

**POKROVITELJI
SPONSORS**

**SAVEZNO MINISTARSTVO ZA RAZVOJ, NAUKU I ŽIVOTNU SREDINU
FEDERAL MINISTRY OF DEVELOPMENT, SCIENCE AND LIFE
ENVIRONMENT**

**MINISTRATVO ZA PROSVJETU I NAUKU REPUBLIKE CRNE GORE
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF
MONTENEGRO**

**SEKRETARIJAT ZA RAZVOJ REPUBLIKE CRNE GORE
SECRETARIAT OF DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF MONTENEGRO**

**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**



**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**



Podgorica-Budva, 17-20. septembra 1996.
Crna Gora, Jugoslavija

**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**

**NOSIOCI ORGANIZACIJE
ORGANIZING INSTITUTIONS**

Zajednica naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije
Mašinski fakultet, Podgorica • Mašinski fakultet, Beograd • LOLA Institut, Beograd •
Tehnički fakultet, Čačak • Mašinski fakultet, Kragujevac • Mašinski fakultet, Kraljevo •
Mašinski fakultet, Niš • Institut za proizvodno mašinstvo - FTN, Novi Sad • Institut za
industrijske sisteme, FTN, Novi Sad • Mašinski fakultet, Priština

**ORGANIZATOR
ORGANIZER**

Mašinski fakultet
Univerzitet Crne Gore
Cetinjski put bb.
81000 PODGORICA

Tel. (Phone): (+381 81) 13 984
Fax: (+381 81) 13 865

**MJESTO ODRŽAVANJA
SYMPOSIUM VENUE**

Podgorica-Budva
17-20. septembar 1996. godine

SAVJETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

I	Beograd	1965.	XIV	Čačak	1980.
II	Zagreb	1966.	XV	Novi Sad	1981.
III	Ljubljana	1967.	XVI	Mostar	1982.
IV	Sarajevo	1968.	XVII	Budva	1983.
V	Kragujevac	1969.	XVIII	Niš	1984.
VI	Opatija	1970.	XIX	Kragujevac	1985.
VII	Novi Sad	1971.	XX	Beograd	1986.
VIII	Ljubljana	1973.	XXI	Opatija	1987.
IX	Niš	1974.	XXII	Ohrid	1989.
X	Beograd	1975.	XXIII	Zagreb (nije održano)	1991.
XI	Ohrid	1977.	XXIV	Novi Sad	1992.
XII	Maribor	1978.	XXV	Beograd	1994.
XIII	Banja Luka	1979.			

Odlukom Zajednice proizvodnog mašinstva Jugoslavije 1983. godine koja je i potvrđena
Pravilnikom obnovljene Zajednice 1994. godine ustanovljena je

POVELJA I PLAKETA "Prof. dr PAVLE STANKOVIĆ"

koja se dodjeljuje istaknutim naučno-istraživačkim radnicima u oblasti proizvodnog
mašinstva.

Dosadašnji dobitnici ovog značajnog priznanja su:

Za 1983. godinu

Prof. dr Rudolf Zdenković, dipl. ing
Prof. dr Vladimir Šolaja, dipl. ing
Prof. dr Julije Kremer, dipl. ing

Za 1984. godinu

Prof. dr Janez Peklenik, dipl. ing
Prof. dr Binko Musafija, dipl. ing

Za 1985. godinu

Prof. dr Predrag Popović, dipl. ing
Prof. dr Vladimir Milačić, dipl. ing

Za 1986. godinu

Prof. dr Branko Ivković, dipl. ing
Prof. dr Strezio Trajkovski, dipl. ing

Za 1987. godinu

Prof. dr Svetislav Zarić, dipl. ing
Prof. dr Josip Hribar, dipl. ing

Za 1988. godinu

Prof. dr Branislav Devedžić, dipl. ing
Prof. dr Elso Kuljanić, dipl. ing
Prof. dr Zoran Seljak, dipl. ing

Za 1992. godinu

Prof. dr Jožef Rekecki, dipl. ing
Prof. dr Sava Sekulić, dipl. ing
Prof. dr Joko Stanić, dipl. ing
Prof. dr Vlado Vujović, dipl. ing

Za 1994. godinu

Mile Benedetić, dipl. ing
Prof. dr Vuko Domazetović, dipl. ing
Prof. dr Milenko Jovičić, dipl. ing

**NAUČNI ODBOR
SCIENTIFIC COMMITTEE**

Prof. dr Vuko Domazetović, Predsjednik

Članovi: Ju. S. Avramov, MASI, Moskva, Rusija • Prof. dr I. Čosić, FTN, Novi Sad • Prof. dr S. Đekić, Mašinski fakultet, Priština • Prof. dr K. Ehmann, Nort Western University, Evanston, Illinois, SAD • O. A. Ganago, MASI, Moskva, Rusija • Prof. dr R. Gatalo, FTN, Novi Sad • Prof. dr A. Hrivniak, Tehnicka visoka skola, Kosice, Slovacka • Prof. dr B. Ivković, Mašinski fakultet, Kragujevac • Prof. dr R. Ječmenica, Tehnički fakultet, Čačak • Prof. dr M. Kalajdžić, Mašinski fakultet, Beograd • Prof. dr R. Kovačević, University of Kentucky, Lexington, SAD • Prof. dr K. Lenik, Politehnika Lubelska, Lublin, Poljska • Dr Lj. Lukić, LOLA Institut, Beograd • Prof. dr V. Mečanin, Mašinski fakultet, Kraljevo • Prof. dr E. Rižov, Kijev, Ukrajina • Prof. dr V. Stojilković, Mašinski fakultet, Niš • Prof. dr A. Swic, Politehnika Lubelska, Lublin, Poljska • Prof. dr G. Turmov, FESTU, Vladivostok, Rusija

**ORGANIZACIONI ODBOR
ORGANIZING COMMITTEE**

Prof. dr Vuko Domazetović, Predsjednik

Članovi: Prof. dr M. Perović • Prof. dr R. Vukasojević • Prof. dr Đ. Kovačević • Prof. dr M. Vukčević, organizacioni sekretar • Doc. dr M. Komnenić • Doc. dr Z. Krivokapić • V. Đukanović, Predsjednik Privredne komore Crne Gore i direktor HK Željezare Nikšić • B. Vujović, Direktor HI Obod, Cetinje • V. Čagorović, Direktor HI Radoje Dakić, Podgorica • Mr M. Bulatović • Mr V. Zogović • M. Janjić • R. Batljan.

**RECENZENTI
REVIEWERS**

Prof. dr V. Domazetović • Prof. dr J. Stanić • Prof. dr M. Kalajdžić • Prof. dr M. Perović • Prof. dr R. Vukasojević • Prof. dr P. Bojanić • Prof. dr M. Vukčević

PREDGOVOR

Katedra za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Podgorici je još 1983. godine bila organizator XVII Savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije.

Daljim radom i razvojem kako na obrazovnom, tako i na naučno-istraživačkom planu ponovo se afirmisala mogućnost da se povodom jubileja 25 godina studija mašinstva u Crnoj Gori i pet godina obrazovanja magistara tehničkih nauka iz ove oblasti preuzme priprema, vođenje i realizacija XXVI Savjetovanja koje će se održati u Budvi od 17. do 20. septembra tekuće godine.

Preuzimajući tako odgovoran zadatak imali smo prije svega želju da i pored svih teškoća nastavimo sa aktivnim doprinosom u prezentiranju, transferu i stvaranju novih znanja. Na ovaj način se stvaraju valjane osnove za prihvatanje i protok aktuelne istraživačko-razvojne misli, posebno u dijelu naših opredjeljenja da se uključimo u svjetske trendove napretka gdje moramo biti prepoznatljivi činioci stvaranja boljeg i humanijeg života.

Kroz osnovne tematske oblasti: Proizvodne tehnologije, Proizvodne tehnike, Upravljanje i optimizacija i Kvalitet, sa naglašavanjem njihovih podoblasti domaći i strani naučni i stručni radnici su iskazali svoje doprinose i viđenja daljeg rada i razvoja, što može biti od posebnog značaja za naš aktuelni trenutak tehničko-tehnološkog, privrednog i društvenog razvoja.

Prezentiranje svojih dostignuća i tendencija daljeg razvoja naučni radnici iz Jugoslavije i svijeta direktno utiču na afirmaciju i ubrzaniji razvoj proizvodnog mašinstva.

Pripremajući ovo međunarodno Savjetovanje imali smo sledeća opredjeljenja: (1) da se definiše i uspostavi trenutno stanje istraživanja u oblasti proizvodnog mašinstva, (2) da se definiše i utvrdi uloga proizvodnog mašinstva u narednom periodu razvoja industrije prerade metala i (3) da se programski odredi misija proizvodnog mašinstva za 21. vijek.

Vlada Crne Gore preko svojih ministarstava, Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu, sponzori iz industrije su svojom finasijskom podrškom omogućili organizovanje ovog Savjetovanja, dok se pokroviteljstvo i podrška Univerziteta Crne Gore i Crnogorske akademije nauka i umjetnosti ogledalo u naporima afirmacije i razvoja nauke i struke u oblasti proizvodnog mašinstva, na čemu im se i ovom prilikom zahvaljujemo.

Izražavamo posebnu zahvalnost svim domaćim i stranim autorima, članovima recenzentskog tima, kao i svim drugim koji su doprinijeli kvalitetnoj realizaciji programa Savjetovanja.

Podgorica, 01.08.1996.

V. Domazetović

FOREWORD

The Department of Production Engineering of the School of Mechanical Engineering in Podgorica was an organizer of the 17th Symposium on Production Mechanical Engineering in 1983.

By its further work and advancement in both educational and scientific and research work, there arose the possibility, on the occasion of jubilee of 25 years of the Mechanical Engineering studies in Montenegro and five years of post-graduate engineering studies in this field, to take on the preparation, guiding and realization of the 26th Symposium which is going to be held at Budva from 17th to 20th of September of this year.

Taking on such a responsible task, notwithstanding all the difficulties, we wanted to continue and active contribution to presenting, transferring and making new knowledge. This makes it possible for the valid bases for accepting and flowing of actual research - development thought to exist, especially at our being determined to join the world development trends, thus having to be recognizable factors of making a better and more humane life.

Through the basic subject matter: Production technologies, Production techniques Governing and Optimization and Quality, pointing out their sub-fields as well, both home and foreign scientific and research workers have contributed to anticipating further work and advancement, which might be of a special importance for our actual time of the engineering (technical) and technological, economic and social development.

By presenting their achievements and tendencies of a further development, the research workers from both Yugoslavia and other foreign countries have influenced directly on the affirmation and a quicker development of the Production Mechanical Engineering.

Preparing this International Symposium we have had in mind the following determinations and choices: (1) to define and establish an actual state of making research in the field of Production Mechanical Engineering, (2) to define and determine the role of the production Mechanical Engineering in the further period of the metal-working industry development, and (3) to determine a programme mission of the Production Mechanical Engineering for the 21st century.

The government of Montenegro through its ministries, the Federal Ministry of development, Science and Environment, and the sponsors from industry have made it possible by their financial support for the Symposium to be held, whereas the patronage and support of the University of Montenegro and the Academy of Science and Art of Montenegro have been shown in their effort to affirm and develop science and professions in the field of Production Mechanical Engineering, thus we remain thankful to them.

We express our special gratitude to all home and foreign authors, members of the Review Team, as well as to all others that have contributed to the quality of the Symposium programme realization.

Podgorica 1/8/1996

V. Domazetović

SADRŽAJ CONTENS

UVODNI REFERAT INTRODUCTORY PAPER

Prof. dr Vuko Domazetović UVODNI REFERAT	XXXIX
---	-------

A. PROIZVODNE TEHNOLOGIJE A. MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Tehnologija plastičnosti Technology of Plasticity

A1. S. Aleksandrović GRANIČNA DEFORMABILNOST NERĐAJUĆIH TANKIH LIMOVA U USLOVIMA NEMONOTONOG PROCESA DEFORMISANJA	3
A2. S. Aleksandrović, M. Stefanović INTEGRALNI PRISTUP PRI ANALIZI DEFORMABILNOSTI TANKIH LIMOVA.....	9
A3. Lj. Bogdanov, Lj. Đorđević, D. Miković KOVANJE OTKOVAKA OD MESINGA SA UBADANJEM.....	15
A4. V. Domazetović, M. Janjić, S. Zogović MODELIRANJE RADNOG PRITISKA PRI PRESOVANJU OSNOSIMETRIČNIH ELEMENATA U OTVORENIM KALUPIMA	23
A5. V. Domazetović, M. Vukčević, M. Janjić UPOREĐENJE TEORIJSKIH I EKSPERIMENTALNIH PRITISAKA PRI ZAPREMINSKOM OBLIKOVANJU OSNOSIMETRIČNIH ELEMENATA U OTVORENIM KALUPIMA	29
A6. S. Dumitrasku, L. Blaj, I. Glavadanov ELASTOPLASTIC BEHAVIOUR OF MATERIALS UNDER CYLIC LOADING: A COMPUTER STUDIO.....	35
A7. A. Hrivnak, E. Evin FORMABILITY OF HOT ROLLER STEEL PLATES.....	39
A8. A. Hrivnak, F. Greškovič CONTRIBUTION ABOUT FINE BLANKING OF PRODUCTS FROM SHEET	43
A9. M. Janczarek, MODEL OF PROJECT INTERNAL WALLS OF THERMAL TECHNICAL SPACES IN ASPECT OF CONTROL OF THEIR HEAT PROCESSES	49

A10. M. Malec, K. Lenik, P. Penkala WINNIG OF PROTECTIVE COATING THROUGH METAL SPRAYING FOR INCREASE OF TOOL LIFE	53
A11. D. Nikolić OSNOVNE KARAKTERISTIKE I MOTGUĆNOSTI KOVANJA U STANJU SUPERPLASTIČNOSTI MATERIJALA	59
A12. M. Plančak, D. Vilotić, V. Vujović, I. Trbojević, M. Milutinović, P. Skakun NEKI ASPEKTI PRIMENE TEHNOLOGIJE PLASTIČNOSTI U IZRADI FINALNIH DELOVA ("NET SHAPE FORMING")	65
A13. P. Popović, D. Temeljovski, Lj. Đorđević, Z. Punoševac PRILOG ODREĐIVANJU DIJAPAZONA PROMJENE HODA PRITISKIVAČA EKSCENTARSKIH PRESA	71
A14. S. Randelović, V. Stojiljković PRIMJER JEDNOSATAVNIJE ANALIZE PROCESA DEFORMISANJA POMOĆU RAČUNARA	77
A15. N. Sređić, M. Miljuš PRILOG ISTRAŽIVANJU OPTIMALNOG ODNOSA PRITISKA I ZATEZANJA KOD HLADNOG VALJANJA NA MNOGOVALJKASTIM STANOVIMA	83
A16. M. Stefanović, S. Aleksandrović, M. Samardžić ZNAČAJ DEFORMACIONE ANALIZE PRI OCJENJIVANJU KVALITETA MAZIVA ZA DUBOKO IZVLAČENJE	91
A17. A. Swić, K. Lenik THE ECONOMICAL ANALYSIS OF FRAME WORKING IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM (FMS)	97
A18. T. Todić, S. Đekić ANALITIČKO I EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE TEMPERATURA NA RADNIM POVRŠINAMA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE	105
A19. D. Vilotić, M. Plančak, V. Vujović, I. Trbojević, M. Milutinović, P. Skakun ANALIZA PROCESA SABIJANJA VALJAKA POMOĆU SFERIČNIH ALATA	111
A20. V. Vujović, D. Vilotić, M. Plančak, I. Trbojević, M. Milutinović, P. Skakun ANALIZA DEFORMABILNOSTI I PROJEKTOVANJA VIŠEFAZNOG OBLIKOVANJA KAO FUNKCIJE ISTORIJE DEFORMISANJA	117
A21. M. Vukčević, Z. Krivokapić SISTEM ZA RAČUNARSKO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE KOVANJA U OTVORENIM KALUPIMA	123

**Tehnologija obrade rezanjem
Technology of Cutting Processes**

A22. D. Blagojević, B. Predojević ISTRAŽIVANJE KONSTRUKCIJE I TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE DIJAMANTSKIH TOČILA	131
--	-----

A23. Lj. Đorđević, G. Miodragović, G. Petković UTVRĐIVANJE ZAVISNOSTI KRUŽNOSTI OD REŽIMA REZANJA	137
A24. G. Globački, J. Stanić OPŠTIMIZACIJA PROCESA SPOLJAŠNJEG KRUŽNOG UZDUŽNOG BRUŠENJA PREMA TROŠKOVIMA OBRADNE	143
A25. M. Jovičić, J. Stanić, V. Majstorović, Lj. Tanović OBRADA PRI VELIKIM BRZINAMA REZANJA, OBLASTI PRIMENE I KARAKTERISTIKE OBRADNOG SISTEMA	151
A26. J. Jurko THE TOOLS SYSTEM ISCAR-TRIGON AND ISCAR-DRILL BY MACHINING OF STEELS	157
A27. A. S. Klímenko, G. L. Polonskij, P. P. Meljničuk UPRAVLJENJE ŠEROHOVATOSTJU POVRŠNOSTI PRI TOČENIJI IZDELJ S POKRITIJAMI	165
A28. J. Kopač, M. Soković, K. Mijanović EKOLOŠKI PARAMETRI SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE I NJIHOV UTICAJ NA PROCES REZANJA	171
A29. J. N. Korž ELEKTROFIZIČESKI METOD ŠLIFOVANJA ZUBČATIH KOLES KRUGAMI IZ SVERHTBERDIH MATERIJALOV	179
A30. V. Majstorović NOVI PRILAZ ISTRAŽIVANJU OBRADLJIVOSTI	183
A31. B. Marinković UTICAJ REŽIMA OBRADNE NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE PRI RAVNOM BRUŠENJU	191
A32. B. Marinković UTICAJ PRESJEKA I STEPENA VITKOSTI STRUGOTINE NA OTPORE REZANJA U OBRADI STRUGANJEM	197
A33. V. Marinov ON VISCOUS FLUID FLOW SIMILARITY IN METAL CUTTING (AN OVERVIEW)	203
A34. D. Milikić, M. Sekulić, S. Uzelac, M. Gostimirović RAČUNARSKI SISTEM ZA ODREĐIVANJE KONSTANTI U KIJENZLE--ovoj JEDNAČINI ZA OTPORE REZANJA PRI GLODANJU	209
A35. P. Monka CUTTING EDGE NOT PARALLEL WITH AXIS OF WORKPIECE	215
A36. B. Nedić, B. Tadić, R. Mitrović, R. Ječmenica PRILOG IZUČAVANJU PROCESA OBRADNE STRUGANJEM SA ASPEKTA ANALIZE OTPORA REZANJA	221
A37. R. Nikolić, J. Našović, S. Đorđević, G. Miodragović ODREĐIVANJE OPTIMALNE DUBINE DIFUZIONOG SLOJA ZAVOJNIH BURGIJA OSLOJENIH POSTUPKOM JONSKOG NITRIRANJA	227
A38. V. S. Rjabčenko, V. E. Rižov IZNOS KRUGOV IZ SVERHTVERDIH MATERIJALOV PRI ŠLIFOVANJU ZUPČATIH KOLES	233

A39. V. E. Rižov, A. S. Klimenko OCENKA SOSTOJANIJA NAPLAVNENNOVO POVERHNOSTNOVO SLOJA, OBRABOTNOVO INSTRUMENTOM IZ PSTM.....	237
A40. S. Sekulić, S. Bogičević, S. Dudić O MOGUĆNOSTI PRIMENE POLINOMALNE FUNKCIJE RASPODELE NA PRIMERU REZNOG ALATA	243
A41. S. Sekulić, R. Dakić, N. Radaković PRIKAZ PROGRAMSKOG REŠENJA ZA UNUTRAŠNJU OPTIMIZACIJU PROCESA CILINDRIČNOG SPOLJAŠNJEG BRUŠENJA METODOM SIMULACIJE	249
A42. M. Soković, S. Novak, B. Navinček MODEL OF IMPROVEMENT OF CERMET TOOL PERFORMANCE BY TIN (PVD) COATING.....	255
A43. V. T. Stoicu, R. Sandor A CASE TOOL FOR LOCAL PROCESS CONTROL, AND INSTRUMENTATION APPLICATIONS DEVELOPEMENT	261
A44. IJ. Tanović UTICAJ REŽIMA BRUŠENJA NA OŠADIVOST KERAMIKE SILINIT R.....	267
A45. S. Trajkovski PRECIZNIJE ODREĐIVANJE VREDNOSTI MAŠINSKOG ČASA, JEDAN OD USLOVA ZA EKONOMIČNIJU PROIZVODNJU	273
A46. I. Vasić, M. Kalajdžić OPTIMIZACIJA ČEONOG GLODANJA	279
A47. M. Vučićević, M. Dimitrić ISPITIVANJE HABANJA ALATA PRI PROFILNOM I KONTURNOM STRUGANJU SINTEROVANIH MATERIJALA V556 I PMF15.....	285
A48. D. Vukelja, R. Savić, B. Marković, S. Stojković OPTIMIZIRANJE DEBLJINE REZNE PLOČICE ALATA KOD UPRAVLJANJA TERMIČKIM STANJIMA U OBRADI REANJEM	291
A49. V. Zogović, R. Vukasović UTICAJ REŽIMA REZANJA NA POZICIONU TAČNOST PRI OBRADI BUŠENJEM... 297	297
A50. I. P. Yashcheritsyn, N. N. Popok, L. M. Kheifetz KINETIC OF CHIP FORMATION AND FORMING OF SUPERFICIAL LAYER IN CUTTING	305

**Nekonvencionalne i druge tehnologije
Nontraditional Machining**

A51. L. Brestovački, L. Šidčanin, M. Novović, B. Sabo, J. Dakić TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA TEHNIČKOG TITANA VTI-O Ti6 POSTUPKOM BEZ PRIPREME OSNOVNOG MATERIJALA.....	315
--	-----

A52. J. Čaloska, J. Lazarev UTICAJ TERMIČKE OBRADNE NA OBRADLJIVOST ČELIČNIH LIMOVA FINIM PROSECANJEM	323
A53. S. Đurić, T. Pantelić, Z. Vesić, M. Jakovlević AUTOMATSKO ZAVARIVANJE TANKIH LIMOVA.....	329
A54. V. I. Georgiev, I. L. Ilkova, D. K. Stankov, E. V. Georgieva INVESTIGATION OPERATION MODE PARAMETERS INFLUENCE ON TECHNOLOGICAL INDICES UNDER LOCAL ELECTRIC SPARK PILING OF TOOLS	335
A55. M. B. Jevtić, P. Miljuanić, D. Nikolić, M. Dostanić, M. Savić ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NEKONVENCIONALNIH VISOKO BRZINSKIH TEHNOLOGIJA OBRADNE DEFORMISANJEM.....	339
A56. S. Mitrović, Z. Canić UTICAJ POHABANOSTI OSNOVNIH ELEMENATA TMS-a EKSTRUDERA NA KVALITET EKSTRUDATA U KABLOVSKOJ INDUSTRIJI.....	345
A57. M. Ninković, Z. Lazić PREDNOST ELEKTRO-EROZIVNE OBRADNE SA ŽIČANOM ELEKTRODOM U ODNOSU NA METODE OBRADNE REZANJEM	351
A58. M. Perović, M. Vukčević NEKI ASPEKTI IZBORA POSTUPAKA OBNAVLJANJA ĐELOVA IZLOŽENIH HABANJU U PROCESNOJ INDUSTRIJI	357
A59. V. Radić KARAKTERISTIKE PROCESA ZAVARIVANJA EKSPLOZIVOM SA ISTOVREMENIM OBLIKOVANJEM	363
A60. M. Radovanović, J. Stanić, LJ. Janković, D. Lazarević, P. Dašić ISTRAŽIVANJE KVALITETA OBRADNE KOD LASERSKOG SEČENJA.....	369
A61. V. E. Rižov POVIŠENJE KAČESTVA DETALEJ PRI KOMBINIRANOJ LEGURUJUŠĆE- DEFORMIRUJUŠĆEJ OBRABORKE SVEDENIJEM ELEKTRIČESKOVO TOKA (LDEO)	375
A62. E. J. Rižov ULUČENJE ANTIFRIKCIJSKIH SVOJSTV STALNIH DETALEJ PAR TRENJA V PROCESE ALMAZNOVO HONINGOVANJA	379

**Novi konstrukcioni i alatni materijali
New Materials**

A63. B. Ćirković, M. Maksić, T. Todić, D. Vukićević IZBOR OPTIMALNE NOSEĆE KONSTRUKCIJE PRESE IZRAĐENE OD KOMPOZITNOG MATERIJALA GVOŽĐE-BETON.....	383
A64. S. Janković KVALITET OBRADNE POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA.....	389

A65. P. Janković, B. Ćirković, P. Blagojević, D. Petković, D. Vukićević VLAKNASTI KOMPOZITI KAO GRADIVNI MATERIJALI U MAŠINOGRADNJI	395
A66. P. Kovač, M. Novović, L. Šiđanin, S. Milićev UTICAJ MIKROSTRUKTURE MODULARNOG LIVA NA PROCES STVARANJA STRUGOTINE	401
A67. V. Marinković, J. Nikolić MEHANIČKE I PLASTIČNE KARAKTERISTIKE NERĐAJUĆEG ČELIKA Č.4574	407
A68. M. Novović, L. Šiđanin, B. Sladojević MEHANIZMI I MORFOLOGIJA ADI MATERIJALA	415
A69. A. Zjumbilev, N. Tonchev OPTIMIZING THE PROPERTIES OF ION-NITRIDED LAYERS	421

Montaža Assembly

A70. I. Ćosić, Z. Anišić ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI POVIŠENJA FLEKSIBILNOSTI U MONTAŽNIM SISTEMIMA	427
---	-----

Održavanje Maintenance

A71. M. Bulatović EKSPERTNI SISTEM U FUNKCIJI PREDVIĐANJA I SPREČAVANJA OTKAZA MAŠINA	433
A72. M. Bulatović, Đ. Kovačević ISTRAŽIVANJE EFEKTIVNOSTI U PROCESNOJ INDUSTRIJI	441
A73. D. Ćatić, S. Jovičić, S. Arsovski PROGRAMSKO ODREĐIVANJE PARAMETARA VEJBULOVE TROPARAMETARSKA APROKSIMATIVNE RASPOĐELE	447
A74. R. Gligorijević ZNAČAJ POSTUPKA OTVRDNJAVANJA SPARENIH POVRŠINA KRETNIH SKLOPOVA NA NJIHOVU POUZDANOST URADU	453
A75. S. Jovičić, S. Stojković, D. Ćatić, N. Marjanović PRORAČUN POUZDANOSTI TORZIONIH VRATILA SA ASPEKTA TAČNOSTI IZRADE	459
A76. S. Kecojević, I. Beker, D. Stanivuković, M. Šilobad PRIKAZ I KRITIČKA ANALIZA STANJA I RAZVOJA FUNKCIJE ODRŽAVANJA U JUGOSLAVIJI	465

A77. M. Kolarević, T. Pantelić METODOLOGIJA KONTROLE I ISPITIVANJA RADNIH KARAKTERISTIKA ELEKTRO-HIDRAULIČNIH PRESA	471
A78. S. Marković, NEKE UPOREDNE KARAKTERISTIKE ZUPČANIK SA POLOMLJENIM ZUPCIMA REGENERISANIH RAZLIČITIM METODIMA	477
A79. N. Milić, B. Jeremić, M. Babić DOMINANTNI OTKAZI OBRADNIH CENTARA U PROCESU EKSPLOATACIJE	483
A80. R. Mitrović, D. Radonjić, A. Davinić, S. Mitrović IDENTIFIKACIJA STANJA MAŠINSKIH SISTEMA ANALIZOM SIGNALA VIBRACIJA	489
A81. G. Nastić, D. Anđelković PRAĆENJE TROŠKOVA ODRŽAVANJA NA RAČUNARU	495
A82. A. Rac TRIBOLOŠKI ASPEKTI ODRŽAVANJA PROIZVODNE OPREME	501
A83. L. Vujović SPECIFIČNOSTI ODRŽAVANJA BRODA KAO TEHNIČKOG SISTEMA	507
A84. D. Vukićević, D. Radović SIMULACIONI MODEL ZA ODREĐIVANJE OPREME ZA ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SREDSTAVA	513
A85. LJ. Zirojević UPRAVLJANJE PROCESOM OBEZBEDENJA REZERVNIH DIJELOVA	519
A86. V. Zeljković, M. Đapić, I. Obradović UNAPREĐENJE DIJAGNOSTIKE ALATNIH MAŠINA	525

B. PROIZVODNE TEHNIKE B. MANUFACTURING TECHNIQUES

Fleksibilni proizvodni sistemi Flexible Manufacturing Systems

B1. R. Albijanić, M. Kalajdžić, V. Bošković MATEMATIČKO EKSPERIMENTALNE METODE U ANALIZIDINAMIČKOG PONAŠANJA ALATNIH MAŠINA	533
B2. M. Gemaljević, T. Danojlić, Z. Radosavljević VISOKOFREKVENTNA VRETENA	541
B3. M. Gemaljević, I. Pilipović, S. Milanov MAŠINE ZA OBRADU DRVETA - CNC ILI NE?	547
B4. M. Glavonjić, D. Milutinović NOVI KINEMATIČKI PODSISTEM MAŠINE ALATKE	553

B5.	LJ. Janković, Z. Jugović UPOREDNA ANALIZA TOPLNOTNOG OPTEREĆENJA DVA RAZLIČITA ULEŽIŠTENJA GLAVNOG VRETENA ALATNE MAŠINE	559
B6.	LJ. Lukić, M. Milojević, R. Albijanić, T. Pijevac, N. Radovanović INTERDISCIPLINARNI PRISTUP ISTRAŽIVANJU I RAZVOJU U OBLASTI FLEKSIBILNE AUTOMATIZACIJE	565
B7.	V. Mečanin, R. Slavković, M. Savković OPTIMIZACIJA OBRADNE BAZNIH POVRŠINA SLOŽENIH NEROTACIONIH OBRADAKA	571
B8.	M. Mijanović ANALIZA UPRAVLJAČKIH ZAHTEVA KOD FPS-A.....	577
B9.	Z. Radosavljević, R. Albijanić, S. Stojković PRIMJENA MKE U DEFINISANJU NUMERIČKI UPRAVLJANIH OBRATNIH STOLOVA	585
B10.	S. Stojković, R. Radiša RAČUNARSKI PODRŽANA METODA ZA AUTOMATSKU SINTEZU POMOĆNIH PRIBORA PALETNIH SISTEMA	591
B11.	V. A. Taranenko, O. P. Čub STRUKTURNI I PARAMETRIČESKI SINTEZ GPS MEHANOBRABOTKI DETALEJ TIPA TEL VRAŠĆENIJA	597
B12.	S. M. Wang, K. Ehmann AN OVERVIEW OF ACCURACY ANALYSIS AND ERROR COMPENSATION FOR A STEWART PLATFORM	605

**Alati i pribori
Tools and Equipments and Sensors**

B13.	D. Banjac, D. Novović, V. Pejić ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ KONSTRUKCIJE KRUŽNOG SAMOBRATNOG NOŽA.....	611
B14.	L. G. Dobrovoljskaja LAZERNAJA PRAVKA ALMAZNIH KRUGOV NA METALIČESKIH SVJASKAH	619
B15.	M. Rodić, D. Novaković, V. Todić, M. Stević AUTOMATIZACIJA RUKOVANJA PRIBORIMA I NJIHOVIM ELEMENTIMA U FPS ZA ROTACIONE ĐELOVE.....	625
B16.	R. Slavković, S. Ćurčić ISKUSTVA IZ OBRADNE PLOČASTIH NOŽEVA ZA PAPIRNU INDUSTRIJU.....	631

**CAD/CAM/CAE sistemi
CAD/CAM/CAE systems**

B17.	Babić, R. Rakanović, D. Petrović JEDAN PRISTUP U POVEZIVANJU PROCESA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOGIJE PREMA KONCEPTU SIMULTANOG INŽENJERSTVA	637
B18.	R. Batljan, R. Vukasojević, S. Savićević FORMIRANJE MODELA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE ROTACIONIH ĐELOVA NA STRUGU NA OSNOVU CAD MODELA.....	643
B19.	P. Bojanić MODELIRANJE PROIZVODA - OSNOVNA INTEGRACIJA CAD/CAPP/CAM SISTEMA	651
B20.	M. Danilović, Ž. Arsenić, J. Todorović PRIMENA CAD TEHNOLOGIJE U PROJEKTOVANJU TANJIRASTIH OPRUGA FRIKCIJONIH SPOJNICA ZA MOTORNA VOZILA.....	659
B21.	V. Gečevska, V. Pavlovski MODELIRANJE MAŠINSKOG PROIZVODA U FUNKCIJI AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA.....	665
B22.	S. Jokanović ALGORITAM ZA PRESLIKAVANJE IZ 2D PROSTORA PROJEKCIJE U 3D PROSTOR OBJEKTA.....	671
B23.	V. Jovišević PRIKAZ AUTOMATIZOVANOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA NUMERIČKE MAŠINE UZ PODRŠKU PC RAČUNARA.....	679
B24.	V. Jovišević, J. Stanić, V. Todić INTEGRACIJA EKSPERTNOG SISTEMA I MODELA OPTIMIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADNE	687
B25.	N. Kablar, B. Potežica, D. Radojević PRIMENJIVOST PC RAČUNARA U IZRADI NC PROGRAMA.....	695
B26.	Z. Marković, M. Manić, D. Mišić, G. Janevski KONCEPT SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE NAVRTKI U FABRICI VIJAKA.....	701
B27.	D. Novović, R. Vukasojević, D. Banjac, V. Todić IZBOR REDOSLEDA ZAHVATA PRIMENOM EKSPERTNIH SISTEMA PRI PROJEKTOVANJU PROCESA OBRADNE NA OBRADNIM CENTRIMA	707
B28.	R. Puzović, M. Kalajdžić SISTEM ZA INTERAKTIVNO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA OPERACIJE PROSTRUGIVANJA NA OBRADNOM CENTRU	713
B29.	S. Savićević, R. Vukasojević, R. Batljan ANALIZA NAPONA I DEFORMACIJA U KONSTRUKCIJSKIM ELEMENTIMA OBLIKA ZAVOJNE LJUSKE	719
B30.	M. Sarvan, Lj. Dudeski, V. Dukovski, G. Vrtanoski UTICAJ KRUTOSTI OSLOMACA NA STATIČKO PONAŠANJE NOSEĆE STRUKTURE MAŠINA ALATKI.....	727

B31. M. Stefanova, Lj. Dudeski, G. Vrtanski KOMPJUTERSKA PODRŠKA GRAFIČKOJ VIZUELIZACIJI 3-D MODELA PRIBORA I ANALIZI NAPONA I DEFORMACIJE OBRATKA.....	733
B32. N. Trišović, T. Maneski, D. Ostrić FORMIRANJE REDUKOVANOG KONAČNO - ELEMENTNOG MODELA ZA TANKE PLOČE	739
B33. M. Živanović, P. Dragičević, D. Radojević, M. Živanović SIMULACIJA CAE MODULOM PROCESA TEMPERIRANJA ALATA ZA OBLIKOVANJE PLASTIKE	745

Metrološki sistemi i senzori
Metrological Systems

B34. Lj. Marković, S. Perišić INTELIGENTNI METROLOŠKI SISTEMI U KONTROLI KVALITETA PROIZVODNIH PROCESA.....	751
B35. Z. Pandilov, V. Dukovski, Lj. Dudevski ANALYTICAL CALCULATION OF THE POSITION LOOP GAIN FOR CNC MACHINE TOOLS.....	757
B36. M. Rakić, V. Majstorović FORMIRANJE KOORDINATNOG SISTEMA MERENJA POMOĆU EKSPERTNOG SISTEMA ZA INSPEKCIJU.....	763
B37. M. Rodić, M. Stević, D. Novaković PROVERA TAČNOSTI KORDINATNIH MERNIH MAŠINA.....	769
B38. V. Vukićević PRIMENA LASERSKIH I OPTIČKIH MERNIH SISTEMA PRI UTVRĐIVANJU GEOMETRIJSKE I RADNE TAČNOSTI MAŠINSKIH SISTEMA.....	775

Industrijski roboti
Industrial Robots

B39. P. Petrović, V. R. Milačić UPRAVLJANJE POPUSTLJIVOŠĆU MANIPULACIONIH ROBOTA SA ASPEKTA NJIHOVE PRIMENE U TEHNOLOGIJI MONTAŽE	781
B40. M. Rogić, D. Davidović AUTOMATSKO GENERISAÑJE INVERZNE KINEMATSKE TRANSFORMACIJE NERUDANTNIH ROBOTA.....	787

C. UPRAVLJANJE I OPTIMIZACIJA
C. CONTROL AND OPTIMIZATION

Upravljanje sistemima i procesima
Systems and Process Control

C1. M. Bajić, N. Vujasinović KVALITET UPRAVLJANJA U ZAVISNOSTI O KVALITETU INFORMACIJA U DONOŠENJU ODLUKA.....	795
C2. Z. Đurđević, M. Dragović PRAKTIČNA ISKUSTVA PRI ODREĐIVANJU VELIČINE SERIJE.....	801
C3. M. Govedarica, B. Živković, I. Čosić PRIKAZ IIS*IDB - OBJEKTNO ORJENTISANOG ALATA ZA RAZVOJ SISTEMA ZASNOVANIH NA ZNANJU	807
C4. R. Kovacevic, Y. M. Zhang, L. Li, H. Beardsley SENSING AND CONTROL OF WELD POOL GEOMETRICAL APPEARANCE.....	813
C5. Z. Đ. Miljković, B. Kokotović ITELEGENTNO UPRAVLJANJE AUTONOMNIM TEHNOLOŠKIM SISTEMIMA.....	825
C6. M. Pilipović, A. V. Stojadinović PRISTUP PROJEKTOVANJU SISTEMU UPRAVLJANJA NA BAZI PROGRAMABILNIH UPRAVLJAČA.....	831
C7. S. Radojević, V. Spasojević GENERATIVNI OBJEKAT ZA OTVARANJE NEOPHODNIH DATOTEKA U PROIZVODNIM INFORMACIONIM SISTEMIMA.....	837
C8. M. Stojiljković JEDAN PRISTUP ZA OBELEŽAVANJE IZVRŠNIH ORGANA KOD KASAT NA BAZI PNEUMATIKE	843
C9. M. Stojiljković, Đ. Mitić DINAMIČKA ANALIZA MODELA JEDNE KLASSE ELEKTRO-PNEUMATCKIH SISTEMA BAZIRANIH NA PC-RAČUNARU	849
C10. Y. M. Zhang, R. Kovacevic MONITORING OF THREE-DIMENSIONAL ARC WELD POOL SURFACE.....	855

Modeli sistema i procesa
Systems and Process Models

C11. Ž. Avramov ENTROPIJA PROIZVODNOG SISTEMA I ENTROPIJSKO PRIGUŠENJE	867
C12. I. G. Grabar TERMOAKTIVACIONAJA MODEL USKORENIH CERTIFIKACIONIH ISPITANIJ SVARNIH SOJEDINENIJ.....	873

C13. P. Ivanović, D. Trifunović, V. Kalanović ANLIZA INTERAKCIJA U PROSTORU STANJA POSLOVNO-PROIZVODNIH SISTEMA KAO OSNOV MOGUĆEG PRILAZA ZA GRADNJU STRATEGIJE EFIKASNOG RADA.....	877
C14. D. Letić, D. Lupovac, P. Dimitrijević SUPERPONIRANI TOKOVI MATERIJALA U MAŠINOGRADNJI MREŽNE STRUKTURE PROTOKA.....	883
C15. D. Petrović, U. Bugarić ODREĐIVANJE OPTIMALNOG BROJA RADNIH MJESTA U FUNKCIJI DOLAZNOG TOKA NA PRIMERIMA MONTAŽE I KOMISIONIRANJA	889
C16. J. Stanić RAZVOJ SADOP SISTEMA ZA OPTIMIZACIJU OBRADNIH PROCESA.....	895
C17. J. Tauzović SAVRŠENOST OPERACIONOG UPRAVLJANJA.....	901
C18. V. Vulanović, Ž. Avramov UTICAJ ENTROPIJSKOG PRIGUŠENJA I UPRAVLJAČKOG RADA NA STEPEN ISKORIŠĆENJA PROCESA	907

**Simulacije
Simulations**

C19. A. I. Dashchenko, O. A. Dashchenko, A. L. Karunin, D. H. Ludwig SIMULATION OF THE COMPLEX MANUFACTURING SYSTEMS AS THE BASIS FOR WORKING OUT OF NEW CALCULATION METHODS.....	913
C20. C. Krsmanović, N. Vujasinović SIMULACIJA PROIZVODNIH PROCESA U SAVREMENIM SISTEMIMA ZA PODRŠKU UPRAVLJANJU PROIZVODNOM.....	921
C21. S. Martić OSNOVE INTERAKTIVNOG GRAFIČKOG PROGRAMIRANJA MAŠINA ALATKI.....	927
C22. R. Vukasojević NOVI PRISTUP PROJEKTOVANJU I ANALIZI FPS	931
C23. R. Vukasojević ANALIZA FABRIKE PRIMJENOM SOFVERSKEG PAKETA ZA ANALIZU FPS	937

**Ekspertni sistemi i neuronske mreže
Expert Systems and Neural Network**

C24. V. Anna SEMI-AUTOMATED WORKPLACES FOR WELDING OF BULKY CONTAINERS MODULES.....	943
---	-----

C25. V. Anna, A. Annova SORTER AND SELECTION OF ENGINEERING TECHNOLOGICAL PROCESSES ..	949
C26. D. Erić, V. Drobnjak, M. Milošević, D. Radović EKSPERTNI SISTEMI U FUNKCIJI CAD/CAM TEHNOLOGIJA.....	953
C27. Z. Krivokapić, V. Zogović PRIMJENA NEURALNIH MREŽA U PRAĆENJU STANJA ALATA.....	959
C28. M. Manić, D. Domazet, M. Trajanović, D. Mišić, G. Devedžić MODELIRANJE BAZE ZNANJA I BAZE PODATAKA KOD EKSPERTNIH CAPP SISTEMA	965
C29. Z. Petrović, S. Ivanović, Ž. Spasić OPTIMIZACIJA UČENJA NEURO MREŽE EKSPERTNOG SISTEMA POMOĆU GENETSKIH ALGORITAMA	971
C30. M. Štampfer, S. Radak EKSPERTNI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE KUĆIŠTA PRENOSNIKA NA OBRADNIM CENTRIMA.....	977
C31. I. Vojtko, T. Saloky, J. Piteľ NONLINEAR FUNCTION OF NEURON WITH PREDICTION.....	983

**CIM sistemi
CIM Systems**

C32. S. Arsovski, Z. Arsovski, M. Banković, M. Čomić, N. Pecelj RAZVOJ CIM SISTEMA U DOMAĆIM INFRASTRUKTURNIM USLOVIMA	989
C33. M. Banković, Z. Arsovski, S. Arsovski UPRAVLJANJE TROŠKOVIMA U CIM OKRUŽENJU	997
C34. Š. Cvetković, S. Arsovski GLAVNE FUNKCIJE PROIZVODNOG SISTEMA SA JUST-IN-TIME KONCEPTOM. 1005	
C35. Ž. Spasić CIM-SISTEMI U RELACIJI "ISTRAŽIVANJE-RAZVOJ-PRIMENA-OBRAZOVANJE ...	1011

**D. KVALITET
D. QUALITY**

D1. D. Čupać, B. Popović PROJEKTOVANJE BAZE PODATAKA TROŠKOVA KVALITETA.....	1019
D2. D. Čolović, S. Ilić, B. Milenković KOMPJUTER KAO SREDSTVO ZA ISPUNJENJE ZAHTEVA STANDARDA KVALITETA	1025

- D3. J. Dutina, Z. Krivokapić, M. Zindović, I. Dedić, B. Đurović, R. Perunović
UNAPREĐENJE I UVOĐENJE SISTEMA KVALITETA U H.I. "RADOJE DAKIĆ"..... 1031
- D4. D. Milanović, S. Pavićević
ZNAČAJ MENADŽERSKIH AKTIVNOSTI ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH
INOVACIJA PREMA STANDARDU JUS ISO 9000..... 1039
- D5. R. Molnar, P. Zoli, P. Dimitrijević
POSTUPAK UVOĐENJA KVALITETA U SLUŽBI ODRŽAVANJA 1045
- D6. J. Muransky
EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL LEVEL OF ENGINEERING WORKS
AND THEIR PRODUCTS..... 1051
- D7. T. Pantelić, P. Dašić
ISTRAŽIVANJE POUZDANOSTI PROIZVODA PRI NJEGOVOJ MODERNIZACIJI .. 1057
- D8. M. Perović, R. Šofranac
JEDAN PRISTUP RAZVOJU SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆU..... 1063
- D9. B. Petrović
SYSTEMSKI PRILAZ U RAZVOJU I KONSTRUKCIJI PROIZVODA 1069
- D10. B. Popovic A. Maksimović
PROJEKTOVANJE I UVOĐENJE SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆIMA
METALSKE INDUSTRIJE 1075
- D11. S. Smiljanić
PROIZVODNI ALATI U SISTEMU KVALITETA..... 1081
- D12. G. V. Taranenko, V. A. Taranenko
TEHNOLOGICESKIJE METODI POVIŠENJA BEZOPASNOSTI
METALLOBRABOTKI NEŽESTIH OSESIMETRIČNIH DETALEJ NA ETAPE
PODGOTOVKI PROIZVODSTVA..... 1087
- D13. R. Tomić
SISTEM OSIGURANJA KVALITETA PROIZVODA S ASPEKTA PRIPREMNIH
FUNKCIJA I PODRŠKE PROIZVODNJI..... 1095

SPISAK AUTORA LIST OF AUTHORS

- | | | |
|------------------|----------------------|-----------------|
| Albijanić R. | Dakić J. | Gostimirović M. |
| Aleksandrović S. | Danić M. | Govedarica M. |
| Anđelković D. | Danojlić T. | Grabar G. I. |
| Anišić Z. | Dashchenko A. O. | Grešković F. |
| Anna V. | Dashchenko I. A. | |
| Annova A. | Davidović D. | Hrivnak A. |
| Arsenić Ž. | Davinić A. | |
| Arsovski S. | Dedić I. | Ilić S. |
| Arsovski Z. | Devedžić G. | Ilkova I. I. |
| Avramov Ž. | Dimitrić M. | Ivanović P. |
| | Dimitrijević P. | Ivanović S. |
| Babić A. | Dobrovoljskaja G. L. | |
| Babić M. | Domazet D. | Jakovlević M. |
| Bajić M. | Domazetović V. | Janczarek M. |
| Banjac D. | Dostanić M. | Janevski G. |
| Banković M. | Dragičević P. | Janjić M. |
| Batljan R. | Dragović M. | Janković LJ. |
| Beardsley H. | Drobnjak Đ. V. | Janković P. |
| Beker I. | Dudeski LJ. | Janković S. |
| Blagojević D. | Dudić S. | Ječmenica R. |
| Blagojević P. | Dukovski V. | Jeremić B. |
| Blaj L. | Dumitrasku S. | Jevtić B. M. |
| Bošković V. | Dutina J. | Jokanović S. |
| Bogdanov LJ. | | Jovišević V. |
| Bogićević S. | Đapić M. | Jovičić M. |
| Bojanić P. | Đekić S. | Jovičić S. |
| Brestovački L. | Đorđević S. | Jugović Z. |
| Bugarić U. | Đorđević LJ. | Jurko J. |
| Bulatović M. | Đorđević S. | |
| | Đurđević Z. | Kablar N. |
| | Đurić S. | Kalajdžić M. |
| | Đurović B. | Kalanović V. |
| | | Karunin I. A. |
| | | Kecojević S. |
| | Ehmann K. | Kheifetz M. L. |
| | Erić M. D. | Klimenko S. A. |
| | Evin E. | Kokotović B. |
| | | Kolarević M. |
| | Gečevska V. | Kopač J. |
| | Gemaljević M. | Korž N. J. |
| | Georgiev I. V. | Kovač P. |
| | Georgieva V. E. | Kovačević Đ. |
| | Glavadanov I. | Kovacevic R. |
| | Glavonjić M. | Krivokapić Z. |
| | Gligorijević R. | Krsmanović C. |
| | Globački G. | |
| Dašić P. | | |

Lazarev J.
Lazarević D.
Lazić Z.
Lenik K.
Letić D.
Ludwig H. D.
Lukić LJ.
Lupovac D.

Majstorović V.
Maksić M.
Maksimović A.
Malec M.
Maneski T.
Manić M.
Marinković B.
Marinković V.
Marinov V.
Marjanović N.
Marković B.
Marković LJ.
Marković S.
Marković Z.
Martić S.
Mečanin V.
Meljnjučuk P. P.
Mišić D.
Mijanović K.
Mijanović M.
Miković D.
Milačić R. V.
Milanov S.
Milanović D.
Milenković B.
Milić N.
Milićev S.
Milikić D.
Miljković Đ. Z.
Miljuš M.
Miljuanić P.
Milošević V. M.
Milojević M.
Milutinović D.
Milutinović M.
Miodragović G.
Mitić Đ.
Mitrović S.
Mitrović R.

Molnar R.
Monka P.
Muransky J.

Našović J.
Nastić G.
Navinček B.
Nedić B.
Nikolić D.
Nikolić J.
Nikolić R.
Ninković M.
Novak S.
Novaković D.
Novović D.
Novović M.

Obradović I.
Ostrić D.

Pandilov Z.
Pantelić T.
Pavićević S.
Pavlovski V.
Pecelj S.
Pejić V.
Penkala P.
Perišić S.
Perović J. M.
Perović M.
Perunović R.
Petković D.
Petković G.
Petrović B.
Petrović D.
Petrović P.
Petrović Z.
Pijevac T.
Pilipović I.
Pitel J.
Plančak M.
Polonskij L. G.
Popok N. N.
Popović B.
Popović P.
Potežica B.
Predojević B.
Punoševac S.

Puzović R.

Rac A.
Radak S.
Radiša R.
Radić V.
Radojević D.
Radojević S.
Radonjić D.
Radosavljević Z.
Radovanović M.
Radovanović N.
Radović D.
Radović G. D.
Rakanović R.
Rakić M.
Randelović
Rižov E. V.
Rižov J. E.
Rjabčenko S. V.
Rodić M.
Rogić M.

Sabo B.
Saloky T.
Samardžić M.
Sandor R.
Sarvan M.
Savić M.
Savić R.
Savićević S.
Savković M.
Sekulić M.
Sekulić S.
Skakun P.
Sladojević B.
Slavković R.
Smiljanić S.
Soković M.
Spasić Ž.
Spasojević V.
Sredić N.
Stanić J.
Stanivuković D.
Stankov K. D.
Stefanova M.
Stefanović M.
Stević M.

Stoicu T. V.
Stojadinović V. A.
Stojiljković M.
Stojiljković V.
Stojković S.
Swiċ A.

Šiđanin L.
Šilobad M.
Šofranac R.
Štampfer M.

Tadić B.
Tanović LJ.
Taranenko A. V.
Taranenko V. G.
Tauzović J.
Temeljkovski D.
Todić T.
Todić V.
Todorović J.

Tomić R.
Tonchev N.
Trajanović M.
Trajkovski S.
Trbojević I.
Trišović N.
Trifunović D.

Uzelac S.

Vasić I.
Vesić Z.
Vilotić D.
Vojtko I.
Vrtanoski G.
Vrtanski G.
Vučićević M.
Vujasinović N.
Vujović L.
Vujović V.
Vukčević M.

Vukasojević R.
Vukelja D.
Vukićević D.
Vukićević V.
Vulanović V.

Wang M. S.

Yashcheritsyn P. I.

Zeljковић V.
Zhang M. Y.
Zindović M.
Zirojević LJ.
Zjumbilev A.
Zogović S.
Zogović V.
Zoli P.

Živanović M.
Živković B.

**DOBITNICI POVELJE I PLAKETE
"Prof. dr PAVLE STANKOVIĆ"
za 1994. godinu**

PROF. DR VUKO DOMAZETOVIĆ, DIPL. MAŠ. INŽ



Rođen je 23. 03. 1938. godine u Orlini kod Nikšića. Višu realnu gimnaziju je 1957. godine završio u Nikšiću i iste se upisao na Mašinski fakultet u Beogradu, gdje je diplomirao 1962. godine. Poslije diplomiranja se, kao stipendista, zaposlio u Željezari u Nikšiću, gdje je radio u Mehaničkoj radionici, Konstrukcionom birou, Valjaonicama, Tehničkom birou i Kalibracionom birou. Tu radi na eksploataciji, održavanju, projektovanju i uhodavanju novih tehnologija, alata, pribora i uređaja namijenjenih uspješnom odvijanju procesa valjanja i unapređenju procesa rada i eksploatacije valjaoničke opreme.

Preko Tenničke pomoći OUN tokom 1965. godine je na Institutu Mašinskog fakulteta Politehnike u Glijivicama u Poljskoj specijalizirao u okviru teorije plastične prerade kalibraciju valjaka i valjaonička postrojenja, sa posebnim osvrtom na valjanje legiranih i visokolegiranih čelika. Tamo je predložen i primljen u članstvo Organizacije Evropskih kalibrara. U Nikšiću je držao nastavu u Tehničkoj školi i na Pedagoškoj akademiji.

Kod Rudarsko topioničarskog bazena Bor se zaposlio 1968. godine gdje radi na pripremi i realizaciji programa prerade i finalizacije elektrolitnog bakra. Sagledavanjem mogućih varijanti, elaboriranjem i usvajanjem "Dipforming" postupka za proizvodnju beskiseonične toplo valjane bakarne žice čemu je dao pun doprinos, dalje radi na pripremi, projektovanju, ugovaranju projekata i opreme, isporuci opreme, montaži, puštanju u rad, uhodavanju i dokazivanju ugovornih tehničko tehnoloških parametara Fabrike bakarne žice. Kod firme "General electric" u Bridgeport-u (SAD) je specijalizirao usvojeni postupak. Poslije ostvarene normalne proizvodnje i uspješnog dokazivanja projektovanih radnih parametara mašina, uređaja, linija i fabrike u cjelini prelazi da radi u Institut za bakar u Boru kao Stariji samostalni istraživač i Šef mašinske grupe koja je rešavala tehničko tehnološku problematiku Topionice, Rafinacije, Elektrolize i Prerade bakra. Tu je kao odgovorni projektant i saradnik bio uspješno angažovan na rešavanju veoma velikog broja zadataka. Na Rudarsko geološko metalurškom fakultetu u Boru je 1969. godine biran u zvanje predavača, za predmet Teorija prerade metala u plastičnom stanju, a 1974. godine u zvanje docenta. Iz radnog odnosa je završio poslediplomske magistarske studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu, gdje je 1975. godine odbranio magistarski rad. Na Mašinski odsjek Tehničkog fakulteta u Podgorici je stupio u radni odnos 1975. godine i ponovo biran u zvanje docenta za predmet Obrada deformacijom, koji i sada drži. Na Mašinskom fakultetu u Beogradu je 1978. godine odbranio doktorsku disertaciju. Dolaskom na fakultet neposredno utiče na postavljanje i formiranje profila i razvoja Mašinskog fakulteta, a posebno Katedre za proizvodno mašinstvo čiji je bio dugogodišnji šef. Za Prodekana fakulteta je biran 1978. i 1980, a za Dekana fakulteta 1984. i 1986, dok je za Predsjednika poslovnog odbora Složene organizacije udruženog rada Tehnički fakulteti, koju su činili fakulteti: Elektrotehnički, Mašinski, Metalurški, Prirodno matematički i Građevinski, kao i Institut za tehnička istraživanja, izabran 1988, što je bio do 1992. godine. Za Predsjednika Nastavno naučnog vijeća SOUR-a Tehnički fakulteti je biran 1980, a za Izvršnog sekretara Zajednice mašinskih fakulteta, visokih i viših škola Jugoslavije 1983. godine. Zajednica naučno istraživačkih institucija proizvodnog

mašinstva Jugoslavije ga je 1982. godine izabrala za Predsjednika zajednice i organizacionog odbora XXVII savjetovanja koje je održano u Budvi. Član je naučnog odbora Zajednice. Bio je član programskih odbora SIM-OP-IS-a, Međunarodnih simpozijuma: NU-tehnike i tehnologije, CAD/CAM sistema, Izvora i prenosa snage, ETAN-a i dr., zatim član Naučno nastavnog vijeća Univerziteta, Izvršnog odbora Univerziteta, Izvršnog odbora društva za kvalitet i pouzdanost Crne Gore i sl. U zvanje vanrednog profesora je izabran 1980, a u zvanje redovnog profesora 1987, da bi u zvanje redovnog profesora univerziteta bio potvrđen 1994. godine. Sada je pored drugih veoma bitnih funkcija član Senata Univerziteta Crne Gore i Predsjednik Komisije za poslije diplomske studije i doktorate Mašinskog fakulteta Podgorica.

Pored rada na fakultetu i univerzitetu gdje je bio mentor preko 70 diplomskih radova i više magistarskih radova i disertacija, direktno se uključivao u rešavanje naučno razvojne tehničko tehnološke problematike radnih organizacija posebno iz oblasti obrade deformisanjem. Naglašava se njegov doprinos istraživanju i verifikovanju tehnologije kovanja i kovačkih presa od 50 i 300 MN, kada je na osnovu teorijsko eksperimentalne analize, radni tim pod njegovim rukovodstvom, primorao isporučio da izvrši bitna poboljšanja radnih parametara presa i time ih osposobi za presovanje najrazličitijih vrsta legura. U procesu obrazovanja se navodi njegov doprinos inoviranju nastavnih planova i programa dodiplomskih i istrajnost u koncipiranju, postavljanju i otvaranju poslije diplomskih magistarskih i specijalističkih studija na Mašinskom fakultetu. Njegov je izuzetan doprinos kadrovskom osposobljavanju Katedre za Proizvodno mašinstvo, na kojoj je kada je došao u stalni radni odnos na fakultet bio samo on zaposlen, da bi sada na njoj radili i stvarali tri redovna i dva vanredna profesora, tri docenta, odnosno osam doktora nauka, tri magistra i više mladih pripravnika. Njegov naučno istraživačko razvojni i stručni rad se može sagledati u brojnim objavljenim radovima, koji čini preko 120 bibliografskih jedinica u vidu objavljenih naučnih i stručnih radova, naučno istraživačkih projekata, idejnih i glavnih projekata, važnijih konstrukcionih rešenja, stručnih priloga, investicionih programa, udžbenika i sl. U njima je davao značajan prilog sagledavanju, analizi i rešavanju određene problematike veoma širokog spektra problema koji su u osnovi vezani za oblast obrade metala deformacijom, kako kroz pripremu, obezbeđenje, ostvarivanje, analizu i određenja rešenja, tako i kroz sagledavanje, analizu i rešavanje pouzdanosti odvijanja procesa i rada opreme, da bi se ostvarili novi pomaci u pravcu nalaženja novih rešenja, kvalitetnijeg rada opreme i odvijanja procesa odnosno dobijanja gotovog proizvoda novih performansi i većeg nivoa kvaliteta. Kod rešavanja problematike dominira njegov znalčki pristup problemu, uočavanje bitnih parametara, njihova analiza uticaja, opredjeljenje rešenja sa teorijskog i eksperimentalnog aspekta kada se ukazuje na veoma bitne parametre pouzdanosti i kvalitetnog odvijanja procesa obrade metala deformacijom.

U svom dosadašnjem radu se potvrđivao kao izuzetan naučni, stručni i obrazovni radnik, koji je uvijek aktivno učestvovao u životu i radu sredine u kojoj je živio i stvarao i dao neizbrisiv pečat generacijama budućih stručnih i naučnih radnika da svojim znalčkim rado doprinesu daljem razvoju.

PROF. DR MILENKO JOVIČIĆ, DIPL. MAŠ. INŽ



Dr Milenko Jovičić, dipl. maš. inž., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, rođen je 14. jula 1935 godine u selu Mala Ježevica, Požega, Republika Srbija, gdje je završio osnovnu školu. Školu učenika u privredi završio je u Starom trgu (rudnik Trepča) 1952. godine. Srednju mašinsku tehničku školu - večernje radničko odeljenje "Petar Drapšin" u Beogradu 1956. godine. Studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu upisao je školske 1956/57, a diplomirao je na industrijsko-proizvodnom smeru novembra 1960. godine.

Za vreme pohađanja srednje škole bio je u radnom odnosu sa preduzećima "Metal" i Industrije precizne mehanike u Beogradu, a u toku studija povremeno je radio u preduzećima IMT, "David Pajić" i Geomašina.

Dr Jovičić je na Mašinskom fakultetu neprekidno u radnom odnosu od decembra 1960. godine, gdje je početkom 1961. godine izabran za asistenta. U zvanje docenta za predmet Mašinska obrada izabran je 1970. godine, u zvanje vanrednog profesora 1977. godine, a u zvanje redovnog profesora za grupu predmeta proizvodnog mašinstva 1983. godine.

Poslediplomske studije završio je na Mašinskom fakultetu 1966. godine, a doktorsku disertaciju je odbranio na istom Fakultetu 1975. godine.

Dr Jovičić je kao asistent izvodio vežbe iz većeg broja predmeta proizvodnog mašinstva (Mašinska obrada, Mašinska obrada II, Tehnološki pribori i provera, Alati i pribori) kao i nekih opštestručnih predmeta (Mašinski elementi, Tehničko crtanje, Osnove konstruisanja).

Dr Jovičić je učestvovao u izvođenju poslediplomske nastave iz predmeta Nauka o rezanju na Mašinskom fakultetu, u centrima Mašinskog fakulteta u Trsteniku, Smederevskoj Palanci i Žarkovu, a povremeno i na Mašinskom fakultetu u Novom Sadu.

Za potrebe nastave objavio je više udžbenika i priručnika iz oblasti Alata i pribora (samostalno ili kao koautor), a učestvovao je u izradi nekoliko udžbenika za srednje obrazovanje mašinske struke za predmete Tehnologije obrade.

Kao nastavnik ukupno je izdao 480 diplomskih radova (na Mašinskom fakultetu i u odeljenjima u Kraljevu, Užicu i Valjevu), a bio je mentor za 10 magistarskih i 5 doktorskih disertacija.

Osim učešća u nastavnom procesu dr Jovičić je pokazao značajnu aktivnost u naučnoistraživačkom i stručnom radu, pri čemu je tu aktivnost obavljao preko Zavoda za mašine alatke Mašinskog fakulteta, Instituta za alatne mašine i alate IAMA i Instituta za proizvodno mašinstvo i CIM Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Kao rezultat te aktivnosti, objavio je i javno saopštio (samostalno ili kao koautor) u časopisima i na naučno-stručnim skupovima u zemlji i inostranstvu oko 50 naučnih i 25 stručnih radova, a učestvovao je u izradi oko 30 radova ograničene cirkulacije (izveštaji i elaborati o izvedenim naučnoistraživačkim i stručnim projektima). Sa svojim saopštenjima učestvovao je na većini do sada održanih Savjetovanja proizvodnog mašinstva, kao i na drugim stručno-naučnim skupovima u zemlji (JUPITER - konferencije, skupovi MMA i dr.).

Objavio je prve monografije (samostalno ili u saradnji sa svojim saradnicima), i to Obrada brušenjem 1986. godine (magrađena Oktobarskom nagradom grada

Beograda za 1987. godinu) i Obrada rezanjem teško obradljivih metala i legura 1992. godine.

Dr Jovičić je aktivno učestvovao i u društvenom radu, na Mašinskom fakultetu i Univerzitetu u stručnim udruženjima i drugim društvenim institucijama, bio je prodekan Mašinskog fakulteta, rukovodilac OOUR-a za proizvodno i privredno mašinstvo Fakulteta, rukovodilac Odjeljenja Mašinskog fakulteta u Valjevu, podpresjednik Saveta i predsjednik Izvršnog odbora Saveta Mašinskog fakulteta, član Skupštine Univerziteta kao i član više Komisije na Fakultetu i Univerzitetu. Bio je član Prosvetnog saveta Srbije i predsjednik Komisije za mašinsku i energetska struku srednjeg obrazovanja. Aktivno je radio u Društvu alatničara Beograda kao i Savezu alatničara Srbije.

MILE BENEDETIĆ, DIPL. MAŠ. INŽ



Mile Benedetić, dipl. maš. inž., rođen je 1929. godine u Beogradu gde se školovao i 1948. godine maturirao u II muškoj gimnaziji. Iste godine se upisao na Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, gde je aprila 1955. godine diplomirao sa ocenom 10 (deset) i prosečnom ocenom studija 8,63 na Odseku opšteg mašinstva - Mašine alatke - kod prof. dr Pavla Stankovića, sa temom diplomskog rada "Analize metoda obrade ingota rezanjem, izbor i projektovabnje optimalnog rešenja".

Po završetku studija, zaposlio se u Fabrici "Ivo Lola Ribar" u Železniku kao projektant alatnih mašina, uređaja i opreme. Prve projekte koje je realizovao bili su: sigurnosni uređaji na mehanizmu za uključivanje ekscentar presa i grabuljasti transporter za primenu u rudarstvu. Po odsluženju vojnog roka u JNA nastavio je sa radom u Loli Ribaru gdje je između ostalog radio na projektu prenosive bušilice PB30, projektovao familiju mehaničkih makaza (12 tipova) za sečenje lima debljine 3-30 mm i širine sečenja 1000-5000 mm. U periodu do 1972. godine radio je na nizu projekata u oblasti standardnih alatnih mašina i specijalnih mašina: bušilica, glodalica, HB-160 u raznim varijantnim rešenjima, familije viševretenih bušilica tipa BVV-I i BVV-II do 32 vretena i niza specijalnih mašina za automobilsku i traktorsku industriju za domaće i strano tržište. U ovom periodu radio je kao vodeći projektant da bi kasnije postao glavni inženjer za projektovanje alatnih mašina. Od 1972. do 1977. godine bio je direktor Zavoda za projektovanje fabrike Ivo Lola Ribar. U ovom periodu rukovodio je sektorom projektovanja, a i sam učestvovao u radu na projektima velikog broja specijalnih mašina za domaće kupce, DMB, IMT, IMR, FAP, FAMOS, "Prva iskra", MK - Zenica i mnoge druge, kao i za tržište SSSR-a i drugih zemalja. U ovom periodu Ivo Lola Ribar je isporučio DMB-u prvu transfer liniju za obradu bloka motora za vozilo ZASTAVA 101, što je ujedno i prva transfer linija realizovana u Jugoslaviji. Od značaja je spomenuti kao posebno tehničko dostignuće automatske specijalne mašine za duboko bušenje uljnih kanala za radilicu dizel motora, kao i specijalne automatske strugove za obradu letećih i stojećih ležajeva radilice opremljenih automatskim manipulatorima.

U periodu od 1977.-1983. godine radio je u Institutu "Kiril Savić" - OOUR Institut za automatiku, gdje je nastavio da radi na razvoju specijalnih namenskih automatskih presa za izvlačenje, ubadanje i formiranje dna čaura sa automatskim uređajima za punjenje i pražnjenje alata. Takođe je razvio i familiju uređaja za automatizaciju ekscentar i kolenastih presa. Razvio je novu familiju ekscentar presa za sile pritiska od 160 do 1600 KN u raznim varijantnim rešenjima kao jednostubne, dvostubne ili nagibne na bazi modularnog projektovanja. Pored toga, razvio je i novi model numerički upravljane prese za obradu limova prosecanjem sa magacinom za automatsku izmjenu 36 alata uz aplikaciju CO₂ lasera od 600 W za sečenje lima po konturi. Sve ove projekte radio je za potrebe Lole Ribara na osnovu petogodišnjeg sporazuma o saradnji. U ovom periodu radio je i rukovodio mnogim naučno - istraživačkim projektima kod Republičke zajednice nauke SR Srbije i Osnovne zajednice nauke Beograda od kojih su od posebnog značaja strateški projekti "Sistemi industrijskih robota" i "Razvoj proizvoda i tehnologije u industriji prerade metala".

Od 1983. godine je ponovo u Loli Ribaru na dužnosti zamenika direktora LOLA Instituta za nove tehnologije i direktora LOLA Instituta, gde je radio na istraživanju i razvoju industrijskih robota i sredstava i sistema za automatizaciju u industriji. U programu industrijskih robota realizovao je razvoj višenamenskih robota, posebno za aplikaciju u fleksibilnim tehnološkim sistemima i sistemima koji čine osnovnu programsku orijentaciju Lole Ribara. Realizovao je prve i jedine robotske aplikacije u našoj zemlji za potrebe autoindustrije u ZCZ Kragujevac. Realizovao je projekte viševretenih obradnih centara i specijalne glave za petosnu obradu.

Prijavio je svojevremeno doktorsku disertaciju iz oblasti industrijskih robota na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu, ali poslovi, obaveze i funkcije koje je obavljao za LOLA Korporaciju mu nisu dozvolili da je i formalno završi. Inženjersku karijeru je nastavio u menadžmentu alatnih mašina kao tehnički savetnik u predstavništvu LOLA Korporacije u Moskvi i savetnik generalnog direktora LOLA Korporacije.

