, kao što su kasa-skonta, kamatni rokovi i drugo.

Prilikom potvrde naručene robe i njene količine od strane nadležne funkcije preduzeća Zastava Rezervni delovi, za na to predviđeni način u WEB aplikaciji, automatski bi se prihvatila obaveza (što definiše i ugovor) prema On-Line Centru za distribuciju robe i istovremeno obaveza plaćanja, u skladu sa ugovorno definisanim rokovima izmirenja obaveza. U ovoj opciji poslovanja, klik mišem na Command Bottom "finalna porudžbina" predstavlja virtuelni ugovor za naručenu robu za konkretnu fakturu kojoj se dodeljuje identifikacijski kod. Obaveze za plaćanje bi dospevale svakog "n-tog" dana za kasa-skonta, odnosno "m-tog" dana kamatnog roka, koji bi se odredili ugovorom. Takođe bi se definisao i "k-ti" dan, kao kritični dan izmirenja obaveza, koji bi uslovljavao sledeću isporuku. Međutim, ako bi postojao i neki trenutni debalans potraživanja i obaveza u poslovanju preduzeća Zastava Rezervni delovi, koji bi uticali na kritično kašnjenje, kao što je već napomenuto, ovo preduzeće bi se moralo obratiti svojoj banci ili drugim izvorima za finansijsko premošćavanje poslovanja, jer On-Line Centar nema tehničkih mogućnost prolongiranja rokova, iz razloga softverske kontrole NetBanking uplata i programskog automatizma interakcije

svih baza podataka.

Ugovorno definisana kasa-skonta i kamatni rokovi za izmirenje obaveza bi doprineli postizanju kontrole poslovanja, sa istovremenim realnim sagledavanjem ocenu uspešnosti i valjanosti poslovanja, ne samo preduzeća Zastava Rezervni delovi, već i svih drugih klijenata, čime bi se određivao kreditni kredibilitet istih, i u cilju profesionalnog poslovanja, omogućavale satisfakcije za uspešne klijente i sankcije za loše klijente. Ovo bi bilo konformno za analizu, zbog toga što bi svaki klijent imao svoju kod-šifru, sa već funkcionalnim interakcijama baza.

6. ZAKLJUČAK

Živimo u eri u kojoj nam globalizacija nameće pravila igre i uslove za opstanak na tržištu, a znanje i informacije određuju našu poziciju i čine nas manje ili više konkurentnim. Znanje iz informacionih sistema je postalo primarno u poslovanju, a takođe postaje i međa između uspešnih i neuspešnih kompanija, a ako zaostajemo u pogledu znanja, informacioni sistem može postati sabotažer poslovanja preduzeća.

On-Line poslovanje je jedan od mnogih, a danas i u bliskoj budućnosti, možda, i najvažniji uslov za ostvarivanje konkurentnosti na globalnom tržištu i uspešno poslovanje.

7. LITERATURA

- [1] Arsovski Z.: *Informacioni sistemi*, II izdanje, CIM CENTAR, Mašinski Fakultet–Kragujevac, 2002.
- [2] Turban E., McLean E., Wetherbe J.: *„Informaciona tehnologija za menadžment“, transformisanje poslovanja u digitalnu ekonomiju*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2003.
- [3] Arsovski S.: *„Menadžment tehnologijama“ - Menadžment tehnologijama u virtuelnim organizacijama*, I izdanje, CIM centar, Mašinski fakultet u Kragujevcu: Kragujevac, 2004. god.
- [4] „Informacione tehnologije“, Dr Zora Arsovski, mr Kalinić Zoran, Igor Milanović, dipl.ing, Mašinski Fakultet –Kragujevac, 2007.
- [5] Krstić D.: *Studija izvodljivosti: „On-Line poslovanje“, Centar za razvoj novih proizvoda*, Grupa Zastava vozila, a.d., Kragujevac, 2007.god.
- [6] Krstić D.: *„Modeliranje On-line poslovanje u industriji vozila“*, Nacionalna konferencija o kvalitetu, Festival kvaliteta, Kragujevac 2008.
- [7] www.bancaintesabeograd.com,
- [8] www.erstebank.co.yu

Autori: Dejan Krstić, dipl.maš.ing, Grupa Zastava vozila.

E-mail: krstic.dejan@zastava.net

Ljamić, D., Mišić, M.

MONITORING I DIJAGNOSTICIRANJE SLOŽENIH PROIZVODNIH SISTEMA

Rezime: Da bi se osnovni cilj održavanja opreme ostvario kroz smanjenje vremena u otkazu, odnosno povećanje pouzdanosti, sve savremene strategije baziraju na metodama fleksibilnog preventivno planskog održavanja. Ovakva koncepcija se ne može sprovesti bez primene savremenih dijagnostičkih metoda zasnovanih na primeni sprege programabilnih logičkih kontrolera (PLC) i personalnih računara (PC).

Ključne reči: dijagnostika, monitoring, programabilni logički kontroler, personalni računar.

CONTROLLING AND DIAGNOSING PRODUCTION SYSTEMS

Abstract: In order to achieve the main goal of maintenance of the equipment through the diminishing time in failure, i.e. increasing of reliability, all modern strategies are based on methods of flexible preventive planned maintenance. This concept cannot be conducted without applying of modern diagnosing methods based on applying conjugation of programmable logic controllers (PLC) and personal computers (PC).

Key words: diagnosis, controlling, programmable logic controller, personal computer.

1. UVOD

Proizvodni sistemi novijih generacija se sa aspekta merne tehnike odlikuju egzistencijom velikog broja podataka različitog sadržaja i velikom brzinom realizacije mnoštva funkcija u procesima koji se obavljaju u realnom vremenu. Ovakvi zahtevi iziskuju potrebu primene automatizovanih sistema sa minimalnim direktnim uključivanjem čoveka a baziraju na praćenju i dijagnosticiranju stanja.

Razvoj merno-računarske opreme i računarskih softvera proširio je mogućnosti korišćenja inženjerskih metoda i tehnika monitoringa i dijagnosticiranja u procesu identifikacije, analiziranja i intervencije pri postupcima proizvodnje i održavanja. Nivoi oštećenja delova se na ovaj način mogu precizno pratiti u vremenu, što je i preduslov fleksibilnog preventivnog održavanja.

Merenjem i kontrolom velikog broja parametara tehnološkog procesa dobijaju se potpune informacije o stanju sistema na osnovu čega se mogu procesi sigurno voditi i održavati, ali se mogu i prognozirati njihova buduća stanja. S obzirom na mnoštvo podataka koje treba meriti, prikupiti, obraditi i arhivirati, savremeni informacioni sistemi koriste računarske sisteme bazirane na primeni mreže PC računara i programabilnih logičkih kontrolera (PLC). Smatra se da ovi sistemi nemaju realnu konkurenciju u kompjuterski integrisanim proizvodnim sistemima (CIM) za postupke upravljanja i dijagnosticiranja delova procesa, pre svega zbog njihove sposobnosti dobrog povezivanja, brzine obrade i obima obrađenih i arhiviranih podataka.

2. STRUKTURA I NAČIN FUNKCIONISANJA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE I NADZOR SISTEMA

Osnovna intencija kod složenih sistema sa automatizovanim funkcijama, je da se upravljanje, nadzor i dijagnostika obavljaju po konceptu distribuiranog informacionog sistema (Distributed Information System) [4]. Razlog leži u činjenici da ovaj sistem objedinjuje najbolje osobine centralizovanih i decentralizovanih sistema, posebno u varijanti kombinovanog mrežnog i hijerarhijskog sistema, jer se koriste prednosti centralnih baza podataka i separatnog

razvoja informacionog sistema pojedinih funkcija [5]. Osnovne prednosti se sastoje u autonomnosti radnih stanica i mogućnosti da se do svakog segmenta dolazi sa bilo kog čvora (nodes - aktivan uređaj spojen na mrežu), ako je dopušten pristup posredstvom komunikacionih interfejsa. Pogodnost je i mogućnost naknadnih modifikacija i proširenja sistema. Programabilni kontroleri u izgradnji distribuiranih sistema upravljanja upotrebljavaju različite vrste standardizovanih mreža, Ethernet, Bitbus, Modbus, Arcnet, TWAY, ISNET, PC-422 i druge. Postoje dve moguće vrste konfiguracija ili topologija za izvršavanje protokola u mrežama, BUS sa linijski nanim čvorovima i tačkasto postavljenim čvorovima, "point to point". Ovakav informacioni sistem omogućava kontinualno, on-line dijagnosticiranje i upravljanje parametrima procesa.

Programabilni logički kontroleri (PLC) jesu najniži deo nadzorno - upravljačkog sistema koji sa računarom, obično personalnim (PC) povezuje proizvodnu mašinu. Dok PLC-i služe za izvršenje osnovnih aktivnosti procesnog nivoa personalni računari (PC), povezani u nadzorno - upravljački sistem, vode proces na globalnom nivou obezbeđujući upravljanje i praćenje proizvodnih parametara.

Funkcijska jedinica koja povezuje komandne table mašine, upravljačke jedinice, direktno upravljanje mašinom i pogonski sistem, naziva se jedinica za upravljanje prilagođavanjem - interfejs. Ona može biti "konvencionalna" - relejna i integralna kola (IC) ili "fleksibilna", memorijski programabilna - programabilni logički kontroleri (PLC) ili kompjutersko numerička (CNC).

Inteligencija PLC-a potiče od ugrađenog mikroracunara koji je programabilan, odnosno pogodan za jednostavno unošenje novog, ili izmenu postojećeg programa u zavisnosti od zahteva kontrole, upravljanja i dijagnostike zbog promene programa proizvodnje, broja i redosleda mašina u proizvodnom lancu i sl. Na ovaj način je obezbeđena dobra fleksibilnost sistema.

Programabilni kontroleri imaju osnovne zadatke:

- testiranje ispravnosti sistema pre početka rada,
- nadgledanje sistema u toku rada,
- otkrivanje zastoja u sistemu,
- signaliziranje u trenutku zastoja i davanje informacije,

- prikaz nedostatka u procesu koji mogu dovesti do zastoja ili uticati na smanjenje kvaliteta i
- upozorenje o periodičnim aktivnostima.

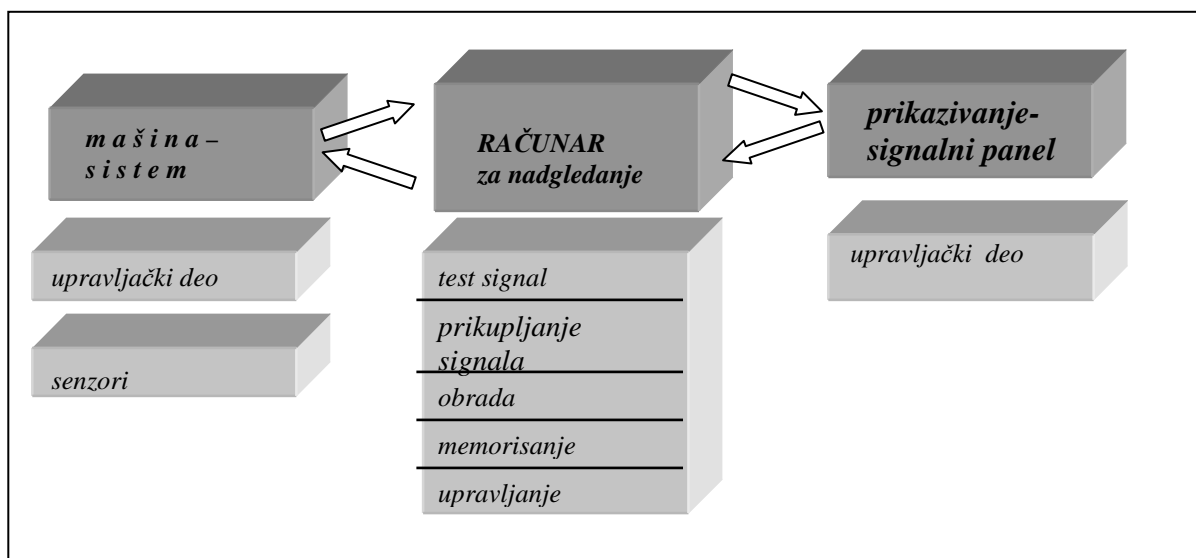
Ukoliko se PLC poveže sa personalnim računarima onda je moguće rešavati i sledeće zadatke:

- statističko vođenje, arhiviranje i pravljenje baza podataka,
- automatsko sastavljanje vremenskih slika stanja,
- izračunavanje pouzdanosti mašinskih celina, pogodnosti održavanja i kritičnosti i
- automatizacije postupaka ocene i analize pouzdanosti elemenata i sistema.

Oprema za nadgledanje i dijagnostiku se sastoji od tri osnovne celine (slika 1):

- senzorskog i upravljačkog dela na sistemu odnosno mašini,
- računarskog dela sa funkcijama (blokovima), za:
 - formiranje i davanje test signala,
 - prikupljanje signala od senzora (konverzija, pojačavanje, filtriranje, prilagođavanje nivoa),
 - obrada signala,
- memorisanje i arhiviranje podataka i
- prikazivačkog (signalnog) i upravljačkog panela - displeja.

Na slici 1 se uočavaju osnovni zadaci koje obavlja programabilni kontroler, preuzimanje ulazne informacije, njen prenos do procesora i upravljačke instrukcije na izlazu. Realizacija zadataka je obezbeđena zahvaljujući odgovarajućoj strukturi PLC-a koja obuhvata osim modula za ulaz i izlaz podataka i centralnu jedinicu sa procesorom i programabilnom memorijom i modulima za dodatne funkcije.



Slika 1. Strukturna šema kretanja i akvizicije signala u proizvodnom procesu

Upravljanje PLC-om se vrši odgovarajućim softverom i uređajem za programiranje. Prema Međunarodnom standardu IEC 1131-3 programiranje se vrši tekstualnim jezicima (prema [2,3]).

3. VIZUALIZACIJA, DIJAGNOSTIKA I UPRAVLJANJE PARAMETRIMA

Preduslov za obavljanje poslova nadzora, dijagnostike i upravljanja je posedovanje računarske mreže, moćnog računara, velikog broja senzora, sistema za prikazivanje informacija (monitora) i integraciju sistema dijagnostike u informacioni sistem i softverski i hardverski.

Prednosti programabilnih upravljača koje imaju u oblasti upravljanja i dijagnosticiranja proizvodnih procesa ili njegovih delova zbog osobina dobrog povezivanja sa PC računarima, daje im vodeću ulogu u kompjuterski integrisanim proizvodnim sistemima (CIM). Ta uloga se sastoji u:

- upravljanju procesima unutar proizvodnog sistema preko odgovarajućeg programa,
- mogućnosti izbora odgovarajućih upravljačkih opcija za proces kroz selekciju primljenih signala od ovlašćene stanice u mreži ili slanje kompletnih upravljačkih programa mrežom sa nadređenog višeg računara,
- prenosu kroz mrežu statusnih informacija o procesu i istoriji rada u arhivske baze podataka radi smeštanja u

odgovarajuće datoteke DBF formata, koje su transparentne ka ostalim aplikacijama upravljanja.

PLC ima komunikacionih sposobnosti da deluju ne samo kao upravljači i kontrolori jedne radne mašine već i znatno više stanica u okviru proizvodne oblasti odnosno sa više drugih PLC-a, roobota ili CNC mašina. Ovo je i osnovni princip višenivoske hijerarhije upravljanja "top - down".

Prikaz procesnog akvizicionog sistema, dat na sl.2, pokazuje strukturu merno - informacionog sistema i kretanje signala u jednom tehnološkom procesu.

U proizvodnom procesu predmet merenja i nadzora su analogni, digitalni i impulsni parametri, odnosno svi oblici neelektričnih vrsta energija, koje se kao fizičke veličine posredstvom mernog pretvarača, u prvom koraku, pretvaraju u električni signal. U sledećem koraku se vrši procesna obrada, da bi prilagođen signal pružio informaciju o vrednosti tehnološkog parametra. Ako se želi povezivanje više mernih pretvarača sa kompjuterskim sistemom, onda se vrši multipleksiranje pojedinačno, sukcesivno uključivanje pretvarača na analogni konvertor da bi se signali preveli u digitalne. Digitalni i impulsni signali se ne konvertuju, već se direktno uvode u centralni računar za nadgledanje i izvršenje programa, gde se donosi odluka o nastavku ili izmeni procesa. Odluku može doneti i operator koji komunicira sa računarom preko tastature. Na digitalnom pultu se po potrebi pokazuju stanja sistema i upozorenja.

Da bi se odluka računara prevela u konkretnu procesnu

akciju, odnosno sproveo obrnuti postupak prevođenja digitalnih signala u analogni neelektrični, koristi se demultipleksor čije analogne signale izlazni pretvarač – aktuator, prevodi u izvršne akcije na elementima ili u štampane karaktere.

Nedostatak sistematizovanog pristupa projektovanja, uvođenja i eksploatacije sistema na bazi sprege PC-računara i PLC-a u uslovima njihovog vrlo dinamičnog razvoja, nametnuo je problem standardizacije pa je uveden standard IEC 1131-4 [3].

Postupak projektovanja, uvođenja i eksploatacije sistema zasnovanih na primeni PLC-a se sprovodi u nekoliko osnovnih etapa; faza analize procesa i specifikacija, faza projektovanja, faza instalacije i uvođenja i faza eksploatacije.

U prvoj fazi vrši se najpre analiza procesa sistema u smislu definisanja zahteva i ciljeva sistema, zadataka i funkcija čitavog sistema i njegovih delova, uslova rada i svih bitnih uticaja na sistem. Zatim se u ovoj fazi sagledava kakav je proces koji hoćemo da nadgledamo ili da njime upravljamo, koje su fizičke veličine važne za proces. U drugom koraku ove faze pravi se funkcionalna specifikacija PLC-a sa definisanim parametrima upravljanja, signalizacije i dijagnosticiranja. U fazi projektovanja postavlja se najpre hardverska konfiguracija i razvija odgovarajući softver u pogodnim programskim jezicima. U sledećem koraku se vrši testiranje programa pomoću simulacije na PC-u testiranjem algoritma sastavljene aplikacije. Nakon uspešne provere potrebno je fizički povezati PLC-ove sa PC-računarima. U fazi instalacije i uvođenja program se prebacuje u RAM kontrolera gde se ponovo vrši testiranje uz simulaciju signala i radnih uslova. Ako se testiranje pokaže uspešnim, sistem je spreman za upotrebu i kao takav se može predati za eksploataciju. U ovoj fazi se ističu dva bitna koraka za život projektovanih sistema, dijagnostika i održavanje.

4. SPREGA, PC RAČUNAR - PLC, U INFORMACIONOM SISTEMU

PLC vrši, na operativnom nivou, zadatak kontrole elementarnih činioca u realnom vremenu i obavlja izvršne zadatke. Na sledećem nivou se vrši koordinacija preko komunikacionog servera jer se dobija od PLC-a slika stanja fizičkih ulaza i izlaza odnosno potrebne informacije o odnosima entiteta. Računari na višim nivoima koncentrišu se

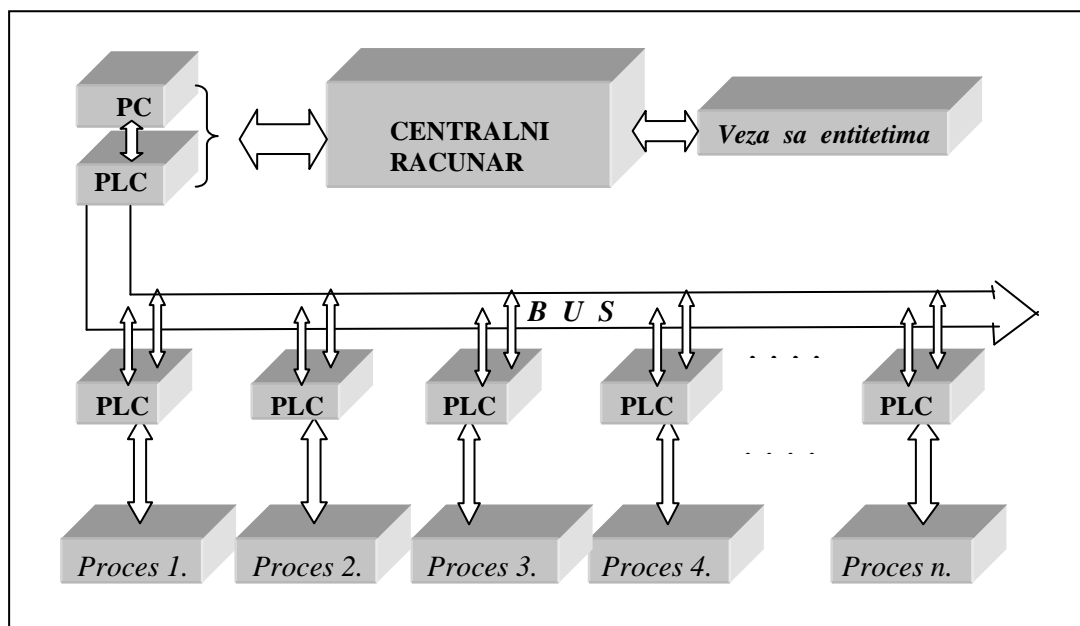
na zadatke integracije, sinhronizacije i optimalnog upravljanja. Na najvišem, upravljačkom nivou, vrši se planiranje i upravljanje celokupnim procesom, vršenja inženjerskih aktivnosti, monitoring i globalno upravljanje poslovno - proizvodnim sistemom. Osnovni tok informacija jeste dobijanje - obrada - izdavanje, pri čemu je uloga merno - informacionih sistema presudna u dobijanju realne, uporedive i upotrebljive informacije. Tendencija kod savremenih sistema za merenje, prikupljanje, obradu i upravljanje je primena više decentralizovanih PC računara, jeftinijih i fleksibilnih sistema povezanih u računarske mreže sa standardizovanim protokolima povezivanja. Na ovaj način više proizvodnih celina može koristiti autonomne akvizicione sisteme sa jednim ili više povezanih nadređenih računara namenjenih monitoringu - praćenju promene stanja, akviziciji i upravljanju sa informacijama. Prikazivački i upravljački deo je dat kao poseban displej ali je češće to monitor (ekran) povezan u računarsku mrežu.

5. ZAKLJUČAK

Današnji razvoj proizvodnih sistema sa jedne strane, i intenzivni razvoj merno-računarske opreme, sa druge strane, usloveli su da se u oblasti održavanja omogući dijagnosticiranje i upravljanje koncipirano na novim osnovama. Praćenje stanja sistema i njihovih delova u savremenom smislu podrazumeva permanentan uvid u stanje svih bitnih parametara čijim bi narušavanjem došlo do otkaza. Ovakvi problemi iz domena fleksibilnog preventivnog pristupa održavanja uspešno se mogu rešavati primenom programabilnih logičkih kontrolera i mrežom personalnih računara koji pokrivaju sve organizacione nivoe.

Održavanje proizvodnih sistema u zadatim granicama radne sposobnosti i na potrebnom nivou pouzdanosti podrazumeva da se pojave stanja u otkazu minimiziraju ili potpuno eliminišu. Da bi se obezbedio željeni nivo pouzdanosti, odnosno maksimalna iskorišćenost resursa kapaciteta elemenata sistema, potrebno je pratiti, "nadzirati" promene elemenata i celina koje su se pokazale kao najmanje pouzdanim.

Ovaj problem retrospekcije, dijagnostike, prognoziranja i upravljanja u radu je dat postavljanjem jednog globalnog modela automatizovanog upravljanja i kontrole proizvodnog procesa uz podršku sprege PC računara i PLC-a..



Slika 2. Opšti model sistema za nadzor i upravljanje proizvodnim procesima

Predloženom metodologijom povećava se pouzdanost proizvodnih sistema, odnosno smanjuje vreme trajanja stanja u otkazu. Opšti model omogućava praćenje i kompleksnu analizu na savremen automatizovan način. Metodologija daje osnovu za optimalno dinamičko, automatizovano upravljanje procesima promene stanja i održavanja sistema (slika 2). U savremenim proizvodnim sistemima programabilni kontroleri i računari su nezaobilazan elemenat u procesima potpune automatizacije. Optimalno upravljanje i nadgledanje sistema temelji se na sprezi PLC-PC

U savremenim proizvodnim sistemima programabilni kontroleri i računari su nezaobilazan elemenat u procesima potpune automatizacije. Optimalno upravljanje i nadgledanje sistema temelji se na sprezi PLC-PC

Modeli bazirani na PC – PLC vezama osim obezbeđivanja dobrog monitoringa, dijagnosticiranja i upravljanja procesom proizvodnje i vrlo dobro identifikuju sve stvarne uzroke otkaza i utvrđuju uzročno posledične zavisnosti u kvalitativnom i kvantitativnom smislu. Definisanje i rangiranje kritičnih elemenata koji narušavaju pouzdanost čitavog sistema je takođe olakšana.

Radom se žele istaći integracije distribuiranih upravljačkih sistema u CIM konceptu baziranih na sprezi PC računara sa PLC-ovima, kao jedno, po mišljenju autora, od povoljnih i dobrih rešenja u oblasti ove problematike.

6. LITERATURA

- [1] Stoiljković V. i dr.: *Kvalitet podržan računarom*, CAQ, CIM College, Niš, 1994, str. 397.
- [2] IEC, IEC 1131-3, *Programmable Controllers – Pats 3: Programming Languages – DIS*, International Electrotechnical Commission, 1992.
- [3] IEC, IEC 1131-3, *Programmable Controllers – Pats 4: User Guidelines-DC*, International Electrotechnical Commission, 1994.
- [4] Perović M., Arsovski S., Arsovski Z. : *Proizvodni sistemi*, CIM centar, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1996, str. 453.
- [5] Ljamić D. : *Pouzdanost reduktora na mašinama kontinualnih sistema površinskih kopova uglja*, doktorska disertacija, Priština, 1997, str. 183.

Autori: **Prof. dr Dragan Ljamić**, dipl. inž. mašinstva, Fakultet tehničkih nauka u Kosovskoj Mitrovici, **Prof. dr Milan Mišić**, dipl. inž. Mašinstva, Viša tehnička škola u Zvečan.

Marjanović, Z., Brzaković, R.

ANALIZA OTKAZA ASINHRONIH MOTORA U POGONIMA ZASTAVA AUTOMOBILIMA

Rezime: Postojeći standardi različito definišu faze menadžmenta rizikom, što daje prostora za primenu po različitim modalitetima. Neočekivana pojava otkaza asinhronog motora u pogonima može izazvati velike materijalne troškove. Primenom adekvatne analize otkaza, otkaze možemo smanjiti. U radu su dati rezultati analize otkaza asinhronih motora u pogonima Zastava automobila.

Ključne reči: analiza otkaza, održavanje, asinhroni motor

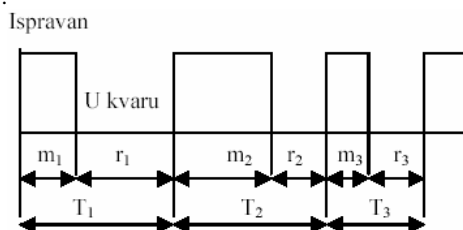
THE FAILURE ANALYSIS OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN ZASTAVA AUTOMOBILES PLANTS

Abstract: Standards different treated the risk management process and gives possibility to use in various modality. Unforeseen event of failure at asynchronous motor in industrial plants can produce a big material expenses. With adequate failure analysis, failure is possible to minimize. In this paper are given the results for failure analysis of asynchronous motors in Zastava automobiles plants..

Key words: failure analysis, maintenance, asynchronous motor

1. OSNOVNI POJMOVI O POUZDANOSTI SISTEMA

U analizi otkaza asinhronih motora, prvenstvenu važnost ima činjenica da asinhroni motor pripada obnovljivom sistemu, odnosno sistemu koji se opravkom ili zamenom nekog elementa dovodi u ispravno stanje. Ovi sistemi, mogu se dakle nalaziti u dva stanja: ispravnom stanju i stanju obnavljanja (remonta). Ponašanje sistema može se prikazati u vidu vremenskog dijagrama sa dva stanja (ispravan i u kvaru), slika 1.



Slika 1. Vremenski dijagram sistema sa dva stanja

Za obnovljive sisteme, uvodi se pojam srednje vreme između otkaza:

$$T=m+r \quad (1)$$

gde je: m - srednje vreme ispravnog rada,
 r - srednje vreme trajanja otkaza.

Recipročna vrednost srednjeg vremenskog ciklusa naziva se srednja učestanost otkaza:

$$f=1/T \quad (2)$$

Verovatnoća da će sistem sa datim vremenskim dijagramom biti ispravan u nekom proizvoljnom trenutku je:

$$A=m/(m+r) \quad (3)$$

Ova veličina kod obnovljivih sistema naziva se raspoloživost.

2. MODEL SLUČAJNIH OTKAZA

Verovatnoće otkaza različitih elemenata asinhronog motora, mogu se dobro aproksimirati određenim teorijskim raspodelama verovatnoće, pogotovu ako se poznaju osnovne karakteristike ponašanja takvih elemenata u toku vremena. Većina komponenti asinhronog motora izložena je retkim iznenadnim otkazima, koji najčešće nastaju pri startovanju motora. U ovom slučaju, verovatnoća se može opisati eksponencijalnom funkcijom.

3. MODEL OTKAZA USLED STARENJA SISTEMA

Po pravilu, u toku vremena se u raznim tehničkim sistemima pogoršavaju njihove performanse saglasno procesu starenja ovih sistema. U eksploataciji se vrši zamena pojedinih istrošenih delova opreme ili se vrši njihov remont u vreme preventivnih isključenja i revizija postrojenja. Ovo je razumljivo imajući u vidu dopunske troškove vezane sa otkaz elementa u toku procesa proizvodnje.

Preventivne zamene ili remontu neophodni su kod svih postrojenja koji stare, odnosno imaju rastući intenzitet otkaza. Sistemi sa eksponencijalnom raspodelom vremena između otkaza ne spadaju u ovu kategoriju i kod njih nema potrebe raditi preventivne zamene i remonte, što proističe iz same prirode elemenata sa ovakvom raspodelom. To su naime, elementi "bez starenja", kod kojih se novi element ni po čemu ne razlikuje od elementa koji je određeno vreme u upotrebi. Preventivna zamena ili remont takode nemaju smisla ni kod onih sistema gde troškovi zamene (remonta) prevazilaze troškove korektivnog održavanja.

Ukoliko je poznata raspodela vremena do otkaza, moguće je pronaći optimalno vreme preventivnih remonata, minimizacijom ukupnih troškova.