Mile Benedetić, tečno govori nekoliko stranih jezika, spada u gupu najobrazovanijih, najproduktivnijih i u svetu najpoznatijih posleratnih inženjera iz Jugoslavije. To je inženjer koji je ujedinio nauku i projektovanje u proizvodnom mašinstvu, i koji je svoju profesionalnu karijeru u potpunosti vezao za razvoj i industrijsku praksu.

UVODNI REFERAT

INTRODUCTION PAPER



Prof. dr Vuko Domazetović

STANJE I PRAVCI RAZVOJA IZVJESNIH OBLASTI PROIZVODNOG MAŠINSTVA

1. ODREDJENI PARAMETRI RAZVOJA

Tokom razvoja čovječanstvo je osvajalo nova znanja, podizalo nivo kvaliteta i povećavalo kvanitet svojih proizvoda i usluga. Prisutno je stvaranje novih tehničko tehnoloških proizvoda koji su tako reći do juče bili nezamislivi. Mnogi od njih su najavljivani kao rešenja godine, odnosno decenije, da bi im životni ciklus bio kraći od naznačenih vremenskih intervala. Istovremeno je svijet suočen i sa manjkom energije i materijala. Klasični sistemi vrijednosti se raspadaju i stvaraju novi koji naznačavaju doba sledeće civilizacije [11].

Tehnički razvijeniji svijet stvara nove vrijednosti koje kao rešenja nameće onima koji ga slijede, a posebno nerazvijenima. Kod onih koji se utrkuju putevima razvoja u medjudejstvu ideja i mogućnosti uočavaju se suprotnosti klasičnog, inovativnog i novog.

Pod nosiocima klasičnog se mogu podvesti oni koji imaju stečene pozicije u staroj energetske osnovi industrijske ere i zalažu se za konvencionalne energetske izvore i njima odgovarajuće tehnologije - ugalj, naftu, gas, nuklearnu energiju i njihove modifikacije. U suštini oni nastoje da održe postojeće stanje.

Nosioci inovativnog su oni koji žele prelazak na energetske osnovu novih izvora, u čemu su prepoznatljivi potrošači, borci za očuvanje zdrave čovjekove okoline, naučnici, preduzetnici novih industrija kao i oni ekstremni koji bi većinu tehnologija eliminisali, što bi znatno umanjilo osnove daljeg razvoja. Izuzetno visoki troškovi koje ostvaruju energetske tehnologije industrijskog doba su usmjereni protiv njih samih, tako da tehničko-tehnološka dostignuća industrijske ere moraju biti prevaziđena, odnosno nemoguće ih je zbog visokih troškova održavati i dalje razvijati. Proizvodnja uglja, čelika, gume, željeznice, automobila je klasična - postavljena za veliku količinu materijala i energije, a stvara škart i zagadjuje okolinu. Njeni zahtjevi i serije su veliki. Trebaju nižu kvalifikacionu strukturu, standardizovanu robu i centralizovano upravljanje. Kao takvu razvijeniji je već preseljavaju u zemlje u razvoju [11].

Nosioci novog sagledavaju buduće razvojne pravce koji su bazirani na najnovijim naučnim otkrićima kao što su: kvantna elektronika, teorija informacija, molekularna biologija, okeanografija, nukleonika, ekologija, nauka o svemiru ... U njima se istražuje

* Dr Vuko Domazetović, redovni profesor, Mašinski fakultet - Podgorica, Cetinjski put b.b.

neuporedivo dalje od opipljivih veličina prostora i vremena. Tokom vremena čovjek je u industrijskoj eri nastojao iskoristiti fizičku energiju, stvoriti nove proizvode i ostvarivati razvoj. Osmišljavao je i proizvodio mašine kojima će stvarati druge mašine i vještačke proizvode. Međutim, pored fizičke on posjeduje i mentalnu energiju, koju nastoji iskoristiti na jedan nov i savremeni način koristeći se mašinama koje pomažu mentalnom procesu i operacijama. U posljednje vrijeme je prisutno nastojanje stvaranja vještačke inteligencije, što znači pokušaj projektovanja mašina koje obavljaju operacije u domenu mentalnog procesiranja, koje je svojstveno isključivo čovjeku. U daljem razvoju se postavlja globalni program kojim se tretira vještački život a njegova projekcija osmišljavanja i postavljanja je u funkciji razvoja samog čovjeka [6].

Fundamentalna osnova razvoja je znanje, koje se stvara vjekovima. Ono opšteg - osnovnog karaktera je dostupno svima koji za njega imaju interes. Novija su dostupna ograničenom krugu korisnika čime se stvara kompetitivna prednost onih koji ga posjeduju [6].

Tehničko - tehnološka znanja posebno jako utiču na razvoj sredina koje ih stvaraju i koriste. Opšta su dostupna takoreći svima, dok nova specifična su najbolje čuvane tajne njihovih vlasnika, čime u određenom periodu postižu izrazitu premoć. Kako funkcionalni zahtjevi domaćeg tržišta predstavljaju generator razvoja, to određena prednost koju nose nova znanja daje progresivan napredak, što zahtijeva postavljanje i realizaciju inoviranih razvojnih planova i strategija [6,8,9,10,11].

U posljednje vrijeme mašinstvo doživljava izuzetan stepen razvoja, koji se i dalje povećava sa učešćem u osvajanju novih znanja u savremenim oblastima nauke i tehnike. Spregnuto sa novim razvojnim disciplinama kao što su elektronika, automatika i informatika čini nezaobilaznu razvojnu cjelinu i jednu od vodećih tehničko-tehnoloških disciplina.

Kao izrazito prepoznatljive oblasti mašinstva se javljaju: proizvodno, saobraćajno, transportno, poljoprivredno, termoenergetsko, termotehničko, medicinsko i druga koja se intenzivno razvijaju, posebno u sprezi sa elektronikom, što daje nove proizvode iz oblasti mehanotronike [12].

Pojedine oblasti se razvijaju prije svega kroz rešavanje problematike određenih procesa kao što su:

- projektovanje, konstruisanje, definisanje tehnoloških postupaka izrade elemenata, alata, mašina i uređaja, kontrole, transporta, montaže, pakovanja, distribucije, eksploatacije, održavanja uklanjanja poslije korišćenja.

Kada se ovakvi tehničko-tehnološki postupci sagledaju i objedine uz podršku računara dobija se savremeni koncept proizvodnje (CIM), koji je u razvijenim sredinama uveliko zaživio, a kod nas se uglavnom vrše teorijska razmatranja i prikazi njegovih prednosti. Posebno značajan doprinos razvoju svih tehničko-tehnoloških postupaka je dalo korišćenje informacionih tehnologija, bez kojih se savremeni rad i razvoj ne može zamisliti. Počev od pristupa rešenju problematike, kroz samo osmišljavanje, varijantno tretiranje rešenja i njegovu optimizaciju, računar je pogodan alat da se uradi više, bolje, savremenije, kvalitetnije i u pravom času [12,6].

Praćenje čitave lepeze proizvoda koji karakterišu proizvodno mašinstvo u našim dosadašnjim uslovima života i rada u regionalnim, odnosno svjetskim razmjerama bilo izuzetno teško - skoro isključeno.

2. TEHNOLOGIJA PLASTIČNOSTI

Tehnologija plastičnosti je savremeni termin koji u osnovi nadomješta naziv tehnologija obrade materijala plastičnim deformisanjem. Bavi se proučavanjem procesa plastične obrade, naponima, deformacijama kao i njihovim stanjima, brzinama deformacije, uslovima plastičnog tečenja, modeliranjem medjuzavisnosti bitnih parametara procesa, projektovanjem tehnologije, alata i mašina, kao i eksperimentalnom provjerom postavljenih hipoteza, te nalaženjem radnih napona, sila, momenata i utrošene energije tokom ostvarivanja procesa deformisanja. Time se postavljaju konkretni tehnološki procesi, rešavaju bitni zadaci i daje mogućnost njihove kontrole i upravljanja, analiziraju i upoređuju eksperimentalni sa teorijskim rezultatima, te uočavaju i trasiraju pravci daljeg tehničko-tehnološkog razvoja [4,71,72].

Intenzivan razvoj tehnologije plastičnosti nastaje sa pojavom energetske krize sedamdesetih godina ovog vijeka kada su cijene energenata počele naglo da rastu. Kako su njihovi resursi ograničeni, nametnula se potreba racionalne potrošnje, a time i izrade elemenata sa manjim utroškom energije, materijala i vremena izrade u čemu postupci plastičnim deformisanjem imaju znatnu prednost. Ispitivanja ušteda u materijalu korišćenjem hladnog (85%), polutoplog (85%) i toplog (75 - 80%) oblikovanja, kao i procesa skidanjem strugotine (40 - 50%) daju prednost procesima tehnologije plastičnosti. Sličan slučaj je pri utrošku energije po jednom kilogramu mase čeličnog izradka 1:1:(1,1-1,17):(1,7-2,1), gdje je utrošak energije kod obrade skidanjem strugotine i preko dva puta veći nego kod deformisanja u hladnom stanju. Ako se tome doda da je rastur materijala pri obradi rezanjem veći i preko tri puta, neminovno se procesi obrade deformisanjem nameću kao mogućnost racionalne izrade elemenata visokog kvaliteta, povišenih mehaničkih osobina i niže cijene koštanja [8].

Izrada elemenata se ostvaruje najrazličitijim tehnološkim postupcima kod kojih se tokom procesa vrši dodavanje materijala (livenje, varenje i sl), oduzimanje materijala (obrade skidanjem materijala) i kod kojih količina materijala tokom procesa ostaje konstantna (obrada deformisanjem). Primjena neke od njih zavisi od mogućnosti ispunjavanja osnovnih karakteristika proizvoda kao što su: oblik, dimenzije, mehaničke karakteristike, kvalitet i posebno cijena, na koju direktno utiče iskorišćenost materijala uloška i gotovog proizvoda u odnosu na potencijal nosivosti, odnosno potrošnja energije i vrijeme izrade [34,35,36].

Osnovni tehnološki postupci obrade deformisanje su: kovanje, valjanje, presovanje, vučenje, površinsko i zapreminsko oblikovanje. Oni se u određenim varijantama i dalje razvijaju, sa mogućim kombinacijama i osvajanjem novih kao što su: rotaciono i radijalno kovanje, zavojno i periodično valjanje, deformaciono ojačavanje površinskog sloja, rotaciono izvlačenje, orbitalno kovanje, profilno savijanje, kružno zavijanje, razdvajanje ... [1,3,4,8,71]

Razvoj u oblasti savremenih tehnologija se okvirno može grupisati na:

- usavršavanje i razvoj novih postupaka, alata i mašina za obradu deformisanjem elemenata bez ili sa minimalnom naknadom doradom,
- razvoj postupaka modeliranja medjuzavisnosti bitnih parametara u cilju optimizacije procesa,

- razvoj i primjena vještačke inteligencije i ekspertnih sistema za osvajanje procesa i konstrukciju alata i opreme.

U odnosu na deformisanje obradka, odnosno veličnu zone deformacije moguće ih je podijeliti na dvije grupe. U prvoj je zonom deformacije obuhvaćen čitav materijal (kovanje, presovanje, zapreminsko oblikovanje u kalupima), dok je u drugom slučaju zona deformacije lokalnog karaktera (valjanje, rotaciono izvlačenje, vučenje, deformaciono ojačavanje površine ...) [8,38,73,100].

Postupci kontrolisane lokalne zone deformacije se u poslednje vrijeme naglo razvijaju. Tokom procesa je prisutna znatno niža radna sila lokalne deformacije što uslovljava manje gabarite opreme, dok su alati skoro univerzalni i odgovaraju obradama najrazličitijih elemenata.

Proces deformacionog ojačavanja površina se koristi kod fine završne obrade kod koje se zahtijeva visok kvalitet površine i ojačan sloj materijala, što poboljšava njegovu nosivost. Mogu se obradivati zakrivljene kako spoljne tako i unutrašnje površine. Osnovni parametri procesa zavise od: srednjeg specifičnog pritiska na kontaktnoj površini, veličine i oblika kontaktne površine, dubine zone deformacije, koraka i brzine obrade. Analiza zavisnosti relevantnih parametara predpostavlja korišćenje složenog matematičkog aparata uz respektovanje graničnih uslova. Nalaženjem medjuzavisnosti parametara procesa moguće je njim upravljati odnosno podešavati bitne parametre kao što su korak, dubina i brzina da bi se dobilo potrebno povećanje dinamičke nosivosti i kvaliteta obradjene površine [3,88,100,115].

Rotaciono izvlačenje je proces kod kojeg alat djeluje na materijal u lokalnoj zoni. Može biti bez i sa stanjenjem debljine zida obradka, a pogodno je za izvlačenje elemenata u manjim serijama. Dejstvo relativno jednostavnog alata u lokalnoj zoni uslovljava pojavu niskih radnih sila i opterećenja. Usavršavanjem alata i upotrebom NC i CNC upravljačkih komponenti ovaj proces postaje veoma atraktivan za izradu elemenata, za potrebe avio, raketne i kosmičke industrije, koji se rade u manjim serijama [38,101].

Orbitalno oblikovanje je proces zapreminskog lokalnog oblikovanja za šta se koriste kako posebni alati tako i oprema. Osa priprema koji se postavlja u donji alat, je vertikalna dok je osa gornjeg nosača alata zakrenuta za jedan do dva stepena u odnosu na osu donjeg alata. Nosač gornjeg alata u toku rada izvodi rotaciono i translatorno kretanje duž sopstvene ose, usled čega je gornji alat u kontaktu sa obradkom samo u lokalnoj zoni. Na opisani način uz sinhronizovano okretanje nosača donjeg alata se rade konačni zupčanici. U zavisnosti od oblika gravure medjusobno kretanje alata može biti najrazličitije, što daje mogućnost lokalne deformacije i izrade zahtijevanih oblika i dimenzija. Prednosti metoda su: znatno smanjenje buke, kao i ulaganja u alate i opemu, dok se nedostaci ogledaju u dužem trajanju procesa i znatno komplikovanijoj opremi [38].

Razdvajanje elemenata sjeckanjem se izvodi kod pločastih elemenata parcijalnim sjeckanjem po konturi, pri čemu obradak sa radnim stolom mašine izvodi potrebna rotaciona i translatorna kretanja, za šta se koriste numerički upravljane mašine. Deformacione sile i radni elementi alata su zbog lokalnog razdvajanja relativno mali i stvaraju niži nivo buke nego što je to slučaj kod razdvajanja po čitavoj konturi. Kako su konture elemenata po pravilu sastavljene od ponavljajućih geometrijskih figura, to se za njih rade odgovarajući standardni alati, čija je dužina sječiva relativno mala pa se kontinualna kriva kontura u nekim slučajevima zamjenjuje poligonalnom linijom [38].

Visoko energetski postupci oblikovanja lima se karakterišu relativno brzim korišćenjem energije pri čemu je bitan način a ne količina prenosa energije, odnosno brzina kojom se izvodi oblikovanje zbog veličine inercijalnih sila elemenata. Prema energetskom izvoru se naznačuju: eksplozivna energija hemijskih sredstava i energija visoko-naponskog pražnjenja koja se obično pretvara u: elektrohidrauličnu, elektro magnetnu ili energiju hidro udara. Oblikovanje elemenata je uslovljeno ne samo osnovnim eksplozivnim talasom već i odbojnim talasima kao i razvojem gasnog mjehura. Moguće je koristiti i smješu vodonika i kiseonika za formiranje optimalnog udarnog talasa [44,46,78,100].

Obrada materijala eksplozivom se uspješno koristi pri dobijanju platiranih i višeslojnih materijala, poboljšanjem čvrstoće, fizičko-hemijskih i eksploatacionih osobina, koji rade u uslovima visokih pritisaka korozije, agresivnih sredina i velikih opterećenja.

U eksplozivnim uslovima se postižu izuzetno visoki pritisci, čime se stvaraju posebni uslovi za deformisanje metala uz mijenjanje njegovih osobina (čvrstoće, gustine, tvrdoće...). Koristi se u različitim procesima (ojačavanje, zavarivanje, presovanje, rezanje, kovanje, zakivanje, čišćenje od oksidnih naslaga, platiranje, spajanje, presovanje nekompaktnih metalnih i nemetalnih elemenata iz spečenih praškastih materijala ...) [78,92].

Pored visokih pritisaka se javljaju i visoke brzine deformacije koje bitno utiču na odvijanje procesa. Pri brzinama od 10^{-6} do 10^{-5} s⁻¹ na visokim temperaturama je prisutno puzanje. Sa povećanjem brzine na 10^{-4} do 10^{-3} s⁻¹ se ponašanje materijala opisuje zakonima jednoosnog istezanja ili sabijanja, odnosno kvazistatičke zavisnosti deformacija od napona pri konstantnoj brzini deformacije. U rasponu od 10^{-1} do 10^2 s⁻¹ se promovišu srednje brzine deformacije, čiji efekti se u mnogim slučajevima zanemaruju. Deformisanje brzinama reda 10^3 s⁻¹ je naziva visoko brzinsko, gdje još uvijek nije sasvim ispitan režim deformisanja, mada se ocjenjuje da bi u termodinamičkom smislu postojanja bilo od izotermnog do adijabatskog [8,78].

Eksplozivne materije u kratkom vremenskom intervalu ostvaruju visoku koncentraciju energije. Osnovne klasične eksplozivne materije su: TNT, pentrit, heksogen, oktogen idr. Kao izvori se još koristi eksplozija provodnika, plazma, laser, nuklearna i termonuklearna eksplozija. Posebno su podesni izvori koji daju energiju reda MJ za vrijeme od nekoliko μ s.

U procesu spajanja materijala eksplozivom se uočavaju najvažniji parametri: brzina detonacije, brzina kretanja materijala, brzina tačaka kontakta, početno rastojanje i uglovi nagiba, pritisak koji se javlja u tački pri sudaru, termometrija eksplozivnog punjenja. Pri zavarivanju nisko ugljeničnog čelika se tvrdoća povećava od 160 HV na 210 HV, a kod nerđajućeg čelika od 290 HV na 2100 HV, dok se u zoni spajanja kretala i do 700 HV. Istovremeno se povećala čvrstoća na kidanje i smicanje. Pri spajanju bakra (100 HV) i niskougljeničnog čelika (180 HV) postiže se u zoni kontakta poslije kaljenja tvrdoća 400 HV. Kada je riječ o spajanju čelika sa legurama aluminijuma postiže se veća tvrdoća nego kod aluminijuma, dok se u zoni kontakta zbog stvaranja inter-metalnih jedinjenja javlja i 700 - 900 HV. Bakar i aluminijum se po pravilu spajaju kao metali visoke čistoće. Čelik i bronza imaju pri spajanju napon na smicanje oko 400 N/mm². Spoj aluminijuma sa legurama aluminijuma i magnezijuma daje novi konstrukcioni materijal visokih mehaničkih osobina i male mase sa antikorozijskom zaštitom.

Ojačavanje metala eksplozijom karakteriše se prostiranjem udarnih talasa po metalu u vrlo kratkom vremenu trajanja, kao i visokim pritiscima koji djeluju na površinu metala, pri čemu se tvrdoća povećavana i do 3,5 puta. Pri spajanju smješe čadji i metalnih prahova volframa i aluminijuma dobijaju se njihovi karbidi koji je kod volframa iznosio i do 2000 HV [8,78].

Pri presovanju eksplozivom različitih komponenti i prahova može doći i do hemijskih reakcija, tako da se dobijene komponente razlikuju od klasičnih po nizu osobina.[47]

Pri *elektro hidrauličnom* postupku se udarni impuls od mjesta pobude prenosi kroz radnu sredinu na obradak. Visoko voltno pražnjenje sa električnih polova (elektroda) u radnoj sredini - vodi, dovodi do stvaranja strujno - varničnih gasnih mjehurova koji u formi trenutnih udarnih talasa djeluju na pripremak i oblikuju ga po konstrukciji alata. Pri tom su moguće najrazličitije kombinacije mjesta, izvora, intenziteta broja pražnjenja, tehnološke šeme oblikovanja, priprema ... Moguća su oblikovanja djelova složenog oblika i velikih dimenzija.[8,38,80,81,120]

Elektromagnetno oblikovanje bazira na korišćenju Holl-ovog efekta, gdje se kroz izolovane namotaje induktora odgovarajućeg oblike i dimenzija zavisno od priprema pušta snažni impuls električne struje koja u zoni priprema formira snažno impulsno elektro magnetno polje a u obradku se indukuju viorne struje usled čega se u pripremu - obradku javljaju ponder motorne sile koje tako djeluju na njega da se on velikom brzinom (oko 400 m/s) usmjerava prema odgovarajućoj gravuri alata i vrši oblikovanje. Ovdje se vrši direktno pretvaranje elektro u mehaničku energiju. Radna oprema je jednostavna. Nema klasičnog pogonskog sistema, noseće strukture, odnosno nema pokretnih elemenata mašina, pa time ni trenja, odnosno habanja elemenata sistema. U procesu oblikovanja pokreće se samo određeni dio priprema, tako da se alat skoro i ne haba. Oblikovanje se izvodi u jednoj operaciji koja traje 10 - 60 ms.

Tehnološke mogućnosti procesa su izrazite u smislu oblikovanja složenih oblika izradaka od ravnih i cjevastih priprema, potom prosijecanje, probijanje, izvlačenje, spajanje ... Oblikuju se i elementi iz teško obradivih materijala. Dalja istraživanja su usmjerena na nalaženje medjuzavisnosti energetskih parametara i uticajnih faktora na dobijanje potrebne radne sile, njihovo modeliranje i postavljanje industrijskih osnova procesa.[38,19]

Kod *hidroudara* udarni talas prolazi kroz stub vode i djeluje na nosač alata, što izaziva oblikovanje velikim brzinama.[8]

Postupak hidromehaničkog oblikovanja cijevi se ogleda u kombinaciji sinhronizovanog aksijalnog deformisanja cijevi u mjeri u kojoj se ona pod unutrašnjim hidrauličnim pritiskom radijalno oblikovala. Ovim postupkom se uspješno rade račve hidrauličnih razvoda.[8,94,95,104]

Površinsko oblikovanje je zaokupljalo pažnju niza istraživača koji su nastojali naći korelaciju zavisnost između određenih parametara procesa. Najčešće se ispituju: čvrstoća, anizotropija, obradljivost, stabilnost, statička i dinamička izdržljivost, pouzdanost... Izraženi problemi se javljaju kod tehnološkog oblikovanja, konstrukcije alata i podmazivanja. Utvrđuje se uticaj mikro i makro strukture, veličina zrna, brzine, stepena i temperature deformacije, te karaktera krivih ojačavanja i krivih granične deformabilnosti na proces oblikovanja. Izučavanje deformabilnosti limova podrazumijeva uspješnu kombinaciju numeričkih i fizičkih modeliranja, pri čemu se u

eksperimentalnom radu uspješno koristi postupak mjernih mreža, a bitni uticajni pokazatelji procesa dobijaju analizom deformacionih polja u kritičnim zonama. Pri tom se uzima u obzir istorija deformisanja kroz praćenje trajektorije deformacija i poštovanje uslova proporcionalnosti u svakoj fazi oblikovanja. Poznavanjem medjuzavisnosti uticajnih parametara moguće je uspješno postavljati procese i vršiti efikasne intervencije tokom rada. Nejednorodnost radnog materijala koja se ogleda u odstupanju dimenzija, nesavršenosti površina, pukotinama, primjesama, porama, orijentaciji metalografskih ravni... upućuje na rad sa njihovim srednjim vrijednostima.[8,36,89,93,115]

Kod analize stabilnosti procesa se uzimaju u obzir faktori koji utiču na promjenu specifičnog deformacionog otpora i smanjenje deformabilnosti, trenje, deformacije i radne uslove, pri čemu je potrebno izvesti potrebne pororačune, eksperiment, modeliranje i adekvatnu analizu. Proces smanjenja mase proizvoda vodi ka zamjeni čeličnih aluminijumskim ili platiranim materijalima, odnosno smanjenju debljine zidova što nameće upotrebu legiranih limova. Time se postiže ekonomija materijala i energo resursa, a nameće potreba novih tehničko-tehnoloških rešenja. Pri uvođenju novih rešenja nameće se potreba rešavanja korozije, što se uspješno izvodi legiranjem ili platiranjem. Istraživanja pokazuju da na otpornost elemenata pri naizmjeničnom opterećenju (kod avio, raketne i kosmičke industrije) odlučujući uticaj ima stanje površinskog sloja, što je rešavano lokalnom površinskom plastičnom deformacijom podvrgavanjem površina mlazu čeličnih kuglica dijametra 2,5 mm pri brzini 60 m/s. Osnovni poremećaji procesa oblikovanja lima se ogledaju u pojavi zone lokalizacije deformacije, što vodi razaranju u najviše deformisanoj oblasti. Rešavanjem tehnološke problematike se stvaraju takvi radni uslovi koji neće pogodovati njenoj pojavi.[5, 73,75,77,84]

Zapreminsko oblikovanje metala u tehnološki najrazvijenim zemljama je neprekidno u usponu. Osnovni pokazatelji efikasnosti tehnološkog procesa se sagledavaju kroz utrošak energije, iskorišćenost materijala i vrijeme izrade. Kod zapreminskog oblikovanja u kalupima ovi pokazatelji su izraženi, posebno, kod preciznog kovanja u hladnom stanju, odnosno izotermičkog kovanja van i u oblasti superplastičnosti. Niz proizvoda savremenih industrija (automobilske, vazduhoplovne, raketne, mašinogradnje ...) se radi zapreminskim oblikovanjem sa nastojanjem da se metode osavremene i usavrše.[7,74,76,79,117,118]

Obradom u hladnom stanju se dobijaju proizvodi tačnijih dimenzija, boljeg kvaliteta, manje mase, za kraće vrijeme i uz manji utrošak energije. Kvalitet obradjene površine ide do IT6, a hrpaovost ne prelazi 10 μ m. Visoki radni naponi su uslovljeni nižom plastičnošću, otežanim kretanjem i razmnožavanjem dislokacija. Materijali koji imaju površenu deformabilnost i smanjeni otpor deformaciji su pogodniji za obradu u hladnom stanju. Takvi su nelegirani čelici umireni aluminijumom, a sa dodatkom titana i niobija se mogu stabilizovati da bi se izbjegao sivi lom. Čelicima za poboljšanje se dadaje silicijum, a dopunskim legiranjem hromom pri minimalnom sadržaju ugljenika postaju visoko otporni i pogodni za oblikovanje na hladno. Moguća je obrada nerdjajućih čelika uz medjuoperacijsko žarenje. Ovom obradom se oblikuje aluminijum bilo čist ili legiran manganom, magnezijumom, silicijumom, bakrom, cinkom ili njihovim kombinacijama, pri čemu se povećava čvrstoća legure zbog uvođenja atoma legiranog elementa u kristalnu rešetku putem deformacije ili stvaranjem čvrstih izlučenja u procesu difuznog žarenja ili prinudnog starenja.[8,79,83,86,92,98,99,121]

Preciznim kovanjem iz tačne mase priprema dobija se gotov proizvod sa funkcionalnim dimenzijama i visokim kvalitetom površine, tako da je naknadna obrada skidanjem materijala skoro nepotrebna. Kako se proces odvija bez viška materijala, uz manji utrošak energije i kraće radno vrijeme, to mu se poklanja izuzetna pažnja, tako da se radi na optimizaciji parametara oblika, dimenzija, materijala i uslova obrade, što čini i perspektivu različitim načinima oblikovanja. Posebno se ispituje uticaj velikih brzina na Al ($3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$) i ultra zvuka. Zupčanci radjeni ovim postupkom imaju povećanu nosivost 25 - 30% i vremensku izdržljivost do 50%. Tolerancije su niže do 80%, ostvaruje se bolje sprezanje zuba i stvara manja buka u radu. Rade se i elementi iz spečenih praškastih materijala, kod kojih se poslije oblikovanja gustina povećava iznad 99,5%, a osobine izjednačavaju sa oblikovanim proizvodima iz kompaktnih materijala. Kako se ovim postupkom ispunjavaju konstrukcijske i tehnološko eksploatacione karakteristike detalja koji su manje mase i većeg kvaliteta površine, uz manji utrošak energije i za kraće vrijeme to može biti ekonomičan i kod manjih serija.[8,70,72,97,100]

Izotermičko oblikovanje se odvija u uslovima izjednačene temperature alata i obradka. Brzina deformacije može biti i niža, što uslovljava smanjeni otpor deformaciji, odnosno manje radne napone i sile (do 10 puta), poboljšano popunjavanje kalupa i mogućnost oblikovanja u jednoj operaciji elemenata složenog oblika sa tankim rebrima i prelazima, manji gubitak metala, niže troškove naknadne obrade, izradu elemenata od tvrdih materijala (titan i njegove legure, vatrootporni i visokolegirani čelici) sa uzkim temperaturnim intervalom oblikovanja. Proizvodi su tačnijih dimenzija i većeg kvaliteta površine zbog smanjenih elastičnih i toplotnih deformacija alata i opreme, nižih zaostalih napona stabilne strukture obradka i užih tolerancija. Uspješno se izvodi na hidrauličnim presama, kod kojih se oblikovanje legura titana ostvaruje brzinama deformisanja 0,5 - 5 mm/min, odnosno brzinom deformacije reda 10^{-4} s^{-1} zbog izražene zavisnosti specifičnog deformacionog otpora od brzine deformacije. Takve prese moraju biti opremljene uređajima za kontrolisano zagrijavanje, termo regulaciju i stabilizaciju temperatura alata i obradka u procesu deformisanja, kao i potrebnom toplotnom izolacijom ostalih djelova prese i okoline. Ovaj postupak izaziva: i do dva puta više troškove alata zbog njegove smanjene postojanosti, zatim produžen ciklus presovanja zbog malih brzina deformisanja, potrošnju energije zbog više temperature zagrijavanja i produženog vremena njenog održavanja. Ocjenjuje se vrlo perspektivnim.[8,38]

Oblikovanje metala u stanju super plastičnosti se u osnovi ogleda u visokoj deformacionoj sposobnosti, niskom naponu tečenja i velikoj osjetljivosti parametara materijala na promjene brzine deformacije. Kod obrade metala u toplom stanju izražena je zavisnost napona tečenja od temperature, vremena, stepena i brzine deformacije, kao i njegovog sastava i strukture. Analizom odvijanja procesa nalaženja medjuzavisnosti bitnih parametara postavlja se zavisnost specifičnog deformacionog otpora (k) kao sume napona na granici razvlačenja (K_v) i napona brzinsko deformacionog ojačavanja koji je proizvod koeficijenta srazmjere (a) uticaja stepena deformacije (ϕ^n) i brzine deformacije (ϕ^m). Kod oblikovanja van područja super plastičnosti eksponent deformacionog ojačavanja $n > 0$, dok je eksponent brzinskog ojačavanja $m < 0,25$. Pri obradi u stanju super plastičnosti $n \rightarrow 0$, a eksponent brzine deformacije se kreće u granicama $0,3 < m < 1$. Kada je $m < 0,3$ lokalizacija deformacije je vrlo brza, pa deformacija u najboljem slučaju može iznositi 100-200% što je uslovno prihvaćena granica superplastičnosti. Pri $m = 0,5$ lokalizacija deformacije se razvija lagano i

izduženje epruvere iznosi 500 - 1000%. Kod većih m lokalizacija može i da se ne primjećuje dok izduženje može iznositi i znatno preko 1000%. Eksponent m se u procesima obrade u stanju superplastičnosti ne može smatrati konstatom, već izrazito zavisi od temperaturno brzinskih uslova deformacije, sastava i strukture materijala. Kada se u obzir uzme dimenzija zrna i temperatura onda je brzina deformacije direktno zavisna od brzine difuzije a ova od temperature, dok sa povećanjem dijametra zrna opada. Njeno područje se može uslovno podijeliti na četiri područja. U prvom je $m < 0,3$ a $\phi < 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, što zbog niskih brzina izostaje poseban interes. U sledećoj oblasti m raste i obično dostiže vrijednost 0,5, a u nekim slučajevima 0,7 - 0,8. Potom slijedi oblast padanja vrijednosti m do 0,3 dok je u zadnje dvije zone brzina deformacije u granicama $10^{-2} - 10^{-1} \text{ s}^{-1}$. To bi bio interval super plastičnosti. U njemu se nastoji ostvariti takav proces da je brzinski eksponent što bliži jedinici a brzina deformacije što veća. Na izlazu iz zone super plastičnosti eksponent m se smanjuje ispod 0,3 dok se brzina deformacije povećava. Zavisnost graničnog stepena deformacije od ovog eksponenta nije jedinstvena, već na njega bitno utiču temperatura i struktura. Brzine kretanja alata u super plastičnom području su i do 100 puta niže, a deformacione sile do 10 puta manje. Da bi se stanje super plastičnosti iskoristilo neophodan je odgovarajući termo brzinski režim oblikovanja. Sa povećanom brzinom deformacije dolazi do ostvarivanja procesa deformisanja na račun kretanja dislokacija, zbog čega se sposobnost metala za oblikovanje naglo snižava a zona deformacije lokalizuje, tako da je izuzetno važno da u opasnim zonama u kojima može doći do kidanja brzina deformacije ne predje odgovarajuću graničnu vrijednost. Sa povećanjem temperature raste i granični stepen deformacije. Kada su radne temperature ispod polovine vrijednosti temperature topljenja javljaju se razočvršćavajući procesi koji omogućavaju granični stepen deformacije kod oporavljanja 20 - 30% a kod rekristalizacije 20 - 100%. Brzina deformacije je reda 10^{-1} s^{-1} a koeficijent deformacionog ojačavanja $m = 0,15 - 0,25$. U stanju super plastičnosti mehanizam deformacije se posebno ogleda u znatnom smanjenju radne sile, dok se granični stepen deformacije može ostvariti i do 5.000%. Oporavljanje i rekristalizacija se javljaju kod deformisanog metala jednorodne strukture, različitih dimenzija zrna koja u zavisnosti od brzine i temperature deformacije mogu ostvariti i određeni rast, a pojava teksture je prisutna.[8,21,34,40,69,74]

Super plastičnost se javlja kod metala i legura sitnozrne strukture dijametra zrna 1 - 5, najviše do 10 mm, koja ostaje tokom procesa i nema pojave dislokacija i teksture. Kod izvjesnih legura koje u normalnom stanju imaju krupno zrnastu strukturu u određenom temperaturnom intervalu iznad polovine temperature topljenja dolazi do usitnjavanja zrna i nastupa stanje super plastičnosti. Ovo je posebno izraženo kod čistih metala i čvrstih rastvora. Tokom procesa oblikovanja temperaturno brzinski režim deformisanja se mijenja u relativno širokim granicama, tako da praktičnu primjenu imaju oni materijali koji zavisno od hemijskog sastava i posebnosti dobijanja priprema imaju širok interval temperature i brzine deformacije.

Super plastičnost se javlja kod dva različita strukturalna stanja: deformacije metala i legura sa stabilnom sitno zrnatom strukturom i pri oblikovanju polimorfni metala i legura u procesu faznog pretvaranja. Tokom procesa veličina zrna ostaje napromijenjena a deformacija se uglavnom izvodi klizanjem po granicama zrna i njihovom rotacijom. Ukoliko je tekstura prisutna biva uništena.[8,91,92]

Temperaturni interval postojanja strukture super plastičnosti je različit za razne metale i legure i seže od temperature rekristalizacija do temperature topljenja. Donja granica je uslovljena uticajem difuznih procesa u mehanizmu deformacije sitnozrnastih materijala, a gornja odgovara temperaturi početka totalne rekristalizacije. Kod sitno zrne strukture superplastičnosti temperatura se mora održavati konstantnom po čitavoj zapremini zato se i naziva izotermičkom.

Kod superplastičnosti faznih pretvaranja je prisutna stalna promjena faznog sastava i strukture u procesu deformisanja, a može se realizovati pri različitim temperaturnim režimima pri zagrijavanju odnosno hladjenju. Visoki stepeni deformacije komada iz legura koje su sposobne za alotropske modifikacije se postižu tokom ponovnog oblikovanja poslije izvršene alotropske modifikacije. [91,92]

Najlakši i najčešće korišćeni način dobijanja materijala koji se može deformisati u stanju super plastičnosti je njihovo livenje zamrzavanjem, kada se dobija sitno zrna subektoidna struktura, kod koje se bar jedna faza javlja superplastičnom ($P_b - Z_n, Al - Z_n$).

Sitnozrna struktura se može dobiti deformacijom u toplom stanju legura koje u tom temperaturnom intervalu imaju dvofaznu strukturu (Ti - Al - Va, nerđajući čelici).

Ostvarivanje sitno zrne strukture je moguće fiksiranjem ostvarene sitno zrne strukture u procesu termo mehaničke obrade, nakupljanjem malih čestica intermetalne faze po granicama zrna čime se sprečava njihovo objedinjavanje (Al - Cu).

Oblikovanje u stanju super plastičnosti se izvodi po pravilu u jednoj operaciji, sa izuzetkom složenih elemenata koji se koriste u avio, raketnoj ili kosmičkoj industriji.

Alati za oblikovanje u stanju super plastičnosti se u radnom dijelu izrađuju od legura aluminijuma i livenog gvoždja, dok se kod izotermičkog oblikovanja rade od visoko otpornih čelika na osnovama nikla ili molibdena, odnosno iz određenih keramičkih materijala.

Osnovne karakteristike oblikovanja metala u stanju superplastičnosti se ogledaju u minimalnom broju operacija, smanjenju gubitka materijala, smanjenju radne snage, kroišćenju jeftinijeg i prostijeg alata, manjoj potrošnji energije, nižoj temperaturi termičke obrade, povećanoj statičkoj i dinamičkoj izdržljivosti izradaka potrebnoj specijalnoj termičkoj obradi, maloj brzini deformacije, te uspješnoj primjenljivosti kod sitno i srednje serijske proizvodnje. Obim proizvodnje u odnosu na klasični postupak je 20 - 40 puta niži i obično se kreće od 50 do 10.000 komada. Osnovno ekonomsko preimućstvo potiče od znatno niže cijene alata nego kod kalsičnih procesa, pri čemu je cijena alata kod izotermičkog nekoliko puta veća nego kod klasičnih procesa. Kod smanjenja dijametara zrna četiri puta moguće je povećati brzinu deformacije u stanju super plastičnosti i to 100 puta. Za visoko ugljenične čelike kod kojih je dijametar zrna u granicama 0,2 - 0,4 μm , povećanje dozvoljene brzine deformacije se ostvaruje i do 1000 puta. Nastoji se proširiti raspon brzina od $10^{-4} s^{-1}$ do $10^{-1} s^{-1}$ i smanjiti dijametar zrna, uz povećanje dijela atoma koji difunduju kroz njegove granice, sa tim da se poveća koeficijent brzinskog ojačavanja.

U našim uslovima je potrebno riješiti problem industrijske proizvodnje superplastičnih polufabrikata, proizvodnju alata i opreme, projektovanje tehnoloških procesa, ostvarenje nivoa proizvodnosti i kvaliteta proizvoda, obezbjeđenje uređaja za kontrolu, regulaciju i upravljanje procesom, odnosno njegovu optimizaciju, čime bi se mogli postići prihvatljivi ekonomski efekti.

Kontaktno trenje ima važnu ulogu u oblikovanju materijala. Neizbježno je u mehaničkim sistemima. Rijetki su slučajevi gdje se može zanemariti. Uglavnom u procesima deformisanja ima negativan uticaj, sem određenih slučajeva gdje povoljan rasproed sila trenja pozitivno utiče na njegove tehnološke mogućnosti. Uobičajena podjela je na suvo, polusuvo i hidrostatičko. Mogu se javljati tokom procesa istovremeno, pojedinačno i u najrazličitijim vremenskim i prostornim kombinacijama. Uslovi trenja na površini radnog komada su zavisni od maziva, kontaktnog pritiska, temperaturnog gradijenta, metrajala i kvaliteta površina alata i obradka. Kod hladne obrade se često koriste maziva na bazi sapuna, a kod tople na bazi grafitu, dok se kod polutople ne primjenjuje sapunica i disulfid molibdena, zbog razlaganja, već vodeni rastvor disperzionog grafitu. Primjenom fosfatiziranog sloja i mazivom se utiče na odvijanje procesa i postojanost alata. Kod više operacijskog oblikovanja se primjenjuju maziva šireg spektra. Tokom procesa viskozitet sredstava za podmazivanje se mijenja u širim granicama. Za razliku od trenja u mašinskim parovima gdje su taruće površine krute, u procesima obrade deformisanjem se ono javlja u uslovima plastičnog deformisanja obradka i elastičnog deformisanja alata, pa se još naziva i deforamciono trenje. Zato je potebno sagledati sile trenja koje se javljaju na kontaktnim površinama. Kao opšti paramteri se često koriste specifična sila trenja i koeficijent trenja koji zavisi od vrste materijala alata i obradka, karaktera podmazivanja i vrste maziva, geometrijskih karakteristika žarišta trenja, radnih režima (temperature, brzine, pritiska) ... Tokom procesa se javljaju različita stanja: mehaničko (sabijanje, istezanje), termičko (distribucija toplote, promjena temperature), tribološko (uslovi habanja) i hemijsko (hemijske reakcije). Njima su uslovejni granični uslovi procesa deformisanja. Oni utiču na pokazatelje defromacije i deformacionog otpora.

Sile trenja tokom deformisanja mogu biti reaktivne (otežavaju pomjeranje materijala i popunjavanje alata) i aktivne da olakšavaju deformisanje i popunjavanje alata, i njihov smjer se poklapa sa smjerom brzine kretanja materijala. Promjenom kinematike pečenja metala, na šta se utiče redosledom, intezitetom, pravcem i smjerom pomjeranja radnih djelova alata je moguće ostvariti aktivne umjesto reaktivnih sila trenja. I jedne i druge mogu biti pozitivne i negativne, što zavisi od konkretnih tehnoloških uslova kontakata i kretanja materijala i alata. Samo popunjavanje kalupa u pojedinim zonama se ostvaruje različitim intezitetom i brzinama kretanja materijala, na šta sile trenja imaju odlučujući uticaj. Materijal teče u pravcu najmanjeg otpora, pa stvaranjem uslova kroz pomjeranje djelova alata u skladu sa veličinom kontaktnog trenja i njegovim uticajem na kinematiku kretanja materijala mogu se postizati pozitivni efekti: smanjenje radne sile, bolji kvalitet površine komada, manje habanja alata ... U posljednje vrijeme se intenzivno radi na korišćenju aktivnih sila trenja, pri ostvarivanju tečenja metala i popunjavanju kalupa. Mogući efekti su u: povećanju brzine kretanja materijala a time i proizvodnje uz smanjenje škarta, smanjenje neravnomjernosti deformacije i mehaničkih karakteristika po pojedinim zonama obradka, olakšano odvijanje i kontinuitet procesa. kontrolisani raspored deformacija i kontrolisan tok materijala, formiranje i kontrolisanje žarišta deformacije po čitavoj zapremini, smanjenje broja operacija, preraspodjelu opterećenja djelova alata što bi povećalo njihovu postojanost i kvalitet izradka. Oni se mogu ostvariti postavljanjem novih tehnoloških šema oblikovanja, konstrukcijom odgovarajućih tipova alata i mašina višestrukih dejstava. [8, 38,83,84,90,100]

3. OBRADA SKIDANJEM MATERIJALA

Obradu skidanjem materijala čine postupci obrade rezanjem (struganje, sječenje, brušenje, honovanje, lepovanje, superfiniš ...), nekonvencionalni postupci obrade (procesni mehaničke erozije, termoelektrični procesi, elektrohemijški procesi, hemijski procesi) i kombinacija predhodnih procesa i postupaka (mehanički procesi sa ultra zvukom ili plazmom, fizičkohemijški procesi sa ultrazvukom, elektrohemijški sa mehaničkim procesima i elektrohemijški sa elektroerozivnim procesima ...). [22,23]

Svi imaju specifičnost koje utiču na mogućnosti i uslove njihove primjene. U globalu se mogu podijeliti u tri grupe.

a) *Klasične tehnologije* su one koje se izvode na klasičnim mašinama za obradu rezanjem koje nemaju sisteme za numeričko upravljanje. Kod njih je prisutna podjela mašina prema veličini serije, tako da nijesu fleksibilne, trebaju kvalifikovaniju radnu snagu i zbog izraženog ljudskog faktora ostvaruju neujednačen kvalitet proizvoda. Obično rade u prvoj smjeni, tako da je stepen iskorišćenja nizak dok se visoka tačnost i kvalitet postižu uz znatan škart i visoke cijene. Održavanje rokova isporuke je zbog stohastičkih procesa teško izvodljivo, čime se kod kupaca stvara utisak neposlovnosti.

b) *Visoke tehnologije* se ostvaruju na numerički upravljanim mašinama. Kod njih nema stroge podjele prema veličini serije, tako da imaju visok stepen fleksibilnosti i smanjen broj kvalifikovane radne snage, pa da se uticaj ljudskog faktora svodi na najmanju mjeru, što utiče na ujednačen i visok kvalitet proizvoda. Potrebna je znatno bolja priprema proizvodnje (izrada programa, podešavanje alata, pribora, mjerila...). Rad u više smjena je moguć i poželjan, usled čega se ostvaruje visok stepen iskorišćenja opreme. Visoka tačnost i kvalitet uz izuzetno nizak škart, strogu organizaciju korišćenjem računara ovu tehnologiju čini pouzdanom. Rokovi isporuke se poštuju i stvara poslovni ugled kod partnera. Proizvodnja je moguća sa minimalnim skladišnim prostorom. Vrijeme ponude, proizvodnje i isporuke se znatno skraćuje, a cijena koštanja smanjuje.

c) *Nekonvencionalne tehnologije* se najčešće primjenju pri obradi vrlo tvrdih, krutih ili žilavih materijala koji su otporni na visoke ili niske temperature; kod precizne obrade djelova složenog geometrijskog oblika i malih dimenzija. Primijenjeni alat dozvoljava povećanje tačnosti i kvaliteta obradjene površine, sa tim što je izbjegnuta oštrenja alata kao i sve posljedice koje ono uzrokuje. Sječenje materijala se izvodi uskim rezovima, čime se postiže tačnost i mali rastur materijala što je veoma značajno kod skupih materijala (dijamant, rubin ...).

Uzimajući u obzir osnovne karakteristike navedenih tehnologija, kao i opredjeljenje da se u narednom periodu radi tačnije, kvalitetnije i brže uz najmanje troškove proizvodnje, odnosno najveći profit nameće se zaključak da će se u narednom periodu primjenjivati visoke tehnologije obrade rezanjem sa tim što će ih u pojedinim slučajevima dopunjavati nekonvencionalne tehnologije. Konvencionalne tehnologije u međunarodnoj podjeli rada i osvajanja tržišta nemaju perspektive. [22,25,27]

Kako visokim tehnologijama pripada budućnost dalja istraživanja procesa obrade rezanjem su usmjerena na: proces nastajanja strugotine, obradljivost materijala, optimizaciju parametara režima rezanja, razvoj i primjenu senzora za automatski

praćenje i upravljanje procesom, istraživanje obrade velikim brzinama, kao i istraživanje i razvoj novih efikasnijih postupaka obrade rezanjem. [25,113,114,116]

Pri obradi rezanjem dolazi do mehaničkog razdvajanja materijala, što je praćeno njegovom deformacijom pri povišenim temperaturama i određenim hemijskim reakcijama između materijala obradka i alata. Ponašanje bitnih uticajnih parametara se sagledava kroz modelske izlazne karakteristike kao što su: postojanost alata, kvalitet obradjene površine, temperature rezanja, oblik strugotine ..., koje se zbog svoje složenosti za odgovarajuće radne uslove određuju eksperimentalno. Nameće se potreba višekriterijumske analize obradljivosti (maksimalna ekonomičnost, minimalni utrošak energije, lako odvođenje strugotine, srednja temperatura alata ...)

Kako je veliki broj materijala koji se obrađuje u različitim radnim uslovima u kojima na obradljivost utiče mnoštvo parametara, to se pri istraživanju i radu dobija izuzetno veliki broj podataka, pa se u tehnički razvijenim zemljama formiraju nacionalne banke podataka o obradljivosti materijala, koje se uz to i povezuju radi razmjene podataka i dogovora o oblastima istraživanja (MDS u SAD-u, MIC u Japanu, INFOS u Njemačkoj, CETIM u Francuskoj ...). U posljednje vrijeme funkcionišu računarske baze podataka na PC računarima, uz korišćenje Softwar-a.

Stvaranjem banke podataka moguće je voditi tehnokonomsku optimizaciju procesa zavisno od funkcije cilja (max. proizvodnost, min. vrijeme obrade, min. troškovi ...), što se uz kvalitet proizvoda postavlja kao neminovnost. Izvodi se korišćenjem matematičkih modela, vrijednosti iz banke podataka i postavljanjem kriterijuma optimizacije, za šta se koriste odgovarajući Softwar i računari.

U rešavanje osnovnih tehnoloških problema treba uključiti zahtjeve koji se javljaju u vezi sa funkcionisanjem, iskorištenjem, dijagnosticiranjem (proces, alata, obradka, mašine), nadzorom i održavanjem savremenih proizvodnih sistema, kako bi se ostvario kvalitet procesa i proizvoda, za šta se koriste sistemi za dijagnosticiranje [22,24]. Njihovim uvećanjem se proces obrade stavlja pod kontrolu tako da se održava nivo kvaliteta, optimizira proces, smanjuju prazni hodovi, povećava proizvodnost i isključuju eventualna havarijska stanja. Polazni element sistema je senzor, čiji se signal prima, modelira i namjenski koristi. Mogu biti dilatacioni, otporni, piezoelektrični, procesni, direktni, neprekidni, inteligentni... Sistemi se formiraju kao višesenzorski. Koriste se kod sredstava rada za: CNC - upravljanje, tačnost, dilatacije...; a kod alata za pripremu, zaštitu od loma, habanje, postojanost i dr. U procesima služe za registrovanje vibracija, sila, momenta, snage, formiranje strugotine, temperature, parametara kod hlađenja i podmazivanja, dimenzije, oblik i kvalitet površine obradka i priprema. Signal senzora se pojačava, filtrira ili AD konvertuje, a zatim u vremenskom, frekventnom ili drugom domenu analizira [22,23].

Tako prikupljeni podaci se modeliraju, odnosno nalaze korelacione zavisnosti parametara. Mogu biti sa konstantama, koje se prije početka procesa unose ili na bazi prilagodjavanja, odnosno samokontrole, kada se na osnovu sopstveno prikupljenih informacija formiraju i prilagodjavaju konkretnim uslovima i zahtjevima.

Prikupljanje, uskladištenje, obrada, modeliranje i upravljanje procesom čini sistem upravljanja, koji je namjenski opredjeljen za nadzor mjera, stanja mašine, alata ili procesa, odnosno za dijagnosticiranje stanja kada se nalaze veze između otkaza i njihovih uzroka. Ovi sistemi rade sa otvorenom petljom, odnosno potrebna je intervencija operatora, za razliku od sistema adaptivnog upravljanja koji automatski

(ACC) i prema zahtjevu oprimalnog (ACO), saglasno usvojenoj strategiji prilagodjavaju radne uslove.

Dalji razvoj ovih sistema je usmjeren na više senzora i njihovo međusobno povezivanje, što daje više informacija o procesu, njegovu obuhvatniju analizu i upravljanje, odnosno fleksibilniji i pouzdaniji rad sa kvalitetnijim vođenjem procesa i dobijanjem gotovog proizvoda sa manjim utroškom energije, materijala, vremena i sredstava. Praćenje i upravljanje procesa je usmjereno ka stvaranju sistema sa mogućnošću učenja i samostalnog donošenja odluka, odnosno uključivanja inteligentnih komponenti, koje su do sada bile dostupne samo čovjeku.[6,18]

Ovladani postupci obrade rezanjem imaju nedostataka koji se ogledaju u maloju proizvodnosti, ograničenoj tačnosti i kvalitetu obrade i drugim tehničko tehnološkim nedostacima. Njihovim ispitivanjem, kombinovanjem i nalaženjem novih postupaka nastoji se da se nepoželjnosti svedu na nižu mjeru. Otkrivanjem i ovladavanjem obradama sa visokim brzinama (struganje, brušenje, glodanje) se postižu visoki radni učinci (velika količina strugotine, smanjenje sila i momenata, niže temperature i visok kvalitet obradene površine) pri brzinama koje su višestruko veće od klasičnih. Kombinacija metoda obrade struganje - glodanje sa visokim brzinama daje veoma povoljne rezultate: smanjuju se sile rezanja i povećava tačnost mjera i oblika; temperatura se smanjuje a time je i deformacija obradka manja; smanjeno je i habanje alata; strugotina je kratka a vibracije niže.

Kod novih materijala koji se odlikuju visokom zateznom čvrstoćom, tvrdoćom i otpornošću na visokim temperaturama obrada rezanjem se izvodi kada se obradak zagrijava lokalno u zoni rezanja ili čitav, za šta se mogu koristiti: gorionici, električni luk, plazma, električni kontakt, peći, električni otpor, elektrolit ... Njime se u zavisnosti od potreba i izabrane metode može povećati plastičnost materijala i oksidni sloj a smanjiti čvrstoća, koeficijent trenja, tvrdoća, abrazivno dejstvo uključaka u materijalu, intezitet habanja, sile, momenti i snaga rezanja, te poboljšanje kvaliteta obradene površine.

4. MATERIJALI

Razvoj tehničko-tehnoloških dostignuća je pratio razvoj novih materijala. Koriste se u svim domenima inženjerijskog projektovanja. Njihova cijena u odnosu na proizvod iznosi: kod elektronike < 5%, u oblasti mašinskih konstrukcija oko 50%, dok se prosječno računa sa 60%. Izborom materijala za određenu namjenu treba da se bave pored konstruktora, još i planeri, proizvodjači ...

Metali čine oko dvije trećine od ukupno 105 hemijskih elemenata. Imaju karakterističan sjaj, visoku tačku topljenja, veliku specifičnu masu, dobro provode toplotu i struju, kovni su, elektropozitivni i imaju kristalnu strukturu. Upotrebljavaju se najčešće kao legure koje se dobijaju potpunim rastvaranjem rastopa dva ili više hemijskih elemenata ili pseudo legure koje se dobijaju sinterovanjem, elektrolitičkim taloženjem ili destilacijom. Osnovni metali u legurama su: željezo, bakar, aluminijum, cink, nikal, kalaj, olovo, magnezijum i titan, dok su najčešći nemetalni elementi: ugljenik i silicijum. Legure se dijele na legure željeza, obojenih i lakih metala. U zavisnosti od namjene i uslova rada samo neki materijali zadovoljavaju postavljene zahtjeve, i po

pravilu su skupi, kakav je slučaj sa savremenim čelicima povišene čvrstoće, mikrolegirani i fino zrnaste strukture. Postoje i super legure na bazi nikla.[19,20]

Polimeri se uglavnom sastoje od dugih organskih molekularnih lanaca ili prostornih mreža. Imaju malu gustinu, nisku temperaturu omekšavanja, ne kristališu i loši su provodnici elektriciteta. Mehaničke osobine zavise od vrste polimera.[112]

Keramika je nematal i predstavlja hemijsku bazu metalnih i nemetalnih elemenata. Može biti smješa kristala i nekristala, i sastoji se od čistih jedinjenja, uglavnom ima zadovoljavajuću čvrstoću i tvrdoću na povišenim temperaturama ali nedovoljnu žilavost. Pored keramike na bazi silicijuma karbida razvijaju se nove vrste na bazi nitrida i oksida. Keramički materijali su jeftini, ali je tehnologija oblikovanja spora a oprema skupa. U budućnosti se očekuje nalaženje rešenja sa povećanom žilavošću.

Dijamant je najtvrdji poznati materijal sa 10.000 HV (8,1 MN/mm²) i najvećim zapreminskim modulom 4,43 Mbar. Sa najvećom tvrdoćom i ostrim ivicama dijamantske prevlake (DC) su prihvaćene kao najbolji materijal za rezne alate koji radi pri velikim brzinama kod obojenih metala ili kompozita na bazi ugljeničnih ili staklenih vlakana. Nedostaci su im: lomljivost, hemijska nestabilnost pri visokim temperaturama i visoka cijena. Zahvaljujući razvoju tehnologije i opreme za nanošenje cijena po karatu je opala za deset puta.[48]

Dalja istraživanja su usmjerena na dobijanje DC slojeva: na velikim površinama pri velikim brzinama, sa tačno definisanom strukturom i morfologijom što bi dalo optimalne eksploatacione osobine.

Prevlake dijamanta (DLC) zahvaljući visokoj tvrdoći znatno povećavaju otpornost na habanje i snižavaju koeficijent trenja, jer je spoljna površina veoma glatka. Mogu da imaju: visoku propustljivost za svjetlosne zrake, otpornost na abrazivno dejstvo, apsorbovanje infracrvenih zraka i zavisno od depozicije nisku ili visoku električnu otpornost. DLC prevlaka ima širok dijapozon mogućih kombinacija hemijskog sastava ugljenika i vodonika. Za depoziciju se koriste tehnologije na bazi: jonskog snopa (IB) kojim se postiže visoka adhezija i tvrdoća (6000 HV), sa ubačenim legirajućim elementom (W ili Ti) čime se postiže tvrdoća oko 4000 HV i pet puta veća otpornost na habanje i vakuurnog luka kojim se povećava brzina depozicije a smanjuje kvalitet. Ove prevlake imaju veliki značaj za visoke tehnologije i predstavljaju materijal budućnosti.[48]

Kubni nitrat bora (c - BN) sa tvrdoćom od 5.000 HV je odmah iza dijamanta, ali je pogodniji za alate kojima se obraduju materijali sa sadržajem željeza. Prevlaka c - BN ima visoku toplotnu postojanost i otpornost na habanje pa se uspješno koristi na fleksibilnim linijama. Njime se mogu obradivati veoma tvrdi materijali kao što je cementiran ili kaljen čelik. Posebna pažnja se poklanja tehnologiji depozicije c - BN koja se naziva - plazma pražnjenje tople katode u paralelnom magnetnom polju. Plazma se stvara pomoću dejstva tople katode koja zrači elektrone, anode i para magnetna koji stvaraju magnetno polje paralelno električnom polju stvorenom između katode i anode. Osnovni problem pri depoziciji c - BN filma je loša adhezija, što se prevazilazi stvaranjem međuslojeva između osnove i c - BN koji će imati veći hemijski afinitet kako sa C - BN filmom tako i sa osnovom (alatom).[48,123]

Kompoziti su smješe dva ili više osnovnih materijala. Osnova može biti vlaknasta ili disperzna i nosilac je žilavosti. Moguće su najrazličitije kombinacije osnovnog i

ojačavajućeg materijala kao ispune. Savremeni kompoziti imaju za osnovu staklena ili ugljenična vlakna a ispuna je od epoksidnih smola.[122]

Osobine materijala direktno zavise od mikrostrukture, tako da uvodjenje novih tehnologija sa kontrolom mikrostrukture rezultira novoželjenim materijalima.

Inter metalni materijali se po osobinama nalaze izmedju metala i keramike, tako da im je hemijska veza mješovitog tipa. Imaju visok modul elastičnosti, sredjenu kristalnu strukturu i relativno stabilne osobine, pri visokim temperaturama. Oni koji sadrže Al i Si su otporni i na koroziju. U području niskih i srednjih temperatura imaju nisku duktilnost. Sa dodatkom trećeg elementa (B, Nb, Mn) duktilnost im se povećava.

Brzo očvrstnute legure aluminijuma baziraju na mogućnosti dobijanja meta stabilnih čvrstih rastvora (Fe, Mo, Cr, Zr) koji se slabo rastvaraju u aluminijumu, a pri brzom očvršćavanju se stvaraju super sitna zrna korozione postojanosti i do 500°C.

Legure aluminijum-litijum su u procesu taložnog ojačavanja sklone stvaranju zona bez taloga, usled čega se javlja niska žilavost i ograničenja u upotrebi.

Nodularni liv - ADI materijali baziraju na nodularnom obliku grafita u sivom livu, pri feritnoj, feritno-perlitnoj, ili perlitnoj osnovi (nodularni liv) i njegovom izotermičkom poboljšanju (ADI materijali). Kod nodularnog liva se postiže veća zatezna čvrstoća (700 MPa) nego kod sivog liva (200 MPa). Temperatura i vrijeme izotermne transformacije su najvažniji parametri koji određuju nivo mehaničkih osobina ADI materijala. Na 350 do 400°C se obezbjeđuje visoka duktilnost i žilavost, umjerena tvrdoća i niža čvrstoća. U zoni 250 - 300°C se postiže visoka granica tečenja i zatezna čvrstoća. Visoka tvrdoća se ostvaruje na temperaturama 235 - 250°C. ADI materijali se ponašaju slično kompozitima, gdje je osnova stabilni, ugljenikom obogaćeni, austenit a ojačavajuća faza ferit. Silicijumov i aluminijev nodularni liv se legiraju (Mn, Cu, Ni, Mo) termički obradjuju na 900 - 950°C, dok se izotermna transformacija izvodi na 240 - 400°C. Osobine koje dobijaju ADI materijali poslije izotermne transformacije odgovaraju čeličnim otkovcima srednje i visoke čvrstoće. Težina im je manja za 10%, potrošnja energije 50% a cijena niža tako da konkurišu čeliku i postupno postaju materijali budućnosti.[19]

U budućnosti će se istraživati materijali sa zadatim osobinama, pri čemu se polazi od osnovnih zavisnosti: osobina od strukture (makro, mikro, kristalna, atomska i elektronska) koja dalje zavisi od tehnologije. Svaka struktura nezavisno utiče na strukturna svojstva materijala. Makro struktura doprinosi poroznosti, mikro granici zrna, kristalna primjesama, atomska elektrofonskom doprinosu a elektronska električnoj otpornosti. Elektronska struktura je modul preko koga se mogu izraziti svi drugi tipovi struktura, pa se prognozirane osobine materijala iskazuju preko opisa karakteristika njihove elektronske strukture. Uslovno se strukture još tretiraju kao hemijska, geometrijska i energetska. Promjenom geometrijske strukture, koja se ostvaruje pod visokim pritiscima, se mijenja potencijal kristala čime se mijenja elektronsko energetska struktura. Promjenom hemijskog sastava mijenja se elektronska i geometrijska struktura. Tako se sagledava i stvara osnova za dobijanje materijala zadatih osobina.[20]

5. MAŠINE ZA OBRADU DEFORMISANJEM

U obradi deformisanjem se koriste, saglasno brojnim tehnološkim procesima, najrazličitiji alati i oprema, čija rešenja su uslovljena ispunjenjem tehničko-tehnoloških funkcija. Pred njih se postavljaju zahtjevi: povećanje tačnosti i kvaliteta gotovog proizvoda, smanjenje radnog i pomoćnih vremena, brza i precizna promjena jedne ili više pozicija alata i pribora, ostvarivanje ujednačene kvalitetne proizvodnje, brza zamjena alata, pribora i uređaja, visoka dugovječnost, pouzdanost i kvalitet alata, pribora i mašina, jednostavna montaža, eksploatacija, dijagnostika i održavanje, uz ispunjavanje mjera zaštite na radu i očuvanje čovjekove okoline, te ispunjavanje ergonomskih zahtjeva i niska investiciona ulaganja. Tu svakako moraju biti ispunjeni savremeni zahtjevi numeričkog upravljanja uz puno korišćenje računara. U tom pravcu se stvaraju proizvodne automatizovane linije, tako da se gotov element dobija u jednom roku.[41,42,43]

Klasični obradni sistemi se zasnivaju na mehaničkim i hidrauličnim presama, koji se dalje razvijaju u pravcu numeričkog upravljanja i kontrolisanog ostvarenja funkcije cilja, sa višestrukim funkcijama radnih organa.

Radne sile kod koljenastih presa ne prelaze 120 MN, a kod zavojnih 70 MN. Najveća hidraulična presa je izvedena u Rusiji od 750 MN; Francuskoj 650 MN; a u SAD-u postoji više presa od 500 MN. U Evropi ima više presa od 300 - 420 MN. U Podgorici (KAP) se više godina uspješno koriste prese od 300 MN i 50 MN. Smatra se da je nivo tehnologije u oblasti zapreminskog oblikovanja metala označen parametrima sredstava rada. Postizanje novih tehnoloških rešenja u uvodjenju opreme u proizvodni ciklus se ostvaruje u roku od 6 - 8 godina, tako da je neizbježno njeno inoviranje, automatizacija i programsko upravljanje pomoću računara.[8,102,103,105,106]

Na tehnno-ekonomske parametre gotovog proizvoda utiču parametri oblika, geometrije i kvaliteta površine uložka i izradka, zatim tip mašine, način pogona, krutost nosećih struktura u vertikalnom i horizontalnom pravcu, ugibi i pralalelnosti stola i nosača alata, upotreba programskog upravljanja i dijagnosticiranje uz mogućnost korekcije grešaka alata, pribora i mašine. Ispitivanja pokazuju da kod elastičnih deformacija 70% otpada na pogon, a 24% na noseće strukture (stalke). Pri ekcentričnom opterećenju, 80% ukupne deformacije je uslovljeno zakošenjem stola i nosača alata, dok elastična deformacija stalaka iznosi 15%.[8,100]

Kod razrade tehnoloških procesa pažnja se poklanja rešenjima koja nijesu vezana za velike serije. Postavljaju se sistemi za brzu promjenu alata, efikasnu kontrolu, postavljanje linija sa jedno i više pozicionim presama. Mehaničke prese se sve više zamjenjuju hidrauličnim, jer ih je lakše automatizovati, posebno pri malim partijama, uz korišćenje elektronskih sistema za kontrolu, dijagnostiku i upravljanje čitavog procesa počev od odsijecanja, zagrijavanja, oblikovanja i kontrole uz uvodjenje malo oksidnih načina zagrijavanja, usavršavanje konstrukcija alata, pribora i osnovne opreme, te uvodjenje procesa polutople obrade i korišćenja pripremljenog povećanog kvaliteta. Integracijom procesa pomoću računara postiže se povećanje proizvodnje, smanjenje trošnje opreme i alata, smanjenje nivoa energije i buke, odnosno ujednačenost kvaliteta procesa i posebno gotovog proizvoda. [103,105]

U uslovima mehanizacije i automatizacije kod alata se sve više koriste hidraulični pneumatski cilindri, posebni elektromotori i transporteri, vibracioni stolovi, vakuumske jedinice, poseban razvod energije i fluida, poseban sistem programskog upravljanja i dijagnosticiranja, što omogućava fleksibilnost, uz laku demontažu i održavanje, dug vijek i pouzdan rad. Fond znanja u oblasti projektovanja i konstruisanja alata nije zavidan, tako da se dobijanje adekvatnih alata odvija uz dosta poteškoća. Kod razrade se obično vrši: izbor optimalnih gabaritnih i radnih dimenzija, određuje srednja debljina dna i traže mogućnosti za povećanje nagiba, zaobljenja i rebara. Rade u različitim radnim režimima. Kod povišene temperature postoji kontrolisani zagrev, dogrev i hladjenje. Kada je zagrijavanje i dogrijevanje izvedeno sa spoljne strane, javlja se neravnomjeran prenos toplote do unutrašnjosti što djeluje kao armiranje u pojedinim pravcima, tako da zagrev i dogrev treba u osnovi izvesti sa unutrašnje strane, a hladjenje sa spoljne strane kalupa.[8,90,103]

Otkazi alata se uglavnom javljaju usled trošenja istiranjem, mehaničkih i termičkih pukotina, deformisanja i lomova gravura i elemenata. Na ovo se utiče pravilnim izborom materijala, uslovima oblikovanja, smanjenjem napona na radijusima i ivicama gravure i mjestima najvećeg istiranja, odnosno konstrukcionim rešenjima.

Alati se rade od materijala širokog spektra osobina, počev od običnih, legiranih i visokolegiranih čelika kao i visoko otpornih koji izdržavaju pritiske na visokim temperaturama. Radi povećanja otpornosti na habanje i pouzdanosti, na osnovu od običnih čelika se nanose tvrdi slojevi postojani na habanje koji se mogu regenerisati. Za izotermičko kovanje čitav alat se radi od vatrootpornih legura koje zavisno od radnih režima izdržavaju radnu temperaturu i preko 1000°C. Kod materijala koji su skloni stvaranju ogorine (legure titana, nikla, berilijuma) oblikovanje se izvodi u zaštitnoj atmosferi. Za poboljšanje osobina se koriste jedinjenja TiC u CrC koja se plazma postupkom nanose na radne površine. Zbog tvrdoće i toplotne provodljivosti nanosi se i Al₂O₃, posebno pri radu sa velikim brzinama. Visoka proizvodnost uz veliko opterećenje postiže se na alatima iz spečenih praškastih materijala. Dobre osobine na povišenim temperaturama pokazuje brzorezni čelik sa dodatkom kobalta, sa tim da se ne hladi mazivom na vodnoj osnovi zbog stvaranja površinskih pukotina. Sa ekonomske strane treba pri rešavanju ove problematike imati u vidu da i do 60% cijene koštanja proizvoda otpada na alat.[8,39,40]

Nastojanje da se jednim alatom obradjuje što više elemenata utiče da obradni sistemi imaju više performansi, da su složeniji, a samim tim i skuplji. Razvoj mašina ide u pravcu povećanja krutosti postojećih nosećih struktura uz istovremeno smanjenje težine, kontrolisano povećavanje brzine da bi se proces obavljao u optimalnoj oblasti deformisanja, usavršavanja pogona i prenosa snage, razvoja sistema upravljanja, kontrole i dijagnostike uz upotrebu računara čime se povećavaju mogućnosti, sigurnost, pouzdanost i fleksibilnost, odnosno kvalitet procesa i gotovog proizvoda.[13,14]

Istraživanje novih konceptijskih rešenja je prvenstveno vezano za postavljanje osnova novih tehnoloških procesa, što će u daljem zavisiti od novog znanja u ovoj i širim tehničko-tehnološkim i fundamentalnim oblastima.