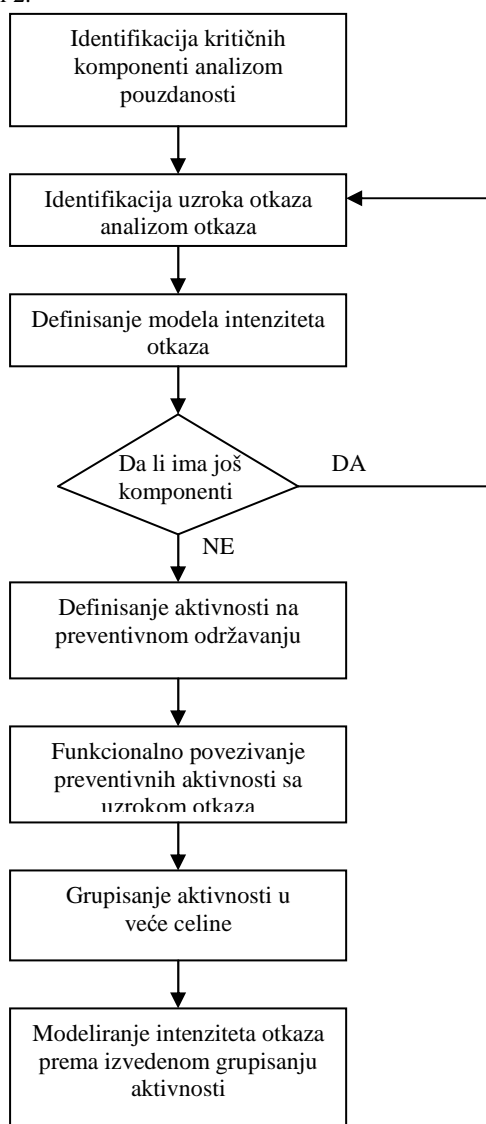
4. METODE ZA PRORAČUN POUZDANOSTI

Sve metode za analizu pouzdanosti mogu se podeliti u dve grupe:

- Analitičke metode, koje operišu na zatvorenom skupu podataka i izračunavaju statičke statističke pokazatelje pouzdanosti posmatranih stanja
- Simulacione metode, koje imitiraju stohastičku prirodu procesa tokom razmatranog vremena, i izračunavaju pokazatelje pouzdanosti na bazi dovoljno velikog broja simulacija

5. DEKOMPONOVANJE POJEDINAČNIH FAKTORA RIZIKA

Strategija za održavanje asinhronih motora bazira se na određivanje onih kritičnih komponenti sistema koji u najvećoj meri utiču na smanjenje pouzdanosti motora. Zbog toga se u ovom poglavlju vrši funkcionalna dekompozicija pojedinačnih faktora rizika za asinhronu motore u pogonu. Algoritam po kome se vrši proces dekompozicije prikazan je na slici 2.



Slika 2. Algoritam dekompozicije faktora rizika

Otkaz asinhronog motora predstavlja odstupanje rada motora od nazivnog. Posledica otkaza je nedozvoljena promena parametara zbog koje je onemogućen pravilan rad motora. Na osnovu [5], uzroci otkaza tehničkih sistema pa i asinhronog motora, mogu biti:

- otkaz usled sopstvene slabosti sistema koja je prouzrokovana greškom pri izradi ili konstruisanju,
- usled pogrešne upotrebe sistema od strane rukovodioca,
- habanje, zamor ili starenje materijala,
- primarni otkazi, odnosno, kao njihova posledica i sekundarni otkazi,
- karakteristike električne energije (struje), maziva i dr.,
- karakteristike procesa održavanja (sadržaja i vremena sprovođenja postupaka održavanja),
- slučajni uzroci.

Kod asinhronih motora otkazi nastaju kao posledica različitih naprezanja, koja se mogu podeliti u nekoliko grupa [2]:

- termička naprezanja,
- elektromagnetska naprezanja,
- dinamička i dodatna mehanička naprezanja.

Uzroci naprezanja mogu biti različiti [2]: radni moment, torzione vibracije, rezidualne sile nastale u procesu proizvodnje (livenja, mašinska obrada...), magnetske sile kao posledica ekscentriciteta, centrifugalne sile, termička naprezanja usled zagrevanja kratkospojenih prstena, mehanička naprezanja tokom pokretanja motora zbog skin efekta, termička naprezanja nastala istezanjem štapova.

Mehanički otkazi - Tokom rada asinhroni motor je izložen velikim mehaničkim naprezanjima. Ležajevi su posebno izloženi mehaničkim naprezanjima. Neki od najčešćih mehaničkih problema koji se sreću pri radu sa asinhronim motorima su [3]: istrošenost i otkazi ležajeva, mehanička neuravnoteženost, vibracije na rezonantnim frekvencijama.

Otkazi sklopa statora - Otkazi sklopa statora javljaju se relativno retko. Problemi se pojavljuju kada među limovima jarma dođe do spoja. Takve se greške javljaju tokom proizvodnje ili prilikom ubacivanja rotora u stator. Na mestu na kojem se pojavio spoj, javljaju se struje koje pojačano zagrevaju oštećeno mesto. U slučaju dovoljno velikih struja ili njihovog trajanja, oštećeno mesto se zagreva i u ekstremnim slučajevima, može doći do otapanja materijala i njegovog oticanja u prostor namotaja, gde dolazi do oštećenja izolacije i kratkih spojeva. Takođe, ovakvi se otkazi često javljaju kao posledica vibracija ili oštećenja ležajeva, usled čega dolazi do zakačivanja rotora o stator. Rani pokazatelji ovih otkaza su velike vrtložne struje, lokalna zagrevanja i oštećenja izolacije.

Otkazi sklopa rotora - Zbog postojanja velikih centrifugalnih sila, velikim naprezanjima izloženi su ne samo namotaji već i sklop rotora. Mala površinska oštećenja (naprsnina) može se vrlo brzo proširiti u slučajevima velikih zagrevanja rotora. Osim centrifugalnih sila, mehanička naprezanja stvaraju i prelazne pojave kojima je motor izložen tokom rada. U slučajevima kada dođe do pojave rezonancije, mogu se pojaviti velike torzione oscilacije. Ova pojava može stvoriti oštećenje rotora.

Otkazi rotorskih namotaja - Razlozi otkaza rotorskih namotaja leže u tehničko-tehnološkoj izradi i uslovima rada motora. Tokom rada asinhroni je motor izložen velikim termičkim i mehaničkim naprezanjima. Usled tih naprezanja na štapovima i spojevima štapova sa prstenom nastaju lomovi i pukotine, koje se daljim radom povećavaju i šire. Budući da zbog oštećenja struja ne može teći kroz oštećeni štap, deo struje koji bi prirodno tekao kroz njega preuzimaju ostali štapovi, prvenstveno susedni, koji su zbog toga još više

izloženi naprezanjima. Kao posledica toga vrlo često nakon pucanja jednog štapa vrlo brzo dolazi do oštećenja susednih. Iako motor može nastaviti sa radom i u slučaju puknutog štapa, radne su mu karakteristike (moment, stabilnost brzine obrtanja...) narušene.

Isto tako, može se desiti da oštećeni deo štapa mehanički ošteti glave statorskog namotaja, što drastično povećava troškove popravke. Oštećenja kaveza posebno su opasna u uslovima eksplozivne okoline zbog mogućnosti varničenja.

U slučajevima intermitiranog rada, kada je motor izložen velikim promenama brzine ili učestalim pokretanjima, postoji opasnost nastanka otkaza usled zamora materijala. Rani pokazatelji ovih otkaza su pulsiranja brzine obrtanja i statorske struje.

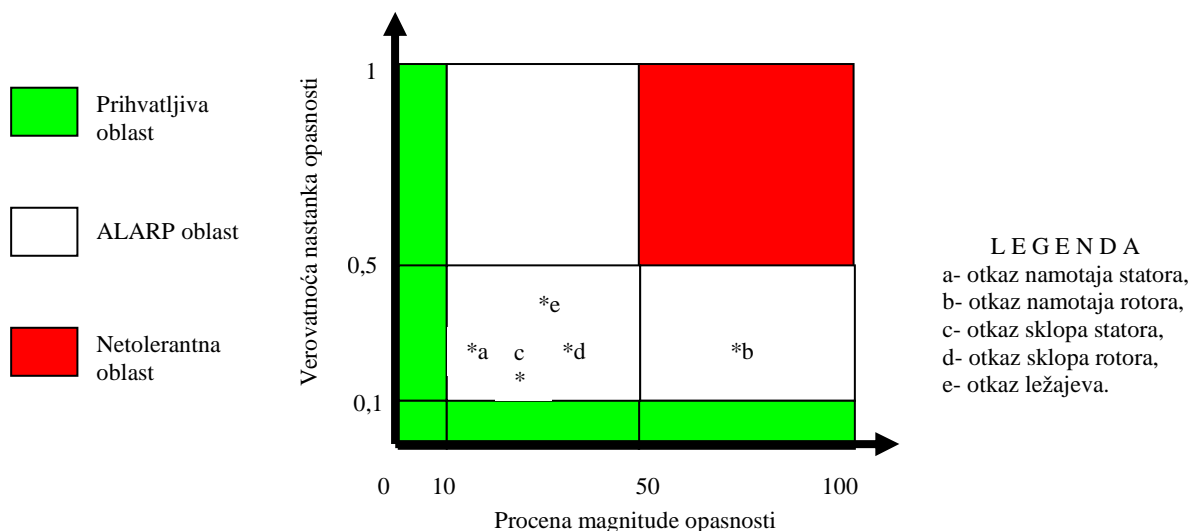
Oštećenja izolacije namotaja - Izolacija je jedan od najosetljivijih delova asinhronog motora i, posebno ranije, otkazi usled oštećenja i propadanja izolacije bili su vrlo česti. Moderne metode izoliranja, kao i najnoviji izolacijski materijali, poboljšali su mehaničke i izolacijske karakteristike. Ipak otkazi motora nastali isključivo zbog starenja izolacije, relativno su retki. Puno su češći otkazi nastali prodorom stranih materijala (ulje, metali...) u izolaciju. Iz tih je razloga neophodno u dijagnostička ispitivanja uključiti i ispitivanja izolacije.

U tabeli 1 dat je procentualni prikaz raspodele otkaza asinhronih motora u Kragujevačkoj Fabrici automobila za 2007. godinu (na popravci je bilo 210 asinhronih motora).

Tabela 1. Procentualna raspodela otkaza asinhronih motora u Fabrici automobila, 2007. godine,

Otkaz	% ukupnih otkaza
Namotaja statora	13,94
Namotaja rotora	28,65
Sklopa statora	12,34
Sklopa rotora	14,25
Ležajeva	25,5
Ostalo	5,32

Vrednosti iz tabele 1 mogu poslužiti kao osnova za procenu verovatnoće nastanka identifikovanih otkaza pri primeni asinhronih motora kod vozila. Magnituda opasnosti za identifikovane otkaze asinhronih motora, najveća je kod otkaza namotaja rotora, jer pri ovom otkazu može doći do varničenja i opasnosti od požara, pogotovu kod postrojanja velike snage, (velika magnituda opasnosti). Za ostale otkaze magnituda opasnosti je srednjeg nivoa (videti sliku 3). Sa slike 3 se vidi da su svi identifikovani rizici u ALARP oblasti i njima se može upravljati.



Slika 3. Analiza rizika otkaza asinhronih motora, [1]

6. ZAKLJUČAK

Savremene strategije održavanja asinhronih motora u pogonima podrazumevaju primenu metoda baziranih na proceni uticaja akcija održavanja na pouzdanost samih motora, odnosno posledica koju smanjena pouzdanost može da prouzrokuje. U ovom radu se predlaže primena metode procene otkaza za određivanje vrste aktivnosti na održavanju, kao i optimalnog vremena za preduzimanje preventivnog održavanja, uzimajući u obzir vreme proteklo od realizacije prethodne aktivnosti. Takođe, dat je pregled tipičnih pogonskih otkaza asinhronih motora i osvrt na te otkaze u pogonima Zastava automobila.

Cilj rada je povećati stepen optimizacija u fabrici postizanjem najmanjih troškova eksploatacije, koji u sebi sadrže i troškove usled narušavanja pouzdanosti rada asinhronih motora i njihovog održavanja. U slučaju ograničenih finansijskih sredstava (što je čest slučaj zadnjih godina u Zastava automobilima), moguće je izvršiti rangiranje asinhronih motora kod kojih je prioritetno izvršiti određene aktivnosti na održavanju.

7. LITERATURA

- [1] Marjanović Z.: *Rizik primene asinhronog motora kod vozila i mere upravljanja rizikom sa tehničkog, ekonomskog i ekološkog aspekta*, Magistarski rad, CIMSI, Kragujevac, 2007,
- [2] Haji M., Toliyat A.: *Pattern Recognition – A Technique for Induction Machines Rotor Broken Bar Detection*, IEEE Trans. on Energy Conv., 2001
- [3] Thomson W. T.: *A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Motors – Past Present and Future*, IEEE SDEMPED '99, Spain, 1999
- [4] Gladović P., Eskić M., Simeunović M.: *Geometrijski model upravljanja procesom preventivnog održavanja fuzzy logikom*, Saobraćaj 50, 2003
- [5] Arsovski S., Savović I.: *Dodatni zahtevi ISO 13485:103, zahtevi za menadžment rizikom*, Zbornik radova "Festival kvaliteta", Kragujevac, 2005
- [6] Todorović J.: *Razvoj nauke o održavanju tehničkih sistema*, Vojno-tehnički glasnik 2/103

Autori: **mr Zoran Marjanović, dipl. maš. ing.,** Zastava automobili – DRA Istraživačko-razvojni centar, Trg Topolivaca 4, Kragujevac, **Radomir Brzaković, dipl. inf.,** Zastava automobili – PJ Informacioni sistemi, Kragujevac, email : brzijax@yahoo.com

Milčić, D., Đurić, S., Đorđević, Lj.

ZNAČAJ INOVACIJE ZNANJA I STRUČNOG USAVRŠAVANJA I PERMANENTNOG OBRAZOVANJA ZA KVALITET I KONKURENTNOST

Rezime: Znanje je sveukupnost objektivnih informacija povezanih sa ljudskim bićem i njegovim potrebama. U istoriji ljudskog društva nauka i dokumeritovano znanje imali su uvek veliki značaj u svakom pogledu, a pre svega u civilizacijskom smislu. Ali u prošlom veku, a naročito u poslednje dve decenije uticaj znanja na celokupni razvoj neke zemlje dobija novu dimenziju. Znanje postaje resurs, čije su potencijalne mogućnosti za razvoj neke zemlje veće od prirodnih bogatstava. Udeo mašinstva u tome, a naročito istraživanje i razvoj novih proizvoda igra ključnu ulogu. Razmatranje tog problema u svetu i kod nas čini sadržaj ovog rada.

Ključne reči: znanje, permanentno obrazovanje, kvalitet, konkurentnost

SIGNIFICANCE OF KNOWLEDGE INNOVATION AND PERMANENT EDUCATION FOR QUALITY AND CONCURENCE

Summary: Knowledge is union of objective information, human beings and its needs. During mankind history, science and documented knowledge always had large tribute to the civilization. Last century, especially during last two decades, knowledge influence to the human society receives new dimension. Knowledge becomes resource, whose potentials for improvement of a country overcome natural resurces which country possessoes. Participation of egineering, researches and development of new products has main role in this situation. Cosideration of this problem, from local and global aspect, gives purpose of this paper.

Key words: knowleadge, permanent education, quality, concurrence

1. UVOD

Situaciju na svetskom tržištu devedesettih godina XX veka i početkom XXI veka karakterišu dominacija zahteva kupaca i globalizacija tržišta. Dominacija zahteva kupaca podrazumeva da savremeni proizvodi ispune očekivanja i zahteve kupaca, čak i do njihovih individualnih želja, što nameće diferenciranje proizvoda i njihovu stalnu inovaciju.

Povećana globalizacija tržišta i pristup većeg broja zemalja na svetskom tržištu, kao i stalno ubrzanje tehničkog napretka, zahteva od preduzeća povećanu fleksibilnost pri oblikovanju proizvoda i/ili usluga. Za dugoročno održanje njihovih konkurentnih sposobnosti kao i obezbeđenje njihovih inovacionih mogućnosti, industrija zahteva nove proširene i prilagodljive metode i postupke za poboljšanje, pre svega, procesa u razvoju proizvoda. Rešenje je u novom konceptu razvoja proizvoda, koji podrazumeva integralni, interdisciplinarni, humano orijentisani i celovit postupak za optimizaciju procesa razvoja proizvoda.

Istraživanje i razvoj značajno utiču na osnovne karakteristike proizvoda, kao što su pouzdanost, radna sigurnost, kvalitet i samo tehničko rešenje. Udeo kojim razvoj i istraživanje utiču na karakteristike proizvoda je dominantan. Na osnovne karakteristike proizvoda razvoj i istraživanje utiče sa 70 do 80%. Povećani zahtevi u pogledu kvaliteta proizvoda, vezani pre svega za njegove najvažnije karakteristike, dovode do toga da su razvoj i uvođenje na tržište uspešnih proizvoda veoma teško. Ovo ima za posledicu da razvoj kompleksnih proizvoda visokog kvaliteta treba da se obavi u kratkom vremenu i lansira na veoma zahtevnom tržištu.

Teorija o međunarodnom životnom ciklusu proizvoda nastala je šezdesetih godina. Inovacija proizvoda javlja se najpre u visokorazvijenim zemljama, a zatim sa vremenom širi preko razvijenih zemalja na tržište u razvoju. Jaka izvozna pozicija može da se održi samo visokom stopom inoviranja ili skromnom stopom imitiranja. To važi posebno kod proizvoda visoke tehnologije. Komparativna prednost

inovatora opada sa vremenom. Kako se proizvod kreće kroz pojedine faze u životnom ciklusu proizvoda, zahtevi faktora inputa se menjaju, a menja se i lokacija proizvodnih centara sa promenom komparativne prednosti. Tekstilna industrija je nastala u Velikoj Britaniji, a sada su glavni proizvodni centri u zemljama u razvoju i nerazvijenim zemljama. Životni ciklus proizvoda se potpuno zatvorio. To se dešava i sa velikim brojem proizvoda nastalih u SAD, čija se proizvodnja poslednje dve decenije prenela u zemlje sa nižim troškovima proizvodnje. Izgleda da neki poslovni ljudi u SAD vide životni ciklus proizvoda kao neku neminovnost.

U fazi uvođenja odigrava se inovacija u nekoj od razvijenih zemlja, u fazi rasta se širi u razvijene zemlje, u fazi zrelosti dolazi do standardizacije i proizvodnja prelazi sve više u zemlje u razvoju, a u fazi opadanja se proizvodnja seli u manje razvijene zemlje. Marketing proizvoda počinje u fazi uvođenja samo u zemlji inovatoru i uz manji izvoz u razvijene zemlje. U fazi rasta marketing proizvoda se obavlja u razvijenim zemljama, a dolazi i do pomeranja u izvoz, jer druge zemlje zamenjuju inovatora na nekim tržištima. U fazi zrelosti proizvod se sve više prodaje u manje razvijenim zemljama, a opada prodaja u nekim razvijenim zemljama. Konačno, u fazi opadanja proizvodnja se seli u mnoge zemlje koje postaju izvoznice proizvoda u razvijene zemlje.

Tokom osmdesetih godina prošlog veka došlo je do drastičnog smanjenja životnog ciklusa proizvoda. Taj trend se kod pojedinih proizvoda nastavio i početkom XXI. veka.

Pored smanjenja radnog veka proizvoda, na skraćivanje vremena razvoja proizvoda utiču i drugi faktori, kao što su:

- Porast međunarodne konkurencije zbog tendencije globalne liberalizacije;
- Diferencijacija tržišta na specifične oblasti gde se zahtevi kupaca brzo menjaju;
- Ubrzanje tehničkog napretka izraženog kroz veoma široke tehničke mogućnosti za ispunjenje zahteva kupaca;
- Uvećanje troškova inovacije.

I skustva proizvođača potvrđuju napred navedene uticajne

faktore. Na primer, ako troškovi razvoja proizvoda budu povećani za 50 %, opada dobit za 3,5 %. Ako se povećaju troškovi proizvodnje za 9 %, opada dobit za 22 %. Zakašnjenje od 6 meseci pojave na tržištu sa novim proizvodom umanjuje dobit za 33 %. Dakle, nameće se zaključak, da vreme razvoja novog proizvoda ima presudan uticaj na dobit, odnosno gubitak tržišta. Potencijalne mogućnosti smanjenja cene proizvoda efikasnijom nabavkom, organizacijom, izradom, montažom i servisom iznose 5 do 20 %, dok potencijalne mogućnosti smanjenja cena vezane za razvoj proizvoda iznose 30 – 50 %.

Inovativnost je velika sposobnost preobražavanja postojećih ideja u korisne nove oblike ili kombinacije koje su toga časa drugačije da izgledaju sasvim nove. To omogućava da se dosegnu ciljevi razvoja kao sasvim nove stvari i da se omogućiti maksimalno korišćenje naučnih i tehnoloških dostignuća i potencijala. Koncept i proces usaglašavanja ciljeva valjani su samo ako se izvode na jasno definisanoj strukturi i hijerarhiji strategije. U današnjim složenim uslovima dvostruka je uloga i inovativnosti i razvoja. Za inovativnost je, s jedne strane, karakteristična potreba da se ideje sve više umnožavaju, a s druge strane, da se pretaču u tehnološke inovacije. Razvoj vođen informacionim tehnologijama, s jedne strane, doprinosi ubrzanom povećanju produktivnosti i, za razliku od prethodnih tehnologija, utiče na globalizaciju jačajući stvarne i finansijske veze. S druge strane, ne samo da podstiče promet proizvoda, nego i stvara informatičke proizvode velike tržišne vrednosti. Ono što je kod informacijskih tehnologija važno, jeste delovanje znanja na samo znanja kao glavni izvor produktivnosti.

Posvećivanje sve veće pažnje inovativnosti, sposobnosti transformacije ideje u korisne pronalaskе, odnosno proizvode, govori, da je nastupio period u kome inovativnost treba da se svestrano sagleda. Shvatiti i razumeti inovativnost, čiji su putevi analize činjenica vrlo razgranati, a interpretacije često višeznačne, podrazumeva samo da se dosegne nit, koja povezuje sve ostale. U pitanju su promene u temeljima modernog društva, jer se inovativnost suočava sa kulturom stvarne virtualnosti (važnije je ovladati medijima, nego sadržajem poruke) i "ukorenjenosti" ekonomskog delovanja u društvenim mrežama. Međutim, inovativnost je prisutna i u celokupnom području ljudske aktivnosti, ali to razumevanje prolazi kroz specifičan kod komunikacije i utiče na promenu realnosti, pošto inovativnosti prethodi invencija, pa tako "inovacija zavisi od spretnosti generisanja znanja uz otvaranje prilaza informacijama".

2. EKSPLOZIJA ZNANJA I RAZVOJ PROIZVODA

Svedoci smo jako brzog razvoja nauke i tehnike usled čega dolazi do enormno brzog uvećanja znanja iz najrazličitijih oblasti tehnike. Posledica ovakve eksplozije znanja je i drastično uvećanje specifikacija, standarda i propisa kojima treba ovladati u vrlo kratkom periodu. Inženjeri u razvoju i konstruisanju troše i do 50 % više vremena na prikupljanje i ovladavanje novim informacijama. Neblagovremno ovladavanje novim saznanjima dovodi do toga da trećina sredstava za inovacije biva potrošena uzalud. Broj novih tehnologija u procesu proizvodnje uvećava se takvom brzinom, naročito u SAD i Japanu, da više nema dovoljno vremena ni za njihovo razumevanje.

2.1. Vrste znanja

Znanje je sveukupnost objektivnih informacija povezanih sa ljudskim bićem i njegovim potrebama. Treba razlikovati količinu znanja, kvantitet i njegov kvalitet. Što se tiče kvaliteta, većina bazičnih znanja je obuhvaćena kontekstom novih znanja. Dovoljno je samo se setiti imena Galileja, Kopernika, Keplera, Njutna i Ajnštajna. Svaki od njih je nastavio rad svojih prethodnika. Eksplozija znanja ogleda se

uglavnom u njegovom kvantitetu u određenoj klasi kvaliteta, a njegova količina se lako meri u obliku pravila, efekata, formula, publikacija, knjiga.

Eksplozija znanja je posledica istovremenog rada velikog broja istraživača i inženjera. Osim toga razlog eksplozije kvantiteta su i prevodi publikacija na druge jezike, konkurencija između naučnika ("objavi ili nestani"), specijalizovani profil većine časopisa što često nameće potrebu za objavljivanjem i u drugim časopisima i konačno potreba za preformulacijom, kako bi bio prihvatljiv i za druge čitaoce. Što se tiče kvaliteta, teško je utvrditi šta je stvarno novo u odnosu na pažljivu preformulaciju dobro poznatog. Mahom se uočava da su kod većine objavljenih radova samo 2 % radova "novi", do 5 % "dobro formulisani ili bolje objašnjeni", a sve ostalo, čak 93 % je "dobro poznato".

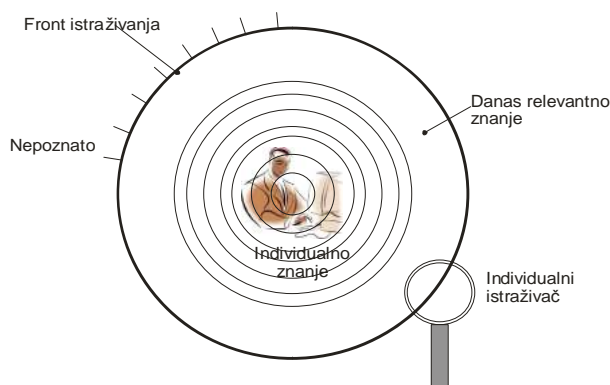
Što se brže dodaje novo znanje, time zastareva postojeće ili se stavlja u širi kontekst. Individualno znanje brže zastareva. Osnovna znanja uglavnom ostaju važeća. Znanje nije homogeno, pa se postavlja pitanje koje vrste znanja zastarevaju: osnove, strukture ili podaci. Kod prekida rada u nekoj specijalizovanoj oblasti dolazi do smanjenja primerljivog znanja. Ovo podvlači neophodnost učenja celog života.

2.2. Model rasta znanja

Tok rasta znanja iz neke oblasti može se prikazati na primeru nauke o konstruisanju. Tipičan je i za rezultate u ostalim granama nauke. Najveći broj naslova pojavio se u periodu 1970. -1979. godina, da bi se nakon toga smanjio na oko polovinu. U međuvremenu se međutim pojavljuju nove oblasti kao što je "Integralni razvoj proizvoda" sa temama "Kvalitet", "Smanjenje troškova" i "Vreme". Sledi novi porast znanja iz ovih oblasti.

To znači da eksplozija znanja nastaje kao rezultat superpozicije rasta novih specijalnih delova glavne oblasti. Ovo takode može biti razlog za sveukupni rast znanja uopšte. Postavlja se pitanje da li rast znanja i obrada znanja može dostići svoj limit. Kod proizvodnje energije i materijala postoje granice vezane za zaagađenje i ograničene resurse. Čini se međutim da u principu neće postojati granica za rast znanja.

Jednostavan model rasta znanja je prikazan na slici 1. Znanje je prikazano u obliku koncentričnih krugova koji se uvećavaju. U centru je prvo ljudsko biće. Mi smo sada na spoljašnjem području istraživanja. Što više raste prečnik, veće je područje nepoznatog. Znanje koje je danas relevantno odgovara spoljašnjoj zoni. Unutra je zastarelo individualno znanje.



Slika 1. Model rasta znanja

Ovaj model je sličan pojavi talasa koji se javljaju kada se baci kamen u vodu. Ali za razliku od vodenog talasa, ovde se talas ne smanjuje već naprotiv raste. Uveličano lupom prikazan je naučnik ili inženjer na "početku istraživanja ili razvoja novih proizvoda". Usled ograničenog "aparata za

razmišljanje", on se mora specijalizovati sve više sa porastom prečnika (dugoročno pamćenje, a naročito radno pamćenje ljudskog bića je ograničeno). Prema tome, istraživači moraju sve više raditi na frontu uvećavajućeg znanja. Neizbežna posledica eksplozije znanja je specijalizacija. Opisani model važi ne samo za celo društvo, već i za individuu ili preduzeće. Tokom njihovog života, njihovo znanje se takođe uvećava. Zastarevanje znanja se na prvom mestu dešava individuama. U stvarnosti količina znanja ima nejednaku raspodelu na različita područja znanja. Prisutan je na primer manjak znanja iz filozofije i etike, a višak iz prirodnih nauka i tehnologije.

2.3. Uzroci i posledice eksplozije znanja

Osnovni razlozi rapidnog rasta znanja su sledeći:

- Rast ljudske populacije i ljudi koji su imali više vremena i novca za razmišljanje i eksperimenterite, ili bar znali kako da ga nabave: naučnici i inženjeri;
- Razumevanje od strane vlada i preduzeća da su istraživanja i razvoj neophodni i za poboljšanje standarda njihovih života i povećanja prihoda;
- Konkurencija između država, preduzeća i istraživača, intenzivirana međunarodnom razmenom i ubrzana posredstvom elektronskih medija.

Produkcija znanja se ubrzava sa razvojem nauke i naročito njenih metoda. Za eksploziju znanja i more informacija naročito su pogodni električni i elektronski uređaji kao što su kopir mašina, elektronska pošta i internet. Posledice eksplozije znanja mogu se razmatrati sa pozitivnog i negativnog aspekta.

Pozitivni aspekti eksplozije znanja su:

- Poboljšanje uslova života i rada ljudi;
- Razvoj novih visoko kvalitetnih proizvoda i proizvodnje visoke produktivnosti i efikasnosti;
- Zadovoljenje opšte ljudske potrebe i želje za uvećanjem relevantnog znanja.

Negativni aspekti eksplozije znanja su:

- Oko 200.000 novih strana se pojavljuje na internetu svakog dana. To znači da naučnici moraju koristiti sve jače programe za pretraživanje na mreži, što proširuje njihove intelektualne horizonte;
- Fragmentizovano znanje i nedovoljno informacija dovode do nepotpunog razumevanja strukture i procesa u društvu, politici, ekonomiji, preduzeću... Analize pokazuju nemotivisanost i ponekad nestrpljivost i zbunjenost ljudi. Postoji mogućnost podele društva na dve klase, sa jedne strane motivisanih i informisanih ljudi, a sa druge strane neinformisanih ljudi u protestu;
- Eksplozija specifikacija, standarda, varijanti proizvoda i njihovih svojstava relevantnih za proces konstruisanja povećava složenost proizvoda i procesa, što uzrokuje više grešaka i dodatnog rada;
- Na predavanjima, većina rezultata specijalizovanih istraživanja se ne mogu preneti studentima. Prema tome, kada se mladi inženjer zaposli u novom preduzeću, potrebno je sve veće vreme uhodavanja, a za sve nas konstantno učenje poštaje sve neophodnije.

3. ZNAČAJ PERMANENTNOG OBRAZOVANJA

Permanentno obrazovanje je jedna veoma značajna, ali još uvek nedovoljno promovisana tema. Razvoj naravno nije moguće planirati bez edukacijske osnove. Čini se da je u našem odnosu prema obrazovanju napravljen određen broj nepotrebnih navika kojih se moramo osloboditi da bi smo izašli u susret potrebama vezanim za modernizaciju i emancipaciju društva i ukupne sfere poslovanja.

Poznat je koncept kritike institucionalnog obrazovanja kako sa stanovišta njegovih imanentnih problema tako i sa stanovišta njegove nedovoljnosti za stvarne potrebe

savremenog društva i života savremenog čoveka u tom društvu. Kroz kritičku teoriju formulisan je jedan zaključak, a ima tome nekoliko decenija unazad, da će ritam života savremenog sveta ubrzo postati takav da će se kriva rasta prosečnog životnog doba čoveka u jednom trenutku poklopiti sa krivom vremena obrazovanja. Tačnije, obrazovanje će postati aktivnost koja traje čitavog života. Savremene potrebe društva i dinamika modernog sveta takvi su da pred svakog od nas stavljaju doživotno učenje kao jednu obavezu koja se ne tiče samo odnosa prema sopstvenoj ličnosti i njenoj kultivisanosti, već odnosa prema celokupnom okruženju. Možda u ovom trenutku, na samom početku realizacije takvih namera, to deluje pomalo utopistički, ali čini se da treba uočiti činjenicu da je takav stav više u neskladu sa našim navikama nego sa našim potrebama.

Obrazovanje u kompanijama i drugim organizacijama u principu smanjuje troškove i predstavlja investiciono ulaganje u budućnost kompanije.

Glavni resurs koji je danas najpotrebniji u informatičkom društvu da bi ostvarili NOVU vrednost nije ni zemlja, ni fizički rad, ni oprema, ni alati, ni neki drugi resurs, nego RESURS ZNANJA. Bogatstvo danas je produkt znanja i informacije.

Stručno obrazovanje u XXI veku postaje činilac i jedan od ključnih aktera ekonomskog i društvenog razvoja i faktor unapređenja modernih društvenih i ekonomskih odnosa.

3.1 Iskustva Mašinskog fakulteta u Nišu

2006. godine na Mašinskom fakultetu u Nišu formiran je Centar za obuku. Vizija Centra za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu je da obezbedi preduslove za uvođenje razvijenog sistema permanentnog obrazovanja i da stvara stručnjake koji će moći da se uključe u oštru domaću i međunarodnu konkurenciju u svim oblastima ekonomije.

Jedan od najvažnijih ciljeva Centra za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu, pored promocije sistema permanentnog obrazovanja u nišavskom, jablaničkom, topličkom, pčinjskom regionu i šire, je organizovanje kurseva iz oblasti za koje postoje evidentne potrebe i interesovanja, a koje su identifikovane iz ranijih iskustava partnera, preliminaranih istraživanja i konkretnih zahteva. Predviđena se dva tipa kurseva, i to:

1. **Obuke**, koje obuhvataju aktivnosti na sticanju znanja i veština za određena zanimanja. Sastoje se iz teorijskog i praktičnog dela;
2. **Seminari**, koji se odnose na podizanje nivoa stručnih znanja i u okviru njih će se polaznici upoznati sa savremenim tehnologijama, metodama i njihovom implementacijom.

Misija Centra za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu je da:

- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude atraktivno i dostupno svima;
- Odgovori na potrebe tržišta rada;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude široko determinisano;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude fleksibilno;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude efektivno;
- Bude zasnovano na saradnji i uključi sve relevantne partnere;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude integrativni deo ukupne obrazovne strukture;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude racionalno;
- Stručno obrazovanje i osposobljavanje bude funkcionalno.

Aktivnosti Centra za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu su:

- Promovisanje permanentnog obrazovanja;
- Stvaranje uslova za ostvarivanje načela o doživotnom učenju odraslih;

- Razvijanje i prilagođavanje programa, metoda i organizacije permanentnog obrazovanja individualnim obeležjima odraslih;
- Razvijanje različitih stručnih modula, koji bi pomogli stručnom usavršavanju zaposlenih;
- Izgrađivanje partnerskih odnosa i zajedničke odgovornosti svih aktera na provođenju kvalitetnog i pravovremenog doživotnog obrazovanja odraslih;
- Analiza potreba i svrsishodnosti razvoja ljudskih resursa u preduzećima;
- Pružanje pomoći savetodavnog karaktera pojedincima i preduzećima u koje vrste znanja treba investirati uzimajući u obzir: lične potencijale pojedinaca, trenutne potrebe na tržištu i odgovarajuće tržišne perspektive;
- Korišćenje i afirmacija multimedijiskog obrazovanja u pojedinim područjima obrazovanja odraslih;
- Razvoj novih oblika neformalnog obrazovanja (učenje na daljinu itd.).

Kursevi koje organizuje Centar za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu iz oblasti informatičkih tehnologija su:

- Osnove rada PC računara i Microsoft Windows;
- Office paketi (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Access, Microsoft Powerpoint);
- Microsoft Internet Explorer;
- Microsoft Outlook;
- Project Management (Microsoft Project);
- Networking (Administriranje operativnog sistema, administriranje baza podataka, administriranje mrežnih sistema);
- Web (HTML, JavaScript);
- Grafički (CorelDRAW, Adobe Photoshop);
- CAD/CAM/CAE (AutoCAD, INVENTOR, Solid Works, CATIA, Pro/ENGINEER);
- Programerski (Microsoft Visual C++, Java, Microsoft Visual Basic).

Centar za obuku Mašinskog fakulteta u Nišu organizacije obuku i prekvalifikaciju polaznika različitog profila:

- Pripadnika Vojske Srbije (program PRISMA);
- Za međunarodne inženjere zavarivanja,
- Za međunarodne tehnologe zavarivanja,
- Za međunarodne inspektore zavarivanja,
- Za stručno osposobljavanje zavarivača za razne postupke (gasno zavarivanje, zavarivanje: REL, MIG/MAG, TIG, EPP postupkom);
- Za održavaoce tehničkih sistema i dr.

4. ZAKLJUČAK

Dragoceno je saznanje da je neminovno otisnuti se u neizvesnu intelektualnu pustolovinu da bi se sagledala vizija

budućnosti i da bi se invencijom (idejom) proniklo u srž inovativnosti, pa tako i razvoja. Time bi se, na neki način, posvedočio civilizacijski kod, ugradila energija opstajanja i predočilo što sve inovativnost nosi sa sobom. A, tehnološka inovacija, kao produkt inovativnosti, definiše se kao sposobnost privrede da najracionalnije zaposli nacionalne ekonomske i ljudske resurse, tako da dovodi do rasta realnog dohotka. U osnovi toga rasta su strukturne promene u kojima je odlučujući uticaj znanja, na samo znanja koje je glavni izvor produktivnosti, koji se sastoji u samoj tehnologiji stvaranja znanja, obradi informacija, komunikaciji simbola To znanje, u osnovi, menja sadržinu i način delovanja tržišta rada, povećavajući propulzivnost onih zanimanja koja su povezana sa pojavom novog načina razvoja, organizovanog oko ljudskih procesa strukturiranih određenim odnosima proizvodnje, iskustva i moći. Tako nastaje nova tehnološka paradigma (organizovana oko novih, moćnih i fleksibilnih informacionih tehnologija), koja omogućuje da sama informacija postaje proizvod proizvodnog procesa, odnosno njegova sirovina.

Na kraju citiramo Bil Gejtsa (Bill Gates), predsednika Microsoft korporacije: "Kako se educirate i implementirate stečena znanja, prikupljate, upravljate i koristite poslovne informacije – odredit će da li ćete pobediti ili izgubiti..."

5. LITERATURA

- [1] M. Šarenac, *Znanje kao resurs u razvoju zemlje*. Zbornik radova sa naučno-stručnog skupa ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENATA I SISTEMA IRMES 2000, Kotor, 2000.
- [2] M. Čučilović, *Znanje kao privredni resurs*. Konferencija Tehničko (tehnološko) obrazovanje u Srbiji, Čačak, 2006.
- [3] K. Ehrlenspiel: *Knowledge-Explosion and its consequences*. ICED 97, Tampere, 1997.
- [4] Biočanin R. *Naučna podrška upravljanju*, Vojni informator br. 1-2, "VOJSKA", Beograd, 2004.
- [5] Perović M. *Menadžment - informatika - kvalitet*, CIM Centar - Kragujevac, Kragujevac, 1998.

Autori: Dr Dragan Miličić, dipl.inž.maš., Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra medvedeva 14, 18000 Niš, Sava Đurić, dipl.inž.maš., Institut IMK „14.oktobar“ Kruševac, Jasički put 2, 37000 Kruševac, Dr Ljubodrag Đorđević, dipl.inž.maš, Fakultet za industrijski menadžment, JNA 63, 37000 Kruševac

Milosavljević, P., Randelović, S., Mladenović, S.

POBOLJŠANJE PROCESA ODRŽAVANJA U A.D. "NISSAL"-NIŠ

Rezime: Danas na tržištu opstaju samo ona preduzeća koja su sposobna za stalno i brzo prilagođavanje uslovima koji se menjaju veoma velikom brzinom. Kupac očekuje izuzetan kvalitet proizvoda ili usluga koje mu se pružaju, a plaća samo cene koje su povoljnije od konkurencije. Da bi preduzeće ostalo konkurentno i održalo maksimalnu efikasnost svojih postrojenja, potreban je pristup koji se razlikuje od tradicionalnog koncepta održavanja. Koncept koji omogućuje maksimalnu efikasnost postrojenja mora da posmatra celokupni sistem: čovek-postrojenje-okruženje i primenjuje kontinualne mere za otklanjanje svih gubitaka, čime se proces održavanja stalno poboljšava.

Cljučne reči: održavanje, poboljšanje, procesi

IMPROVEMENT OF THE MAINTENANCE PROCESS IN A.D. "NISSAL"-NIŠ

Abstract: In today's market, it is only those companies which are capable of permanent and quick adaptation to the conditions which change at a high rate that survive. The consumer expects high quality of products or services offered to him, while paying only the prices lower than the competitive ones. In order for an company to remain competitive and maintain maximal efficiency of its plants, an approach different from the traditional maintenance concept is required. A concept which enables maximal efficiency of plants must take into account the complete system: man-plant-environment, and apply continual measures to make up for any losses, which enables permanent improvement of the maintenance process.

Key words: maintenance, improvement, processes

1. UVOD

Klasičan pristup procesu održavanja ne omogućava postizanje maksimalne efikasnosti postrojenja, jer se zasniva na tehničkom stepenu iskorišćenja postrojenja. Zbog toga je potrebno potpuno sagledavanje okruženja čovek-proizvodno postrojenje, čime se postiže visoka raspoloživost i sposobnost učinka postrojenja i dostiže optimalno stanje postrojenja. Održavanje koje se odnosi na proces podrazumeva izvođenje prikladnih mera održavanja, potrebnih za stabilan proces, otkrivanje slabih mesta i njihovo eliminisanje i stalno poboljšanje postrojenja u odnosu na rukovanje i održavanje istih. Da bi se postigao ovakav cilj, potrebno je da se posmatra čitav životni vek postrojenja, počev od konstruisanja, izrade, instaliranja i korišćenja pa do zamene ili otpisa.

2. PROCESI I POBOLJŠANJE PROCESA

Procesna organizacija preduzeća znači da je celokupno poslovanje postavljeno tako da se može posmatrati kao proces ili deo procesa. Menadžment se bavi poslovanjem i uređenjem poslovnog sistema, vlasnici procesa brinu o pravilnom funkcionisanju procesa u poslovnom sistemu, a radnici u procesu odgovaraju za svoj rad. Procesni preduzeća se identifikuju, opisuju i usmeravaju ka zahtevima kupaca, čime se povećava njihovo zadovoljstvo [1].

O procesu se može razmišljati kao o nizu operacija (koraka, zadataka, aktivnosti) koje rezultuju specifičnim izlazom. Proces definiše tok posla u preduzeću, koji počinje zahtevima kupaca a izlaz može biti proizvod ili usluga, koji mogu ili ne mogu ispuniti zahteve i očekivanja kupaca.

Svaki proces je kupac materijala i informacija iz predhodnog procesa, on obrađuje dobijene usluge i daje rezultate sledećem procesu. Proces koji su posebno **značajni** za zadovoljstvo kupca su ključni procesi. Među njima mogu da postoje i procesi jako važni za ostvarenje misije i vizije preduzeća, a da nisu sposobni. To su **kritični procesi**, koji

zahtevaju poboljšanje, redizajn ili reinženjering.

Postoji razlika između značajnog i kritičnog procesa: kritični proces je podproces koji podržava veći značajni proces koji je fokusiran na misiju za značajnog eksternog kupca.

Osoba koja je zadužena i odgovara za dobro funkcionisanje procesa zove se **vlasnik procesa**. On ima kontrolu nad celim procesom i odgovoran je za stalno poboljšanje procesa. Za razliku od vlasnika koji je odgovoran za samo jedan proces, **spozor procesa** je osoba sa odgovornošću nad više procesa.

2.1 Identifikacija procesa

Prilikom identifikacije značajnih procesa u preduzeću najpre se mora odrediti misija preduzeća, odnosno šta treba da uradi preduzeće da opravda razlog svog postojanja. Najčešće su to tri pitanja: šta radimo (proizvodi, usluge), za koga radimo (kupci, krajnji korisnici) i kako radimo (procesi). Misija preduzeća treba da pokaže kako ostvariti viziju preduzeća u okviru nekog vremenskog perioda, kao i aktivnosti za ostvarenje vizije. Vizija preduzeća je cilj preduzeća o tome šta ono želi da bude.

2.2 Pojednostavljenje i standardizacija procesa

Da bi se proces opisao potrebno je detaljno poznavanje procesa. Poboljšanje procesa započinje uklanjanjem nepotrebnih koraka i ostalog "đubra" u procesu. Jedan od najmoćnijih alata za opisivanje procesa je **dijagram toka**, koji prikazuje sve ulaze, korake procesa i izlaze iz procesa, zatim niz aktivnosti i njihove međusobne interakcije.

Pojednostavljenje procesa može se postići:

1. Otklanjanjem složenosti;
2. Otklanjanjem koraka koji ne stvaraju dodatnu vrednost;
3. Otklanjanjem neefikasnih koraka i uskih grla;
4. Promenom serijskih aktivnosti u paralelne.

2.3 Dijagram toka procesa "takav kakav jeste"

Ovaj dijagram prikazuje proces tačno onako kako se stvarno odvija. Razvijanje ovog dijagrama zahteva posmatranje procesa u realnom vremenu. Za opisivanje procesa koristi se **OPISys** (Objects and Process Integration

```

graph LR
    Isporučilac -- Ulaz --> Proces
    Proces -- Izlaz --> Korisnik
  
```

2.4 Stabilizacija procesa

1. Određivanje merenja u procesu

2. Ispitivanje procesa korišćenjem kontrolnih karti

3. Delovanje na posebne uzorke

4. Proveru sposobnosti procesa

2.5 Poboljšanje procesa

1. **Plan** - planiranje promena potrebnih za poboljšanje i sagledavanje koje informacije su potrebne;
2. **Do** - sprovođenje promena na ograničenom opsegu;
3. **Check** - analiza i tumačenje efekata napravljenih promena;
4. **Act** - delovanje na osnovu novih saznanja.

Kada se učini promena u procesu, ta se promena mora pratiti, da bi se potvrdilo da je proces stabilan i da neće degradirati tokom vremena. Tek tada se pristupa novim promenama. Rezultat poboljšanja je uvek povećana efektivnost i efikasnost produžuća, što podrazumeva smanjenje opštih troškova, eliminaciju aktivnosti i optimizaciju raspoloživih resursa. Poboljšanje je najefikasnije u **timovima**.

3. POBOLJŠANJE PROCESA ODRŽAVANJA

Izvođenje odgovarajućih mera održavanja, potrebnih za stabilan proces, otkrivanje i otklanjanje slabih mesta i stalno poboljšanje postrojenja u odnosu na rukovanje i održavanje jesu karakteristike održavanja usmerenog ka stalnom poboljšanju procesa [3,5].

U daljem tekstu biće prikazano poboljšanje procesa održavanja hidraulične prese P2600 t.

Korišćenjem postojećih metoda praćenja i snimanja procesa pronadena su kritična mesta u samom procesu održavanja, koja su izmenjena i poboljšana, a u cilju skraćanja vremena održavanja i smanjenja troškova održavanja. Dakle, korišćenjem istih resursa dobijeni su bolji rezultati.

Sam proces poboljšanja se sastoji iz nekoliko koraka, i to:

- snimanje postojećih procesa, tzv. stanje “as is as”;
- opis postojećih procesa;
- izrada SIPOC modela;
- izrada karti procesa koji se obavljaju u toku održavanja; i
- izrada poboljšanih karti procesa, tj. stanje “to be”.

[illegible]

Slika 2. Tok procesa izrade polufabrikata

3.2 Intervencije održavanja

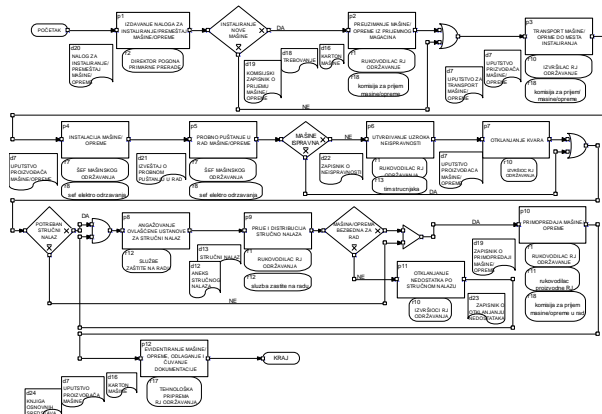
Izvršene intervencije održavanja (mašinski radovi) na presi P2600 t obuhvataju planirane i neplanirane radove.

3.2.1 Planirani radovi:

1. Kučište recipijenta:
 - Zamena klizača od bronzne na kučištu recipijenta.
 - Zamena jednog spreznjaka i ugradnja novih zaptivki.
 - Izrada i ugradnja zavojnih vretena za štelovanje kučišta na donjoj vodiči.
2. Jaram za alat:
 - Zamena klizača na gornjem i donjem jastuku.
 - Izrada i zamena novih zavojnih vretena za štelovanje jastuka po visini.
 - Mašinska obrada jarma radi vraćanja geometrije.
 - Navarivanje i mašinska obrada dela jarma za smeštaj nosaca alata i podmetača alata radi vraćanja geometrije.
 - Navarivanje i mašinska obrada klizača brave za zavravljivanje alata.
 - Izrada i ugradnja novog "polumeseca".
 - Mašinska obrada oštećenih zavrtnjeva za stezanje "polumeseca".
 - Mašinska dorada bronzanih klizača na prednjem bloku prese.
 - Mašinska dorada gornjeg jastuka za novi sistem zavravljivanja alata.
 - Ugradnja novog sistema za zavravljivanje jarma alata.
3. Makaze:
 - Zamena bronzanih klizača noža.
 - Izrada novog nosača alata za odsecanje presoostatka.
 - Ugradnja novog noža za odsecanje presoostatka.
4. Vodiče glavnog klipa:
 - Zamena klizača od bronzne.

- #### Slika 4. Generalni remont

Na slici 5. prikazana je karta procesa uvođenja mašine i opreme u rad.

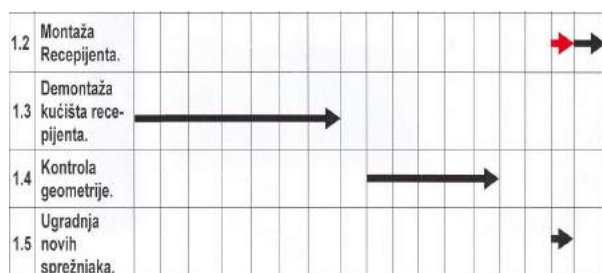


Slika 5. Uvođenje mašine i opreme u rad

3.4 Poboljšanje procesa održavanja

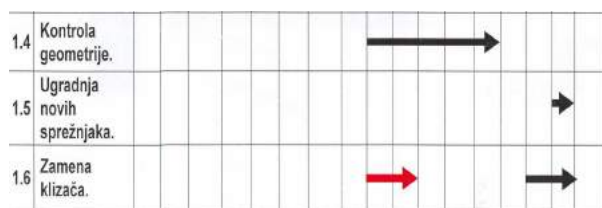
Na osnovu zatečenog stanja i sakupljenih podataka, kao i na osnovu sagledavanja i analize zatečenog stanja prese 2600 t može se zaključiti da određeni procesi mogu pretrpeti određene izmene u cilju poboljšanja procesa održavanja, i to:

1. Montaža recepijenata može da se izvede paralelno sa ugradnjom novih spreznjaka (slika 6).



Slika 6. Montaža recepijenata

2. Zamenja klizača može da se izvede paralelno sa kontrolom geometrije (slika 7).



Slika 7. Zamena klizača

3. Demontaža vodice glavnog klipa i zamena novim može da se izvede paralelno sa zamenom nosača noža sa zamenom kliznih letvi i nožem (slika 8).

Ovim poboljšanjem ukupno vreme potrebno za intervencije održavanja na hidrauličkoj presi P2600 t smanjeno je za dva dana, uz korišćenje istih resursa. Zbog ograničenja broja radnika nije bilo mogućnosti za značajnijim poboljšanjem procesa održavanja.

Kontinualno poboljšanje procesa održavanja, nastalo kao posledica snimanja postojećeg stanja, analize i uklanjanja nedostataka, smanjenja varijacija i uklanjanja aktivnosti koje ne stvaraju dodatnu vrednost, merenja i praćenja parametara stanja, uvek rezultira povećanjem efektivnosti i efikasnosti preduzeća, smanjenjem troškova održavanja, povišenjem dobiti i zadovoljstva kupaca i uvek vodi ka Six Sigma procesima održavanja, što treba da bude cilj svake kompanije.



Slika 8. Demontaža vodice glavnog klipa

4. ZAKLJUČAK

Menadžment u preduzeću ima zadatak da uredi sistem i nadgleda njegovo funkcionisanje, što podrazumeva da se definiše misija i vizija, strategija i biznis plan, odrede značajni procesi, imenuju vlasnici procesa i na osnovu rezultata donose odluke o poboljšanju kritičnih procesa. Poboljšanje procesa podrazumeva da se najpre vrši snimanje trenutnog stanja. Pri tome najvažniju ulogu imaju timovi za poboljšanje procesa, koji pomažu vlasniku procesa da upravlja procesom za koji je zadužen. Proces se opisuje kartama procesa, koje opisuju niz aktivnosti koje se obavljaju u procesu, zatim resurse koji se angažuju, dokumenta koji prolaze kroz proces i mehanizme upravljanja. Karte procesa takođe sačinjavaju timovi. Analizom procesa utvrđuje se šta u procesu ne funkcioniše kako treba, odnosno koji su uzroci neefikasnosti procesa i da se daju predlozi kako da se proces poboljša. Na kraju se poboljšani proces meri i prati.

5. LITERATURA

- [1] Stoilković, V., Veljković, B., Stoilković, P., Jevremović, D.: *Promenama do svetske klase: poboljšanje i reinženjering procesa*, CIM College i Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 1998.
- [2] Milosavljević, P.: *Održavanje alatnih mašina - tehnički vek i ciklusi*, monografija, Biblioteka Academia, Zadužbina Andrejević, Beograd, 1999.
- [3] Milosavljević, P., Randelović, S.: *Improvement of the Maintenance Process in Public Companies*, 8th International Research/Expert Conference: TMT 2004, CD, Neum, Bosnia and Herzegovina, 2004.
- [4] Milosavljević, P., Rall, K.: *Six Sigma Concept in the Maintenance Process of Technical Systems*, Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, Vol. 3, N° 1, pp. 93-108, UDC 658.581, Niš, 2005.
- [5] Milosavljević, P.: *Six Sigma koncept u procesu održavanja tehničkih sistema*, "Quality Business Management", Vol. 2, N° 7, str. 69-82, Niš, 2005.
- [6] Milosavljević, P.: *Održavanje tehničkih sistema po konceptu TPM i Six Sigma*, monografija, Biblioteka Dissertatio, Zadužbina Andrejević, Beograd, 2007.

Autori: doc. dr Peda Milosavljević, doc. dr Saša Randelović, Srđan Mladenović, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Katedra za informaciono-proizvodne tehnologije i menadžment, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, Tel.: +381 18 500-629, Fax: +381 18 588-199.

E-mail: pedja@masfak.ni.ac.yu
sassa@masfak.ni.ac.yu
maki@masfak.ni.ac.yu

Mitrović, D., Petrović, Z., Najdanović, B.

RAZVOJ I TRŽIŠNO POZICIONIRANJE NOVIH MODELA AUTOMOBILA - marketing aspekt -

Rezime: *Uspeh novih modela automobila, u tržišnom i ekonomskom smislu, bitno zavisi od ispravnosti odluka o njihovoj tržišnoj pozicioniranosti. Ove odluke spadaju među najznačajnije i najsloženije poslovne odluke u automobilskim kompanijama.*

Zbog toga, prilikom njihovog donošenja, moraju se uzeti u obzir buduće potrebe pojedinih tržišnih segmenata, informacije o konkurenciji, konkurentnosti konkretnih modela, tendencijama u razvoju karakteristika određenih kategorija automobila itd.

Cljučne reči: *automobil, nov model, tržišni segment, konkurencija*

DEVELOPMENT AND MARKET POSITIONING OF NEW CAR MODELS - marketing aspect -

Abstract: *Success of new car models in marketing and commercial terms highly depends on making right decision on their market positioning. These decisions are amongs most important and most complex business decisions to be made in automotive companies.*

In reference to that, when making these decisions we must take into consideration future needs of certain market segments, information on competition and competitiveness of competitive models, development tendencies in terms of certain categories of automobiles etc.

Key words: *automobile, new model, market segment, competition*

1. UVOD

Stalno kreiranje i uvođenje u proizvodnju novih modela automobila, postalo je osnovni preduslov rasta i razvoja automobilskih kompanija.

Otuda osnovni ciljevi razvoja i uvođenja u program proizvodnje novih modela automobila su: a) proširenje i osveženje programa proizvodnje savremenim i konkurentnim modelima; b) stvaranje programske osnove za povećanje proizvodnje i prodaje; c) poboljšanje ekonomske efikasnosti itd.

Međutim, odluke o razvoju i uvođenju u proizvodnju novih modela automobila spadaju u red poslovnih odluka visokog rizika, jer u slučaju njihovog neuspeha, proizvođači moraju godinama da saniraju posledice, pošto ne postoji mogućnost da ih odmah povuku sa tržišta ili restilizuju.

Uspeh novih modela automobila bitno zavisi od ispravnosti odluka o njihovoj tržišnoj pozicioniranosti. Kao analitički instrument za donošenje ovih odluka, koristi se segmentacija tržišta.

2. SEGMENTACIJA TRŽIŠTA

Prilikom istraživanja tržišta putničkih automobila, javila se potreba da se izvrši njegova segmentacija, odnosno sistematizovanje kupaca u određene tržišne segmente.

Kriteriji segmentacije ovog tržišta razlikuju se od zemlje do zemlje. Međutim, dva opšte prihvaćena kriterija u segmentaciji tržišta putničkih automobila su: a) tehnički – kategorija automobila (dimenzije, snaga motora, savremenost, komfor itd.) i b) cenovni (prodajna cena).

Pošto svaki od ovih kriterija ima svoje prednosti i nedostatke to se oni najčešće koriste kombinovano. Tako, na primer, primenom modela segmentacije tržišta putničkih automobila, koji je razvijen i koristi se u "Zastava automobili" iz Kragujevca, izvršeno je sistematizovanje kupaca u pet tržišnih segmenata, prema kategoriji automobila, a u okviru svakog od

njih u šest tržišnih podsegmenata, prema klasama (visini) cena (videti prilog 1).

Mogućnost plasmana svakog modela automobila, na bilo kom tržištu, zavisi od : a) nivoa tražnje u tržišnom segmentu kome pripada (potencijal tržišnog segmenta); b) konkurencije u tom segmentu i c) konkurentnosti konkretnog modela.

Konkurentnost novog modela automobila, a samim tim i njegovo učešće u ukupnoj prodaji tržišnog segmenta, kome će pripadati, zavisi od marketing mixa, odnosno: a) proizvoda (kvaliteta, asortimana verzija, tehničkih karakteristika, savremenosti itd.); b) cene; c) efikasnosti kanala prodaje i d) kvaliteta promocije.

Segmentacija tržišta ima veliki analitički značaj u procesu planiranja proizvoda u automobilskoj industriji. Tako, na primer, ona omogućava sagledavanje i analizu tržišne pozicioniranosti sopstvenih i konkurentskih modela, ukupne ponude i tražnje automobila na određenom tržištu i po pojedinim tržišnim segmentima i podsegmentima i slično.

Isto tako značajna je i njena uloga pri investicionom odlučivanju u automobilskoj industriji.

3. ANALIZA TRŽIŠNE POZICIONIRANOSTI POSTOJEĆIH MODELA AUTOMOBILA

Analizom tržišne pozicioniranosti postojećih modela automobila i odnosa ponude i tražnje ovih proizvoda u tržišnim podsegmentima pojedinih klasa cena, tokom nekoliko zadnjih godina, dolazi se do značajnih saznanja za donošenje odluka o tržišnom pozicioniranju novih modela. Neka od njih su: a) da se pojedini modeli nalaze u tržišnim podsegmentima klasa cena u kojima su mogućnosti prodaje manje u odnosu na druge tržišne podsegmente; b) da postoji konkurencija između sopstvenih modela; c) da se neki od sopstvenih modela nalaze u gornjem ili donjem delu tržišnog podsegmenta neke klase cena; d) da se neki od sopstvenih modela nalaze u tržišnom podsegmentu klase cena čija tražnja opada ili stagnira; e) da neki od sopstvenih modela prelaze iz tržišnog podsegmenta

više u tržišni podsegment niže klase cena; f) da prodaja nekog sopstvenog modela apsolutno raste, a da njegovo učešće u tražnji tržišnog podsegmenta određene klase cena opada itd. Ova saznanja omogućavaju da se blagovremeno utvrdi potreba inoviranja nekog od postojećih modela automobila ili lansiranja novog i adekvatno izvrši njihovo tržišno pozicioniranje.