Prisutan je razvoj netradicionalnih procesa i opreme za visoko efektivne tehnologije. U klasičnim postupcima se daju rešenja za pojedinačnu, odnosno sitnu serijsku proizvodnju, uz usavršavanje opreme za masovnu proizvodnju. Pri tom se oprema automatizuje, programski upravlja, podiže tehničko-tehnološki nivo, izvodi više operacija za dobijanje tačnog i kvalitetnog gotovog proizvoda iz tačnog i kvalitetnog

priprema. Sa proširenjem tehničkih mogućnosti, na jednoj mašini se radi više tipova proizvoda. Uvodjenjem blokovsko modulske konstrukcije i primjenom elektronike u smislu programskog upravljanja, dijagnosticiranja i kontrole, uz veće korišćenje hidrauličnih pogona i komponenti, te moguće brze zamjene modula i alata dolazi se do kompleksnih sistema automata za izradu različitih elemenata za kraće vrijeme, uz manje materijala i uz manji utrošak energije. Takva oprema se radi u više preduzeća, i po pravilu proizvodi za poznatog kupca. Preduzeća, koja rade noseće strukture u Japanu ima oko 11.000, u Kini oko 6.000, a u Tajvanu oko 600. U toku 1995. godine oprema za obradu deformisanjem je proizvedena: u Japanu - 1.594 • 10⁶ USD, u SAD - 1.789 • 10⁶ USD, u Italiji - 1.111 • 10⁶ USD, u Njemačkoj - 2.431 • 10⁶ USD, a kod nas - 17,5 • 10⁶ USD.[167,68,82,87]

U svjetskim razmjerama najveću proizvodnju je ostvarila (1995) Zapadna Evropa 5.372 • 10⁶ USD, zatim slijedi Pacifički region 2.858 • 10⁶ USD, Sjeverna Amerika 1.943 • 10⁶ USD, Istočna Evropa 154 • 10⁶ USD i ostali 48,4 • 10⁶ USD.

Specijalizovanih preduzeća koja rade opremu za oblikovanje ima u: Japanu preko 600, SAD preko 250; Njemačkoj oko 200, Italiji preko 150; i u Rusiji preko 100.

6. MAŠINE ZA OBRADU REZANJEM

Tehničko-tehnološki razvoj svake zemlje moguće je sagledati i kroz proizvodnju i upotrebu mašina alatki. Najrazvijenije zemlje svijeta su istovremeno najveći proizvođači i potrošači. One su kompleksni sistemi gdje se pod dejstvom radne sile javljaju deformacije mašine, pribora, alata i obradka, koje treba anulirati i postizati izradak većeg kvaliteta i užih tolerancija, što je moguće ostvariti samo dobro koncipiranom i izvedenom konstrukcijom. U opštem prilazu kvalitet mašine se sagledava kroz povećanu tačnost i produktivnost uz nižu cijenu. Kako je sve izraženija potreba za kvalitetom to je modulna gradnja pokazala prednost, tako da se već na tržištu srijeću sklopovi vitalnih elemenata visokih performansi (glavno vratilo ...). Tačnost i brzina rezanja se ostvaruje kroz povećanje: statičke krutosti, prigušenja oscilovanja elemenata i sistema i stabilnosti usled toplotnih deformacija. Sa povećanjem brzine rezanja poboljšava se radni učinak naročito tamo gdje je pripremno vrijeme kratko a radno dugo, uz istovremenu promjenu toplotnih uticaja jer se najveći dio toplote kroz strugotinu odvodi a obradak ostaje skoro na temperaturi okoline. U najrazvijenijim zemljama (SAD, Japan, Njemačka) su vršena ispitivanja sa povećanim brzinama rezanja, tako da je ustanovljeno da se sa porastom broja okretaja potrebna snaga smanjuje, a time i potrošnja energije. Za visok broj okretaja se razvijaju nove konstrukcije uležištenja glavnog vretena, pri čemu se za izradu elemenata kotrljajućih ležajeva koriste novi materijali, odnosno postavljaju osnove za magnetna - bezkontaktna uležištenja.[13,28,29]

Osnovni sklopovi mašine alatke presudno utiču na njene parametre tako da se očekuje od: postolja - visoka krutost, prigušenje, toplotna stabilnost i tehnološkičnost izrade uz nisku cijenu; glavnog vretena - visoka krutost, brzina obrtaja, prigušenje, podmazivanje, laka montaža, održavanje i niska cijena; klizača - visoka krutost, prigušenje, otpornost na habanje i termička stabilnost.

U postizanju namjene, navedeni i drugi bitni parametri su teško ostvarljivi i međusobno suprotstavljani, tako da rešenja, po želji kupca, predstavljaju kompromis između zahtjeva i mogućnosti. Karakteristike materijala za izradu važnijih djelova

mašina alatki su: visoka čvrstoća, modul elastičnosti i sposobnosti prigušenja; dobre termičke osobine, tehnološkičnost, nizak koeficijent trenja i cijena. Klasični materijali istovremeno ne posjeduju ove osobine. Čelici imaju visoku čvrstoću i modul elastičnosti, dok su im prigušenja lošija strana. Međutim postoje i drugi materijali (armirani beton, polimer beton, industrijska keramika, plastika, materijali na bazi smola ...) koji u datim uslovima imaju prednost. Postolje alatne mašine radjeno od armiranog betona u odnosu na isto radjeno od livenog željeza ima: oko pet puta veće prigušenje, tri puta veću krutost, četiri puta manju osjetljivost na toplotu i osam puta nižu cijenu. U zemljama kod kojih je industrija smola razvijena postolje se rade od polimer betona i imaju: visoko prigušenje i krutost; jednostavnu tehnologiju, izradu i doradu, laku modulnu gradnju; toplotnu, hemijsku i dimenzionu stabilnost, a tokom proizvodnje se troši manje energije.

Primjena konstrukcije keramike je uslovljena osnovnim karakteristikama (visoka tvrdoća, modul elastičnosti, otpornost na habanje i stabilnost na hemijske uticaje; dobra električna i magnetna svojstva i malo toplotno istezanje, niska zatezna čvrstoća, slaba žilavost i osjetljivost na koncentraciju napona). Poboljšanje osobina se postiže dodavanjem oksida mangana, molibdena, berilijuma, kamdijuma i jedinjenja cirkonijuma. Opšta podjela je na oksidnu (oksidni aluminijuma (Al_2O_3) i cirkonijuma (ZrO_2)) i neoksidnu (karbidi silicijuma (SiC) i bora (B_4C) i nitridi silicijuma (Si_3N_4), bora (BN)). Najviše se koriste oksidi aluminijuma koji se dobijaju iz glinice visoke čistoće. Oblikovanje se izvodi presovanjem i ekstruzijom. Kod sinterovanja na visokim temperaturama se stvara homogena polikristalna struktura. Lako se spaja sa drugim materijalima lijepljenjem. Uspješno se nanosi na metalne elemente koji primaju opterećenja, dobra je zaštita od korozije i agresivnih sredina. Koristi se za izradu klizača i elemenata, kliznih ležajeva koji ne trpe jake dinamičke udare, kuglica za kotrljajuće ležajeve visokih performansi. Pored čeličnih kotrljajućih u primjeni su hibridni (keramičke kuglice) ležajevi, kod kojih se za postizanje visoke krutosti i broja obrtaja glavnog vretena koriste ležajevi sa malim kuglicama, tako da su vibracije i centrifugalna sila kuglica smanjene; a temperatura ležaja se drži na nižem nivou.

Savremena istraživanja pokazuju da se sa izradom: postolje od betona, klizača i kuglica za ležajeve i alata od keramike, kaveza ležaja od poliamida, glavnih vretena od materijala na bazi fibera i ostalih elemenata od plastike, stakla, provodnika ... mogu alatne mašine raditi od nemetalnih odnosno nečeličnih materijala. Ovi nekonvencionalni u odnosu na konvencionalne materijale u određenim rešenjima imaju znatnih prednosti. Za njihovo korišćenje su potrebna sopstvena iskustva i istraživanja.

7. PROJEKTOVANJE I OPTIMIZACIJA

Pri projektovanju i realizaciji tehnoloških procesa proizvodnje neophodno je obezbijediti zahtjeve tržišta koji ističu kvalitet, proizvodnost i ekonomičnost. Pri tom se rešavaju aktivnosti vezane za izradu, montažu, kontrolu, transport, skladištenje, snabdijevanje, posluživanje, pripremu, rukovođenje ... U procesu obrade se vrši transformacija priprema u izradak postupnom promjenom oblika, dimenzija, unutrašnjih osobina i kvaliteta. Izvodi se u više faza - operacija, pri čemu se obradak prevodi u novo više stanje obrade. Projektovanjem se obezbjeđuje redosled varijanti i uslova pri čemu se traže najpovoljnije kako bi se proces optimalno odvijao. Kriterijumi za odlučivanje pri realizaciji ovih faza mogu biti tehničko-tehnološki ili tehničko-

LVIII

organizacionog karaktera. Pri tom se primjenjuju savremene metode i sredstva, odnosno efikasan sistem tehnološke pripreme i proizvodnje, uz primjenu savremenih informacionih sistema, banki podataka, sistema kontrole, dijagnostike i upravljanja.

Tokom rada su razvijeni principi individualne, tipske i grupne proizvodnje. Unifikacijom i standardizacijom tehnoloških procesa obrade stvara se osnova za postizanje većih proizvodno-ekonomskih rezultata. Primjenom standardizovanih tehnoloških procesa na izradu familije međusobno tehnološki sličnih djelova, stvaraju se veće serije i mogućnosti automatizacije obradnih i tehnoloških sistema uz skraćivanje ciklusa izrade. Individualni tehnološki proces se projektuje i primjenjuje za obradu samo jednog dijela saglasno crtežu, veličini serije, raspoloživoj opremi i mogućoj tehnološkoj pripremi.

Grupni tehnološki proces se primjenjuje u proizvodnji grupe tehnološki sličnih djelova po svim operacijama i zahvatima, tako što se projektovanje vrši prvo za reprezentantna a potom izvodi konkretizacija za svaki dio. Kod ovog koncepta se za izradu grupe djelova koriste iste mašine, pribori, alati i izvode njihove grupne pripreme, što daje mogućnost višeg nivoa specijalizacije i automatizacije procesa i sistema uz bitno povećanje proizvodnosti i ekonomičnosti.

Tipski tehnološki procesi daju slične efekte kao grupni sa tim što se projektuju za tipove djelova međusobno veće sličnosti, odnosno jedinstvenih konstruktivnih i tehnoloških karakteristika. Daljim rasčlanjivanjem se postavljaju grupe kod kojih se ostvaruje jedinstvo tehnoloških operacija za svaki dio istog tipa.

Naznačene karakteristike i koncepti grupne i tipske tehnologije su primjenjivi u različitim tehnologijama i posebno kod fleksibilnih proizvodnih sistema, pri čemu se javljaju značajni efekti kod konstruktivne i tehnološke pripreme, odnosno kvaliteta tehnoloških procesa i sistema upravljanja.[27,29,64]

Grupisanjem djelova prema istim ili sličnim tehnološkim procesima formiraju se standardizovani procesi obrade koji se kasnije mogu za svaki konkretni dio svesti u varijantna rešenja, što može biti automatizovano korišćenjem konstrukciono - tehnološkog klasifikatora. Nalaženje optimalne varijante se postiže primjenom metoda i sistema tehnoeekonomske optimizacije. Ona je uslovljena kako serijnošću tako i organizovanošću proizvodnog sistema. Optimalne varijante se mogu naći korišćenjem analitičkih medela unutrašnje optimizacije koji obuhvataju: funkciju optimizacije i odgovarajuće kriterijume, funkcije stanja sa ograničenjima. Nalaženjem zavisnosti između funkcije optimizacije i funkcija ograničenja sa ponašanjem ulaznih kontrolisanih parametara obradnog procesa dobija se analitički model unutrašnje optimizacije obradnog procesa. Kao funkcije optimizacije se koriste: troškovi obrade po jedinici zapremine skinute strugotine, troškovi i vrijeme obrade, troškovi po jedinici vremena, funkcija rentabilnosti, funkcija postojanosti, tačnost, troškovi, proizvodnost ...

Varijantna projektovanja tehnoloških procesa koja su zasnovana na grupnim i tipskim tehnologijama, uz varijantni sistem tehnoeekonomske optimizacije, omogućavaju, kao polazna baza znanja, razvijanje ekspertnih sistema za potrebe automatizacije projektovanja i optimizaciju.

Automatizacija inženjerskog projektovanja se posebno razvija primjenom dostignuća informacione tehnologije. Automazijacija inženjerske analize se naglo razvija mogućnošću krošćenja metode konačnih elemenata (MKE), dok se automatizovano konsturisanje razvijalo paralelno sa računom podržanim modeliranjem. Kod

LIX

dokumentovanja i arhiviranja rezultata došlo je, korišćenjem sredstava informacione tehnologije, do pravog probraza.[32,33]

Efikasnost pojedinih procesa i inženjerskog projektovanja u cjelini je dovedena do visokog kvalitetskog nivoa kako izlaznih rezultata i njihove upotrebne vrijednosti, tako i do niže cijene i humanizacije rada pojedinih postupaka.

Sredstva rada koja sada stoje na raspolaganju projektantu - konstruktoru imaju takve mogućnosti i daju takve rezultate da se već razmišlja o eliminisanju izrade prototipa.

Savremene sisteme za podršku inženjerskom projektovanju karakteriše: kompleksnost i obuhvatnost projektanskog rada, otvorenost i analiza odnosa cijena i kvaliteta, odnosno funkcionalna podobnost i korisnička orijentacija. Primjenom računarom podržane tehnologije postoje sve pretpostavke za kvalitetno povezivanje projektovanja sa drugim proizvodno - poslovnim funkcijama industrijskog proizvodnog sistema. U procesu geometrijskog projektovanja i modeliranja se primarno koriste 3D modeli kod kojih su prisutna dva osnovna principa gradnje i prezentiranja (CSG i B).

Savremeni sistemi za podršku geometrijskom modeliranju podržavaju projektantski rad u 2D i 3D geometrijskom prostoru uz mogućnost predstave prostorno-vremenskog kontinuuma (uz tri Dekartove dimenzije dodati su boja i vrijeme). Postupci i sredstva automatizovane inženjerske analize razvijaju se u pravcu mehaničke i strukturne analize predmeta rada.[59,62,63]

Mehanička analiza podržana računarom se oslanja na postojanje geometrijskog modela i metodi konačnih elemenata sa metodama modalne analize datim kroz programske strukture za deteminisanje stanja statičkog, dinamičkog ili termičkog opterećenja predmeta rada.

Alati za obradu deformisanjem se uspješno rade i analiziraju korišćenjem metode konačnih elemenata. Polazi se od simulacije procesa deformisanja pri čemu se određuju sile, naponi, deformacije, temperature, tečenje metala ... Dobijeni rezultati su valjani a moguće simulacije neuporedivo jeftinije od ispitivanja u realnim uslovima.

Strukturna analiza predmeta rada se dugo tretirala van funkcije projektovanja. međutim sa upotrebom moćnih i savremenih sistema projektovanja, strukturni modeli grade se uporedo sa geometrijskim modelima, pa je mogućnost nastajanja greške svedena na minimum.[124,125,140]

Aktuelni trenutak automatizovanog projektovanja se može sagledati kroz: opadanje broja novih sredstava i alata, kao i priraštaj efikasnosti i efektivnosti, dok je u porastu broj zaokruženih - standardizovanih ponuda, kao i stepen autonomnosti sredstava i alata.

Vrijeme trajanja projektnih procesa je skraćeno i do nekoliko stotina puta, a cijena snižena i do 90%, uz valjane pretpostavke o eliminisanju potrebe za izradu skupih prototipova, jer je kvalitet projektovanja značajno povišen i subjektivni faktor sveden na najmanju mjeru.

U našim uslovima se pratio trend računarom podržanih tehnologija sa vremenske distance koja iznosi više godina, sa tim što je u naučno-istraživačkim oblastima znatno manja nego u industriji. Veze naučno-istraživačkih institucija i privrede u ovoj oblasti kao da ne postoje. Istraživanja i primjena kompjuterom podržanih tehnologija u inženjerskom projektovanju su prisutna na Univerzitetu u procesu obrazovanja, dok se u

privredi još uvijek koriste konvencionalne metode i sredstva projektovanja, sa tim da postoje i primjeri samostalno razvijenih sistema.[133]

Rezultate postignute u oblasti kompjuterom podržanih tehnologija prate problemi i dileme. Automatizovana funkcija projektovanja je skup visoko automatizovanih procesa čija je interakcija još uvijek otežana, a transparentnost rezultata na niskom nivou, dok su subjektivne razlike u znanju i iskustvu projektanta izvor oscilacija u kvalitetu izlaznih rešenja. Pitanja organizacije sistema i banki podataka, odnosno korišćenja čitavog spektra programskih rešenja za jedinstven projektni zadatak uz korišćenje pristupačnije PC tehnologije ili sistema PC platformi, te napuštanje konvencionalnih metoda, i obezbjeđenja otvorenosti sistema i konzistentije kvaliteta i standarda su prisutna i postupno se rešavaju u pravcu napredka.

U budućem razvoju sistema za automatsko inženjersko projektovanje se sagledavaju pravci: primjena filozofije konkurentnog inženjerstva, integracija sistema, ekspertnosti, inteligencije i korisničke orijentisanosti. Konkurentno odnosno simultano inženjerstvo integriše širok spektar konstruktivnih, tehnoloških, ekonomskih i drugih aktivnosti u cilju skraćivanja vremena, smanjena troškova i podizanja ukupnog kvaliteta proizvoda, u tom cilju svi izvori informacija i znanja, bez obzira na lokaciju, treba da budu funkcionalno vezani i efikasno zaštićeni u svim fazama izvodjena projekta. Kod integracije sistema potrebno je odabrati: podesan model baze podataka i baze znanja, kvalitetno koncipiran i izveden komunikacioni podsistem sa tehničkom podrškom koja je povezana u komunikacionu mrežu i ima mogućnost upravljanja radom u mreži. Svaki učesnik u procesu projektovanja sa svog radnog mjesta može da izvrši bilo koju operaciju, sagleda fazu ili konačan rezultat u cilju rešavanja svog zadatka. Otvorenost sistema znači obezbjeđenje mogućnosti za proširenje ili rekonstrukciju sistema, odnosno povezivanje sa drugim sistemima. Ostvarivanje integracije vodi preko standardizacije elemenata sistema. Sistemi za automatsko inženjersko projektovanje u budućnosti treba da budu inteligentni projektantski alati, kao i prostor za integralno upravljanje bazama podataka i znanja u oblasti projektovanja.[25,27]

Ekspertnost i inteligencija su ključni aspekti postojanja integrisanog sistema. Njihov razvoj je uslovljen konceptima baza znanja od kojih koncept modela porazumijeva znanje po dubini počev od oblasti primjene, fizičkog fenomena, teorijskih osnova, adekvatnih modela ..., dok su u drugom slučaju to velike baze znanja, koje povezane sa predhodnim mogu biti vrlo produktivne. Za očekivati je da će se razvijati oni sistemi koji su okrenuti projektantu i njegovim potrebama, kako bi rezultat bio pravovremen, adekvatan i kvalitetan.

8. FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEMI

Razvoj i primjena tehničko-tehnoloških dostignuća omogućuje razvoj tehnologija obrade. U poslednjih 100 godina brzina rezanja se povećala 10 - 50 puta, presjek strugotine a time i otpori rezanja do 20 puta, što je uslovlilo povećanje radnih efekata od 20 do 200 puta. U početku je automatizacija imala zadatak oslobađanja radnika psihičkog naprezanja i povećanja produktivnosti rada, sa usmjerenjem na velikoserijsku i masovnu proizvodnju. Sa pojavom numeričkog upravljanja u automatizovanim obradnim sistemima moguće je bilo ostvariti maloserijsku i jediničnu proizvodnju. Daljim razvojem informacionih tehnologija (numeričko i kompjutersko upravljanje, kompjuterska obrada

informacija za upravljanje tehnološkim procesom ...) stvaraju se uslovi za fleksibilnu automatizaciju proizvodnje djelova malih serija. Nagli razvoj elektronike i kompjuterske tehnologije je imao presudan uticaj na prodor numeričkog upravljanja i postavljanja numerički upravljanih obradnih sistema, te programabilne i fleksibilne automatizacije, odnosno fleksibilnih fabrika budućnosti.[29,31,33,62]

Kompjuterizovano numeričko upravljanje (CNC) za razliku od konvencionalnog (NU) ima: nižu nabavnu cijenu, veću fleksibilnost u primjeni zbog softverske obrade upravljačkih informacija na računaru i mogućnost direktnog komuniciranja, programiranja i korekcije kroz memorisanje više programa na mašini. Osnovno kolo numeričkog upravljanja obezbjeđuje funkcionisanje sistema, a adaptivno kolo prilagodjavanje određenih parametara stvarnoj situaciji i usvojenoj strategiji, za šta je potrebna indentifikacija procesa odlučivanja i modifikacija parametara. Direktno numeričko upravljanje podrazumijeva ON-LINE centralizovano upravljanje za više mašina, pomoću jedinstvenog računarskog sistema. U njemu se uočavaju funkcionalne cjeline: centralni procesni kompjuterski sistemi sa centralnom i jedinicama perifernih memorija, kao i ulazno-izlaznim jedinicama, uz mogućnost povezivanja sa računarskim sistemom višeg nivoa; moduli za povezivanje centralnog računarskog sistema sa NU mašinama i NU mašine sa svojim mašinskim, pogonskim i mjernim sistemima.

U težnji da se sve aktivnosti u okviru tehnološkog procesa automatizuju, razvijeni su fleksibilni tehnološki sistemi (FTS). Imaju poseban procesni računar koji obuhvata: radni, manipulacioni, mjernokontrolni, transportni i skladišni sistem. Služe za kompletnu obradu određene familije djelova i omogućavaju optimizaciju čitavog tehnološkog sistema. Povezani su ON-LINE sa automatskim projektovanjem upravljačkih informacija. Ovakve strukture se dijele u pet nivoa složenosti: I - fleksibilni tehnološki modul (FTM), II - fleksibilna tehnološka ćelija (FTC), III - fleksibilni tehnološki sistem (FTS), IV - fleksibilna automatska fabrika i V - inteligentni tehnološki sistem (ITS). Integrisani su sa podsistemima za: dizajn (CAD), planiranje (CAP), proizvodnju (CAM), kvalitet (CAQ), projektovanje (CAE) i integrisanu proizvodnju (CIM). Uvodjenjem sistema višeg tehnološkog nivoa podiže se efektivnost kapaciteta. Uvodjenjem fleksibilnih tehnoloških sistema u Japanu se pokazuje smanjenje: broja mašina alatki 2 do 8 puta, radnika u neposrednoj proizvodnji 4 - 10 puta, radioničnog prostora do 4 puta, troškova proizvodnje za 30% do 50% i protoka proizvodnje za 4 do 20 puta. Osnovne karakteristike novih fleksibilnih tehnoloških sistema su: ekonimična proizvodnost uz visoku fleksibilnost i produktivnost, potpuna integracija pripreme, proizvodnje, kontrole i montaže, značajno smanjene pomoćnih i drugih vremenskih gubitaka uz rad u tri smjene, bolji kvalitet proizvoda uz smanjenje svih vidova zaliha.

Alatne mašine postaju u svojoj izvedbi sve složenije i obezbjeđuju kompletnu obradu složenih djelova. Pored horizontalne počela je njihova vertikalna nadgradnja. Norme Evropske zajednice (EC) u pogledu kvaliteta i tehničke sigurnosti u eksploataciji se prihvataju. Uvodjenjem standardnih tipiziranih elemenata i sklopova uz modularnu izgradnju postiže se jednostavnija i jeftinija proizvodnja, odnosno jednostavnije projektovanje, montaža, dijagnosticiranje i servisiranje.

Zahtjevi za preciznim i dihamičnim upravljanjem dovode do razvoja novih regulacionih kola sistema za pomoćno kretanje. Prisutna su nova komponovanja sklopa glavnog vretena, koje je integrisano u sklop vreteništa sa pogonskim motorom.

Upravljačke jedinice mašina alatki omogućavaju visok nivo konformabilnosti, što se ogleda u: mogućnosti memorisanja i korekcije više upravljačkih programa, olakšanom

programiranju kroišćenjem menija, obezbjeđenju funkcija za jednostavno programiranje, omogućavanju grafičke provjere geometrijskih informacija, provjeri sigurnosnih odstupanja i kolizija, mogućnosti kompezacija sa stanovišta korekcija u ON-LINE procesne adaptacije, posebnim funkcijama za minimizaciju vremena obrade i razvoju dijagnostičkih i nadzornih funkcija.[129,132,134]

Manipulacioni transportno skladišni sistemi obavljaju operacionu, medju operacionu i skladišnu manipulaciju. U fleksibilnim tehnološkim sistemima (FTS) operacionu manipulaciju obavljaju isključivo roboti. Najviše ih ima u Japanu (preko 50%), potom SAD-u i Njemačkoj. Češće se primjenjuju kod: montaže, tačkastog zavarivanja, elektrolučnog zavarivanja i opsluživanja mašina, a u posljednje vrijeme i u: mjerenju, kontroli, testiranju i obradi. Nove oblasti njihove primjene su: nove tehnologije, specijalni uslovi, oblasti sa elementima nepovoljnim za manipulaciju, demontažu ...[31]

Pri analizi funkcija industrijskih robota i manipulatora sa stanovišta funkcionisanja fleksibilnih tehnoloških sistema polazi se od njegovih najznačajnijih karakteristika kao što su: broj stepeni slobode, vrsta i oblik radnog prostora, nosivost, vrsta pogona, vrsta sistema upravljanja, klasa tačnosti, radna sredina ... Kod manipulacionog robota u operacijama posebna pažnja se poklanja uzajamnom uticaju pojedinih karakteristika.

Sredstva medjuoperacijske manipulacije sada limitiraju dalji razvoj automatizacije proizvodnih procesa, jer je izražena potreba fleksibilne povezanosti pojedinih radnih mjesta i funkcije sistema u cjelini, za šta se koriste: portalni manipulatori, industrijski roboti, šinski vodjena kolica, induktivno upravljana kolica, univerzalne i specijalne palete i dr.

Medju operaciona skladišta, predstavljaju dio prostora manipulacije i preko njih se usaglašava vremenska neuravnoteženost trajanja pojedinih operacija i obezbjeđuje fleksibilan rad tehnološkog sistema. U fleksibilnim tehnološkim sistemima se koriste manipulacioni sistemi koji mogu biti jednostavni i jeftini odnosno složeni i skupi. Složenim se rešavaju kompleksna manipulacija i skladištenje predmeta rada, alata, pribora, hvataljki za obradak i alata ... Projektna rešenja se kreću u pravcu povećanja: brzina manipulacije (do 100 m/min) i broja osa kojima se upravlja, kao i smanjenju težine u odnosu na nosivost, odnosno konceptijskog postavljanja modularne gradnje.

Mjerno kontrolni sistem ostvaruje direktan uvid u uspješnost ostvarivanja tehnološkog procesa, mjerenjem obradka nakon izvršene obrade. Ta vremenska razlika može umanjiti efekat povratnih informacija, pa se nastoji približiti mjerno-kontrolni sistem procesu obrade, što bi omogućilo najkraće vrijeme odziva na eventualna odstupanja. Time se nastoji spriječiti nastajanje škarta i održavati visok nivo i ujednačenost kvaliteta izradaka i pored prisutnih poremećaja kakvi su habanje alata i njegova nepodešenost u okviru sistema, te elastične i toplotne deformacije.

Mjerno kontrolni sistem obradka može biti inkorporiran u samu mašinu kojoj se dodaje mjerno kontrolna funkcija, pa je upravljanje najmanje CNC nivoa, dok se metrološki zadaci postavljaju zajedno sa programom za obradu, što dovodi do integracije mjerno-kontrolnih operacija i procesa obrade, pri čemu sistemi mogu biti taktilni, optički, akustični, elektrostatički ...

Posebni mjerno-kontrolni sistem se uključuje u tok materijala i postavlja uz obradni sistem, kako bi se smanjila vremenska razlika između obrade i mjerenja. Njena osnova je numerički upravljanja mjerna mašina koja prihvata i mjeri obradke. Ona je u direktnoj komunikaciji sa obradnim sistemom i računarskim sistemom za upravljanje, obradu

informacija i komuniciranje, što ga čini pridruženim sistemom u procesu rada. Može biti koncipiran kao zasebna cjelina sa više NU stanica i sistemima za transport i manipulaciju.[29,62]

Mjerno kontrolni sistem alata se postavlja na mašini ili na posebnom punktu a namjena mu je da da informacije: o dimenzijama alata koje su bitne za pozicioniranje klizača sa alatom u cilju obezbjedjenja tačnog relevantnog položaja alata i obradka, odnosno stanju alata koje se tokom procesa mijenja, tako da se indentifikuju i specifična stanja (lom, habanje, kolizije ...).[126,127]

Razvoj sistema upravljanja fleksibilnih tehnoloških struktura predpostavlja rešenje softvera za područja upravljanja: numerički upravljanim programima, tokom materijala i proizvodnjom, alatom i izvještajima, uz korišćenje industrijskih lokalnih mreža (I-LAN) koje daju veću fleksibilnost u komponovanju, povezivanju i proširenju.

U našoj zemlji je prisutno ozbiljno zaostajanje u razvoju i plasmanu domaće industrije mašina alatki. Ono se posebno ogleda u: nedovoljnom praćenju trendova razvoja savremenih mašina alatki i sistema, slabom plasmanu sopstvenih NU rešenja, zaustavljanju osvajanja sopstvenih proizvodnje komponenti za mašine i sisteme (motori sa regulacijom, mjerni sistemi, upravljačke jedinice ...).

U našim fabrikama je usvojen njih savremenih rešenja NU mašina i FT sistema, odnosno vitalnih modula, koji i pored određenog pozitivnog trenda po kvalitetu i performansama zaostaju za rešenjima vodećih svjetskih proizvođača.

Mašine alatke dosadašnje koncepcije se rade oko 200 godina, zadovoljavajući izazove u proizvodnji gotovih elemenata koji teku kroz fabriku u simultanom ostvarenju asortimana djelova, koji se rade na različitim lokacijama. Izvode se modularno-kombinovano po principu sastavnih djelova tako da se ostvaruje ekvivalentno kompletiranje obradnih i drugih (ispitivanje, montaža, pakovanje...) sistema u cilju zadovoljenja projektovanog tehnološkog sistema.

Dalji razvoj mašina alatki se kreće u pravcu stvaranja sve složenijih mašina (više radnih vretena, nosača alata ...) u cilju izvođenja kompletne obrade složenih djelova. U mehaničkom sistemu mašine teži se povećanju statičke krutosti, dinamičke i termičke stabilnosti kao uslovu za povećanje tačnosti i proizvodnosti procesa. Uvodjenje modularne gradnje obezbjedjuje jednostavniju i jeftiniju proizvodnju, odnosno lakše projektovanje, montažu, dijagnostikovanje i servisiranje. Uz to se zadovoljava zahtjev za povećanim i visokim brzinama rezanja. Kod visoko preciznih mašina daje se hidrostatičko uležištenje i vođenje. Ostvarivanje navedenih zahtjeva uslovljava uvođenje novih materijala.

Pogonski sistemi se rade što manjih dimenzija uz korišćenje regulacionih modula i digitalnih AC servomotora, odnosno servomotora jednosmjernne struje.

Kod numeričkog upravljanja će se koristiti: veći mikoprocessori, više procesorski sistemi, veće memorije, konfiguracija PC računara, grafički displej za interpretaciju obradka i putanje alata, jednostavnije programiranje kroz grafičku interpretaciju ... Opšta tendencija u razvoju manipulacionih, transportno skladišnih i mjerno-kontrolnih sistema, odnosno sistema upravljanja, kao komponentama fleksibilnih tehnoloških sistema je u tipizaciji elemenata i sklopova, odnosno modulnom principu gradnje. Pri tom se pokazuje da je za poboljšanje kvaliteta i performansi manipulatora i industrijskih robota presudan stalni napredak u poboljšanju mehaničke strukture. U početku su radjeni roboti opšte namjene da bi u narednom periodu bio naglasak na robotima specijalne namjene, što smanjuje serijnost, ali povećava modulnost i kvalitet

komponentata i sklopova, čime se uspijeva da nosivost robota dosegne 10% njegove težine. Potom se povećava brzina kretanja hvataljki, pojednostavljuje konstrukcija, povećava tačnost pozicioniranja i smanjuje cijena.[29,31]

Kada se radi o kompleksnim fleksibilnim tehnološkim sistemima očekuje se da će složenije - obuhvatnije strukture sve više potiskivati jedinična rešenja.

Ukupna koncepcija razvoja NU sistema se razvija u pravcu stvaranja fabrika sa različitim NU mašinama alatkama, industrijskim robotima, sistemima automatskog transporta, mjerno-kontrolnim sistemima, automatskim skladištima i računarom koji će međusobno biti povezani i raditi bez direktnog čovjekovog učešća, što čini koncept "fabrike bez ljudi".

Kada se navedene aktivnosti povežu sa CAD, CAPP,... u jedinstven poslovni sistem dobija se kompleks računarom integrisane proizvodnje (CIM) čiji je cilj potpuna informatičko - tehnička kontrola i logistička integracija svih aktivnosti industrijskog sistema od narudžbe preko projektovanja, nabavke, proizvodnje, kontrole, pakovanja, skladištenja... do isporuke gotovog proizvoda.[130,131,133]

Naša preduzeća metaloprerađiva su u krajnje kritičnoj poziciji kada se teži CIM konceptu. Nabavna vrijednost opreme je iznosila oko $60 \cdot 10^9$ USD, i veći dio je nabavljen sedamdesetih godina, što je čini amortizovanom. Njena sadašnja vrijednost, kako nije valjana inovirana može iznositi oko četvrtine nabavne vrijednosti. Kako se uglavnom radi o klasičnim rešenjima to je njen stepen automatizacije nizak, dok se bitna eventualna ulaganja, ostvarivanja višeg stepena fleksibilnosti ne mogu u skorije vrijeme očekivati. Zato je neophodno za određena preduzeća izvršiti detaljnu tehnno-ekonomsku analizu koja bi bila osnova budućih nastojanja za modernizaciju kapaciteta sa težnjom da budu fleksibilni, aktuelni, inovativni i u svjetskom trendu. Podaci iz Njemačke ukazuju da preko 70% fleksibilnih tehnoloških sistema postoji kod firmi koje imaju više od 1000 a ni jedan kod onih ispod 200 zaposlenih, jer nijesu u mogućnosti da izdrže tako visoke investicione troškove. Određena istraživanja u SAD-u pokazuju da je prosječna cijena pojedinačne fleksibilne tehnološke ćelije, koja je ugrađena u fleksibilni tehnološki sistem, milion dolara. Od toga mašine čine 500.000 USD, transportno skladišni sistem 100.000 USD, oprema za programiranje i upravljanje 80.000 USD, alat i uređaji za stezanje 250.000 USD, a ostala tehnološka i druga specijalna oprema 70.000 USD. Ovo još nije koncept "Fabrike bez ljudi" jer posjeduju znatan broj zaposlenih.

Kompujterski integrisana proizvodnja (CIM) posebno je interesantna zbog mogućeg rada u noćnoj smjeni, neradnim danima i praznicima, čime bi se radni fond uvećao za stotinak dana, što bi značajno povećalo obim proizvodnje i smanjilo utrošak živog rada. Rad u drugoj i trećoj smjeni se odvija uz minimalno prisustvo ljudi, pa se podrazumijeva visok stepen automatizacije i integracije sistema, što je i cilj CIM-a, da se ostvari potpuna informaciono-tehnička kontrola i logistička integracija svih aktivnosti sistema počev od porudžbine preko projektovanja, nabavke, proizvodnje, kontrole, skladištenja, pakovanja, sve do isporuke gotovog proizvoda kupcu. Vrijednost satnica za proizvodni rad, koje su najviše u Njemačkoj (27 USD), zatim Švajcarskoj (25 USD), da bi najniže bile u Portugaliji (5 USD), svakako utiče da razvijeniji sve više uvode CIM koncept. Stanje kod nas prema određenim istraživanjima automatizovanosti opreme je osjetno ispod prosjeka. Uz to je nedovoljno korišćenje računara i CAD/CAM metoda, pa se neminovno nameće zaključak da su objektivno male šanse za skoro uvođenje CIM-a. U našim uslovima bi bilo potrebno uraditi detaljnu analizu za svaki undustrijski sistem i

opredijeliti se za specifičan put ka CIM-u, koji će biti osmišljen i postavljen saglasno našim mogućnostima i potrebama.[59,60,63,65,131,134,140]

9. INFORMACIONO UPRAVLJAČKI SISTEMI

U zadnja dva vijeka svijet rada je pod uticajem tehničko-tehnološkog napredka, koji se u naše vrijeme ogleda u razvoju elektronike, mikroelektronike, računarske tehnike i primjene vještačke inteligencije. Sa minijaturizacijom i povećanjem snage elektronske komponente nalaze primjenu u svim oblastima, tako da tokom vremena proizvodi postaju: nepotrebni, jednostavni, usavršeni i novi, što uslovljava napore na poboljšanju postojećih i stvaranju novih. Ugradnjom elektronskih komponenti mijenja se struktura troškova tako da režijski opadaju a materijalni rastu. Smanjenje cijene radne snage može biti uslovljeno smanjenim naporima rukovođeće strukture da se riješi pitanje razvoja, dok sa njihovim povećanjem se nameće potreba primjene automatizovanih sistema.[65,66,67]

Informatička nauka i sredstva informacione tehnologije na početku razvoja su bili vezani za uspon i povećanje efikasnosti fundamentalnih nauka, da bi vremenom aktivno učestovali u primjeni generičkih nauka tako da krajem ovog vijeka postaju najznačajniji generatora progressa u oblastima naučnog i stručnog istraživanja. Sada je gotovo nezamislivo da se i jedan valjan naučno istraživački posao radi bez podrške informacione tehnologije.[57]

Proizvodno mašinstvo je oblast stvaranja novih vrijednosti i profita. Informaciona nauka i tehnologija su u njemu imali najveću primjenu jer je imalo izraženu ekspanziju tehničko-tehnoloških dostignuća, standarda, postupaka kao i kvalitetan kadar. Tokom razvoja su se javljali zahtjevi koji su nadilazili mogućnosti ljudskog bića u brzini, preciznosti, preciziranju ... a uz to bili zamorni, ponavljajući, nehumani ... U okviru mašinske nauke i tehnike, informacione tehnologije su izrasle u samostalnu naučnu oblast koja izučava i razvija informaciono - upravljačke sisteme, u kojima se implementiraju i testiraju nova naučna saznanja iz bazičnih oblasti informatike. Ovi sistemi utiču da se određeni procesi izvršavaju: efikasnije, kvalitetnije, jeftinije i humanije, odnosno pomoću njih se ostvaruje integracija procesa rada u proizvodno-poslovnoj funkciji kao i integracija funkcija u industrijsko proizvodnom sistemu. Time se u trendu sa razvojem proizvodnih tehnologija, tehnike i upravljanja postiže: markentiška orijentacija, povećava efikasnost procesa rada, snižavaju troškovi i cijena rada, te uočavaju i oslobadaju unutrašnje rezerve. Sredstva informacionih tehnologija ulazila su u proizvodne sisteme preko poslovnih funkcija, da bi u kratkom vremenu obuhvatila tehničko-tehnološka područja kao što su: projektovanje predmeta rada i planiranje i upravljanje procesima. Njihov razvoj je uslovljavao primjenu, koja se ogledala u: korišćenju sredstava informacione tehnologije, razvoju procesne, periferijske, komunikacione i programske podrške, odnosno razvoju aplikativnih programa različite namjene i kompleksnosti. Za industrijski sistem je neophodna kvalitetna komunikacija, što daje potrebu za njegovom pravilnom alokacijom i korišćenjem. Struktura potreba za proizvodima ili uslugama se utvrđuje na osnovu baznog sistema, na koji je komunikaciono vezan informacioni sistem marketinga, odnosno direktnim uvidom u baze podataka kupca. Ponuda se potencijalnom kupcu saopštava posredstvom osnovnog sistema kada je kupac nepoznat ili E-mail sistema kada je kupac poznat. Konkurentnost

ponuda se provjerava u ON-LINE režimu tako da se može podešavati i do minimuma profitabilnosti. Ugovaranje se može obaviti bez dokumentacije. Proces prodaje opreme se realizuje automatizovano. Čitav postupak se može obaviti na interkontinentalnom nivou za jedan dan. Za ovakav kocept komunikacija u industrijskim sistemima potrebna je kvalitetna komunikaciona mreža u njegovom okruženju, kao i postojanje konkretnih i lako dostignutih podataka. Primjena informacione tehnologije kasni u pripremi i proizvodnji u odnosu na automatizaciju određenih spoljnih procesa. Uzroci se mogu vidjeti u: velikom učešću intelektualnog rada u strukturi procesa, tako da je njegova automatizacija veoma delikatna i ima izraženu potrebu za grafičkim informacijama čija je priprema, obrada i prezentacija mnogo komplikovanija; kao i u samom prigodnom razvoju računarske i druge opreme. Smetnje se ubrzano otklanjaju te se programi i oprema takvim potrebama uspješno prilagođavaju.[64,65,67,140]

U razvoju proizvoda i konstruktivnoj obradi projektant praktično ne može uspješno raditi bez sredstava i alata CAD tehnologije koja mu omogućava dijalog sa modulom za područje tako da se projektovanje i konstruisanje može obaviti brzo i kvalitetno, uz korišćenje grafičkih informacija nastelih u manuelnom radnom postupku. Dobijeni rezultati se arhiviraju u digitalnoj ili komprimovanoj formi. U razvoju proizvoda i konstruktivnoj pripremi se sredstva i alati CAPP i CAM tehnologija koriste za: modeliranje postupaka rada i njihovu optimizaciju, te formiranje programa za NC tehnološke sisteme, čime se izbjegava dug, zamoran i složen posao manuelnog postavljanja tehnoloških karata.

U pripremi rada se efiksno izrađuje operativna dokumentacija, a tamo gdje je postavljene komunikaciona mreža, dokumentacija se ne treba raditi. Najobimniji i najsloženiji, odnosno najosjetljiviji kompleks u proizvodnom sistemu je svakako proizvodnja i upravljanje proizvodnim procesima. U njima kasni primjena sredstava informacione tehnologije iako je sasvim jasno da se jedino tamo stvara nova vrijednost i primarni profit. Kompjuterizacija je fragmentalna i neujednačenog stepena razvoja. Postoje ozbiljni problemi komunikacije između sredstava informacione tehnologije i sredstava automatizacije tehnoloških procesa i sistema, kao i između upravljačkih povratnih sprega na relaciji proizvodni proces - upravljački podsistem. Osnovni uzročnici su: složenost proizvodnog sistema, nepostojanje stabilnih formalizama u realizaciji, obimna i veoma kompleksna struktura podataka, struktura interne i eksterne komunikacije. Pored RDBMS se intenzivno radi sa Interface-om da bi se ostvarila laka i efikasna komunikacija.[56,57,58,59]

Iskustva u primjeni sredstava informacione tehnologije pokazuju da je oblast poslovnih funkcija proizvodnih sistema najzahvalnija za kompjuterizaciju zato što su: procesi rada koji se automatizuju veoma jednostavni, radni postupci se lako formalizuju a veliki broj radnih operacija je propisan odgovarajućim zakonima.

Kako je prirodna sklonost da se koristi linija najmanjeg otpora to u ovim oblastima informaciona tehnologija uzima maha, i već se u ovim oblastima formira hiper ponuda rešenja koja u osnovi ne zadovoljavaju osnovne namjenu.

Kod menadžmenta se uglavnom poslovi uhodano i nesistematski odvijaju od vajakada, a primjena informacionih tehnologija je fragmentalna.

Dometa informacione tehnologije se mogu sagledati kroz: razvoj i izgradnju integrisanog pristupa koji potiskuje raniji princip lokalnih rešenja, dok je kod baza podataka relacioni model nadvladao ostale tako da se već javljaju modeli ADM i OODM, da bi programska podrška u smislu primjene programskih alata tipa

WINDOWS bila namijenjena potrebama i sklonostima korisnika. Razvoj i tržišni nastup PC tehnologije i sistema računarskih mreža uslovio je da se preko 50% računarske i prateće opreme odnosi na nju, tako da se u ovoj oblasti pojavljuju standardi za operativne sisteme (UNIX, MS DOS) i interface-i za razmjenu podataka (IGES, STEP).

Informaciona kultura se intenzivno širi, obuhvatajući sve grane ljudske djelatnosti, pri čemu su pored nesumljivih rezultata izraženi i određeni problemi: cijena softvera u odnosu na hardver značajno raste pa prevazilazi stvarnu vrijednost, problemi održavanja su veoma izraženi i već prelaze 35% vrijednosti sistema, dok je realizacija projekata implementacije neopravdano spora, tako da je vrijeme postavljanja i preko 50% veće nego prije nekoliko godine, što dovodi u pitanje savremenost realizovanog u odnosu na naručeni sistem.

Primjena informacionog sistema u određenim sredinama je uslovljena njegovom složenošću koja se prevazilazi dekompozicijom procesa na faze, odnosno razlaganjem složenih na jednostavnije, manje i lakše savladive. Realizacija se odvija postupno saglasno razvijenim metodologijama: životnog ciklusa (razvoj, eksploatacija, održavanje), prototipa (brzo ostvarivanje rezultata i efikasna programska podrška), objektno- orjentisanog pristupa (objekti u sistemu su njegova najstabilnija osnova tako da se može izvršiti njegovo slaganje i razlaganje, odnosno njihova hijerarhija daje mogućnost korišćenja novo razvijenih modula ...) i kombinovanog pristupa (nastojanje da se eliminišu slabosti u navedenim pristupima i formiranje novog rešenja).

Objektno orjentisani metod obećava podršku razvoju naučne i stručne misli što se sagledava iz sledećeg: baze podataka se mogu modularno i strukturno graditi u vremenu i prostoru, programska podrška programskih jezika i alata sa korisničkom orijentacijom, tehnička podrška standardizovanim i povezanost sa lokalnim, regionalnim i globalnim sistemima, računarska integracija funkcija, zasnovan je na ekspertskom znanju i vještačkoj inteligenciji i primjeren rešenju najdelikatnijih problema tehnike i industrije.

10. SISTEM KVALITETA

Sa porastom broja stanovnika rastu i njihove potrebe. Do početka ovog vijeka bilo je primarno da se proizvede robe u dovoljnoj količini. Povećanjem količina roba i usluga njihov kvalitet je dolazio do izražaja. Proizvođači su morali zadovoljavati iskazane i potencijalne želje kupaca, tako da se pod kvalitetom podrazumijevaju bitni uticajni parametri kao što su: radne karakteristike, metrološki parametri, pouzdanost, pogodnost za održavanje, konformnost, trajnost, estetika, imidž ... Tokom vremena kvalitet se postupno razvijao počev od mjerenja (1940) i kontrole kvaliteta (1955) do upravljanja kvalitetom (1975) i totalnog upravljanja kvalitetom (1990) tako da postaje jedan od najznačajnijih ciljeva u poslovanju preduzeća, u uslovima tržišnog rada.

U našim uslovima se javljaju različiti problemi počev od: nepoznavanja tržišta, nepoznavanje principa ispitivanja prototipova i automatizovanog projektovanja proizvoda, preko: nasljedjenosti iz planske masovne proizvodnje koja se ostvaruje lakše od one za poznatog kupca, manjkavosti u tehničko-tehnološkoj dokumentaciji i nepripremljenosti za sistem upravljanja pomoću računara do toga da se kontrolisanje ne smatra tehnološkom operacijom. Sigurno je da se takvim shvatanjem ne može postići zadovoljavajući kvalitet. Radnik mora biti aktivan kako u radu tako i u kontroli odnosno samo kontroli, posebno u provjeri prvog komada.

LXVIII

Razvoj karakteriše sve veći broj proizvoda koji imaju više performansi, veću složenost, zadovoljavaju iskazane i neiskazane potrebe kupaca sa stalnim smanjenjem upotrebog vijeka i naglašenim zahtjevom za kvalitetom koji se iskazuje u mogućnosti da karakteristike proizvoda zadovolje iskazane i podrazumijevane želje kupca. U tim okolnostima kvalitet postaje osnovno mjerilo proizvoda i fenomen epohe. Sve strožiji zahtjevi potrošača i korisnika utiču da su reklamacije: oko 35% na kvalitet, oko 20% na cijene, oko 20% na rok isporuke, oko 10% na tehnološka rešenja i oko 10% na servis. Ovo ukazuje na neophodnost stalnih poboljšanja kvaliteta proizvoda kako bi se moglo postići održavanje i rentabilno poslovanje. Da bi se to postiglo potrebno ga je razvijati tokom svih faza: projektovanja, konstruisanja, proizvodnje i kontrole, do isporuke, eksploatacije, održavanja i uklanjanja radi zaštite čovjekove okoline, što ga uzimajući i druge posebno upravne funkcije čini sistemom čiji je osnovni cilj permanentno poboljšavanje kako bi se postiglo dobro i rentabilno poslovanje. Pod sistemom kvaliteta se vide sve potrebne funkcije upravljanja kvalitetom, uz korišćenje najnovijih znanja iz marketinga, projektovanja, konstruisanja, tehnologije obrade, kontrole, montaže, održavanja, organizacije proizvodnje i teorije upravljanja, da bi se procesi odvijali na zavidnom tehničko-tehnološkom nivou, a proizvodi zadovoljavali sve iskazane i potencijalne zahtjeve. Tu se djeluje aktivno tokom svih postupaka u vremenskom hodu stvaranja proizvoda, kako bi greške bile blagovremeno otkrivene i moguće naredne predupredjenc, tako da se pored stvaranja kvalitetnog proizvoda postavljaju, razvijaju i rade kvalitetni procesi, odnosno u opštem slučaju preduzeće.[50,51,52,53]

Potrebne su radikalne promjene u ponašanju, organizaciji, dokumentacionoj osnovi, vođenju procesa i integralnom sagledavanju i rešavanju problematike koje će dovesti do pozitivne promjene postojećeg stanja i podizanja kvaliteta. Osnova za ovakav pristup je sadržana i u standardima ISO 9000 koji već osvajaju pored Evrope i Sjeverne Amerike još i Daleki istok. Sistemski prilaz projektovanju i uvodjenju sistema kvaliteta pretpostavlja da se: poznaju sadržaji standarda i uputstva za njihovu upotrebu, definiše plan i program projektovanja i uvodjenja; koji postavlja: strukturu sistema i njegovih podsistema, makroorganizaciju službe kvaliteta i njene funkcionalne veze sa ostalima, te animira rukovodstvo koje mora da shvati da serija standarda ISO 9000 pretstavlja osnovu, a da je uvodjenje sistema kvaliteta dug i težak rad svih zaposlenih u okviru poslovnog sistema.

Tehnologije obrada i mjerenja su međusobno uslovljene i tako zavisne da svaka izmjena i dopuna jedne podrazumijeva adekvatnu aktivnost druge. Proizvodno metrološki sistemi su se tokom ovog vijeka intenzivno razvijali počev od mehaničkih i optičkih, preko elektronike, mikroprocesora i mikro računara do integracije metroloških sa drugim procesima (obrada, manipulacija, transport, kontrola...) u tehnološkim sistemima na osnovu računarske podrške. Mogu se klasifikovati po raznim kriterijumima: metodu mjerenja i mjestu ugradnje, principu rada (analogni, digitalni, pneumatski, laserski ...). U strukturi automatizovanih proizvodno metroloških sistema sagledavaju se: pretvaračke, prenosno-pretvaračke, pokazivačko-indikatorske, hardversko-sofverske i pomoćne jedinice. Tokom razvoja je postizana različita tačnost kako obrade tako i mjerenja.[52,53,54]

Kod indentifikacije i odvajanja neispravnih elementa i njihove kategorizacije na moguće popravljive i one koji se ne mogu popraviti, trend je da se stvore takvi radni uslovi u kojima dolazi do neznatnog škarta, što nameće nove pomake u postavljanju savremenih tehnoloških linija. U tom smislu su neophodne mašine nove klase tehničko

LXIX

tehnoloških mogućnosti i postavljanje organizacije i upravljanja proizvodnjom na novim principima.

Za proizvodne metrologije podržane računarom (CIQ) interesantni su sistemi koji postižu tačnost mjerenja 10 - 0,01 μm . Ranije shvatanje da su mjerenja i kontrola kvaliteta djelatnosti odvajanja loših od dobrih dijelova, se usled sve veće konkurencije na svjetskom tržištu izmijenilo pa su uvedeni automatizovani mjerni sistemi, što je bio uslov rada fleksibilnih tehnoloških sistema, jer mjerno kontrolni sistem vrši nadzor nad cjelokupnim procesom i obezbjeđuje povratnu spregu kako bi se aktivnosti odvijale u realnom vremenu i u okviru zadatih karakteristika. Mjerno-kontrolne operacije se tokom, kao i prije, odnosno poslije procesa mogu izvoditi na pripremu, obradku, alatu, priboru, mašini i gotovom proizvodu. Staru generaciju proizvodnih mjernih instrumenata odlikuje poseban dizajn za primjenu u različite svrhe kao i posebne procedure za obradu podataka, jer je prikazivanje podataka vizuelno (štampanjem i crtanjem). Nova generacija ima unificiranu strukturu od više kompatibilnih elektronskih senzora, univerzalnog personalnog računarskog instrumenta i kompaktnog personalnog računara. Kompatibilni elektronski senzori su namijenjeni hvatanju primarnih mjernih podataka u prostoru i vremenu kod mehaničkih, električnih, toplotnih, analitičkih i optičkih mjerenja u obliku električnih signala. Različitog su oblika, dimenzija, namjene i ugradnje a primjena računara povećava kvalitet mjernih informacija.

Tehnologija kvaliteta ima svoju naučnu zasnovanost i tehničko-tehnološku verifikaciju. Koristi se za obuhvatno, savremeno i uspješno rešavanje techno-ekonomskih problema kvaliteta.[52,53,54,55]

Izražavanje kvaliteta nije izolovano, okvirno i neutemeljeno, već sa određenom precizno definisanom mjerom. Kvalitet nekog proizvoda na tržištu zavisi od vremena i iskazuje se stepenom postizanja upotrebnih vrijednosti u nekom vremenskom intervalu. Klasa definiše rang odnosno kategoriju proizvoda koji imaju iste funkcionalne mogućnosti ali različite zahtjeve u pogledu kvaliteta. Proizvodjač i potrošač ugovaraju određeni nivo kvaliteta. Zato je neophodno upravljanje kvalitetom, odnosno funkcijama koje doprinose njegovom stvaranju, kako bi se po pravilu dosegao i održao na većem nivou. Utvrđivanje i precizno definisanje mjera kvaliteta se nameće kao neophodnost. Proizvodjač je u osnovi nosilac stvaranja kvaliteta kroz brojne faze oblikovanja proizvoda. Ako se u fazama: istraživanja, potreba tržišta, projektovanja, razvoja i konstruisanja proizvoda ostvari kvalitet konstrukcije, potom u fazama: planiranja i pripreme izrade, nabavke materijala i opreme, proizvodnje, transporta, skladištenja izvede kvalitet izrade i na kraju u fazama: prodaje, distribucije, ugradnje, puštanja u rad, eksploatacije, održavanja i uklanjanja poslije upotrebe ostvari kvalitet eksploatacije onda svaki od njih ima svoj prepoznatljiv udio u ukupnom kvalitetu proizvoda, kao što pojedine faze rada doprinose njihovim mjerama. Mjera bilo kog kvaliteta se kreće od nule do jednice i tokom stvaranja zajedničkog kvaliteta radne faze ne utiču podjednako, što se izražava njihovim koeficijentima, tako da ukupni kvalitet faza može biti u varijantama njihovog uticaja ili kao osrednjavanje dostignutih vrijednosti.

Razvoju se mora pokloniti posebna pažnja na šta ukazuje i poluga kvaliteta da on zauzima ključno mjesto (100 : 1), da bi kod planiranja procesa odnos bio deset puta manji (10 : 1), odnosno u proizvodnji izjednačen (1 : 1). Tako su odluke donesene na nivou razvoja od presudnog značaja za uspješno poslovanje i budući razvoj firme. Troškovi razvoja se kreću u granicama 10-20% prihoda preduzeća, dok je njihov uticaj na profitabilnost 80-90%. Zato one firme koje ne nastoje raditi na sopstevnom razvoju

nemaju perspektive da dugoročno ostvaruju profit i neminovno dolazi do njihovog gašenja.

Totalno upravljanje kvalitetom (TQM) je nova poslovna filozofija i način života najuspješnijih preduzeća, a predstavlja savremenu filozofiju rukovodstva koja organizaciju kompanije i procesa u njoj postavljaju ka totalnom zadovoljenju kupca uz neprekidna unapređenja i povećanja efikasnosti firme, da bi se postigla svjetska klasa kvaliteta. Polazna pretpostavka je obrazovanje svih zaposlenih. Primijenjeni model se sadržajno, kontinualno i strukturno postavlja za potrebe firme u mjeri neophodnog povećanja znaja i aktivnosti za podizanje kvaliteta. Inženjerska dimenzija je nezaobilazna jer su potrebne metode, tehnike i alati da se projektuje i gradi u svim segmentima i fazama stvaranja svjetske klase kvaliteta koju rukovodstvo stalno provjerava.[49,52,54,137,140]

Osnovu upravljanja na bazi statističkih metoda treba mijenjati novim metodama i tehnikama projektovanja na bazi vještačke inteligencije. Pri uvođenju sistema kvaliteta, praćenje i kontrola troškova su veoma bitni, jer nema opravdanja da se troškovi po jedinici proizvoda eventualno povećavaju, već se moraju smanjivati u odnosu na prethodno stanje. Pad troškova i porast profita su komplementarni sa porastom kvaliteta, jer ulaganja u kvalitet imaju smisla dokle se ne izjednače sa gubicima usled grešaka, što će reći da organizovano uvođeni kvalitet sam sebe finansira. Sniženje troškova obezbjeđuje veću prodaju, produktivnost, rast firme i motivaciju zaposlenih. To podrazumijeva da upravljanje, planiranje i stimulisanje treba usmjeriti na postizanje rada bez greške što omogućuje rast proizvodnje i upotrebne vrijednosti proizvoda, uz manji utrošak materijala i energije i stvaranje konkurentskih šansi na prepunom svjetskom tržištu.

Rad bez greške se postiže jednoznačno postavljenim zadacima i obavezama koje se striktno ispunjavaju, za šta se koristi mjerna tehnika koja mora davati jednoznačne, ispravne, objektivne i blagovremene informacije koje se mogu uporedjivati.

Budući rad će se zasnivati na tehnici mikroracunara koja čini osnovu stvaranja nove kvalitetnije inteligentne mjerne tehnike. Ona u procesima zauzima ključnu poziciju i iznudiće nove: procese i proizvode, hardver i softver, metrološke norme, standarde, senzorsku tehniku, mjerna mjesta, mjerne parametre, mjerne postupke, interface, ispitivanja, ocjene, optimizaciju parametara, upravljanje bez papira i simulacije procesa na računaru.[61,65,67,107,108]

Proizvodno inženjerstvo je stub razvoja proizvoda i procesa i razvija se u pravcu izgradnje ineligenčnih tehnoloških sistema u kojim je aktuelan razvoj i primjena CIM koncepta koji se zasniva na integraciji poslovnih i inženjerskih aktivnosti uz hardversko softversku podršku. Razvoj kvaliteta u novim generacijama tehnoloških sistema će se zasnivati na softverskim proizvodima, ekspertnim sistemima i mašinskom učenju.

Fabrike budućnosti će imati visoku fleksibilnost na bazi regeneracije strukture i integracije, mašinsku inteligenciju i sofisticiranu komunikaciju, sa tim što će biti orjentisane na jediničnu proizvodnju i visoki kvalitet. Transformacija postojećih tehnoloških osnova u buduće tehnološke sisteme se može ostvarivati kroz procedure inženjerstva, tako da se postiže svjetska klasa kvaliteta, što znači: totalno zadovoljenje kupca (QFD karte), kvalitetno projektovanje, proizvodnja bez škarta i obrazovanje svih zaposlenih za stvaranje kulture kvaliteta. Visoke svjetke klase kvaliteta proizvoda je moguće ostvariti u novim generacijama tehnoloških sistema sa kompleksnom integracijom projektovanja proizvoda, procesa, tehnoloških resursa; varijabilnim

mašinama, brzim prikupljanjem i distribucijom inteligentnih informacija, visoko specijalizovanim ekspertima, praćenjem i upravljanjem, brzim reagovanjem na konkretne akcije, fleksibilnom i snažnom računarskom podrškom, inteligentnim pretraživanjima efektivnih baza podataka, opsežnim inteligentnim analizama i optimizacijom procesa i postupaka (izrada, inspekcije, montaže, održavanja ...), odnosno logističkom podrškom svim fazama stvaranja i korišćenja proizvoda tokom njihovog životnog vijeka.[49,50,52]

Obezbjedjenje kvaliteta čine sve aktivnosti u sistemu kvaliteta kojim se stiče povjerenje da proizvod ispunjava postavljene zahtjeve za kvalitet uključujući provjeru i izdavanje atesta, koji moraju biti sistematski i nezavisno izvedeni. Njima se provjeravaju primijenjene aktivnosti i dobijeni rezultati u odnosu na postavljene ciljeve. Sistem kvaliteta može da dobije atest ako ispunjava zahtjeve standarda, a provjeru vrše domaće i strane ovlaštene institucije, tako da se mogu dobiti nacionalni i međunarodni atesti.

Od početka 1993. godine u svijetu su uvedeni atesti saglasno familiji standarda ISO 9000 pri čemu se ISO 9001 (razvoj, izrada, kontrola), ISO 9002 (izrada i kontrola) i 9003 (kontrola) odnose na programsku opredjeljenja preduzeća. Od ove godine su u primjeni atesti za međunarodni ekološki proizvod saglasno standardima ISO 14000.[52, 53,110,111]

Valjan sistem kvaliteta može da se postavi planskim projektovanjem i sistematskim uvodjenjem. Proces je složen, dugotrajan, skup i baziran na uključivanju svih zaposlenih. Postavljanje sistema kvaliteta se odvija etapno kroz: snimanje stanja, obuku stručnog kadra, postavljanje organizacione strukture, izradu dokumentacije uvodjenje, rad i atestiranje od domaće i strane institucije.

Poslovni sistem predstavlja skup ulaznih informacija koje se tokom polaska kroz podsisteme i procese postupno transformišu u izlazne koji opet preko povratne sprege i ulaznih utiču na izlazne informacije. Time se prate kvaliteti: ulaza, procesa, izlaza, uticaja preko povratne sprege na ulaz da se dobije željeni izlaz.

Kada se stvore valjane osnove može se prihvatiti TQM model koji integriše kompleksne zahtjeve strategije menadžmenta za kvalitet i njihovu realizaciju od strane svakog zaposlenog u preduzeću.

Upravljanje kvalitetom obuhvata aktivnosti opštih funkcija upravljanja kojim se sprovodi politika kvaliteta i postižu ciljevi i odgovornosti preko sistemskog planiranja, operativnog upravljanja, obezbjedjenja i poboljšanja kvaliteta. Politikom kvaliteta se od strane najvišeg rukovodstva postavljaju namjere i ciljevi kvaliteta.

Fleksibilnim mjernim sistemom se mjere parametri kvaliteta konformnosti na slučajno odabranim objektima kompleksne konfiguracije i formira povratna sprega u realnom vremenu tehnološkog procesa. Imaju pored senzorske hardversku i softversku podršku, a upotrebljavaju se u najrazličitijim slučajevima i uslovima pri jedinačnoj ili serijskoj proizvodnji, tako da se relativno lako uključuju u fleksibilne tehnološke sisteme i integrišu u CAC/CAM sisteme da bi se u relanom vremenu koristeći bazu podataka za kvalitet izvodila funkcija upravljanja kvalitetom. Do povećanja kvaliteta se dolazi postupno kako u preduzeću tako i u odredjenom mjestu odnosno oblasti, za šta se promovišu i odgovarajući standardi. U narednom periodu je moguće uočiti da će se razvoj numerički upravljanih mjernih mašina kretati u pravcu: projektovanja i izgradnje fleksibilnih metroloških ćelija, centara i sistema odnosno razvoj inteligentnih mjernih sistema u kojima će se realizovati intelektualizacija upravljanja na bazi totalne

automatizacije i integracije metoda CAD/CAM/CAQ u CIM koncept.[62, 107,108,109,140]

U budućnosti će biti neophodno utvrđivanje tačnih mjera kvaliteta proizvoda kako bi se procesi u sistemu kvaliteta mogli automatizovati i ostvariti politika, odgovornosti i ciljeva, kroz planiranje, operativno upravljanje, obezbjedjenje i poboljšanje kvaliteta. U tu svrhu je neophodna aktivna primjena računarskih sistema sve do računarom integrisane proizvodnje (CIM), tako da proizvodni procesi budu organizovani i kontrolisani na potpuno nov način, dok će se donošenje upravljačkih odluka vršiti na osnovu stanja procesa. Sistem kvaliteta će biti integrisan računarom preko koga će se obavljati sve funkcije. Polazi se od metoda planiranja proizvodnje i u daljem koriste metode sumultanog inženjerstva koje se mogu dijeliti na metode vrednovanja i inženjerstva. U okviru njih u zavisnosti od potreba procesa može biti korišćeno više najrazličitijih metodologija od kojih se navode za vrednovanje: metoda rasporedjivanja funkcija kvaliteta (QFD), metoda funkcionalne analize (FAST), metoda hierarhijske funkcionalne analize (FA), metoda vrednovanja ideja (KBT), metoda priprema obrade i montaže (DFMA) ...; a za inženjerstvo: metoda stabla otkaza (FTA), metoda analize pojave i uticaja otkaza (FMEA), metoda analize stabla slučajeva (ETA), metoda planiranja eksperimenta (D_oE), metoda ispitivanja pouzdanosti (RTC), metoda podešavanja procesa (MFU), metoda statističkog upravljanja procesima (SPS)... One se oslanjaju na teorijsku osnovu i baze podataka, koje treba da obuhvate: troškove kvaliteta, reklamacije potrošača, mjernu kontrolnu i ispitnu opremu, proizvodnu opremu, stručne kadrove, dokumentovane postupke ... i da su dostupne savremenim računarskim sistemima.

11. ZAKLJUČNO - FABRIKE BUDUĆNOSTI

Sagledavanjem prisutne problematike se može uočiti da živimo u vremenu neprekidnih promjena koje se posebno ogledaju u raspadu ranijih i formiranju novih sistema vrijednosti. Sve bespoštednija tržišna utakmica, iznudjava nove proizvode kojima se zadovoljavaju kako iskazane tako i potencijalne želje kupaca pojedinačno, uz manjak energije i materijala, skraćuje kako vrijeme pripreme i izrade tako i njegov vijek na tržištu.

U razvoju savremenog naprednog društva koje ima sposobnost stvaranja višeg kvaliteta znanja i kreiranja tehničko-tehnoloških dostignuća čovjek je u osnovi alfa i omega svih stvaranja i generator njihovog osmišljavanja i realizacije. Sagledavanjem mogućnosti i usmjeravanjem razvojnih komponenti dosežu se i ona rešenja koja su do juče ili danas bila moguća samo u snovima. Jedno od tako kompleksnih sagledavanja i realizacije svakako predstavlja koncept fabrika budućnosti koji se i uz naše učešće realizuju, čime postajemo sudionici u stvaranju novih vrijednosti.[6,15,16,17,67,124,140]

Kompjuterom integrisana proizvodnja predstavlja integraciju svih računarom podržanih aktivnosti preduzeća i njegovog poslovnog okruženja (CIM). Integracija podrazumijeva komunikacionu infrastrukturu koja povezuje: računarsku sa proizvodnom opremom, organizacione jedinice preduzeća sa njihovim poslovnim partnerima, konvencionalne sa intelektualnim komponentama, odnosno definiše hardver/softver medjuprostor i njihovu integraciju sa podsistemima i modulima sistema otvorene arhitekture. Sa realizacijom CIM sistema smanjuje se potreba za brojem mašina i

operatora, radnika, raste odnos intelektualnog i operativnog kadra (2 : 1), povećava se produktivnost u odnosu na NC/CNC mašine (3 : 1), smanjuje škart (do 0,005%), eksperti su usredsređeni na znanje a kontrola na inteligentne procese. Pojačani zahtjevi i izbjirljivost kupaca dovode do smanjenja životnog vijeka proizvoda i reorganizacije preduzeća sa horizontalnim i vertikalnim informacionim tokovima. Integrisani hijerarhijski više nivovski sistemi zasnovani na podacima i znanju predstavljaju model fabrike budućnosti (CIM) u kojoj se aktivnosti odvijaju na nivou: poslovnog okruženja, preduzeća, pogona, tehnološke linije i mašine. Komunikacije se obavljaju pomoću komunikacionih mreža koje integrišu računarsku i proizvodnu opremu po pogonima i djelovima preduzeća, odnosno poslovnog okruženja, što dovodi do integracije informacionih sistema proizvođača, kupaca i dobavljača sa potrebnom kompatibilnošću u razmjeni informacija. U narednom periodu će dominirati znanje i sistemi vještačke inteligencije, što podrazumijeva primjenu ekspertnih sistema, neuronskih mreža i njihove veze sa hibridnim sistemima.