4. ULOGA I ZNAČAJ ISTRAŽIVANJA TRŽIŠTA PRI TRŽIŠNOM POZICIONIRANJU NOVIH MODELA AUTOMOBILA

Istraživanje tržišta predstavlja jednu od najvažnijih pretpostavki za optimalno tržišno pozicioniranje novih modela automobila. Putem njega dolazi se do neophodnih informacija za donošenje određenih strateških poslovnih odluka, kao što su one o tržišnom pozicioniranju novih modela automobila. Najvažnije među njima su: a) informacije o potencijalnim kupcima; b) informacije o konkurenciji; c) informacije o karakteristikama, naročito novouvedenih, konkurentskih modela automobila; d) informacije o prednostima i slabostima sopstvenih modela automobila u odnosu na konkurentske; e) informacije o tržišnoj pozicioniranosti sopstvenih i konkurentskih modela automobila; f) informacije o trendovima razvoja određenih kategorija automobila itd.

Za optimalno tržišno pozicioniranje novih modela automobila, neophodno je da se istraživanjem tržišta najpre utvrdi ukupan tržišni potencijal, a zatim i potencijal ciljnih tržišnih segmenata i podsegmenata u narednih nekoliko godina.

Ovo je u toliko neophodnije jer se oni uveliko razlikuju u pogledu svojih zahteva i obima tražnje.

Zbog uticaja velikog broja faktora predviđanje tražnje po tržišnim podsegmentima klasa cena predstavlja posebno složen proces. Ovo predviđanje najčešće se vrši simulacijom. U tu svrhu razvijen je MKC model koji uključuje sledeće faktore tražnje: narodni dohodak, primanja stanovništva, broj posedovanih automobila, vreme posedovanja, izdvajanja stanovništva za nabavku novih i polovnih automobila, ostvarenu tražnju novih i polovnih automobila itd. (videti prilog 2).

5. STRATEGIJA TRŽIŠNOG POZICIONIRANJA NOVIH I INOVIRANIH MODELA PUTNIČKIH AUTOMOBILA

Uvođenjem novih modela automobila u proizvodni program, stvara se dosta brojna gama modela raspoređenih u više tržišnih segmenata. Kao kriteriji za izbor ciljnih tržišnih segmenata služe: a) apsorpciona moć segmenta; b) tržišna pozicija postojećih modela; c) konkurentnost konkretnih modela; d) strategija razvoja programa proizvodnje; e) konkurencija itd.

Proizvođači automobila su naročito zainteresovani da svoje nove modele pozicioniraju u tržišnim segmentima sa najvećom apsorpcionom moći, jer u njima postoje veće šanse za povećanje obima plasmana.

Ukoliko je nov model automobila tržišna ili proizvodna zamena nekog od postojećih modela, on se pozicionira u istom tržišnom segmentu kao i prethodni. Međutim, njegovo cenovno pozicioniranje vrši se u podsegmentu neke više klase cena, zbog njegove tehničke i tržišne superiornosti u odnosu na prethodni model.

Ukoliko je nov model automobila namenjen novom tržišnom segmentu, izbor njegove tržišne pozicije vrši se prema navedenim kriterijima.

Kao ilustraciju navodimo izbor tržišne pozicioniranosti "zastava floride". Tržišno pozicioniranje ovog modela izvršeno je polazeći od: a) veličine pojedinih tržišnih segmenata na tadašnjem domaćem i potencijalnim izvoznim tržištima; b) tržišne pozicije automobila "koral"; c) konkurencije u okviru

pojedinih tržišnih segmenata i d) strategije razvoja programa proizvodnje.

U vreme projektovanja "zastava floride", a ocenjeno je da će to biti slučaj i u narednih nekoliko godina, "koral" je bio tržišno atraktivan model, pa otuda "florida" nije pozicionirana u istom tržišnom segmentu (B), već u sledećem višem (C).

Ovo tim pre, što ona pripada tržišnom segmentu koji je tada bio najveći na zapadnoevropskom tržištu pa se računalo na značajniji izvoz na njega.

Da bi obezbedili podmirenje šireg raspona potreba, a samim tim i veće tržišno učešće i veći obim prodaje, proizvođači automobila vrše verziranje baznih modela. Pri tome osnovne verzije pozicioniraju se u tržišnom podsegmentu iste klase cena (u njegovom gornjem delu), a luksuznije u tržišnom podsegmentu sledeće više klase cena.

Pod uticajem tehničkog progressa, konkurencije, promena u zahtevima kupaca itd. vremenom dolazi do slabljenja konkurentnosti pojedinih modela automobila, zbog čega se javlja potreba za njihovim inoviranjem. Njihovo tržišno pozicioniranje zavisi od stepena inoviranja. Modeli kod kojih su izvršene manje inovacije (face lifting) pozicioniraju se na isti način kao i osnovne verzije. Za razliku od njih modeli kod kojih su izvršene veće inovacije (restiling), zbog nekih bitno poboljšanih karakteristika, pozicioniraju se u tržišnom podsegmentu neke od viših klasa cena. Restilingom se postiže povećanje realnih cena postojećih modela automobila, a u nekim slučajevima obezbeđuje njihovo očuvanje na postojećem nivou.

6. ZAKLJUČCI

Odluka o razvoju i uvođenja u proizvodnju novog modela automobila spada u red najsloženijih i najznačajnijih poslovnih odluka u automobilskoj kompaniji, s obzirom na prirodu informacija na osnovu kojih se donosi i razvojne i materijalne implikacije koje ima.

Osnovni ciljevi razvoja i uvođenja u program proizvodnje novih modela automobila su: a) proširenje i osveženje programa proizvodnje savremenim i konkurentnim modelima; b) stvaranje programske osnove za povećanje proizvodnje i prodaje; c) poboljšanje ekonomske efikasnosti itd.

Utvrđeno je da uspeh novih modela automobila, u tržišnom i ekonomskom smislu, zavisi od stepena optimiziranosti njihovih karakteristika i količina u odnosu na ciljne tržišne segmente i konkurenciju. Zbog toga, da bi se postiglo optimalno tržišno pozicioniranje novog modela automobila, neophodno je da izrada projektnog zadatka za njegov razvoj i odluka o uvođenju u proizvodnju budu zasnovani na proceni budućih potreba pojedinih tržišnih segmenata, informacijama o konkurenciji i tendencijama u razvoju karakteristika određenih kategorija automobila.

7. LITERATURA

- [1.] Antanasković, S., *Priprema razvojnih odluka u marketingu u automobilskoj industriji*, "Marketing", br. 4; str. 23-28; 1976.
- [2.] Antanasković, S., *Planiranje novog modela automobila*, "Marketing", br. 2; str. 11-16; 1970.
- [3.] Knežević, R., *Strategija razvoja i uvođenja novog proizvoda*, "Proizvodnja", str. 38-44; maj 1980.
- [4.] Najdanović, B., *Marketing aspekt inovacije – primer putničkih automobila*, "Marketing", br. 3-4, str. 143-146; 2001.
- [5.] Pejčić, N., *Metodološki i praktični osnovi planiranja proizvoda u SOUR Zavodi "Crvena Zastava" – Kragujevac*, "Analiza poslovanja", br. 3; str. 17-22; 1980.
- [6.] Dokumentacija "Zastava automobili" a.d. Kragujevac.

Autori: Danijela Mitrović, Zoran Petrović, Mr Bogić Najdanović, "Zastava automobili" a.d., Direkcija marketinga, Trg topolivaca 4, 34000 Kragujevac, Srbija, tel: +381 34 323 457.

E-mail: d.mitrovic@automobili.zastava.net
z.petrovic@automobili.zastava.net

Prilog 1

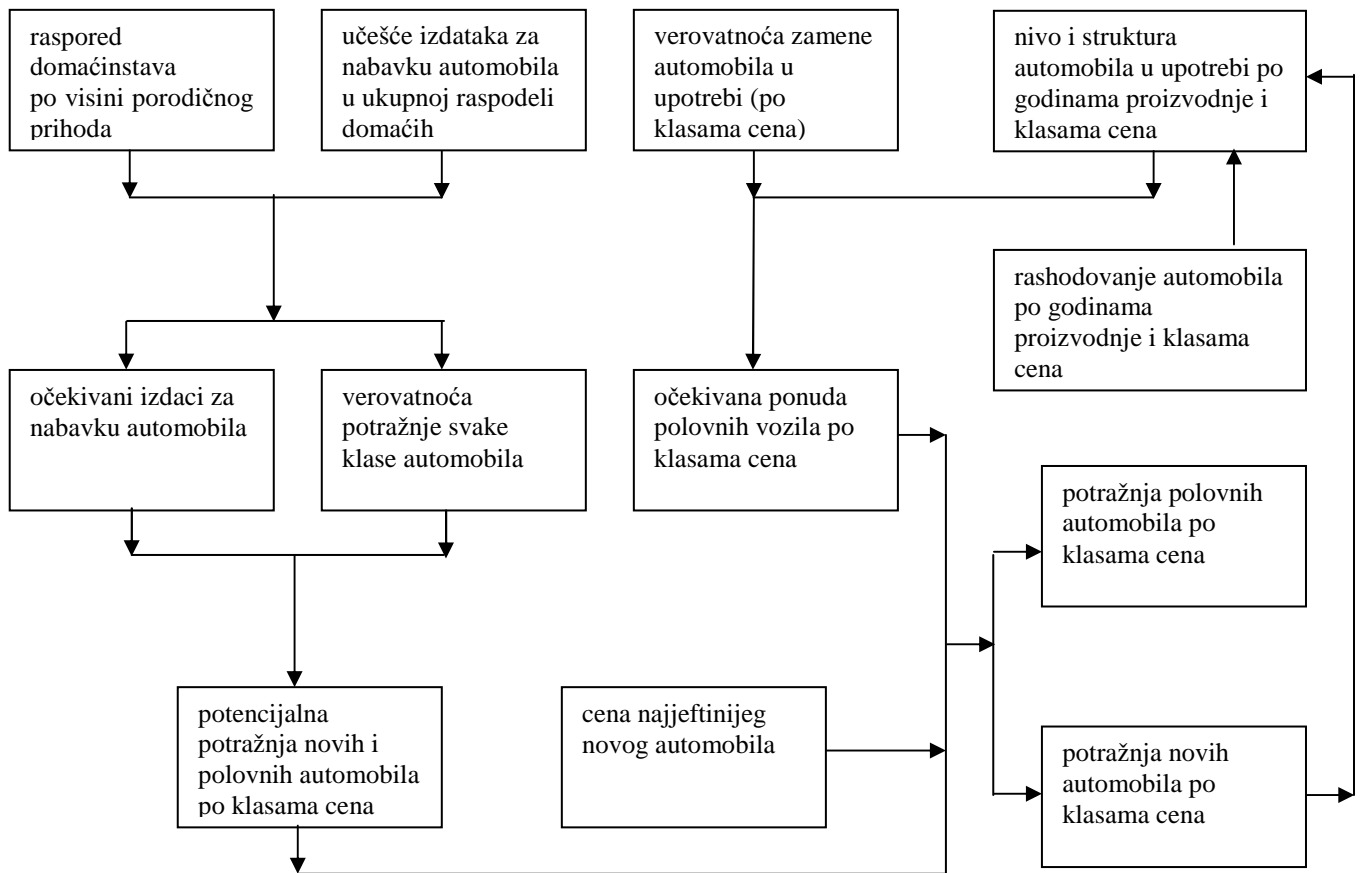
Klase cena (maloprod. cene na dan)	Kategorija automobila					
	A najmanja	B mala	C srednja donja	D srednja	E srednja gornja	Komada
I do dinara						
II od do dinara						
III od do dinara						
IV od do dinara						
V od do dinara						
VI od do din						
Ukupno						

Slika 1. Segmentacija tržišta putničkih automobila

Kategorija automobila	Karakteristike
A	Radna zapremina motora ispod 1000 cm ³ Mini vozila Vozila sa dvoja vrata Dužina ispod 3.05 m Karakteristična vozila: Rover mini, Fiat 500, Fiat seicento, Suzuki wagon-R
B	Radna zapremina motora od 1000 -1500 cm ³ Klasa iznad mini vozila Dužina ispod 3,745 m Više dodatne opreme Karakteristična vozila: Renault clio, Nissan micra
C	Radna zapremina motora od 1300-2000 cm ³ Dužina ispod 4.23 m Karakteristična vozila: Volkswagen golf, Toyota corolla
D	Radna zapremina motora od 1600-2800 cm ³ Dužina ispod 4.47m Karakteristična vozila: Ford mondeo, Opel vectra
E	Radna zapremina motora od 2000-3500 cm ³ Vozila sa četvero vrata Dužina ispod 4.80 m Luksuzna oprema Karakteristična vozila: Volvo V80/S80 i Mercedes-Benz C-class

Slika 2. Kategorije automobila i njihove karakteristike

Prilog 2



Slika 3. Osnovna šema MKC

Izvor: Antanasković, S., Priprema razvojnih odluka u marketingu u automobilskoj industriji, "Marketing," br. 4, 1976.

Perić S., Vuruna, M.

PRILOG PROAKTIVNOJ STRATEGIJI ODRŽAVANJA TRIBOMEHANIČKIH SKLOPOVA MOTORNIH VOZILA

Rezime: Utvrđivanje stanja tribomehaničkih sistema ima veoma značajnu ulogu u razvoju teorije i prakse trenja, habanja i podmazivanja. Danas se za dijagnosticiranje tribomehaničkog sistema primenjuju različite fizičko-hemijske metode i tribološke metode. Iskustva iz eksploatacije tehničkih sistema su pokazala da je prognoziranje neispravnosti najefikasnije na osnovu parametara koji su pouzdani pokazatelji procesa habanja-čestica koje nastaju habanjem. Mazivo je, kao kontaktni element tribomehaničkog sistema, nosilac informacija o stanju celog sistema s aspekta triboloških i drugih procesa starenja.

Ključne reči: tribomehanički sistem, proaktivno održavanje, podmazivanje, analiza ulja.

CONTRIBUTION TO PROACTIVE STRATEGY OF MAINTENANCE OF TRIBOMECHANICAL ASSEMBLIES OF VEHICLES

Abstract: Determination of tribomechanical systems condition has very important role in development of friction theory and practice, wear and lubrication. There are used today different physical and chemical methods and tribology methods for tribomechanical system diagnosis. Experience in technical systems exploitation showed that the most effective failure prognosis is according to parameters, particles created as result of wear, which are reliable indicators of wear. Lubricant is, as the contact element of the tribomechanical system, carrier of information about the state of the whole system, from the aspect of tribological and other ageing processes.

Key words: tribomechanical system, proactive maintenance, lubrication, analysis oils.

1. UVOD

Oblast održavanja bazira se na četiri osnovna koncepta održavanja: korektivnom, preventivnom, prediktivnom i proaktivnom.

Korektivno održavanje se sastoji u opravci ili zameni elemenata koji su oštećeni ili su degradirali do te mere da onemogućavaju normalno obavljanje funkcije sistema. Korektivnim održavanjem angažuju se resursi samo u trenutku kada se dogodi otkaz. U tom smislu radi se o najjeftinijem konceptu u pogledu direktnih troškova održavanja. Međutim, posledice ovog pristupa vezane su za nisku pouzdanost i neplanirane zastoje i u suštini mogu da budu najskuplje. Pored ovih nedostataka za korektivno održavanje karakteristična je pojava sekundarnih oštećenja koje kritična komponenta u otkazu izaziva u lancu komponenti sistema. Preventivno održavanje se bazira na činjenici da se najbolja raspoloživost tehničkih sistema može postići odgovarajućim aktivnostima održavanja koje se preduzimaju u unapred definisanim intervalima. U okviru određenog tehnološkog procesa ovi intervali treba da zadovolje zahteve za najmanjim narušavanjem normalnog procesa eksploatacije i sprečavanjem neplaniranih zastoja.

Prediktivno održavanje zasniva se na primeni nedestruktivnih tehnika sa ciljem da se veoma rano utvrdi potencijalni otkaz, tako da se odgovarajuće korektivne aktivnosti, odnosno popravke, vremenski planiraju samo onda kada za to postoji realna potreba. Prediktivno održavanje se u stručnoj literaturi neretko poistovećuje sa pojmom monitoringa stanja. Za monitoring u realnom vremenu primenjuju se različite tehnike kao što su merenje i analiza vibracija, termografija, ferografija i dr., koje omogućavaju raspoznavanje simptoma predstojećeg otkaza. Rani upozoravajući znaci primenjuju se za preduzimanje odgovarajućih aktivnosti održavanja pre nego što nastane otkaz i eventualnih lančanih havarijskih posledica. Za sisteme kod kojih se primenjuje cirkulaciono podmazivanje sa zajedničkim rezervoarom rutinska analiza ulja je jedna od najboljih tehnika monitoringa stanja.

Proaktivnim održavanjem se korektivne aktivnosti preduzimaju sa pojavom baznih uzroka degradacije i otkaza, a na bazi pojave simptoma nastalih oštećenja i dolazećih otkaza (prediktivno) ili na bazi plana – nezavisno od realnog stanja sistema (preventivno).

Podaci, kojima se danas raspolaže na bazi istraživanja u laboratorijskim i proizvodnim uslovima, nedvosmisleno pokazuju da, kada je sistem dobro projektovan, kontaminacija ulja za podmazivanje abrazivnim česticama i vodom predstavlja najčešći i najozbiljniji uzročnik otkaza.

2. KONTROLA STANJA MAZIVA

Vozilo kao tehničko sredstvo predstavlja skup veoma složenih tribomehaničkih sistema koji se sastoje od niza podsistema koji predstavljaju takođe složene tribomehaničke sisteme (slika 1).

Njih čine svi sklopovi koji učestvuju u prenosu snage, odnosno obrtnog momenta od motora, preko sklopova transmisije (menjača, razvodnika pogona, diferencijala i ostalih sklopova) do izvršnih organa vozila.



Slika 1. Vozilo kao skup složenih tribomehaničkih sistema. Kontrolisanje stanja maziva, kao elementa tribomehaničkog sistema, za vreme eksploatacije ima dugu tradiciju i prvenstveno se odnosi na ulja za podmazivanje s obzirom da je njihova potrošnja najveća.

Permanentna kontrola stanja maziva u sistemu, po unapred definisanom programu, pruža korisniku poboljšanje produktivnosti i profitabilnosti:

- smanjenjem broja i dužine vremena zastoja,
- produženjem eksploatacionog veka sistema,
- smanjenjem troškova radne snage i
- smanjenjem količine i troškova odlaganja otpadnog maziva.

Na taj način se obezbeđuju neophodne informacije za donošenje odluka, a u cilju kontrole habanja i degradacionih procesa kod sistema.

Savremeni koncepti održavanja prema stanju baziraju se na monitoringu stanja, čiji je zadatak da na bazi merljivih simptoma identifikuje postojanje ili razvoj otkaza. Koristeći analizu ulja, kao tehniku monitoringa, dolazi se do saznanja o degradaciji komponenti tribomehaničkog sistema i ulja za podmazivanje, preko produkata habanja i parametara kontaminacije.

S obzirom da se u najvećem broju slučajeva promena funkcionalnosti složenog tribomehaničkog sistema ogleda u promenama karakteristika ulja za podmazivanje, to se promena triboloških karakteristika ulja može usvojiti kao parametar za ocenu stanja tribomehaničkog sistema.

Karakteristike ulja za podmazivanje se mogu podeliti u dve grupe:

1. fizičko - hemijske karakteristike:

- viskozitet (dinamička i kinematska viskoznost),
- gustina,
- tačka paljenja,
- tačka zamućenja,
- tačka tečenja,
- isparljivost,
- emulzivnost,
- deemulzivnost,
- penušanje,
- deaeracija
- hemijski sastav,
- neutralizacioni broj,
- oksidaciona stabilnost,
- termička stabilnost,
- korozivnost,
- sposobnost zaštite od korozije,
- sadržaj vode, itd.

2. tribološke karakteristike:

- sila trenja,
- koeficijent trenja,
- intenzitet habanja,
- temperatura kontakta,
- intenzitet rasta produkata habanja itd.

Danas postoji veoma razvijena merna oprema za ocenu i analizu fizičko hemijskih karakteristika ulja, međutim za određivanje triboloških karakteristika to nije slučaj. Osim toga nisu u potpunosti ni definisane pouzdane metode (čak ni parametri) za određivanje triboloških karakteristika.

Prilikom izbora karakteristika koje određuju stanje uljnog punjenja kod raznih zatvorenih sistema podmazivanja, neophodno je poznavanje kako svojstava familije korišćenog ulja, tako i radnih uslova sistema. Na taj način se za analizu i monitoring biraju ona svojstva koja najbolje odražavaju stanje i ulja i sistema

Najveći deo triboloških karakteristika određuje se standardnim testovima sa strogo definisanim procedurama, čiji je pregled dat u sklopu tabele 1. U tu svrhu primenjuju se standardizovani komercijalni tribometri proizvođača kao što su *Falex*, *Timken*, *Plint*, *Koehler*, *SRV* i dr.

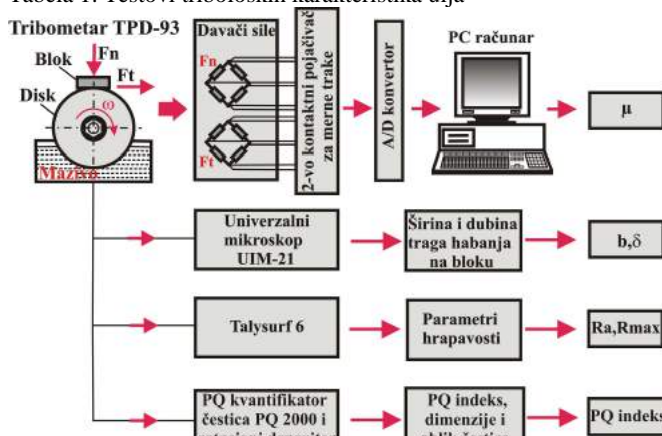
Laboratorija za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu razvija i izrađuje mernu opremu

za tribometrijska ispitivanja, kao i razvoj novih metodologija ispitivanja. Merni sistem, primenjen za određivanje triboloških karakteristika elemenata tribomehaničkih sistema (ne samo ulja za podmazivanje) se sastoji od:

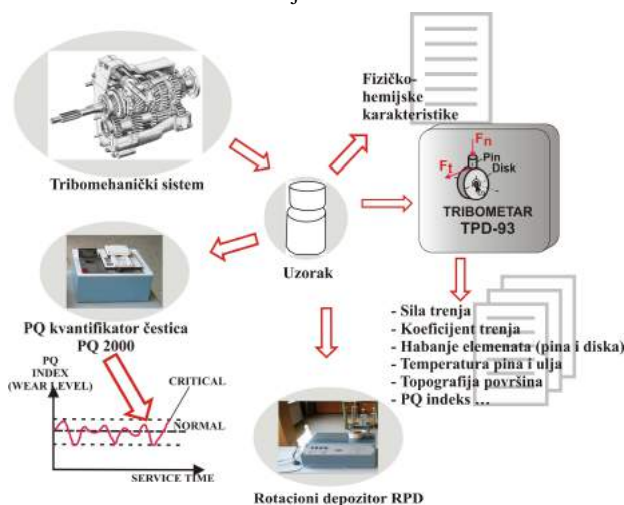
- tribometra TPD-93 za merenje normalne sile, sile trenja i koeficijenta trenja,
- termoparova za merenje temperature ulja i elemenata u kontaktu,
- PQ-2000 kvantifikatora čestica za merenje PQ indeksa,
- mikroskopa za merenje parametara pohabanosti (dužine h , širine b i dubine pohabanog pojasa),
- Talysurf-6, kompjuterizovanog mernog uređaja za merenje parametara topografije površine i habanja.

Standard	Kontaktna geometrija
Antihabajuće osobine (Wear Preventive Characteristics)	
ASTM D2670	Pin i V blok (Pin and Vee Block)
ASTM D4172	Četiri kuglice (Four Ball)
EP karakteristike (Extreme Pressure Properties)	
ASTM D2782	Blok i prsten (Block on Ring)
ASTM D2783	Četiri kuglice (Four Ball)
ASTM D3233	Pin i V blok (Pin and Vee Block)
IP 240	Blok i prsten (Block on Ring)
Frikcione karakteristike (Friction characteristics)	
ASTM D 5183	Četiri kuglice (Four Ball)
Tribološko ponašanje na uređajima sa realnim mašinskim elementima	
ASTM D5182	Zupčasti par (FZG – Gear Test Rig)

Tabela 1. Testovi triboloških karakteristika ulja



Slika 2. Merni lanci za merenje triboloških karakteristika



Slika 3. Model ispitivanja triboloških karakteristika ulja u toku eksploatacije

Postupak ispitivanja triboloških karakteristika ulja za

podmazivanje u toku eksploatacije se sastoji u sledećem (slika 3):

- uzorkovanje ulja iz realnog tribomehaničkog sistema,
- određivanje fizičko-hemijskih karakteristika,
- utvrđivanje učešća produkata habanja u ulju i
- merenje triboloških karakteristika tribomehaničkog sistema u modelskim uslovima uz korišćenje uzorkovanog ulja kao maziva.

3. PROGRAM ANALIZE ULJA

Suština proaktivnog održavanja polazi od činjenice da su kontaminati, u najširem smislu te reči, bazni uzročnici koji vode ka oštećenju i otkazu sistema i njihovih delova, te u skladu sa time od primarnog značaja je njihova rana detekcija.

Svaki program analize i monitoringa ulja za podmazivanje mora se zasnivati na pouzdanim metodama merenja i definisanim kriterijumima za interpretaciju rezultata, jer se jedino na taj način mogu doneti kvalifikovane odluke, to jest prognostičke ocene o stanju posmatranog sistema i neophodnim merama održavanja.

Ovakav program obuhvata pet koraka definisanja analize ulja [1]:

- Projektovanje programa analize ulja,
- Postupak uzorkovanja,
- Evidenciju podataka i laboratorijsko ispitivanje,
- Dijagnozu i prognozu i
- Praćenje performansi i analizu troškova/dobiti.

Projektovanje programa analize ulja

Osnovno za projektovanje programa je izbor sistema ili njegovih komponenti koje će biti predmet praćenja analizom ulja. Bez obzira na to da li je proces održavanja orjentisan na pouzdanost sistema ili troškove održavanja, optimiranje programa analize ulja može da se realizuje samo ako se identifikuju potencijalni načini i uzročnici pojave otkaza, kao i kritičnost pojedinih sistema, podsistema ili njihovih komponenti. U skladu sa time se za procenu rizika koriste procedure *stabla otkaza* i *FMEA*. *Stablo otkaza* je metod koji se već dugo koristi u analizi rizika i pouzdanosti u inženjstvu. To je logički sistem sličan porodičnom „stablu“, koji uspostavlja međuzavisnost mogućih događaja i pojave otkaza [1]. Analiza načina i posledica otkaza-FMEA (Failure Mode and Effectss Analysis) je analitička, systemska i kvalitativna analiza kojom se identifikuju otkazi koji su od najvećeg uticaja na performanse sistema. Primena FMEA je danas prisutna u različitim oblastima inženjerske delatnosti i sve više se uvodi i u proces održavanja po stanju. U cilju primene FMEA neophodno je razložiti posmatrani sistem na podsisteme i elemente, formiranje funkcionalne strukture sistema, razvijanje koncepta načina otkaza i koncepta za procenu kritičnosti. Na osnovu izvršenih procena izračunava se indeks prioriteta rizika i na taj način ocenjuje kritičnost posmatranog elementa, posledice i mogućnost da se otkaz registruje na osnovu predviđenih mera kontrole. Nakon toga se biraju odgovarajuće metode ispitivanja ulja uzimajući u obzir vrstu sistema ili komponente, utvrđenu kritičnost, željenu pouzdanost, konstrukciona i radna ograničenja koja je definisao proizvođač sistema.

Postupak uzorkovanja ulja

Mogućnost dobijanja korisnih informacija analizom uzoraka ulja zavisi dobrim delom i od postupka uzimanja uzorka. Bez reprezentativnog uzorka, rezultati analize mogu dati više štete nego koristi. Usled toga neophodno je pridržavati se sledećih pravila pri uzorkovanju:

- odrediti mesta uzimanja uzorka iz sistema koji je predmet praćenja;
- uzorkovanje vršiti za vreme rada sistema ili neposredno nakon zaustavljanja;

- uzorkovanje vršiti na radnoj temperaturi ulja;
- uzorkovanje vršiti pre dolivanja novog ulja;
- za uzorkovanje primenjivati nove čiste boce i pribor. Ovo je posebno značajno za slučaj određivanja broja čestica u ulju (npr. prema ISO 4406) [3]. Za te svrhe koriste se boce definisane čistoće, koje se obično označavaju kao čiste, superčiste i ultračiste;
- označiti uzorak uz registraciju svih neophodnih podataka (npr. kategorije maziva, časova rada, vrste sistema itd.);
- dostaviti uzorak laboratoriji odmah nakon uzorkovanja, vodeći računa da ne dođe do njegove naknadne kontaminacije.

Takođe, neophodno je pravilno odrediti učestanost uzimanja uzorka, jer je samo na taj način moguće proaktivno delovanje na pojavu neispravnosti.

Evidencija podataka i laboratorijska ispitivanja

Evidencija i ispitivanje vrši se usaglašenim metodama i procedurom ispitivanja uzoraka ulja.

Dijagnoza i prognoza

U načelu postupak dijagnoze i prognoze obuhvata sledeće aktivnosti:

- prikupljanje informacija,
- obradu i analizu i
- donošenje odluka i prognozu.