Neuronske mreže predstavljaju uprošćenje modela nervnog sistema čovjeka i svojim radom oponašaju biološki proces učenja kod čovjeka, a primjenjuju se u savremenim sistemima obrade signala, prepoznavanja oblika i govora, kontroli, upravljanju, robotici i drugim oblastima proizvodnog mašinstva. Kod razvoja i primjene ekspert sistema potreban je prilaz u organizaciji, memorisanju i obradi znanja, zatim softverima, vještačke inteligencije za izvođenje potrebnih zaključaka na osnovu raspoloživog znanja, čime bi se dolazilo do proširenja znanja, odnosno podizanja nivoa kvaliteta rada. Njihova primjena je moguća na svim nivoima usvojenog modela podacima/znanjem vodjene CIM fabrike budućnosti, dok je integracija baze podataka i baze znanja veoma važan pravac daljeg istraživanja. [57,62,124,128,129]

U suštini CIM predstavlja integraciju proizvodnih i inženjerskih sa računarskim tehnologijama pri čemu se automatizuju sve aktivnosti od projektovanja do završetka eksploatacije proizvoda. Jezgro mu čine računarom podržani podsistemi projektovanja proizvoda (CAD), planiranja proizvodnje (CAP), upravljanja proizvodnom (CAM) i kvaliteta (CAQ). Integracijom baze podataka i baze znanja preduzeće postaje jedinstveni informacioni resurs koji postavlja i održava ekološki čistu i čovjeku prilagodjenu proizvodnju sa potpunim ispunjenjem zahtjeva kupca.

CIM koncept fabrike budućnosti mogu da osmisle i postave nadareni kreativni kadrovi koji se školuju na vrhunskim univerzitetima uz aktivno učešće privrednih i društvenih struktura koje su u stanju da prihvate neminovnost našeg doprinosa sadašnjem i budućem razvoju.

Svojim dosadašnjim doprinosom koji se tokom vremena pokazivao saglasno mogućnostima i sveukupnom stanju pokazujemo da svojim opredjeljenjima, mogućnostima i radom možemo doprinijeti da život kod nas i na ovoj planeti bude podnošljiviji, zdraviji, čistiji, demokratskiji i kvalitetno dostojniji sadašnjih i budućih generacija ljudskog roda.

LITERATURA

1. Tjurin V.A.: *Teorija i procesi kovki slitkov na presah*, Moskva, 1979.
2. Kosmirov V.I., Leontjev V.I.: *Točnost proizvoditeljnost i nedežnost v sisteme projekirovania tehnologičeskikh procesov*, Moskva, 1988.
3. Konovalov E.G., Čistoserdov P.S., Flomenblit A.I.: *Rotaciona obrabotka poverhnostei s automatičeskoj podačej*, Minsk, 1976.
4. Kolmogorov V.L.: *Mehanika obrabotki metodov davleniem*, Moskva, 1986.
5. Elagin V.I., Livanov V.A.: *Struktura i svojstva poluhabrikatovih aluminiievih splavov*, Spravočnik, Moskva 1984.
6. Milačić V.: *Kompetitivnost nacije i globalizacija razvoja*, Jupiter sistem, Beograd 1993.
7. Domazetović V.: *Prilog odredjivanja naponsko-deformacionog stanja kupnih odkovaka*, Zbornik radova XIII SPMJ, Budva 1983.
8. Domazetović V.: *Stanje i pravci razvoja izvjesnih oblasti površinskog i zapreminskog oblikovanja metala*, Zbornik radova XVII SPMJ, Budva 1983.
9. Domazetović V.: *Mašinogradnja (Mogućnosti tehnološkog prestrukturiranja i razvoja Crne Gore - Projekat)* Podgorica 1994.
10. Domazetović V., i dr: *Metaloprerada (Mogućnosti i strategija razvoja privrede Crne Gore - Projekat)* Podgorica, 1988.
11. Tofler A.: *Treći talas*, Beograd, 1983.
12. Kuzmanović S.: *Stanje i tendencije razvoja procesa konstruisanja u mašinstvu*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad, 1995.
13. Kršmanović S., Bojanić P., Glavonjić M., Gatalo R., Kalajdžić M.: *Dostignuća i tendencije u razvoju automatizovanog projektovanja proizvoda u mašinskom inženjerstvu i industriji*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad 1995.
14. Bloor M.I.G., Bloor M.S, Shields T.H.C, de Pennington A., Wilson M.M.: *Towards the Integration of CAD, CAE, and Fast Free From Fabrication. JSPE Publications Series No.1-Elsevier*, Amsterdam, Tokyo, 1994.
15. Ruttkay Z.: *Multi - Media Presentation in CAD Systems; Intelligent CAD Systems. Proceedings, Eds.: ten Hagen P.J.W., Weerkamp P.J.*, Springer Verlag, 1989.
16. Bojanić P.: *CAD/CAM sistemi - aktuelno stanje i pravci budućeg razvoja*, Uvodni referat 21. JUPITER Konferencija. 8. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, Beograd, 1995.
17. Lu S.C.Y.: *Knowledge Processing Technology for Simultaneous Engineering, CIM Monagement*, Vol. 6. 1990.
18. Domazet D.: *Simultano projektovanje proizvoda i tehnologija korišćenjem vještačke inteligencije*, 24. Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
19. Šidjanin L., Glavardanov I.: *Razvoj i karakterizacija novih inženjerskih materijala*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad, 1995.
20. Djurićanin M., Aćimović Z.: *Materijali unapred zadatih svojstava - želja i cilj XXI veka*, Monografija, "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad, 1995.
21. Samsonov V., Prjadko L.F.: *Elektronaja lokalizacija v tverdom tele*, Nauka, Moskva, 1976.

22. Milikić D., Kovač P.: *Postupci obrade skidanjem materijala - stanje i tendencija razvoja*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad, 1995.
23. Toenshoff H.K., Kals H.J.J., Koenig W., Van Lutfervelt C.H.: *Development and Trends in Monitoring and Control of Machining Process*, Annals of the CIRP, 1988.
24. Dan L., Mathew J.: *Tool wear and Failure Monitoring*, Review Int. J.Mach. Tools Manufact. No.4. 1990.
25. Todić V., Banjac D., Stanić J., Urošević S.: *Varijantni prilazi u projektovanju i optimizaciji tehnoloških procesa obrade*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad, 1995.
26. Spur G., Stuefele T.: *Handbuch der Fertigungstechnik*, Wien 1979.
27. Mitrofanov P.S., Petrov A.V.: *Organizacija grupovovo proizvodstva*, Lenizdat, 1980.
28. Šarenac M.: *Uticao konstrukcionih materijala na performanse alatnih mašina*, Monografija, "Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad 1995.
29. Kalajdžić M., Galato R., Glavonjić M., Lukić Lj., Milutinović D., Hodalić J., Majstorović V., Borojević Lj.: *Fleksibilni tehnološki sistemi u obradi rezanjem - stanje i perspektive razvoja*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
30. Hahn N.P.: *CE - Kennzeichnung leichtgemacht Ein praktischer Leitfaden* Wien, 1995.
31. Schroft R.D., Kaun R.: *Robotics are Facing New Application Areas in Productions and Service Sector*, Proceedings, 25. ISIR, Hannover, 1994.
32. Weck M.: *Werkzeugmaschinen*, Dusseldorf, 1988.
33. Kim H.S. *Designing Intelligence, A Framework for Smart Systems*, Oxford, 1990.
34. Vujović V., Plančak M., Vilotić D.: *Razvoj primjene tehnologije plastičnosti u oblastima proizvodnje delova složene konfiguracije, maloserijske proizvodnje i završne obrade*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
35. Kudo H.: *Towards net - shape forming*. Journal of Material Processing Technology 22. 1990.
36. Stefanović M.: *Savremeni aspekti izučavanja deformabilnosti limova za duboko izvlačenje*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
37. Liu S.D., Assempoor A.: *Development of FAST 3D-a Desing - Oriented One step FEM in Sheet Metal Forming*, Barselona 1995.
38. Nikolić D.: *Neki rezultati istraživanja i osnovne tendencije razvoja nekih tehnologija oblikovanja metala deformisanjem*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
39. Štucin S.J.A., Baboskin J.U.Z., Semenjaka T.D., Belorusov S.M., Jurčenko I.V.: *Povišenje dugovečnosti srednjih i krupnih štopova gorjačevno deformovanija*. Kuznečno štopovočnoe proizvodstvo, No 11, 1988.
40. Čumašenko E.N., Krivonoe F.A., Maksurova L.T., Solomatin V.S.: *Opredelenie racionalnih skorostnih režimov štopovki v usloviah sverhplastičnosti*, Kuznečno štopovočnoe proizvodstvo, No 3, 1987.
41. Popović P., Temeljkovski D., Djordjević Lj.: *Globalni konceptijski problemi mašina u tehnologijama plastičnosti*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
42. Popović P.: *Mašine za obradu deformisanjem - I deo*, Niš 1991.
43. Popović P., Temeljkovski D.: *Mašine za obradu deformisanjem - II deo*, Niš, 1991.
44. Radović V., Dakić P.: *Uticao velikih brzina deformacije na mehanička svojstva materijala*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
45. Murr L.E.: *Shock waves form Industrial Applications*, N.P. New Jersey, 1988.
46. Zaharenko V.G.: *Svarka metalov vzrivom*, Nauka i tehnika, Minsk. 1990.
47. Pruemmer R.: *Obrabotka poroškovih materialov vzrivom*, Mir. Moskva 1990.

48. Kakaš D.: *Plazma tehnologije i njihov uticaj na revolucionarne promjene u industriji*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
49. Rodić M., Uzunović R., Stanić J., Stankov J.: *Put ka TQM i metrologiji u proizvodnom mašinstvu*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
50. Uzunović R.: *Sistem kvaliteta - očekivanja u budućnosti*, Zbornik radova, Beograd, 1995.
51. Kacmpf R.: *Concept of Manufacturing Control for a Highly Automated Factory*, IPA, Stuttgart, 1985.
52. Popović B.: *Razvoj kvaliteta proizvoda i upravljanje kvalitetom u XXI veku*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
53. Ross P.J.: *Raguchi Techinques for Quality Engineering*, New York, 1988.
54. Zeller H.: *The Best of quality*, International Academy for Quality, Carl Hanser Verlag, Muenich, 1990.
55. Westgard J.O., Barry P.L.: *Cost Effective Quality Control: Managing and Productivity of Analytical Processes*. Washington, 1986.
56. Melan E.H.: *Process Management*, New York, N.Y.: McGraw - Hill, 1993.
57. Mogin P., Krsmanović C.: *Informaciono - upravljački sistemi u mašinskoj tehnici - stanje i razvojne perspektive*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
58. Kim W.: *Introduction to Object - Oriented Database*, The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1990.
59. Hollingum J.: *MMS and OSI: Key to Manufacturing Communications IMS*. Vol 1. No 4. 1990.
60. Wagner P.: *Dimensions of Object - Oriented Modeling*. Computer. Oktober 1992.
61. Spasić Ž., Hodalić J., Pilipović M., Stoilković V., Arsovski S.: *Na putu ka inteligentnoj računarom integrisanoj proizvodnji*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
62. Stoilković V.: *CIM strategija preduzeća*, CIM College & BIPIF, Niš, 1993.
63. Milačić V., Spasić Ž.: *Kompjuterski integrisani tehnološki sistemi - CIM sistemi*, M.F. Beograd, 1990.
64. Arsovski S., Perović M.: *Fleksibilna automatizacija*, CIM centar, M.F. Kragujevac, 1994.
65. Zelenović D., Čosić I.: *Efektivni proizvodni sistemi - sistemi za budućnost*, Monografija "Mašinstvo za XXI vek" Novi Sad 1995.
66. Bullinger H.J.: *The future of the work*, Springer - Verlag, Berlin 1992.
67. Certo S.G., Peter P.J.: *Strategie Management*, Random House, New York, 1988.
68. Petrov A.I.: *Napravlenia razvitia kuznečno-presovovo mašinstvoenija v usloviah formirovania vinočnih otrošenij*, Kuznečno-štopovočnoe proizvodstvo 3/1992.
69. Anišćenko L.M., Lavrenjuk S.JU.: *Matematičeskie osnovi proektirovania viskotemperaturnih tehnologičeskih procesov*, Moskva 1986.
70. Kononenko V.: *Visoko skorostnoe malooodhodnoe deformirovanie metalov v štopah*, Harkov, 1985.
71. Gun G.JA.: *Teoritečeskie osnovi obrabotki metalov davleniem (teorija plastičnosti)*, Moskva, 1980.
72. Ovčnikov A.G.: *Osnovi teorii štopovki vidavlivanem na presah*, Moskva 1983.
73. Presnjakov A.A.: *Lokalizacija plastičeskoj defermaciji*, Moskva 1983.
74. Rikalín N.N., Uglov A.A., Anišćenko L.M.: *Visokotemperaturnie tehnologičeskie procesi (teplifizičeskie osnovi)* Moskva, 1986.

75. Ertov V.I., Glazkov V.I., Kaširin M.F.: *Saveršenstvovanie formoizmenjajuščih operacij listovoj šampovki*, Moskva 1990.
76. Kalpašinka A.I., Vjalov V.A., Fedorov A.A., Petrov A.P.: *Gorjačee gidropresovanie metaličeskikh materijalov*, Moskva 1977.
77. Moroz L.S.: *Mehanika i fizika deformaciji i razrušenija materijalov*, Lenjingrad, 1984.
78. Stepanović V.G., Šavrov I.A.: *Visokoenergetičeskie impulsnie metodi obrabotki metalov*.
79. Gung JA.: *Matematičeskoe modelirovanie procesa obrabotki metalov davleniem*, Moskva 1983.
80. Mazurovskij B.JA., Sizev A.N.: *Elektrogidravličeskij efekt v listovoj šamplovke*, Kiev, 1983.
81. Merin B.V.: *Elektrogidravličeskaja obrabotka mašinostroitel'nyh izdelij*, Lenjingrad, 1985.
82. Krasovskij G.I., Filaretov G.F.: *Planirovanie eksperimenta*, Minsk, 1982.
83. Grudev A.P., Zilberg JU.V., Tiljk V.T.: *Trenie i smazki pri obrabotke metalov davleniem*, Moskva, 1982.
84. Isačenkov E.I.: *Kontaktnoe trenie i smazki pri obrabotke metalov davleniem*, Moskva, 1978.
85. Taruopol'ski JU.M. Redaktor: *Prikladnaja mehanika kompozitov*, Moskva 1989.
86. Poluhin P.I. Redaktor: *Plastičeskaja deformacija metalov i splavov*, Moskva 1985.
87. Kanarčuk V.E.: *Onove nadežnosti mašin*. Kiev, 1982.
88. Papšev D.D.: *Otdeločno-upročnjajuščaja obrabotka poverhnostinim plastičeskim deformirovaniem*, Moskva, 1978.
89. Grigorjev L.L.: *Automatizirovanoe proektirovanie v holodnoj listovoj šampovke*, Leningrad, 1984.
90. Guk Z.V.: *Progresivnie konstukciji šampov*, Kiev, 1985.
91. Superplastic forming of Structural Alloys. Proceedings of. AIME, Sand Diego, 1982.
92. Beljčenko B.I.; Gubenko S.I.: *Osnovi metalografii i plastičeskoj deformaciji stali*, Kiev, 1987.
93. Zakirov I.M., Ljiov M.I.: *Gibka na valkah s elastičnim pokritiem*, Moskva, 1985.
94. Balakin V.F., Fen G.A., Kumenko V.I.: *Gidropresovanie trub*. Kiev, 1986.
95. Grigorjan G.D.: *Elementi nadežnosti tehnologičeskikh procesov*, Kiev, 1984.
96. Jakovlev S.P., Juhar V.D.: *Šampovka anizotropnih zagotovok*, Moskva 1986.
97. Petrosjan G.L.: *Plastičeskoe deformirovanie poroškovih materijalov*, Moskva 1988.
98. Semendij V.I., Akaro I.L., Volosov N.N.: *Progresivnie tehnologija, oborudovanie i automatizacija kuznečno - šampovočnovo proizvodstva kamaza*, Moskva 1989.
99. Karakozov E.S.: *Svarka metala davleniem*, Moskva, 1986.
100. Hrivnak A., Podolsky M., Domazetović V.: *Teoria tvamenina a nastroje*, Bratislava, 1992.
101. Domazetović V.: *Istraživanje pouzdanosti izrade elemenata povijanjem*, Titograd, 1983.
102. Domazetović V.: *Ispitivanje karakteristika prese 50 MN*, Titograd, 1984.
103. Domazetović V.: *Istraživanja i razvoj proizvoda, tehnologije kovanja alata i pribora u preradi Al - legura*, Podgorica, 1989.
104. Domazetović V.: *Optimizacija operativnih uslova pri mehaničkoj obradi - slobodno kovanje i hidro mehaničko proširivanje*, Titograd, 1985.
105. Domazetović V.: *Istraživanje i razvoj tehnologije kovanja legura aluminijuma*, Titograd, 1990.
106. Domazetović V.: *Ispitivanje karakteristika prese 300 MN*, Titograd, 1984.
107. Majstorović V.: *Sistem kvaliteta - strategija menadžmenta*, Beograd, 1994.
108. Zelenović M.D.: *Osnove prilaza za izgradnju sistema kvaliteta u preduzeću*, Novi Sad, 1994.

109. Majstorović V., Stanić J.: *Kvalitet - strategija za budućnost*, Beograd, 1993.
110. Stojković V., Uzunović R., Majstorović V., Arsić M., Prvulović D., Djivanović A.: *Kvalitet podržan računarom*, Niš, 1994.
111. Vujanović N.: *Postavljanje sistema kvaliteta prema zahtjevima serije standarda JUS ISO 9000*, Beograd, 1994.
112. Janković S.: *Neki problemi pri obradi polimernih materijala*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
113. Kovač P.: *Temperatura rezanja i habanje alata pri jednozubnom i višezubnom glodanju*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
114. Milikić D., Gostimirović M.: *Uticao režima obrade na visinu temperatura rezanja pri brušenju*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
115. Rižov E.V.: *Povišenje kačestva poverhnosti pri fiziko mehaničeskikh metodah obrabotki*, 25. SPMJ, Beograd 1994.
116. Rižov E.V. Averčenkov V.I.: *Optimizacija tehnologičeskikh procesov mehaničkoj obratki*, Kiev, 1989.
117. Domazetović V., Janjić M.: *Istraživanje stepena usaglašenosti teorijskih i eksperimentalnih vrijednosti radnih pritiska kod slobodnog sabijanja*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
118. Domazetović V., Vukčević M.: *Modeliranje slobodnog sabijanja kuprnih cilindričnih priprema*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
119. Jevtić M.B., Miljanić P., Nikolić D.: *Rezultati istraživanja i razvoja elektro magnetnog impulsnog oblikovanja metala deformisanjem*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
120. Jevtić M.B., Nikolić, Miljanić P.: *Istraživanje i razvoj elektrohidrauličnog postupka oblikovanja metala deformisanjem*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
121. Plančak M., Vujović V., Vilotić D.: *Novi postupci hladnog istiskivanja*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
122. Dakić P.: *Analiza procesa obrade kompozitnih materijala laserom*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
123. Kakaš D., Mažibrada Lj., Škorić B.: *Uticao plazma depozicije na povećanje otpornosti na habanje kod alatnog čelika za rad na hladno*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
124. Spasić Ž.: *CIM - Informaciona integracija preduzeća - osnova za tehnološke i kadrovske promjene privrede*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
125. Stanić J., Majstorović V.: *Simpleksni metod optimizacije u uslovima cirkulacije i dopuna nepotpunih simpleksa*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
126. Gatalo R., Hodolić J.: *Tendencije razvoja sistema za automatizovano programiranje NU mašina alata i sistema*.
127. Hodolić J., Gatalo R. i dr.: *Sistemi za automatizovano programiranje FT struktrua - prilog uporednoj analizi*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
128. Pilipović M., Babić B.: *Simulacija u projektovanju FTS-a*. 25 SPMJ, Beograd, 1994.
129. Novaković D., Gatalo R., Zeljković M., Rekecki J.: *Projektovanje koncepcije NU FT strukture i njenih modula u sistemu za sutomatizovano modularno projektovanje FT - struktura*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
130. Pejović B., Zeljković M., Gatalo R.: *Analiza toplotnih izvora sklopa glavnog vretena mašine alatke kao podloga za analizu njegovog termičkog ponašanja*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
131. Todić M.: *Model integralnog sistema za automatizovano projektovanje pribora*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
132. Totić V., Banjac D., Gojković D., Pejić V.: *Podloge za uvodjenje fleskibilnih automatizovanih tehnoloških struktura u proizvodnju elektromotora*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.

133. Zelenović D., Čosić I., Maksimović R.: *O nekim efektima primjene grupne tehnologije u industrijskim proizvodnim sistemima*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
134. Babić B., Milačić V.: *Koncept inteligentnog ekspert sistema za projektovanje FTS*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
135. Krivokapić Z., Perović M.: *ESTE H - ekspert sistem za projektovanje tehnološkog postupka obrade rezanjem*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
136. Jovičić S., Todorović J.: *Sigurnost funkcionisanja značajan činilac kvaliteta*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
137. Majstorović V., Stanić J.: *Sistem kvaliteta - stanje i dalji razvoj*, 25. SPMJ, Beograd, 1994.
138. Lej R.V., Dvinskij V.M, Rudakov V.A.: *Optimizacija procesa hladnoj listovoj prokatki*, Sverdlovsk. 1984.
139. Rahmankulov I.Š.: *Mnogomerni statističeskih analizakčestva funkcionirovanija taložnih tehničkih sistem*. Izdateljstvo Karanskovo Univerziteta, 1984.
140. Perović M., Arsovski S., Arsovski Z.: *Proizvodni sistemi, struktura, upravljanje i pravci razvoja*, Kragujevac, 1996.

A. PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

- Tehnologija plastičnosti A1÷A21**
- Tehnologija obrade rezanjem A22÷A50**
- Nekonvencionalne i druge tehnologije A51÷A62**
- Novi konstrukcioni i alatni materijali A63÷A69**
- Montaža A70**
- Održavanje A71÷A86**

A. MANUFACTURING TECHNOLOGIES

- Technology of Plasticity A1÷A21**
- Technology of Cutting Processes A22÷A50**
- Nontraditional Machining A51÷A62**
- New Materials A63÷A69**
- Assembly A70**
- Maintenance A71÷A86**



S. Aleksandrović^{*)}

GRANIČNA DEFORMABILNOST NERĐAJUĆIH TANKIH LIMOVA U USLOVIMA NEMONOTONOG POSTUPKA DEFORMISANJA

REZIME

U radu se prikazuje eksperimentalno istraživanje granične deformabilnosti tankog lima od Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u). Primenjen je specifični dvofazni nemonotoni postupak. U prvoj fazi realizuje se jednoosno zatezanje široke trake lima (120 mm), a u drugoj seriji razvlačenja polusfernim izvlačačem za dobijanje dijagrama granične deformabilnosti (DGD). Specifičnost postupka se sastoji u zameni pravca glavnih deformacija druge u odnosu na prvu fazu. Formirani dijagram se upoređuje sa DGD pri monotonom deformisanju. Takođe, uporedo se daju distribucije deformacija i analiziraju efekti primenjenog postupka.

1. UVOD

Dijagrami granične deformabilnosti (DGD) tankih limova dobijaju se najčešće u uslovima monotonog deformisanja (svaka tačka dijagrama dobija se po jednoj deformacionoj šemi uz konstantnu brzinu deformacije). Višefazni postupci sa promenom naponskih šema, brzina deformacije i sl. u pojedinim fazama, uzrokuju nemonotonost koja se odražava na graničnu deformabilnost materijala, odnosno na položaj krivih DGD [1]. Realni tehnološki procesi obrade lima uglavnom su višefazni (nemonotoni) i u tome je značaj ovakvih istraživanja.

U brojnim radovima (od kojih su neki ovde navedeni - [1] do [6]) tretirani su teorijski i eksperimentalni aspekti uticaja nemonotonosti deformisanja na graničnu deformabilnost klasičnih niskougleničnih čeličnih limova sa raznim antikorozijskim prevlakama i bez njih. U ovom radu je ispitivan nerđajući čelični lim Č4580. To je materijal sa izrazitim antikorozijskim osobinama koje ga čine vrlo zanimljivim za niz industrija. U razvojnim projekcijama predviđa se porast učešća ovog, i sličnih materijala u raznim granama metalne industrije.

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

Da bi se prešlo na koncipiranje istraživanja i sagledavanje efekata nemonotonosti procesa treba razmotriti osnovne karakteristike ispitivanog materijala. To je hladno valjani lim od visokolegiranog čelika Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u, klasa 304 po AISI-u). U hemijskom sastavu dominiraju hrom (oko 18%) i nikl (između 8 i 9%). Spada u grupu austenitnih čeličnih limova namenjenih dubokom izvlačenju. Tabela 1 daje osnovne mehaničke i karakteristike obradivosti, i to s obzirom na ravansku anizotropiju, za tri pravca u odnosu na pravac valjanja.

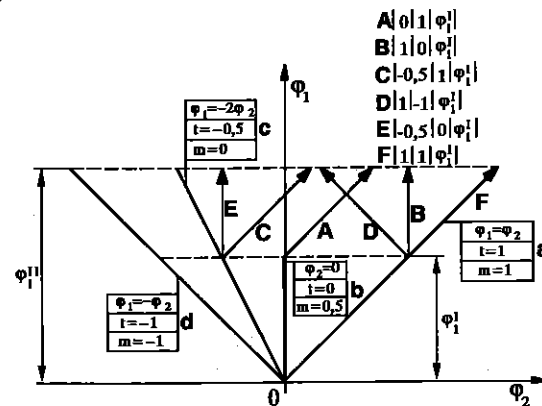
^{*)} Mr Srđislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac

Tabela 1

Karakteristike lima Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u) debljine $s_0=0,7$ mm						
Ugao prema pravcu valjanja lima, °	R_p MPa	R_M MPa	A_{80} %	r	n	R_p/R_M
0	303,2	660,2	30,6	0,824	0,361	0,46
45	308,1	666,4	37,15	1,147	0,35	0,462
90	317,3	630,1	29,5	0,949	0,343	0,5
srednja vrednost	309,2	655,8	33,6	1,017	0,351	0,471

Jasno se uočavaju osnovne osobine ovog materijala: vrlo visoka vrednost čvrstoće, izduženja pri razaranju i n-faktora uz nisku vrednost r-faktora koji varira s obzirom na ravansku anizotropiju. Sve to ovaj lim čini znatno teže obradivim dubokim izvlačenjem u odnosu na klasične niskouglenične limove. Zahteva znatno veće deformacione sile, sile držanja i sl., što proces podiže na viši režim, sa većom nestabilnošću i značajnim uticajem mnogih faktora (stanje alata i mašine, tribološki efekti i sl.). Ima sklonost ka stanjenju i pojavi nabora što takođe otežava obradivost.

Koncepcija ispitivanja je zasnovana na realizaciji eksperimenta sa dvofaznim nemonotonom procesom. Sl.1 daje prikaze različitih mogućnosti ostvarenja pojedinih naponsko-deformacionih šema ([1], [2]). Svakoj varijanti odgovara prava linija u sistemu glavnih deformacija u ravni lima, označena malim slovima a, b, c i d. Polazi se od toga da su unutar svake faze zadovoljeni uslovi monotonosti.



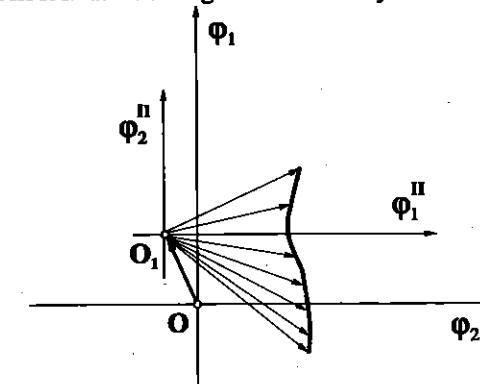
Sl.1 Prikaz najčešće realizovanih putanja deformisanja

Horizontalne isprekidane linije označavaju kraj faze. Velikim slovima su označeni dvofazni procesi sa kombinacijom od po jedne putanje u svakoj fazi. Simboličke oznake procesa su date po [3]. U njima se daju deformacioni faktori t za prvu i drugu fazu i vrednost intenziteta deformacije ϕ_1 na kraju prve faze.

U konkretnom slučaju u prvoj fazi se vrši jednoosno zatezanje trake lima širine 120 mm, početne merne dužine 200 mm, brzinom deformacije $0,00083 \text{ s}^{-1}$ (brzina deformisanja je

10 mm/min) na mehaničkoj kidalici (maksimalna sila 100 kN). Ostvareno je homogeno deformaciono polje sa deformacijom $\phi_1^I = 0,1178$ i deformacionim koeficijentom $t = -0,361$. Iz tako deformisane trake isecane su (u poprečnom pravcu) epruvete za drugu fazu. To je serija epruveta različitih širina (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 i 120 mm) koje se deformišu razvlačenjem sa ciljem dobijanja DGD. Za detalje postupka videti [1], [2], [4], [5].

Razvlačenje se vrši na laboratorijskoj mašini ERICHSEN 142/12 (maksimalna sila 130 kN, brzina deformisanja 0-250 mm/min) polusfernim izvlačaćem prečnika 50 mm, pri brzini 10 mm/min u uslovima podmazivanja tankim slojem ulja za duboko izvlačenje. Primenjenim postupkom se realizuje lepeza od 9 naponsko-deformacionih šema (putanja deformisanja) u rasponu od približno c do a (sl.1). Simbolična oznaka procesa je $t = -0,361 / -0,361$ do $t = 1 / 0,1178$. Ako se kao referentni koordinatni sistem glavnih deformacija u ravni uzme sistem za prvu fazu



Sl.2 Prikaz realizovanog postupka

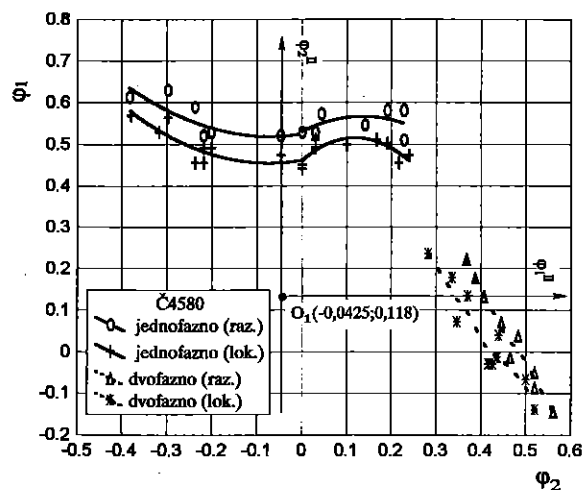
proces šematski može da se predstavi kao na sl.2. Ovakav izbor koordinatnog sistema ima opravdanja, ali može se diskutovati i sistem u kome se za drugu fazu ne vrši rotacija osa za 90° . Naime, u drugoj fazi, pravac druge (manje) glavne deformacije za prvu fazu (ϕ_2^I) postaje pravac prve (veće) glavne deformacije ϕ_1^II , koja je i konačna. Na osnovu toga, ima smisla prema stanju na kraju eksperimenta definisati pravce glavnih deformacija odnosno osa koordinatnog sistema, ali prema tom stanju nije moguće otkriti istoriju deformisanja.

Deformaciona polja identifikovana su grafometrijskim postupkom mernih mreža sa primenom kružne merne mreže početnog prečnika 3 mm ([1], [2], [4]). Praćene su deformacije po fazama, kao i ukupne deformacije na kraju procesa.

3. REZULTATI EKSPERIMENTA

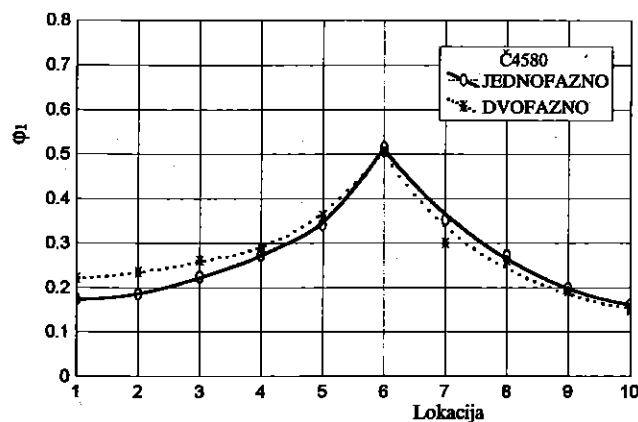
Sl.3 daje položaj krivih granične deformabilnosti. Za monotoni postupak to su krive prikazane punim, a za nemonotoni isprekidanim linijama. U prvom slučaju donja kriva označava početak lokalizovanog deformisanja, a gornja razaranje. Zapaža se relativno mala razlika između graničnih deformacija pri jednoosnom zatezanju i razvlačenju (levi i desni deo dijagrama). Polazni koordinatni sistem je referentni za krive ostvarenog dvofaznog nemonotonom postupka. Leva kriva predstavlja krivu lokalizacije, a desna krivu razaranja. Dat je i položaj koordinatnog sistema za drugu fazu, iz koga se zaključuje zašto kriva ima prikazan položaj (deformacija ϕ_1 u drugoj fazi deluje u pravcu povećanja ϕ_2 za prvu fazu; deformacija

φ_2 u drugoj fazi deluje u pravcu smanjenja φ_1 za prvu fazu.



SI.3 DGD pri ostvarenom monotonom i nemonotonom deformisanju

SI.4 daje uporedno distribuciju φ_1 na epruvetama 120x120 mm, gde se ostvaruje naponsko-deformaciona šema najpribližnija čistom razvlačenju. Intenziteti deformacije φ_1 naneti su po istoj osi za prvu i drugu fazu bez obzira na to što se fizički na komadu (kao što je prethodno već naglašeno) pravci razlikuju za 90°. Krive distribucija i iznosi deformacija ne pokazuju bitnu razliku za nemonotoni i monotoni postupak.

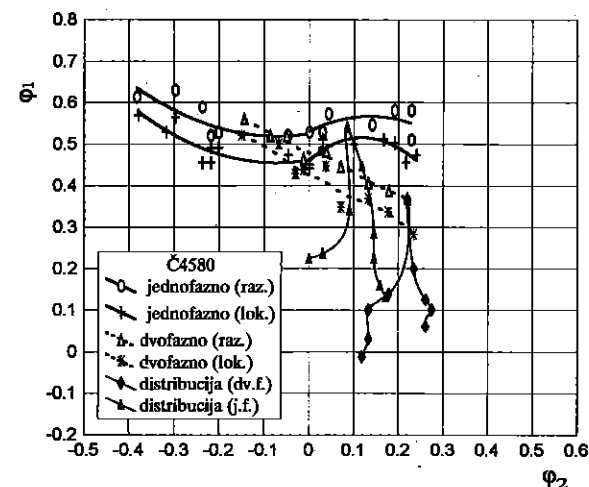


SI.4 Distribucija deformacija

Prethodni prikaz nije pogodno upoređivati sa sl.3 i sl.5 jer on daje fiktivnu sliku ukupne deformacije (zbir prvih glavnih deformacija iz obe faze) za dvofazni postupak, koju realno nije moguće izmeriti na kraju druge faze, zbog promene pravaca glavnih osa.

Na sl.5 date su distribucije pri razvlačenju. Petlja za monotono (jednofazno) deformisanje

je znatno šira. Izrazito suženje petlje pri dvofaznom deformisanju govori o većem gradijentu deformacije u zoni razaranja.



SI.5 DGD sa distribucijama deformacija

Na sl. 5 prikaz graničnih krivih deluje ilustrativnije u odnosu na sl.3. Na tom prikazu je zbog jasnoće i upoređenja sa krivama za monotono deformisanje, dato da se poklapaju odgovarajuće ose koordinatnog sistema za prvu i drugu fazu, odnosno da se vrednosti φ_1 za drugu fazu nanose po osi φ_1 za prvu fazu. Analogno važi i za φ_2 . Pri ovakvom prikazu, praktično, referentni sistem je sistem druge faze deformisanja. Zapaža se da u drugoj fazi lim ima manje granične deformacije u oblasti razvlačenja (desno od ordinatne ose) u odnosu na jednofazni (monotoni) postupak. Iako su ovo prvi rezultati, na osnovu kojih nije moguće doneti konačne zaključke, čini se da lim Č4580 i u oblasti granične deformabilnosti ima značajno drugačije ponašanje u odnosu na niskouglenične čelične limove.

4. ZAKLJUČAK

Ponašanje lima od Č4580 u uslovima realizovanog dvofaznog nemonotonog postupka pokazuje zanimljive efekte u oblasti granične deformabilnosti. Naredna ispitivanja, sa ostvarenjem i drugih naponsko-deformacionih šema složene istorije deformisanja [1] treba da pruže dopunske podatke o uticajima na DGD čime će slika ponašanja ovakvih limova biti kompletnija.

Postupci sa složenom istorijom deformisanja na nivou mikrostrukture uzrokuju kompleksne procese koji se na makro nivou reflektuju kao specifični efekti promene osobina deformabilnosti.

Primenjena metodologija i navedeni rezultati predstavljaju dobru osnovu za nastavak istraživanja i sistematizaciju rezultata u ovoj oblasti.

FORMING LIMIT OF STAINLESS THIN SHEETS UNDER NON-MONOTONOUS DEFORMATION PROCESS CONDITIONS

ABSTRACT

Presented in the paper is experimental investigation of forming limit of thin sheet made from Č.4580 (X5CrNi18 9, after DIN). The specific two-phase non-monotonous procedure is applied. In the first phase the axial tension of 120 mm wide sheet stripe is applied, while in the second phase, the series of stretching by semi-spherical punch is performed. Forming limit diagram is formed and compared with forming limit diagram related to monotonous forming. Also, strain distribution and analysis of applied strain procedure effects is given.

LITERATURA

- [1] Aleksandrović S., Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotonog procesa plastičnog deformisanja, mag. rad., Mašinski fakultet Kragujevac, 1993.
- [2] Stefanović M., Aleksandrović S., Influence of strain path and tribo conditions on limiting relations in deep drawing, Journal of Techn. of plasticity, Novi Sad, 19 (1994), 47-55.
- [3] Rasmussen S. N., Theoretical Prediction of Strain Path Dependence of Limit Strains in Sheet Materials, Annals of the CIRP Vol. 30/1/1991, 179-184.
- [4] Devedžić B., Aleksandrović S., Uticaj nemonotonosti dvofaznih procesa deformisanja na graničnu deformabilnost tankih limova, XXV SPMJ, 1994, Beograd, Zbornik rad., 95-101.
- [5] Devedžić B., Granična deformabilnost limova pri različitim istorijama deformisanja, XXIV SPMJ, Novi Sad, 1992, Zbornik rad. 1-11 do 1-19.
- [6] Gronostajski J., Ali W.J., Ghattas M.S., Analysis of the limit strains of coated sheets steel for different strain paths, Journal of Mat. Proc. Techn., 22, 1990, 137-145.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

S. Aleksandrović, M. Stefanović^{*)}

INTEGRALNI PRISTUP PRI ANALIZI DEFORMABILNOSTI TANKIH LIMOVA

REZIME

Rad sadrži sveobuhvatan pristup analizi i rešavanju problema deformabilnosti pri dubokom izvlačenju. Prva faza obuhvata kompletno ispitivanje materijala (mehaničke karakteristike, pokazatelje obradivosti, krive granične deformabilnosti, tribološke karakteristike, struktura i eventualno hemijski sastav). Sledi identifikacija kritičnih zona, tipova defekata, određivanje deformacionih polja i definisanje putanja deformisanja u dijagramu granične deformabilnosti. Naredna faza je ispitivanje maziva i uočenih triboloških efekata ("galing" i sl.). Konačan rezultat daje potrebne karakteristike procesa, alata, mašine i materijala.

1. UVOD

Duboko izvlačenje tankih limova, zbog svoje složenosti i često nepoznavanja pojedinih uticajnih faktora može da rezultira neuspešno oblikovanim predmetima obrade. U onoj meri kojom se ovlada tim faktorima moguće je upravljati procesom i usmeravati ga ka konačnom cilju - kvalitetnom otpresku. Prema sagledavanju kompleksa ove obrade u [1] najvažniji su sledeći faktori: predmet obrade sa svojim karakteristikama uključujući materijal, alat, mašina, tribološki uslovi i okruženje. Kad dođe do pojave proizvoda sa defektima potrebno je odrediti uzroke problema i dati kvalitetna rešenja. U ovom radu se daje jedan pristup zasnovan na kompleksnoj deformacionoj analizi dobijanja otpreska, analizi materijala i triboloških uslova. Naročito je važna pravilna analiza komada sa defektima jer se na njemu direktno reflektuju svi povoljni i nepovoljni uticaji koji postoje u procesu obrade. Koristi se konkretan primer otpreska necilindrične forme od nerđajućeg čeličnog lima Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u). Bitno je naglasiti da je to vrlo značajan materijal za savremenu industriju jer se svojim antikorozijskim svojstvima uklapa u važne tendencije razvoja sve više usmerene ka produženju veka proizvoda i zaštite prirodne okoline [2].

2. METODOLOGIJA ISPITIVANJA

2.1 Ispitivanje materijala

Potrebno je što detaljnije ispitati materijal i to je prvi korak na prikupljanju potrebnih podataka o konkretnom komadu. Od mehaničkih karakteristika određuju se: zatezna čvrstoća (R_M), granica tečenja (R_P), izduženje pri prekidu (A_{80}). Odnos R_P/R_M , "r" faktor i "n" faktor su potrebne osnovne karakteristike obradivosti. Pomenuti materijal je hladno valjani lim sa manje

^{*)} Mr Sbrislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu

ili više izraženom ravanskom anizotropijom. Zato je bitno sve prethodne karakteristike odrediti u pravcu valjanja, 45° i 90° u odnosu na taj pravac. Tabela 1 daje mehaničke i osnovne karakteristike obradivosti određene standardnim procedurama.

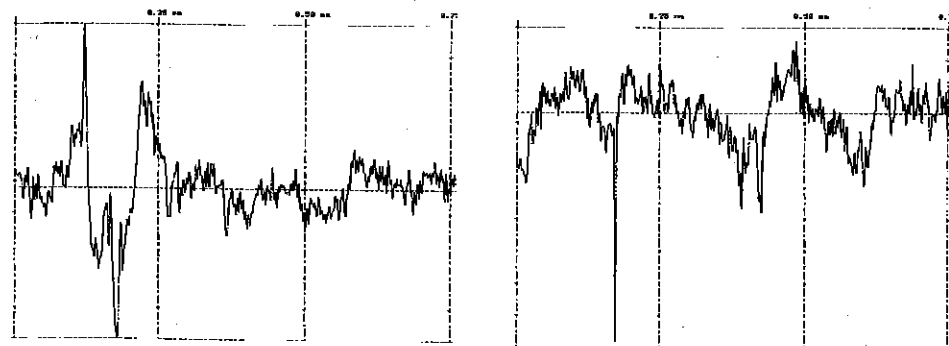
Tabela 1

Karakteristike lima Č4580 (X5CrNi18 9 po DIN-u) debljine $s_0=0,7$ mm						
Ugao prema pravcu valjanja lima, °	R_p MPa	R_M MPa	A_{50} %	r	n	R_p/R_M
0	303,2	660,2	30,6	0,824	0,361	0,46
45	308,1	666,4	37,15	1,147	0,35	0,462
90	317,3	630,1	29,5	0,949	0,343	0,5
srednja vrednost	309,2	655,8	33,6	1,017	0,351	0,471

Hronološki posmatrano, metalografska ispitivanja strukture i eventualo, hemijskog sastava moguće je raditi paralelno sa prethodnim ispitivanjem. Ovaj čelik spada u austenitne visoko legirane čelike i pri povećanju od 200 puta zapažaju se ravnoosna zrna austenita ujednačene veličine. Unutar granica zrna primećuje se dvojnokovanje karakteristično za austenit. Sredstvo za nagrizanje mikrošlifa je carska voda u glicerinu. Veličina zrna (po JUS C.A3.004) zadovoljava indeks $G=7-8$.

Hemijski sastav zadovoljava standardne granice (DIN i AISI) i u skladu je sa certifikatom proizvođača.

Na osnovu pokazanih vrednosti zapažaju se izrazito velike vrednosti zatezne čvrstoće i granice tečenja (uz povoljan odnos) kao i zadovoljavajuće vrednosti izduženja. Za ove karakteristike ne zapaža se bitan uticaj anizotropije. Vrednosti n -faktora su visoke što je povoljno s obzirom na obradivost razvlačenjem. r -faktor ima niske vrednosti uz jako izražen uticaj anizotropije u ravni. Vrednosti upozoravaju na sklonost lima ka stanjenju što može da umani obradivost dubokim izvlačenjem, naročito sa stepenima izvlačenja bliskim kritičnim.

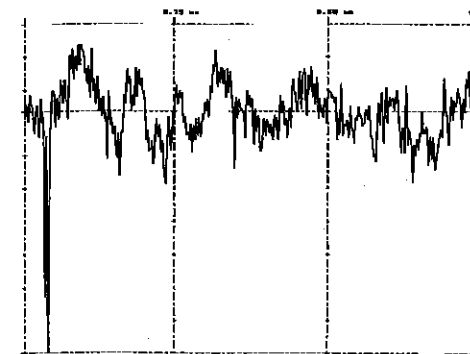


Sl.1 Hrapavost površine u pravcu valjanja

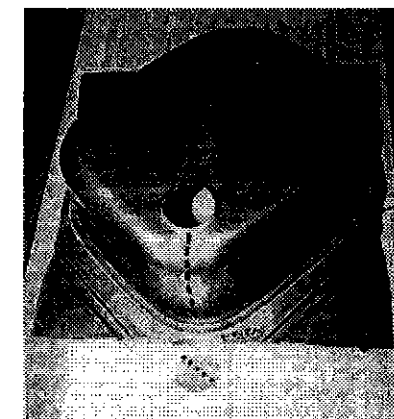
Sl.2 Hrapavost površine u pravcu 45° prema pravcu valjanja

Hrapavost površine merena je (takođe za tri pravca u ravni) na uređaju Talysurf 6 (Engleske firme TAYLOR HOBSON) i pokazana je na sl. 1-3. Od brojnih pokazatelja dobijenih ovim

merenjem navode se vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja R_a (0,035; 0,035; 0,034 μ m respektivno prema uglu u odnosu na pravac valjanja), srednjeg kvadratnog odstupanja R_q (0,052; 0,049; 0,047) i maksimalne visine profila R_y (0,57; 0,482; 0,41). Referentna dužina je bila 0,25 mm, a dužina ocenjivanja 1,5 mm. Ako se izuzmu prisutne ogrebotine hrapavost je relativno ujednačena za sva tri pravca.

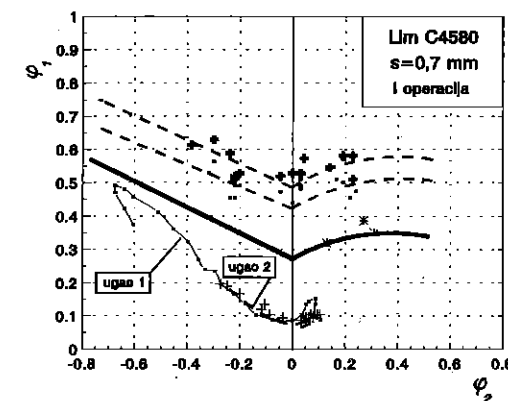


Sl.3 Hrapavost površine (pravac 90° prema pravcu valjanja)



Sl.4 Izgled ispitivanog otpreska

2.2 Granična deformabilnost



Sl.5 Dijagram granične deformabilnosti sa distribucijama deformacija

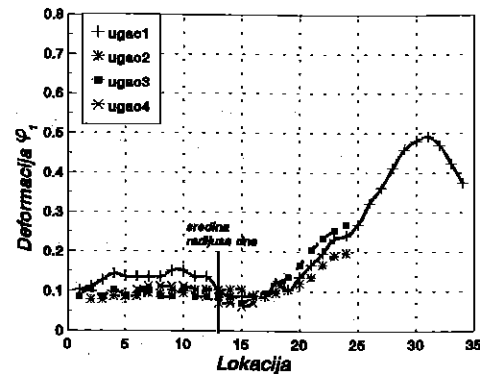
Dijagram granične deformabilnosti (DGD) pokazan na sl.5 određen je klasičnim postupkom razvlačenja serije epruveta promenljive širine polusfernim izvlačaćem prečnika 50 mm. Isprekidanim linijama označene su krive lokalizacije (donja kriva) i razaranja (gornja kriva) za mernu mrežu prečnika 3 mm. Na komadu sa sl.4 primenjena je mreža od 5 mm, pa je izvršena korekcija položaja krive lokalizacije (puna linija na DGD).

Zbog nedostatka prostora, na sl.5 prikazane su i dve raspodele o kojima će biti reči u narednoj glavi.

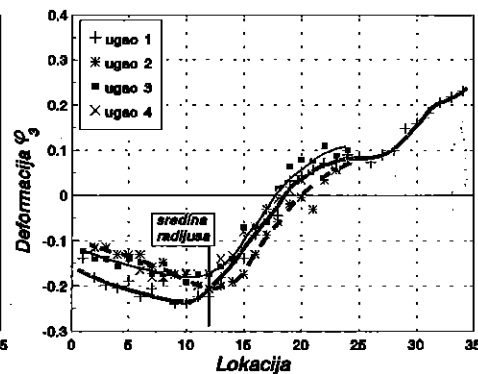
3. REZULTATI ANALIZE ISPITIVANOG OTPRESKA

Identifikacija tipova defekata je prvi korak pri analizi neispravnog otpreska. Oni se, najčešće, uočavaju običnim vizuelnim pregledom. U konkretnom slučaju defekti su: pucanje na ravnom delu u zoni radijusa na jednom uglu, pucanje u zoni probijenog otvora i pojava nabora na vertikalnom zidu komada u zoni ugaonog radijusa. Uzroke defekata moguće je odrediti utvrđivanjem distribucija deformacija u uočenim kritičnim zonama. Pogodno je dati distribucije

u zavisnosti od mesta merenja pojedinog elementa merne mreže (naročito je važna treća glavna deformacija upravna na ravan lima koja pokazuje intenzitet stanjenja) i distribuciju u sistemu dve glavne deformacije u ravni. Više detalja o načinu prikazivanja i tumačenja distribucija deformacija pri dubokom izvlačenju dato je u [3] i [4].

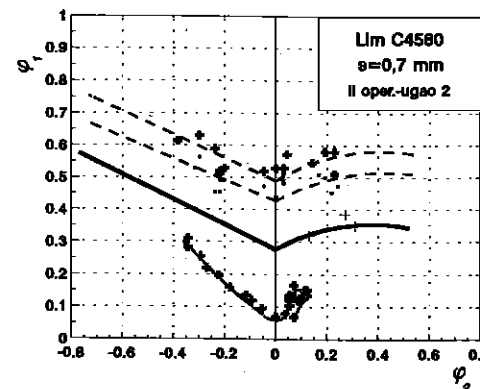


SI.6 Distribucija veće deformacije u ravni u I operaciji

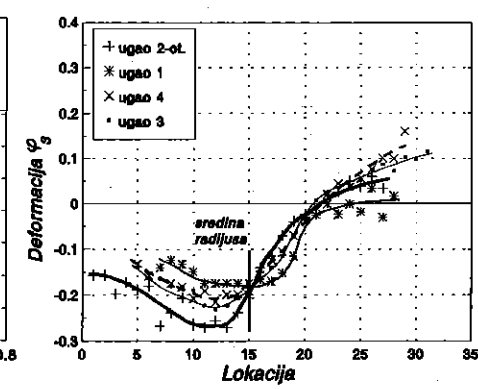


SI.7 Distribucija deformacije debljine u I operaciji

SI.6 pokazuje distribuciju prve glavne deformacije (veća deformacija u ravni) za prvu operaciju. Lokacija 1 leži na ravnom delu, a poslednja na vertikalnom zidu komada. Vidi se da su deformacije u dijagonalnom pravcu preko ugla 1 manje što govori o neujednačenom držanju oboda, odnosno o neravnomernoj sili držanja. SI.7 pokazuje značajno stanjenje u tehnološki kritičnoj zoni na uglu 1 oko lokacije 10 (minimum krive distribucije). To je potencijalno mesto loma. Razlike između raspodela od ugla do ugla potvrđuju zapažanje da se lim uvlači u matricu neravnomerno uz neujednačenu silu držanja. Na sl.4 pored DGD date su i raspodele deformacija za uglove: 2 (sa otvorom) i 1 (naspramni ugao). Sa aspekta opasnosti od lokalizovanog deformisanja, odnosno razaranja u kritičnoj zoni (oko ordinatne ose) obrada je relativno sigurna (solidnan iznos rezerve plastičnosti). Na osnovu toga zaključuje se da stepen deformisanja nije uzrok defekata na komadu.



SI.8 Raspodela deformacija u DGD za ugao 2 u II operaciji



SI.9 Distribucija deformacije debljine u II operaciji

Rezerva plastičnosti je zadovoljavajuća (sl.8), ali sl.9 pokazuje još izrazitiju neujednačenost distribucija od ugla do ugla u odnosu na stanje sa sl.7.

Kritična zona je i ivica otvora koja se povija ka spoljašnjoj strani komada, uz proširenje otvora pri kraju hoda izvlačenja [5]. Posmatranjem ivice probijenog otvora pri povećanju do 100 puta moguće je oceniti stanje reznih ivica i drugih parametara alata.

Analiza triboloških uticaja pri primeni nerđajućih čelika detaljnije je data u [6], a na ovom mestu treba istaći potrebu striktno definisanih zona podmazivanja (zona držača lima i radijusa matrice) i zone suvih površina (izvlakač). Razlog je odvijanje procesa u visokom režimu (velike vrednosti sile izvlačenja i sile držanja uz sklonost ka pojavi nabora i nestabilnosti izvlačenja). Pri modelnom ispitivanju, najbolji rezultati su postizani specifičnim pritiskom držača od 6,9 MPa (na otpresku odgovara sili od 1,66 MN) uz korektno podmazivanje kvalitetnim mazivom.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istraživanja zaključuje se da lim od Č4580 predstavlja materijal slabije obradivosti dubokim izvlačenjem u odnosu na niskouglenične karoserijske limove. Ima veliku čvrstoću i veliku deformaciju pri razaranju uz visoku vrednost n-faktora, ali i izraženu sklonost ka stanjenju i pojavi nabora. Pri izvlačenju proces teži nestabilnosti ukoliko se poremeti neki od bitnih faktora (sila držanja, tribološki uslovi itd.). Zato se zahteva kvalitetan alat i mašina koja obezbeđuje dovoljnu i vrlo ujednačenu silu držanja po obodu. Netehnološka konstruktivna rešenja na samom komadu moraju se korigovati u slučaju učestalih problema.

Na osnovu primenjene metodologije u ovom istraživanju moguće je potpuno i pouzdano identifikovati bitne uticajne faktore na proces dubokog izvlačenja. Na osnovu toga definišu se i pravci rešavanja eventualnih problema kod konkretnih otpresaka.

Pri projektovanju tehnologije dubokog izvlačenja nerđajućih limova treba biti vrlo oprezan zbog niza specifičnosti (od kojih su najbitnije pomenute u ovom radu) u odnosu na klasične niskouglenične limove. Poznavanjem izložene metodologije, u mnogim slučajevima, preventivno je moguće izbeći teškoće u proizvodnji praćene znatnim troškovima.

AN INTEGRAL APPROACH TO THE ANALYSIS OF FORMABILITY OF THIN SHEET METALS

ABSTRACT

The paper contains an integral approach to the analysis and formability problem solution in deep drawing. The first phase contains the complete investigation of material (mechanical properties, formability indicators, forming limit curves, tribology characteristics, structure and, eventually, chemical composition). Further follows the identification of critical areas, failure kinds, determination of strain fields and definition of strain paths in forming limit diagram. The next phase presents the investigation of lubricants and observed tribology effects ("galling" etc.). The final result gives the necessary characteristics of the process, tools, machines and materials.

LITERATURA

- [1] Stefanović M., Relevantni pokazatelji pri modeliranju dvostranog zatezanja tankih limova. Mašinstvo, Beograd, 43 (1994), 15-20.
- [2] Hayashi H., Nakagawa T., Recent trends in sheet metals and their formability in manufacturing automotive panels, Journal of Mat. Proc. Techn. 46 (1994), 455-487.
- [3] Stefanović M., Tribologija dubokog izvlačenja, monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- [4] Stefanović M., Aleksandrović S., Influence of strain path and tribo conditions on limiting relations in deep drawing, Journal of Techn. Of Plasticity, Novi Sad, 19(1994), 47-55.
- [5] Dinda S., James K., Keeler S., Stine P., How to Use Circle Grid Analysis for Die Tryout, ASM, Metals Park, Ohio, 1985.
- [6] Stefanović M., Aleksandrović S., Samardžić M., Značaj deformacione analize pri ocenjivanju kvaliteta maziva za duboko izvlačenje, XXVI SPMJ, Podgorica, 1996. (prihv. rad).



dr Ljubomir Bogdanov, dr Ljubodrag Đorđević i mr Dragutin Miković¹

KOVANJE OTKOVAKA OD MESINGA SA UBADANJEM

Rezime

Koristeći osobine plastičnosti mesinga u "polurastopljenim" stanju konstruišu se specijalni kovački alati sa čepovima za ubadanje i sa sastavnim linijama kalupa u više ravni. Posebno su pogodne frikcione i drugi vidovi presa za kovanje otkovaka od mesinga sa tankim rebrima i zidovima. Dodaci za obradu su mali, a ušteda u mašinskoj obradi je velika.

1. UVOD

Legure obojenih metala našli su široku primenu u svim granama mašingradnje. Delovi armatura za vodovode, gasne vodove (ventili i zasuni) delovi reaktora, spojnice za priključivanje organskih kiselina u procese, delovi u morskoj vodi, armatura i pribori visokog pritiska, kablovski i kontakti priključci i drugi delovi u elektroindustriji izrađuju se kovanjem i presovanjem iz legura na bakarnoj, aluminijskoj i titanovoj osnovi. Te legure u mnogim granama proizvodnje koriste se za izradu kovanih i presovanih izradaka koji su izloženi udarnim i impulsivnim opterećenjima dejstvom lužina, mineralnih ulja i drugih agresivnih sredina.

Uže posmatrano široku primenu imaju legure za gnječenje (deformaciju) na bakarnoj osnovi; obični i specijalni mesing, olovne i bezolovne bronzne i dr.

Kovanje obojenih metala i legura ima svoje karakteristike koje su suštinski uticajne na ceo tehnološki proces.

Kovanje obojenih metala ima za cilj postizanje ravnomernosti strukture materijala, smanjenja dimenzija zrna strukture itd. Kvalitet izradka posle kovanja u prvom redu zavisi od:

-kvaliteta uložnog materijala; strukture; stanja površina; temperaturnog režima zagrevanja; faznog stanja materijala; stepena i brzine deformacije.

Kovanje šipki (trupaca) iz obojenih metala iskivanjem (izduženjem) u jednom pravcu pridovoljnom stepenu sabijanja dovodi do promene zrna i stvaranja vlaknaste strukture. Ovim se povećavaju pokazatelji mehaničkih svojstava u uzdužnim i poprečnim pravcima. Anizotropija svojstava otkovaka može se odstraniti kovanjem u tri uzajamna pravca (međusobno upravna) ili po šemi; sabijanje-iskivanje-sabijanje.

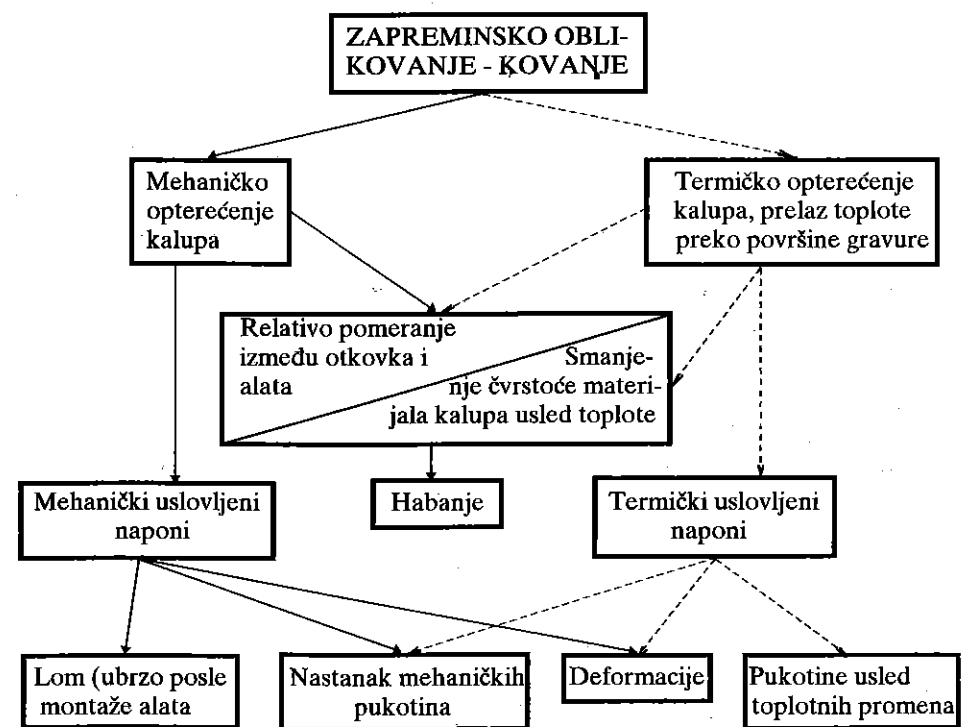
¹ dr Ljubomir Bogdanov, viši naučni saradnik MIN INSTITUT Niš,
dr Ljubodrag Đorđević, docent maš. fakultet Kraljevo
mr Dragutin Mirković, Metalurški institut-SARTID Smederevo

Kod definisanja režima kovanja neophodno je uočiti značaj dozvoljenog stepena deformacije legure koji se definiše iz plastičnih svojstava materijala. Najbolji kvalitet otkovak dobija iz obojenih metala i legura kada ostvareni stepen deformacije zadnjeg udara mašine ne prelazi kritičnu vrednost iz dijagrama rekristalizacije. Povećana brzina deformacije može dovesti do nezavršavanja procesa rekristalizacije i nepotpunog neočvršćavanja pri čemu dolazi do porasta otpora deformacije i smanjenja plastičnosti.

2. TOPLOTNI I MEHANIČKI UTICAJI PROCESA KOVANJA U ZATVORENOM I OTVORENOM KALUPU

Termički i mehanički uticaji uslova rada alata najbolje se mogu sagledati iz šeme opterećenja i oštećenja kalupa. Pojedinačni uticaji analiziraju se, proučavaju i definišu iz geometrijskih mera alata i broja pripremnih gravura.

Kod konceptijskog rešenja alata izbor sastavnih linija kalupa, radijusa zaobljenja, nagiba, veličinu ubadanja i drugih činilaca u mnogome utiču na kvalitet otkovaka sa ciljem dobijanja tačnih geometrijskih mera i bez defekata unutar same strukture materijala u oblikovanom stanju.



U zadnje vreme kovanje u žitkom stanju je sve više u primeni. Naime, rastopina se izliva u gravuri kalupa čiji oblik se definiše prema obliku otkovaka ali u prostijoj formi i tako očvrstnut se stavlja u gravuri za završno kovanje tzv. "polutoplo kovanje" ili kovanje u žitkom stanju. Koristeći veliku plastičnost materijala moguće je dobiti veoma složene oblike otkovaka sa tankim zidovima, rebrima i malim radijusima

zaobljenja. Kalup kod presovanja u žitkom stanju radi u uslovima periodičnih opterećenja kako mehanički tako i termomehanički. Prisutno je uzajamno hemijsko dejstvo priprema i površine alata. Tu se razvijaju procesi termičke i mehaničke učestalosti pri čemu nastaju strukture promene i habanja alata. Pojavljuju se i zapreminske prskotine nakon dugog rada alata prerastajući umrežu.

Zapreminske prskotine nastaju usled neravnomernog rasporeda temperature u odrđenim zonama alata. Prskotine su posledica napona stvorenog usled neravnomernosti zagrevanja i hlađenja radnih površina alata. Prskotine se sve više šire usled povećanja intenziteta rada.

Uticaj hemijskog sastava i termičke obrade materijala alata u današnje vreme nije još dovoljno izučen te nema standardnih metoda za ocenu.

Postoje metode na bazi eksperimenata za procenu izdržljivosti alata i to na bazi udarne žilavosti u poređenju sa strukturnim stanjem materijala. Takvi podaci za procenu veka alata nisu pouzdani.

Metoda kovanja sa razdvojivim kalupima najviše se koristi na hidrauličnim presama, a sa ograničenom mogućnošću i na frikcionim presama. Razdvojive kalupe drži stezni cilindar ukomponovan sa operacijom kovanja.

Alati se obično konstruišu sa izbacivačem ili skidačem za lako odvajanje otkovaka iz gravure alata. Obično se koristi povratni hod prese ukoliko nema drugih mogućnosti.

Kod kovanja polutoplom-rastopljenom stanju zapremina gravure alata uvećava se zbog širenja i gubitaka za određene materijale i to:

- Al legure 0,8-1,0%
- Mesing 1,1-1,2%
- Bronze 1,3-1,5%

-Otkovak od obojenih metala je sa spoljašnjim nagibom 0,25-1,5°; unutrašnji nagibi sa 1-12°.

-Vertikalni zazori između trna i matrice moraju biti minimalni kako nebi rastopljeni metal ulazio u zazor i došlo bi do havarije alata.

-Za uklanjanje vazduha ili gasa iz matrice u procesu kovanja u trnu neophodno je predvideti unutrašnji kanal ili površinski dubine 0,2-0,3 mm

-Po mogućnosti predvideti mogućnost hlađenja alata i podmazivanja gravure.

Plastičnost obojenih metala i legura razlikuje se od plastičnosti čelika pri kovanju i presovanju. Temperatura, brzina i stepen deformacije i šema izvođenja procesa su veoma uticajni.

Legure obojenih metala imaju mali temperaturni interval kovanja te za kovanje manjih otkovaka od mesinga koriste se frikcionne prese sposobne da ostvare oblikovanje sa velikom brzinom deformacije za jedan udar potiskivača prese. Kod izrade tehnologije kovanja ipresovanja otkovaka iz obojenih legura treba pažljivo izučiti njihova tehnološka svojstva i pravilno odabrati temperaturni i deformacioni režim rada, prema obliku otkovaka.

Osobine zagrevanja obojenih legura

Materijali za kovanje iz obojenih metala u kovačnicama dolaze u obliku izlivka, otkovka i presovanih šipki. Uložni materijal iz skladišta do mesta kovanja provede i po nekoliko sati. Pre zagrevanja površinski defekti moraju biti odstranjeni, pa ako je potrebno i struganjem ih treba očistiti po celoj dužini defektnog sloja.

Sečenje na određenim dužinama obavlja se testerama a nikako lomljenjem sa noževima na makazama, jer na mestu reza koncentrišu se naponi i pojavljuju se na rezu mestimične prskotine.

Kod zagrevanja pre kovanja u kalupu niklovi i bakarni legura (obojenih metala) temperatura peći pre šaržiranja hladnih komada ne sme biti više od 700 °C; za silicijum manganske bronzne da ne prelazi 350 °C itd.

Pripreмки od obojenih legura zagrevaju se do temperature do početka kovanja sa brzinom koja zavisi od srednje debljine ili prečnika pripreмки. Radi orijentacije vreme zagrevanja i držanja u peći za zagrevanje iznosi:

Materijal (legura)	Vreme (min) pri srednjoj debljini ili prečnika pripreмки (mm)									
	25	50	75	100	150	175	200	300	400	500
Mesing (zagr. do temp. kovanja)	10	15	20	25	30	30	35	75	100	120
Masa (kg) zagrevanja	10	15	20	25	40	40	55	110	140	160

Vreme zagrevanja pripreмки iz aluminijumskih legura veće je od vremena zagrevanja pripreмки iz mesinga i bronzne i zavisi od debljine i prečnika pripreмки. Na primer, vreme zagrevanja pripreмки prečnika 20-30 mm iznosi 30-40 min; pod uslovom da je temperatura radnog prostora peći 500 °C.

Može se reći da temperaturni režim zagrevanja mora biti kontrolisan u pogledu brzine zagrevanja i vremena držanja na određenoj temperaturi.

Osobine kovanja i zapreminskog oblikovanja obojenih metala i legura sa osvrtom na mesing

Kovanje obojenih metala obavlja se lakim i ravnomernim udarcima čekića sa malim sabijanjima.

Kovanje se izvodi obično sa neravnim batovima koji omogućuju dobro iskivanje sa ravnomernijom deformacijom po preseku.

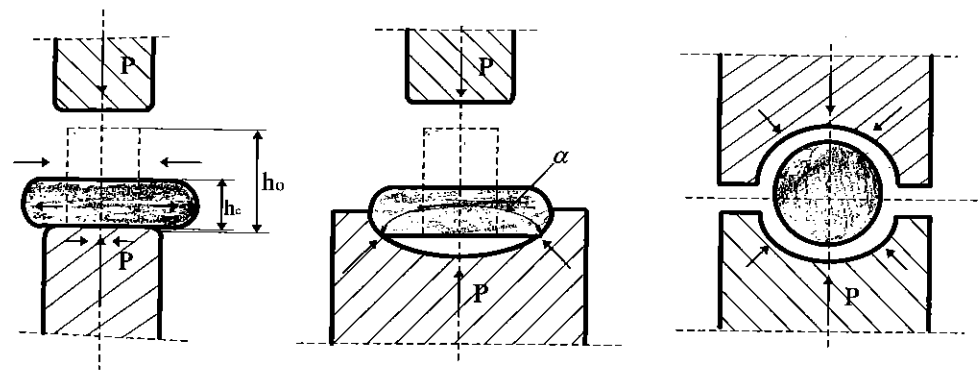
Stvaranje prskotina tzv. "razvaline" kod gredica kovanjem na čekićima sa ravnim batovima objašnjava se time što kod prvih udaraca gornjeg bata proističe neravnomerna deformacija sa slabijim širenjem pomerene zapremine pripreмки sabijanjem ili izduženjem. Poprečnim pomeranjem metala stvaraju se dopunski rastezači i naponi i plastičnost legure pada što dovodi do deformišući metal u krto stanje.

Da bi umanjili poprečnu deformaciju pripreмки, a samim tim i mogućnost pojave dopunskih istežućih napona neophodno je stvoriti bočni pritisak na metal sa površinama alata kako bi na početku udara metal imao otpor (sl. 2).

KLASIFIKACIONA ŠEMA KOVANJA SA UBADANJEM U RAZDVOJIVIM MATRICAMA

SA JEDNIM TRNOM	SA DVA TRNA				SA TRI TRNA			SA ČETRI TRNA			
	A	B	A	B	C	D	C	B	C	B	
<p>A. Sastav kalupa upravan na osu trna</p> <p>B. Sastav kalupa i ose trna se poklapaju</p> <p>C. Ose trnova pod 90° u odnosu na sastav kalupa</p> <p>D. Sastav kalupa i upravne ose trnova u jednoj ravni</p>					<p>C. Dva trna o osi a treći upravno na osu i sastav kalupa ne na sastav</p> <p>D. Ose trnova i sastav kalupa u jednoj ravni</p>			<p>C. Sastav kalupa i dve ose upravne na osu i sastav kalupa ne na sastav</p> <p>B. Sve ose trnova i sastav kalupa u jednoj ravni</p>			
TIPOVI OTKOVA KA											

* Kovanje je sa ubadanjem na principu istiskivanja u zatvorenim kalupima sa „kompenzatorima“ za višak materijala (višak materijala je neznatan)



Sl. 2. Šema kovanja sa ravnim i neravnim batovima.

Neophodno je uočiti neke bitne karakteristike popunjavanja gravure alata zagrejanim pripremkom.

-Kod kovanja na čekićima brzina tečenja metala u gornjem kalupu skoro je dva puta veća od brzine tečenja u donjem kalupu.

-Kod kovanja na presama brzina isticanja metala u gornjem kalupu je za 1,5 puta manja od tečenja u donjem kalupu.

-To znači da rebra i ispusti ako je kovanje na čekiću trebaju biti u gornjem kalupu a ako je kovanje na presi u donjem kalupu.

ZAKLJUČAK

Kovanje se javlja statistički kao nestabilni proces, jer mnogi parametri ne ponavljaju se isto za isti oblik otkovka i dimenzije, već se ponašaju prema zakonu verovatnoće. Dve iste kovačke mašine različito se ponašaju. Kvalitet otkovka, energetski, materijalni i vremenski troškovi su nepostojane veličine usled uticaja ogromnog broja determinirajućih i slučajnih faktora. Kao npr. temperatura zagrevanja, odstupanje geometrijskih mera, habanje alata, podmazivanje i dr.

Složenost procesa kovanja, višeorazni oblici otkovaka, uslovi proizvodnje od uticaja na proces, otežan problem istraživanja celog procesa i dr. Uslovi da deskriptivni model se diferencira na zasebne parametre (dodaci za obracu, odstupanje mera, dimenzije prelaznog mostića i dr.)

Metode teorije obrade metala plastičnom deformacijom rešavaju tehnološke probleme procesa kovanja na nekoliko idealiziranih modela (npr. osnosimetrični oblik i dr.).

Interpretacija tih rešenja za druge oblike vezana je sa principijelnim teškoćama. Zato ta teoretska rešenja imaju ograničenu primenu.

1. Veći broj raznih tipova otkovaka isključuje postavku teorijske analize za rešenje problema sile deformisanja, pa se koriste i eksperimentalna istraživanja.
2. Postojeća teorijska rešenja odnose se na proste oblike (osnosimetrički, pravougaoni i dr.). Korišćenje savremenih matematičkih metoda i računara zahteva dosta vremena i novca za dobijanje jednačina, odnosno rešenja. Postavka i rešenje teorijskog zadatka za otkovke složenih oblika zahtevaju više vremena i ta rešenja još nisu dobivena.
3. Proces kovanja je nestacionaran i karakteriše ga neravnomernost deformacija. Svi delovi otkovka nemaju iste osobine, npr. ograničenost brzine deformacije, stepena

deformacije i dr. Sve to komplikuje rešenje teorijskog problema za modeliranje procesa kovanja.

4. Radi primene složenog matematičkog modela na računaru, dozvoljavaju se razna uprošćenja, pa se mogu zanemariti važna svojstva istraživanog procesa i dobiće se približna rešenja. Zato je potrebna korektura rezultata od strane iskusnog tehnologa kovanja.

5. Dobijeni rezultati teorijskih rešenja i zavisnosti neispunjavaju stohastički karakter realnih procesa. Proces kovanja karakterističan je uzajamnim dejstvom raznih faktora pri čemu promena jednog menja drugi, što grupno utiče na razne promene procesa. Nestabilnost tih faktora utiče na stabilnost procesa kovanja.

6. Značajan efekat za objektivne i tačne zaključke daje primena statističke metode u naučnim i primenjenim istraživanjima tehnološkog procesa kovanja. Te metode su pogodne ako se uzmu u obzir uticaji više faktora i može se doći do određene zakonitosti procesa.

Realni procesi su rezultat dugogodišnjih ispitivanja tehnologa u različitim fabrikama koristeći metod planiranja eksperimenta. Mogu se dobiti empirijske formule, tabele, dijagrami i dr. za proračun osnovnih parametara procesa kovanja.

Detalj: Masa uložnog materijala za jedan te isti otkovak je slučajna veličina, jer zavisi od uslova rezanja dimenzije šipki i dr.

Kakva će biti raspodela simetrična ili asimetrična.

Za n komada može se uzeti masa kao rezultat aritmetičke sredine ili kao funkcija \sqrt{m} , $\sqrt{m} \ln m$ i dr. Bez obzira na pristup i metod rezultat se mora podvrći analizi i logičnom zaključku.

Iz ovih teza se može zaključiti da matematički modeli deskriptivni (opisni) ili normativni (modeli optimizacije) moraju ze proveriti eksperimentom jer promenljive veličine mogu imati fiksne vrednosti ili neopredeljene vrednosti za određene uslove rada i načina vođenja tehnološkog procesa.

SUMMARY

By using the properties of the "half-melted" brass, special forging tools with the sticking in plugs, providing for swages alignments as required, are constructed.

Friction presses, as well as some other types of presses, are specially suitable for making thin wall and finned brass forgings.

Allowances for treatment are low while savings in machining operations are significant.

LITERATURA

1. EDUARDOV M.S.

Štampovka v zakritih štampah
"Mašinstroenie, Leningrad, 1971.

2. GUPKIN S.A.

Plastičeskaja deformacija metalov
Tom I, II, III. Metalurgija, Moskva, 1961.

3. MUSAFIA B.

Primenjena teorija plastičnosti I, II dio,
Univerzitet u Sarajevu, 1973/74.

4. BOGDANOV Lj.

Uticaj koncepcijskog rešenja konfiguracije i kvaliteta kovačkog alata na proces obrade materijala kovanjem i kvalitet otkovaka, Doktorska disertacija, Niš, 1984.



Domazetović V., Janjić M., Zogović S.*

MODELIRANJE RADNOG PRITISKA PRI PRESOVANJU OSNOSIMETRIČNIH ELEMENATA U OTVORENIM KALUPIMA

Rezime

U radu je dat prikaz dobijanja eksperimentalnih vrijednosti radnog pritiska pri zapreminskom oblikovanju u otvorenim kalupima osnosimetričnog stepenastog odkovka kod hladne obrade olova i tople obrade legure aluminijuma. Na osnovu dobijenih rezultata je izvršeno modeliranje radnog pritiska za konkretne uslove, kao i njihovo upoređivanje.

1. UVOD

Plastičnim deformisanjem se izrađuju elementi najrazličitijih oblika i dimenzija. Date su osnovne teorijske postavke za veliki broj procesa i postupaka. Među njima je posebnu pažnju privlačilo presovanje u otvorenim kalupima. Prihvaćene osnovne teorijske postavke i brojna eksperimentalna istraživanja dostižu vidnu usaglašenost u obrađivanim uslovima, tako da se u velikoj većini stvarnih radnih uslova nameće potreba modeliranja bitnih uticajnih faktora koji se javljaju tokom procesa. Time se produbljuju i proširuju istraživanja u domenu konkretnih područja.

U okviru šireg istraživanja navedenog procesa obrađene su modelske zavisnosti uticaja dimenzija pripremljena i kalupa, odnosno temperature i stepena deformacije na radni pritisak pri deformisanju legure aluminijuma AlMgSi0,5 i olova u otvorenim osnosimetričnim kalupima

2. PLAN EKSPERIMENTA

Na osnovu prethodnih i preliminarnih ispitivanja usvojen je višefaktorni ortogonalni plan eksperimenta prvog reda sa modelskom stepenom funkcijom oblika

$$y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot x_3^{a_3} \cdot x_4^{a_4} \cdot x_5^{a_5} \cdot x_6^{a_6} \quad (1)$$

Nezavisno promjenljive x_1 , x_2 , x_3 i x_4 su date kao relativni odnosi dimenzija kalupa i obradka u odnosu na osnovni dijametar kalupa, dok se x_5 odnosi na redukovani stepen deformacije koji varira u rasponu od 0÷1.

* Prof. dr Vuko Domazetović, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Mileta Janjić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Slaviša Zogović, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica

4. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

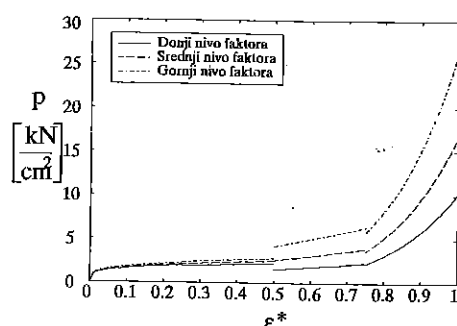
Usvojeni model zavisnosti (1) je ispitivan u intervalu promjene stepena deformacije od 0 do 1. Kada su rasponi promjene intervala bili veći dolazilo je do vidnog odstupanja vrijednosti u dodirnim područjima, što se vidi iz tab.3 i tab.4, odnosno dijagrama na sl.3 i sl.4.

Tab.3 Modeli promjene radnog pritiska za olovo

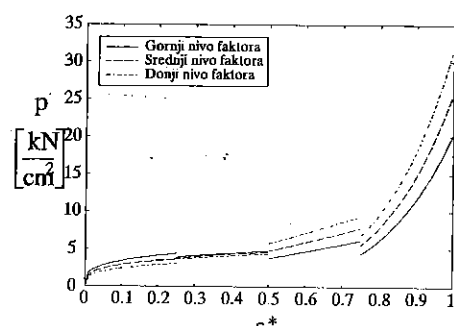
ϵ^*	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0.1÷0.25	4.5188	0.3698	0	0	0	0.2404
0.25÷0.5	5.8963	0.5198	-0.1127	0	0.6184	0.2662
0.5÷0.75	52.397	1.2711	0	0	2.8089	1.0504
0.75÷1	173.8367	1.3813	0	0	2.2091	5.2593

Tab.4 Modeli promjene radnog pritiska za leguru aluminijuma AlMgSi0,5

ϵ	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
0.1÷0.25	$2.167 \cdot 10^8$	0.34	-0.0798	0	0.5818	-2.7938	0.2857
0.25÷0.5	$6.317 \cdot 10^8$	0	-0.0918	0	0	-3.07	0.2782
0.5÷0.75	$1.692 \cdot 10^8$	0.6708	-0.109	0	2.633	-2.5113	1.223
0.75÷1	$7.2016 \cdot 10^8$	0.5404	0	0	2.105	-2.5832	5.3162



Sl.3 Modeliranje radnog pritiska kod olova



Sl.4 Modeliranje radnog pritiska kod AlMgSi0,5

Pri skraćivanju intervala variranja redukovanog stepena deformacije u dodirnim zonama dolazi do manjih varijacija vrijednosti tako da se u osnovi može pratiti kontinualan razvoj procesa kako je to dato tabelama 5 i 6, dijagramima sl.5 i sl.6 i zavisnostima, koje su date posebno za olovo (4) i leguru aluminijuma (5). U njima vrijednosti eksponenata variraju u određenim granicama, dok su za određene intervale date njihove vrijednosti u navedenim tabelama (tab.5 i tab.6).

$$p_{Pb} = (1.076 \div 18.572) \cdot x_1^{(0+0.666)} \cdot x_2^0 \cdot x_3^{(0+0.785)} \cdot x_4^{(0+4.661)} \quad (4)$$

$$p_{Al} = (3.6228281 \cdot 10^8 \div 1.0914239 \cdot 10^{10}) \cdot x_1^{(0+2.289)} \cdot x_2^{(-0.108+0)} \cdot x_3^{(-0.785+0.058)} \cdot x_4^{(-1.676+4.661)} \cdot x_6^{(-3.135+2.694)} \quad (5)$$

Redukovani stepen deformacije ϵ^* je bio u rasponu od 0÷1 sa korakom variranja 0.05.

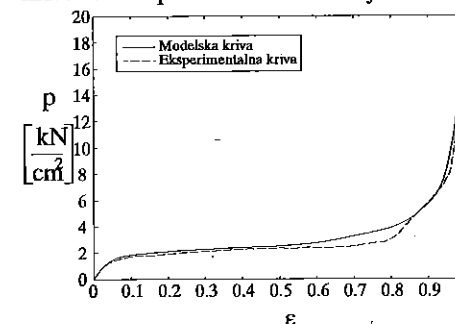
Tab.5 Promjena parametara kod olova

ϵ	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
0.05	1.076	0	0	0	1.678
0.1	1.816	0	0	0	0
0.15	1.973	0	0	0	0
0.2	2.089	0	0	0	0
0.25	2.187	0	0	0	0
0.3	2.261	0	0	0	0
0.35	2.336	0	0	0	0
0.4	2.388	0	0	0	0
0.45	2.438	0	0	0	0
0.5	2.498	0	0	0	0
0.55	2.592	0	0	0	0
0.6	6.225	0.443	0	0	1.089
0.65	9.574	0.572	0	0	2.033
0.7	11.691	0.54	0	0	2.902
0.75	13.324	0.465	0	0	3.729
0.8	8.582	0	0	0	4.37
0.85	10.522	0	0	0	4.661
0.9	16.242	0.666	0	0.785	3.692
0.95	12.645	0.395	0	0.723	2.094
1	18.572	0	0	0	0

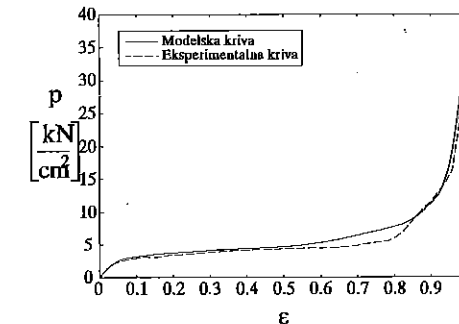
Tab.6 Promjena parametara kod AlMgSi0,5

ϵ	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_6
0.05	$3.6228281 \cdot 10^8$	0	0	0	-1.676	-3.135
0.1	$8.2978994 \cdot 10^8$	0.419	0	0	-0.744	-3.106
0.15	$1.0092355 \cdot 10^9$	0.511	0	0	0	-3.082
0.2	$9.6173180 \cdot 10^8$	0.542	0	0	0	-3.056
0.25	$9.3846536 \cdot 10^8$	0.596	0	0	0	-3.031
0.3	$7.7279708 \cdot 10^8$	0.651	-0.108	0	0	-3.006
0.35	$8.8639214 \cdot 10^8$	0.713	0	0	0	-2.981
0.4	$8.7056940 \cdot 10^8$	0.784	0	0	0	-2.957
0.45	$8.6018771 \cdot 10^8$	0.858	0	0	0	-2.933
0.5	$8.9933566 \cdot 10^8$	0.968	0	0	0	-2.91
0.55	$9.8475142 \cdot 10^8$	1.098	0	0	0	-2.887
0.6	$1.4425538 \cdot 10^9$	1.279	0	0	1.089	-2.864
0.65	$2.1835641 \cdot 10^9$	1.483	0	0	2.033	-2.842
0.7	$2.9994226 \cdot 10^9$	1.623	0	0	2.902	-2.82
0.75	$4.0762933 \cdot 10^9$	1.762	0	0	3.729	-2.798
0.8	$4.3996433 \cdot 10^9$	1.758	0	0	4.37	-2.777
0.85	$4.1853128 \cdot 10^9$	1.928	0	-0.491	4.661	-2.756
0.9	$5.2992367 \cdot 10^9$	2.289	0	-0.785	3.692	-2.735
0.95	$4.5524479 \cdot 10^9$	2.158	0	-0.723	2.094	-2.715
1	$1.0914239 \cdot 10^{10}$	2.161	0	0.058	0	-2.694

Na sl.5 i sl.6 se sagledava visok stepen usaglašenosti modelske i eksperimentalne krive tokom procesa deformisanja.



Sl.5 Modelska i eksperimentalna kriva kod olova



Sl.6 Modelska i eksperimentalna kriva kod legure AlMgSi0,5

Za opsežniju analizu je neophodno prilagoditi ili pak uraditi program korišćenjem postojećih rešenja. U ovom slučaju za generisanje eksperimentalnih vrijednosti i nalaženje modelskih zavisnosti promjene radnog pritiska u funkciji navedenih nezavisno promjenljivih faktora je izveden program u MATLAB-u.

5. ZAKLJUČAK

Korišćenjem užih intervala redukovanog stepena deformacije moguće je uspješno modelirati zavisnost radnog pritiska od nezavisno promjenljivih faktora odnosa dimenzija priprema i kalupa, odnosno temperature. Generisanje eksperimentalne

vrijednosti i nalaženje modelskih zavisnosti promjene zavisno promjenljivih veličina u funkciji nezavisno promjenljivih faktora se može kao i u ovom slučaju uspješno izvesti posebno postavljenim programom u MATLAB-u.

6. LITERATURA

- [1] Tihomirov V. B.: Planirovanije i analiz eksperimenta. Legkaja industrija, Moskva, 1974.
- [2] Stanić J.: Metod inženjerskih mjerenja. Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [3] Domazetović V., Janjić M.: Analiza napona i radnog pritiska kod slobodnog sabijanja Al-trupaca. Zbornik radova 21. JUPITER konferencije, Beograd, 1995.
- [4] Domazetović V., Vukčević V., Marković V., Mrkić M.: ISPIITVANJE SLOBODNOG SABIJANJA UZORAKA OD Al-LEGURE NA HIDRAULIČNOJ PRESI
- [5] Domazetović V., Janjić M.: ISTRAŽIVANJE STEPENA USAGLAŠENOSTI TEORIJSKIH I EKSPERIMENTALNIH VRIJEDNOSTI RADNIH PRITISAKA KOD SLOBODNOG SABIJANJA. Zbornik radova 25. Savjetovanja Proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994.

MODELING OF THE WORKING PRESSURE OF AXISYMETRIC ELEMENTS IN OPEN DRE

Summary

This paper contains obtainment of experimental value of the working stress for open dre forging. Axisymmetric and stair billets from lead for cold forging and Al-alloy for heat forging are considered. On the basis that modeling of the stress working on the intervals of the degree deformation is done. Modeling in the discrete group of the value degree deformation for concrete condition is done too. Comparison of the two modeling is obtained.



Domazetović V., Vukčević M., Janjić M.*

UPOREĐENJE TEORIJSKIH I EKSPERIMENTALNIH PRITISAKA PRI ZAPREMINSKOM OBLIKOVANJU OSNOSIMETRIČNIH ELEMENTATA U OTVORENIM KALUPIMA

Rezime

U radu se daje proračun radnih pritisaka pri zapreminskom oblikovanju u otvorenim kalupima po pogodnim teorijskim obrascima i njihovo upoređenje sa stvarnim vrijednostima dobijenim eksperimentom za olovo i leguru aluminijuma. Poređenje je izvršeno preko koeficijenta usaglašenosti koji se modelira. Na taj način se dobija funkcija usaglašenosti za konkretne uslove deformisanja, odnosno korekcija teorijskih vrijednosti. Na osnovu toga se izvodi zaključak o stepenu tačnosti teorijskih obrazaca za dato deformisanje.

1. UVOD

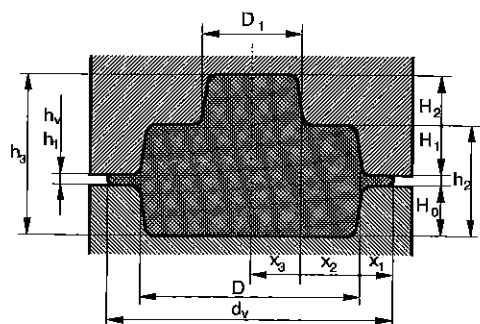
Nastojanja većeg broja autora, tokom dužeg niza istraživanja, da se sa određenim stepenom povjerenja daju prihvatljivi izrazi za radni pritisak tokom odvijanja procesa deformisanja pri sabijanju metala u otvorenim kalupima su rezultirala određenim obrascima koji se odnose na radnu silu, odnosno pritisak u završnoj fazi deformacije. Kako tokom odvijanja procesa djeluje više uticajnih parametara, koje pojedini autori tretiraju sa različitom značajnošću dolazi se do odstupanja vrijednosti sila i pritisaka pri promjeni odgovarajućih zavisnosti.

U radu se daje analiza odstupanja rezultata dobijenih primjenom određenih, češće korišćenih obrazaca i rezultata dobijenih eksperimentalno, odnosno izvedenih modela za olovo i leguru AlMgSi0,5.

2. PRETHODNA REŠENJA

Na osnovu zakona teorije plastičnosti, eksperimentalnih istraživanja, određenih postavki linearizovanja problema i numeričkog modeliranja pojedini autori su došli do određenih izraza koji tretiraju radnu silu u završnoj fazi procesa zapreminskog oblikovanja metala u otvorenim kalupima, od kojih se izvjesni navode:

* Prof. dr Vuko Domazetović, Mašinski fakultet u Podgorici, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Prof. dr Milan Vukčević, Mašinski fakultet u Podgorici, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Mileta Janjić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet u Podgorici, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica



Sl.1 Karakteristične dimenzije odpreska

1. Obrazac Storoževa [1,3]:

$$F = \sigma_s \left[\left(1.5 + \mu \frac{s_v}{h_v} \right) A_v + \left(\frac{2\mu \cdot s_v}{h_v} - 0.375 + 1.25 \ln \frac{D}{h_v} \right) A_k \right], \quad (1)$$

gdje su: σ_s - napon tečenja, $A_k = D^2 \pi / 4$ i $A_v = (d_v^2 - D^2) \pi / 4$ - horizontalna projekcija kalupa i vijenca respektivno, μ - koeficijent trenja, s_v - širina vijenca. Ostale veličine su date na sl.1.

2. Obrazac Fostera [2]:

$$F_t = 2\pi \cdot \sigma_s \left[R_t \cdot h_1 + (R_t - x_1)h_2 + (R_t - x_1 - x_2)h_3 + \mu \left(\frac{R_t \cdot x_1^2}{h_1} + \frac{(R_t - x_1)x_2^2}{h_2} + \frac{(R_t - x_1 - x_2)x_3^2}{h_3} \right) - \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2) - \frac{4\mu}{3} \left(\frac{x_1^2}{h_1} + \frac{x_2^2}{h_2} + \frac{x_3^2}{h_3} \right) \right], \quad (2)$$

gdje je $R_t = d_v / 2$ - radijus odpreska sa vijencem.

3. Obrazac Deana [2]:

$$F = \pi \cdot R_t^2 \cdot \sigma_s \left\{ \left(\frac{h_v}{\sqrt{2\mu} \cdot R_t} \right)^2 \left[\left(\frac{2\mu \cdot R_s}{h_v} + 1 \right) e^{\frac{2\mu \cdot s_v}{h_v}} - \frac{2\mu \cdot R_t}{h_v} - 1 \right] + \left(\frac{R_s}{R_t} \right)^2 \left[\frac{1}{\sqrt{3}\mu} + 2\sqrt{3} \frac{R_s}{h_v} \right] \right\}, \quad (3)$$

gdje je $R_s = R_t - \frac{h_v}{2\mu} \ln \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \mu \right)$ - radijus do kojega metal teče.

4. Obrazac Semenova [3]:

$$F = \sigma_s \left\{ \left(2 + \frac{s_v}{2h_v} \right) A'_v + \left[2.5 + \frac{s_v}{h_v} + 0.185 \left(\frac{D}{h_v} - 2 \right) \right] A'_k \right\}, \quad (4)$$

gdje su: $A'_v = \frac{\pi}{4} (D + 2s_v)^2 - (D - 2h_v)^2$, $A'_k = \frac{\pi}{4} (D - 2h_v)^2$ - redukovane površine vijenca i kalupa respektivno.

5. Obrazac "gornjeg ormara" [3]:

$$F = \sigma_s \cdot \pi \left[\frac{(D + 2s_v)^2}{4} + \frac{D^3}{\sqrt{3} \cdot 12h_v} + \frac{2}{3} \mu \frac{(D + 2s_v)^3 - D^3}{8h_v} \right], \quad (5)$$

6. Obrazac balansa radova [3,4,5]:

$$F = \pi \cdot R_v^2 \cdot \sigma_s \left[1 + 0.17 \frac{R_v}{0.5h_v} - 0.013 \left(\frac{R_v}{0.5h_v} \right)^{15} \left(\frac{R_k}{R_v} \right)^{35} \right], \quad (6)$$

gdje su $R_v = d_v / 2$ - radijus vijenca i $R_k = D / 2$ - radijus kalupa.

Radni pritisak na kraju procesa presovanja po pojedinim obrascima se računa kao odnos sile i projekcije kalupa na njegovu podionu ravan (7):

$$p = \frac{4F}{d_v^2 \cdot \pi}, \quad (7)$$

3. IZVOĐENJE EKSPERIMENTA

U sklopu širih teorijsko eksperimentalnih istraživanja obrađeno je sabijanje olova i legure aluminijuma AlMgSi0,5 saglasno usvojenoj plan matrici [10].

Dobijene su stepene zavisnosti radnog pritiska od relativnih odnosa geometrijskih parametara obradka i kalupa, odnosno redukovano stepena deformacije i temperature [10].

4. UPOREĐENJE EKSPERIMENTALNIH I TEORIJSKIH VRIJEDNOSTI RADNOG PRITISKA

Postavljena plan matrica eksperimenta je iziskivala 20 eksperimentalnih tačaka za olovo, odnosno 36 za leguru aluminijuma, od čega su po 4 izvedene za centralne tačke plana [10]. Saglasno navedenim obrascima (1), (2), (3), (4), (5), (6) i (7) se za svaku tačku plana nalaze teorijske vrijednosti radnog pritiska.

Specifični deformacioni otpor u datim uslovima za olovo i leguru aluminijuma AlMgSi0,5 je određen uproštenim postupkom [6] i [7].

Odnos dbijenih eksperimentalnih p_{ej} i teorijskih p_{tij} vrijednosti radnog pritiska u svim tačkama plana (j) daje koeficijent usaglašenosti q_{ij}

$$q_{ij} = \frac{p_{ej}}{p_{tij}}, \quad (8)$$

posebno po obrascima (i) i tačkama plana (8), tako da se formira plan matrica koeficijenata usaglašenosti eksperimentalnih i teorijskih vrijednosti u funkciji nezavisno promjenljivih parametara x_i gdje je $i=1-5$ za olovo i $i=1-6$ za leguru aluminijuma pri redukovano stepenu deformacije $\epsilon^*=1$ [10]. Predpostavljeni model funkcije usaglašenosti (9) se pokazao adekvatnim kako je to dato izrazima (10) i (11).

$$q_{pb} = (0.569 \div 1.8255) \cdot x_1^0 \cdot x_2^0 \cdot x_3^{(0+0.2347)} \cdot x_4^{0.996}, \text{ za } \epsilon^*=1 \quad (10)$$

$$q_{Al} = (0.4891 \div 9.716375310^{10}) \cdot x_1^{(-0.306-0.564\theta)} \cdot x_2^0 \cdot x_3^{(0+0.1752)} \cdot x_4^{1.7571} \cdot x_6^{(-4.1133 \cdot \theta)}, \text{ za } \epsilon^*=1 \quad (11)$$

Parametri a_i zavisnosti modela (9) za olovo i leguru Al su predstavljeni tabelama 2 i 3.

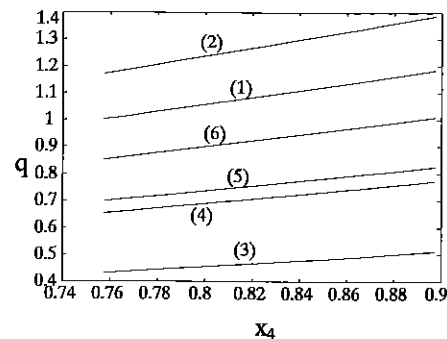
Tabela 2. Parametri funkcija usaglašenosti za olovo

Obrazac	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	1.3868	0	0	0.0702	0.996
2	1.8255	0	0	0.2347	0.996
3	0.569	0	0	0	0.996
4	0.8613	0	0	0	0.996
5	0.9201	0	0	0	0.996
6	1.1826	0	0	0.0721	0.996

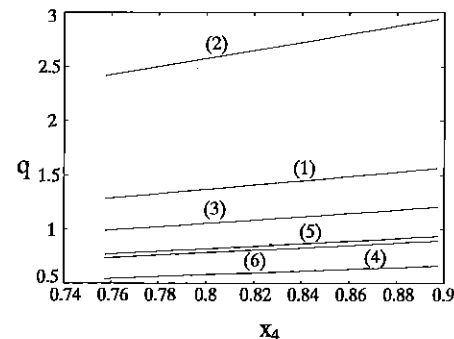
Tabela 2. Parametri funkcija usaglašenosti za AlSiMg0,5

Obrazac	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_6
1	39.2925	0.2161	0	0	1.7571	-0.4592
2	17794.476	0.5648	0	0.1752	1.7571	-1.259
3	$9.7163753 \cdot 10^{10}$	-0.0699	0	0.0668	1.7571	-4.1135
4	0.4891	-0.306	0	0	1.7571	0
5	1.0622	0	0	0	1.7571	0
6	0.7739	-0.1694	0	0	1.7571	0

Ponašanje funkcija usaglašenosti (10), (11) je predstavljeno dijagramima na sl.2 za olovo i sl.3 za AlMgSi0,5.



Sl.2 Ponašanje koeficijenta usaglašenosti za olovo



Sl.3 Ponašanje koeficijenta usaglašenosti za AlMgSi0,5

5. ANALIZA REZULTATA

Funkcije koeficijenta usaglašenosti (10) i (11) tretiraju odstupanja odnosa vrijednosti radnog pritiska dobijenih eksperimentalno i teorijski na osnovu datih obrazaca za olovo i leguru aluminijuma.

Na osnovu poznatog koeficijenta usaglašenosti, saglasno izrazima (8), (9) i (10) odnosno tabelama 1 i 2 moguće je korigovati radne protiske određene na osnovu izloženih obrazaca i eksperimentalnih vrijednosti.

Na osnovu tipskih dijagrama zavisnosti koeficijenta usaglašenosti od nezavisno promjenljivih moguće je pratiti njegove ekstremne vrijednosti.

U intervalu usvojenih vrijednosti nezavisno promjenljivih, saglasno plan matrici se naznačavaju minimalne i maksimalne vrijednosti q za dati obrazac.

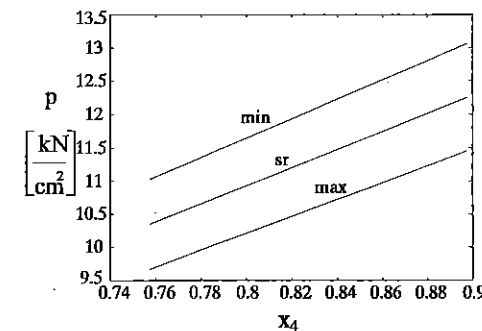
Tabela 3. Varijacije vrijednosti koeficijenta usaglašenosti pri sabijanju olova

Obr.	q_{min}	q_{max}
1	0.9761	1.2012
2	1.0835	1.4714
3	0.4292	0.5324
4	0.6342	0.7866
5	0.6757	0.8381
6	0.8319	1.0228

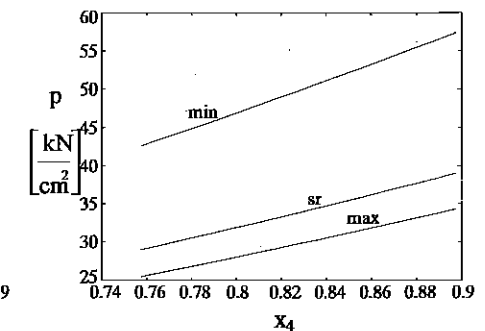
Tabela 4. Varijacije vrijednosti koeficijenta usaglašenosti pri sabijanju AlMgSi0,5

Obr.	q_{min}	q_{max}
1	1.0592	1.6332
2	1.8645	3.0960
3	0.6721	1.4335
4	0.4192	0.6539
5	0.6114	0.9239
6	0.5452	0.8578

Na sl.4 i sl.5 je data promjena usaglašenog radnog pritiska na kraju procesa presovanja u funkciji faktora x_4 za gornji, donji i srednji nivo ostalih faktora po najpovoljnijem obrascu.



Sl.4 Promjena radnog pritiska za olovo po obrascu (6)



Sl.5 Promjena radnog pritiska za AlMgSi0,5 po obrascu (5)

6. ZAKLJUČAK

Korišćenjem vrijednosti radnog pritiska izračunatih po datim teorijskim obrascima i stvarnih vrijednosti radnog pritiska dobijenih eksperimentom za slučaj slobodnog sabijanja u otvorenim kalupima olova i legure aluminijuma AlMgSi0,5, te izvršenih njihovih upoređenja dobijena je funkcija usaglašenosti. Ona predstavlja i funkciju korekcije teorijskih obrazaca za konkretno deformisanje. Analizom njenih vrijednosti se vidi kojim obrascem se najtačnije određuje radni pritisak za olovo, a kojim za leguru AlMgSi0,5.

7. LITERATURA

- [1] Storožev M. V., Popov E. A.: Teorija obrabotki metallov davlenijem. Mašinostroenije, Moskva, 1977.
- [2] Thomas A., Bannister I.: The accuracy of forging load estimation in drop forging. Proc. 17 th Int. Mach. and Tool Des. and Res. conf. Birmingham 1976, Birmingham 1977.
- [3] Unksov E. P. i dr.: Teorija plastičkih deformacij metallov. Mašinostroenije, Moskva, 1983.
- [4] Musafija B.: Primijenjena teorija plastičnosti I i II dio. Sarajevo, 1973.
- [5] Evstratov V. A.: Teorija obrabotki metallov davlenijem. HGU, Harkov, 1981.
- [6] Grudev A. P., Ziljberg Ju. V., Tilik V. T.: Trenije i smazki pri obrabotke metallov davleniem
- [7] Saluja S. S., Pandey P. C., Dalela S.: A simple method for flow stress deformation under metalworking conditions: "SME Manuf. Eng. Trans. Vol.9: 9th North Amer. Manuf. Res Conf. Proc., University Park, Pa, May 19-22, 1981", Dearborn, Mich., 1981.
- [8] Stanić J.: Metod inženjerskih mjerenja. Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [9] Tihomirov V. B.: Planirovanije i analiz eksperimenta. Legkaja industrija, Moskva, 1974.
- [10] Domazetović V., Janjić M., Zogović S.: Modeliranje radnog pritiska pri presovanju osnosimetričnih elemenata u otvorenim kalupima. Zbornik radova XXVI međunarodnog savjetovanja Jugoslavije, Budva, 1996.

COMPARATION THEORETICAL AND EXPERIMENTAL PRESSURES IN THE OPEN DRE FORGING OF AXISMETRIC BILLETS

Summary

This paper contains calculations of the working stress in the open dre working and its comparisons with experimental value for lead and Al-alloy. Comparison is done with help of the modeling coefficient proportionality in this manner, a function proportionality for concrete condition of deformation is given. On this basis, conclusion about correction of the theoretical patherns is given.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

ELASTOPLASTIC BEHAVIOUR OF MATERIALS UNDER CYCLIC LOADING: A COMPUTER STUDIO

S. Dumitrașcu¹, L. Blaj², I. Glavardanov³

Abstract

When performing an experimental research on cyclic plasticity of particular material the main problem is to choose a yield theory which suits well enough the experimental data and so is able to predict the material's response to hypothetical load conditions. The authors propose the next possible scheme of a computer assisted research:

- Loading an experimental data base in the computer's memory;
- Visualizing loading paths by interpolating experimental data;
- Navigating through known theories looking for the best one;
- Simulating the material response on screen.

A Windows application which supports this scheme is being developed. Authors' own experimental base is related to the behaviour of heat resistant steel used for fresh steam pipes.

A typical research on elastoplasticity consists of two distinct parts: experiment and interpretation. The quality of experiments depends mainly on the available equipment: more sophisticated the testing system, more suggestive the results. The researcher has then only to put forward a reasonable hypothesis about the theoretical model which is supposed to match well enough his data, and prove that it does indeed. Since there are a lot of theories of elastoplasticity concerned with cyclic loading [1-8], one never knows whether the chosen theory is the best one, and even so, whether the best values of parameters were taken.

Finally, a good research must be able to predict the material's behaviour for some range of hypothetical load conditions which are usually related to a specific loading path in the stress-stress or stress-strain space. Thus, it must result into clear, better graphic answers to several basic questions concerning with: (i) the shape and dimensions of the hysteresis loop; (ii) the cyclic stability of loading; (iii) the shape, position and motion of the loading surface.

At the last, conclusive stage, the computer appears to be indispensable because of the great amount of computation that should be performed if a qualitative graphic image is required. Notice that the previous stage of research will need even more efforts unless one trusts, by any reasons, a particular theory, instead of checking all of them.

We propose the next possible scheme of a computer assisted research:

- Loading experimental data into the computer's memory.
- Visualizing the loading path or loading surface by interpolating experimental data.

¹Stelian Dumitrașcu, Ph. D., West University of Timișoara, Romania

²Liliana Blaj, Assist. Prof. Politehnica University of Timișoara, Romania

³Ivan Glavardanov, Prof., Fakultet Tehnicka Nauka, Novi Sad, Jugoslavija

- Navigating through known theories looking for the best one.
- Simulating the material's response to hypothetical loading paths on screen.

A Windows application "Cyclic Plasticity Studio" (CPS) which supports this scheme is being developed. In the following the most important details about the way it works are presented.

CPS provides computer support for a comprehensive study of elastoplastic behaviour of materials subjected to cycles of axial and/or shear stress. Although the problem is fairly two-dimensional, CPS uses a full three-dimensional template for all internal computations, especially looking forward to further, more powerful versions in which, perhaps, the internal pressure or thick-walled tubes will be considered.

Hereafter σ_{ij} and ε_{ij} are stress and strain tensors, σ_{ij}^e and ε_{ij}^e are the coordinates of the current center of loading surface in the stress and strain spaces, $\bar{\sigma}$ and $\bar{\varepsilon}$ are the equivalent stress and strain, $d\varepsilon_{ij}^p$ and $d\bar{\varepsilon}^p$ are the plastic strain increment and the equivalent plastic strain increment.

DATA BASE

CPS works with two sorts of data base:

An SE-data base is a sequence of points which mark the loading path in σ - ε space during a session of cyclic loading. It must contain all reversal points. If it does not, CPS will warn the user to enter them.

An SS-data base is a set of points which mark, in σ - σ space, several states of initial yield, i.e. of the same equivalent stress $\bar{\sigma}$. It must be picked up after several reversals of proportional loading, when the yield surface is fairly stabilized to an ellipse [10].

The user may combine two or more data bases of the same or different types into a group, if they are related to similar specimen. Inside a group, data bases may have different priorities. For instance, the maximal priority could be assign to an experimental session in which the loading path is most realistic.

VISUALIZING

Having been created, a data base may be visualized on screen. CPS can do this job in different ways, accordingly to the user's option. An SE-path may be projected onto $\sigma^t \varepsilon^s$, $\sigma_s \varepsilon_s$, or $\sigma \varepsilon$ planes, where subscripts t and s mean axial and shear (stress or strain) respectively. To draw the consequent SE-curve CPS uses an original algorithm of "interpolation to the best hysteresis-like curve". Visual instances belonging to the same group may be visualized simultaneously and overlapped in order to analyse the difference in their shape. Clicking close to a point of the curve produces a dialog box with an exhaustive description of the given stress-strain state.

THE THEORY

CPS works with theories based on a yield criterion. The yield surface is assumed to follow von Mises theory, i.e.:

$$f = \frac{3}{2} C_{ijkl} (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^e) (\sigma_{kl} - \sigma_{kl}^e) - \bar{\sigma}^2(k) = 0$$

written in terms of stress, rather than stress deviator. k is the hardening or softening parameter. As for C_{ijkl} , they are generally related to the induced anisotropy. So far CPS cannot handle nonisotropic materials, therefore C_{ijkl} have plain constant values.

The flow rule is

$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}^p}{\bar{\sigma}} C_{ijkl} (\sigma_{kl} - \sigma_{kl}^e)$$

The motion of the center σ_{ij}^e and the size of the elastic region, i.e. the hardening rule, is subjected to the user's choice and can be one of the following:

- isotropic;
- kinematic;
- combined

each of them having its own variants.

The next step is to join the data base (the group) to a suitable hardening rule with some set of parameters. One can order either a full scan through all available rules or make up a list of rules of particular interest. CPS will take, one by one, the rules' equations templates, find the best values of parameters and the average "fitting error". Finally, it will choose the theory of minimal "fitting error", warn the user if this error is far too much, and show the ideal hysteresis or loading surface following from that theory.

SIMULATION

Then the user may decide to join a data base and a theory together, so producing a *model*. A model is able to predict the material's response to any loading algorithm. CPS will explicit the algorithm, spread it into a loading path, build the hysteresis or the loading surface, and show it on screen. (The loading surface is shown in motion.) Also the result may be saved, as a separate item, in the given model. So far CPS is programmed to handle a few types of algorithms, namely: pure tension, pure torsion, combined in-phase tension and torsion, and sinusoidal loading. This list will involve new types of algorithms, as far as they appear to be of real interest.

The image of the predicted behaviour may be printed in various formats.

FIRST TRIALS

In order to give CPS a try and due to the lack of minimal modern equipment for uniaxial and biaxial cyclic loading in our laboratory, some experimental data reported by other authors [8-10] have been used as data bases and simulated behaviour was obtained for type 304 austenitic stainless steel.

The authors' own experimental data base is related to heat resistant steel used for fresh steam pipes. Fig. 1 represents the results of 3 tests performed at 20^o C, 300^o C, and 600^o C on the same sample (marked by •) together with the image obtained by processing the data base on computer (solid line). CPS depicted as the least erroneous the isotropic hardening theory.

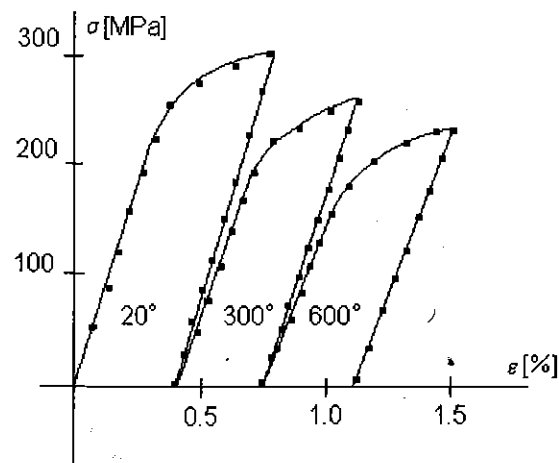


Fig. 1

REFERENCES

1. Druker D.C and Paigen L. On stress-strain relation suitable for cyclic and other loading. *ASME, J. Appl. Mech.* **48**, 479-485 (1981).
2. Chaboche J.L. and Rousselier G. On the plastic and viscoplastic constitutive equations. *ASME, J. Press. Vessel Technol.* **105**, 153-164 (1983).
3. Eisenberg M.A. and Yen C.F. Application of a theory of viscoplasticity to uniaxial cyclic loading. *ASME, J. Eng. Mat. Technol.* **105**, 106-112 (1983).
4. Mroz Z. Hardening and degradation rules for metals under monotonic and cyclic loading. *ASME, J. Eng. Mat. Technol.* **105**, 113-118 (1983).
5. Bodner S.R. and Parton Y. Constitutive equations for elastic viscoplastic strain hardening materials. *ASME, J. Appl. Mech.* **42**, 385-389 (1975).
6. McDowell D.L. An evaluation of recent developments in hardening and flow rules for rate independent nonproportional cyclic plasticity. *ASME, J. Appl. Mech.* **54**, 323-334 (1987).
7. Miller A.K. An inelastic constitutive model for monotonic cyclic and creep deformation; Part I. Equations development and analytical procedures. *ASME, J. Eng. Mat. Tech.* **98**, 97-113 (1976).
8. Ishikawa H. and Sasaki K. Yield surfaces of SUS304 under cyclic loading. *ASME J. Eng. Mat. Tech.* **110**, 364-371 (1988).
9. Ishikawa H. and Lippmann H. Computer simulation for stress-strain relation of cyclic loading. *Eng. Comput.* **2**, 330-334 (1985).
10. Ishikawa H. and Sasaki K. Application of the hybrid constitutive model for cyclic plasticity to sinusoidal loading. *ASME, J. Eng. Mat. Tech.* **114**, 172-179 (1992).



**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**
**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**

Prof. Ing. Andrej Hrivnak, CSc., Ing. Emil Evin, CSc.
Technical University Kosice, Slovak Republik
FORMABILITY OF HOT ROLLED STEEL PLATES

SUMMARY

In this contribution are published results of formability sheets of steels thickness 3 mm, which were made in AVP Metal Ostrava and VSZ Kosice. Formability was tested at half-working session by deep drawing process and bending processes. As reference material was used steel St 14 and other qualities. For description of the dependence between technological characteristics, material properties and condition of realization process were used the methods of mathematical statisticals.

INTRODUCTION

Hot rolled plates are used in production of trains, agricultural machines, automobiles, containers, tanks, guardrails and the like. Extension of use of these steels depends on the level of knowledge of forming properties, i.e. technological formability. Regarding technological characteristics, in addition to weldability, even the formability is important, i.e. possibility of forming by means of surface forming.

At substitution of classical deep-drawing steel sheets plates by means of new types of hot rolled steels, it is possible to achieve more valuable information of formability upon comparison of technological indicators of formability of steel plates as upon comparison of value of mechanical properties. Because the formability depends not only on values of mechanical properties but also on geometry of tool, other conditions of pressing and even on experiences of worker.

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH

Programme of research of technological formability of hot rolled steel plates (Tab. 1) was prepared for the most frequently used operations of production of parts from steel (deep-drawing and bending). Technological formability of the delivered material was examined in process of deep drawing of cylindrical draw cup and in process of bending in V-shape tool.

As the criterium for suitability of hot rolled steels for deep drawing process and the measure of drawing stages is used the limiting drawing degree K_{max} expressed by the ratio of maximum blank diameter D_{max} from which it is possible to produce non-broken cylindrical draw cup with the inside diameter d_1 i.e. $K_{max} = D_{max}/d_1$. The experimental measuring of K_{max} has been realized by the drawing tool of the building-block construction with the tensometric measuring of punching force and blank-holding force during deep-drawing of cylindrical

components with a flat bottom. The drawing tool was located on the hydraulic press BZE 100. The die of inside diameter 80 mm was taken.

Tab.1 Properties of the materials

Material	Thicknes a_0 [mm]	R_o [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	n	r	K_{max}
A	3	511	536	18	0.122	0.7	2.075
B	2.9	484	551	21	0.169	0.9	2.105
C	3	297	391	34	0.22	0.82	2.116
D	2.9	208	307	41	0.185	1.01	2.102
E	2.5	380	460	31	0.2	-	2.144

For determination of material and technological parameters on K_{max} value the regression function as follows has been used [1]:

$$K_{max} = b_0 \cdot n^{b_1} \cdot r^{b_2} \cdot (r_1 / a_0)^{b_3} \cdot (r_p / a_0)^{b_4} \cdot (d_1 / a_0)^{b_5}$$

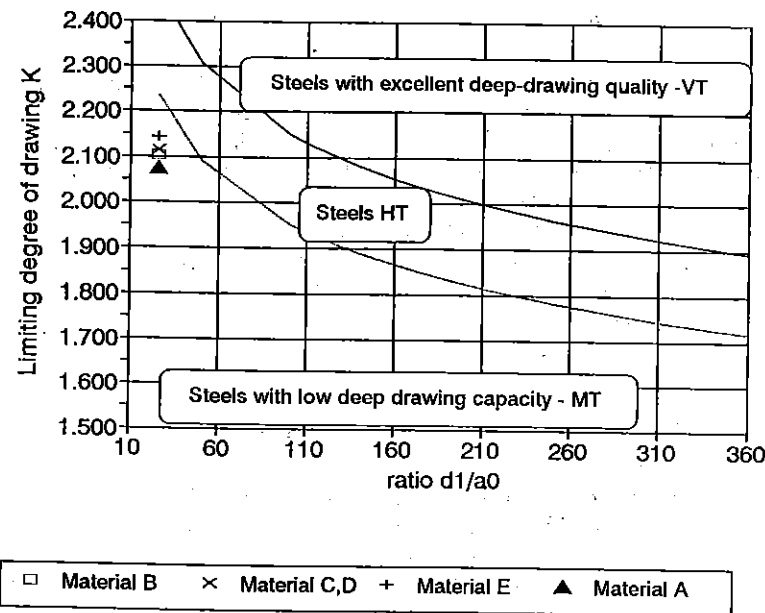


Fig.1 Nomogram for evaluating the deep drawing capacity

where: r_1 - is the radius of the die,
 r_p - is radius of the punch.
 d_1 - is the internal diameter of the drawn product.

b_0, \dots, b_5 - are the regression coefficients.
 This relation is valid for these conditions $r_1/a_0 < 14$, $d_1/r_p > 6$, by using the lubricants of the mineral oil with the kinetic viscosity $123 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ at 20°C .

According to this equation it is possible for various combinations of these factors to create the diagram of the limiting drawing degrees and also to formulate the requirements on the mechanical properties of sheets for the single quality grades, considering $K_{max,d}$ with the ratio $d_1/a_0 = 100$ we can express Fig. 1:

- $K_{max,d} > 2.15$ in steel with excellent deep-drawing quality (VT)
- $K_{max,d} (1.95-2.15)$ in steel with satisfactory deep-drawing capacity (HT)
- $K_{max,d} < 1.95$ - in steel with low deep-drawing capacity (MT)

Measure of technological formability at bending is a bend radius r_{min} without any material failure. From technological point of view the springback angle β is also important.

$\beta = \alpha^0 - \alpha$
 where α = angle of bottom die V,
 α^0 = angle between arms of pressing after relief.

Experimental research was realized under the following conditions:

- Device: tensile machine ZDM 40
- Directions of sampling: 90°
- Angle of bottom die - V: 90°
- Distance of supports: $l_0 = 30 \text{ mm}$

Test samples were bended in area of bending up and calibrating (gauging). As far as in the area of loose bending and bending up of arms of pressing to arms of bottom die - V I-II the bend radius r on pressing is formed loosely, calibrating of radius of pressing is necessary to find out minimum bend radius. Calibrating strength was determined as: one and quadruple of bending strength at loose bending. At bending up and calibrating of arm of pressing, they will bear on walls of bottom die - V, the angle of bending in state of loading is equivalent to the angle α between the arms of bottom die - V. After relief it was measured the angle between

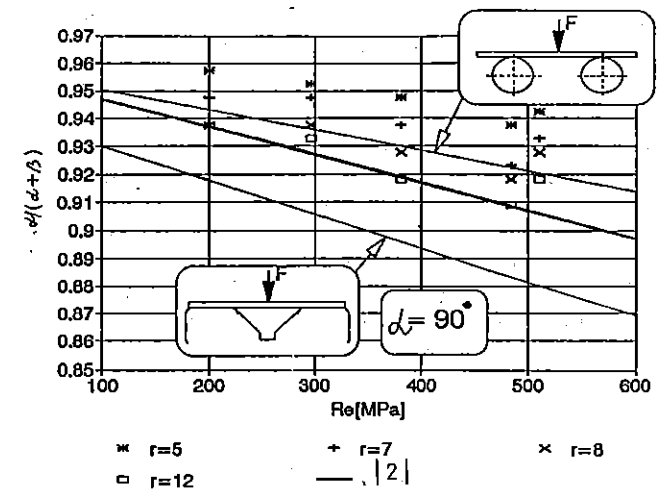


Fig.2 Dependence of the relative springback on R_e value

arms of pressing α^0 . The angle α^0 was measured accurate to 0.5. The average value of springback angle was calculated from three measurements. When the difference between the

maximum and the minimum measured angle α^0 was bigger than 2, at the constant angle of bottom die a and radius of bending punch, the maximum and the minimum values were not evaluated.

In fig. 2 the dependence of springback angle on yield point of tension in St14, ZStE 260, ZStE 420, IF 18 cold rolled steel and StW 24, St44-2, QStE 300, QSt 420[2] hot rolled steel is shown. Measured values of springback angles in material delivered are in accordance with the above mentioned tendency in fig. 2.

For specification of the spring mounting angle dependence on mechanical properties and bend radius of pressing the mathematic regression was used.

$$\alpha / (\alpha + \beta) = -0.0001 \cdot R_e + 0.974 \cdot r_1 / a_0$$

wherw: R_e - especially yield strength,
 r_1 - radius of curvature of neutral layer.

EVALUATION OF FORMABILITY

Formability was evaluated from the point of view of quality regarding suitability of sheets made from steel A, B, C, D, E upon comparison of degree of drawing fig. 1. As it follows from fig. 1, at ratio $d/a_0 = \text{approx. } 24$, it was achieved degree of drawing in material A, B, C, D, E ($K_{\max} 2.075 - 2.144$). Materials are suitable for less complicated pressings.

From the point of view of suitability of steel plates for forming by means of bending, it is important that material would bear the required angle of bending. Technological measure of formability at bending is a minimum bend radius. As it follows from results measured, delivered material borne bending on radius of bending punch $r_p = 1 \text{ mm}$ and also bending by 180 (arms of pressing borne on each other) without any cracks. At radius values of approx. 3 mm, in cases when the sample was put into the tool with flash to the outer side stressed by tensile stress, it could be observed arise of small cracks in area of flash. Therefore it is necessary to think of correct placement of pressing in the tool, i.e. not to orientate the flash to the outer side of pressing but to the inner one that is stressed by tensile stress.

CONCLUSION

From the above mentioned facts it follows that the technological formability depends not only on values of mechanical properties but even on geometry of tool, as far as on conditions of pressing, state of contact surfaces of tool and surface of sheet (plate) and experiences of worker. It means that in limiting cases it is possible to increase technological formability not only by means of change of material with better plastic properties but even by change of tool geometry, conditions of realization of technological operation. And on the contrary, by means of unsuitable selection of conditions of technological formability to decrease technological formability and so to increase the danger of pressing (pressed piece) failure.

REFERENCES

1. EVIN, E.: Predicting the processing formability of high strength steel sheets. Metalurgical Journal 12/92, England
2. UMBACH, R. - FRITZSCH, G.: Umformbarkeit von Warmband und warmgewalzten Stählen hoherer Festigkeit. Blech Rohre Profile 11/94.
3. EVIN, E. - HRIVNAK, A.: Examination of the firmability of sheets of high-strength F-M steels. Metalurgical Journal 11/92, England.

Prof. Ing. Andrej Hrivňák, CSc., Ing. František Greškovič, CSc.
Technical University Košice, Slovak Republik

CONTRIBUTION ABOUT FINEBLANKING OF PRODUCTS FROM SHEET

Summary:

Upon experimental results it was created mathematic model of influence of the selected parameters of the precise cutting on the cutting surface quality in blanks. The submitted mathematic model enables use of computing technology at the design of technology of the fineblanking with regard to achievement of the prescribed quality of blanks.

1. Introduction

Cutting of parts with high-quality cutting surface is recently more and more applied. There are many possibilities to get a smooth cutting surface without any cracks, relayings and other failures but all these manners of additional treatment of cutting surface make the production more expensive. This problem is uppermost in cutting of parts from plates.

Cutting of sheets in tools with the vee-indenter is called as fineblanking. This manner of cutting enables to get a smooth cutting surface along the whole thickness of the cutted material while the roughness of cutting surface - R_a is used to be from 1,5 to 2 μm . Cutting tools require for their operation double- or triple-action press because it is necessary to develop 3 forces in cutting tool - fig. 1.

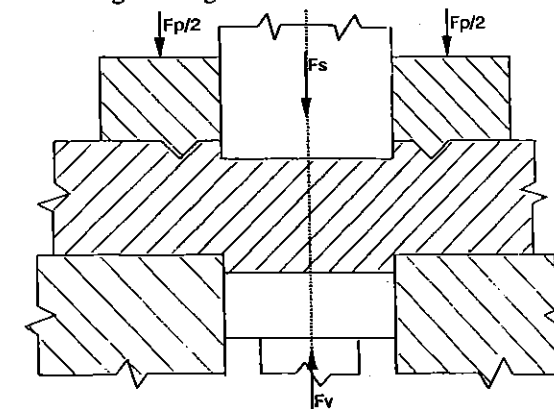


Fig. 1 Principle of the precise cutting in the tool with the pressure edge
 F_s - cutting force, F_p - blankholding force, F_v - ejecting force

In addition to the force necessary for material cutting (F_s), material is held fast by means of holding fast force (F_p) that forces the pressure edge of holder into material and so it creates better stress-deformation relation in cutting point. Compressive stress in cutting point together with the small cutting gap (10 times less than at normal cutting) causes that the surface of plastic cutting - h_v enlarges up to the whole thickness of the cutted material. Ejecting force (F_v) prevents from bending of blanks under the influence of bending moment arising at cutting. width of plastic cutting surface is together with other indicators of valuation of the cutting surface quality shown in fig.2.

2. Indicators of the cutting surface quality

The most frequently used indicators of evaluation of the cutting surface quality are as it follows:

- roughness of the cutting surface - R_a, R_{max}, \dots
- depth of plastic cutting (width of plastic cutting surface) - h_v
- specific depth of plastic cutting - h_v/s_0
- radius of cutting surface (drawing in) - h_s
- depth of the cutting surface unevenness - t_i
- hardening of material in area around the cutting surface

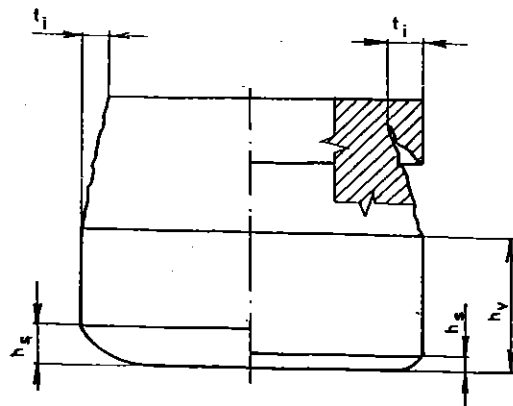


Fig. 2 Indicators used for evaluation of the cutting surface quality

3. Geometry of pressure edge

Pressure edge placed on holder (from the thickness of material from 4 to 5 mm even on punching die) causes formation and size of pressure stress in point of cutting. Geometry of pressure edge is shown in fig. 3. Practical recommendations from press and tools for fineblanking producers are summarized in table 1.

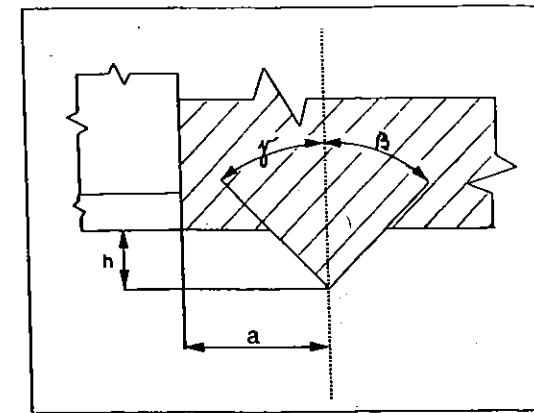


Fig. 3 Parameters defining geometry of the pressure edge

Tab.1

Autor	s [mm]	a [mm]	h [mm]	γ [°]	β [°]
Feintool	1 - 4	(1 - 1,5) . s	(0,33 - 0,66) . s	30 - 40	40 - 50
E.A.Popov	do 5	(0,6 - 0,7) . s	(0,1 - 0,2) . s	30	45
SCHMID	3 - 5	(0,5 - 2,0)	(0,25 - 0,40) . s	40	40
Maypres	1 - 4	0,7 . s	0,2 . s	40	40

4. Influence of technological and material parameters on the cutting surface quality

From technological and material parameters influencing cutting surface quality, it is possible to choose size of cutting clearance v , specific size of pressure edge h/s_0 , drawing quality of the cutted material A80 and ratio Re/R_m upon the analysis of until now known knowledge and research realized in the Department of mechanical engineering metallurgy and technology of SjF TU (Faculty of mechanical engineering of the Technical University) Košice. Until today the intensity of influence of the chosen parameters of the fineblanking was not quantified and for definition of size of particular parameters the nomograms or tables serve (see table 1). Therefore it was necessary to design mathematic model describing influence of material and technological conditions during the fineblanking on the cutting surface quality. It was necessary to design this mathematic model, experimentally to verify it and to confront the results with until today published literal knowledge. Materials used for verification of the influence of technological and material conditions of the fineblanking on the cutting surface were steel sheets from VSŽ, a.s. and NH Ostrava production. We can say that the obtained mathematic model is valid for materials St14, St37-2, St52-3 and microalloyed material PJT 420 NbV of thickness from s_0 1,5 up to 3,0 mm.

In figures 4,5,6 and 7 the results of measuring of the cutting surface quality of some applied materials are shown. As criterion of quality the average arithmetic deviation of the surface profile of the cutted surface R_a was applied in this case.

The applied experimental tool was designed as one with exchangeable active parts. Exchange of parts enabled the change of the examined as far as other parameters at ensuring of stability of other parameters. Size of cutting clearance can be changed from 0,01 to 0,15 mm, size of pressure edge was somewhere between 1,5 and 3,0 mm.

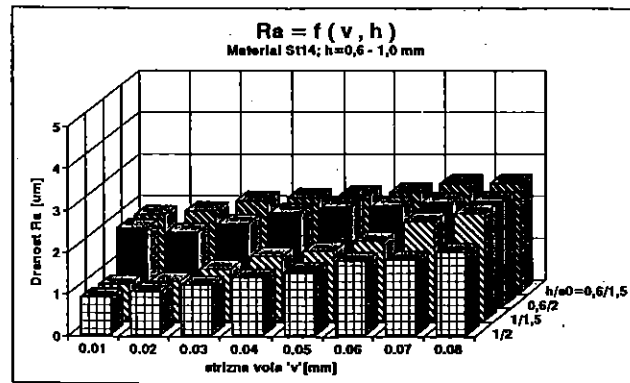


Fig. 4 Dependence of roughness of Ra surface of the size of pressure edge - h in St14 material

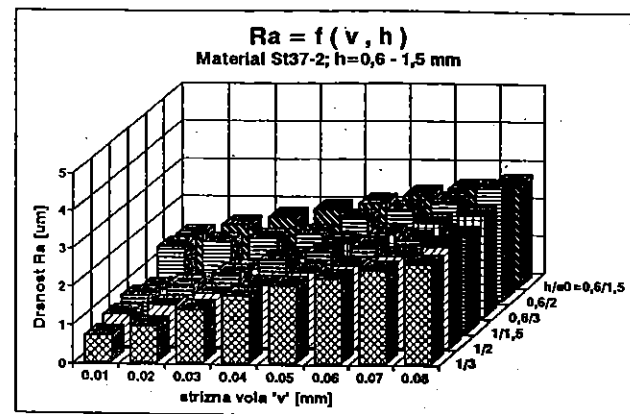


Fig. 5 Dependence of roughness of Ra surface of the size of pressure edge - h in St37-2 material

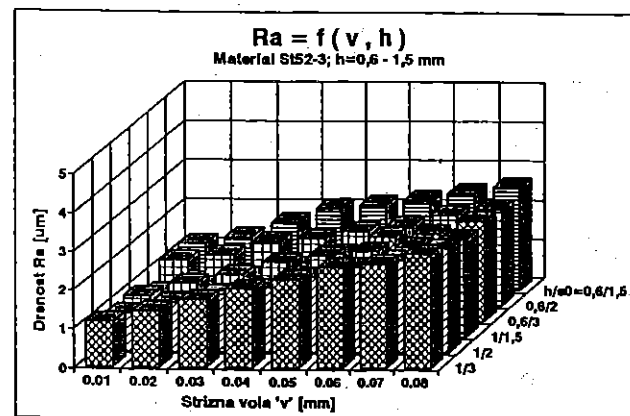


Fig. 6 Dependence of roughness of Ra surface of the size of pressure edge - h in St52-3 material

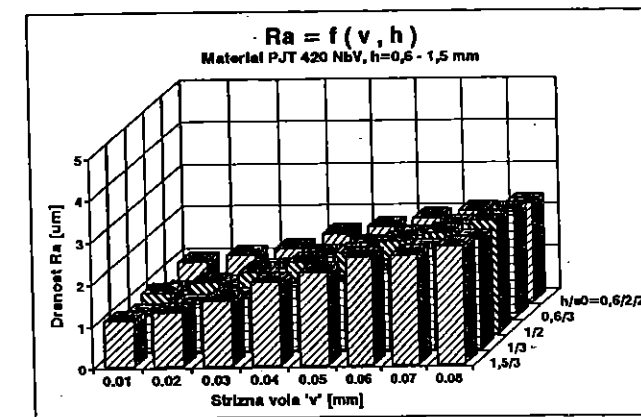


Fig. 7 Dependence of roughness of Ra surface of the size of pressure edge - h in PJT 420 NbV material

5. Mathematic model of dependence of the cutting surface quality on parameters of the fineblanking and its use

To create mathematic model the Brandon method of multiple regression was used and the resultant equation expressing dependence of roughness of the cutting surface Ra on the chosen technological and material parameters was as it follows

$$Ra = a_0 \cdot f_1(v) \cdot f_2(h) \cdot f_3(Re/Rm) \cdot f_4(A80)$$

where a_0 - constant

$f_1(v)$ as far as $f_4(A80)$ - functions considering degree of influence of particular parameters on Ra parameter chosen

The obtained mathematic model can be applied in software products used in technical preparation of production. Model enables selection of technical and material parameters of the precise cutting with regard to the achievement of the cutting surface quality required. Not high demands regarding necessary hardware equipment enable the use of program created upon the above mentioned mathematic model. The results of research in the field of the precise cutting and particular program with use of mathematic model describing dependence of the cutting surface quality on parameters of the precise cutting are at disposal in the working place of authors of this paper.