Sve veličine koje su evidentirane i rezultati ispitivanja ulja koriste se za formiranje baze podataka čijom se obradom i analizom uspostavlja dijagnoza. Obrada informacija se sastoji iz poređenja izmerenih vrednosti sa dozvoljenim i/ili prethodno izmerenim. Analiza obuhvata i upoređenje podataka sa aktivnostima u održavanju, ali i rezultatima drugih metoda održavanja, kao što su merenje vibracija, termografija i slične. Na osnovu tih informacija i analiza utvrđuju se mere i obim radova u cilju uspostavljanja optimalnih uslova rada sistema i sprečavanja težih oštećenja i otkaza. Obrada rezultata, kao i donošenje odluka je posebno značajan deo procesa dijagnostike i zahteva posedovanje određenog nivoa znanja kadrova koji se bave ovim poslovima. U današnje vreme ti poslovi su neodvojivo povezani sa primenom računarske tehnike koja omogućava akumulaciju servisnih informacija, statističku analizu i primenu ekspertskih sistema.

Praćenje performansi i analiza troškova

Veoma važno je utvrditi relaciju između monitoringa ulja i postignutih performansi sistema, kao i ocena troškova tj. efektivnost programa analize ulja. Takav prilaz omogućuje kontinualno poboljšavanje programa analize ulja i konsekvantno bolju pouzdanost sistema.

3. PRODUKTI HABANJA U ULJU

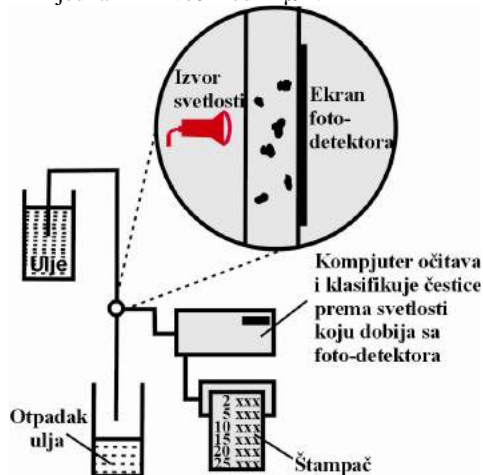
Habanje je nepoželjan, ali jednovremeno i neminovan pratilac rada tribomehaničkih sistema i predstavlja složen fenomen do koga dovode različiti činioci. Habanje može biti normalno i intenzivno što zavisi od njegove brzine odvijanja. Za ove oblike habanja karakteristične su zasebne specifičnosti koje na pouzdan način daju informacije o stanju elemenata sistema. Normalno habanje karakterišu produkti habanja koji su mali po dimenzijama i njihov priraštaj je konstantan u jedinici vremena. Intenzivno habanje se odlikuje naglim porastom količine metala u ulju i rast odnosa produkata habanja većih dimenzija u odnosu na male.

Vršeći analizu ulja dolazi se do saznanja o vrsti, količini, veličini, obliku i distribuciji čestica habanja. Na osnovu poznavanja od kojih konstruktivnih elemenata se sastoji tribomehanički sistem ustanovljava se poreklo produkata habanja.

Određivanje broja metalnih čestica u ulju (metoda ISO 4406 i NAS 1638) vrši se pomoću uređaja-brojača čestica, čija je principijelna shema data na slici 4. Neophodan uzorak ulja za

analizu je 100 ml, dok se čistoća ulja iskazuje putem skale (tzv. ISO kod), koja je definisana standardom ISO 4406 [1]. ISO kod sadrži tri broja (npr. 22/18/13) prilikom čega:

- prvi broj označava broj čestica po 1 ml ulja dimenzija jednakih ili većih od 4 μ m,
- drugi broj predstavlja broj čestica po 1 ml ulja dimenzija jednakih ili većih od 6 μ m,
- treći broj ukazuje na broj čestica po 1 ml ulja dimenzija jednakih ili većih od 14 μ m.

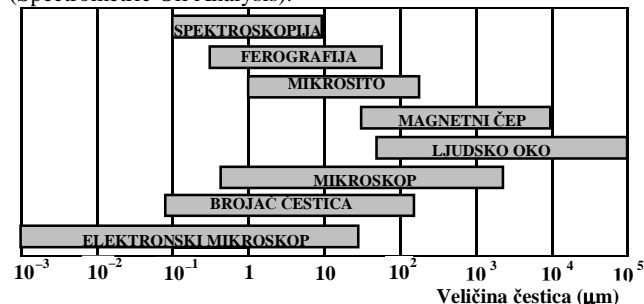


Slika 4. Shema brojača čestica

Korišćenje brojača čestica i ISO koda za određivanje broja čestica predstavlja kvantitativnu metodu kojom se ne može identifikovati priroda (poreklo) čestica. Međutim, njom se može identifikovati prisutnost čestica većih od 30 μ m koje ukazuju na prisustvo abnormalnog habanja i koje su uzročnik havarije sistema. Ulje nije za dalju primenu ako u sebi sadrži ovakve produkte habanja.

Sadržaj različitih metala prisutnih u mazivu određuje se emisijom spektrofotometrijskom analizom. Svaki metal emituje svetlosnu energiju određene talasne dužine. Na primer, u motornim uljima, poreklo elemenata može biti iz aditiva, od habanja, iz goriva, iz vazduha i tečnosti za hlađenje. Metali koji potiču od habanja su: Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Mn, Ag, Sn i ukazuju na povećano habanje u tim sklopovima (tabela 2). Elementi koji potiču iz rashladne tečnosti su Na i B, a povećani sadržaj ukazuje na prodor rashladne tečnosti. Povećan sadržaj Si ili Ca, koji potiču iz vazduha, ukazuje na neispravnost filtera za vazduh.

Na slici 5 može se zapaziti da se metalne čestice veličine do 10 μ m mogu identifikovati klasičnom hemijskom analizom koristeći atomsku spektroskopiju, odnosno tzv. tehnike SOA (Spectrometric Oil Analysis).



Slika 5. Uticaj veličine čestice na metodu ispitivanja

SOAP tehnike i procedure definišu se kao programi za praćenje stanja elemenata sistema koji se podmazuje, s ciljem lociranja habanja putem utvrđivanja vrste i koncentracije metala, čime se ovim načinom može utvrditi i intenzitet habanja. Rast koncentracije određenog metala u ulju se uzima za kriterijum habanja, jer se svaki poremećaj izazvan prekomernim habanjem može detektovati analizom ulja u određenim vremenskim intervalima.

Elementi	mg/kg (ppm)	Poreklo
Fe	100	Cilindri, klipovi, ležaji, zupčanici, podizači ventila, bregasto vratilo, kolenasto vratilo, osovine
Al	20	Klipovi, Al-Sn ležaji, turbokomp.
Ag	2-3	Posrebrani delovi, ležaji, osovine
Cr	30	Hromirani delovi, klipovi, cilindri, podizači ventila, klipnjača, izduvni ventili
Cu	40	Cu-Pb ležaji, čaure, hladnjak ulja, bregasto vratilo, razvodni mehanizam, brizgaljka, regulator
Pb	50	Cu-Pb ležaji, benzin, aditivi
Sn	25	Delovi od bronce, ležaji, klipovi
B	20	Antifriz
Na	20	Antifriz
Ca	50	Iz atmosfere
Si	40	Prašina iz atmosfere
Zn, Mg, Mo		Iz aditiva

Tabela 2. Dozvoljene količine elemenata u korišćenom motornom ulju

Detaljnijom analizom realnog tribomehaničkog sistema utvrđuju se prethodno definisani parametri i formiraju elementi kontaktnih parova. Pri ovome potrebno je da elementi kontaktnih parova budu tačno definisanih svojstava (materijal, tvrdoća, stanje površina itd.).

5. ZAKLJUČAK

Sa stanovišta stanja elemenata tehničkih sistema čije podmazivanje se vrši, osnovni razlozi monitoringa ulja su utvrđivanje stepena kontaminacije, otkrivanje uzroka funkcionalne neispravnosti, kao i određivanje uzroka oštećenja ili otkaza. Kod najvećeg broja tehničkih sistema čvrsti kontaminanti su najznačajniji uzročnici otkaza. Kontinualna kontrola ulja i sistema, uz sve neophodne mere može značajno smanjiti oštećenja. U skladu sa time je monitoring stanja tehničkog sistema putem kontrole maziva od posebnog značaja za prognoziranje i predviđanje pojave oštećenja. Ova spoznaja se realizuje putem proaktivnog održavanja, čime se još više ističe značaj monitoringa maziva.

6. LITERATURA

- [1] Rac, A., *Maziva i podmazivanje mašina*, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 2007.
- [2] Reda, A., Bowen, R. and Wescott, V., *Charasteristics of particles generated at the Interface between Sliding Steel Surfaces*, *Wear*, 34, 1975, 261-273.
- [3] Babić, M., *Monitoring ulja za podmazivanje*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2004.
- [4] Perić, S., *Uticaj načina eksploatacije menjačkog prenosnika guseničnog vozila na fizičko hemijske karakteristike sredstva za podmazivanje*, Magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd, 2006.
- [5] Pešić, Z., Nedić, B., *Razvoj modela za identifikaciju promena triboloških karakteristika ulja za podmazivanje menjača vozila*, YUMO '98, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1998.

Autori: mr Perić Sreten, dr Mladen Vuruna, Vojna akademija, Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 3603-244, Fax: +381 11 3005-190.

E-mail: sretenperic@yahoo.com
mladenwuruna@yahoo.com

Radosavljević, Z., Lukić, Lj., Kukobat, Z.

SISTEMI INTEGRISANOG PROJEKTOVANJA POSTROJENJA U ELEKTROMAŠINOGRADNJI

Rezime: Elektrodistributivni energetske sistemi se sastoje od raznih vrsta mernih, distributivnih i energetskih transformatora, prigušnica, rastavljača, prekidača i raznih vrsta rasklopnih postrojenja, odvodnika prenapona, izolatora, dalekovodnih polja i druge opreme koja se integriše u transformatorskim stanicama različitih naponskih nivoa. Elektrenergetska oprema se proizvodi uglavnom korišćenjem procesnih i proizvodnih tehnologija iz mašinske industrije, ali integrisano projektovanje elektroenergetskih postrojenja i opreme u oblasti elektromašinogradnje predstavlja specifičnu oblast projektovanja u odnosu na klasične metode razvoja proizvoda, koje se primenjuju u mašinskoj industriji. Specifičnost proističe iz uslova u kojima se vrši eksploatacija proizvoda sa dominantnim električnim fenomenološkim pojavama, koje izazivaju složena dinamička opterećenja mehaničkog sistema konstrukcije. Posebni su zahtevi u pogledu uslova bezbednosti rukovaoca postrojenjima, zaštite postrojenja od havarije u incidentnim situacijama i kontinuiteta u obezbeđenju korisnika električnom energijom. Sve to zahteva da se koristi integrisano projektovanje proizvoda i tehnologija sa sintetizovanim znanjima elektro i mašinskih inženjera. U radu su prikazani neki karakteristični primeri u projektovanju elektroenergetskih opreme i postrojenja u kompaniji ABS Holdings iz Beograda u okviru koga posluju ranije Minel-ove fabrike elektroenergetske opreme i postrojenja.

Ključne reči: Integrisano projektovanje, Elektrenergetski sistemi, CAD/CAM sistemi

INTEGRATED SYSTEMS DESIGN OF POWER PLANTS IN THE ELECTRICAL POWER INDUSTRY

Abstract: Electro-distribution systems contain various instrument transformers, distribution and power transformers, reactors, disconnectors, circuit breakers and different types of switchgear, surge arresters, insulators, overhead lines, and other equipment that can be integrated in the transformer's stations of various voltage levels. Machining industries' processing or manufacturing technologies produce the electrical distribution equipment. However, the integrated design of the production equipment for electroenergetical systems in the area of electromechanical machining represents specific design that differs from the classical methods for product development used in machining industry. The difference is induced from the exploitation conditions of products with dominant electrical properties that cause complex dynamic strain on the system's mechanical construction. There are unique requirements for handling the production equipment, securing it in the case of malfunction in the incidental circumstances, and in securing uninterrupted delivery of electricity to the customer. In order to satisfy these requirements, it is necessary to implement an integrated approach to the product and technology design using synthesized knowledge of electrical and mechanical engineering. This paper presents few characteristic examples in the design of electroenergetical equipment implemented by ABS Holdings company, Beograd, which incorporates former Minel factories that produced electroenergetical equipment and switchgear.

Key words: Integrated design, Electroenergetical systems, CAD/CAM systems

1. UVODNA RAZMATRANJA

Za razliku od klasičnih mašinskih sistema, mehanički sistemi elektroenergetskih i elektrodistributivnih postrojenja su izloženi posebnim uslovima eksploatacije u odnosu na uslove u kojima se koriste klasični mašinski sistemi. Kod ovih konstrukcija dominantne su sile koje nastaju usled fenomenoloških električnih pojava, a ne mehaničke sile opterećenja, sile težine, inercijalne sile i druge vrste statičkih i dinamičkih opterećenja. To otežava određivanje napadnih tačaka, pravca i smera delovanja dinamičkih i naizmenično promenljivih sila koje se javljaju u pri strujama kratkog spoja i koje izazivaju složeno naprezanje konstrukcije koja je pod visokim električnim naponom. Svaki proizvod koji se ugrađuje u postrojenja elektroenergetskog sistema, u zavisnosti od naponskog nivoa, naznačene radne struje i naznačene struje kratkog spoja mora zadovoljiti stroge uslove tipskih laboratorijskih ispitivanja propisanih IEC (International Electrotechnical Commission) standardima i raznim drugim nacionalnim standardima. Samo ispitani i atestirani proizvodi se mogu praktično koristiti kao ugrađene komponente u elektroenergetskim postrojenjima. Često puta svaka država ima sopstvene standarde i propise kojima se

zahtevaju funkcionalne karakteristike ovih proizvoda adekvatno klimatskim i drugim ambijentalnim uslovima. Ambijentalni uslovi podrazumevaju različite zahteve ukoliko se vrši prenos i distribucija električne energije od hidroelektrana, termoelektrana ili nuklearnih elektrana do krajnjih korisnika.

U projektovanju postrojenja elektromašinoigranje posebno se mora uzeti u obzir veoma kratko vreme sinhronizovanog delovanja komponenti mehaničke konstrukcije prekidača u slučaju dejstva struje kratkog spoja pri visokim naponskim nivoima. Od trenutka kada merni sistemi identifikuju veliko povećanje struje do isključenja postrojenja relejna zaštita sa mikroprocesorskim upravljanjem deluje na pogon prekidača koji se aktivira i obezbeđuje da prekidački sistem prekine napajanje. Da bi se izvršile sve funkcije odvajanja dela postrojenja koje je pod naponom od dela postrojenja koje nije pod naponom predviđeno je vreme od desetih delova sekunde.

Veoma je važno obezbediti pouzdanost u radu elektroenergetskog postrojenja, kako bi se sprečile velike havarije, kako na samim elektroenergetskim objektima, tako i havarije kod potrošača električne energije u fabrikama i industrijskim kompleksima. Sigurnost rada svake

komponente elektroenergetskog postrojenja je takodje strogo definisana u smislu obezbedjenja pouzdanosti za rukovaoca i zaštite njegovog života u slučaju incidentnih situacija.

Proizvodi za elektro postrojenja se proizvode u konceptu serijske proizvodnje, kao tipski proizvodi sa procesnom kontrolom sistema kvaliteta. Primenuju se napredne proizvodne tehnologije, u kojima je izuzetno važno ostvariti visok kvalitet proizvodnje sa što nižim troškovima. U zavisnosti od nivoa primenjenih tehnologija, formira se i cena proizvoda koja mora biti konkurentna kompanijama iz razvijenih zemalja sveta kao što su Siemens Nemačka, Schneider Electric Francuska, ABB Švajcarska, i druge.

2. METOD INTEGRISANOG PROJEKTOVANJA POSTROJENJA

Integrisano projektovanje elektroenergetske opreme, podrazumeva zastupljenost modularnog sistema u razvoju i proizvodnji, primenu modernih metoda CAD/CAM 3D projektovanja sa mogućnošću inženjerskih analiza u proračunima opterećenja konstrukcije i sa mogućnošću automatskog generisanja NC koda za obradu delova rezanjem i plastičnim deformisanjem na mašinama sa CNC upravljanjem. Savremeni CAD/CAM sistemi omogućuju definisanje razvijenih površina lima sa automatskim definisanjem dimenzija priprema koje uključuje korekcije usled deformisanja materijala u procesima plastične deformacije.

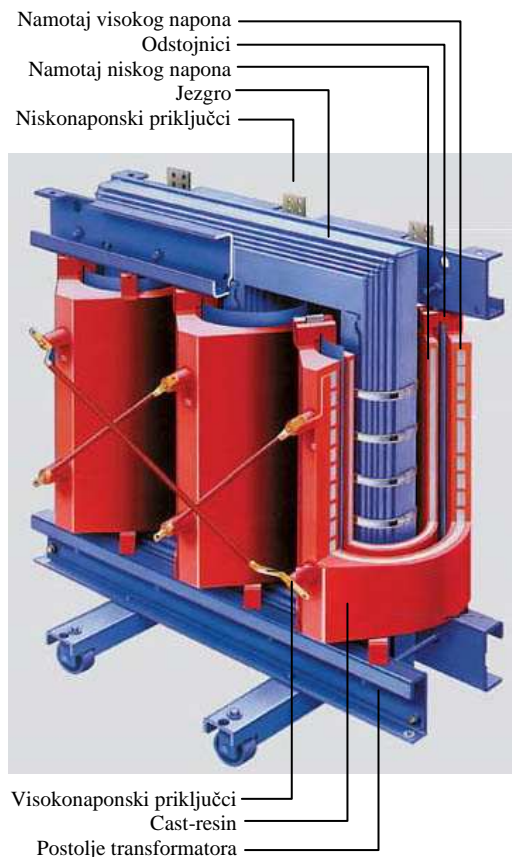
Primena modernih metoda CAD/CAM projektovanja u elektromašinogradnji rešava problem razvoja mehaničkog sistema postrojenja. Problem je u delu simulacije realnih uslova u slučaju kada je postrojenje izloženo opterećenjima i drugim fenomenološkim pojavama u incidentnim uslovima, kada se razvijaju visoke temperature, deluju jake elektromagnetne i mehaničke sile na noseću strukturu postrojenja, kada se javljaju trenutna dejstva visokog pritiska sa zahtevima da konstrukcija u tim slučajevima ima strogo definisano ponašanje. U oblasti mašinskog projektovanja danas se oseća nedostatak softverskih programa sa simulaciju dejstava na mašinski sistem elektrodistributivnog postrojenja u uslovima električnih pojava. Zbog toga se danas koriste još uvek u velikoj meri empirijske i iskustvene metode pri dimenzionisanju i proračunima komponenata elektroenergetskih postrojenja, a verifikacija konstrukcijskog rešenja se ostvaruje u laboratorijama kroz eksperimentalna razvojna i tipska ispitivanja. Ovakav način rada ne omogućuje primenu metoda simultanog inženjerstva (relativno dug vremenski period za razvoj konstrukcije) i povećava troškove razvoja usled visoke cene laboratorijskih ispitivanja u kojima konstrukcija koja se ispituje najčešće biva uništena.

3. MAŠINSKO PROJEKTOVANJE U RAZVOJU ELEKTRO ENERGETSKIH POSTROJENJA

Integrisano projektovanje proizvoda i tehnologija u oblasti mašinskih sistema je zastupljeno u više razvojnih oblasti elektroenergetske opreme i postrojenja. Projektovanje i razvoj distributivnih i mernih transformatora, potpornih i provodnih izolatora, podrazumeva dizajniranje samog proizvoda koji se izrađuje tehnologijom livenja epoksidnih smola pod pritiskom ili u vakuumu u specijalnim kalupima. Metode projektovanja se primenjuju na dizajnu proizvoda i na razvoju alata sa prostorno složenim površinama visokog kvaliteta obrade.

Mašinsko projektovanje transformatora različitih naponskih nivoa obuhvata projektovanje magnetnog jezgra, noseće strukture transformatora, namotaje niskog i namotaje visokog napona. Transformatorski sud se projektuje kod uljnih transformatora, a alat za livenje kod suvih zalivenih

(cast - resin) transformatora, kod kojih masa za zalivanje namotaja ima karakteristiku brzog odvođenja toplote koja se razvija kao posledica proticanja radne struje. Posebno značajna oblast je proračun temperaturnog polja u izolacionim slojevima oko namotaja.



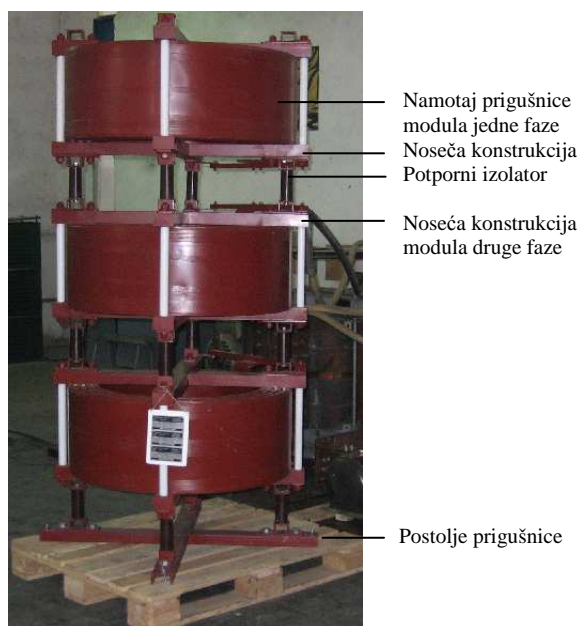
Slika 1. Konstrukcija epoksidno zalivenog distributivnog transformatora ABS Minel Trafo Mladenovac

Transformatori mogu biti različitih snaga i naponskih nivoa, tako da se prema tome razlikuje njihova cena i složenost njihove konstrukcije. Glavna funkcionalna karakteristika transformatora odnosi se na nivo gubitaka električne energije u procesu transformacije napona sa ulaznog visokog nivoa na niži izlazni naponski nivo. Ukupni gubici se sastoje od gubitaka u gvozdju (gubici praznog hoda) i gubitaka u bakru (gubici zbog opterećenja). Svaki proizvedeni transformator prolazi program rutinskih ispitivanja, koja obuhvataju: dielektrična, termička, kratkospojna, proveru stepena zaštite, mehanička ispitivanja, merenje intenziteta buke, kao i druga specijalna ispitivanja ukoliko uslovi eksploatacije zahtevaju. Zbog svega toga projektovanje mašinskog dela transformatora zahteva poseban pristup i spada u kategoriju specijalizovanih inženjerskih aktivnosti.

Električne udarne prigušnice u elektrodistributivnim sistemima imaju zadatak da ograniče struje kratkog spoja koje se pojavljuju u incidentnim situacijama, na unapred određenu vrednost struje. Dimenzionisanje ostale opreme se vrši u skladu sa tim zahtevom. Sastoje se od tri specijalna namotaja učvršćena u jedinstvenu noseću konstrukciju, pri čemu se svaki namotaj odnosi na po jednu fazu.

U slučaju prolaska struje kratkog spoja nastaju dinamička opterećenja visoke učestanosti, koja opterećuju potporne izolatore kako na pritisak, tako i na istezanje. Ukoliko namotaji nisu projektovani na način da se elektromagnetne sile međusobno neutrališu dolazi do velikih naprezanja unutar mehaničkog sistema u kome dolazi do pucanja potpornih izolatora usled opterećenja na istezanje. Da bi se

sprečilo opterećenje potpornih izolatora na istežanje postavljaju se posebne obujmice između nosača namotaja koje primaju aksijalnu silu umesto potpornih izolatora.



Slika 2. Električna udarna prigušnica ABS Minel Trafo Mladenovac, napona 12kV, naznačene struje 1000A, naznačena struja kratkog spoja 20/50 kA (pri čemu je 20 kA termička, a 50 kA udarna komponenta)

Rastavljači su mehanički rasklopni uređaji koji služe da vidno odvoje deo postrojenja koji nije pod naponom, od dela postrojenja koji je pod električnim naponom i da ostvare sigurno izolaciono rastojanje između ta dva dela. Kada se u postrojenju obavljaju radovi, rastavljač uvek mora biti otvoren.

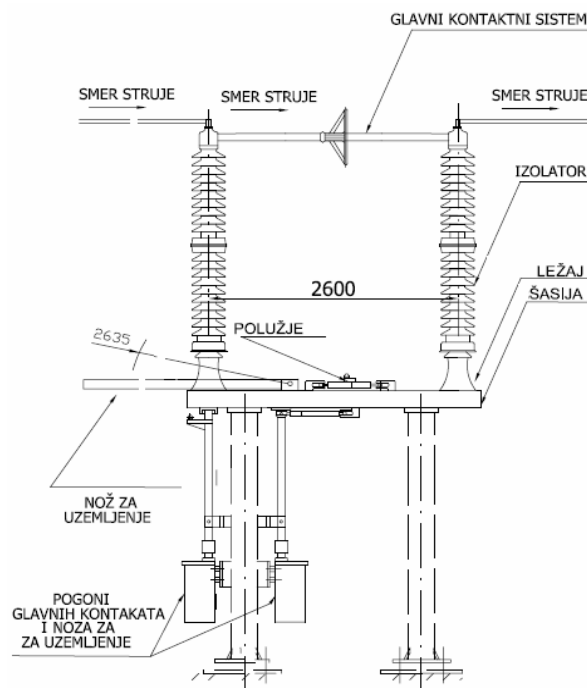
Rastavljačima se otvara i zatvara strujno kolo kada se prekida ili uključuje neznatna električna struja. Oni imaju mogućnost da trajno provode struju u normalnim pogonskim uslovima i da u određenom trajanju provode struju pri nenormalnim uslovima, kao što je u slučaju struja kratkog spoja. Sa rastavljačima se ne sme manipulirati ako je prekidač u zatvorenom položaju, jer bi došlo do prekidanja velike struje pri visokom naponu u vazduhu što neminovno dovodi do havarije.

Visokonaponski rastavljači se projektuju za naponske nivoe od 72.5 kV do 420 kV i naznačene struje od 1250A do 3150 A. Ovi rastavljači su namenjeni za spoljašnju montažu (za otvorene prostore), što znači da su tokom eksploatacije izloženi različitim, najčešće agresivnim uticajima okoline. S tim u vezi, oni su konstruisani i proizvedeni za sledeće ambijentalne uslove:

- nadmorska visina do i uključujući 1000 m. Postoji mogućnost izrade rastavljača i za veće nadmorske visine;
- temperatura ambijenta od -60° C do +50° C;
- debljina sloja leda do 20 mm;
- brzina vetra do 144 km/h, što odgovara pritisku vetra od 1000 Nm;
- za sve klase zagađenja.

Osnovni konstrukcioni delovi dvostubnog rastavljača su: kontakti sistem, izolatori, šasija, polužje i pogon. Kontakti sistem rastavljača izrađuje se od bakra ili aluminijuma dok se kontakti prsti izrađuju od traka od elektrolitičkog bakra sa posrebnim kontaktima. Kontakti pritisak se ostvaruje pomoću opruga (120 N po kontaktu). Potporni izolatori se izrađuju od punog jezgra i prema prelomnoj sili kod

rastavljača se najčešće koriste C 6, C8 i C10 (prelomne sile 6 kN, 8 kN i 10 kN). Potporni izolatori izloženi su raznim negativnim uticajima kao što su naprezanje usled zatezanja sabirnica, dejstva vetra, aero-zagađenja, proticanja struje kratkog spoja, vibracija, mehaničkih sila prilikom manipulacije rastavljačem, tako da sa stanovišta pouzdanosti rastavljača oni moraju biti pravilno mehanički dimenzionisani. Elementi rastavljača su izloženi veoma složenim naprežanjima, posebno u uslovima kratkog spoja, kada sile teže da rastave kontakti sistem rastavljača, aktivirajući pogonski sistem u suprotnom smeru. Otvaranje glavnih kontakata rastavljača ili njegovog noža za uzemljenje u tom trenutku dovelo bi do havarije u postrojenju sa ugrožavanjem bezbednosti ljudi i velikom materijalnom štetom.



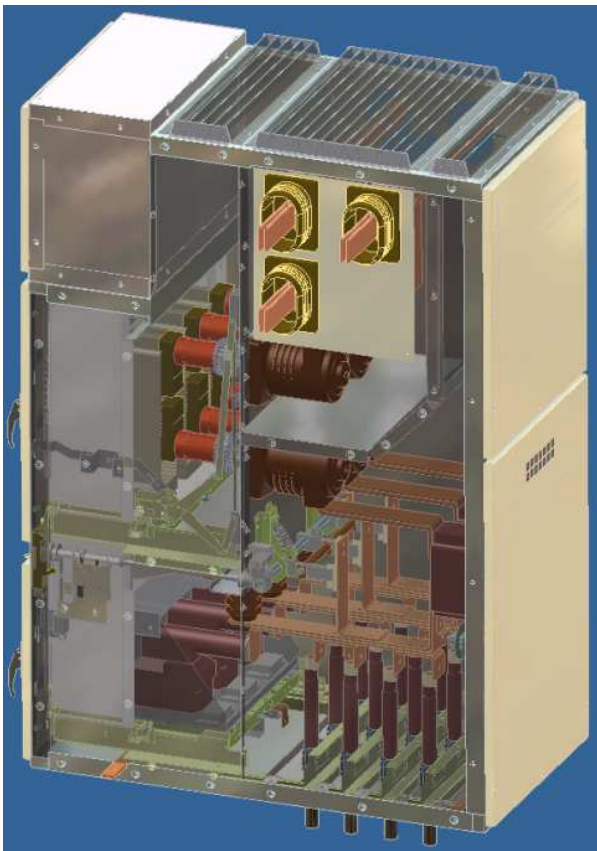
Slika 3. Dvostubni visokonaponski rastavljač tipa RS (ZZ) ABS Minel EOP Ripanj

U grupu najsloženijih i najvažnijih delova elektroenergetskog sistema spadaju metalom oklopljena rasklopna i komandna postrojenja, koja se koriste u elektrodistributivnim sistemima. Osnovne funkcionalne jedinice ovih postrojenja su tzv. ćelije (eng. cubicle), koje se izgrade kao integrisani elektromehanički sistemi sa mikroprocesorskim modulom relejne zaštite i u kojoj se nalaze sve komponente glavnih i pomoćnih električnih kola, koje mu omogućavaju obavljanje jedne funkcije. Pojednostavljeno, ćelije predstavljaju metalno zaštitno kućište sa ugrađenom električnom opremom, pri čemu mora biti obezbeđen njen pouzdan i bezbedan rad u normalnim radnim uslovima i u incidentnim situacijama. Ćelije različitog tipa se električno i mehanički povezuju u jedinstveno i strukturno složeno postrojenje za distribuciju električne energije korisnicima.

Ćelije se razlikuju po funkciji koju treba da obavljaju pa mogu biti dovodne, izvodne, merne, spojne i druge trafo ćelije. Metalom oklopljena rasklopna postrojenja pa samim tim i ćelije se projektuju za različite normalne pogonske uslove kao što su:

- naponski nivo (0,4 kV, 7,2 kV, 12 kV, 24 kV i 36 kV),
- naznačena radna struja (630 A - 4000 A) i
- nenormalna incidentna stanja koja karakteriše pojavu visokih prenapona i struja kratkog spoja.

Konstrukcija ćelija, takodje, bitno zavisi i od izolacionog medijuma izmedju delova koji su medjusobno pod naponom i prema uzemljenim delovima koji normalno nisu pod naponom. Tako se mogu podeliti na postrojenja izolovana vazduhom i na postrojenja i ćelije izolovana specijalnim SF₆ gasom.



Slika 4. Ćelija ABS Minel EOP Ripanj tipa MMC12, napon 12kV, naznačena struja 1250 A, naznačena struja kratkog spoja 31.5/80 kA (pri čemu je 31.5 kA termička komponenta koja utiče na zagrevanje i 80 kA udarna komponenta koja stvara elektro magnetnu silu)

Incidentne situacije u postrojenjima dovode do pojave različitih elektrodinamičkih naprezanja pri različitoj konfiguraciji opreme u ćeliji, pa razlike pri istim strujama kratkog spoja sa različitim rasporedom opreme mogu biti izuzetno velike. Incidentne situacije suštinski se mogu podeliti na one koje izazivaju samo prolazne kvarove i one koje izazivaju havarije u postrojenju. Kod prolaznih kvarova, nakon nestanka uzroka kvara, ćelija je sa svim svojim elementima potpuno operativna za normalan pogon. Trajni kvarovi dovode do havarije - oštećenja opreme unutar ćelije, koja se mogu sanirati jedino servisnom intervencijom. Standardi i propisi precizno definišu koje incidentne situacije smeju dovesti do prolaznog, a koje do trajnog kvara ili havarije u postrojenju.

Ćelije moraju biti projektovane na način da medjusobni raspored opreme bude takav da zadovolji sve zahteve standarda sa aspekta operativnosti ćelije i posebno sa aspekta bezbednosti rukovaoca. Ključni zadatak za projektanta je pre svega da rešenjem metalne konstrukcije i pravilnim rasporedom opreme omogući potpunu bezbednost ljudi u svim ekstremnim situacijama koje mogu nastati u incidentnim situacijama. Tu se podrazumeva i slučaj eksplozije unutar ćelije, koja može nastati usled trenutnog razvoja visoke temperature u okviru ograničenog vazdušnog prostora. Konstrukcija metalnog zaštitnog oklopa mora biti takva da u

uslovima pojave električnog luka, koji dovodi do eksplozije u ćeliji, obezbedi potpunu sigurnost ljudi koji se nalaze u njenoj neposrednoj blizini. Pravac delovanja elektrodinamičkih i termičkih naprezanja može biti potpuno različit u slučajevima pojave luka na različitim mestima sa istim vrednostima struje i napona. Projektant mora konstrukcijskim rešenjem obezbediti odvođenje vrelih gasova na gornju stranu ćelije, mora sprečiti mogućnost da delovi od havarisane opreme izadju iz ćelije napolje i mora sprečiti prenos havarije u susedne ćelije. Pored toga, mehanička konstrukcija ćelije mora biti visoko kompaktna sa velikom statičkom i dinamičkom krutošću i sa kvalitetnim rešenjem industrijskog dizajna.

4. ZAKLJUČAK

ABS Holdings u čijem sastavu u Srbiji posluje šest ranijih fabrika iz grupe Minel-a, koje imaju delatnost u oblasti elektrodistributivnih sistema, postrojenja i opreme, razvija sistem integrisanog projektovanja proizvoda i tehnologija za elektrodistributivne sisteme i postrojenja, koja su zasnovana na modernim CAD/CAM metodama. Glavna karakteristika projektovanja u ovoj oblasti su interdisciplinarnе inženjerske analize u oblasti elektroenergetskih fenomenoloških pojava u različitim uslovima eksploatacije postrojenja i u oblasti mašinskog projektovanja sa aspekta opterećenja mehaničkim silama i temperaturskim dejstvima koja se skoro trenutno razvijaju poput eksplozije u slučaju incidentnih situacija.

Opravdanost opredeljenja za sopstvenim razvojem se potvrđuje kroz tipska ispitivanja u laboratorijama i sertifikaciju proizvoda prema zahtevima međunarodnih standarda, kojim je ABS Holdings postao nosilac domaćeg industrijskog razvoja elektroenergetskih postrojenja i opreme potpuno konkurentnog kvaliteta najpoznatijim svetskim proizvođačima.

5. LITERATURA

- [1] Radosavljević, Z., Lukić, Lj.: *Model for Revitalization of Industrial Manufacturing of Power Plant Equipment – ABS Holdings Case Study*, Proceedings The Sixth Triennial International Conference "Heavy Machinery HM 2008", Kraljevo, 24-29 June 2008, pp. G.13-G.18.
- [2] Radosavljević, Z.: *Reengineering of Business Processes of Privatized Factories of Electrical Power Substations - By Example ABS Holdings*, Zbornik radova XXXIV JUPITER Konferencija, Beograd (2008), CD medium, ISBN 978-86-7083-628-0
- [3] Lukić, Lj., Djapić, M., Kalajdžić, M.: *Integrisano projektovanje proizvoda i tehnologija u uslovima distribuirane proizvodnje*, 33. JUPITER konferencija, 20. Simpozijum "CAD/CAM", Zlatibor, 15.-17. maj 2007, rad na CD medijumu № 214, ISBN 978-86-7083-592-4.
- [4] Radosavljević, Z.: *Metodologija CAD projektovanja familije obrtnih stolova*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.
- [5] Todorović, I., Jovanović, R., Savić, M., Kukobat, Z., Kuzmanović, S.: *Razvoj familije dvostubnih rastavljača ABS Minel EOP tipa RS(ZZ)*, Zbornik radova XXXIV JUPITER Konferencija, Beograd (2008), CD medium, ISBN 978-86-7083-628-0

Autori: Mr Zoran Radosavljević, Prof. dr Ljubomir Lukić, Zoran Kukobat, ABS Holdings, Bulevar Zorana Djindjića 8a, 11070 Novi Beograd, Tel.: +381 11 2016 370,
E-mail: zradosavljevic@abs-beograd.co.yu
ljlukic@abs-beograd.co.yu
zoran.kukobat@minel.co.yu

МЕТАЛОПРЕРАЂИВАЧКА ИНДУСТРИЈА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ- СТАЊЕ И ПЕРСПЕКТИВА

Резиме: Сталан развој технологија производа, услуга и процеса постају императив компанија које усмеравају напоре како би обезбедиле опстанак, раст и развој. Металопредавачка индустрија још није прошла фазу реструктурирања и управљања а није ни развила методологију организованог одустајања од производа и производње.

У раду је приказана спољнотрговинска позиција индустрије Републике Србије и индустрија суседних земаља како оних које имају статус чланица ЕУ тако и оних које су потенцијални кандидати. Посебна пажња се посвећује иновационој стратегији предузећа као једној од кључних полуга технолошког развоја.

Ради превазилажења постојећег индустријског тренда и бар донекле равномерног укључења у европске и светске токове неопходно је трансформисати индустрију која ће функционисати искључиво на бази знања. При томе треба нагласити и указати и на последице ових реформских процеса и на одређене неопходне макроекономске промене.

METAL PROCESSING INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF SERBIA – CURRENT SITUATION AND PERSPECTIVE

Summary: Constant development of product technologies, services and processes is becoming an imperative of companies which strive to ensure survival, growth and development. Metal processing industry is still in the restructuring and governing stage, and it has still not developed the methodology of organized withdrawal from products and production.

The paper provides foreign trade position of industry of the Republic of Serbia and industries of the surrounding countries both EU members and potential candidates. Special emphasis is given to the innovation strategy of enterprises as one of the key levers of technological development.

In order to overcome the existing trend in the industry and to join European and world trends on as equal basis as possible, it is necessary to transform the industry which will be exclusively knowledge-based. Also, the consequences of these reform processes and certain necessary macroeconomic changes need to be pointed out as well.

1. УВОД

Карактеристике садашње светске и европске привреде могу се дефинисати кроз:

- (1) Глобализацију укупних робних и финансијских токова у свету уз концентрацију моћи глобалног одлучивања у неколико светских центара;
- (2) Либерализацију робних и капиталних токова на глобалној сцени под притисцима најмоћнијих светских економија, уз истовремено задржавање рестрикција за слободно кретање радне снаге;
- (3) Хармонизацију, координацију и регионализацију економских политика земаља чланица различитих економско-политичких групација као што су ЕУ, АСЕАН и сл.

Стварају се ови предуслови за трансфер високостручног кадра из нискоаккумулативних предузећа и грана у високоаккумулативне, односно из мање развијених у развијеније како предузећа тако и држава и континентата. Упоредо капитал у виду инвестиција иде у супротном смеру. Развијеније земље се утркују у пласирању свог капитала у неразвијеније земље у којима њихово природно богатство и јефтина сировина представљају повољне услове за стицање екстрапрофита. Надаље, овакво кретање капитала прати и трансфер прљавих и штетних по здравље технологија из развијених у неразвијеније земље.

Знање које стоји у основи економског система подразумева образовне људе који брзо уче и мењају сопствене способности у складу са технолошким развојем и глобалним трендовима развоја. Интелектуална својина је једна од кључних претпоставки развоја привреде засновање на знању.

2. ЕКОНОМСКИ ИНДИКАТОРИ СРБИЈЕ И МЕЂУНАРОДНОГ ОКРУЖЕЊА У 2007. Г.

Анализирајући макроекономске показатеље активности Србије у 2007 години, мерене бруто домаћим производом (најважнији макроекономски агрегат) имају раст од 7% у односу на 2006 годину што је добар показатељ. Највећи раст бележи сектор саобраћаја, трговине, грађевинарства и финансија. Остали сектори бележе знатно мањи раст док сектор пољопривреде бележи пад (8%). Други показатељ је ниска стопа раста индустријске производње од 1.8%. Трећи показатељ је висока стопа инфлације која је у Србији 2007 години износи 10.1% и четврти показатељ је висока стопа незапослености на нивоу од 18.8%, а број запослених мањи је за 1.2% у односу на 2006. год.

Анализирајући стање привреде Републике Србије кроз економска кретања у протеклом периоду и сада, могуће је констатовати да је карактерише наглашена спорост у увођењу нових производа и технологија а као последица недовољне иновативне активности у предузећима и због ниског нивоа СДИ (страних директних инвестиција). Прилив СДИ има одлучујућу улогу у трансформацији производне структуре привреде и трансфера знања којима се повећава извозни потенцијал земље. Треба имати у виду да технолошки ниво већег дела извоза Србије није прилагођен конкуренцији на светском тржишту квалитетом производа, дизајном, ценом и роком испоруке.

Конкурентност наше привреде је ниска из више разлога. Као прво, последица веома мале домаће штедње, високог спољнотрговинског дефицита, високе стопе инфлације и високих каматних стопа. Као друго, степен

развијености јавних институција је такав да лоше стојимо у погледу заштите својине и уговора и великој корупцији и као треће, конкурентност се базира на јефтиној радној снази.

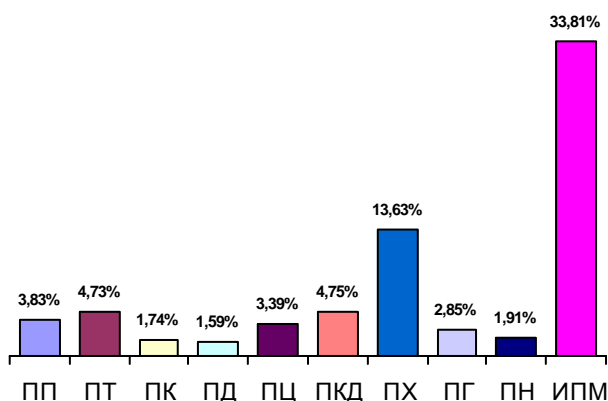
3. СПОЉНОТРГОВИНСКА РАЗМЕНА

Анализирајући биланс спољнотрговинске размене Републике Србије у последњих пет година (2003-2007) не можемо се њиме похвалити јер је присутан велики

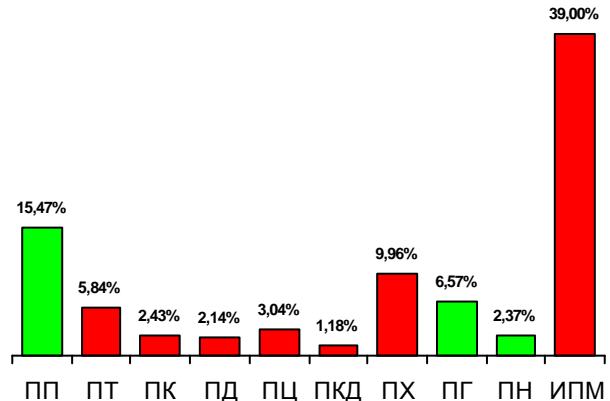
спољнотрговински дефицит који је у наведеном периоду достигао ниво од 33.9 милијарди \$.

Негативан тренд је настављен и у 2008. години са оствареним спољнотрговинским дефицитом на нивоу од 5.2 милијарде \$ у првих пет месеци, што представља повећање од 45.2% у односу на исти период претходне године. Покривеност увоза извозом износи 46.6% што је нешто мање у односу на исти период претходне године.

На слици 1 је приказано учешће појединих производних сектора у увозу и извозу у 2007. години у оквиру прерађивачке индустрије.



ПП – Прехрамбени производи, пића, дуван
 ПТ – Производња текстила и текстилних производа
 ПК – Производња коже и предмета од коже
 ПД – Прерада дрвета и производа од дрвета
 ПЦ – Производња целулозе, папира

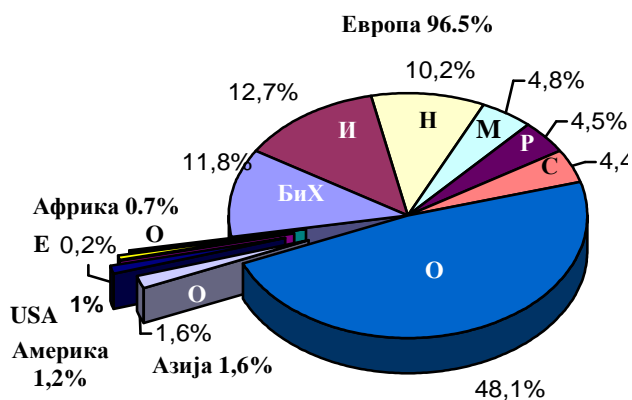


ПКД – Производња кокса, деривата нафте
 ПХ – Производња хемијских производа
 ПГ – Производња производа од гуме
 ПХ – Производња производа од неметалних минерала
 ИПМ – индустрија прераде метала

Слика 1. Учешће производних сектора прерађивачке индустрије у УВОЗУ/ИЗВОЗУ 2007. г

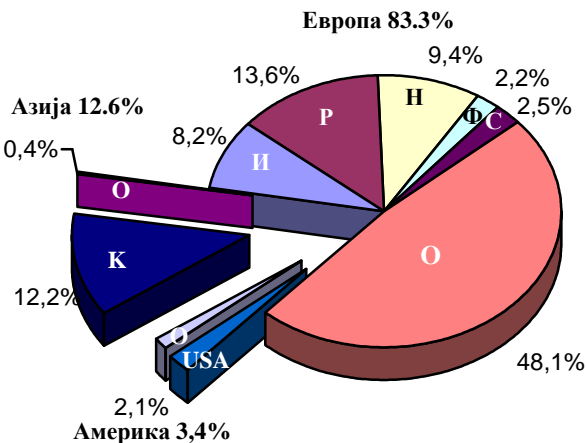
Уколико анализирамо извоз, у 2007 години, главни спољнотрговински партнери су земље из Европе са 96.5% (БиХ, Италија, Немачка, Македонија, Руска федерација и Словенија), Азија 1.6% и Америка 1.2% (сл. 2).

У увозу, у посматраном периоду земље из Европе су учествовале на нивоу 83.3% (Италија, Руска федерација, Немачка, Француска, Словенија), Азије 12.6% (Кина) и Америка 3.4%.



ИЗВОЗ

(а)

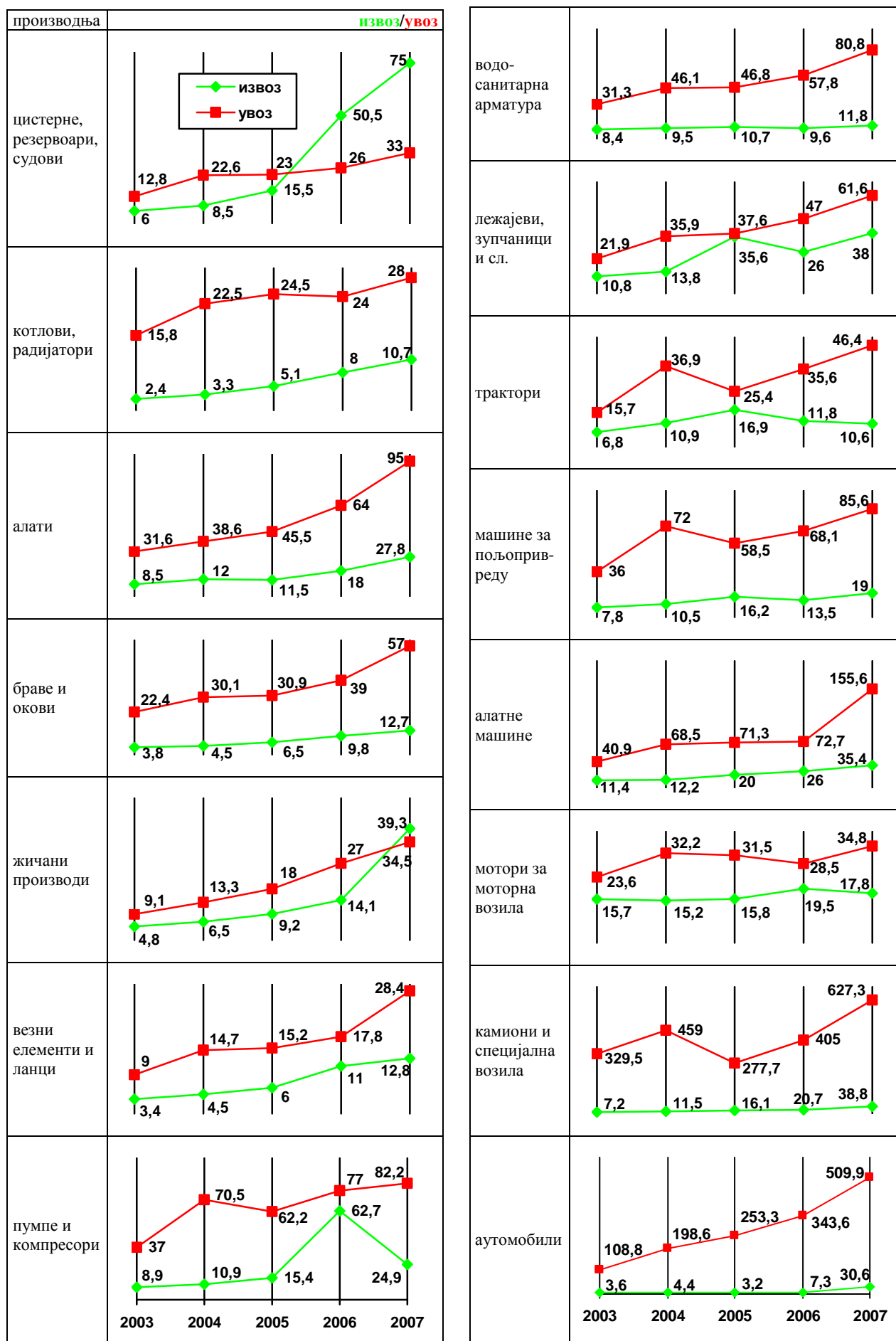


УВОЗ

(б)

И – Италија
 Р – Руска федерација
 Н – Немачка
 Ф – Француска
 С – Словенија
 БиХ – Босна и Херцеговина
 М – Македонија
 Е – Египат
 К – Кина
 О – остало

Слика 2. Земље са највећим учешћем у извозу (а) и увозу (б) [3], [4]



Слика 3. Извоз/увоз производа металопрерађивачке индустрије

4. МЕТАЛОПРЕРАЂИВАЧКА ИНДУСТРИЈА

Анализирајући прерађивачку индустрију Републике Србије која у извозу има учешће на нивоу 93.79% (2007.г), индустрија прераде метала (производња металних производа, производња машина и уређаја, производња саобраћајних средстава и остала прерађивачка индустрија) у њој учествује на нивоу од 39%. Када је реч о увозу, прерађивачка индустрија учествује на нивоу од 81.5% од чега индустрија прераде метала са 33.81%.

Сектор производње металних производа остварио је покривеност увоза са извозом уз констатацију да су највише извезени производи за репродукцију. Поред овог сектора уравнотеженост је остварила и остала прерађивачка индустрија. Сектор производње саобраћајних средстава остварио је спољнотрговински дефицит на нивоу од око 1.3 милијарде \$ као и сектор производње осталих машина и уређаја.

На сл. 3 дат је приказ остварених резултата, као и њихов тренд, извоз/увоз појединих производа металопрерађивачке индустрије који осликава позицију домаће индустрије и њихову перспективу.

Технолошки развој је кључна полука економског раста и просперитета земље и повезана је са иновационом стратегијом земље и предузећа. Познато је да се иновациона стратегија предузећа у основи остварује са два приступа.

Први, од споља ка унутра, и полази од тржишта, купца, конкурента којима се утиче на конкурентске факторе: квалитет, брзина, поузданост, флексибилност и цену.

Други, изнутра ка споља, и полази од предности које поседује предузеће попут: ресурси (вредни, ретки, тешко се копирају, тешко доступни и др.), технологије, вештине, знање запослених и др.

5. ИНДУСТРИЈА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ У ЕВРОПСКИМ ОКВИРИМА

Основ конкурентности наше индустрије за инвестирање мора базирати на продуктивности, квалитету, дизајну и маркетингу, то јест на знању а не на ниској висини надница наших радника..

Данас нема ниједне европски развијене земље света која нема своју политику или стратегију подстицања економије засноване на знању. Предузећа данас све више зависе од примењене науке, односно систематизованог знања и његовог повезаног деловања. Индустрија заснована на знању подразумева трансформацију металопрерађивачке и других индустрија која ће обухватити нов концепт, последице које ће проистећи и неопходне промене.

Концепт изградње привреде засноване на знању подразумева:

- Трансформацију националне економије у правцу јачања места и улоге најуспешнијих сектора, тј доминацију сектора услуга и индустрије засноване на иновативној делатности предузетних појединаца;
- Обезбеђивање високог учешћа инвестиција у расподели БДП-а, а пре свега пораста националне штедње;
- Изградњу модерног и ефикасног образовног система који ће бити ослонац будуће ефикасне привреде засноване на знању;

- Реализацију програма подстицања иновативног и предузетничког понашања најширих слојева становништва.

При томе треба указати на последице реформских процеса који се огледају кроз:

- Структуру буџетских прихода, односно чињеницу да је готово занемарљив износ greenfield инвестиција у односу на приватизацију постојећих предузећа а и недовољни прилив СДИ;
- Приходима од приватизације се назире крај;
- Издаци за образовање су на нивоу 3.5% БДП а за заштиту животне средине 0.3% БДП, што је скоро duplo мање од европског просека;
- Експанзија увоза и даље продубљава трговински и платни дефицит због високе домаће потрошње и недовољне конкурентности српске привреде.

Примена економије засноване на знању захтева неопходне промене које се огледају у процесима:

- Раст тражње за висококвалификованим радницима који поседују спремност на промене, развој, увођење нових идеја и доживотно учење;
- Већи ослонац на информационо-комуникационе технологије;
- Све веће отварање према светској привреди које доноси размену знања;
- Промена структуре производње која подразумева све веће учешће терцијалног сектора –сектора образовања;
- Повезивање са међународним економским и технолошким мрежама.

Треба нагласити да ће Република Србија морати тражити своје место у оквиру норматива Европске уније и њене иновационе политике која ће довести до успостављања: европског истраживачког простора, права интелектуалне својине, заједничких тела за доношење стандарда у оквиру ЕУ и усаглашавања и уједначавања истраживачких и иновационих система.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Deming W.E., Out of the Crisis, Deming Institute, Washington, 1986
- [2] Drucker P.F., Managing for the Future, Truman Talley Books, New York, 1992
- [3] Народна банка Србије, Македоније, БиХ, Словеније, Хрватске
- [4] Републички завод за статистику
- [5] Тановић Љ, Бојанић П., Индустрија прераде метала Републике Србије – неопходне промене, Трансфер технологије за европску Србију, Зборник радова, Машински факултет, Београд, 2005, 196-202
- [6] Тановић Љ., Привреда Републике Србије – стање и перспектива, 32. ЈУПИТЕР конференција, Златибор, 2006, ТФ1-ТФ6
- [7] Тановић Љ., Одрживост индустрије Републике Србије, 34. ЈУПИТЕР конференција, Београд, 2008, ТФ1.1-ТФ1.5
- [8] Тановић Л., Sohranenie promw{lennosti Respubliki Serbii v Evropejskih Ramkah, Progressive Equipment and Technology 2008, Kiev, 2008, pp. 71-78
- [9] www.odrzivi-razvoj.rs.gov.yu

Аутор: Проф. др Љубодраг Тановић, Универзитет у Београду – Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35, ltanovic@mas.bg.ac.yu

Zeljковић, V., Đapić, M.

PROCES USAGLAŠAVANJA PROIZVODA PO NOVOJ MAŠINSKOJ DIRKTIVI 2006/42/EC

Rezime: U ovom radu se posebno navode razlike postojeće i nove mašinske direktive u delukoji se odnosi na proceduru usaglašavanja proizvoda/mašine. Rad ukazuje na proces uvođenja Nove Mašinske Direktive 2006/42/EC. Pokazuju se razlike postojeće i nove mašinske direktive u više oblasti: područje primene; procedura usaglašavanja, bezbednosni zahtevi, odnosno opasnosti i rizici; klasifikacija mašina prema Annex-u IV, imenovanje Notifikovanih tela. Postoji administrativni/tehnički deo koji prati dopune/razlike unesene u novoj mašinskoj direktivi: stupanje na snagu nove mašinske direktive i prelazni period; harmonizovani standardi; status mašina usaglašanih po postojećoj mašinskoj direktivi, i druga pitanja..

Cljučne reči: Mašinska direktiva, Usaglašavanje proizvoda, Kategorije mašina

CONFORMITY ASSEMENT ACORDING TO NEW MACHINERY DIRECTIVE 2006/42/EC

Abstract: In this paper, the procedure for assessing the conformity of machinery of new Directive comppering to existing machine Directive is emphasized. This paper point out to the proces of introduction the New Machine Directive 2006/42/EC. The differencies between the MD 98/37/EC and MD 2006/42/EC are shown in severel areas: scope; conformity assessment, safety requirements; categories of machinery; Notified Bodies. There are some administratif/technical issue folowing some suplements/changies interduce by new Machine Directive 2006/42/EC like: Entry into force and tranzition period; Harmonised Standards; Status of machines in operations.

Key words: Directives on Machinery, Conformity assessment, Categories of machinery

1. UVOD

Problem bezbednosti na radu je veoma značajan segment industrije i društva u celini. Statistika pokazuje da postoji određeni broj povreda, uključujući i katastrofalne događaja, posebno pri radu sa povišenim nivoom opasnosti i rizika, kao što su mašine za sečenje, određene ručne mašine za sečenje i obradu drveta, mašine za podzemni rad, prese, mašine za dizanje tereta i osoblja, mašine za proizvodnju pirotehničkih sredstava, i druge mašine [3,4,5,6,7,8].

U cilju smanjenja rizika, Evropska Zajednica je uvela tehničku zakonsku regulativu, preko Direktiva i Harmonizovanih standarda, obavezujući sve proizvođače i korisnike preduzimanj bezbednosnih mera zaštite ljudi od povreda pri radu. U oblasti mašina, do sada je na snazi bila Mašinska Direktiva 98/37/EC [2]. U skladu sa tehničkim promenama i u cilju određenih tehničkih preciziranja, sačinjena je nova direktiva za mašine.

Nova Mašinska Direktiva 2006/42/EC je objavljena 09. juna 2006. godine i stupila je na snagu 20 dana kasnije tj. 29 juna 2006. godine [1]. Obaveze svih zemalja članica EZ su da usklade svoja zakonodavstva sa novom MD 2006/42/EC u prelaznom periodu do 29 decembra 2008. godine, a 29 decembra 2009. godine počinje da važi samo nova MD. Ova Direktiva dopunjuje/zamenjuje postojeću Mašinsku Direktivu 98/37/EC [2]. Zamenjena postojeće i uvođenje nove MD 2006/42/EC nametnula je mnoga tehnička i administrativna pitanja, koja treba sagledati u ovom prelaznom periodu.

Ovaj rad daje kratku sliku promena u novoj MD 2006/42/EC, a posebno se šire izlaže područje usaglašavanja proizvoda – mašina prema novoj mašinskoj direktivi i rezlike u odnosu na proces usaglašavanja mašina po postojećoj mašinskoj direktivi. (9 pt, normal)

2. UPOREĐENJE POSTOJEĆE I NOVE MD

Dve grupe aktivnosti proističu iz uvođenja nove MD 2006/42/EC i zamene postojeće Mašinske Direktive 98/37/EC, kao administrativni deo aktivnosti i tehnički deo aktivnosti.