Literature:

- (1) Greškovič, F.: Vplyv technologických a materiálových podmienok na kvalitu výstrižkov pri pres-nom strihaní. Kandidátska dizertačná práca, Sjf TU Košice 1996.
- (2) Lachvác, J.: Príspevok k experimentálnemu overovaniu vplyvu rýchlosti deformácie na strihateľ-nosť tenkých plechov. Materiálové inžinierstvo, roč.2, č.1, VSDaS Žilina 1995, str. 48-51.
- (3) Pázman, A.: Nonlinear Statistical Models. Kluwer Academic Publishers. Ister Science Press, Bratislava 1993.



**MODEL OF PROJECT INTERNAL WALLS OF THERMAL TECHNICAL SPACES
IN ASPECT OF CONTROL OF THEIR HEAT PROCESSES**

Marian Janczarek

Technical University of Lublin, Dept. of Technology Fundamentals, Nadbystrzycka38,
20 618 Lublin - Poland.

To designe algorithm of thermal multi-layer internal walls with regard to heat transfer process control the most important is mathematical theory of the conduction of heat. Before we can proceed to the mathematical discussion of the problems of conduction, it is necessary to determine the initial and boundary conditions which the temperature satisfies. Problems of project of internal walls of Thermal Technical Spaces depend on the conduction heat in solids with periodic surface temperature and are of great practical importance. They are mainly arise in the theory of automatic temperature control systems. If the surface temperature in the solid is given $\vartheta = A \cos(\omega t - \epsilon)$, and the initial temperature is zero, the solution is

$$\vartheta = \frac{2A}{\sqrt{\pi}} \int_{x/2\sqrt{\kappa t}}^{\infty} \cos\left\{\omega\left(t - \frac{x^2}{4\kappa\mu^2}\right) - \epsilon\right\} e^{-\mu^2} d\mu \quad (1)$$

A solution of the differential equation

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} - \frac{1}{\kappa} \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

we seek of type

$$\vartheta = u e^{i(\omega t - \epsilon)} \quad (3)$$

where u is a function of x only. This solution ϑ will have period $2\pi/\omega$. Substituting (3) in (2) it follows that u must satisfy

$$\frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{i\omega}{\kappa} u \quad (4)$$

Thus, the solution of (3) of period $2\pi/\omega$ is

$$\vartheta = A e^{-kx} \frac{\cos\{\omega t - \epsilon - kx\}}{\sin kx} \quad (5)$$

In the case of steady flow in a slab of conductivity K and thickness l whose surface are kept at temperature ϑ_1 and ϑ_2 the differential equations becomes

$$\frac{d^2 \vartheta}{dx^2} = 0$$

$$\text{thus } \frac{d\vartheta}{dx} = \text{const.} = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{l}$$

Also the flux at any points is

$$f = -K \frac{d\theta}{dx} = -\frac{K(\theta_2 - \theta_1)}{l} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R} \quad (6)$$

where $R=l/K$

The relation (6) is precisely analogous to Ohm's law for the steady flow of electric current: the flux f corresponds to the electric current, and the fall in temperature $\theta_1 - \theta_2$ to the fall in potential. Thus R may be called the thermal resistance of the slab.

Next suppose we have a composite wall composed of n slabs of thicknesses l_1, \dots, l_n and conductivities K_1, \dots, K_n . If the slabs are in perfect thermal contact at their surfaces of separation, the fall of temperature over the whole wall will be the sum of the falls over the component slabs and since the flux is the same at every point, this sum is

$$(R_1 + R_2 + \dots + R_n)f$$

This is equivalent to the statement that the thermal resistance of a composite wall is the sum of the thermal resistances of the separate layers, assuming perfect thermal contact between them. Finally, consider a composite wall as before, but with contact resistances between the layers such that the flux of heat between the surfaces of consecutive layers is H times the temperature difference between these surfaces.

The differential equation to be solved is (2) with $\theta=0$, when $x=0$ and $x=l$, and $\theta=f(x)$, when $t=0$. If the initial distribution were

$$\theta = A_n \sin \frac{n\pi}{l} x$$

Let us suppose that the initial temperature, $f(x)$, is a bounded function satisfying Dirichlet's conditions in the interval $(0, l)$ so that it can be expanded in the sine series

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin \frac{n\pi}{l} x$$

where

$$a_n = \frac{2}{l} \int_0^l f(x') \sin \frac{n\pi}{l} x' dx' \quad (7)$$

Now consider the function θ defined by the infinite series

$$\theta = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin \frac{n\pi}{l} x e^{-kn^2 \pi^2 t/l^2} \quad (8)$$

This series, owing to the presence of the convergence factor $\exp[-(kn^2 \pi^2 t/l^2)]$, is uniformly convergent for any interval of x , when $t > 0$; and regarded as a function of t , it is uniformly convergent when $t \geq t_0 > 0$, t_0 being any positive number.

Thus the function θ , defined by the series (8), is a continuous function of x , and a continuous function of t , in these intervals.

They are equal to the differential coefficients of the function θ .

$$\text{Hence } \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\kappa n^2 \pi^2}{l^2} a_n \sin \frac{n\pi x}{l} e^{-kn^2 \pi^2 t/l^2}$$

$$\text{Hence } \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\kappa n^2 \pi^2}{l^2} a_n \sin \frac{n\pi x}{l} e^{-kn^2 \pi^2 t/l^2}$$

$$\text{and } \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\kappa n^2 \pi^2}{l^2} a_n \sin \frac{n\pi x}{l} e^{-kn^2 \pi^2 t/l^2},$$

when $t > 0$, and $0 < x < l$.

$$\text{Thus the equation } \frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

is satisfied at all points of the rod, when $t > 0$, by the function defined by (8).

The problems of steady periodic temperature in composite slabs are best treated by the matrix methods commonly used in electric circuit theory. First we must discuss periodic temperature in the slab. All quantities are supposed to be multiplied by a time-factor $\exp(i\omega t)$ which is omitted throughout, and only included at the end of the calculation if real or imaginary parts have to be taken. At each point we shall always be interested in two quantities, the temperature θ and the flux f . Then the general solution corresponding to steady periodic condition is

$$\theta_x = P \sinh kx(1+i) + Q \cosh kx(1+i) \quad (9)$$

$$f_x = -KkP(1+i) \cosh kx(1+i) - KkQ(1+i) \sinh kx(1+i) \quad (10)$$

where

$$k = (\omega / 2\kappa)^{1/2} \quad (11)$$

and P and Q are complex constants, and θ_x and f_x are the temperature and flux at the point x .

Let θ and f be the temperature and flux at the face $x=0$ of the slab and let θ' and f' be their values at the face $x=l$. Then, if any two of these four quantities are prescribed, P and Q can be determined from them, and thus the remaining two of θ, θ', f, f' can be expressed in terms of the original two. In particular

$$\left. \begin{aligned} \theta' &= A\theta + Bf \\ f' &= C\theta + Df \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

$$\text{where } A = \cosh kl(1+i), \quad B = -\frac{\sinh kl(1+i)}{Kk(1+i)}, \quad C = -Kk(1+i) \sinh kl(1+i), \quad D = \cosh kl(1+i).$$

It follows from them that $AD - BC = 1$.

The equations (12) may be solved to give

$$\left. \begin{aligned} \theta &= D\theta' - Bf' \\ f &= -C\theta' + Af' \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

The equation (12) may be regarded as a matrix equation

$$\begin{pmatrix} \theta' \\ f' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ f \end{pmatrix} \quad (14)$$

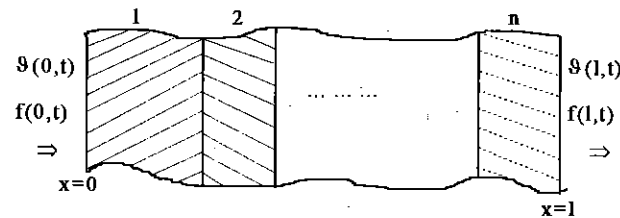
connecting the two matrices (θ', f') and (θ, f) , each of two rows and one column, by the ordinary law of matrix multiplication.

For example we have a composite wall of n layers, the r th being of thickness l_r , conductivity K_r , and diffusivity κ_r , and with ϑ_r, f_r , and ϑ'_r, f'_r at its left-hand and right-hand faces, respectively.

Then, if there is perfect thermal contact between the faces of the slabs, repeated application of (14) gives

$$\begin{pmatrix} \vartheta'_n \\ f'_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{n-1} & B_{n-1} \\ C_{n-1} & D_{n-1} \end{pmatrix} \dots \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vartheta_1 \\ f_1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

where the A_r, B_r , etc., are the quantities for the individual slabs. If there are contact resistances between slabs or at the surfaces, they may also be expressed in matrix notation and included in the chain of product (15). The final result of this calculation is a pair of linear relations between the temperatures and fluxes $\vartheta_1, \vartheta'_n, f_1, f'_n$ at the two surfaces of the composite slab. The temperature within any one of the slabs can be found from (9).



Literature:

- (1) Takahashi, Y., Rabins, M., Auslander, D.: Sterowanie i systemy dynamiczne, Warszawa WNT 1976.
- (2) Carslaw, H., Jaeger, J.: Conduction of heat in solids, Oxford University 1959.
- (3) Janczarek, M.: Dynamika vetranych tepelne technickyh prostoru pri konvektivnim a radiacnim sdilenim tepla, Kandidatska prace, Praha CVUT 1980.
- (4) Janczarek M.: Methods concerning conductive heat transfers through walls of thermal technical spaces, MATAR '92 Praha.

SUMMARY

This paper describe the development and reasearch work of methods concerning conductive heat transfers through walls of thermal technical spaces. Problems of thermal conductivity are treated by a large number of methods, for example: Laplace transformations method, Fourier transforms, etc. In my work I found two models: analog and differencial, with the help of them it is possible to make control of heat processes in thermal technical spaces.



Mr. Mirosław Malec, Prof. dr. Klaudiusz Lenik, Mr. Piotr Penkała
Department Basis of Technology
Lublin Technical University
Nadbystrzycka Str.36
PL20-618 LUBLIN
POLAND

Winning of the protective coating through the metal spraying for increase of tool life.

1. Introduce

The tendations to increase of the kinematic pair life and resistance to surface of machine parts and tools. It conduct to the devolpment of technology of the protective coating winning for surface layer for increasing of tool life and correction condition in work. One of many method, it is metal spraying. It is belong to welding method of regeneration.

The most disseminated method of production of the metallic coating, there is method of gas spraying. The spraying material is in powder or wire format [1,6]. Powders are used for the coats, have special quality. The spraying metallization, there is spreading of metal layer on the surface, which are metallized. The metal is spreading by used of gun metallizator. On quality of layer and stability with the metal base principal influence have: speed of particles which are sprayed. The effect of high speed are layer resist, which have durable joint with base, good coherent and smaler porosity. This assumption was basis of calculation, which permitted to designed spray attachment with high speed and determinated of conditions for right run of winning protective coating. The diagrammatic represent of metallization spraying method range present on fig. 1.

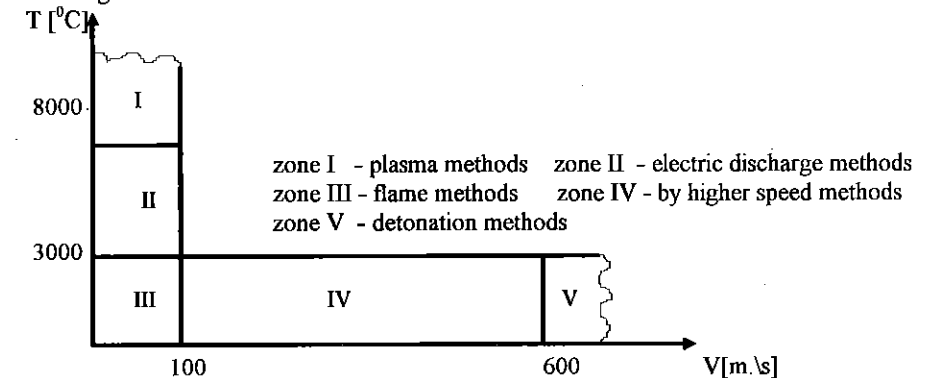


Fig. 1. The diagrammatic represent of metallization spraying method range. (temperature of gaseous phase and speed of powder particles)

We have saw on diagram that apply speed range, particularly 400-600 m/s is low - knew. The paper presents data and advantages following from make use of this speed range in metal spraying. The problem apply to possibility of application this solution for carbon steel 45 with layer resist tool with high stability for manufacturing process in plastic cold and semi-cold working.

2. The structure and principle of operation of the single coupler metallizator.

Construction of attachment permit to control of speed of the spraying metal particle (through quantity control of air inflow) and temperature through quantity control of oxygen and acetylene inflow and their reciprocal proportion). Fig.2.

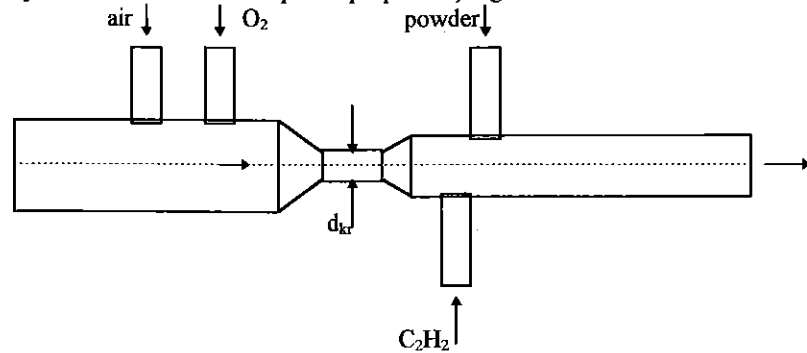


Fig.2. The diagram of the single coupler gun metallizator.

The specific quality of this solution: spraying powder and flammable gas with oxygen are injection in zone, where flux of capacity gas has higher speed than speed of sound (about 400 m/s). The reducing pipe of metallizator provide to increase of speed of capacity gas flux to query value, to accelerate particle and their heating in A-B zone. The theoretical calculation apply to critical diametr of reducing pipe they have been presented in work out [2,3,7], they have a form of equation:

$$F_{kr} = \frac{G_p}{\Phi * B_k * P_o} \sqrt{\frac{RT_o}{g}} \quad (1)$$

and:

G_p - mass of gas, which are flowd in unit of time [g/s]

R - gas constant for air

T_o - initial temperature of air on entry of reducing pipe [$^{\circ}K$]

g - gravitational constant [$m \ s^{-2}$]

Φ - flow ratio, in critical section $\Phi = 1$

P_o - pressure in gas main [Mpa]

B_k - adibate factor

For $d_{kr} = \sqrt{\frac{4 * F_{kr}}{\Pi}}$, they have calculated $d_{kr} = 4.45 * 10^{-3}$ [m], d_{kr} - critical diameter.

The outflow speed of air flux V_p after transition of reducing pipe definded according to equation [3]

$$V_p = \sqrt{\frac{2 * k * g * R * T_o * \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}{k-1}} \quad (2)$$

and:

k - relation of specific heat by constant pressure and specific heat by constant volume

p - presure of capacity gas after transition of reducing pipe

They have taken out equation of motion for liquid particle:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{3}{32} * \frac{\rho_p^2 * c_x^2}{\rho * \delta} * (V_p - V)^4 \quad \text{and:}$$

ρ_p - density of capacity gas (air) [$g \ m^{-3}$]

ρ - density of powder [$g \ m^{-3}$]

c_x - aerodynamic drag factor, capacity of powder = 1

δ - surface tension of powder in liquid condition [$N \ m$]

V_p - speed of capacity gas flux (air) [$m \ s^{-1}$]

On base equations (1,2,3) they have worked out chart, which permitted to select length of main part of gun metallizator, in which accelerated particle are. They have taken into account dependence between speed of capacity gas and speed of spraying powder (Fig.3.)

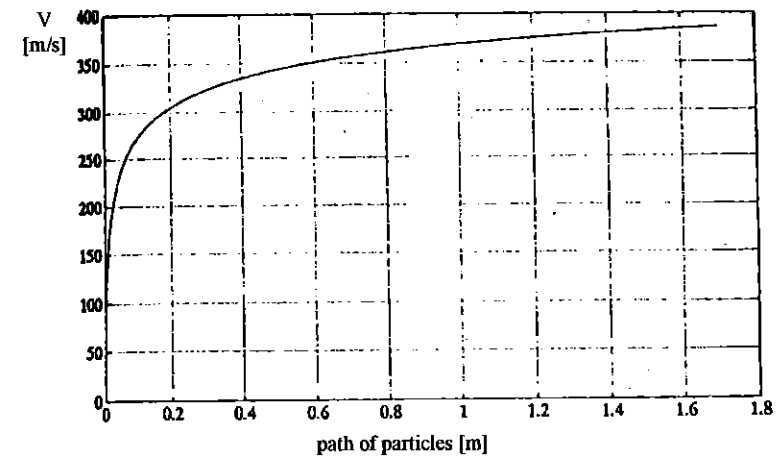


Fig.3. The chart of speed and motion of capacity powder V.

III. The production engineering of winning of protective coating with used of single coupler gun metallizator and resalt of wear investigation :

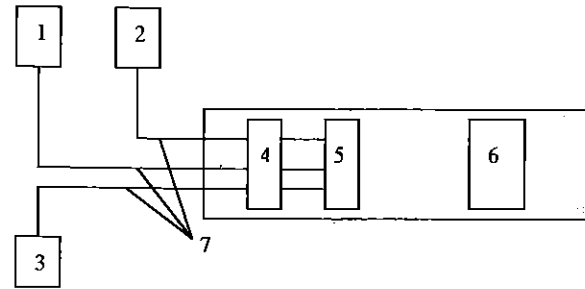


Fig.4. The block diagram of spraying stand.
 1- oxygen cylinder with gas regulator 2- acetylene cylinder with gas regular
 3- compressor with tank of air 4- valves panel
 5- gun metallizator 6- object which is metallized
 7- acetylene, air and oxygen main

By forming of protective coating they used of NiCr and Fe powder with granularity 0.045-1 mm. The thickness of layer is regulated. By investigation they used layer with thickness 2 mm. For better adhesion of spraying layers they used the preliminary mechanical working for increase of spraying area and next surface of sample is preheated before position of spraying layer on her. [4] The protective coating is put heat treatment for reduction of porosity and winning of high quality of layer (Fig.5.).

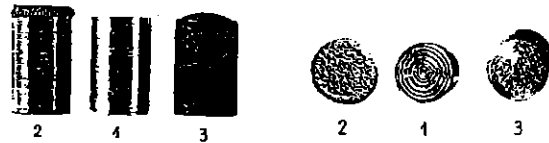


Fig.5. Samples for investigation (steel 45).
 1- sample befor spraying 2- sample with protective coating
 3- sample with protective coating with high quality of surface

Through change of couplers they can shape of powder property as required and influence on modification of protective coating. The performance veryfication of production engineering for increasing of the surface layer stability for the machine parts and tools can be specified throught the trybological investigation after final forming of protective coating. The wearial investigation they have been maden on investigation stand at the Politechnik of Lublin, the Basis of Technology Department. The stand is set up in immovable roll-sample which is pressed down by the base to the flat spin disk-antisample. The trybological test carried out by dry friction. The wearial test carried out by constans path of friction - $L=433.5$ m. Samples are shared on six groups, on dependence of procentage contens of components in protective coating. Analysis enclosed 48 samples (6 groups by 8 units). After measurment they have calculated for, every groups mean and mean deviation of features and other statistic. The results of calculation are presented in table 1. The investigation concern of samples made from steel 45

and wearial experiment is put into practice on stand which was descripted earlier. For modifycation of protective coating they have used NiCr and Fe powders which had differente fraction. The influence of used of protective coating with different composition on wearial process they have presented on chart (Fig.6.).

The statistical parameters of measurment

Table. 1.

Ordinar	Contens of the components in protective coating NiCr [%] Fe	The mean of the wear [g]	The standard deviation	The confidence limits
1	33 67	0.0748	$9 \cdot 10^{-4}$	0.0737-0.0758
2	67 33	0.0464	$1.1 \cdot 10^{-3}$	0.0451-0.0476
3	100	0.0196	$1.2 \cdot 10^{-3}$	0.0182-0.0209
4	without protective coating ater heat treatment	0.5813	$9 \cdot 10^{-3}$	0.5711-0.5914
5	without protective coating without heat treatment	0.6547	$1.29 \cdot 10^{-2}$	0.6401-0.6692

Results is noticed assumption that range of load and relative velocity of technology of winning of protective coating by gun metallizator to choice components of layer and forming protective coating in such procedure, that we can get clear increasing of wear intensity in comparison with analogical proceed process by used material doesn't protect of protective coating. This technology permit to getting protective coating with good adhesion to base. It prevent peeling off and crumbling away of protective coating by hard operating conditions. It occurs in other solutions.

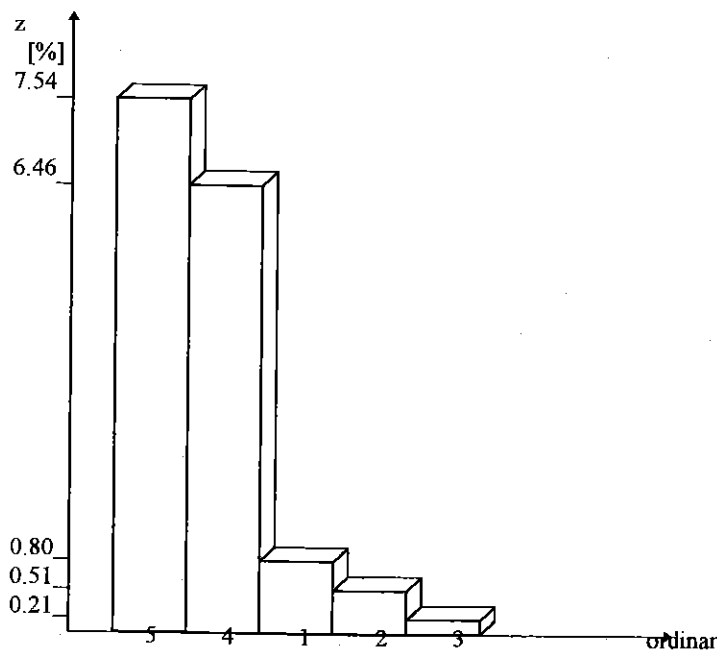


Fig.6. Results of wearial investigation.

IV. Summary

The realization of solution which is presented in paper provide to carry out a little operations without arm one's again of stand: it permit on surface cleaning direct before spraying process (for example by sand flux aid). It provide to protect against oxydising blueing between cleaning and spraying, as well as it permit direct before spraying basic layer to spray indirect layer (for better adhesion). Our solution permit on synchronous spraying multi coupler composition of layer with possibility of reciprocal proportion variable composition of layer. In comparision with other spraying method for which speed of particles is about 100 m/s in our solution they have speed about 500 m/s, it permit to recive protective coating with good adhesion to base. Research which are continued, have on target to definite influence of protective coating with variable composition on increase of machine and tool life. It mean improve technology as well as couplers composition of protective coating.

Bibliography:

- [1]. Dawidowicz J. Płomieniowe napawanie proszkami metali. Wiadomości warsztatowe 3/71
- [2]. Jungowski W. Zbiór zadań z dynamiki gazów. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. W-wa 1978r
- [3]. Łukasik K., Niszczeta W., Weroński W. Obliczanie parametrów metalizatora do nanoszenia proszków przy zwiększonej prędkości napyłania. XXXV Krajowa Konferencja Spawalnicza. Mat. konf. str. 110-116. Częstochowa 1992.
- [4]. Malec M., Lenik K., Niszczeta W., Penkała P., XV Międzynarodowe Sympozjum Naukowe Mater. konf. tom 3 "Mechanika" str. 49-52. WSI w Zielonej Górze. Marzec 1993.
- [5]. Materiały handlowe firmy CASTOLIN EUTECTIC S.A "Rototec 80" Szwajcaria
- [6]. Plewniak J., Służalec A. Regeneracja metodami spawalniczymi. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1992.
- [7]. Szumowski A. Dynamika gazów. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. W-wa 1988r



D. Nikolić*)

OSNOVNE KARAKTERISTIKE I MOGUĆNOSTI KOVANJA U STANJU SUPERPLASTIČNOSTI MATERIJAJA

Rezime

U radu, pored opštih informacija o obradi deformisanjem u stanju superplastičnosti, date su i informacije o osnovnim potrebnim uslovima i mogućnostima ostvarenja stanja superplastičnosti metala. Posebno se razmatraju mogućnosti i oblasti primene, kao i osnovni parametri ekonomske efikasnosti primene kovanja u stanju superplastičnosti.

1. UVOD

Iako se za superplastičnost nekih materijala zna već 60-ak godina kao i za ocenu metoda izotermičkog oblikovanja (kao osnove oblikovanja u stanju superplastičnosti) iskazane na Drugoj tehnološkoj konferenciji avio metalurga, održanoj 1969 god. u Las Vegasu, da je jedna od najperspektivnijih, posebno primenjena u izradi otkovaka od titanovih legura i čelika visoke čvrstoće /1/, praktično se sa korišćenjem superplastičnosti materijala u tehnološkim procesima oblikovanja započelo pre 15-ak godina /2/, i to prvo u izradi delova od lima od lakih legura, pre svega legura aluminijuma.

Naime u toku neprestanih istraživanja mogućnosti razvoja i usavršavanja postojećih tehnologija kovanja došlo se, pored ostalog, i do sledećih konstatacija:

-da klasični tehnološki procesi kovanja u topćom i u hladnom stanju ne obezbeđuju visok kvalitet površina otkovka i visoku tačnost geometrijskih parametara i ostalih parametara kvaliteta, zatim da su veličine dodataka za naknadnu obradu rezanjem relativno veliki a postojanost alata mala,

-da se u procesima kovanja u toplom stanju utroši velika količina energije na zagrevanje priprema i da nastaju veliki gubici materijala obratka u obliku ogoretine,

-da su pri oblikovanju u hladnom stanju potrebne velike sile i veliki utrošak energije itd.

Na osnovu analize, navedenih i navedenih, osnovnih tehnoloških parametara procesa kovanja mogu se definisati nekoliko osnovnih zahteva, koje treba realizovati pri razvoju novih tehnologija, pre svega u nameri obezbeđenja visokog kvaliteta otkovaka i ekonomske efikasnosti tih procesa, osnovni su:

-što manji otpor deformisanja i što manja ukupna sila deformisanja, i pri kovanju otkovaka složenog oblika i složene konfiguracije, i velikom postojanošću alata,

-što veća plastičnost materijala obratka a time i u što manjem broju udubljenja alata, po mogućnosti u jednom, dobiti otkovke bilo koje složenosti oblika i konfiguracije,

*)Prof. Dr Dragomir Nikolić, Mašinski fakultet, 27. Marta br. 80, Beograd

-nevisoka i stabilna temperatura obratka u procesu kovanja čime se, pored ostalog, obezbeđuje visoka postojanost alata, neznatno formiranje ogoretine, manje promene mera zbog približno jednakog skupljanja pri hlađenju, i td.

Dosadašnja istraživanja i iskustva u primeni kovanja u stanju superplastičnosti pokazuju da se navedeni zahtevi mogu, gotovo potpuno, ostvariti. Ukoliko se koriste i odgovarajuća kontrola i automatizacija procesa kovanja moguće je ostvariti vrlo visoku tačnost otkovaka.

2. OSNOVNA OBELEŽJA

Metali i njihove legure u stanju superplastičnosti imaju sledeća osnovna karakteristična obeležja:

-veoma visok resurs deformacione sposobnosti, tj. veoma visoku plastičnost i visoku stabilnost deformacija izduženja čak i do $\delta = 1000-2000\%$ do razaranja,

-veličina napona tečenja je veoma osetljiva na brzinu deformacije i, u većini slučajeva, odsustvo deformacionog ojačanja (visoka vrednost m i vrednost $n=0$ u izrazu $\sigma = k \cdot \epsilon^n \cdot \dot{\epsilon}^m$),

-u procesu materijal ima kvazi-viskozno tečenje,

-mala veličina napona tečenja je dostižna u dovoljno uskom intervalu deformacija i temperatura,

-pri malim brzinama deformacija (manje od 10 s^{-1}) slabo ojačavaju,

-imaju veoma visoku stabilnost prema porastu zrna,

-jednostavno postizanje homogene mikrostrukture,

-bitno smanjeni otpor deformisanju,

-visoku čvrstoću i plastičnost i td

Zahvaljujući navedenim i drugim nenavedenim obeležjima pri kovanju u stanju superplastičnosti, pored značajnog smanjenja deformacionog otpora i značajnog povećanja stepena deformacije (u odnosu na klasični proces kovanja), moguće je ostvariti: smanjenje utroška energije; smanjenje potrebnih tehničko-tehnoloških karakteristika osnovne opreme; smanjenje potrebnog broja operacija a time i potrebnog broja udubljenja u alatu i njegovih dimenzija pa i broja alata, posebno u slučaju kovanja otkovaka složenog oblika i konfiguracija; postići ravnomernost deformacija; povećanje stepena iskorišćenja materijala obratka (smanjenjem otpadka); smanjenje troškova naknadne obrade rezanjem (ostvarenje oblikovanja sa min dodatkom za obradu rezanjem a u nekim slučajevima i potpuno njihovo isključenje); smanjenje ukupnog vremena izrade dela; povećanje pouzdanosti dela, pre svega, zbog poboljšanja mehaničkih osobina materijala otkovka i pogodne orijentacije vlakana i mikrostrukture u opasnim presecima; odsustvo zaostalih napona, što zajedno sa povećanom čvrstoćom i plastičnošću, obezbeđuje neznatno narušavanje oblika i položaja delova otkovka po završetku procesa kovanja; minimum mogućnosti izlaska vlakana na površinu otkovka i pojavu, uvezi sa tim, zona koncentracije napona i povećane sklonosti prema hemijskim dejstvima (npr. korozije) i td.

3. OSNOVNI USLOVI SUPERPLASTIČNOSTI

Da bi se ostvarilo kovanje u stanju superplastičnosti neophodno je ostvariti sledeće uslove:

1. Obezbediti izotermičke uslove ostvarenja procesa kovanja, tj. obezbediti da su temperature alata i obratka u procesu kovanja iste (kako je to veoma teško, gotovo nemoguće, ostvariti stvarnije je konstatovati da njihove temperature trebaju biti približno jednake, tj. ostvariti kvazi izotermičke uslove). Neophodno je istaći da se kovanje u izotermičkim

uslovima bitno razlikuje od kovanja u stanju superplastičnosti i to pre svega u tome što su temperaturski i brzinski uslovi kovanja u izotermičkim uslovima nešto širi a mikrostrukturni faktor nije strogo određen. Zato se pri kovanju u stanju superplastičnosti može koristiti niz razrađenih i osvojenih u industriji uređaja koji ostaruju uslove izotermičkog kovanja i dosada prikupljena iskustva. Ovi uređaji, uslovno nazvani izotermički, čine izotermički blok čiji je osnovni zadatak da vrše zagrevanje alata do određene temperature, tj. temperature superplastičnosti, i njeno održavanje u dozvoljenim granicama u periodu ostvarenja procesa kovanja. Izotermički blok je složen i skup uređaj. U njegov sastav ulazi i aparatura za kontrolu i regulisanje temperature alata.

2. Temperatura obratka, odnosno priprema u procesu kovanja treba da je najmanje $(0,4-0,5) T_{top}$. (T_{top} je temperatura topljenja materijala obratka). Često se u literaturi navodi i temperaturski interval $(0,5-0,7) T_{top}$. /3, 4, 5/.

3. Pripremi moraju imati sitnozrnu mikrostrukturu-veličina zrna u granicama $(1-10) \mu\text{m}$, i minimalni stepen različitosti njihovih veličina. Veličina zrna u različitim presecima treba da je jednaka, tj. da imaju sferni oblik. Pored toga, struktura treba da je dovoljno stabilna prema porastu veličine zrna. Najveći stepen zadovoljenja navedenih zahteva imaju heterofazni materijali sa približno jednakim zapreminskim sadržajem faza. Mehaničke osobine faza pri temperaturi deformisanja ne treba da se razlikuju. Jedan od prvih i najvažnijih problema široke industrijske primene procesa je industrijska proizvodnja valjanih, kovanih i dr. polufabrikata u obliku šipki, različitog poprečnog preseka, ili lima sa odgovarajućom strukturom koja obezbeđuje ispoljavanje, u određenim temperaturskim i brzinskim intervalima, obeležja superplastičnosti /3/.

Poznate su dve principijelno različite metode ostvarenja mikrostrukture karakteristične za stanje superplastičnosti. Prva se sastoji u povezivanju procesa deformisanja i faznih transformacija i usklađivanja njihovih brzina. Pritom polazna struktura materijala nema suštinski značaj ali je važno da u faznim transformacijama učestvuje dovoljno veliki deo mase obratka /2, 6/. Ovaj metod nije do sada našao značajnu primenu u industriji.

Drugi metod je prethodna priprema odgovarajuće sitnozrne strukture. Ovaj postupak je osnovni u dosadašnjoj primeni. Koristi se u industrijskom osvajanju veoma sitnozrne strukture a ostvaruje se regulisanjem hemijskog i faznog sastava /5/, zatim termomehničkom obradom da bi se smanjila zrna do zadovoljavajućeg nivoa /7/. Ovako dobijeni materijali su znatno skuplji od običnih materijala istog sastava, tako npr. superplastične legure Al su 2-3 puta skuplje od običnih /2/. Dobijanje jednakoosne sitnozrne strukture materijala i njihovo prevođenje u superplastično stanje primenjuju se i specijalne metode obrade. Obično je to obrada deformisanjem u toplom i hladnom stanju sa značajnim smanjenjem poprečnog preseka $(50-80)\%$ i neknadnim rekristalizacijom žaranjem ili termomehničkom obradom.

4. Održati u procesu brzine deformacije u malom obratku u određenim granicama, po pravilu u granicama $(10^{-2}-10^{-4}) \text{ s}^{-1}$. Ispunjenje ovog uslova je ozbiljna smetnja korišćenju postojeće klasične osnovne opreme i osnovni je uzrok smanjenja proizvodnosti. Pored toga, poznato je da je brzina deformacije zavisna ne samo od brzine deformisanja (čak i u slučajevima kada je konstantna) već i od visine obratka. Naime brzina deformisanja se jako menja u procesu kovanja. Ovo je posebno izraženo kod kovanja otkovaka složenog oblika i konfiguracije. Zato hidraulične prese, kao osnovna oprema neophodna za ostvarenja kovanja u stanju superplastičnosti, moraju imati uređaj koji obezbeđuje kontinualnu ili stepenjivu promenu, u potrebnom opsegu, brzine kretanja pritiskivača i time održati brzinu deformacija u neophodnim granicama. Ove hidraulične prese moraju biti opremljene uređajima za programsko upravljanje. Poseban problem je kontrola tako malih brzina, jer sredstva za to primanjena u industriji imaju ograničene mogućnosti. Izrada programa se zasniva na detaljnom proučavanju

kinematike tečenja metala u odgovarajućem alatu i optimizaciji tog procesa prema energetskim parametrima i veličini deformacionog otpora

Pod određenim uslovima moguće je, specijalno definisanim tehnološkim procesima kovanja, obezbediti oblikovanje u stanju superplastičnosti i bez potpunog poštovanja svih nevedenih uslova, i to na standardnim hidrauličnim presama. Tako npr. podelom procesa kovanja na dve faze pri čemu se prva faza kovanja ostvaruje klasičnim kovanjem a u drugoj fazi, tzv. dokivanju, se ostvaruje kovanje u stanju superplastičnosti, što se postiže zahvaljujući režimu održavanja konstantnog pritiska i optimalne brzine deformacije karakterističnim za superplastičnost. Zatim, pri kovanju priprema sa izrazitom sitnazmom strukturom, u granicama (1-3) μm moguće je ostvariti kovanje u stanju superplastičnosti i sa brzinama deformisanja karakterističnim za standardne hidraulične prese, odnosno i pri znatno većim brzinama deformacije od onih karakterističnih za pojavu superplastičnosti. O ovim i drugim mogućnostima biće više informacija u narednim radovima autora.

4. MOGUĆNOSTI I OBLASTI PRIMENE

Kovanje u stanju superplastičnosti ima veoma široke mogućnosti i oblasti primene

osnovne su:

-kada je potrebno izraditi delove visokog kvaliteta, a time postići i visok kvalitet proizvoda kao celine, što se ostvaruje zahvaljujući povećanju mehaničkih osobina materijala obratka, odsustvu zaostalih napona, eliminaciji zona koncentrisanih napona, smanjenju osetljivosti na hemijska dejstva itd.

-kada je potrebno izraditi otkovke velikih dimenzija, složenog oblika i konfiguracije od priprema jednostavnog oblika,

-kada nije moguće oblikovati otkovke drugim metodama,

-kada je potrebno izraditi otkovke od teško deformabilnih i nisko plastičnih materijala. Ovoj gupi materijala pripadaju većina legura na osnovi nikla, titana, mangana, aluminijuma, zatim visoko ugljenični čelici, visoko legirani čelici, teško topljivi materijali, tj. materijali koji čine sirovinsku bazu savremene specijalne mašingradnje. Pored toga, ovi materijali su, po pravilu, vrlo skupi a izrada otkovaka od njih klasičnim kovanjem je više operacijski i veoma dugotrajan proces. Povećana deformabilnost materijala u stanju superplastičnosti omogućava bitno povećanja dozvoljenog stepena deformacije u jednoj operaciji a time i prelazak na tzv. jednooperaciono kovanje što u značajnoj meri kompenzira smanjenje proizvodnosti zbog malih brzina deformacija.

-kada je potrebno bitno smanjenje vremena naknadne obrade rezanjem ili pak potpuno njeno eliminisanje,

-kada je potrebna visoka ušteda skupih i deficitarnih materijala obratka,

-kada proizvodnost obradnih sistema nije odlučujući faktor ekonomske efikasnosti procesa izrade dela u celini, i td.

5. OSNOVNI PARAMETRI EKONOMSKE EFIKASNOSTI

Na ekonomsku efikasnost tehnološkog procesa kovanja u stanju superplastičnosti utiču mnogobrojni tehnološki, tehnički i organizacioni faktori. Osnovni su: proizvodnost osnovne opreme, brzine deformisanja, nominalne sile i dr.; gabaritne mere i složenost otkovka; plastičnost materijala obratka; srednja temperatura i dozvoljena ostupanja temperatura u procesu; zahtevane homogenosti i disperznosti strukture priprema; cena materijala obratka; karakteristika i

tehničkog nivoa termičke i osnovne opreme; kvaliteta alata (složenost, tačnost, postojanost, troškovi irade i dr.); broja potrebnih alata; postojanja sistema za automatsko regulisanje termičkih i niza drugih elemenata procesa; obima i troškova naknadne obrade rezanjem; serijnosti i broja komada u partiji i td.

Karakter uticaja pojedinih elemenata procesa na njegovu ekonomsku efikasnost je izuzetno kompleksan. U osnovi može se konstatovati da neki elementi imaju negativa a drugi pozitivan uticaj, neki pak imaju vrlo veliki a drugi neznatan ili nikakav uticaj. Najnegativniji uticaj ima mala brzina deformisanja, odnosno brzina deformacije koja, kao što je već rečeno, bitno smanjuje proizvodnost procesa. Međutim, najpozitivniji uticaj ima moguća ušteda često veoma skupih i deficitarnih materijala obratka, čiji udeo u ukupnoj vrednosti dela često dostiže čak 40-60%. Naime, kovanje u stanju superplastičnosti omogućava povećanje koeficijenta iskorišćenja materijala obratka od 0,1-0,3, pri klasičnom, do 0,5-0,7 pa čak, u nekim slučajevima, i do 0,8-0,9 pri kovanju u stanju superplastičnosti, a time i bitno smanjenje utroška materijala obratka /4/.

Veliki uticaj ima nivo investicija u osnovnoj opremi. Smatra se da su ove investicije za 20-30% manje u odnosu na investicije u oprema potrebnu za klasično kovanje što daje značajne godišnje ekonomske efekte. Ovo je posledica, pre svega, smanjene potrebne sile (2 pa čak i 10 puta) a time i angažovanje hidraulične prese sa znatno manjom nominalnom silom a njena vrednost je višestruko manja a time i značajno manje troškove amortizacije, vremena angažovanja ali i povećanja proizvodne mogućnosti opreme, izrade otkovaka znatno većih dimenzija, manji potreban prostor i dr. Pored toga, korišćenje presa manjih nominalnih sila i manji utrošak energije u procesu, odnosno sa manjom instalisanom snagom upošćava organizaciju, mehanizaciju i automatizaciju procesa proizvodnje otkovaka.

Izuzetno veliki uticaj na ekonomsku efikasnost ima mogućnost objedinjavanja dva ili više delova izrađenih klasičnim tehnologijama u jedan složeniji, koji se može otkovati u stanju superplastičnosti pre svega zahvaljujući činjenici da pritom složenost oblika-rebra, ispusti, upusti udubljenja i dr. imaju mali uticaj na vreme i troškove kovanja, a troškovi spajanja i montaže se potpuno eliminišu.

Troškovi alata se znatno smanjuju zahvaljujući pre svega povećanju njihove postojanosti, što je posledica: malih brzina deformacija; malih pritisaka zbog bitnog smanjenja deformacionog otpora; odsustva udarnih opterećenja i termičkih šokova; smanjene temperature kovanja (u odnosu na opšte prihvaćene temperaturske intervale pri klasičnom kovanju); bitno pogodnijih uslova podmazivanja zbog smanjenih pritisaka i ravnomernijih temperatura na površinama kontakta obratka i alata i dr.

Gotovo potpuno odsustvo ogoretine, zbog relativno niskih temperatura priprema, odnosno obradaka, povećava uštedu materijala obratka ali, što je veoma važno, na površini otkovka se ne obrazuje defektni površinski sloj (deugljenizacija, štetno zasićenje gasovima, utiskivanje ogoretine, prskotine i dr.)

Poseban značaj i uticaj ima izuzetan porast kvaliteta otkovaka.

Izložene su samo kvalitativne ocene uticaja dela faktora na ekonomsku efikasnost. Da bi se doneo pravi sud o ekonomskoj opravdanosti primene kovanja u stanju superplastičnosti neophodno je, kao i za bilo koji tehnološki proces obrade, odrediti kvantitativne ocene svih uticajnih faktora za svaki konkretan otkovak i to za ceo proces izrade određenog dela, a to znači od izrade priprema pa sve do dobijanja gotovog dela.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se zaključiti:

-da je kovanje u stanju superplastičnosti vrlo atraktivan tehnološki proces i to posebno pri izradi otkovaka velikih dimenzija, složenog oblika i konfiguracija od teško deformabilnih i nisko plastičnih materijala,

-da je za potpuno ikorišćenje efekata superplastičnosti materijala obratka neophodno imati specijalne hidraulične prese sa programskim upravljanjem promenama vrlo malih brzina deformisanja,

-da je moguće ptići odgovarajućom rekonstrukcijom određenih klasičnih hidrauličnih presa da se i nanjima potpuno iskoriste efekti superplastičnosti,

-da je moguće delimično korišćenje efekata superplastičnosti, pod određenim uslovima, ostvariti i pri kovanju na klasičnim presama,

-da se korišćenjem efekata superplastičnosti znatno povećavaju tehnološke mogućnosti presa (izrada otkovaka znatno većih dimenzija i dr.).

7. LITERATURA

- 1/ *Advances in Deformation Processing*, Plenum Press, New York, 1978.
- 2/ Sawle R., *Superplastic Aluminium Sheet Forming*, Sheet Metal Industries, V. 61, N°8, 1984.
- 3/ Smirnov O.M., *Obrabotka metallov davlcnem v sostojanii sverhplastičnosti*, Mašinstroenie, Moskva, 1987.
- 4/ Ja.M. Ohrimenko., *Soveršenstvovanie tehnologij izotermičeskoj štamovki v sostojanii sverhplastičnosti*, Kuznečno-štapovočnoe proizvodstvo, N°8, 1981.
- 5/ Guljaev A.P., *Sverhplastičnost stali*, Metallurgija, Minsk, 1982.
- 6/ A.S. Tihonov, V.V. Belov, i dr., *Termocikličeskaja obrabotka stalej, splavov i kompozicionih materijalov*, Nauka, Moskva, 1984.
- 7/ Kajbišev O. A., *Sverplastičnost promišlannih splavov*, Metallurgija, Moskva, 1984.
- 8/ Pearce R., *Superplastics forming*, Engineering, N°9, 1984.
- 9/ D. Nikolić., *Neki rezultati istraživanja i osnovne tendencije razvoja nekih tehnologija oblikovanja metala deformisanjem*, Naučna konferencija sa međunarodnim učesćem MAŠINSTVO ZA XXI VEK, Novi Sad, 1995.

ZUSAMMENFASSUNG

GRUNDLAGENDE CHARAKTERISTIK UND DIE MÖGLICHKEITEN DES SCHMIEDENS IM SUPERPLASTISCHEN MATERIALZUSTAND

In der Arbeit werden, neben allgemeinen Informationen über das Umformen im superplastischen Materialzustand, auch die Informationen von grundlegenden Kennzeichen und Hauptprobleme, Bedingungen und Möglichkeiten für die Realisierung superplastischen Materialzustand, gegeben. Besonders werden die Möglichkeiten und Anwendungsgebiete, sowie Kenngrößen für wirtschaftliche Verwendung des Schmiedens im superplastischen Materialzustand, betrachtet.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

NEKI ASPEKTI PRIMENE TEHNOLOGIJE PLASTIČNOSTI U IZRADI FINALNIH DELOVA ("NET SHAPE FORMING")

Plančak M., Vilotić D., Vujović V., Trbojević I., Milutinović M., Skakun P.*

Rezime

Jedan od dominantnih trendova savremenog razvoja Tehnologije plastičnosti jeste i proizvodnja ugradbeno gotovih delova, tj. takvih delova za čiju ugradnju u neku složenu konfiguraciju-sklop nisu potrebne dorade aktivnih površina. U engleskom jeziku odomaćio se za takvu vrstu obrade izraz "net shape forming". Ovakav pravac razvoja zahteva nove konceptualne pristupe u svim elementima obradnog sistema.

U ovom radu daje se detaljan prikaz faktora relevantnih u proizvodnji finalnih delova. U Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu izvršena su teoretsko-eksperimentalna istraživanja na primeru izrade jednog broja finalnih delova. U radu se daje osvrt na ta istraživanja.

1. UVOD

Razvoj i primena tehnologije plastičnosti u poslednjih desetak godina okarakterisani su sa nekoliko dominantnih pravaca od kojih su najvažniji [11]:

- povećanje tačnosti i kvaliteta obradaka ("net shape forming", "near net shape forming"),
- proširenje domena primene i na maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju,
- substitucija tehnologija skidanjem strugotine, livenjem i dr. sa tehnologijama obrade deformisanjem,
- razvoj novih postupaka obrade deformisanjem,
- razvoj na planu konstrukcije i izrade alata (primena CAD/CAM postupaka kao i novih materijala)
- proširenje spektra obradaka kako u smislu dimenzionih karakteristika i kompleksnosti geometrije tako i u smislu primene novih, teško obradivih materijala,
- nova konceptijska rešenja pojedinih elemenata obradnog sistema, posebno mašina.

Opšta karakteristika razvoja koje se odnosi na sve gore navedene oblasti jeste primena računara na raznim nivoima i u raznim oblicima (proračun, konstrukcija, upravljanje,...).

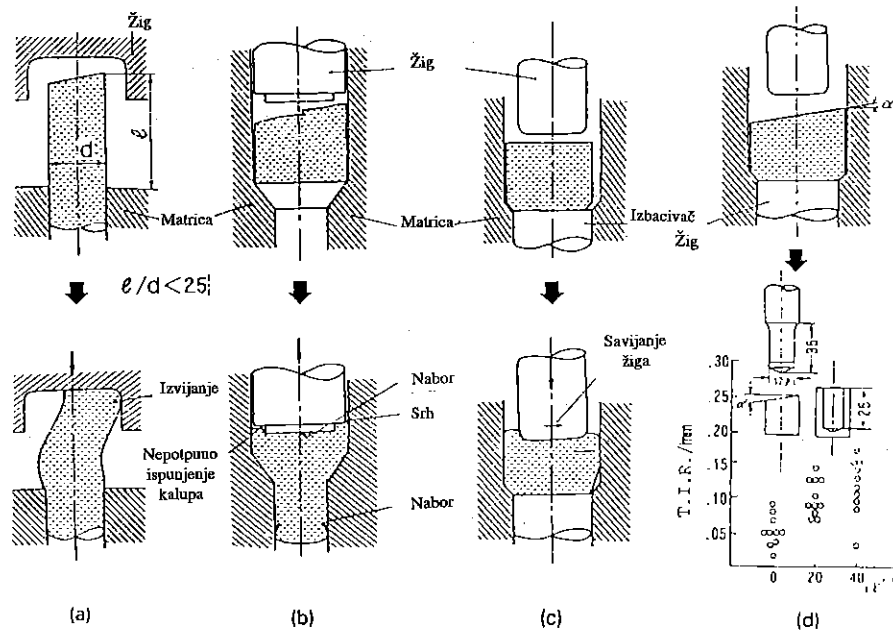
U ovom radu pažnja je posvećena primeni tehnologije plastičnosti na izradu finalnih delova tj. delova spremnih za ugradnju u mašinu/sklop ili neku drugu kompleksnu konfiguraciju.

2. "NET SHAPE FORMING" (NSF)

Jedan od ustaljenih stereotipa koji su važili jeste da je obrada deformisanjem takva obrada kojom se dobijaju delovi niskog nivoa tačnosti i koji obavezno, nakon obrade deformisanjem, moraju biti obrađivani još nekom drugom tehnologijom (po pravilu skidanjem strugotine). Ako je ovakvo činjenično stanje i važno do pre 20-30 godina, to je situacija u novije vreme u tom pogledu potpuno izmenjena.

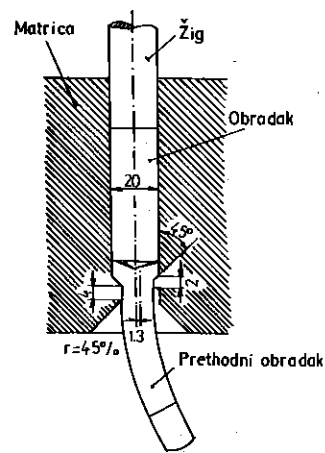
Kako je u uvodnom delu navedeno, u poslednjih 5-10 godina jedan od fokusa razvoja ove tehnologije usmeren je ka povećanju tačnosti i kvaliteta obradka. U engleskom jeziku je taj pravac nazvan "Net shape forming" (NSF) ili "Near net shape forming" (NNSF). Mnogobrojni naučno-istraživački projekti koji obrađuju ovo područje su urađeni ili su u toku u vodećim naučnim institucijama iz ovog područja. Ovom području posvećene su i posebne konferencije. Postoje u svetu i

* Prof.dr Miroslav Plančak, Prof.dr. Dragiša Vilotić, Prof.dr Vlado Vujović, Mr. Ilija Trbojević, Dipl.ing. Mladimir Milutinović, Dipl.ing. Plavka Skakun - Fakultet tehničkih nauka, Insitut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Jugoslavija.



Slika 2 - Nepreciznosti pri dobijanju priprema i njihove konsekvence

b) Podmazivanje. Negativne posledice trenja u procesima hladnog deformisanja dobro su poznate. To su, pre svega, neravnomernost deformacije, rast sile, rada i pritiska na alat, povišeno habanje alata. Zbog svega toga neophodno je intenzivno podmazivanje u toku procesa. U velikom broju slučajeva prethodna priprema površine (najčešće na bazi fosfata) čini proces podmazivanja mnogo efikasnijim.



Slika 3 - Netačnost dela kod istosmernog istiskivanja

c) Tačnost alata. Svi aktivni delovi alata moraju biti urađeni sa visokom tačnošću i kvalitetom površina. Primer kako netačno izrađen alat može da utiče na netačnost oblika radnog komada dat je na sl.3, gde je karikirano prikazana netačnost dela dobijenog istosmernim istiskivanjem zbog netačno izrađenog kalibrirajućeg prečnika matrice. Ovo je samo jedan od mnogobrojnih primera kako netačnost izrade alata direktno utiče na (ne)tačnost komada.

d) Tačnost mašine. Osnovni preduslov za korektnu proizvodnju jeste mašina dovoljne krutosti. To se ne odnosi samo na kućiste mašine nego i na sve delove u lancu mašine koji su izloženi sili deformisanja. Netačnost mogu ispoljavati i mašine zadovoljavajuće krutosti kroz npr. ishabane elemente za vođenje i dr.

Pored navedenih glavnih činilaca uzroci odstupanja od traženog kvaliteta i tačnosti finalnog dela mogu biti i u neadekvatnom projektovanju procesa, ne zadovoljavajućem rešenju faze izbacivanja komada iz alata, nepotpunoj kontroli i praćenju odvijanja procesa i dr.

U radu [6] sistematizovan je uticaj različitih elemenata obradnog sistema na tačnost u procesima deformisanja (sl.4).

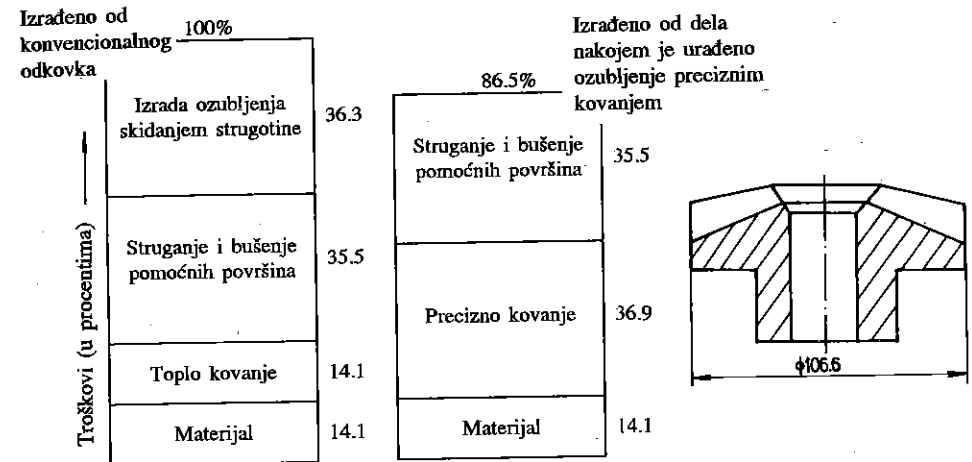
Kao što se sa slike uočava, glavni uticajni faktori na tačnost finalnog dela su: postupak, polazni materijal, alat, mašina i tok obrade. Pri tome treba uočiti činjenicu da pojam "tačnost" nije shvaćen samo u geometrijskom smislu nego da se tu podrazumeva i tačnost mehaničkih osobina.

posebne naučne institucije koje se bave isključivo sa NSF (npr. "The Engineering Research - Center for Net Shape Forming" - Ohio University, USA). Sve ovo ukazuje da je segment NSF našao svoje mesto u okviru savremenog razvoja tehnologije plastičnosti.

Obrada NSF bi se mogla definisati kao ona obrada koja kao rezultat daje komad gotov za ugradnju, bez potrebe za naknadnim obradama. [1]. Svoju aplikaciju NSF nalazi, pre svega, u domenu hladnog zapreminskog deformisanja.

Razlozi primene NSF su višestruki [1]. Sa ekonomskog stanovišta ova vrsta obrade donosi uštede u materijalu, energiji, radnoj snazi (otpadaju nakandne obrade). U tehničkom smislu prednosti su takođe značajne: visok kvalitet i tačnost radnih površina, povećava se otpornost dobijenih delova, mogućnost izrade kompleksnih konfiguracija.

Primena ove vrste obrade zahteva nove konceptijske pristupe kako u fazi planiranja tako i u fazi sprovođenja samoga procesa deformisanja. Kada je reč o pripremi proizvodnje onda se posebna pažnja mora posvetiti konstrukciji dela koji se želi dobiti sa NSF postupkom. Osnovno saznanje koje konstruktor dela treba da ima jeste da se, zbog principa konstantnosti zapremine, ne može dobiti deo čije su sve površine ugrađeno gotove. Zbog toga konstruktor treba da postavi zahteve za visoku tačnost i kvalitet samo onih površina na obradku koje su aktivne u daljoj primeni dela. Ako je potrebno da deo nakon deformisanja ipak bude obrađivan i tehnologijama skidanjem strugotine onda se preporučuje da se sa NSF izradi aktivni, radni deo komada (koji je po pravilu i najsloženije geometrije), a da se površine jednostavnije za izradu naknadno izrade skidanjem strugotine. Jedan primer u tom smislu dat je na sl.1 [1]. Zubičanik na slici izrađuje se po dve varijante. Obe varijante posmatraju se sa aspekta troškova. U prvoj varijanti deo se dobija toplim kovanjem uz naknadnu kompletnu obradu (uključujući ozubljenje) skidanjem strugotine. U drugoj varijanti radne, aktivne površine obradka - ozubljenje, dobijaju se hladnim deformisanjem, a samo pomoćne cilindrične površine zubičanika dobijenog po varijanti 2 znatno bolje nego onog koji je izrađen po varijanti 1.

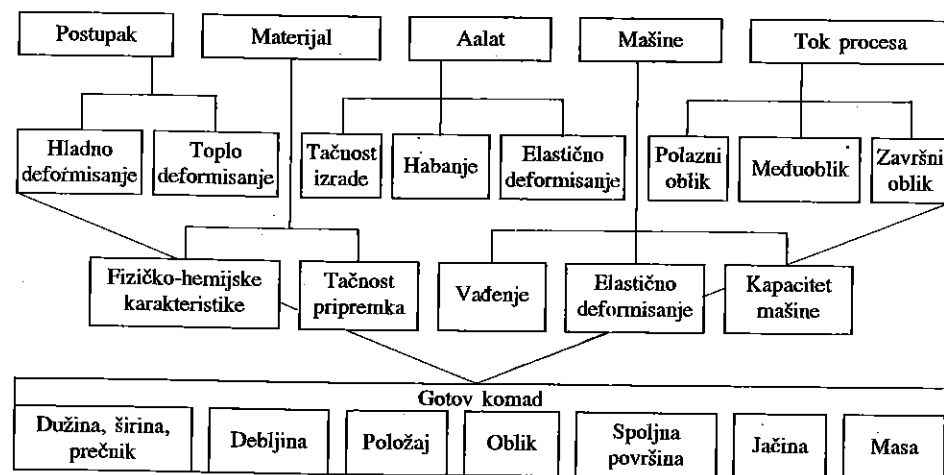


Slika 1 - Izrada zubičanika po dve varijante

U samom procesu izrade posebna pažnja treba da se posveti sledećim elementima:

a) Dobijanje priprema. Ovdje se misli, pre svega, na tačnost zapremine priprema koji se dobija iz šipke nekom od operacija razdvajanja. Ako priprema ima zapreminu veću od zapremine gotovog komada to može u datim uslovima rezultirati u naglom skoku sile, pa i lomu alata. Premala zapremina dovodi do nepotpunog punjenja kalupa alata. Na sl. 2 date su neke od mogućih nepreciznosti u dobijanju priprema kao i posledica tih nepreciznosti. Ako presečna površina priprema nije normalna na osu, u tom slučaju može doći do izvijanja u toku procesa (slika 2a). Kod istosmernog istiskivanja neravna presečna površina može dovesti do pojave pukotina i neželjenih bora (faltanja) (slika 2b). Netačan prečnik priprema kod suprotno-smernog istiskivanja može izazvati nepoželjno savijanje žiga (slika 2c). Na slici 2d prikazan je slučaj nekonzentričnog obradka kao posledica netačno odsečenog priprema.

Kao što je u uvodnom delu rečeno, "net shape forming" se primenjuje pretežno u hladnom zapremskom deformisanju. Ova oblast posebno nalazi primenu u auto industriji. Jedan od karakterističnih geometrijskih oblika koji se dobijaju pomoću NSF jeste ozubljenje, kao i razni ožljebljeni i nazljebljeni elementi.



Slika 4 - Glavni uticaji na tačnost obradka u procesima tehnologije plastičnosti [6]

U Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu izvršena su određena teoretsko-eksperimentalna istraživanja zapremskog deformisanja koja se, uslovno, mogu svrstati u NSF postupke. To su obrade u kojima su dobijeni delovi kod kojih su radne površine finalno urađene u procesu deformisanja. Konkretno, radi se o ozubljenim elementima i o elementima sa žljebovima. U ovom radu daje se prikaz izrade unutrašnjeg ozubljenja postupkom hladnog istiskivanja.

3. IZRADA OZUBLJENIH ELEMENATA

Izrada ozubljenih elemenata moguća je pomoću različitih metoda obrade deformisanjem: kovanjem, valjanjem, istiskivanjem, finim razdvajanjem presovanjem, orbitalnim deformisanjem. Svaka od navedenih metoda sadrži određeni broj podvarijanti pomoću kojih se mogu izrađivati zubčanici različitih oblika i veličina [2], [4], [10]...

Hladno istiskivanje koristi se za dobijanje zubčanika manjih dimenzija, visoke tačnosti i dobrih mehaničkih osobina.

Sa stanovišta toka materijala za vreme izvođenja procesa postoje različite podvarijante izrade nazubljenih elemenata istiskivanjem. Detaljnija analiza mogućih načina izrade ozubljenja istiskivanjem može se naći u [5].

U ovom radu daje se prikaz izrade unutrašnjeg ozubljenja metodom suprotno-smernog istiskivanja.

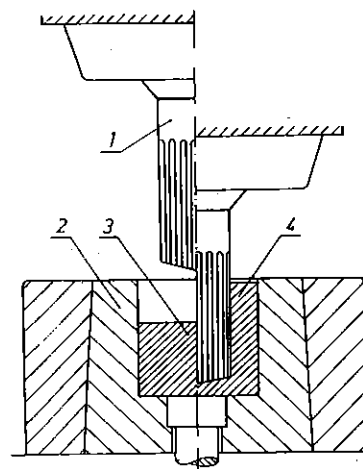
Materijal priprema je Č.1121. Kriva efektivnog napona ($K-\varphi$) za taj materijal dobijena je pomoću Rastegajev eksperimenta [12] i ima analitički oblik $\sigma = 660 \cdot \varphi^{0.23}$. Dimenzije priprema su bile $\phi 28\text{mm} \times 28\text{mm}$. Za vreme procesa vršeno je podmazivanje sa MoS_2 .

U cilju određivanja efektivnog napona i efektivne deformacije po zapremini obradka, eksperimentalnim putem, po standardizovanoj proceduri, određena je zavisnost između tvrdoće - efektivnog napona i efektivne deformacije. Više detalja o ovakvom načinu određivanja σ_e i φ_e može se naći u [12].

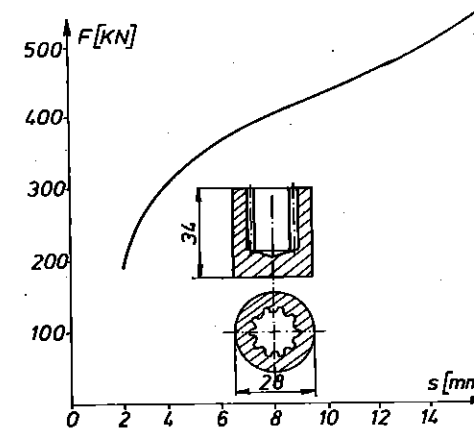
Za potrebe eksperimenta konstruisan je i izrađen specijalni eksperimentalni alat. Glavni delovi alata su žig (1), i matrica (2). Matrica je postavljena u ojačavajući prsten. Žig je izrađen u obliku ozubljenja modula 1.5, broj zuba 10, spoljni prečnik $D_{\text{out}}=18\text{mm}$, a unutrašnji $D_{\text{inn}}=12.60\text{mm}$. Delovanjem žiga na priprema (3) dobija se u procesu suprotnosmernog istiskivanja obradka sa unutrašnjim ozubljenjem, koji predstavlja negativ ozubljenja žiga.

Za vreme procesa vršeno je snimanje dijagrama sila-put (sl.6). Kao što se sa sl.6 uočava, dijagram sila-put okarakterisan je konstantnim porastom sile u toku procesa. Maksimalna sila postiže se na kraju procesa i iznosi $F_{\text{max}} = 500\text{kN}$ što odgovara srednjem specifičnom pritisku na žig od $p=2700\text{MPa}$.

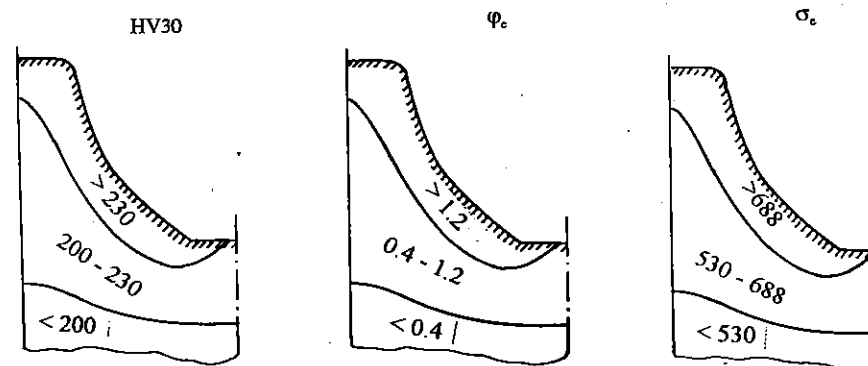
Nakon završetka procesa gotov komad je pomoću izbacivača (4) izbačen iz matrice, a zatim je presečen u ravni normalnoj na uzdužnu osu. U karakterističnim tačkama izvršeno je merenje tvrdoće HV30. Pomoću etalon dijagrama određene su korespondirajuće vrednosti efektivnog napona i efektivne deformacije u preseku jednog zuba.



Slika 5 - Skica alata za istiskivanje unutrašnjeg ozubljenja



Slika 6 - Dijagram sila-put



Slika 7 - Raspored tvrdoće, efektivnog napona i efektivne deformacije

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Jedan od dominantnih pravaca daljeg razvoja tehnologije plastičnosti jeste povećanje tačnosti i kvaliteta obradka, tzv. "Net shape forming". Ovim postupcima dobijaju se ugradbeno gotovi delovi ili delovi za čiju ugradnju su potrebne samo neznate dorade pomoćnih površina. "Net shape forming" postupci se sve više upotrebljavaju, posebno u hladnom zapremskom deformisanju, u uslovima visokih serija. Karakterističan primer je auto-industrija.

U radu su date neke od osnovnih pretpostavki koje je neophodno ispuniti da bi se dobio ugradbeno gotov proizvod. Ukazano je na glavne uticajne faktore na tačnost i kvalitet obradka.

U drugom delu rada dat je prikaz istraživanja izrade unutrašnjeg ozubljenja pomoću suprotno-smernog hladnog istiskivanja. Za potrebe eksperimentalnih istraživanja konstruisan je i izrađen specijalni alat. Istraživanja su izvršena u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu. Eksperimentalno je utvrđen tok deformacione sile u toku odvijanja procesa kao i srednji specifični pritisak na žig.

Pomoću metode etalon dijagrama određene su veličine efektivnog napona i efektivne deformacije u karakterističnom tačkama poprečnog preseka dobijenog zubčanika. Uočeno je da je usled deformacionog ojačavanja, materijal obratka znatno viših mehanički osobina upravo u onim zonama koje su u toku eksploatacije zubčanika najviše opterećene.

Prezentiran rad je deo širih istraživanja koja su još u toku.

5. LITERATURA

- [1] Kudo, H.: Towards Net-Shape Forming, J.of Mat.Proc.Tech., 22, (1990), pp. 307-342.
- [2] Lange, K.: Zur Entwicklung des Kaltfließpressens zu einer High-Tech Präzisionstechnologie, Umformtechnik, 26 (1992), 6, pp. 412-418
- [3] Lindner, H.: Präzisionsschmieden, tz für Metallbearbeitung, 80 Jahrgang, 1986, Heft 2/86, pp 24-29.
- [4] Kondo, K.: Developments of New Precision Cold Die Forging Processes, Advanced Technology of Plasticity 1984, Vol.II, pp. 878-887.
- [5] Vujović V., Plančak M., Vilotić D.: Razvoj primene tehnologije plastičnosti u oblastima proizvodnje delova složene konfiguracije, maloserijske proizvodnje i završne obrade, Mašinstvo za XXI vek, Novi Sad 1995., pp.197-217.
- [6] Dohmann F.: Überlegung zur Werkzeugtechnik bei Präzisionsumformverfahren, WT-Zeitschrift für Industrielle Fertigung, 74(1984), pp. 201-205.
- [7] Geiger R., Hänsel M.: From near-net shape to net-shape cold forging-state of art, Proc. 9th Int. Cold Forging Congress, Solihull, UK, 1995, pp. 59-75.
- [8] Föllinger H., Meier R.: Near-net-shape Umformung - Chance und Herausforderung, Umformtechnik 26 (1992) 6, pp. 422-424.
- [9] Dean T.A.: A profile of the market for cold forging, Proc. 9th Int. Cold Forging Congress, Solihull, UK, 1995, pp. 17-27
- [10] Doege E., Nägele H.: FE-Simulation of the Precision Forging Process of Bevel Gears, Annals of the CIRP, Vol.43/1/1994/, pp. 241-244.
- [11] Plančak M., Bramley A., Osman F.: Non-conventional cold extrusion, Material Processing Tehnology, Vol.24, 1992, pp. 465-472
- [12] Plančak M.: Naponsko-deformaciono stanje u procesima hladnog istiskivanja čelika, Univerzitet u Novom Sadu, 1984.