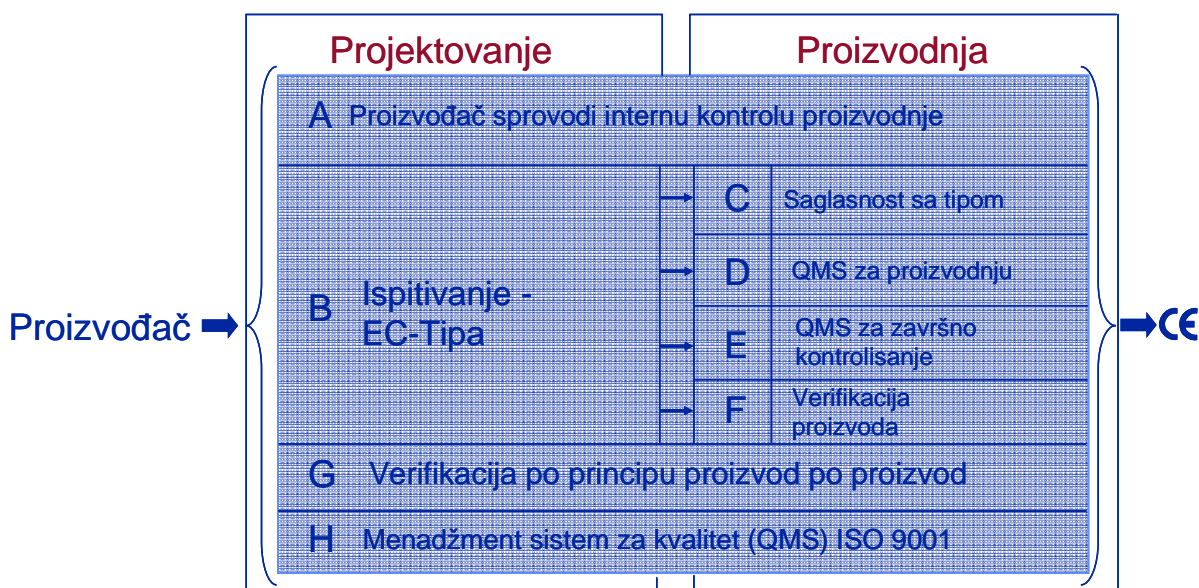
Administrativne aktivnosti su uglavnom vezane za:

- vreme početka primene nove MD 2006/42/EC i prelazni period,
- legalni status mašina usklađenih po postojeće Mašinske Direktive 98/37/EC posle stupanja na snagu nove MD 2006/42/EC
- legalni okvir za nadgledanje tržišta predložen novom MD 2006/42/EC
- legalni okvir za nadležnosti i imenovanje notifikacionih tela predložen novom MD 2006/42/EC
- Tehnički deo aktivnosti se odnosi na više segmenata:
- proširenje područja primene predložen novom MD 2006/42/EC u odnosu na postojeću Mašinsku Direktivu 98/37/EC
- proširenje/promene spiska mašina koje su navedene u Aneksu – IV mašinske Direktive
- razlike/dopune/promene bitnih bezbednosnih zahteva postojeće i nove MD
- razlike/dopune/promene u proceduri usaglašavanja proizvoda postojeće i nove MD
- usaglašavanje postojećih harmonizovanih standarda urađenih prema postojećoj Mašinskoj Direktivi 98/37/EC i adaptacija novih tehničkih i administrativnih zahteva uvedenih novom MD 2006/42/EC

Svakako da dopune/zamene učinjene u novoj MD 2006/42/EC u odnosu na postojeću Mašinsku Direktivu

98/37/EC nameću velik broj pitanja i praktičnih rešenja. Ova rešenja su veoma bitna za proizvođače mašina i korisnike ovih proizvoda da bi mogli prilagoditi proizvode u

tehničkom i u administrativnom pogledu i da nastave saradnju i izvoz naših proizvoda na tržište evropskih zemalja.



Slika 1 Moduli ocenjivanja usaglašenosti po Globalnom pristupu

3. PROCES USAGLAŠAVANJA PROIZVODA DEFINISAN NOVOM MD 2006/42/EC

Ako proizvod podpada pod tehničko zakonodavstvo, odnosno obuhvaćen je direktivama Novog pristupa, procedure ocene usaglašenosti su definisane u Odluci Saveta Evropske unije o uvođenju Modula za ocenu usaglašenosti (Slika 1).

Svi proizvodi koji podpadaju pod zakonodavstvo Novog pristupa moraju u postupku ocenjivanja usaglašenosti da prođu neku od kombinacija modula. Mnogi od modula, ukupno ih ima osam, zahtevaju od proizvođača da u postupku ocenjivanja usaglašenosti uključi nezavisnu treću stranu, odnosno ovlašćena ili notifikovana tela. Angažovanje ovih tela se uglavnom zahteva u procedurama ocene usaglašenosti koje se odnose na visoko rizične proizvode sa stanovišta ugroženosti zdravlja i bezbednosti ljudi i okoline. Zbog toga je veoma važno da ova tela obavljaju svoju funkciju sa prethodno dokazanim visokim nivoom kompetencije, integriteta i profesionalizma.

Više članova i Annex-a u novoj mašinskoj direktivi MD 2006/42/EC je posvećeno procesu usaglašavanja proizvoda/mašina i bezbednosnih komponenti. To se, pre svega odnosi na članove 12 i 7, kao i na Annex-e VIII, IX i X.

U suštini Član 12 u novoj mašinskoj direktivi MD 2006/42/EC direktno definiše proceduru usaglašavanja mašina i bezbednosnih komponenti. Predviđena su tri postupka, zavisno od nivoa opasnosti i rizika mašina, definisana paragrafima 2, 3 i 4.

- Paragraf 2 člana 12 nove MD 2006/42/EC definiše proceduru usaglašavanja kada se radi o mašinama sa nižim nivoom rizika. To su u suštini mašine koje nisu navedene u Annex-u IV nove MD 2006/42/EC. Za ovu grupu mašina je predviđeno da proizvođač (ili njegov opunomoćeni zastupnik u zemljama Evropske Zajednice) sam sprovede proceduru, izda izjavu o usaglašenosti i postavi CE oznaku na mašinu. Znači, za ovu grupu mašina nije predviđeno konsultovanje Notifikacionih Tela već kompletan postupak može obaviti sam proizvođač. Ovakav postupak je bio predviđen i postojećom Mašinskom Direktivom 98/37/EC, znači da nema

nikakvih razlika u procesu usaglašavanja između nove i postojeće mašinske direktive za grupu mašina koje nisu navedene u Annex-u IV.

- Paragraf 3 člana 12 nove MD 2006/42/EC se odnosi na mašine navedene u Annex-u IV, ali koje su potpuno izvedene (projektovane, proizvedene, verifikovane/kontrolisane) po odgovarajućem Harmonizovanom Standardu za taj tip mašina, odnosno za odgovarajući tip bezbednosnih komponenti. Paragraf 3 daje proizvođačima mašina i bezbednosnih komponenti tri mogućnosti:

- (a) Internu proceduru usaglašavanja proizvoda sa zahtevima Direktiva i Harmonizovanih Standarda sprovodi proizvođač mašina, Annex VIII;
- (b) Procedura koja uključuje EC-tip ispitivanja prema Annex-u IX, i internu proveru kod proizvođača mašina kao što je predviđeno u Annex-u VIII tačka 3;
- (c) Procedura koja podrazumeva potpun sistem kvaliteta kao što je predviđeno Annex-om X.

Očigledno da procedura usaglašavanja, za proizvode navedene u Annex-u IV a koji su urađeni u skladu sa Harmonizovanim Standardima, po novoj MD 2006/42/EC omogućuje samim proizvođačima mašina (izbor) kompletan interni postupak, bez konsultovanja/uključenja Notifikacionih Tela, tačka (a). Treba naglasiti da se procedura usaglašavanja po novoj MD 2006/42/EC se znatno razlikuje od procedure predviđene postojećom MD 98/37/EC koja je zahtevala obavezno uključjenje Notifikacionih Tela kada se radi o mašinama navedenim u Annex-u IV.

- Paragraf 4 člana 12 nove MD 2006/42/EC se odnosi na mašine navedene u Annex-u IV, ali koje: nisu potpuno izvedene (projektovane, proizvedene, verifikovane/kontrolisane) po odgovarajućem Harmonizovanom Standardu za taj tip mašina, odnosno za odgovarajući tip bezbednosnih komponenti; ili su samo delimično urađene prema odgovarajućim Harmonizovanim Standardima; ili ako Harmonizovani Standard ne pokriva sve relevantne bitne bezbednosne zahteve; ili ako ne postoji odgovarajući harmonizovani Standard. Paragraf 4 daje proizvođačima mašina i bezbednosnih komponenti dve mogućnosti:

- (a) Procedura koja uključuje EC-tip ispitivanja prema

- Annex-u IX, i internu proveru kod proizvođača mašina kao što je predviđeno u Annex-u VIII tačka 3;
- (b) Procedura koja podrazumeva potpun sistem kvaliteta kao što je predviđeno Annex-om X.

Treba naglasiti da je ovaj deo procedure usaglašavanja isti u novoj i postojećoj Mašinskoj Direktivi.

Kao što se vidi, nova mašinska direktiva MD 2006/42/EC je uvela (jednu) značajnu mogućnost za proizvođače mašina, a to je interna procedura usaglašavanja u slučaju da je mašina navedena u Annex-u IV i da je kompletno realizovana prema odgovarajućem Harmonizovanom Standardu.

Takođe treba istaći da izjava o usaglašenosti proizvoda mora biti sačinjena adekvatno proceduri usaglašavanja. Ako se u okviru procedure usaglašavanja obavlja EC-tip ispitivanja, neophodno je u izjavi o usaglašenosti navesti broj dokumenta izdatog od Notifikacionog Tela. A ako je primenjuje procedura koja uključuje pun sistem kvaliteta, tada se u izjavi o usaglašenosti proizvoda navodi broj Notifikacionog Tela.

Kao jedna od razlika postojeće i nove mašinske direktive može se navesti da je postojećom Mašinskom Direktivom 98/37/EC bilo predviđena mogućnost usaglašavanja kao:

- a) Technical file kept by Notified Body,
- b) Adequacy of application of standards certified by notified body

Ovakve mogućnosti nisu predviđene novom MD 2006/42/EC

4. ZAKLJUČAK

Nova mašinska direktiva MD 2006/42/EC je objavljena u službenom listu Evropske Zajednice. Ova Direktiva stupa na snagu 29 decembra 2009. godine, kada prestaje važnost postojećoj mašinskoj direktivi 98/37/EC. Sada je prelazni period kada treba učiniti neophodne pripreme za primenu nove mašinske direktive.

Ovaj rad navodi određene segmente, razlike i dopune nove mašinske direktive u odnosu na postojeću direktivu. Istaknuti su tehnički i administrativni aspekti uvođenja nove MD. Posebno je, u ovom radu, istaknut segment procedure usaglašavanja proizvoda predviđen u okviru nove MD 2006/42/EC.

Za naše ustanove (Institute, Fakultete, a i odgovarajuća Ministarstva) je veoma važno da se prati napredovanje tehničkog zakonodavstva Evropske Zajednice. Međutim, posebno je važno za naše proizvođače, kao i za korisnike mašina da se uskladjuju sa promenama unesenim u novoj mašinskoj direktivi. Na ovaj način se stvaraju neophodni uslovi za plasman našim mašina na Zajedničko Evropsko tržište.

5. LITERATURA

- [1] Directive 98/37/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 on the approximation of the laws of the Member States relating to machinery, *Official Journal L 207, 23/07/1998 P. 0001 – 0046*
- [2] Directive 2006/42/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on machinery, and amending Directive 95/16/EC *Official Journal of the European Union L 154/24/2006*
- [3] Donald Millar: *INJURIES and AMPUTATIONS RESULTING FROM WORK WITH MECHANICAL POWER PRESSES*, Current 49, DHHS (NIOSH) Publication No. 87-107, May 22, 1987. P 14.
- [4] OSHA CITES MIDDLETOWN, CONN., MANUFACTURER FOR ALLEGED REPEAT AND SERIOUS SAFETY VIOLATION; PROPOSES OVER \$48,000 IN PENALTIES, OSHA Regional News Release: BOS 98-228, December 1, 1998
- [5] V. Zeljković, M. Đapić, N. Rusić, R. Radiša, : *Analiza rizika i bezbednosti mašina prema evropskim standardima*, 29. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOLAVIJE, 19-20 Septembar 2002, Beograd, Pp 1-5, na CD.
- [6] V. Zeljković.: *Zahtevi evropskih standarda za analizu rizika i bezbednosti mašina*, Zbornik radova sa savetovanja 'SISTEMSKA ANALIZA ŠTETA U PRIVREDI, OSIGURANJE I PREVENTIVNO INŽENJERSTVO', Beograd 11-12.11.2002., Pp 231-235
- [7] V. Zeljković, S. Uzunović, I. Krivošić, : *NAČINI USAGLAŠAVANJA RIZIKA I BEZBEDNOSTI MAŠINA PREMA EVROPSKIM STANDARDIMA*, 29. JUPITER konferencija, Beograd 2003, pp 4.56-4.59.
- [8] Vladimir Zeljković, Mirko Đapić.: *CE – ZNAK: ANALIZA RIZIKA I BEZBEDNOSTI MAŠINA, MENADŽMENT TOTALNIM KVALITETOM*, Vol 31., No. 2, Kragujevac, 2003. Pp 175-181.

Autori: Vladimir Zeljković, Institut tehničkih nauka Srpske akademije nauka i umetnosti, Beograd, Srbija, Tel.: +381 11 202 72 02, **Mirko Đapić**, LOLA Institut, Beograd.
E-mail: vladazz@yahoo.com

Napomena: Rad je urađen u okviru projekta Ministarstva nauke Republike Srbije: MD 14010 "Razvoj i unapređenje infrastrukture za ocenjivanje usaglašenosti proizvoda prema zahtevima zasnovanim na direktivama novog i globalnog pristupa Evropske Unije", Rukovodilac projekta, dr Predrag Popvić.

XXXII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
32nd CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING
with foreign participants



INDEX AUTORA

AUTHOR INDEX

Index autora Author Index

A

Adamczak, S.	427
Adamović, D.	149
Aleksandrović, S.	153,271
Anghel, C. V.	337
Antić, A.	341
Antić, R.	497

B

Babić, A.	345,347,501
Babić, B.	563
Babić, M.	285,309
Babić, Ž.	153
Baloš, S.	217
Baralić, J.	39
Beju, L. D.	43
Bešić, I.	427,525
Beyer, E.	35
Bobić, I.	285
Bojanić, P.	505
Bojović, B.	563
Borenović, M.	579
Borojev, Lj.	313,409
Borojević, S.	509
Bozalo, G.	157
Bracanović, Z.	603
Bramley, A. N.	121
Bratt, C.	35
Brdarić, T.	231
Brezigar, M.	255
Brezočnik, M.	587
Budai, Z.	221
Budak, I.	427,513,525
Brzaković, R.	419,635

C

Cichosz, P.	69,481,485
Crnojević, C.	473
Cvetković, S.	385

Č

Черняева, А. В.	235,289
Čiča, Đ.	537
Čović, N.	563
Čukić, R.	225,267
Čvokić, A.	517,559,575

Ć

Ćosić, I.	21,587,607
Ćirković, B.	385
Ćirović, M.	553
Ćurčić, S.	441
Ćurčić, M.	553

D

Damjanov, K.	579
Davinić, A.	149
Devedžić, G.	113,619
Dimić, Z.	353,369,381
Doicin, C. V.	493
Durakbasa, M. N.	591

Đ

Đarić, M.	357,423,659
Ђокић, Р.	405
Đorđević, Lj.	639
Đorđević, Ma.	611
Đorđević, Mi.	611
Đurica, M.	109
Đurić, R.	361
Đurić, S.	639

E

Erić, O.	231,297
Erić, M.	615

G

Гајић, А.	405
Gatalo, R.	313,389,401,521
Gerić, K.	199,217
Glavonjić, M.	369
Глушкова, Д. Б.	235
Gostimirović, M.	25,49,51,89,93
Grujić, J.	521
Grozdanić, B.	489

H

Hamzić, D.	453,457
Himmer, T.	35
Hodolič, J.	427,477,513,525,607
Holek, M.	263
Holešovský, F.	55
Hristovska, D. E.	529

I

Ilić, N.	347,501
Илић, П.	237
Ivanović, L.	619

J

Janković, M.	373
Janković, N.	533,553
Јањуш, З.	237
Jašćur, M.	109,579
Ječmenica, R.	441,445
Jelača, R.	161
Ješić, D.	239
Jevtić, M.	59
Jokanović, S.	537
Jovanović, D.	241
Jovanović, M.	225,267,271
Jovišević, V.	509
Jurčičin, R.	461,465

K

Kakaš, D.	207,245
Kaplarević, M.	377
Којић, Д.	249
Kopač, J.	513
Коруга, Ђ.	249
Kosec, B.	255
Kosec G.	255
Kostić, R.	431
Kovač, P.	25,51,65,89,259
Kovačević, L.	245
Kraišnik, M.	165
Kräuter, L.	591
Krstić, D.	623,627
Kukobat, Z.	655
Kuric, I.	525,545
Kuśmierczak, S.	263
Kuzinovski, M.	69,481,485
Kuzman, K.	129
Kvrgić, V.	353,381

L

Lasco Umformtechnik GmbH, Germany	169
Latinović, T.	541
Lazarević, M.	607
Lazić, V.	225,267,271
Lukić, D.	545,549
Lukić, Lj.	81,423,655
Lütke, M.	35
Lužanin, O.	187,195

Lj

Ljamić, D.	631
------------	-----

M

Majstorović, V.	413,437
Mandić, V.	533,553
Marić, V.	431
Marjanović, Z.	419,635
Marković, S.	175,365
Мартынчук, В. П.	277
Manić, M.	113
Матија, Ј.	249
Matin, I.	427
Mićić, V.	77,385
Mićunović, J.	453,457
Milačić, R. V.	1
Milčić, D.	639
Milenković, Đ.	517,559,583
Miletić, O.	179
Milikić, D.	25,51,89,93,117
Milojević, Z.	567
Milosavljević, A.	281
Milosavljević, P.	643
Milošević, M.	545,549
Milunović, S.	441,445
Milutinović, D.	369
Milutinović, M.	187,305
Miljković, Z.	563
Mišić, B.	73
Mišić, M.	631
Mitrović, A.	571
Mitrović, D.	647
Mitrović, M.	309
Mitrović, S.	285
Mladenović, S.	643
Morgenthal, L.	35
Мошенюк, В. И.	289
Movrin, D.	183,187,195,199
Mutavdžić, M.	225

N

Nádházi, L.	221
Nahod, R.	575
Najdanović, B.	647
Náprstková, N.	263
Navalušić, S.	567
Nedeljković, B.	267
Nedić, B.	39,149,241,293,373,377

Nikšić, P.	571
Novák, M.	55
Nunić, Z.	191
Nusev, S.	301

O

Osanna, P. H.	591
Ostojić, G.	333

P

Pamer, F.	449
Pavićević, Ž.	381,453,457
Pavlov, A.	477
Pejić, V.	73
Pejović, B.	77,385
Pepelnjak, T.	129
Perić S.	651
Petek, A.	129
Petrić, M.	389
Petronić, S.	281
Петров, Јб.	249
Petrović, A.	501
Petrović, P.	341
Petrović, Z.	647
Pilipović, M.	599
Pilka, M.	109
Plančak, M.	135,157,161,165,183,187,199,305
Pljakić, M.	347
Polajnar, D.	81
Polajnar, J.	81
Полонский, Ј. Г.	277
Pršić, D.	347,501

R

Radonjić, R.	191
Radonjić, S.	39,85,109,259,517
Radosavljević, Z.	655
Rajnović, D.	65,231,297
Rančić, B.	301
Randelović, S.	643
Ratković, N.	225
Ristivojević, M.	473

S

Savković, B.	51,65
Schafstall, H.	203
Seucek, I.	101,105,559,575,583
Sekulić, M.	25,51,89,93
Sekulić, S.	97
Simonović, S.	469
Skakun, P.	187,305
Skoko, D.	473
Soković, M.	255,513
Sovilj, B.	85,101,105,109,517,559,575,579,583,587
Sovilj-Nikić, I.	85,101,105,517,575,579,583,587
Spasić, Ž.	599
Stankovski, S.	333
Stefanović, M.	149,153,157,165,553,615

Stević, M.	427,477
Stević, Z.	113
Stojadinović, G.	301
Stojnić, N.	59
Suciu, L.	337
Sunarić, D.	59

Š

Šebo, D.	461,465
Šidanin, L.	65,117,217,231,297
Škorić, B.	207
Šljivić, M.	153,191
Šooš, L.	395

T

Tabaković, S.	313,361,401
Tadić, B.	241,615
Tanikić, D.	113
Тановић, Јб.	595
Тарабанова, В. П.	235,289
Tekić, Ž.	21
Temeljkovski, D.	301
Terek, J.	449
Terek, P.	245
Tiba, Zs.	221
Todić, A.	77
Todić, M.	179,541
Todić, T.	77
Todić, V.	545,549,587
Tomov, M.	481,485
Trajevski, N.	69
Trbojević, I.	195
Trgovčević, S.	381
Trifunčević, G.	583

V

Velemir, S.	305
Veličković D.	365
Vesić, N.	293
Vilotić, D.	135,157,161,165,187,195,305
Vilotić, M.	183,199
Visan, A.	337
Владић, Ј.	405
Vojinović, M.	357
Vollertsen, F.	125
Vrač, D.	117
Vukas, S.	489
Vukelić, Đ.	427,509,525
Vuković, Đ.	453
Vuković, M.	271
Vuković, N.	563
Vulović R.	267
Vuruna, M.	651

W

Walther, R.	125
Wannasin, J.	65
Wohlmuth, M.	203

Z

Zelenkova, J.	55
Zeljковић, M.	313,341,361,389,401,409,521,567
Zeljковић, V.	357,659
Zrilić, R.	541
Zverev, M.	125

Ž

Живанић, Д.	405
Živanović, S.	353,369
Živković, A.	361,409,521
Živković, M.	271
Živić, F.	285,309

XXXII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA
sa međunarodnim učešćem
32nd CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING
with foreign participants



PODACI O DONATORIMA

INFORMATION ABOUT THE DONATORS



Fabrika kotrljajućih ležaja i kardana



Sinonim visokog kvaliteta, fleksibilnosti i pouzdanosti

FKL je fabrika koja proizvodi i prodaje kotrljajuće ležaje i kardanska vratila širokog asortimana za potrebe industrije poljoprivrednih mašina, građevinske mehanizacije, privrednih vozila, rudarske opreme, procesne industrije, transportnih i drugih sredstava. Četrdeset godina iskustva u proizvodnji, pouzdana tehnologija i visok nivo znanja zaposlenih omogućuju isporuku proizvoda po zahtevima kupaca kao i pružanje stručne pomoći pri izboru savremenih tehničkih rešenja ugradnje kotrljajućih ležaja i kardanskih vratila.

Sredinom 80-tih godina dolazi do naglog razvoja preduzeća, nabavka nove, u tome vreme najmodernije opreme i izgradnja savremenih pogonskih hala na novoj lokaciji u industrijskoj zoni Temerina.

Period od sredine 90-tih godina do današnjih dana karakteriše intezivan razvoj koji je rezultirao današnjom tržišnom pozicijom **FKL-a**. Danas je **FKL** jedan od najuspešnijih preduzeća u metalskom kompleksu u Srbiji i širom sveta prepoznatljiv po dobrom imidžu vezanom za kvalitet, fleksibilnost i pouzdanost u svim segmentima poslovanja.

Proizvodi **FKL-a** prodaju se u zemljama Evrope, Amerike, Azije i Afrike.



Fabrika FKL ad Temerin
Industrijska zona bb
21235 Temerin, Srbija

Telefon:
+381 21 6841 100
Fax:
+381 21 842 650; 843 282

E-mail:
marketing@fkl-serbia.com



Fabrika kotrljajućih ležaja i kardana



Proizvodni program FKL-a

FKL je orijentisan na proizvodnju ležaja standardne izvedbe, ležaja specijalne namene i izradu kardanskih vratila.

Stručni kadar, visoki kvalitet polaznog materijala, veoma kvalitetan mašinski park kao i višegodišnje iskustvo obezbeđuju konkurentni kvalitet proizvoda **FKL-a**. Veoma brza prilagodljivost zahtevima kupaca, kvalitet kao i konkurentnost cena proizvoda su učinili da **FKL** bude prisutan sa svojim proizvodima na tržištu preko 20 zemalja celog sveta.

Osnovni program proizvodnje ležaja **FKL-a** je:

- KUGLIČNI PODESIVI LEŽAJI - LEŽAJNE JEDINICE
- RADIJALNI KUGLIČNI LEŽAJI
- KUGLIČNI LEŽAJI SAKOSIM DODIROM
- CILINDRIČNO VALJKASTI LEŽAJI
- JEDNOREDNI VALJKASTI LEŽAJI
- BURIČASTI LEŽAJI
- IGLIČASTI LEŽAJI
- ZGLOBNi LEŽAJI
- KONUSNO VALJKASTI LEŽAJI
- SEDLA ZA PRITEZANJE



Program kardanskih vratila **FKL-a** je:

- KARDANSKA VRATILA ZA POLJOPRIVREDU
- KARDANSKA VRATILA ZA INDUSTRIJU
- KARDANSKA VRATILA ZA MOTORNA VOZILA I GRAĐEVINSKU MEHANIZACIJU
- PROGRAM KARDANSKIH KRSTAKA
- PROGRAM SIGURNOSNIH SPOJNICA
- PROGRAM SREDNJIH LEŽAJA (KARDANSKIH NOSAČA)

Specijalni program **FKL-a** je:

- Ležaji točkova automobila
- Ležaji zatezača kaiša automobila
- Ležaji menjača automobila
- Ležaji pumpe za vodu automobila
- Ležaji diferencijala automobila
- Međuležaj za kardanska vratila motornih vozila
- Iglíčasti ležaji za tripoidni krst motornih vozila
- Ležaji kvačila motornih vozila
- Potporni ležaji
- Ležaji za valjaonice
- Okretnice



Fabrika FKL ad Temerin
Industrijska zona bb
21235 Temerin, Srbija

Telefon:
+381 21 6841 100
Fax:
+381 21 842 650; 843 282

E-mail:
marketing@fkl-serbia.com



Fabrika kotrljajućih ležaja i kardana



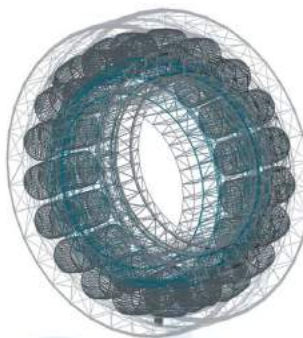
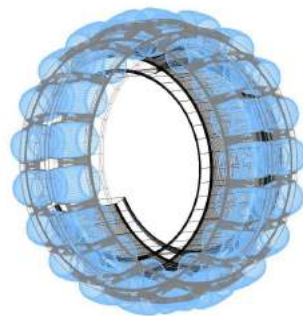
Servis:

- Pomoć kupcima u biranju, ugradnji, eksploataciji, preradi i doradi ležaja
- Postprodajno servisiranje i tehnička pomoć
- Podgarancijsko održavanje
- Garantni period 12 meseci pri pravilnoj ugradnji i eksploataciji
- Postoji mogućnost tipizacije i unifikacije



Usluge:

- Sve vrste strugarskih poslova
- Sve vrste brusačkih poslova
 - * ravno brušenje
 - * cilindricno brušenje
 - * brušenje specijalnih oblika
- Prerada ležaja po zahtevu
- Termička obrada-kaljenje
 - * poboljšanje
 - * gasna cementacija
 - * otpuštanje
- Servisiranje kardana
- Balansiranje kardana
- Ožljebljenje
- Površinska zaštita
 - * bruniranje
 - * fosfatizacija



Kvalitet:

- certifikat ISO 9001/2000
- certifikat ISO 14001/2004
- certifikat EPS
- visok kvalitet naših proizvoda osiguran je kvalitetom sirovog materijala (Valthi i Thyssen)
- laboratorija za ispitivanje ležaja atestiranu od YUAT-a čija ispitivanja potvrđuju naš standardan kvalitet.
 - * u toku 2008. u planu je uvođenje OHSAS 18001, ISO/TS 16949
 - * repro-materijal i komponente koje se ugrađuju u ležaj su najvišeg kvaliteta, garantovani standardom ISO 9001

Fabrika FKL ad Temerin
Industrijska zona bb
21235 Temerin, Srbija

Telefon:
+381 21 6841 100
Fax:
+381 21 842 650; 843 282

E-mail:
marketing@fkl-serbia.com



ČELIK A.D.

Akcionarsko društvo za proizvodnju i monažu metalne konstrukcije Bački Jarak, Novosadska bb

Proizvodni program:

- hladno oblikovanje profila
- proizvodnja metalnih konstrukcija i delova konstrukcija
- proizvodnja metalnih proizvoda za građevinarstvo
- proizvodnja trapezastih limova
- opšti mašinski radovi
- građevinska bravarija
- grubi građevinski radovi i specijalni radovi niskogradnje

DO SADA SMO PODIGLI NEKOLIKO STOTINA OBJEKATA OD KOJIH IZDVAJAMO

- FABRIČKI KOMPLEKS „LIFAM“, STARA PAZOVA (26000 M²)
- FABRIČKI KOMPLEKS „MAJEVICA“, BAČKA PALANKA (15500 M²)
- PROIZVODNI POGON „MILAN VIDAK“, FUTOG (12000 M²)
- PROIZVODNI POGONI „FKL“, TEMERIN (8000 M²)
- PROIZVODNI POGON „FKL-KARDAN“, TEMERIN (8000 M²)
- PROIZVODNI POGONI „TERMOVENT“ SC. TEMERIN (8000 M²)
- PROIZVODNE HALE „JAVOR“, TEMERIN (8500 M²)
- PROIZVODNA HALA „SIMPO“ STILSKI NAMEŠTAJ, VRANJE (3000 M²)
- PROIZVODNI POGON „COCA COLA“, ZEMUN (6000 M²)
- PROIZVODNE HALE I MAGACINI „SINTELON“, BAČKA PALANKA
- PROIZVODNA HALA I HALA GOTOVIH PROIZVODA „KNJAZ MILOŠ“, ARANDĽOVAC
- PROIZVODNA HALA „FAB LIVE“, PODGORICA
- HLADNJAČA ZA JUŽNO VOĆE „SAN MARINO“, PODGORICA (3600 M²)
- HLADNJAČA ZA JUŽNO VOĆE „VALERINA“, PODGORICA (1400 M²)
- HLADNJAČA ZA MALINE G. DOBRINJE „HIBRIOT“, BEOGRAD
- SUPERMARKET „021“ UNIVEREXPORT, NOVI SAD (1600 M²)
- SALON AUTOMOBILA „ASTA“, NOVI SAD
- SALON AUTOMOBILA „VERANO MOTORS“, BEOGRAD
- SPORTSKI CENTAR „JUGOVIĆ“, KAČ (2850 M²)
- SPORTSKA HALA TEMERIN (2000 M²)
- SPORTSKA HALA ŽABALJ (1600 M²)
- SPORTSKA HALA BAČKI JARAK (2150 M²)
- ANTENSKI STUB „RADIO TEMERIN“, TEMERIN (45M)
- ANTENSKI STUB „RADIO SREM“, RUMA (87M)
- ANTENSKI STUB „RADO NOVI SAD“, SREMSKI KARLOVCI (40M)



SUPERMARKET „021“
UNIVEREXPORT - NOVI SAD



SUPERMARKET „ALBA“
UNIVEREXPORT - NOVI SAD



GRADITELJ - NOVI SAD



MDD GROUP - KAČ

U POSLEDNJE DVE GODINE, URADILI SMO:

- PROIZVODNA HALA „FORMA IDEALE“, KRAGUJEVAC (9000 M²)
- SKLADŠTE „DUAMANT“, ZRENJANIN (6450 M²)
- SPORTSKA HALA FUTOG (2000 M²)
- AUTOSALON „ŠKODA“, VETERNIK (3500 M²)
- MAGACIN „TARKETT“, BAČKA PALANKA
- „LIMANSKA PLJACA“, NOVI SAD (2800 M²)
- „NAJLON PLJACA“, NOVI SAD (2400 M²)
- SPORTSKA HALA KLISA, NOVI SAD (2000 M²)
- FABRIKA VODE „ŠAVNIK“ (1700 M²)
- „GOMEX“, ZRENJANIN (1800 M²)
- SKLADIŠNA HALA „LAGUMA“, NOVI SAD (2450 M²)
- „ŠKODA“ – AUTOKUĆA KOLE, ZEMUN (800 M²)





UGS je vodeće ime u svetu CAD/CAM-a još od davne 1963. godine, kada je osnovan pod imenom **United Computing**.