SOME ASPECTS OF NET-SHAPE FORMING

Summary

This paper deals with the possibilities and limitations of "near net shape" or "net shape forming" processes. Furthermore, the own investigation of gear cold extrusion is presented. "Net shape forming" can be defined as one metal forming operation in which the ready to assembly parts are obtained. In this work some of the fundamentals of net shape forming are presented

In the second part of the work the process of cold extrusion of components with internal toothing component is illustrated. Experiments were carried out in the Laboratory for Technology of Plasticity at the University Novi Sad. The main process parameters as well as the mechanical properties of the obtained geared component have been determined and discussed.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

P. Popović, D. Temeljkovski, Lj. Đorđević i Z. Punoševac*

PRILOG ODREĐIVANJU DIJAPAZONA PROMENE HODA PRITISKIVAČA EKSCENTARSKIH PRESA

Rezi me

Ostvarenje promenljivosti hoda pritiskivača na ekscentarskim presama se ostvaruje umetanjem ekscentarske čaure između velike pesnice klipnjače i rukavca ekscentarskog ili kolennastog vratilala. Usled neusaglašenosti vrednosti ekscentriciteta ekscentarske čaure i ekscentarskog vratila moguće je pojava da pri određenom zaokretanju ekscentarske čaure u odnosu na ekscentarsko vratilo, pritiskivač ostvaruje suprotno kretanje u jednom radnom ciklusu, tj. zaustavlja se u spoljašnjoj mrtvoj tački. U tom slučaju radni ciklus se odvija kretanjem pritiskivača od spoljašnje mrtve tačke ka unutrašnjoj mrtvoj tački, da bi se zaustavio u spoljašnju mrtvu tačku.

U radu je prikazan matematički postupak definisanja uslova koji mora biti ispunjen da bi se eliminisala ova neželjena pojava, kao i definisano rešenje problema u takvim slučajevima. Kao baza za analizu poslužili su eksperimentalni rezultati jedne ekscentarske prese.

1. UVOD

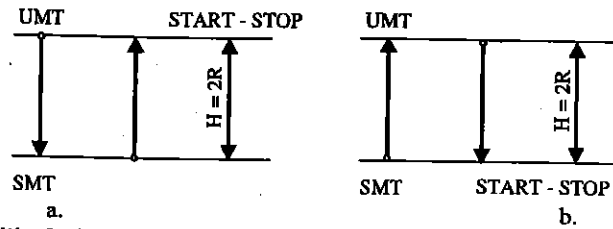
Na jednoj mehaničkoj krivajnoj presi stare proizvodnje, nepoznatih karakteristika, u pogonu Fabrike zaštitnih sredstava Co. TRAJAL iz Kruševca, prilikom ispitivanja vršena je promena hoda pritiskivača. Prilikom te promene je konstatovano da pri određenom zaokretanju ekscentarske čaure u odnosu na ekscentarsko vratilo, pritiskivač je ostvarivao suprotno kretanje u jednom radnom ciklusu, tj. zaustabljao se u spoljašnjoj mrtvoj tački SMT, pa se radni ciklus odvijao kretanjem pritiskivača od SMT ka unutrašnjoj mrtvoj tački (UMT), da bi se zaustavio u SMT, što je šematski prikazano na slici 1., ispravno kretanje pod a. i neispravno kretanje pod b.

Ovo ukazuje na to da je ekscentarska čaura urađena van propisa, što sledi iz niže navedenog objašnjenja.

Nezavisno od iznetog problema od interesa je na ekscentarskim presama sa promenljivim hodom optimalno odrediti dijapazon promene veličine hoda izvršnog dela mašine, odnosno: H_{max} i H_{min} .

*Dr Predrag Popović, red.prof. u penziji, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu
Dr Dragan Temeljkovski, van. prof. Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu
Dr Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu Univerziteta u Kragujevcu

Zoran Punoševac, dipl.maš.inž., direktor proizvodnje Fabrike zaštitnih sredstava Co. TRAJAL iz Kruševca



Slika 1. Odvijanje radnog ciklusa: a. - ispravno i b. - neispravno.

2 PROMENLJIVOST HODA PRITISKIVAČA EKSCENTARSKIH PRESA

Ostvarenje promenljivosti hoda pritiskivača na krivajnim presama se ostvaruje umetanjem ekscentarske čaure između velike pesnice klipnjače i rukavca ekscentarskog ili kolenastog vratila, kako je šematski prikazano na slici 2. Ako je α_i ugao zaokretanja ekscentarske čaure u odnosu na rukavac kolenastog vratila, tada je:

$$R_{\max} = e_v + e_\varepsilon \quad \text{za } \alpha_i = 0^\circ \quad (1)$$

$$R_{\min} = e_v - e_\varepsilon \quad \text{za } \alpha_i = 180^\circ \quad (2)$$

$$R_i = \sqrt{e_v^2 + e_\varepsilon^2 + 2 \cdot e_v \cdot e_\varepsilon \cdot \cos \alpha_i} \quad \text{za } 0 < \alpha_i < 180^\circ \quad (3)$$

Kada se znaju ekstremne vrednosti hodova, ekscentriciteti vratila i čaure se nalaze iz izraza:

$$e_v = \frac{1}{2} \cdot (R_{\min} + R_{\max}) \quad (4)$$

$$e_\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot (R_{\max} - R_{\min}) \quad (5)$$

gde su: $H_{\max} = 2 \cdot R_{\max}$ - maksimalni hod;

$H_{\min} = 2 \cdot R_{\min}$ - minimalni hod;

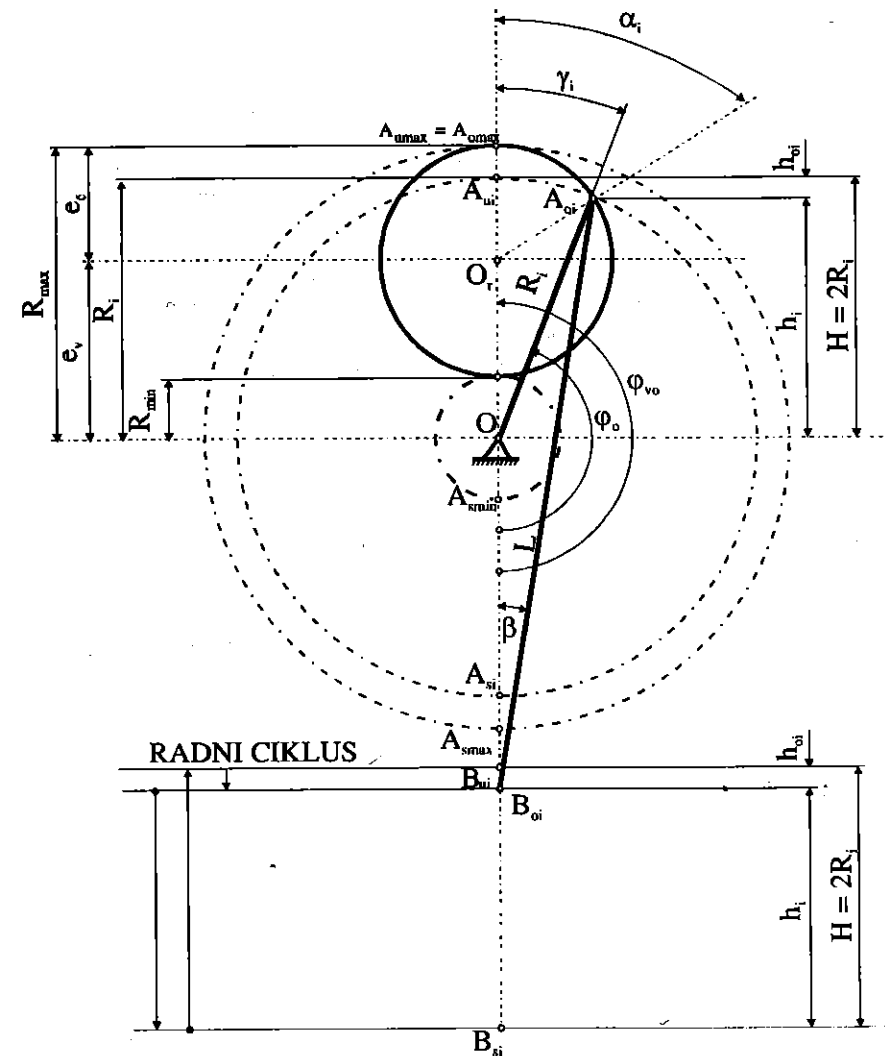
e_v - ekscentricitet vratila i

e_ε - ekscentricitet čaure.

Iz iznetog se vidi da mogu nastati tri slučaja, i to:

ISLUČAJ: $e_v > e_\varepsilon$

U ovom slučaju pri zaokretanju ekscentarske čaure za bilo koji ugao $\alpha_\varepsilon = 0^\circ \div 180^\circ$, kretanje pritiskivača se u jednom radnom ciklusu odvija, sa manjim ili većim odstupanjima, uvek od UMT ka SMT i natrag, kako je prikazano na slici 1. pod a.



Slika 2. Krivajni mehanizam sa ekscentarskom čaurem.

ISLUČAJ: $e_v = e_\varepsilon$

U ovom slučaju je $H_{\min} = 0$, jer je $R_{\min} = 0$, što znači da minimalni hod ne postoji.

U ovom slučaju pri zaokretanju ekscentarske čaure za ugao $\alpha_\varepsilon = 180^\circ$, ipak se kolenasto vratilo okreće, pritiskivač miruje, što nema smisla, pa se u praksi ovaj slučaj ne primenjuje.

III. SLUČAJ: $e_v < e_\varepsilon$

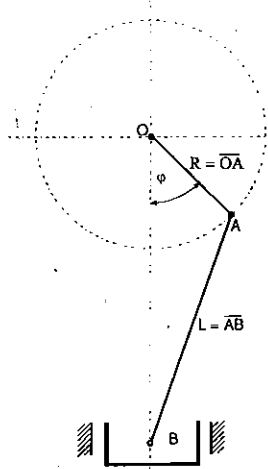
U ovom slučaju pri zaokretanju ekscentarske čaure za ugao $\alpha_\varepsilon = 180^\circ$ i vrednostima koje su mu bliske (zavisi od veličine razlike $e_\varepsilon - e_v$) dolazi do suprotnosmernog kretanja pritiskivača u toku odvijanja jednog radnog ciklusa, kako je prikazano na slici 1. pod b.

Iz ovog proizilazi da je ovaj slučaj nedozvoljen i on ukazuje da je po svoj prilici ekscentarska čaura na ovoj presi pogrešno izrađena.

Pri zaokretanju ekscentarske čaure dolazi do odstupanja zaustavljanja pritiskivača od UMT, što treba imati u vidu. Kočnica je tako podešena da se kolenasto vratilo zaustavlja pri uglu $\varphi_v = 180^\circ$, što je prikazano na krivajnom mehanizmu, slika 3. Međutim pri zaokretanju ekscentarske čaure za ugao α dolazi do promene položaja krivajnog mehanizma za ugao γ_i , što se vidi iz slike 2., jer stvarna krivaja je $R = OA$, pa je ugao φ sada:

$$\varphi = \varphi_v - \gamma_i \quad (6)$$

a ugao γ_i se dobija iz relacije:



Slika 3. Krivajni mehanizam.

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \frac{e_\varepsilon \cdot \sin \alpha_i}{e_v + e_\varepsilon \cdot \cos \alpha_i} \quad (7)$$

odnosno:

$$\gamma_i = \operatorname{arctg} \frac{e_\varepsilon \cdot \sin \alpha_i}{e_v + e_\varepsilon \cdot \cos \alpha_i} \quad (8)$$

gde su: φ_v - ugao rukavca vratila i

φ - ugao rukavca krivajnog mehanizma (stvarnog) koji čini vratilo sa ekscentarskom čaurom.

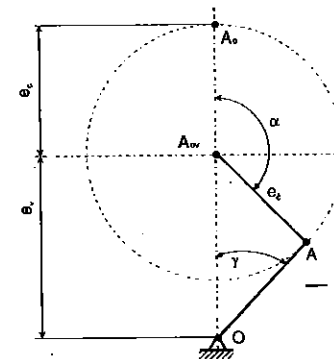
Zaokretanjem ekscentarske čaure oko rukavca vratila, tačka A (centar velike pesnice klipnjače opisuje krug oko ose rukavca vratila poluprečnika e_ε , pa je maksimalno odstupanje pri γ_{\max} , što je prikazano na slici 4.

Iz slike 4. sledi:

$$\sin \gamma_{\max} = \frac{e_\varepsilon}{e_v} \quad (9)$$

$$\gamma_{\max} = \operatorname{arcsin} \frac{e_\varepsilon}{e_v} \quad (10)$$

Kada je $e_\varepsilon = e_v$ tada i ugao $\gamma_{\max} \rightarrow 90^\circ$.



Slika 48. Krivajni mehanizam.

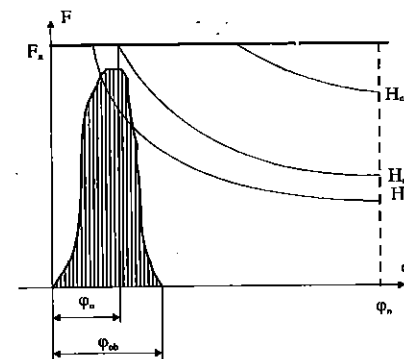
3. RADNI DIJAGRAM I ZTVARNI ZAKON OPTEREĆENJA PRESE

Polazeći od radnog dijagrama mašine, prikazanog na slici 5., raspoloživi rad mašine je:

$$W_r = F_n \cdot h_n \quad (11)$$

Naime, deklarisanom nominalnom hodu prese (H_n) odgovaraju deklarisani nominalni obrtni moment (M_n) i deklarisan nominalna sila (F_n), čime je definisan (φ_n).

Imajući u vidu stvarne dijagrame opterećenja, a u zavisnosti od namene mašine, preko potrebnih putanja obrade (h_{ob}), dolazi se do ugla (φ_{ob}) i maksimalne deformacione sile, što sve postavljajući uslove da se ne smeju prekoračiti raspoloživa energija i nominalna sila, mogu definisati maksimalne i minimalne vrednosti hoda.



Slika 5. Radni i stvarni dijagram opterećenja

4. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Ako je aktivni radni prostor definisan hodom izvršnim delom mašine (H), tada je neophodno obezbediti korekciju momenta aktiviranja kočnice pri promeni hoda za veličinu ugla (γ).
2. Maksimalni i minimalni hod izvršnog dela mašine mora se definisati na osnovi stvarnih opterećenja kojima će ista biti izložena u eksploataciji, imajući pri tome sve izneto u ovom radu.

5. LITERATURA

- /1/ P. Popović, Mašine za obradu deformisanjem - I deo, Univerzitet u Nišu, Niš, 1991.
/2/ D. Temeljovski, P. Popović, M. Manić, S. Jovanović, Izveštaj sa ispitivanja ekscentarskih presa, Institut Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Niš, 1994.

P. Popović, D. Temeljovski, Lj. Đorđević i Z. Punoševac

CONTRIBUTION TO THE DETERMINATION OF THE RANGE OF CHANGE OF THE ECCENTRIC PRESSES' RAM STROKE

Summary

In order to achieve the eccentric presses' ram stroke VARIABILITY it is necessary to implement eccentric bush between the crosshead end of the piston rod and the neck of the eccentric or crank shaft. Due to maladjustment of the eccentricity value between the eccentric bush and the eccentric shaft it is possible that a certain turn of the eccentric bush with respect to the eccentric shaft causes the ram to move into the opposite direction in one working cycle, that is to stop at the external dead center. In that case, the working cycle is carried on by the ram movement from the external dead center to the internal dead center until it stops at the external dead center.

The paper presents the mathematical procedure for defining the conditions that should be fulfilled in order to eliminate this undesired phenomenon, as well as to obtain the defined problem solution in such cases. The experimental results obtained at one eccentric press were used as the basis for the above-mentioned analysis.



S. Randelović, dr V. Stoilković¹

PRIMER JEDNOSTAVNIJE ANALIZE PROCESA DEFORMISANJA POMOĆU RAČUNARA

Rezime

Izučavanje teorije deformisanja ima sasvim jednu drugu dimenziju ako se deo istraživanja i analize procesa prati pomoću savremenih alata. Sada već široko rasprostranjen računar pruža mogućnost za kvalitetniju analizu rezultata. U radu se daje prikaz i opis jednog programskog paketa koji obuhvata: analizu napona i deformacija, određivanje krivih očvršćavanja, praćenje naponskog stanja pri sabijanju i varjante sabijanja. Program pruža mogućnost za grafičku analizu rezultata kao i dobijanje karakterističnih veličina i parametara deformisanja. Osnovna prednost jednog ovakvog pristupa je njegova otvorenost za komunikaciju prema drugim korisničkim programima ispod WINDOWS okruženja, kao i proširenje i uključivanje ostalih postupaka obrade deformisanjem.

1. UVOD

Uspešna analiza postupaka obrade deformacijom podrazumeva što tačnije određivanje naponsko - deformacionog stanja u svakom trenutku procesa. Da bi se to ostvarilo neophodno je poznavati tačne vrednosti ulaznih parametara procesa (mehaničke karakteristike materijala, fizičko hemijski uslovi procesa deformisanja, karakteristike alata i sl.). Gotovo najvažniji parametar, od gore navedenih, je specifični deformacioni otpor $K[N/mm^2]$ datog materijala. Naime, efekat očvršćavanja materijala u procesu plastičnog oblikovanja neizbežno prati svaki proces deformisanja. Određivanje njegove vrednosti direktno utiče na veličinu i tačnost ostalih parametara procesa deformisanja (sile deformisanja, deformacionog rada, dimenzionisanje alata i sl.). Zavisnosti specifičnog deformacionog otpora od stepena deformacije daju krive očvršćavanja. Za njihovo određivanje postoji veći broj eksperimentalnih metoda koje daju tačne zavisnosti u oblastima relativno malih stepena deformacije (0,3 eventualno 0,7). Iz tih razloga se uvode linearne i stepene aproksimacije zavisnosti specifičnog deformacionog otpora od pokazatelja deformacije. Stepenn deformacije može se izraziti preko relativne deformacije ϵ - krive prvog reda, kontrakcije poprečnog preseka ψ - krive drugog reda i logaritamske deformacije ϕ - krive trećeg reda. Pri postupcima istezanja probnih epruveta u

¹ Saša Randelović, asistent pripravnik Mašinskog fakulteta u Nišu,
dr Vojislav Stoilković, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš.

materijalu vlada jednoosno naponsko stanje, glavni napon po dužini σ_1 jednak je intenzivnosti napona σ ; a glavna deformacija $\epsilon_1(\phi_1)$ jednaka je intenzivnosti deformacije $\epsilon_i(\phi_i)$, uz činjenicu da problem trenja ne postoji. Međutim, oblast u kojoj može da se prati ravnomerno smanjenje poprečnog preseka epruvete uz povećanje sile dosta je smanjena zbog vrlo brze pojave lokalnog suženja i pucanja epruvete. U cilju dobijanja specifičnog deformacionog otpora i za veće stepene deformacije koriste se gore navedene aproksimacije:

kriva prvog reda:

$$K = R_m(1 + \epsilon) \quad K = R_m(1 + \epsilon_m) \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_m} \right)^{1 + \epsilon_m}$$

kriva drugog reda:

$$K = \frac{R_m}{(1 - \psi_m)^2} (1 - 2\psi_m + \psi) \quad K = \frac{R_m}{1 - \psi_m} \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^{1 - \psi_m}$$

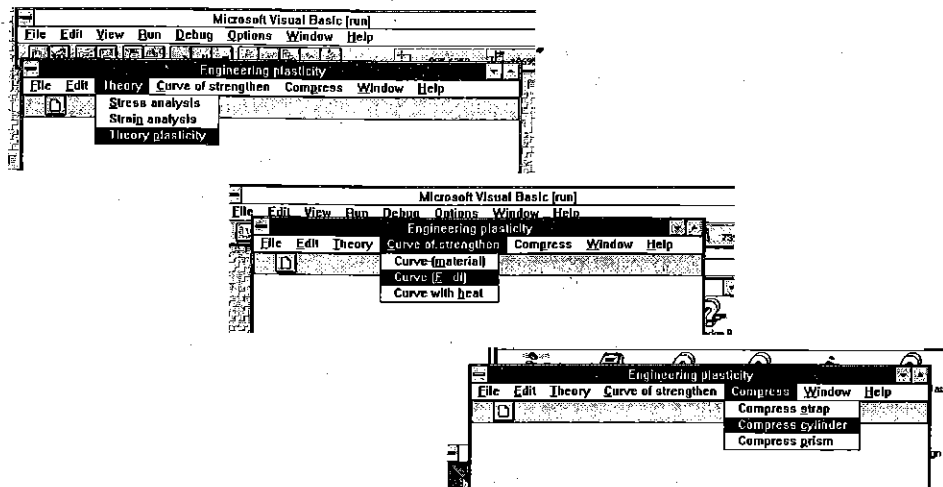
kriva trećeg reda:

$$K = R_m e^{\phi_m} (1 - \phi_m + \phi) \quad K = R_m e^{\phi_m} \left(\frac{\phi}{\phi_m} \right)^{\phi_m}$$

U navedenim izrazima koji aproksimiraju krive očvršćavanja javljaju se kao nepoznate veličine σ_m i ϵ_m . Njihovim određivanjem dobija se jednačina tražene aproksimacije. Od te činjenice se i krenulo u formiranju jednog programskog paketa koji bi pojednostavio samo dobijanje i analizu dobijenih aproksimacija krivih očvršćavanja.

2. STRUKTURA PROGRAMA

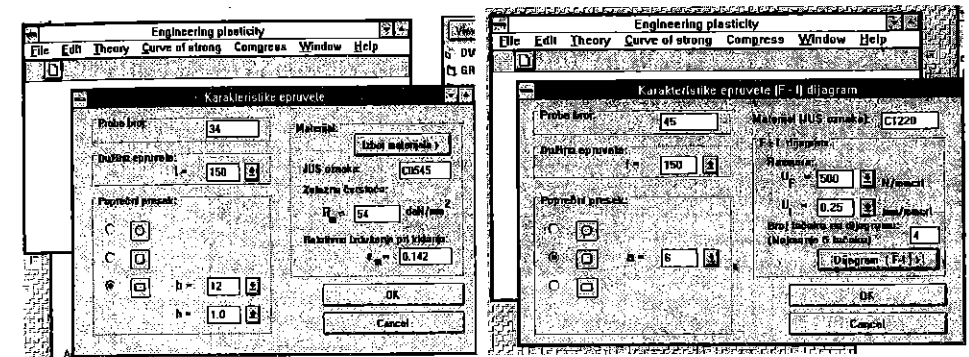
Programski paket je zamišljen kao celina pod nazivom Engineering Plasticity koji obuhvata nekoliko celina iz osnova teorije plastičnosti (sl.1). Tu je pre svega teorija napona i deformacije (Stress and Strain analysis), pa potom analiza krivih očvršćavanja u zavisnosti od



Sl.1 Ulazni meni programskog paketa

ulaznih parametara koji su zadati (Curve (material), Curve (F-DI)), kao i analiza očvršćavanja pri povišenim temperaturama (Curve with heat). Na kraju se daje i analiza procesa sabijanja beskonačne trake, prizme i cilindar, (Compress strap, cylinder, prism) kroz poznate varijante sabijanja za vreme odvijanja procesa. Sve to u prepoznatljivom Windows okruženju ostavlja sasvim jedan novi utisak pri radu.

Kod analize procesa očvršćavanja i dobijanja krivih očvršćavanja pošlo se pre svega od toga čime se raspolaže na ulazu. Uz pretpostavku da se radi o probi na istezanje postoji mogućnost zadavanja geometrijskih karakteristika epruvete. Potom sledi unošenje podataka o materijalu ili pretraživanje jedne male baze podataka sa poznatim materijalima najčešće korišćenim u oblasti deformisanja (čelik, laki metali i teški metali). Baza pruža dosta podataka o datom materijalu (oznake po standardima, mehaničke karakteristike, hemijski sastav po elementima i sl.) ali postoji i mogućnost unošenja novih materijala koji ne postoje. Sve to koristi za dobijanje poznatih podataka o datom materijalu (σ_m i ϵ_m). Osim ovoga postoji još jedan pristup koji polazi od činjenice da za datu probu, odnosno epruvetu postoji snimljen F-DI dijagram i da odatle postoji mogućnost dobijanja konkretne vrednosti σ_m i ϵ_m za dati materijal (sl.2). Karakteristike epruvete takođe je neophodno uneti, kao i oznaku materijala date probe, a zatim sledi unošenje veličina sa pomenutog dijagrama za željeni broj tačaka u cilju što tačnije aproksimacije. Sve to naravno podrazumeva unošenje pratećih parametara razmere za silu i izduženje u cilju adekvatnosti traženih rezultata sa ulaznim parametrima.



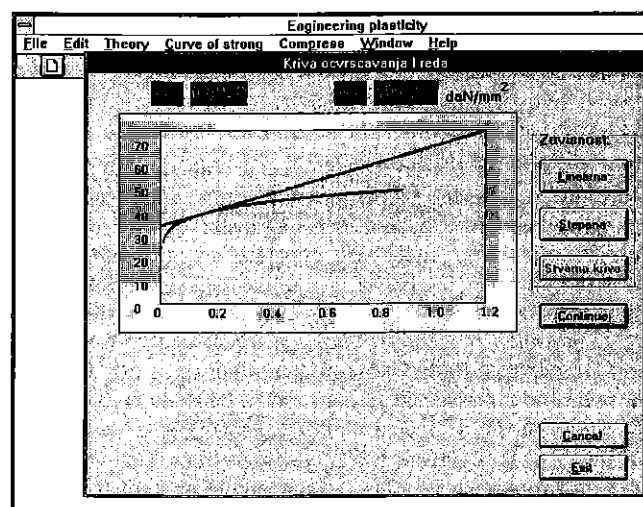
a) za poznati materijal

b) za poznatu karakteristiku F-DI

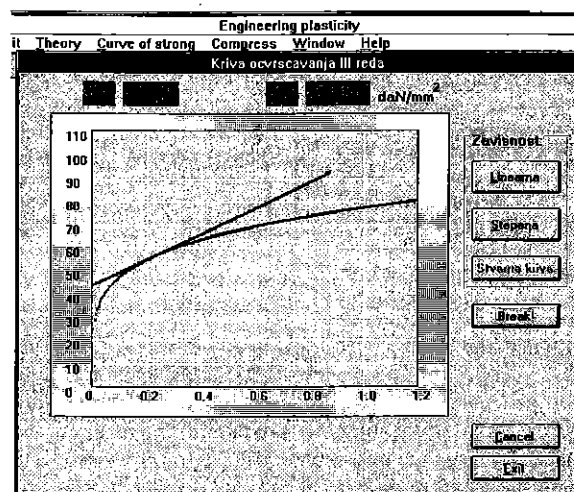
Sl.2 Meni za unos početnih podataka

Već na sledećoj formi koja zamenjuje predhodnu mogu da se vide neki rezultati na osnovu unetih podataka, kao i mogućnost izbora prikaza tražene krive za odgovarajuću probu. Na ovoj formi korisnik se odlučuje da li se traži kriva prvog odnosno drugog ili trećeg reda. Nakon izbora otvara se poslednja forma u ovom nizu na kojoj se nalazi površina na kojoj se vrši isctavanje krivih očvršćavanja bilo u stepenoj odnosno lineranoj zavisnosti. Ostavljena je mogućnost dobijanja stvarne krive sa pomenutim aproksimacijama naravno do tačke maksimalnog ravnomernog izduženja, odnosno zatezne čvrstoće materijala. Sa ove forme postoji mogućnost povratka na prethodnu formu gde izborom možemo dobiti neku od preostale dve aproksimacije drugog, odnosno trećeg reda.

Treba istaći da program koristi neke od mnogobrojnih prednosti Windows okruženja koje druge platforme ne bi bile u mogućnosti da pruže. Naime interesantno je bilo praćenje isctavanja krive očvršćavanja preko vrednosti pokazatelja deformacije i specifičnog deformacionog otpora preko Textbox - ova u kojima se menja dostignuta vrednost pomenutih veličina.



Sl.3 Forma koja daje tražene aproksimacije (trenutak kada je zaustavljeno iscrtavanje stepene aproksimacije I reda, vrednost specifičnog deformacionog otpora $K=49,439 \text{ daN/mm}^2$ za $\varepsilon = 0,8928$)



Sl.4 Forma koja daje tražene aproksimaciju (trenutak kada je zaustavljeno iscrtavanje linearne aproksimacije i dobijena stepena zavisnost III reda, vrednost specifičnog deformacionog otpora $K=80,694 \text{ daN/mm}^2$ za $\varphi = 1,2$)

Takođe upotreba CommandButton-a Break koji dozvoljava mogućnost trenutnog prekidanja procesa iscrtavanja i očitavanja dostignute vrednosti traženih veličina (sl.3). Naravno isti Button, nakon prekida dozvoljava nastavak iscrtavanja krivih očvršćavanja. Sve ovo je vezano za vizuelni prikaz na ekranu koga prati izveštaj na papiru. Svi uneti podaci se prosleđuju, zajedno sa dobijenim grafičkim prikazom do izlaznog dokumenta u nekom ot tekst procesora, koji može da se smesti u odgovarajući direktorijum, a po potrebi i da na papiru preko štampača.

3. ZAKLJUČAK

Pomenuta aplikacija predstavlja samo dobru ilustraciju jednostavnih procesa u postupcima deformisanja. Ona daje zadovoljavajuće rezultate za navedene probleme. Svi moduli navedene aplikacije još uvek nisu realizovani ali konačna realizacija podrazumeva međusobnu komunikaciju navedenih delova kao jedne celine. To podrazumeva korišćenje dobijenih rezultata pomenutih aplikacija međusobno u cilju analize složenih postupaka deformisanja. To bi bila prava realizacija mogućnosti i prednosti Windows programiranja za ovakve i slične probleme u oblasti plastične prerade metala.

LITERATURA:

- [1] dr V. Stoiljković, Teorija obrade deformisanjem, 1984. Niš;
- [2] dr B. Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, V izdanje 1988.. Sarajevo;
- [3] Engineering Plasticity, Theory and application to metal forming processes, R.A.C. Slater 1977., London
- [4] Microsoft® Visual Basic, version 3.0, Professional Features Book1, Programming System for Windows

AN SAMPLE OF SIMPLER ANALYSIS OD DEFORMATION PROCES AIDED BY COMPUTER

Abstract

The investigation of deformation theory has got quite diferent dimension, if a part of investigation and analysis process is folowed by modern tools. Now, everywhere available computers enable us to obtain more qualitativeresults analysis. In this paper is given the description of an software which include: stress and strain analysis, deformation the curve of strengthen, monitoring the stress state at the compress and compress variation. This program can be used for graphical results analysis, as well for obtaining characteristic values and deformation parameters. The main advantage of such an process is his communication compatibility with other WINDOWS - software, as well as his extension and inclusion of the other deformation treatment.



Nedeljko Sredić, Marina Miljuš*

**PRILOG ISTRAŽIVANJU OPTIMALNOG ODNOSA PRITISKA I
ZATEZANJA KOD HLADNOG VALJANJA NA MNOGOVALJKASTIM
STANOVIMA**

REZIME

Važnu karakteristiku tehnološkog procesa valjanja sa valjcima malog prečnika predstavlja korištenje velikih specifičnih i totalnih sila zatezanja trake.

Obzirom da se proces obrade deformisanjem može postići različitim naponskim stanjima, moguće je s obzirom na način ostvarenja komponenti naponskog stanja, odrediti optimalno naponsko stanje sa stanovišta minimalnog utroška energije.

U ovom radu je istraživao odnos pritiska i zatezanja sa ciljem definisanja njihovog optimalnog odnosa.

1. VALJANJE SA ZATEZANJEM

Valjanjem tankih limova korištenjem radnih valjaka malog prečnika postiže se smanjenje dužine luka kontakta valjaka sa metalom, što utiče na smanjenje sile valjanja i trenja. Ova pojava omogućuje veće pojedinačne redukcije debljine lima u svakom prolazu. Korištenjem velikih pojedinačnih redukcija smanjuje se uticaj očvršćivanja metala na proces valjanja, te omogućava veliku ukupnu redukciju. Da bi se ovi efekti postigli pri hladnom valjanju na mnogovaljkastim stanovima dolazi do pojave velikih specifičnih pritisaka.

Korištenje zatezanja lima u procesima valjanja s valjcima malog prečnika je veoma bitna karakteristika procesa. Od veličine zatezanja trake veoma mnogo zavise konačna debljina, kvalitet površine, valovitost, sila valjanja, kvalitet namotavanja lima i stabilnost procesa valjanja.

Korištenje visokih specifičnih zatezanja je neophodno radi uklanjanja valovitosti koja nastaje usled neravnomernosti redukcije po širini trake uzrokovane anizotropijom fizičko-mehaničkih osobina trake ili ukošenjem radnih valjaka u toku valjanja. Preraspodelom zatezanja na delovima trake sa manjom redukcijom (zategnuti deo) naprezanje dostiže područje plastičnosti i vrši izjednačavanje istezanja po širini trake.

U zavisnosti od mehaničkih osobina metala, stepena deformacionog očvršćavanja, debljine i kvaliteta ivica trake specifično zatezanje se kreće u granicama 10 do 70% granice razvlačenja ($\sigma_{0.2}$)⁽¹⁾.

* Nedeljko Sredić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet Bawaluka, S. Stepanovića 75;
Marina Miljuš, dipl. inž. el., Univerziteti računski centar Banjaluka, S. Stepanovića 75

Povećanje zatezanja omogućava postizanje malih redukcija korištenjem manjih pritisaka, odnosno veće redukcije pri malom pritisku.

U ovom radu kvantifikovan je uticaj zatezanja na veličinu pritiska metala na valjke za valjanje čelika Č.0147, na dvadeset valjkastom valjačkom stanu prečnika radnog valjka 63 mm i širine trake 1280 mm.^[4]

1. ODREĐIVANJE PRITISKA METALA NA VALJKE

Prvo analitičko rešenje problema pritiska koji deluje na valjak dao je Karman (1925.god), svojom diferencijalnom jednačinom ravnoteže sila :

$$\frac{dp_x}{dx} - \frac{k}{y} \cdot \frac{dy}{dx} + \frac{t_x}{y} = 0$$

gde se + odnosi na zonu zaostajanja, a - za zonu preticanja.

Nakon Karmana niz naučnika je pokušavao da ovaj kompleksni problem reši na način pogodan za primenu u praksi, prilagođen postupcima valjanja. Navodimo neke autore koji su se bavili ovim problemom: Celikov, A. I., Ekelund, E. Zibel, A. N. Nadai, Poluhin P. I., Tretjakov A. V., Sims R.B., Tarnovski I. J., H. Ford i drugi.^[2]

Za izračunavanje pritiska na valjke kod valjanja sa valjcima malog prečnika testirane su i upoređivane dve metode za proračun i to:

- proračun po Tretjakovu^[1]
- proračun po metodi Himiča, korištenjem formula Stouna i Celikova^[3]

2.1. Proračun po Tretjakovu

Pri proračunu po ovoj metodi se uzima u obzir da je promena granice tečenja parabolična.

$$p_{sr} = \frac{1}{\Delta h} \left\{ \left[\frac{K_1 \zeta_1}{2 + \delta} - A \frac{h_1^2}{\delta(\delta - 1)(2 + \delta)} \left(\frac{h_N^{2+\delta}}{h_1^{1+\delta}} - h_1 \right) + \left[\frac{K_0 \zeta_0}{2 - \delta} + Ah_0 \left(\frac{h_0}{\delta + 1} + \frac{h_1}{\delta} \right) \frac{1}{2 - \delta} \right] \right. \right. \\ \left. \left. h_0 - \frac{h_N^{2-\delta}}{h_0^{1-\delta}} \right) + \frac{A}{3} \left(\frac{2\delta}{\delta^2 - 1} h_N^3 - \frac{1}{\delta - 1} h_1^3 - \frac{1}{\delta + 1} h_0^3 \right) + \frac{Ah_1}{\delta} \left(\frac{h_0^2 + h_1^2}{2} - h_N^2 \right) \right\}$$

gdje je:

Δh - apsolutna redukcija $\Delta h = h_0 - h_1$ [mm]

h_0 - ulazna debljina trake [mm]

h_1 - izlazna debljina trake [mm]

p_{sr} - srednji specifični pritisak metala na valjke [N/mm²]

$K_0 = 1,15\sigma_{s0}$ - početni deformacioni otpor trake na ulazu u valjke [N/mm²]

K_1 - deformacioni otpor trake na izlazu iz valjaka [N/mm²]

$\zeta_0 = 1 - (\sigma_0/K_0)$, σ_0 - zadnje specifično zatezanje [N/mm²]

$\zeta_1 = 1 - (\sigma_1/K_1)$, σ_1 - prednje specifično zatezanje [N/mm²]

$$\delta = 2\mu/\Delta h$$

μ - koeficijent trenja trake i valjaka

$l = \sqrt{R\Delta h}$ (u I iteraciji) - dužina dodirnog luka [mm]

R - poluprečnik radnog valjka

$l = \sqrt{R\Delta h + X_2^2 + X_2}$ - (u narednim iteracijama)

X_2 - povećanje dužine luka zahvata usled elastične deformacije valjka

$X_2 = 8p_{sr}(1 - \mu_1^2/\pi E_1 + 1 - \mu_2^2/\pi E_2)R$

μ_1, μ_2 - koeficijenti trenja trake i valjka

E_1, E_2 - moduli elastičnosti trake i valjka

$A = 2(K_1 - K_0)/\Delta h^2$ [N/mm⁴]

h_N - debljina neutralnog sloja

$h_N = \sqrt[2.6]{\zeta_0/\zeta_1} h_0^{\delta-1} h_1^{\delta+1}$ [mm]

2.2 Proračun po metodi Himiča

Po metodi Himiča korištene su formule Stouna Celikova za izračunavanje dužine zahvatnog luka i specifičnog pritiska metala na valjke.

Proračun počinje korištenjem empirijskih formula za izračunavanje dužine zahvatnog luka u prvoj iteraciji. Za izbor formule odlučujuća je vrijednost faktora X_1 .

$$X_1 = \frac{10320R\Delta h \left(\frac{\mu}{h_0 + h_1} \right)^2 + 618}{35,4 - A \left(\frac{\mu}{h_0 + h_1} \right)}$$

$$A = R \left[1,55 \cdot 10^{-1} (2k - \sigma_s) - 148\Delta h \frac{\mu}{h_0 + h_1} \right]$$

gdje je

$2k = 1,15 \sigma_s$ - deformacioni otpor [N/mm²]

$\sigma_s = \sigma_{s0} + \sigma_{s1} / 2$ - srednja granica razvlačenja [N/mm²]

σ_{s0} - granica razvlačenja materijala na ulazu u valjke [N/mm²]

σ_{s1} - granica razvlačenja materijala na izlazu iz valjka [N/mm²]

Ako je X_1 manji od 40 koristi se sljedeća formula za (l) u prvoj iteraciji:

$$l = (0,103X_1^2 + 6,15X_1) 10^{-3} \frac{h_0 + h_1}{\mu}, \text{ gdje je}$$

$$X_2 = \frac{\mu}{h_0 + h_1} \left(A + \sqrt{A^2 + 2,07 \cdot 10^4 R\Delta h} \right)$$

Ako je X_1 između 40 i 53 koristi se sljedeći izraz za l:

$$l = (0,238X_1^2 + 0,75X_1) 10^{-3} \frac{h_0 + h_1}{\mu} \text{ [mm]}$$

Ako je X_1 veći od 53, koristi se sledeći izraz za l:

$$l = (0.0367X_3^3 + 1.23) \frac{h_0 + h_1}{\mu} \text{ mm.}$$

gde je :

$$X_3 = B \cdot \sqrt{B^2 - 3100.74 - 3698 \cdot \Delta h \left(\frac{\mu}{h_0 + h_1} \right)^2}$$

$$B = 60 - 0.179 \cdot A \cdot \frac{\mu}{h_0 + h_1}$$

Pritisak metala na valjke računa se po sledećoj formuli:

$$p_n = 2k \frac{1}{\Delta h} \left\{ \xi_0 \frac{h_0}{\delta - 2} \left[\left(\frac{h_0}{h_N} \right)^{\delta - 2} - 1 \right] + \xi_1 \frac{h_1}{\delta + 2} \left[\left(\frac{h_1}{h_N} \right)^{\delta + 2} - 1 \right] \right\}$$

gde je :

$$\xi_0 = 1 - \frac{\sigma_0}{2k}$$

$$\xi_1 = 1 - \frac{\sigma_1}{2k}$$

(Ostale veličine se računaju kao kod proračuna po Tretjakovu.)

U sledećim iteracijama dužina luka zahvata računa se po izrazu :

$$l = 0.525 \cdot 10^{-5} p_{sr} D + \sqrt{0.5D \cdot \Delta h + (0.525 \cdot 10^{-5} p_{sr} \cdot D)^2}$$

D - prečnik radnog valjka.

Testiranjem ove dve metode došlo se do zaključka da obe formule daju rezultate koji neznatno odstupaju od izmerenih vrednosti, ali da metoda po Himiću brže dovodi do rezultata, te je ova metoda korištena u daljnim proračunima.

Granica razvlačenja za konkretne slučajeve za Č.0147 računata je na osnovu eksperimentalnih podataka datih u literaturi⁵

3. REZULTATI

Radi utvrđivanja zavisnosti između pritiska i zatezanja vršena su izračunavanja za četiri karakteristična programa valjanja, sa ukupno 14 prolaza. za svaki prolaz izračunavan je pritisak metala na valjke u 5 varijanti, i to :

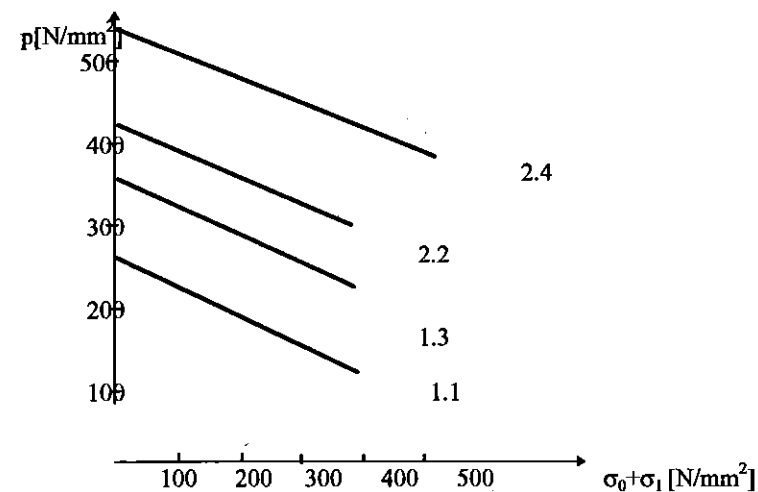
1. varijanta bez zatezanja : $\sigma_0 = \sigma_1 = 0$
2. varijanta sa zadnjim zatezanjem: $\sigma_0 = 0.2\sigma_{s0}$ i varijanta sa prednjim zatezanjem: $\sigma_1 = 0.2\sigma_{s1}$
3. varijanta sa zadnjim zatezanjem: $\sigma_0 = 0.4\sigma_{s0}$ i varijanta sa prednjim zatezanjem: $\sigma_1 = 0.4\sigma_{s1}$
4. varijanta sa zadnjim zatezanjem: $\sigma_0 = 0.6\sigma_{s0}$ i varijanta sa prednjim zatezanjem: $\sigma_1 = 0.6\sigma_{s1}$
5. varijanta sa zadnjim zatezanjem: $\sigma_0 = 0.2\sigma_{s0}$ i varijanta sa prednjim zatezanjem: $\sigma_1 = 2\sigma_0$

Rezultati izračunavanja dati su u tabeli br. 1.

Analizom dobijenih rezultata dolazi se do linearne zavisnosti pritiska i zbira zadnjeg i prednjeg zatezanja, oblika:

$$p = p_0 - 0.553(\sigma_0 + \sigma_1), \text{ gde je :}$$

p_0 - pritisak metala na valjke kod valjanja bez zatezanja za određeni režim valjanja.



Sl. 2. Zavisnost pritiska i zatezanja

Pored ostalih dobrih efekata primene zatezanja, smanjuje se u znatnoj meri i pritisak metala na valjke, uz postizanje tražene redukcije. Pored smišljenog kombinovanja valjačkog sistema (valjci i potporni sklopovi) ⁶ i smanjenje pritiska povoljno deluje na duži vek valjaka i potpornih sklopova.

4. ZAKLJUČAK

Primena velikih zatezanja povoljno utiče na uklanjanje valovitosti, kvalitet površine lima, kvalitet namotavanja, te na smanjenje sile i momenta valjanja.

Težnja je da se primene što veće sile zatezanja. Mogućnost primene većih sila zatezanja je često ograničena kvalitetom ivica trake (kvalitet obrezivanja trake), a ponekad i mogućnostima postrojenja.

Specifična zatezanja se kreću u granicama od 10 do 70 % granice razvlačenja.

Kvantifikovana je zavisnost pritiska i zatezanja i definisana sledećim izrazom :

$$p = p_0 - 0.553 (\sigma_0 + \sigma_1) [N/mm^2]$$

Ovaj odnos pritiska i specifičnog zatezanja će biti od koristi i pri definisanju optimalnog naponskog stanja sa stanovišta minimalnog utroška energije.

LITERATURA

1. Poluhin P.I., Poluhin V.P., Pimenov A.F., Ašihmin D.V., Teplišev P.P., Lajko M.U., *Prokatka na mnogovalkovih stanah*, Moskva 1981.g.
2. Lazarev Jovan, *Otpornost na deformacijata pri ploskata valawe na niskojaglerodnute čelici*, Studentski zbor, Skopje, 1984.g.
3. Himič G.L., Caljuk I.B., *Optimizacija režimov holodnoj prokatki na ECVM*, Metalurgija, Moskva, 1973.g.
4. Z-mill Operation and Maintenance Manual Waterbuty Farrel
5. Stoilković, Vojislav, *Zbirka zadataka sa teorijskim osnovama iz obrade plastičnom deformacijom*, Mašinski fakultet, Niš, 1979.g.
6. N. Sredić Influence of roll diameter on the roll system force distribution Journal for Technology of Plasticity, Vol. 19 (1994.g.) Number 1-2, Novi Sad, 1994.g.

RESUME

Use of large specific and total band tension forces is very important characteristic of rolling production proces by means of small diameter rollers.

In view of the fact that deformity production proces can be realized with diferent tension states, it is possible to determine the optimal tension state from standpoint of minimal energy consumption.

In this paper the relation between pressure and tension is investigated in order to define the optimum rate of it.

Tabela 1. Rezultati izračunavanja

Režim	Prolaz	Debljina lima		Redni broj %	$\sigma_0 = 0.2 \sigma$			$\sigma_1 = 0.4 \sigma$			$\sigma_2 = 0.6 \sigma$			$\sigma_0 = 0.2 \sigma$		$\sigma_1 = 2 \sigma_0$		$\sigma_2 = 0.1 \sigma$		
		ulazno h_0	izlazna h_1		σ_0	σ_1	σ_2	σ_0	σ_1	σ_2	σ_0	σ_1	σ_2	σ_0	σ_1	σ_2	σ_0	σ_1	σ_2	σ_0	$\sigma_1$
1	1.	5.00	4.40	12	42.7	50.3	232.7	85.4	100.6	150.9	135.7	42.7	85.4	214.5	279.6	279.6	279.6	279.6	279.6	279.6
	2.	4.90	3.90	11	50.3	56.7	268.3	100.6	113.4	170.1	156.7	50.3	100.6	244.7	323.3	323.3	323.3	323.3	323.3	323.3
	3.	3.90	3.50	10	56.7	61.7	297.6	113.4	123.4	235.7	173.5	56.7	113.4	273.8	359.1	359.1	359.1	359.1	359.1	359.1
	1.	3.00	2.20	27	42.7	59.8	270.1	85.4	119.6	218.0	160.7	42.7	85.4	261.2	320.4	320.4	320.4	320.4	320.4	320.4
2	1.	2.20	1.70	23	59.8	70.2	346.1	119.6	140.4	275.9	179.5	59.8	119.6	326.1	415.3	415.3	415.3	415.3	415.3	415.3
	2.	1.70	1.30	24	70.2	78.7	405.7	140.4	157.5	322.5	210.6	70.2	140.4	379.3	489.3	489.3	489.3	489.3	489.3	489.3
	3.	1.30	1.00	23	78.7	95.0	461.6	157.5	190.0	357.9	285.0	78.7	157.4	429.3	560.9	560.9	560.9	560.9	560.9	560.9
	4.	1.30	1.00	23	78.7	95.0	461.6	157.5	190.0	357.9	285.0	78.7	157.4	429.3	560.9	560.9	560.9	560.9	560.9	560.9
3	1.	2.50	1.75	30	42.7	61.7	280.2	85.4	123.4	226.4	181.1	42.7	85.4	272.1	332.1	332.1	332.1	332.1	332.1	332.1
	2.	1.75	1.38	21	61.7	71.1	357.2	123.4	142.2	284.5	210.6	61.7	123.4	334.3	431.0	431.0	431.0	431.0	431.0	431.0
	3.	1.38	1.05	24	71.1	79.5	420.1	142.2	159.0	334.1	213.3	71.1	142.2	353.4	507.8	507.8	507.8	507.8	507.8	507.8
	4.	1.05	0.80	24	79.5	85.9	476.4	159.0	171.8	377.5	238.5	79.5	159.0	441.7	577.0	577.0	577.0	577.0	577.0	577.0
4	1.	2.20	1.40	36	42.7	65.6	296.5	85.4	131.2	241.1	196.8	42.7	85.4	290.8	352.4	352.4	352.4	352.4	352.4	352.4
	2.	1.40	1.00	29	65.6	78.1	406.2	131.2	156.2	324.1	196.8	65.6	131.2	384.4	488.7	488.7	488.7	488.7	488.7	488.7
	3.	1.00	0.70	30	78.1	86.0	487.5	156.2	172.0	387.5	234.3	78.1	156.2	456.0	590.1	590.1	590.1	590.1	590.1	590.1

M. Stefanović, S. Aleksandrović, M. Samardžić *)

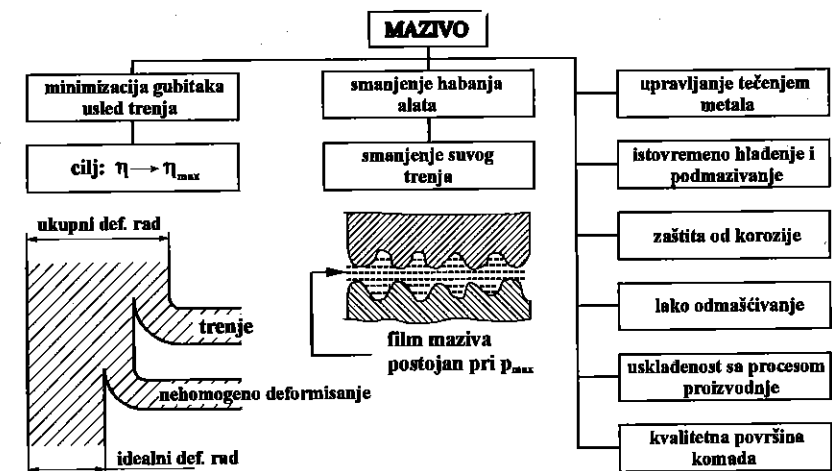
ZNAČAJ DEFORMACIONE ANALIZE PRI OCENJIVANJU KVALITETA MAZIVA ZA DUBOKO IZVLAČENJE

REZIME

Najpotpuniji pokazatelji pri ocenjivanju tehnoloških kvaliteta maziva za duboko izvlačenje uzimaju u obzir realizovano naponsko-deformaciono polje pri oblikovanju. Uopšteno posmatrano, definisani kriterijumi i parametri relevantni za dostizanje granične deformabilnosti, u radu se specijalno koriste za ocenu uticaja tribološkog stanja u kontaktu alata i lima. Navode se rezultati za vrlo različite geometrije izvlačenja, materijale i uslove obrade, pri čemu se pokazana metodologija i dobijeni rezultati mogu uspešno koristiti i u proizvodnim uslovima.

1. UVOD

Pri izvlačenju delova od lima složenog oblika u različitim zonama deformisanja mogu postojati vrlo različiti tribološki uslovi, koje karakterišu i različiti zahtevi prema sredstvu za podmazivanje. Pored osnovne naponsko-deformacione sheme, od značaja su i relativna brzina klizanja, lokalna temperatura, intenzitet prenosa toplote na alat, količina maziva i sl.



Sl. 1 Shematski prikaz uloge maziva [2]

*) Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu
Mr Srbišlav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu
Milica Samardžić, dipl. ing., saradnik, Mašinski fakultet u Kragujevcu

S obzirom na uslove trenja, podmazivanje se redovno odvija u graničnom režimu, pri čemu postoji mogućnost da u toku procesa deformisanja pojedine oblasti klizanja imaju i drugačije režime [1].

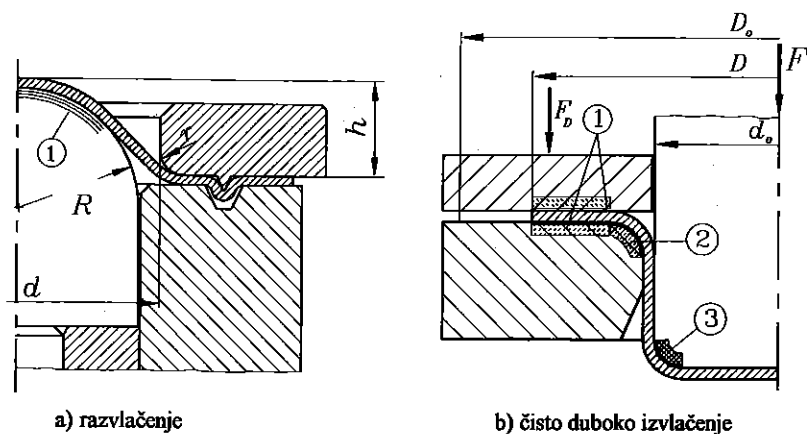
Gubitak energije zbog trenja pri dubokom izvlačenju iznosi 20 do 40 % od uložene energije, uz neizbežne posledice, kao što su nehomogeno deformisanje i habanje alata. Na sl.1 dat je shematski prikaz uloge maziva pri obradi izvlačenjem, sa nizom zahteva koji se postavljaju pri izboru sredstava za podmazivanje [2]. U skladu sa geometrijom komada, vrstom materijala i mašine koji se koriste pri obradi, formirane su i odgovarajuće preporuke za optimalni izbor maziva [3].

2. OSNOVNI TRIBO-MODELI PRI DUBOKOM IZVLAČENJU

U prethodnim radovima autora izvršena je detaljna analiza tribo-modela pri dubokom izvlačenju i sprovedena sistematska selekcija i podela značajnih parametara, prema strukturi izlaznih veličina iz pojedinih triboloških ispitivanja. Definisani tribo-modeli su, prema stepenu složenosti: osnovni-klizanje između ravnih površina matrice i držača, klizanje sa savijanjem i zatezanjem preko ivice matrice, klizanje preko zateznog rebra i složeni-dvostrano zatezanje (razvlačenje) i čisto duboko izvlačenje [4]. Svaki od nabrojanih modela se može uspešno koristiti i kod ocenjivanja maziva, u skladu sa karakteristikama i ciljem ispitivanja.

Za ocenu uticaja tribološkog stanja pri izvlačenju najpotpuniji su parametri III grupe [5], koji predstavljaju "unutrašnje" pokazatelje procesa oblikovanja i pri njihovom određivanju zahteva se poznavanje kritične zone deformisanja. Parametri ove grupe se određuju grafometrijski, uz poznavanje svih elemenata kompleksne deformacione analize (distribucija deformacija po dubini kritičnog preseka, raspodela u dijagramu granične deformabilnosti, definisanje elemenata istorije deformisanja, nagiba trajektorija i sl.).

Pri dubokom izvlačenju limova sa prevlakama, u tribološkom smislu, dolazi do značajnih promena u odnosu na obradu konvencionalnih limova. Antikoroziorna prevlaka, najčešće na bazi cinka ili aluminijuma, mekša je od osnovnog materijala i u regularnim uslovima podmazivanja obezbeđuje smanjenje trenja u kontaktu. Međutim, s obzirom na veliki broj uzastopnih izvlačenja, visokih lokalnih pritisaka i znatnih dužina klizanja, redovno dolazi do odvajanja čestica mekšeg materijala, adhezionog habanja, "galling" pojava i oštećenja površina komada, a ponekad i alata. Podmazivanje u ovakvim uslovima predmet je posebnih izučavanja [6], [7] i neće se u ovom radu detaljnije razmatrati.



Sl.2 Složeni tribo-modeli u obradi dubokim izvlačenjem

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

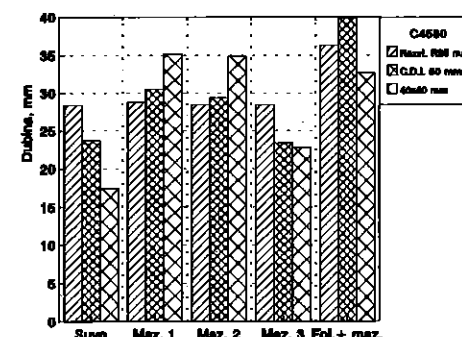
U radu se pokazuju neki rezultati ispitivanja maziva preko složenih tribo-modela, razvlačenjem i čistim dubokim izvlačenjem, prema shemama na sl.2.

Ispitivani materijal je lim debljine 0,7 mm od nerđajućeg čeličnog lima Č4580 (X5CrNi 18 9 po DIN-u), namenjen obradi dubokim izvlačenjem. U tabeli 1 navode se osnovne karakteristike ovog materijala.

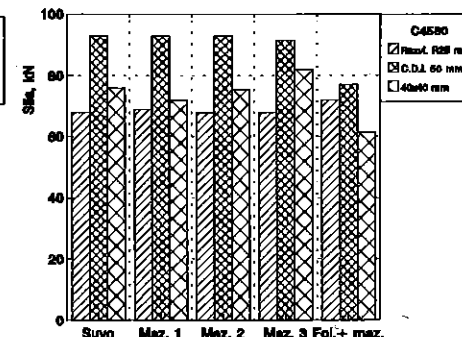
Tabela 1

R_p , MPa	R_M , MPa	A_{80} , %	r	n
309,2	655,8	33,6	1,017	0,343

Ispitivana su tri maziva (M1, M2, M3) različitih proizvođača, a kao granična stanja korišćeni su folija polietilena sa mazivom ("kvazi-hidrodinamičko podmazivanje") i potpuno odmašćene površine ("suvo trenje"). Ispitivanje razvlačenjem je vršeno polusfernim izvlačaćem prečnika 50 mm, a izvlačenja cilindričnim (prečnika 50 mm) i kvadratnim (40x40 mm) izvlačaćem. Prečnici razvijenog stanja su dati na grafičkim prikazima.



Sl.3 Dubine izvlačenja pri korišćenju različitih maziva



Sl.4 Sile izvlačenja pri korišćenju različitih maziva

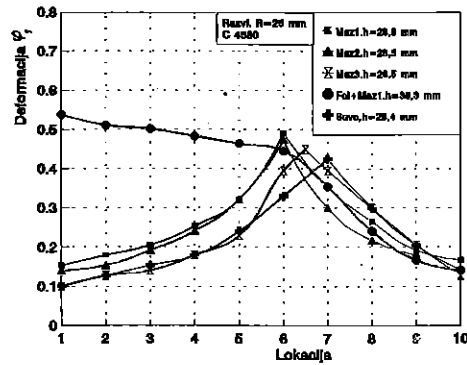
Na sl.3 i 4 pokazane su dubine i sile izvlačenja, kao parametri II grupe, za različita maziva i različite modele ispitivanja. Pri testu razvlačenja, s obzirom da se deformisanje odvija do razaranja, boljem mazivu odgovaraju veće vrednosti dubine i sile razaranja.

Pri ispitivanju dubokim izvlačenjem, razaranje se u uslovima visokog stepena izvlačenja ili pojačanog trenja na obodu odigrava pri većim dubinama izvlačenja; ukoliko je izvlačenje uspešno, boljem mazivu odgovara manja sila izvlačenja.

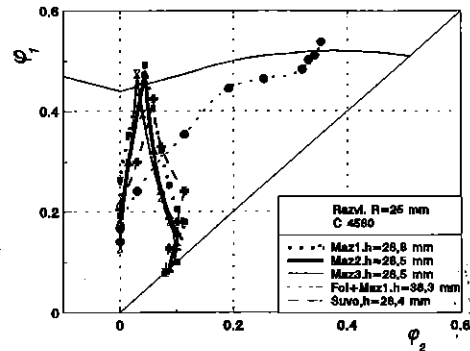
Osnovu svake deformacione analize (lokalne ili integralne) predstavlja distribucija dve glavne linijske deformacije, koja se može predstaviti na razne načine. Najčešće su to zavisnosti u sistemu: glavna deformacija-lokacija mernih mesta na izvučenom komadu (sl.5) ili prikazi u sistemu glavnih deformacija (koordinatni sistem dijagrama granične deformabilnosti, sl.6).

Smanjenom trenju prema sl.5 odgovara ravnomernija raspodela, manje izraženi distribicioni gradijent i razaranje u zoni bliskoj centru komada. Pokazatelji distribucije mogu biti različiti i detaljno su opisani u radu [8].

Boljem podmazivanju odgovaraju visoke vrednosti druge glavne deformacije i približavanje krive distribucije pravcu potpunog ravnomernog deformisanja ($\phi_1 = \phi_2$).

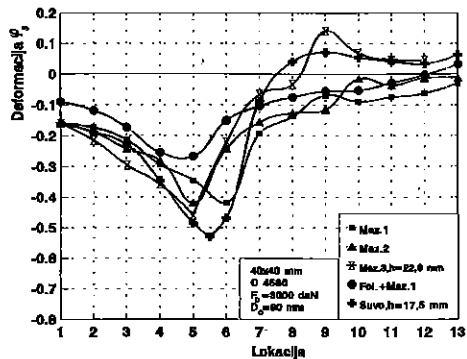


SI.5 Distribucija prve glavne deformacije (razvlačenje)

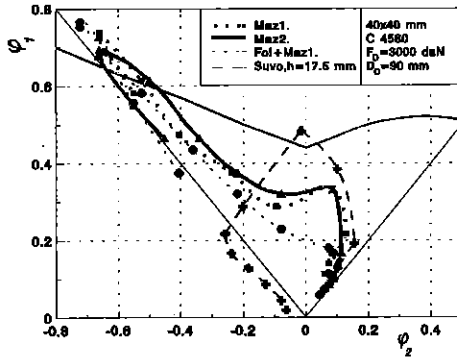


SI.6 Distribucija u sistemu glavnih deformacija (razvlačenje)

Pri čistom dubokom izvlačenju karakteristična je raspodela treće glavne deformacije, po debljini lima, sl.7 i sl.9. Pri slabijem podmazivanju, manje materijala se uključuje u deformisanje u zoni zaobljenja izvlačka, te se razaranje odigrava u uslovima ravanskog naponskog stanja, sl.8 i sl. 10.



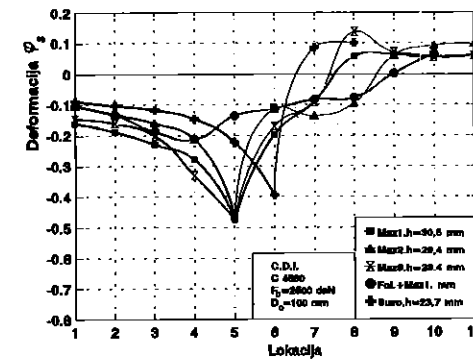
SI.7 Deformacija po debljini lima (izvlačenje, 40x40 mm)



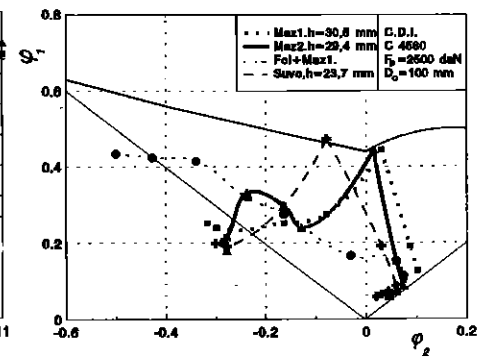
SI.8 Distribucija u sistemu glavnih deformacija (izvlačenje, 40x40 mm)

Najbolja svojstva podmazivanja, posle polietilenske folije, pokazuje mazivo M1. U svim slučajevima mazivo M3 ima najniže pokazatelje kvaliteta.

Sprovedena istraživanja su obuhvatila i verifikaciju u proizvodnim uslovima, rezultate za druge materijale koji se koriste pri dubokom izvlačenju, elemente dopunskih analiza (istorija deformisanja, trajektorije deformacija), i sl.



SI.9 Deformacija po debljini lima (izvlačenje Ø 50 mm)



SI.10 Distribucija u sistemu glavnih deformacija (izvlačenje Ø 50 mm)

4. ZAKLJUČAK

Tribo-modeli razvlačenja i čistog dubokog izvlačenja se uspešno mogu koristiti pri ocenjivanju tehnoloških kvaliteta maziva za duboko izvlačenje, pri čemu su najpotpuniji pokazatelji deformacione analize (tzv. parametri III grupe). Primenjena metodologija je efikasna i u uslovima otežanog podmazivanja, koji postoje pri obradi nerđajućih limova.

Pri ispitivanju razvlačenjem, kvalitetnije mazivo omogućava intenzivnije tečenje u tangencijalnom pravcu, čime se dobija ravnomernija raspodela glavnih deformacija u dijagramu granične deformabilnosti. Ostvarene vrednosti druge glavne deformacije saglasne su sa iznosima dubina pri razaranju.

Realizovane raspodele deformacija po debljini lima i distribucije u sistemu glavnih deformacija u skladu su sa pokazateljima u graničnim uslovima izvlačenja (sila i dubina razaranja). Razlike u distribucijama su direktna posledica kvaliteta maziva, odnosno iznosa trenja na obodu, s obzirom da je podmazivanje vršeno isključivo u ovoj zoni.

IMPORTANCE OF STRAIN ANALYSIS IN EVALUATION OF LUBRICANTS FOR DEEP DRAWING

ABSTRACT

The complete indicators in evaluation of technological qualities of lubricants for deep drawing take into account the realized stress-strain field during forming. Generally considered, the criteria are defined as well as the relevant parameters for reaching the forming limit, and in this paper they are specially applied for evaluation of influence of tribological conditions in contact between tool and thin sheet. The results are presented for very different drawing geometries, materials and forming conditions, where the presented methodology and obtained results can also be very usefully applied in manufacturing conditions.

LITERATURA

- [1] Fogg, B., Modern Developments in Lubrication Theory and Practice for Deep Drawing, Sheet Metal Industries, 5, 1976., 296-304.
- [2] Funke, P., Criteria Governing the selection of lubricants for Sheet Metal Forming, Bleche Rohre Profile, 27, 1980., 394-398.
- [3] Sheet Metal Industries Year Book, 1979, Sheet Met. Ind., Surrey.
- [4] Stefanović, M., Tribologija dubokog izvlačenja, Monografija, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac, 1994.
- [5] Stefanović, M., Razvoj triboloških modela u obradi dubokim izvlačenjem, YUTRIB '91., Kragujevac, 1991., Zbornik radova 135-141.
- [6] Felder, E., Samper, V., Eksperimental study and theoretical interpretation of the frictional mechanism in steel sheet forming, WEAR, 178 (1994), 85-94.
- [7] Simon, J., Siegert, K., Frictional Behaviour and formability of zinc-coated steel sheets, 10th Colloq., Esslingen 1996., 2429-2437.
- [8] Stefanović, M., Ispitivanje maziva postupkom razvlačenja - novi pokazatelji i kriterijumi, Goriva i maziva, 26 (5-6), 1987., 219-228.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Prof. Antoni Świć D. Sc., Prof. Klaudiusz Lenik D. Sc.
Politechnika Lubelska, Poland

THE ECONOMICAL ANALISES OF FRAME WORKING IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM (FMS)

Summary: The way of definition suitability of processing in flexible manufacturing systems without technological designing was presented. For this purpose a method of defining article complexity and price and time of manufacturing dependance on product complexity, production program and batch quality were worked out. A reasonable and optimal area of FMS application was shown.

INTRODUCE

The economical purposefulness in general case of working in flexible manufacturing system (FMS) can be definite by:

- workpiece set; for which, will be design and build FMS,
- real (existing) system.