Od januara 2007. godine **UGS** je postao deo najuspešnijeg industrijskog giganta **SIEMENS-a**.

UGS je prva **PLM** (Product Lifecycle Management) kompanija koja je ostvarila godišnji promet veći od milijardu dolara (2004).

Izdvajamo iz produkata:

- **TEAMCENTER PLM, PDM (Product Data Management)**
Menadžment u inženjeringu i proizvodnji. Kontrola crteža, revizija, upravljanje resursima, arhiveri, pregled modela i dokumentacije bez instalacije CAD sistema. Veza sa finansijskim i ERP sistemima preduzeća.
- **NX**
Unigraphics NX, I-DEAS NX:
Najzahtevniji CAD/CAM/CAE sistemi, Design, Machining, Simulacija, Alati, Programiranje i Kastomizacija.
- **SOLID EDGE**
Vrhunski 3D alat za projektovanje, kreiranje dokumentacije i analizu delova i sklopova.
- **TECNOMATIX**
Simulacija i optimizacija proizvodnih kapaciteta, hala, ljudskih resursa. Rešenja za "uska grla" proizvodje i protoka.

Za više informacija o UGS-u i produktima molimo vas da posetite:

<http://www.plm.automation.siemens.com/>

O EuroCom-u:

EuroCom je ekspertska kompanija u oblasti IT tehnologija.

Posluje kao 100% domaća kompanija, sa stručnjacima iz oblasti CAD, CAM, CAE i PLM tehnologija.

Sa UGS-om EuroCom uspešno posluje već skoro dve decenije.

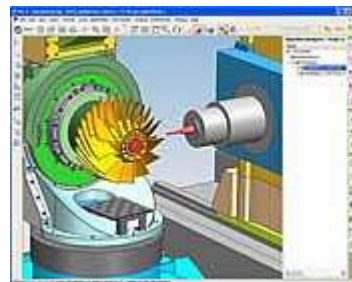
EuroCom je ovlašćeni distributer i ovlašćeni obrazovni centar za kompletnu paletu UGS proizvoda.

Za više informacija o EuroCom-u i produktima molimo vas da posetite:

www.eurocom.rs

Tel. 011/3617-411; Fax: 011/2685-353

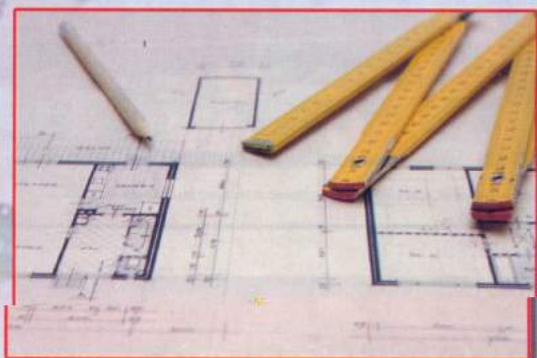
Kontakt: Željko Šteković, zeljko.stekovic@eurocom.rs



ПГП **грађевинац**

Бачки Јарак

ПОИЗВОДНО ГРАЂЕВИНСКО ПРЕДУЗЕЋЕ Д.О.О.



ПРОЈЕКТОВАЊЕ, НАДЗОР, ИЗВОЂЕЊЕ, ЕНТЕРИЈЕР, ОПРЕМАЊЕ

Железничка 78, Бачки Јарак, 021/848-874, 847-639, 848-439

gradjevinac@parabolanet.com



Привредно друштво за производњу металних профила

Intraprofil



ИНТРАПРОФИЛ д.о.о. привредно друштво специјализовано за производњу металних профила за системе суве градње, са седиштем у Смедереву, основано је 2005. године. Власници предузећа су Ритам инжењеринг д.о.о. из Београда и Baustoff+Metall GmbH из Беча. Фабрика за производњу се налази у индустријској зони Смедерева, и веома је добро саобраћајно повезана зато што се налази поред луке на Дунаву, железничког колосека и аутопута Е-75 који се налази на међународном коридору X. Земљиште површине 1ha у власништву је предузећа Интрапрофила.

ИНТРАПРОФИЛ се врло брзо наметнуо на домаћем и страном тржишту као озбиљан и поуздан партнер који је у стању да у најкраћем року одговори на захтеве за испоруком, било са сопственог логистичког центра, било да се ради о производњи по специјалним захтевима.

Данас је ИНТРАПРОФИЛ највећи домаћи произвођач профила за системе суве градње који све више заузима своје место и на међународном тржишту. Потврда изузетног квалитета и конкурентности на све захтевнијем међународном тржишту, јесте чињеница да Интрапрофил преко 60% своје производње извози на тржиште Аустрије, Немачке, Мађарске, Грчке, Хрватске и Словеније а у наредном периоду се планира ширење и на друга тржишта.



CE

Позиција коју је за кратко време стекао ИНТРАПРОФИЛ, последица је озбиљног улагања у објекте, опрему и људе али и производња по строгим захтевима европских норми и стандарда. ИНТРАПРОФИЛ од августа 2007. године поседује сертификат система менаџмента квалитетом ISO 9001:2000, бр. 75 100 50071 издат од стране сертификационе куће TUV Rheinland Intercert из Немачке.

ИНТРАПРОФИЛ производи профиле у складу са захтевима стандарда Европске уније EN 14195. Доказ за то је испитивање спроведено од стране акредитоване лабораторије из ЕУ и сертификат бр. BBVT 0780115. На основу позитивних резултата са испитивања и атеста лабораторије, профили поседују декларацију о усаглашености производа са стандардом и сви профили су на основу тога означени CE знаком.

ИНТРАПРОФИЛ

БУРЕ СТРУГАРА ББ., СМЕДЕРЕВО, СРБИЈА

tel: +381 26 642 940, fax: +381 26 642 930 profil@intraprofil.com, www.intraprofil.com





Petrovaradin 21131, Rade Končara 1, tel. +381 (0) 21 439 353, fax: +381 (0) 21 439 350

Preduzeće za proizvodnju metalnih konstrukcija KM Mont d.o.o. je osnovano 11.07.2003. kao jednočlano društvo sa ograničenom odgovornošću sa sedištem u Petrovaradinu. Osnovna delatnost firme je proizvodnja metalnih konstrukcija i delova konstrukcija.

Preduzeće KM Mont d.o.o. svoju delatnost bazira na izradi metalnih konstrukcija od crnog metala i INOX-a vrhunskog kvaliteta. Delatnost KM Monta obuhvata proizvodnju delova konstrukcija u pogonima prehrambene industrije, petrohemijske, avio industrije, farmaceutske industrije, auto industrije i dr., odnosno, grane industrije koje imaju potrebu za metalnim konstrukcijama velikih gabarita i visokim stepenom kvaliteta izrade. Osnovne delatnosti firme su zavarivački, bravarski, cevarski i monterski radovi u oblasti crne, INOX metalurgije i procesne industrije.

Naši zaposleni imaju dugogodišnje iskustvo stečeno na radovima u inostranstvu i na domaćem tržištu. Veliku važnost pridajemo stručnim znanjima i preciznosti, kako naših radnika tako i rukovodećeg kadra. Zahvaljujući dugogodišnjem iskustvu stečenom znanju u mogućnosti smo da Vam ponudimo predloge koji će doprineti poboljšanju Vaše proizvodnje, a takođe, u saradnji sa Vama možemo rešiti sve probleme u pogledu izrade i montaže konstrukcija. Posedujemo sertifikate sistema menadžmenta kvaliteta prema EN ISO 9001:2000 i SCC*:2004.



Peć izrađena za stranog partnera



Separator vazduha izrađen za stranog kupca



Pešački most dužine 120m

Sedište u Petrovaradinu

Administrativno-proizvodni centar preduzeća KM Mont d.o.o. nalazi se u Petrovaradinu u ulici Rade Končara 1. Centar poseduje upravnu zgradu veličine 360 m² i proizvodnu halu veličine 2200m².

Poslovna jedinica Petrovaradin radi na ovim prostorima već pune četiri godine. Do sada je u svom poslovnom radu imala skoro 100% izvozni učinak, sa neznatnim učešćem na domaćem tržištu - izrada delova za fabriku Hemofarm iz Vršca, i izrada elemenata konstrukcije za most Sloboda u Novom Sadu učešćem u svojstvu podizvođača radova za inostranog partnera.

U julu 2008. godine KM Mont je pustio u rad najsavremeniji laser Belgijske firme LVD, sa integrisanim „šatl“ stolovima dimenzija 6000x2000mm. Mašina je opremljena sa letećom optičkom konstrukcijom, što podrazumeva da materijal miruje, a glava za sečenje izvodi potrebna kretanja. Ovaj metod omogućava velike radne brzine, nezavisne od težine lima.



Sedište firme u Petrovaradinu



Laser LVD Impuls 6020

Predstavništvo Vrbas

Poslovna jedinica KM Mont Vrbas nalazi se u ulici Sivč Jovgena bb u Vrbasu na kompleksu veličine 8,5ha. Proizvodni centar raspolaže proizvodnom halom za crnu metalurgiju površine 2600m², radionicom sa farbarom i sušarom površine 1500m², proizvodnom halom za INOX metalurgiju površine 800m². Takođe, svaki od ovih pogona raspolaže i sopstvenim sistemom za peskarenje.

U sastavu kompleksa nalazi se i upravna zgrada površine 700m², kao i niz pratećih objekata kao što su kotlarnica, portirnice, parkinzi, stovarišta, magacini i dr. Centar se nalazi na raskrsnici puteva na samo 3 km od autoputa E75 i povezan je sa njim direktnom vezom. Takođe neposredna blizina vodenog kanala otvara mogućnost da naš centar u bliskoj budućnosti dobije i vodeni prilaz.

Zbog povećanog obima posla KM Mont d.o.o kupio je od renomiranog proizvođača najsavremeniju CNC mašinu za plazma sečenje metala.



*Poslovna jedinica Vrbas
CNC mašinu za plazma sečenje metala*

Predstavništvo u Sremskim Karlovcima

Poslovna jedinica KM Mont Solar nalazi se u Sremskim Karlovcima, ulica Matoševa 16. Efikasno iskorišćenje energije i zaštita životne okoline su ideje vodilje poslovne jedinice KM Mont Solar koja u svom proizvodnom programu sadrži solarne kolektore za grejanje sanitarne i ogrevne vode, kao i pripadajuću opremu za njihovu ugradnju. U bliskoj budućnosti planira se osvajanje tehnologije za izradu solarnih panela – fotovoltag (photovoltaic).



REFERENCE

Metalne konstrukcije

Urađeno za stranog partnera:

- 600 tona čelične konstrukcije i ograde, kao i rebrasti limovi različitih debljina
- pomoćni alati za automobilsku industriju, Magna Viseći most dužine 60m kroz koji prolazi cevovod
- pešački most raspona 85 metara izradjen od zavarenih kutijastih nosača i profilnih cevi ukupne težine oko 90 tona
- izrada čelične konstrukcije za rezervoare za gorivo i farbanje specijalnim premazom otpornim na direktnu izloženost plamenu, ukupna težina oko 95 tona
- čelična konstrukcija za opremanje proizvodnih hala, težina oko 50 tona
- izrada prohromskih rezervoara i cevovoda otpornih na hemijske uticaje, ukupne težine 650 tona
- proizvodnja kompleksa industrijskih peći ukupne težine oko 120 tona na mesečnom nivou.

Urađeno za domaće tržište:

- Izrada pilona iznad mosta Slobode u Novom Sadu i montaža sajli. Izrada i montaža kompletne ograde mosta.

Procesna oprema

Urađeno za stranog partnera:

- proizvodnja i montaža cevovoda i delova za liniju za separaciju kiseonika iz vazduha
- montaža cevovoda za potrebe farmaceutske industrije
- izrada cevovoda za snabdevanje industrijskih peći gasom



Oprema za solarnu energiju



KM Mont d.o.o.

Petrovaradin 21131

Rade Končara 1

Tel: +381 (0) 21 439 353

Fax: +381 (0) 21 439 350

Mail: kmmontag@eunet.yu

Web: www.kmmont.com

SRCE
VAŠEG
MOTORA

ISO 9002



MOTINS

MOTorna INDUSTRIJA NOVI SAD

kvalitet bez kompromisa

21000 Novi Sad - Put nov. partizanskog odreda 6
Komercijalni direktor/Bussiness Manager: +381 21 443 615
Direktor prodaje/Sales Manager: +381 21 443 804, 539 005

NEOBUS

JAHTA NA DRUMU

VOLVO motor 309kW, VOLVO I-shift menjač
ABS / EBS / ASR sistemi i *Dynafleet* sistem



UNIVERSO



CITTA LF



TERRA

NEOBUS AD - Novosadska Fabrika Autobusa
Privrednikova 20, 21000 Novi Sad
tel: 021/442111 021/443876 fax: 021/539013 e-mail: neobus@ptt.yu

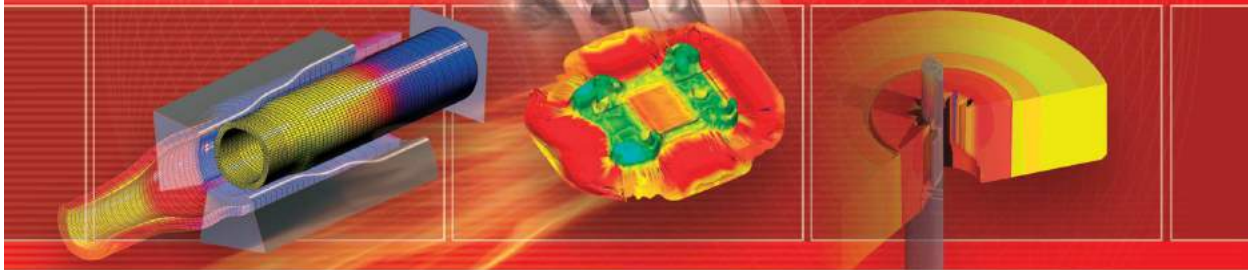
www.neobus.co.yu



NOVI MODELI | ADEQUAT | TERRA | STELLA | UNIVERSO | CITTA | LUNA

available now:
simufact.forming 8.1
more effective · more efficient · more versatile

simufact engineering
**Optimize Your
Manufacturing Processes**
Best Quality for Your Success



THE REVOLUTIONARY MANUFACTURING SIMULATION ENVIRONMENT

1

simufact.forming 8.1

- ➔ **Manufacturing oriented use** - ease of use graphical user interface for integrated Finite Element and Finite-Volume-Solutions
- ➔ **increased attention to detail** - latest state of the art meshing technology, more efficient, robust and powerful
- ➔ **even faster availability of results and bigger models** - thanks to parallel computing
- ➔ **faster and safer data exchange with CAD** - all standard- and many direct interfaces
- ➔ **structured working environment and archival storage of knowledge** - project and data management with Simufact.project

2

NEWS

Simufact Engineering GmbH announced the release of version 8.1 of Simufact.forming, the advanced integrated software solution for bulk metal forming. The new version is available to customers since July 15th, 2008. As in the past, new developments focus on a good implementation of the software into the user's working environment. The software is user friendly, easy to learn and displays many features for practical application.

In addition to other improvements, the tool contains improved meshing technology, which is proven to be more efficient, robust and powerful than past versions. Simulation times have also been reduced. The introduction of parallel computing allows larger models to be calculated faster which, in turn, provides quick results. The already existing interfaces to external CAD/CAE tools have been expanded to include direct interfaces to all standard and many third-party products.

Simod d.o.o
Biznis Inovacioni Centar
Trg Topolivaca 4
34000 Kragujevac, Srbija
Tel./Fax. +381 34 38 77 07
E-mail: info@simod.co.rs
www.simod.co.rs

 **simufact**
Simulating Manufacturing


SiMod
software solutions

AUTODESK INVENTOR OMOGUĆAVA TESTIRANJE PROJEKTA

Autodesk Inventor omogućava kreiranje digitalnih prototipova i njihovo testiranje u odnosu na različita okruženja i parametre. Trenutno je najprodavaniji 3D modeling program za mašinstvo u svetu, sa preko 800.000 prodatih licenci.

Ne samo 3D modelovanje, već mogućnosti digitalnih prototipova uz Autodesk.



TeamCAD d.o.o. je ovlašćeni Autodesk prodavac (Autodesk Authorised Value Added Reseller) za programe AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical i Autodesk Inventor. TeamCAD je autorizovani Autodesk trening centar (Autodesk Authorised Training Center) za područje Srbije.

TeamCAD d.o.o.
Bulevar Mihajla Pupina 10Z VP51
11070 Novi Beograd
Tel: 011 3015043, 2134925
E-mail: autodesk@teamcad.rs
web: www.teamcad.rs



Autodesk®
Authorized Value Added Reseller



“TEHNOREMONT”

d.o.o. preduzeće za proizvodnju i remont mašina i uređaja

— REMONT I OPRAVKA NAORUŽANJA
I VOJNE OPREME

— IZRADA TEHNIČKIH UPUTSTAVA I
TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

— PROIZVODNJA REZERVNIH DELOVA

— OPREMANJE KABINETA ZA
IZVOĐENJE VOJNE OBUKE

— OSTALI RADOVI IZ OBLASTI
ODRŽAVANJA NVO



Sistem menadžmenta kvalitetom uskladen sa zahtevima

SRPS ISO 9001:2001
SNO 9000/05



CERTIFIKAT br. 071-0107-031

Kontakt:

Kiš Ferenc 49

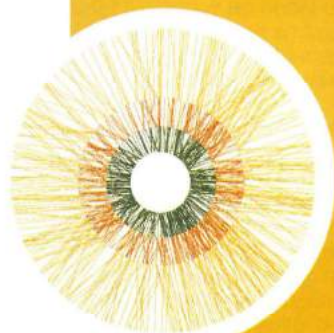
21235 Temerin

Fax/ 021 84 18 31

Tel/ 021 84 11 08

E mail: tehnoremont@neobee.net





VAŠA ŠPEDICIJA ZA SVA VREMENA

**Akcionarsko društvo za međunarodnu špediciju
21000 Novi Sad, Branimira Čosića 2/II, Srbija**

Direktor	+381 (0)21	489-20-12
Centrala		489-20-11
Telefax		489-20-30

office@transped-ns.com
www.transped-ns.com

POSLOVNE JEDINICE

	TEL:	FAX:
Novi Sad, Branimira Čosića 2/II	021 489-20-50	489-20-69
Subotica, Trg Lazara Nešića 4a,	024 551-302	554-754
Zrenjanin, PC Mala varoš,	023 549-415	549-419
Bačka Palanka, Svetozara Miletića 82	021 752-915	604-53-66
Sremska Mitrovica, Jarački put bb	022 611-988	611-694
Šid, Janka Veselinovića 17	022 716-886	716-216
Beograd, Bore Vukumirovića 14a	011 32-93-191	27-59-658

GRANIČNI PRELAZI

Horgoš	024 795-051	795-061
Kelebija	024 798-110	798-109
Batrovci	022 733-056	733-190
Preševo	017 666-008	666-022
Sremska Rača	022 267-672	267-672
Bogojevo	025 742-854	742-854
Šid	022 716-865	716-865

PREDSTAVNIŠTVA

Vrbas, Kozaračka bb	021 706-750	706-406
Kikinda, Oslobođenja 15	0230 22-920	26-717
Bečej, Irene Provči 12	021 6910-494	6910-499
Senta, Pristanišna 1	024 815-233	
	lok. 205 i 232	
Aerodrom "Nikola Tesla"	011 2097-096	2096-096
Pančevo, Pristanišna zona bb	013 347-999	
	lok. 181 i 182	
Šabac, Hajduk Veljkova bb	015 345-072	345-060
Požega, Železnička bb	031 812-464	812-047

POSLOVNICE

Sajam	021 489-20-51	443-879
Avio-kargo	021 489-20-70	443-492
Robno-skladišni centar Novi Sad	021 632-566	639-458
Temerinska 119		



D.O.O. ZA PROIZVODNJU VENTILACIONE OPREME I OBRADU METALA

VOS-SYSTEM

Srbija

21230 Žabalj, Čuruški put 3

Tel: +381 21 831-283

Fax: +381 21 831-261

E-Mail: office@vos-system.co.yu

www.vos-system.co.yu

PROIZVODNI PROGRAM

Proizvodni program čine tri osnovne grupe proizvoda.

VENTILATORI I VENTILACIONI SISTEMI

Ovu grupu čine aksijalni nisko pritisni ventilatori kapaciteta od 600 do 44000 m³/h sa pripadajućim upravljačko-regulacionim jedinicama, koje obezbeđuju potpunu automatizaciju ventiliranog objekta. S obzirom da se uglavnom radi o ventilaciji stočarskih farmi, grupi pripadaju krovni ventilacioni kanali, inleti i žaluzine za ulaz vazduha, kao i rashladni paneli u slučaju klimatizacije živinarskih farmi. Od posebne važnosti je što su elektromotori ventilatora sopstveni proizvod, čime je kvalitet najvažnije komponente ventilatora stavljen pod strogi nadzor.



Aksijalni ventilatori



Energetski orman



Krovni ventilacioni set

DEKORATIVNE METALNE OGRADE

Ogradni paneli se proizvode u varijantama od svetlo vučene toplo pocinkovane žice i žice tipa BENZINAL (žica zaštićena legurom Zn-Al), koja obezbeđuje i do 30 godina zaštitu od korozije. U obe varijante moguće su alternative u natur izvedbi ili sa dodatnim plastificiranjem u širokoj paleti izbora boja.



Ogradni panel tipa FENIKS



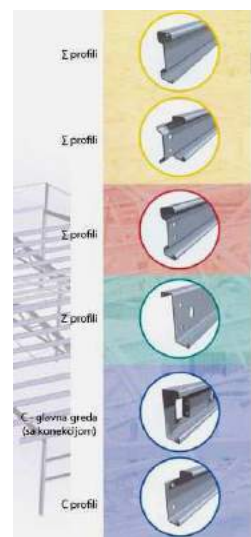
Detalj ulaznih vrata i kapije sa potpunom automatizacijom

MONTAŽNE ČELIČNE POCINKOVANE HALE

Profili za montažne čelične pocinkovane hale izrađuju se od hladno valjanog čeličnog lima kvaliteta DX51D, zaštićenog toplim cinkovanjem sa nanosom cinka od 200 gr/m². Opciono se nudi i konstrukcija sa nanosom cinka od 275 gr/m². Spojne ploče se prave od toplo valjanog čeličnog lima u kvalitetu S235JRG2 i zaštićene su galvanskim nanosom cinka. Svi elementi mogu se dodatno plastificirati u željenoj boji investitora. Vijčana roba je kvaliteta 8.8 i galvanski je zaštićena protiv korozije.

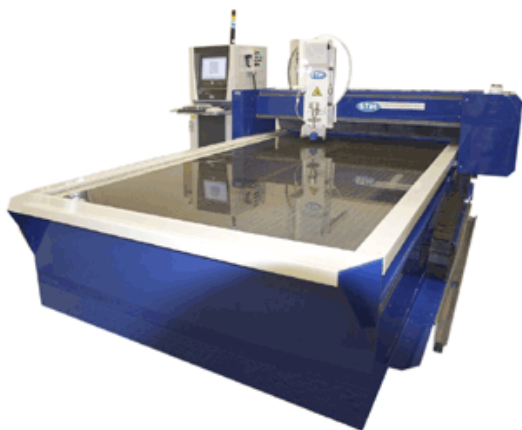


*Izgled kompletno sklopljenog objekta
od pocinkovanih profila*



Tipovi ptofila

Ovako postavljen proizvodni program zahteva izuzetnu tehnološku opremljenost fabrike sa odgovarajućim alatima i mašinama od kojih su neke prikazane na sledećim slikama.



*Mašina za abrazivno sečenje metala
Proizvođač: ATM – Švajcarska
Dimenzije radnog stola: 1500x2500 mm
Debljina sečenja čelika: max. 100 mm*

*Detalj rolforming mašine tipa NAGEL
Broj stanica: 18
Max. širina trake: 850 mm
Debljina lima: do 2 mm*



*Abkant presa tipa PROMECAM
Max. sila: 20.000 kN
Dužina savijanja: 6000 mm*

16 micron layer 3-Dimensional Printing System



Enjoy super-high productivity and flexibility –
with outstanding model quality

Eden350/350V

- Ultra-thin-layer PolyJet™ technology
- 16 micron high resolution ensures smooth surfaces and fine details
- Tray size: 13.8×13.8×7.9 inch (350×350×200 mm)
- Wide range of materials: FullCure®720, Tango and Vero
- Single support for all model materials
- Office environment

Eden350V

- 72 hours of unattended continuous printing
- High Speed and High Quality Printing Modes

EDEN350/350V™



EDEN350/350V™ 16 micron layer 3-Dimensional Printing System

Technical Specifications

Layer Thickness (Z-axis):

Horizontal build layers down to 16-micron

Tray Size (X×Y×Z):

13.8×13.8×7.9 inch (350×350×200 mm)

Net Build Size (X×Y×Z):

13.4×13.4×7.9 inch (340×340×200 mm)

Build Resolution:

X-axis: 600 dpi

Y-axis: 600 dpi

Z-axis: 1600 dpi

Printing Modes:

EDEN350: High Quality (HQ): 0.0006 inch (16-micron)

EDEN350V: High Quality (HQ): 0.0006 inch (16-micron)

High Speed (HS): 0.001 inch (30-micron)

Accuracy:

0.004–0.01 inch (0.1–0.3 mm) typical (accuracy varies according to geometry, part orientation and print size)

Material Supported

- FullCure®720 Model transparent
- VeroWhite Opaque material
- VeroBlue Opaque material
- VeroBlack Opaque material
- TangoBlack, rubber like flexible material
- TangoGray, rubber like flexible material

Support Type

FullCure®705 Support

Non-toxic gel-like photopolymer support easily removed by WaterJet

Material Cartridges

EDEN350: Sealed 2×7.9 lb. (2×3.6 kg) cartridges

EDEN350V: Sealed 4×7.9 lb. (4×3.6 kg) cartridges

Automatic switching between cartridges

Easily and instantly replaced through a front-loading door

Power Requirements

110 – 240 VAC 50/60 Hz

1.5 KW single phase

Machine Dimensions (W×D×H)

52×39×47 inch (1320×990×1200 mm)

Machine Weight

Net 727.5 lb. (410 kg)

Gross (in crate) 1102 lb. (500 kg)

Software

ObjetStudio™ features:

- Suggested build orientation and speed, Auto-placement
- Automatic real time support structure generation
- Slice on the fly
- PolyLog™ Materials Management
- Network Support

Input Format

STL and SLC File

Operational Environment

Temperature 64 °F – 77 °F (18 °C – 25 °C)

Relative Humidity 30–70%

Special Facility Requirements – None

Jetting Heads

SHR (Single Head Replacement), 8 units

Network Communication

LAN – TCP/IP

Compatibility

Windows XP, Windows 2000

* All specifications are subject to change without notice



About Objet Geometries

A pioneer in jetting photopolymers, Objet Geometries Ltd. develops, manufactures and globally markets ultra-thin layer 3-Dimensional Printing Systems and materials that utilize PolyJet™ Polymer Jetting technology.

PolyJet technology and Objet's high-speed product platform offer accurate, clean, smooth and highly detailed 3-Dimensional models suitable for use in an office-type facility. PolyJet technology enables manufacturers and industrial designers to reduce product development cycles and dramatically shorten time-to-market of new products in many industries. Objet's solutions are in use by world leaders in the automotive, electronics, toy, consumer goods, and footwear industries in North America, Europe, Asia, Australia and Japan. Founded in 1998, Objet is privately owned and holds more than 40 granted and pending patents.

Objet Geometries Ltd.

Headquarters

2 Holzman St., Science Park
P.O.Box 2496,
Rehovot 76124, Israel
Tel: +972-8-931-4314
Fax: +972-8-931-4315

Objet Geometries Inc.

North America

5 Fortune Drive
Billerica,
MA 01821
USA
Tel: 1-877-489-9449
Fax: 1-866-676-1533

Objet Geometries AP

Asia Pacific

13th Floor, Unit 52A, HITEC
1 Trademart Drive, Kowloon Bay,
Hong Kong
Tel: +852-2174-0111
Fax: +852-2174-0555

SA.BOR srl

Interporto Centro Ingresso
Sett. A1 14/15
33170 Pordenone / Italy
Tel: ++39-0434-572920
Fax: ++39-0434-572930
mail: sa.bor@tin.it

u Srbiji

ITAL INTERPART Doo
Golsvortijeva 2
11000 Beograd
Tel/Fax: 011-3287-033
mail: interpart@yubc.net

info@2objet.com
www.2objet.com

©2007 Objet Geometries, Ltd. Objet™, Objet Geometries™, PolyJet™, Eden350™, Eden260™, Eden330™, Eden350™, Eden350V™, Eden500V™, Eden™, SHR™, PolyLog™, QuadraTempo™, Objet Quadra™, FullCure® and Objet Studio™ are trademarks of Objet Geometries Ltd. and may be registered in certain jurisdictions. All other trademarks belong to their respective owners.