It is possible on condition that:

- the workpiece had been worked; the technology, which is worked out the FMS, we can compare with something,
- the workpiece are first time introduce into production.

In both case, is advantageous to dispose possibility of definition for purposefulness of working in the FMS. For this workpiece we won't design manufacturing process; for example; in the pre- classification of work in machining.

I. THE DEFINITION OF PURPOSEFULNESS OF WORKING IN THE FMS

I.1. The comparison production technology in the FMS to basic alternative

The most simple method of definition of purposefulness working in the FMS; it is comparison manufacturing process: for basic and for this, which are worked out in the FMS. The necessary characteristics of manufacturing process for the FMS we can get through the simulation of working in the FMS.

The findings permit to definite working costs (K) and working time (T) for the lot of work which are analysed. Their comparison with analogical data of the basic process permit to eliminate from our analyses some work groups. We eliminate such work for which parameters K and T in the basic process are smaller than the FMS.

For every alternative of machine tool subsystem they definite the working cost for every lot of work:

$$K_{FMS} = \frac{GK_{PO}}{W_z * UPO_{KS}} * \frac{T_p}{60} + IKR * IPS * WS + IKM * IP + GKP * WP \quad (1)$$

and: K_{FMS} - working cost for lot of work in the FMS,

G_{KPO}- hourly costs of work for machine tool subsystem (for single - shift work of system),

W_Z- quantity shift work of system,

UPO_{KS} - machine tool subsystem participation in costs of system,

T_p- working time for lot of work in system,

IKR - unit costs of labour force,

IPS- number of worker in system,

WS- reduction coefficient of worker number in system; in comparison to basic alternative,

IKM- unit cost of material,

IP- workpiece number in lot of production,

GKP- hourly costs of operating of square metre area, which is taken up by system,

WP- area, which is taken up by FMS.

Cost (K_b) and time (T_b) for basic alternative is even:

$$\begin{aligned} K_b &= IKP * IP \\ T_b &= t_{pz} * IP \end{aligned} \quad (2)$$

and: IKP- unit costs lot of work,

IP- workpiece number in lot work,

t_{pz}- setup time,

t_p- standard time.

The workpieces, for which K_{FMS} > K_b and T_{FMS} > T_b are eliminated, for residual (according to machine tool groups) they have calculated:

$$K_{RO} = \sum_{i=1}^n K(ZP_n) \quad \text{and} \quad T_{RO} = \sum_{i=1}^n T(ZP_n) \quad (3)$$

and: K_{RO}, T_{RO}- as appropriate: working cost and time for the machine tool group, which is considered.

The working process for machine tool will be best, (according K and T) if:

$$K = \min \sum_{i=1}^n K(ZP_n) \quad , \quad T = \min \sum_{i=1}^n T(ZP_n) \quad (4)$$

I.2. The definition of purposefulness of working in the FMS; on the base of workpiece complexity

The purposefulness of working we can definite on the base of their complexity [2], by take into account of function dependence between costs, time and complexity, productive program, lot of work [1,3]. The workpiece complexity enclose: shape and overall dimensions, working accuracy and reciprocal position, roughness and arrangement of work surface on workpiece. An analyses of method for definition of workpiece complexity, which are used by working on the numerically controlled machine, we can adapt for the FMS; it has presented, that every from their have other property of complexity. Complexity growth aren't equiprobable for different methods, we can't by their used to definite of workpiece suitability for the FMS. In connexion with this, it was necessary to work out new method.

The complexity of machine element they have defined by support one or two indexes- table 1.-On every side of machine element we can separate a little parts: planes, holes and threads. The complexity of machine element, it is coproduct of complexities this parts. An analyses present, that on the degree of complexity of elements influence the following factors:

Planes: roughness, accuracy, dimension in X- axis, dimension in Y- axis.

Holes: diameter, length, roughness, L/D ratio, passageness.

Threads: thread profile, diameter, pitch of thread, length.

They have defined working time for part of workpiece. The main time of working is defined by roughness and overall dimensions. The auxiliary time of working is defined by lot of work and accuracy. We can set up, that workpiece complexity is proportional to working time.

For all production technology elements and for whole workpieces needs to definite working time, which will be definite complexity of workpiece.

For workpieces, for which we know production program and lot of work occur limiting complexity (Z_{gr}) - after reach her, working in the FMS will be profitable. The limiting complexity definite so, the profitable threshold of working in system.

For definition of limiting complexity of workpiece in the FMS, we have definite the unit working cost, by different lot of work in system and for basic alternative. The obtain results

Table 1. The comparison of method for calculation of complexity.

	The name of method	or her	number	
	Method I	The proportional method of workpiece complexity to number of pass	The „gravimetric” method	The „blocks” and „composition” method
The command of production technology	No	Yes	Yes	Yes
The complexity of command of method	very simple	simple	simple	hard
The units, in which, complexity is calculated	conventional	number of pass	conventional	conventional
The labour demand of calculation	very low	low	low	medium
The parameters of workpiece which are analysed	R _a	number of pass	R _a , number of pass	The geometrical parameters in low grade, R _a tolerance, overall dimensions

permit to establish functional dependence between working cost and working time to lot of work, complexity and production program. Workpiece, which complexity Z is bigger than Z_{gr}, they have met requirements for working in the FMS (his working will be profitable) fig. 1. The limiting complexity we have definite for real FMS and for representative workpiece group such, that obtain result they can be to relate to whole workpiece set, which are worked in system.

II. THE DEFINITION OF RATIONAL FIELD FOR USED OF THE FMS

The best working will be then, if we obtain maximal effect (K_{min} - minimal working cost, T_{min} - minimal working time). Cost and time working, they are variable input functions. RO - machine tool group which are used in process,

Z - complexity of workpiece,
 P - production program,
 N - lot of work

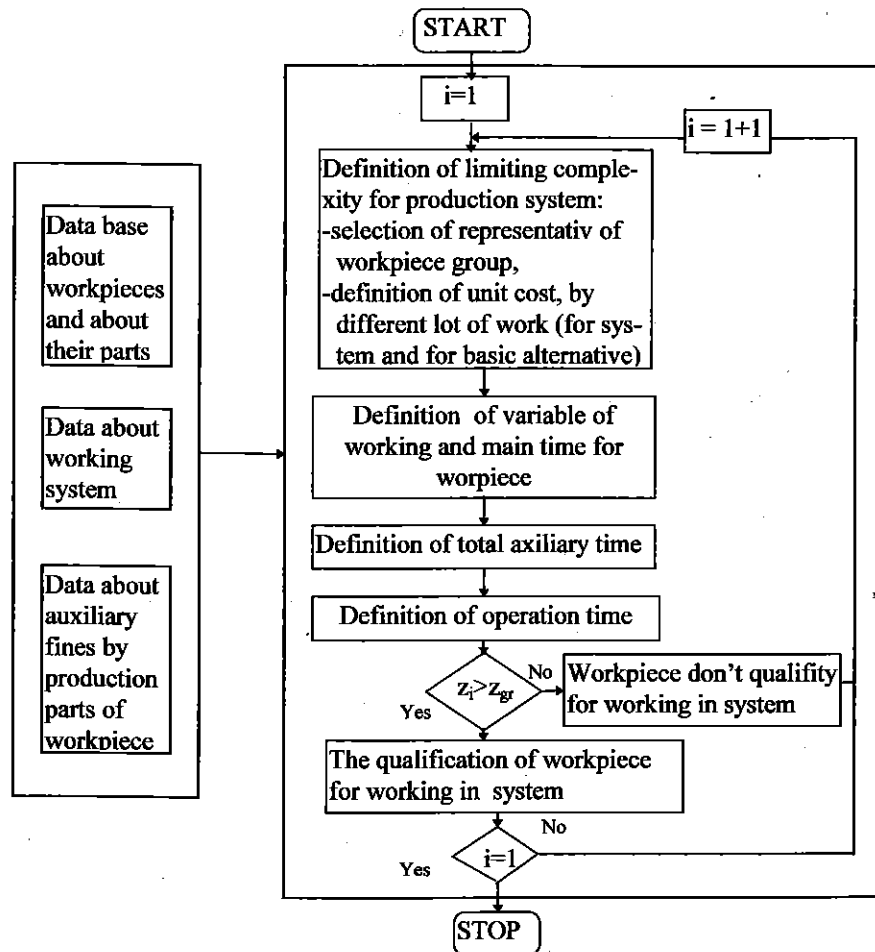
$$K = f(RO, Z, P, N, O)$$

$$T = f(RO, Z, P, N, O) \quad (5)$$

The parameters RO, O there are quality parameters they are discrete elements and so they present function (5). For workpiece set (Z P_n) and machine tool set (RO_m) they have defined by file which is possible put into practice. The most advantageous will be process if will be put into practice for machine tool set RO_{i=b}, and permit obtain best results.

$$K_{i \neq} - K_{i=b} = \Delta K > 0$$

$$T_{i \neq} - T_{i=b} = \Delta T > 0 \quad (6)$$



i - number of tape of workpiece
 I - quantity of tape of workpiece

Fig. 1. An algorithm of definition of purposefulness for working in system

This process shall proceed by such Z, P, N for which

$$K_{i=b} \rightarrow (K_{i=b}) \min$$

$$T_{i=b} \rightarrow (T_{i=b}) \min$$

The parameters (Z, P, N), which satisfied conditions (2) definite the rational space for machine tool group which are used.

The functions, which are had bulded by support manufacturing date for manufacture, which is known, because even organisational, economical and technological similarly date for different manufacture doesn't give base to theorem, that production results will be equiprobable. Definition of rational field for the production technology reciprocal variable machine tools (FMS and base production) enclose analyses of input date set, which present dependencies:

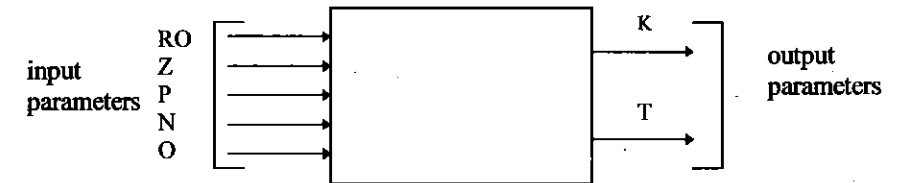


Fig. 2. The model of working in the FMS

$$\Delta K = K_{bas} - K_{FMS} > 0$$

$$\Delta T = T_{bas} - T_{FMS} > 0 \quad (7)$$

The parameters (Z, P, N), for which are presented conditions: $\Delta K > 0$ and $\Delta T > 0$, definite rational field for the FMS, which is used.

For example; for the flexible system, which is built-up by second machining centre C2H, they have defined by graphical method a rational space of used by working of frames, which have different manufacturing program. Fig.3 - if about cost working. Fig. 4 - if about labour consumption by working. Fig. 5 - rational field for the FMS, which is used (intersection of cost working and labour consumption).

In system shall be production elements with complexity, manufacturing program, which are contained in lower space of boundary surface on drawing. They have separated profitability of working in the FMS and by used of convetional tools. Follow from fig. 5 that:
 -the working by the low lot of product with small complexity is effective in the FMS by big productive program only,
 -the workpiece with the big complexity we can effective work in the FMS even by not big productive program.

CONCLUSIONS:

1. According method which is worked out, we can- by used of computer aided - definite economical purposefulness of working machine elements in the FMS, without manufacturing process. It is simple method but obtain results are precise.
2. The workpiece complexity permit to definite the rational field for using of the FMS on labour consumption and working cost account

BIBLIOGRAPHY:

[1]. Bednarek M., Borowski J., Dworczyk M., Wąs A.: Obrabiarki sterowane numerycznie. Podstawy eksploatacji. -Warszawa WNT 1985. -267 s.

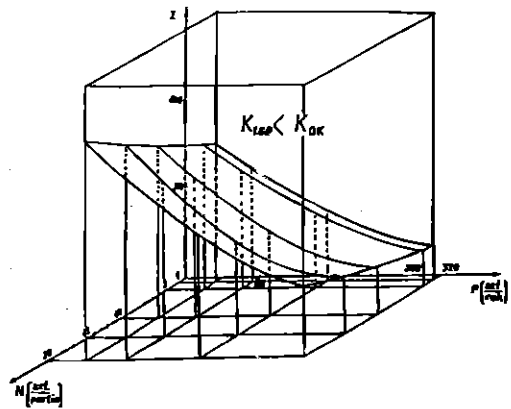


Fig. 3. The graphical interpretation of field for using of the FMS and conventional machine tools (OK) on cost working of machine elements account

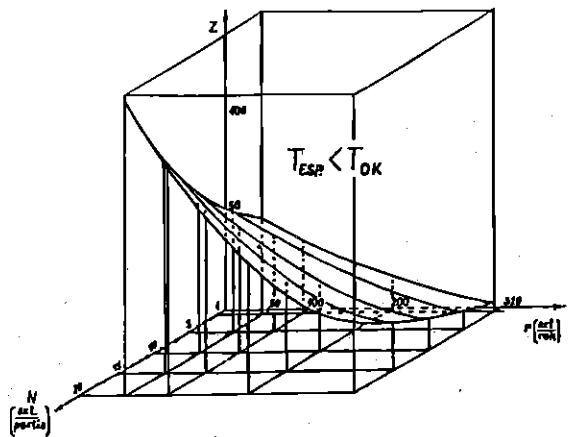


Fig. 4. The graphical interpretation of field for using of the FMS and conventional machine tools (OK) on labour consumption of machine elements account

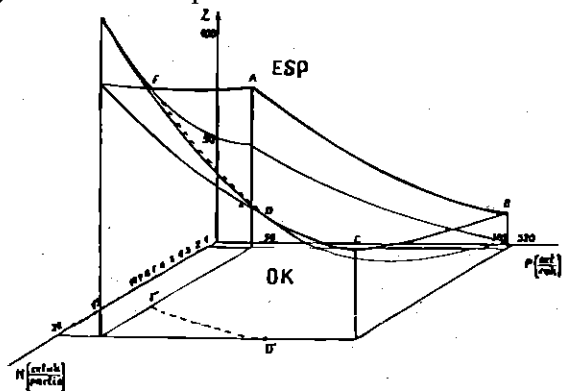


Fig. 5. The graphical interpretation of the rational field for using of the FMS and conventional machine tools (OK)

- [2]. Canada J. R., Sullivan W.G.: Economic and Multiattribute Evolution of Advanced Manufacturing systems Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall 1989.
- [3] Świąc A., Lenik K.: Analiza ekonomiczna wytwarzania przedmiotów w elastycznym systemie produkcyjnym. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Automatyka. Zeszyt 115. -s.243-250.
- [4]. Świąc A., Kuszewski K.: Dobór przedmiotów klasy korpusy do obróbki w elastycznym systemie produkcyjnym. Konferencja Naukowo- Techniczna: Tendencje Rozwojowe w Technologii Maszyn. Zielona Góra. Wyd. WSInz. w Zielonej Górze. 1990 -s.31-36.
- [5]. Świąc A.: Wpływ struktury podsystemu obrabiarek na efektywność obróbki w elastycznym systemie produkcyjnym. Zeszyty Naukowe AGH. Nr 1313. Automatyka. Zeszyt 49. -s. 331-339.



T. Todić, S. Đekić *

ANALITIČKO I EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE TEMPERATURA NA RADNIM POVRŠINAMA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE

Rezime

U radu je prikazan način analitičkog određivanja temperature na površini razdvajanja materijala pri prosecanju kao i temperature po dubini tela prosekača. Za nekoliko vrsti obradivanog materijala i materijala reznih elemenata izračunate su i izmerene temperature u telu prosekača. Izračunate vrednosti temperature na kontaktnim površinama prosekača i materijala prikazana su grafički sa slici 1. Na slici 2 grafički su predstavljene izračunate i izmerene temperature po preseku prosekača na različitim rastojanjima od rezne ivice.

1. UVOD

Mehanički rad pri razdvajanju materijala neminovno dovodi do stvaranja toplote. Stvaranje toplote je posledica plastične deformacije obradivanog materijala a takođe je i posledica trenja. Pri ovome deo energije se pretvara u toplotu a drugi deo u potencijalnu energiju koja deformiše kristalnu rešetku (skrivena energija deformacije). Prema do sada izvršenim istraživanjima, 70 do 80 % mehaničkog rada se pretvara u toplotu a ostali deo energije absorbuje materijal pri plastičnoj deformaciji. Kod većih stepena plastične deformacije praktično se sva mehanička energija utroši na njegovo zagrevanje. To se ne odnosi samo na deformisanja sa statičkim naprežanjem već i na udarna. Kod udarnih naprežanja povećanje temperature je trenutno i to u žarištu deformacije.

2. TEMPERATURE NA KONTAKTNIM POVRŠINAMA

Temperatura radne površine reznih elemenata alata zavisi u prvom redu od odnosa između stvorene toplote pri razdvajanju materijala i toplote koja se odvodi.

* Dr Tomislav Todić Mašinski fakultet Priština

* Dr Svetozar Đekić Mašinski fakultet Priština

Zbog toga se stepen uticaja toplote na rezne elemente određuje s jedne strane iz uslova stvaranja toplote i sa druge strane faktora koji utiču na odvođenje toplote.

Temperaturni proračun na radnim površinama reznih elemenata alata i presovanog materijala predstavlja složen zadatak.

Pri razdvajanju metala presovanjem dolazi do kontakta reznog elementa alata sa prosečenom površinom materijala i to prvenstveno po sjajnom pojasu. Može se pretpostaviti da su toplotni izvori na kontaktnim površinama reznih elemenata alata i obrađivanog materijala ravnomerno raspoređeni. To omogućuje razmatranje nominalnog kontakta kao površinski izvor, tako da raspodela temperature bude jednodimenzionalna.

Prema izvršenim istraživanjima [1,2] maksimalna temperatura po površini dejstva izvora toplote, posle njenog dejstva iznosi

$$t_{\max} = 2,64 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sigma_{cp}}{\varepsilon_{ot}} \cdot \sqrt{h_b} \cdot \frac{\sqrt{v}}{\sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \gamma)_p + \sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \gamma)_m}}} \dots\dots\dots /1/$$

pri čemu treba imati u vidu da je

$$\sigma_{cp} = \frac{F_p}{L \cdot s} \quad \text{i} \quad h_b = \varepsilon_{ot} \cdot s$$

Jednačina temperaturnog polja u zoni razdvajanja materijala izražena preko maksimalne temperature na površini dejstva izvora toplote određena je izrazom

$$t = t_{\max} \frac{x}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot \tau_o}} [F_1(z) - 1] \dots\dots\dots /2/$$

gde su:

- σ_{cp} - maksimalni napon pri razaranju materijala;
 - ε_{ot} - relativna dubina prodiranja presekača u materijal;
 - h_b - visina sjajnog pojasa;
 - v - brzina prosecanja;
 - λ - koeficijent toplotne provodljivosti;
 - c - srednji specifični toplotni kapacitet;
 - γ - specifična težina;
 - t_{\max} - maksimalna temperatura u zoni razdvajanja materijala;
 - x - rastojanje merne tačke od rezne ivice;
 - τ_o - vreme kontakta presekača sa prosečenim materijalom ($\tau_o = \frac{h_b}{v}$);
 - $F_1(z)$ - integral gausa i
- $$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$$

Gore pomenute jednačine izvedene su uz brojne pretpostavke:

- da je temperaturno polje ravnomerno;
- da se celokupni mehanički rad koji se ulaže pri presovanju prevodi u toplotu;
- zanemaruje se zračenje toplote u okolinu pa se smatra da se sva stvorena toplota apsorbuje u samim telima;

- da toplotno- fizičke karakteristike presovanog materijala i reznih elemenata alata (koeficijent toplotne provodnosti i toplotni kapacitet ne zavise od temperature).

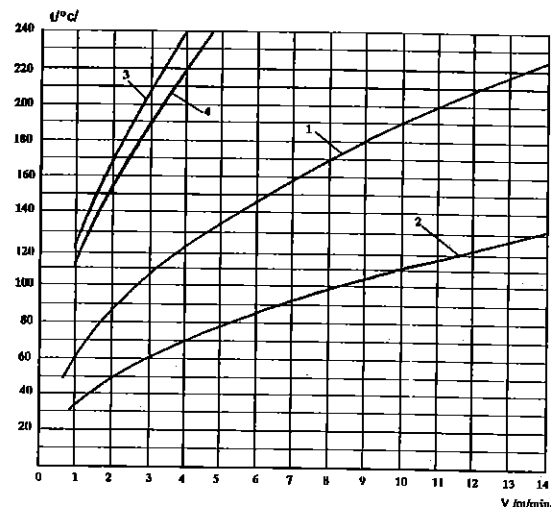
Količina toplote koja će se preneti na presekač zavisi u prvom redu od toplotnog fluksa površine kontakta, toplotprovodljivosti i toplotnog kapaciteta reznog elementa.

Oznake λ , c , γ sa oznakom u indeksu (p) odnose se na materijal od koga je načinjen presekač a oznake sa indeksom (m) se odnose na obrađivani materijal. Uzimajući u obzir napred pomenutu jednačinu za određivanje temperaturnog polja i jednačinu za maksimalnu temperaturu jednačina za određivanje temperaturnog polja imala bi oblik

$$t = 2,34 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma_{cp} \cdot \frac{\sqrt{h_b}}{\varepsilon_{ot}} \cdot \frac{\sqrt{v}}{\sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \gamma)_p + \sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \gamma)_m}}} \cdot \frac{x}{\sqrt{a \cdot \tau_o}} [F_1(z) - 1] \dots\dots /3/$$

Iz jednačine /3/ očigledno je da se temperatura na površini kontakta presekača sa prosečenim materijalom sa povećanjem brzine prosecanja menja po paraboli (sl. 1).

Analizom gore pomenutih izraza za određivanje maksimalne temperature i temperature u okolini žarišta razdvajanja materijala, može se uočiti da temperatura zavisi od vrste obrađivanog materijala, brzine prosecanja i karakteristika obrađivanog materijala i materijala od koga su načinjeni rezni elementi.



Sl. 1 Zavisnost temperature na površinama razdvajanja materijala od brzine prosecanja za različite materijale (1- obrađivani materijal Č 0146, 2- elektrolitički bakar, rezni elementi od legiranog alatnog čelika Č 3840, 3- obrađivani materijal Č 1530 a rezni elementi od tvrdog metala, 4- obrađivani materijal čelik Č 1530 a rezni elementi od alatnog čelika).

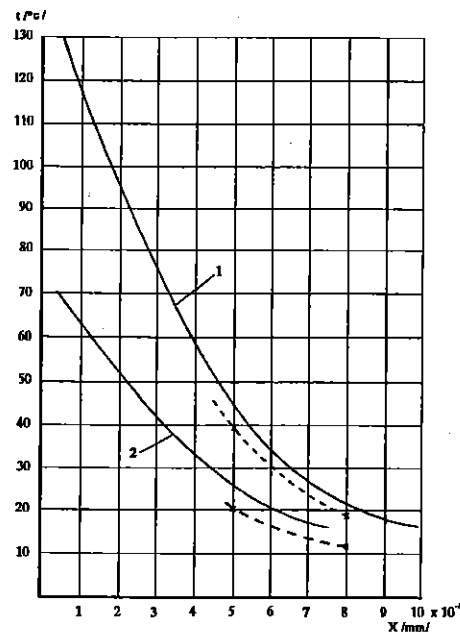
Na dijagramu temperatura - brzina prosecanja prikazane su zavisnosti porasta temperature od brzine prosecanja za nekoliko vrsta obrađivanog materijala i materijala od koga su načinjeni rezni elementi.

Poznavanjem karakteristika obrađivanog materijala, materijala reznih elemenata alata i uslova pod kojim se vrši obrada mogu se prikazati krive promene temperature za različite materijale obrade i različite brzine prosecanja dobijene po izrazima /2,3/.

Analizirajući gore prikazane grafičke prikaze (sl.1) uočljivo je da je povećanje temperature sa porastom brzine prosecanja najblaže je kod elektrolitičkog bakra a najviše kod prosecanja čelika Č1530. Može se takođe primetiti da je temperatura pri prosecanju tvrdog čelika nešto niža pri upotrebi reznih elemenata od alatnog čelika nego kod primene pločica od tvrdog metala. Razlog ovome leži u znatno boljoj toploprovodljivosti alatnog čelika od tvrdog metala.

Jedan od osnovnih uzroka povećanja temperature pri povećanim brzinama je i taj što je prosekač sve manje vremena u kontaktu sa obrađenim materijalom. Zbog toga će se stvorena toplota sve manje preneti na prosekač a sve više zadržati na obrađivani materijal gde je i nastala.

Zbog toga raspodela temperature po dubini reznog elementa sa izmenom brzine prosecanja biće sve neravnomernija.



Sl. 2 Zavisnost temperature po dubini prosekača od mesta razaranja materijala pri brzini prosecanja od 4,6 m/min

Korišćenjem jednačine (2) izračunata je temperatura u niz tačaka na prosekaču, koje se nalaze na različitom rastojanju od kontaktne površine sa

prosečenim materijalom. Dobijeni rezultati prikazani su na Sl. 2.

Sa dijagrama Sl.2 može se zapaziti da temperatura po preseku prosekača opada po paraboli sa udaljavanjem od ivice reznog elementa. Na rastojanju bliskom od rezne ivice temperatura naglo opada da bi sa većim udaljavanjem od nje temperatura dobila stacionarni karakter.

U cilju provere matematičkog modela izvršeno je merenje temperature za neke karakteristične materijale na određenim mestima u prosekaču sa ciljem da se stvori saznanje o veličini tih temperatura kao i nadalje njihov eventualni uticaj na promenu karakteristika materijala reznih elemenata u njihovim površinskim slojevima.

Merenje temperature izvršeno je veštačkim termoparom Fe - ECu koji je postavljen sa obe strane prosekača na rastojanjima 0,5 i 0,8 od rezne ivice prosekača odnosno od kontakta sa prosečenim materijalom.

Za merenje termoelektričnog napona koji je stvoren u pomenutom termoparu korišćen je elektronski digitalni milivoltmetar klase tačnosti 0.1 mV. Ugrađeni termopar je predhodno baždaren za temperaturno područje $0 \div 96^{\circ}C$ budući da analitički izračunate temperature na dotičnim mernim mestima ne prelaze vrednost opsega od $100^{\circ}C$.

Izmerene vrednosti temperatura nanešene su na na grafičkom prikazu (sl. 2) analitički izračunatih temperatura (isprekidane linije).

Dobijene temperature u svim mernim tačkama su nešto niže od analitičkih. Razlog ovome je verovatno veće odvođenje toplote kroz druge elemente alata što matematičkim modelom nije obuhvaćeno.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu matematičkog modela i izvršenih merenja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- temperature na kontaktnim površinama materijala i prosekača za meke materijale (Č0146 i ECu) ne prelaze temperaturu od $130^{\circ}C$, dok za tvrde materijale vrednost temperature može biti značajna ($t > 500^{\circ}C$);
- dejstvo visokih temperatura na prosekač zavisi od vremena kontakta dodirnih površina sa prosečenim materijalom;
- intenzitet i dubina toplotnog polja odgovara veličini opterećenja;
- pri povećanju brzine prosecanja temperatura u toplotnom polju raste brže nego dubina toplotnog polja tj. koncentracija toplote je veća u površinskim slojevima;
- uticaj određenih karakteristika materijala na veličinu temperature je vidljiv.

Za materijale sa kojima su izvršeni eksperimenti, a pri korišćenju praktično primenljivih brzina razdvajanja ($v = 4, 6 \text{ m/min}$) materijala izračunate, izmerene temperature na kontaktnim površinama reznog elementa sa obrađivanim materijalom ne mogu da utiču na izmenu strukturnog stanja u površinskim slojevima materijala reznih elemenata, jer su temperature na samu površinu reznog elementa takve da ne dostižu temperaturu pri kojoj dolazi do promena mehaničkih i strukturnih promena materijala.

Međutim pri obradi tvrdih materijala i povećane brzine razdvajanja ove temperature mogu biti značajne, tolike da u površinskim slojevima izazovu promene u površinskim slojevima materijala tj. pogoršaju karakteristiku na habanje.

4. LITERATURA

1. Кузнецов В. Д. Наросты про резании и трении. М., Госиздат технико-теоретической литературы, 1956
2. Н. К. Фотеев Высокоустойчивые штампы. Издательство "Машиностроение", Москва 1965

Т. Тодић, С. Бекић

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР НА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИБОРОВ ПРОСЕКАНИЯ И ПРОБИВАНИЯ

Резюме

В работе изложен способ аналитического определения температур, на поверхностях раздвоения материала при просеканиях, и температур по глубине пуансона. За нескольких категориях обрабатываемого материала и материала резальных элементов вычислены и измерены температуры в корпусе пуансона. Вычисляемые ценности температур на контактных поверхностях пуансона и материала представлены графиком на рис.1. На рис. 2. графиком представлен вычисляемые и измеряемые температуры по сечению пуансона на разных расстояниях от резального края.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

ANALIZA PROCESA SABIJANJA VALJKA POMOĆU SFERIČNIH ALATA*

Vilotić D., Plančak M., Vujović V., Trbojević I., Milutinović M., Skakun P.**

Rezime

U okviru istraživanja uticaja geometrije alata i geometrije priprema na naponsko stanje, parametre procesa i deformabilnost materijala, u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu posebna pažnja posvećena je procesima sabijanja. U ovom radu prikazani su rezultati teorijske analize naponsko-deformacionog stanja kod sabijanja valjka pomoću sferičnih alata.

1. UVOD

Operacije sabijanja često su prisutne kao faze oblikovanja u procesima zapreminskog deformisanja kako u hladnom tako i u toplom stanju.

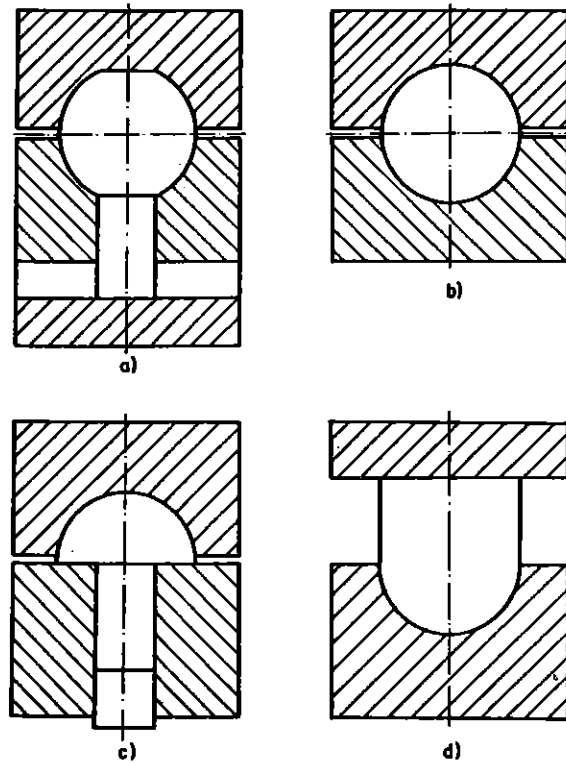
U okviru istraživanja uticaja geometrije alata na naponsko stanje i ponašanje materijala u Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti u Novom Sadu, posebna pažnja poklonjena je procesima sabijanja (cilindričnih i prizmatičnih priprema) pomoću alata čije radne površine nisu ravne. Ispitivanja su vršena na sabijanju prizmatičnih priprema pomoću cilindričnih alata /5/, zatim na sabijanju valjka pomoću konusnih alata /6,7/ kao i na sabijanju valjka u uslovima koji približno odgovaraju jednoosnom naponskom stanju /5/. Međutim, sabijanje valjka, odnosno, oblikovanje delova moguće je vršiti i pomoću alata čije radne površine imaju krivolinijski oblik, naprimer sferičan. Pri tome je moguće kombinovati cilindrične alate sa ravnim pločama i dobiti različite šeme oblikovanja, slično kao kod sabijanja sa cilindričnim i konusnim alatima /5,6,7/, gde se pomoću tri osnovna oblika alata formira šest mogućih varijanti oblikovanja.

U proizvodnoj praksi prisutne su metode oblikovanja delova pomoću alata čije radne površine imaju sferični oblik. Za ilustraciju, na sl. 1 dati su neki od primera a

* Rad je deo širih istraživanja u okviru potprojekta "TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA TEHNOLOGIJE HLADNOG OBLIKOVANJA METALNIH DELOVA" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

** Prof. dr Dragiša Vilotić, prof. dr Miroslav Plančak, prof. dr Vlado Vujović, mr Ilija Trbojević, dipl. ing. Mladomir Milutinović, dipl. ing. Plavka Francuski - FTN Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Yuoslavia

odnose se na oblikovanje spone automobila (sl. 1a), zatim oblikovanje kuglice ležaja (sl. 1b), oblikovanje glave zavrtnja (sl. 1c) i oblikovanje sferične gravure (sl. 1d).

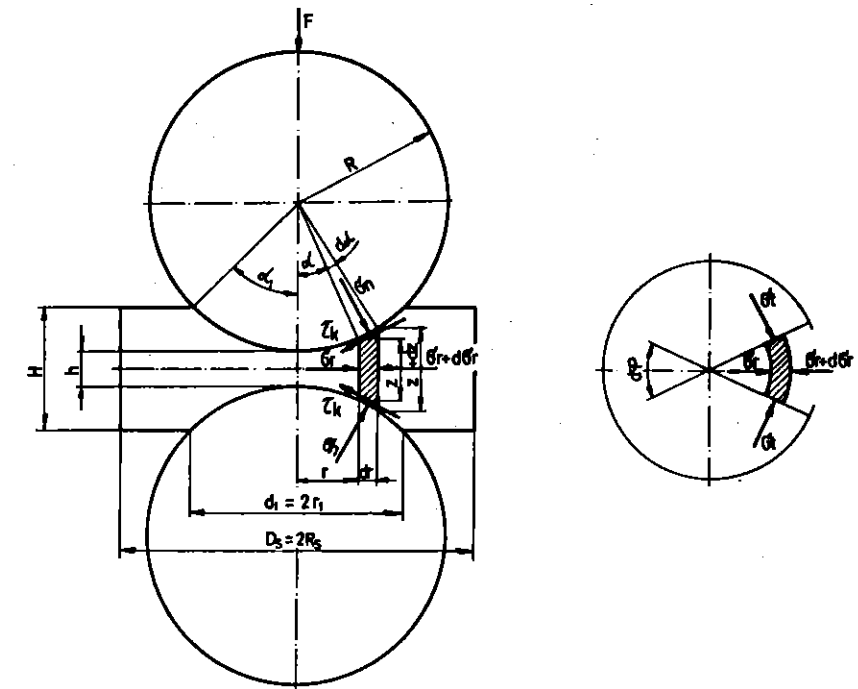


Sl. 1 Primeri oblikovanja delova alatima sa sferičnim radnim površinama /1/

2. ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA PRI SABIJANJU VALJKA POMOĆU SFERIČNIH ALATA

Šema sabijanja valjka (diska) pomoću sferičnih alata data je na sl. 2. Na istoj slici unete su komponente napona koje opterećuju izdvojeni element. Određivanje komponenta napona izvršeno je primenom metode rešavanja približne diferencijalne jednačine ravnoteže, korišćenjem približnog uslova plastičnosti i uz uvođenje određenih pretpostavki i uprošćenja:

- Pretpostavlja se da geometrija obratka ima pravilan oblik (kao na sl. 3), tj. da istisnuti materijal teče radijalno i povećava spojašnji prečnik obratka, a ne menja polaznu visinu obratka van zone alata;
- Preseci obratka u aksijalnom pravcu ostaju ravni tokom procesa deformisanja;
- Tangencijalni kontaktni napon proporcionalan je normalnom kontaktnom naponu (σ_n) i koeficijentu kontaktnog trenja (μ): $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$.



Sl. 2 Šema opterećenja kod sabijanja valjka sferičnim alatima

Na osnovu šeme opterećenja (sl. 2), jednačina ravnoteže ima sledeći oblik:

$$\sigma_r \cdot r \cdot d\varphi \cdot z - (\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (r + dr) \cdot (z + dz) \cdot d\varphi + 2\sigma_n \cdot r \cdot d\varphi \cdot \frac{dr}{\cos\alpha} \cdot \sin\alpha - 2\mu \cdot \sigma_n \cdot r \cdot d\varphi \cdot \frac{dr}{\cos\alpha} \cdot \cos\alpha + 2\sigma_t \left(\frac{z + z + dz}{2} \right) \cdot dr \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad (1)$$

Uz pretpostavku jednakosti radijalnog i tangencijalnog napona - $\sigma_r = \sigma_t$, gornja jednačina dobija sledeći oblik:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} \cdot z + \sigma_r \frac{dz}{dr} - 2\sigma_n \cdot (\operatorname{tg}\alpha - \mu) = 0 \quad (2)$$

Eliminacija komponente napona σ_n iz jednačine (2) može se izvršiti primenom Misesovog kriterijuma plastičnosti, koji za slučaj šeme opterećenja prema sl. 2 ima sledeći oblik:

$$\sigma_n - \sigma_r = K \quad \rightarrow \quad \sigma_n = K + \sigma_r \quad (3)$$

na osnovu čega se dobija sledeća jednačina:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} \cdot z + \sigma_r \frac{dz}{dr} - 2(\sigma_r + K)(\operatorname{tg}\alpha - \mu) = 0 \quad (4)$$

Na osnovu sl. 2 mogu se uspostaviti sledeće geometrijske relacije:

$$\begin{aligned} r &= R \sin \alpha; & dr &= R \cos \alpha \\ z &= h + 2R(1 - \cos \alpha) = 2R(a - \cos \alpha); & dz &= 2R \sin \alpha \\ a &= \frac{h}{2R} + 1 \end{aligned} \quad (5)$$

Unošenjem ovih vrednosti u jednačinu (4) dobija se konačni oblik diferencijalne jednačine ravnoteže:

$$\frac{d\sigma_x}{d\alpha} + \mu\sigma_r \frac{\cos \alpha}{a - \cos \alpha} - K \frac{\sin \alpha - \mu \cos \alpha}{a - \cos \alpha} = 0 \quad (6)$$

Napon tečenja (K) određen je izrazom:

$$\begin{aligned} K &= K_0 + A \cdot \varphi_e^b \\ \varphi_e &= \ln \frac{H}{z} = \frac{H}{2R(a - \cos \alpha)} \end{aligned} \quad (7)$$

Konstante K_0 , A i b određuju se eksperimentalno za određenu vrstu materijala.

Rešenje diferencijalne jednačine (6) po σ_r dobija se numeričkim putem, naprimer, primenom Runge - Kuta metode, uz granični uslov definisan na sledeći način:

$$\text{Za } \alpha = \alpha_1 \quad \sigma_r = 1,1K \cdot \ln \frac{D_s}{d_1} \quad (8)$$

Normalni kontaktni napon određuje se iz jednačine plastičnosti (3), a deformaciona sila na osnovu sledećeg izraza:

$$F = 2\pi R^2 \int_0^{\alpha_1} \sigma_n (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (9)$$

Za ilustraciju rešenja komponenti napona kod sabijanja cilindra sferičnim alatima, na sl. 3 prikazana je distribucija izračunatih komponenti napona σ_n i σ_r za slučaj sabijanja valjka polaznih dimenzija $\phi 30 \times 20$ mm od materijala Č1431, alatom poluprečnika $R=15$ mm. Kriva tečenja za navedeni materijal ima sledeći oblik:

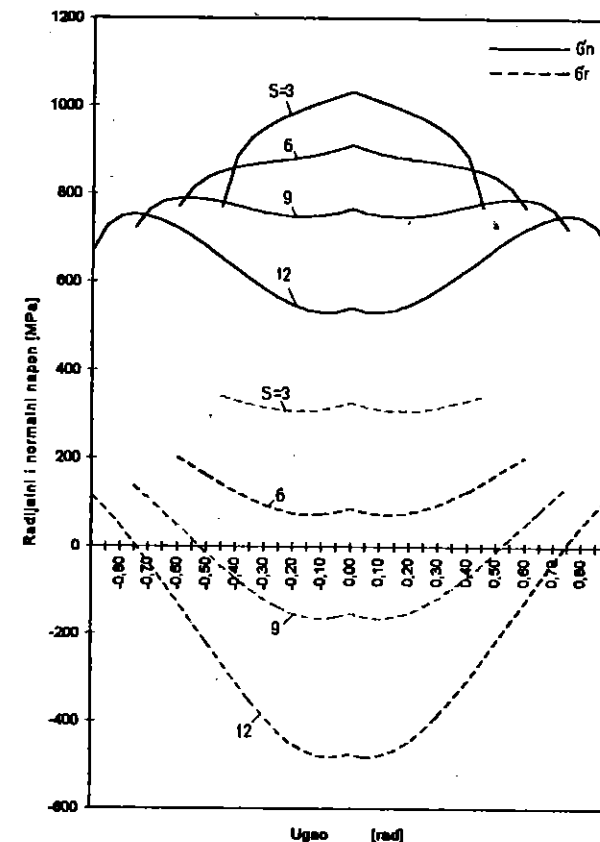
$$K = 369,70 + 668,34 \cdot \varphi_e^{0,37924} \quad [\text{MPa}]$$

a određena je eksperimentalno po metodi Rastegajeva /5/.

3. ZAKLJUČAK

Analizom različitih procesa obrade deformisanjem može se konstatovati da je prisutno oblikovanje pomoću alata čije radne površine imaju sferični oblik (konkavan ili konveksan). Radi toga ima smisla istraživati naponsko-deformaciono stanje, tečenje metala, parametre procesa i ponašanje materijala u takvim procesima. Slobodno sabijanje valjka pomoću sferičnih konveksnih alata predstavlja elementarnu operaciju oblikovanja čije izučavanje može da ima značaj za višefazne procese zapremnog deformisanja. Osim toga, ovaj vid deformisanja može da ima značaj u određivanju dijagrama granične deformabilnosti materijala.

Ustanovljeno rešenje za komponente napona predstavlja jedno od mogućih rešenja dobijeno relativno jednostavnim postupkom. Diferencijalna jednačina ravnoteže (6) praktično ima isti oblik kao i jednačina ravnoteže za slučaj sabijanja prizmatičnog priprema sa cilindričnim alatima /5/, s tim što postoji značajna razlika u graničnom uslovu. U slučaju sabijanja valjka sferičnim alatima normalni napon σ_n ima više vrednosti u odnosu na isti kod sabijanja prizmatičnog priprema cilindričnim alatima što je i logično s obzirom na granične uslove kod ova dva procesa.



Sl. 3 Distribucija napona

LITERATURA

1. Musafia B. : "Primjenjena teorija plastičnosti" I i II deo, Mašinski fakultet, Sarajevo 1973.
2. Novorocki G. A.: "Holodnaja obemnaja šampovka", spravočnik, izdatelstvo "Mašinostroenije", Moskva, 1973.
3. Storožev M. V., Popov E. A.: "Teorija obrabotki metalov davleniem", Mašinostroenie, Moskva, 1971.
4. Johnson W., Mellor P. B.: "Plasticity for Mechanical Engineers", Van Nostrand Reinholds Company, London, 1962.
5. Vilotić D.: "Ponašanje čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja", Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1987.
6. Vilotić D. i dr.: "General solution of Contact Stress and forming load in Upsetting of Cylinder by Conical Dies", Journal of Technology of Plasticity Vol. 18, pp. 59-65. FTN Novi Sad, 1993.
7. Vilotić D. i dr.: "Determination of Contact Stress in Upsetting of Cylinder by Concave Dies", Journal "Metallurgy and New Materials Research", Vol. II, No 1/2, Metallurgical Research Institute, Bucharest, Romania 1994.

ANALYSIS OF UPSETTING OF CYLINDER BY SPHERICAL DIES

Summary

In the Laboratory for Technology of Plasticity - University of Novi Sad, investigation of tool and billet geometry influence on basic process parameters and formability of materials, in process of upsetting have been conducted. In this paper theoretical investigation of contact stress prediction in upsetting of cylinder by spherical dies is presented.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

ANALIZA DEFORMABILNOSTI I PROJEKTOVANJE VIŠEFAZNOG OBLIKOVANJA KAO FUNKCIJE ISTORIJE DEFORMISANJA*

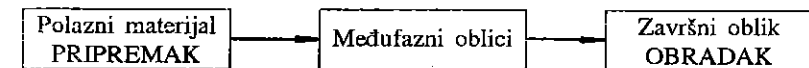
Vujović V., Vilotić D., Plančak M., Trbojević I., Milutinović M., Skakun P.**

REZIME

Optimalno projektovanje procesa oblikovanja hladnom plastičnom deformacijom uključuje potrebu primene savremenih saznanja teorije plastičnog deformisanja u odnosu na ponašanje materijala u toku plastičnog deformisanja. Posebno pitanje je uključivanje uticaja istorije deformisanja na mogućnost ispoljavanja potencijala deformabilnosti materije. Krive granične deformabilnosti i istorija deformisanja omogućavaju dobijanje potrebnih ulaznih informacija o materijalu, koje su osnov za optimalno projektovanje procesa oblikovanja. Savremena saznanja iz ove oblasti su u veoma ograničenoj praktičnoj primeni naročito u oblasti gde su ona fundamentalni podatak za definisanje procesa višefaznog oblikovanja. Zbog toga uvodjenjem savremenih saznanja u širu primenu omogućilo bi značajno racionalisanje proizvodnih troškova oblikovanja metalnih delova.

1. UVOD

Tehnologija plastičnosti u savremenim uslovima hladna deformacija uspeva u pretežnom broju slučajeva proizvodnje metalnih delova da bude ubedljivo konkurentna u odnosu na ispunjavanje osnovnih zahteva (geometrijske karakteristike, mehaničke karakteristike, troškovne karakteristike), koje delovi u svojoj funkciji moraju ispunjavati [1]. Oblikovanje metalnih delova se ustvari odvija prema jednostavnoj šemi prikazanoj na sl.1. Potrebno je prevodjenje oblika polaznog materijala - PRIPREMKA u oblik gotovog dela - OBRADKA. Uz šemu datu na sl.1. potrebno je dati odgovore na više važnih pitanja:



Sl.1. Osnovna šema menjanja oblika

- Kako menjati polazni oblik priprema u završni oblik gotovog dela procesom hladne plastične deformacije uz minimalne troškove proizvodnje?
- Šta je podloga (osnova) za deljenje procesa oblikovanja u više faza? Koji je to optimalan broj faza oblikovanja?
- Kako iskoristiti potencijalne mogućnosti materijala u ispoljavanju deformabilnosti?
- Kako koristiti istoriju plastične deformacije?
- Koji su načini proširenja primene procesa hladne deformacije na područja teško deformabilnih materijala, proizvodnje delova složene geometrijske konfiguracije i na područje proizvodnje delova u malim serijama?

* Ovaj rad je deo širih istraživanja u okviru podprojekta "TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA TEHNOLOGIJE HLADNOG OBLIKOVANJA METALNIH DELOVA" koji se finansira od strane Ministarstva za Nauku i Tehnologiju Republike Srbije.

** Prof.dr Vlado Vujović, Prof.dr. Dragiša Vilotić, Prof.dr Miroslav Plančak, Mr. Ilija Trbojević, Dipl.ing. Mladimir Milutinović, Dipl.ing. Plavka Skakun - Univerzitet u Novom Sadu, Institut za proizvodno mašinstvo, Laboratorija za tehnologiju plastičnosti, Novi Sad, Jugoslavija.

1. Delenjem ukupne veličine promene oblika u više faza rešava se problem pogoršavanja naponskih uslova u toku procesa plastičnog deformisanja. Ovaj problem nastaje zbog promenljive geometrije obratka i konstantne geometrije alata. Uvodenjem više faza sa alatima različitim geometrija delimično se rešava ovaj problem.

2. Kompleks pitanja u vezi sa optimalnim projektovanjem procesa višefaznog oblikovanja uspešno se može rešavati korišćenjem savremenih saznanja iz područja analize deformabilnosti i istorije deformisanja.

3. Sagledavanje uticaja istorije deformisanja na pouzdanje materijala u toku plastičnog deformisanja moguće je samo uz korišćenje odgovarajućih dijagrama granične deformabilnosti.

4. Istorija deformisanja određena je obradnim sistemom i za svaki slučaj se mora zakonitost formiranja deformacije u promenljivim naponskim uslovima posebno eksperimentalno-analitičkim putem odrediti.

5. Nedovoljna primena savremenih saznanja o deformabilnosti i istoriji deformisanja, uslovljava rutinersko projektovanje višefaznog oblikovanja saznovano na iskustvenim podacima. Takvi procesi oblikovanja sadrže značajne mogućnosti za snižavanje troškova proizvodnje metalnih delova putem optimalnog projektovanja višefaznog oblikovanja.

LITERATURA

- [1] Vujović V., Plančak M., Vilotić D.: Razvoj primene tehnologije plastičnosti u oblastima proizvodnje delova složene konfiguracije, maloserijske proizvodnje i završne obrade. Naučna konferencija "Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad, 1995., str.197-216.
- [2] Vujović V., Vilotić D., Plančak M.: Strain history influence on the material formability. Proceedings of the 4th ICTP, Beijing, Sept.5-9, 1993.
- [3] Vujović V., Vilotić D., Plančak M.: Die Geomtry stress Components and Material Behaviour in Cold Forging. 9th Cold Forging Congress, Solihull-England, May 1995.
- [4] Vujović V.: Deformabilnost, monografija. Univerzitet u Novom Sadu, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1992.
- [5] Vujović V., Plančak M., Vilotić D., Trbojević I., Francuski P.: Formability Potential of the Material in Metal Forming. Proceedings of the 5th International Conference on Metalforming ICMF, 1991, Gyor, Madjarska, Jun 1991, pp. M48-M60.
- [6] Plančak M.: Prilog istraživanju toka dijagrama granice deformabilnosti. Zbornik radova sa 21. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Opatija, 1987, str.185-192.
- [7] Vujović V., Plančak M., Vilotić D.: Analiza deformabilnosti. Zbornik radova sa 24. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Sept.1992., Novi Sad
- [8] Frobin R.: Untersuchung des Umformvermögens und der Umformgränze. Dissertation TH Karl-Mark-Stadt, 1979.

ANALYSIS OF FORMABILITY AND DESIGN OF MULTY-STAGE METAL FORMING PROCESSES AS A FUNCTION OF THE STRAIN HISTORY

ABSTRACT

In order to design cold metal forming processes in a optimum way, the use of contemporary knowledge from theory of plasticity related to material behaviour during plastic deformation is needed. The effect of strain history on the occurrence of material formability is especially stressed. The curves of formability limit and strain history enable obtaining of input information about material, which are the base for metal forming process design in a optimum way. But, the contemporary knowledge from these field are very limited in the praxis of process designing, in the field, where are they the base for determination of multy stage forming in particularly. Therefore, the introduce of more modern knowledge in the application could enable reduction of production costs in metal forming processes.



M. Vukčević*
Z. Krivokapić

SISTEM ZA RAČUNARSKO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE KOVANJA U OTVORENIM KALUPIMA

Rezime

Istraživan je razvoj ekspertskog sistema za probleme zapreminskog deformisanja u otvorenim kalupima. Za razvoj ekspertskog sistema prihvaćena je raspoloživa ljuska BEST. Baza znanja, u okviru koje su ugrađena specifična pravila, omogućava jednostavnu nadgradnju. Djelovi se klasifikuju u grupe i sintaksno prepoznaju. Crtež predmeta i izlazno rješenje se definišu u AutoCAD-u.

1. UVOD

Postupci zapreminskog deformisanja spadaju u posebno složene procese obrade deformisanjem što uslovljava dosta poteškoća pri njihovoj detaljnoj inženjerskoj analizi. To se posebno odnosi na procese deformisanja u otvorenom kalupu kod kojih je osim fizičke nelinearnosti prisutna i visoka geometrijska nelinearnost.

Važan aspekt primjene kompjutera kod ovog procesa je redukovanje vremena koje je potrebno utrošiti pri razvoju novog proizvoda. Ovo se ostvaruje primjenom kompjutera u dvije oblasti: CAD programa za projektovanje alata i programa za simulaciju tečenja metala zasnovanih na metodi konačnih elemenata (MKE). Korišćenje MKE za simulaciju zapreminskog deformisanja daje odlične rezultate, ali njihova implementacija u praksu uključuje mnoge tehničke poteškoće i obično je vrlo skupa [2].

Neophodnost razrade ekspertnih sistema pri automatskom projektovanju tehnologije kod zapreminskog deformisanja u otvorenim kalupima uslovljena je korišćenjem velike količine empirijskih informacija, koje najčešće nije moguće predstaviti u formalizovanom vidu. U cilju uzimanja u obzir specifičnih proizvodnih uslova i dostizanja visokog stepena automatizacije tehnologije, neophodno je korišćenje baze znanje. Takođe, nužan je i grafički sistem radi pogodnosti korišćenja.

Ekspert sistem za projektovanje procesa može biti realizovan kao:

- konsultant, koji u interaktivnom radu pomaže tehnologu (najčešći slučaj),
- ekspert-tehnolog, gdje se projektno rješenje generiše automatski i

* Dr Milan Vukčević, van. profesor, Mašinski fakultet u Podgorici
Dr Zdravko Krivokapić, docent, Mašinski fakultet u Podgorici

- kombinacija navedena dva pristupa.

U radu se analiziraju elementi i organizacija baze znanja kao i primjena na neke osnosimetrične probleme zapreminskog deformisanja u kalupu.

2. O ELEMENTIMA BAZE ZNANJA

Proces projektovanja tehnologije zapreminskog deformisanja u kalupima uključuje veći broj procedura. Ovdje se kratko razmatraju neki elementi tehnologije koji uključuju ekspertsku znanja i obavezni su dio baze znanja [4,5,8,9,10].

Kompleksnost oblika

Za osnosimetrične otkovke, često se koristi faktor oblika za izražavanje geometrijske kompleksnosti. Ovaj pokazatelj se definiše preko dva faktora: longitudinalnog i radijalnog faktora oblika.

Longitudinalni faktor oblika α je definisan relacijom:

$$\alpha = \frac{X_f}{X_c} \quad (1)$$

sa: $X_f = P^2 / F \quad (2)$

$$X_c = P_c^2 / A_c \quad (3)$$

gdje su: P, A - obim i površina osnog presjeka otkovka.

P_c, A_c - obim i površina osnog presjeka opisanog cilindra.

Radijalni faktor oblika β definiše se kao:

$$\beta = 2 \frac{R_g}{R_c} \quad (4)$$

gdje su: R_g - radijalno odstojanje od ose simetrije do težišta polovine presjeka,

R_c - maksimalni radijus otkovka, koji je jednak radijusu opisanog cilindra.

Faktor oblika S uključuje i longitudinalni i radijalni faktor oblika i definiše se kao:

$$S = \alpha\beta \quad (5)$$

Faktor S izražava kompleksnost oblika osnosimetričnog otkovka u odnosu na opisani cilindar. Kod osnosimetričnog kovanja, u toku deformisanja, materijal se kreće radijalno od centra koji igra ulogu neutralne ose. Ako se definiše neutralna osa kod nesimetričnih otkovaka, može se i za njih određivati faktor oblika S, mada su takvi proračuni znatno kompleksniji.

Spoljašnja podeona ravan

Položaj spoljašnje podeone ravni je od posebnog značaja za uspješnost procesa kovanja jer utiče na:

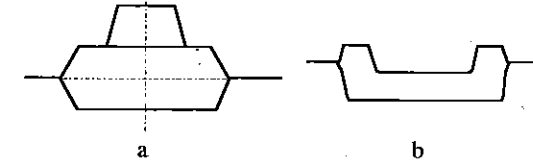
- konstrukciju alata za kovanje,
- utrošak materijala,
- tečenje metala u kalupu u procesu deformisanja.

Zato je neophodno prilikom projektovanja podeone ravni naći optimum uticaja različitih faktora. Za razmatranu klasu otkovaka važi:

- nalazi se na sredini površine sa najvećom dimenzijom (sl.1a),

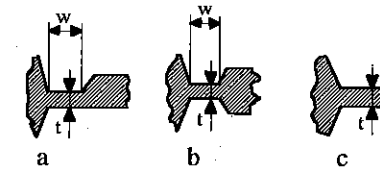
- nalazi se na donjem ili gornjem kraju površine sa najvećom dimenzijom (sl.1b).

Izbor zavisi od oblika dijela, od odnosa dimenzija i od pravca tečenja metala. Ovaj koncept ne može biti u potpunosti opisan logičkim pravilima, jer je izbor zasnovan na empiriji i na intuiciji [4,8,9,10].



Sl.1. - Položaj spoljašnje podeone ravni

Mogu se navesti tri glavna oblika vijenca prikazana na sl.2. Izbor zavisi od nekoliko faktora:



Sl.2. - Tipovi vijenca

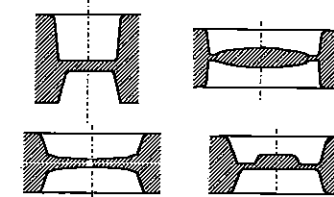
- materijala dijela. Oblici 2a i 2b su pogodni za čelične komade, dok je oblik 2c za druge materijale,
- od pravca tečenja i prihvaćenog koncepta proizvodnje dijela za pojedini materijal. Ovo onemogućava postavljanje jasnih logičkih relacija kojima se vrši opredjeljivanje za oblik 2a ili 2b ili neki kombinovani tip.

Dimenzije vijenca w i t se određuju iz tabela ili na osnovu jednačina sadržanih u bazi podataka.

Unutrašnja podeona ravan

Kod kovanja komada, koji nakon mehaničke obrade treba da imaju otvore sa osom paralelnom sa pravcem kretanja gornjeg kalupa, otvori se utiskuju u alatima za kovanje, da bi se smanjio obradak kod obrade sa skidanjem strugotine. U ovom slučaju postoje određena pravila koja treba primijeniti:

- Prisutnost unutrašnjih šupljina tj postojanje unutrašnje podeone ravni se određuje na osnovu odnosa dimenzija uzorka i specifičnih proizvodnih uslova, kao što su postojanost alata, vrsta i cijena materijala, proizvodni program itd.
- Unutrašnja podeona ravan ne poklapa se sa spoljašnjom podeonom ravni.



Sl.3. - Tipovi unutrašnjih podeonih ravni

- Unutrašnja podeona ravan je smještena bliže dnu komada. Npr, preporučuje se da rastojanje između podeone ravni i dna komada bi trebalo da iznosi oko 1/3 visine komada.
- Tipovi unutrašnjih podeonih ravni (pločica) su dati na sl.3. Pravila za izbor pločica se mogu formalizovati, a zatim za određenu pločicu moguće je odrediti dimenzije korišćenjem empirijskih formula.

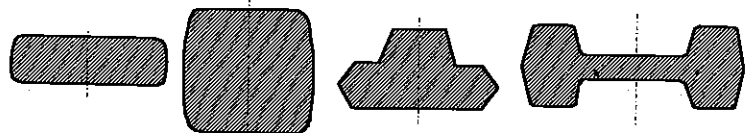
Faze izrade otkovka

Jedan od najvažnijih aspekata kovanja u otvorenim kalupima je projektovanje pripremnih faza u cilju osiguranja adekvatne distribucije metala. Pri projektovanju treba ispoštovati generalna pravila [1, 3, 11] a takođe uzeti u obzir specifična znanja o pojedinim grupama otkovaka u okviru istraživane klase.

Procjena broja faza vezana je za radno iskustvo tehnologa. Takođe, neophodan je i drugi tip znanja koji se tiče oblika komada i ocjene njegove kompleksnosti kao i samog materijala komada.

Na kovačkim presama otkovci se često kuju u više operacije, najčešće kao: sabijanje, prethodno i završno kovanje, a pri složenijim oblicima neophodno je i pripremno kovanje. Međutim u nekim slučajevima broj operacija može biti relativno veliki. Neposredna odluka za razmatrani otkovak se donosi njegovim upoređivanjem sa već ekspertski analiziranim grupama razmatrane klase uzoraka.

Česti oblici sabijenog komada, što karakteriše prvu fazu deformisanja, tokom koje se oslobada pripremak od oksida dati su na sl. 4. Izbor pojedinog oblika zavisi od oblika i dimenzija komada u sljedećoj fazi.



Sl. 4. - Oblici komada nakon prve faze deformisanja

Oblici i dimenzije polaznog pripremkama mogu se definitivno utvrditi tek nakon razradene prve faze deformisanja.

3. O AUTOMATSKOM PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE

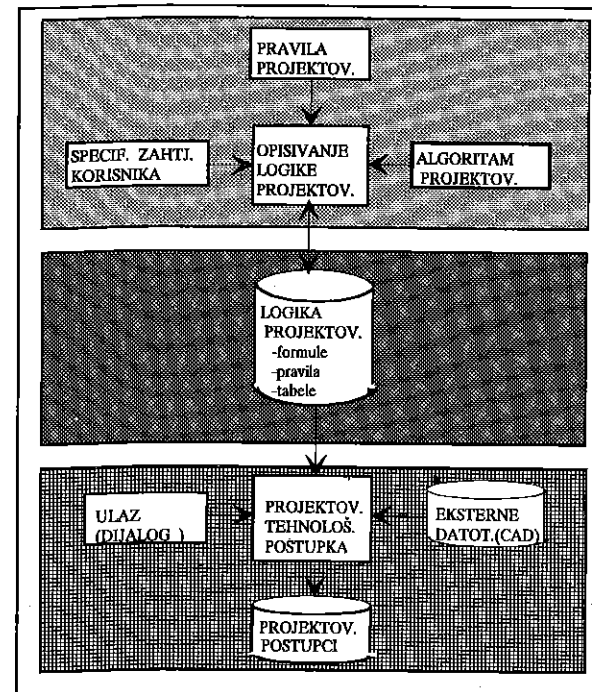
Sistemi za računarsko projektovanje tehnološkog postupka (SRPT) predstavlja sistem zasnovan na projektovanju tehnološkog postupka posredstvom računara simulirajući rutinske i mislene aktivnosti tehnologa.

Pri automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa zbog nedovoljno izraženih analitičkih i logičkih relacija koje povezuju strukturu i parametre dijela sa strukturom i karakteristikama tehnološkog postupka, ne postoji standardizovan pristup izgradnji SRPT - a.

Za obezbjeđenje koncepcije SRPT-a prihvaćena je globalna struktura sistema SRPT-a kod koje se uočavaju tri nivoa (Sl. 5):

- operativni,

- taktički i
 - strateški nivo.
- Operativni nivo sadrži standardne elemente SRPT-a, a to su:
- ulazni dio koji ima zadatak da preda ulazne informacije sistemu na obradu (može biti realizovan različitim perifernim uređajima),
 - obradni dio u kome se vrši prerada tako dobijenih ulaznih informacija,
 - izlazni dio, koji ima zadatak da dobijeno rješenje prezentira na prihvatljiv način korisniku stvarajući tehnološku dokumentaciju i
 - interfejs sa ostalim sistemima, i to prije svega sa CAD sistemom.



Sl.5. Struktura sistema SRPT-a

Na taktičkom nivou se definiše logika na osnovu koje se projektuje tehnološki postupak pri čemu ova logika mora zadovoljiti uslov fleksibilnosti kako bi se sistem vrlo brzo prilagodio specifičnim zahtjevima korisnika.

Strateški nivo u ovoj koncepciji treba da obezbijedi stvaranje logike projektovanja tj. da na osnovu znanja literaturnih izvora i odgovarajućih pomoćnih sredstava omogući prevodjenje ovih elemenata u strukturu definisanu logikom projektovanja.

U ovom radu SRPT sačinjava kao jezgro ekspertni sistem u sadejstvu sa više razvijenih eksternih programa.

U skladu sa razvojem ekspertnog sistema poštujući sve faze projektovanja ekspertnog sistema, počev od identifikacije pa do testiranja, za razvoj ekspertnog sistema je prihvaćena raspoloživa ljuska BEST, razvijena u laboratoriji za računarske sisteme Instituta Mihailo Pupin.

BEST je namijenjen za projektovanje ekspertnih sistema u kojima se deklarativno znanje predstavlja konceptima (okvirima), činjenicama i hipotezama, dok se znanje potrebno za rješavanje problema opisuje pravilima, što je potpuno odgovaralo konceptu definisanog ekspertnog sistema [7].

Od raspoloživih strategija pretraživanja izabrano je pretraživanje unaprijed, donošenjem zaključka na osnovu podataka koji su trenutno raspoloživi u bazi znanja, tj. ide se od skupa početnih podataka ka cilju.

BEST radi pod Windows okruženjem, pa se povezivanje sa eksternim programima realizovalo standardnim pristupom.

Poznata je paradigma da je kvalitet ekspertnog sistema u najvećoj mjeri zavisn od kvaliteta baze znanja, tako da je od posebnog interesa svakog ekspertnog sistema način izgradnje baze znanja. Specifičnost sistema projektovanja tehnološkog postupka se izražava slabom adaptivnošću konkretnim proizvodnim uslovima pa zato komponenta akvizicije znanja ima zadatak da omogući jednostavnu nadgradnju i specifičnih pravila korisnika, vodeći računa o njihovoj konzistentnosti sa već ugrađenim pravilima. Zato se posebna pažnja posvetila izgradnji konzistentnih pravila u skladu sa pristupom izloženim u radu [7]. U okviru baze znanja do sada je ugrađeno više pravila dobijenih na osnovu literaturnih saznanja [5,8,9,10] i sopstvenog iskustva.

Radi pojednostavljenja funkcionisanja rada ekspertnog sistema, prihvaćen je sistem klasifikacije djelova u određene grupe [7].

Da bi se postigla maksimalna efektivnost sistema kao ulaz u ekspertni sistem služi prepoznata grupa definisana i transformisana eksternim programom u ekspertni sistem na bazi sintaksnog prepoznavanja.

Sintakšno prepoznavanje oblika koristi metod sličan formalnoj jezičkoj teoriji. Kompleksni dio se dekomponuje na najjednostavnije podoblike-primitive, koji se na jednostavan način prepoznaju i opisuju. Radi formalizacije procesa prepoznavanja oblika, unaprijed su definisana 24 primitiva oblika [6].

Za realizaciju prepoznavanja oblika za potrebe rada korišćen je prerađeni algoritam realizovan u programskom jeziku Visual Basic. Prepoznavanje je moguće jedino za osnosimetrične radne predmete, pod uslovom da se geometrija radnog predmeta opisuje za njegovu polovinu [6].

Ulaz u program za prepoznavanje oblika predstavlja crtež definisan u AutoCAD-u. Izmjena podataka između AutoCAD-a i programa za prepoznavanje oblika se vrši na osnovu interne (sistemski specifične) veze DXF ili posredstvom standardne veze IGES.

Na sl.6 je predstavljen oblik radnog predmeta sa njegovim stringom koji predstavlja izlaz iz programa za prepoznavanje oblika.

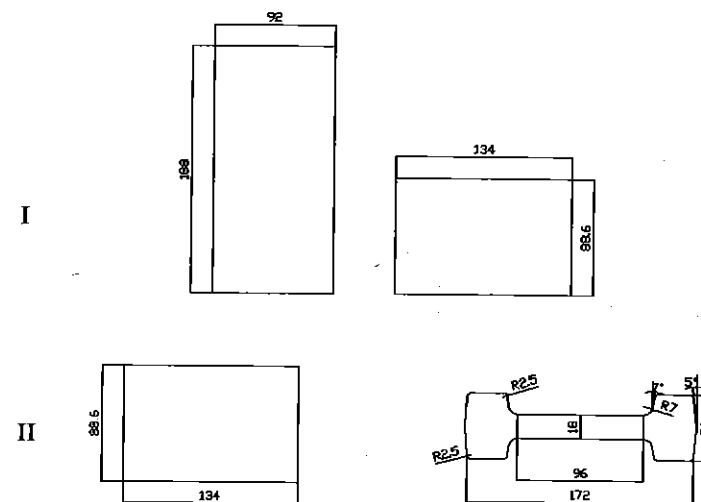


Sl.6. Definisanje polovine radnog predmeta

Takode, da bi se korisniku sistema prezentiralo dobijeno rešenje, u ovoj fazi razvoja prototipa, orijentisanog na nivo određivanja faza kovanja, u grafičkom obliku,

napravljena je veza sa AutoCAD-om, gdje se za datu grupu izlazno rešenje generiše na bazi parametarskog pristupa.

Na sl.7 su prikazani izlazi za dobijeno rešenje iz BEST-a za faze kovanja sa definisanim pripremkom, međufazom i izgledom radnog predmeta.



Sl.7. Faze kovanja radnog predmeta

4. ZAKLJUČCI

Ekspertni sistemi se mogu pogodno primijeniti na probleme zapreminskog deformisanja u otvorenim kalupima zbog neophodnosti korišćenja velikog broja empirijskih informacija koje najčešće nije moguće predstaviti u formalizovanom vidu.

Za obezbjeđenje koncepta SRPT-a prihvaćena je globalna struktura koja uključuje tri nivoa: operativni, taktički i strateški. SRPT se realizuje preko ekspertskog sistema kao jezgra koje je u sadejstvu sa više razvijenih eksternih programa.

Za razvoj ekspertskog sistema se koristi raspoloživa ljuska BEST kod koje se deklarativno znanje predstavlja konceptima, činjenicama i hipotezama dok se znanje potrebno za rješavanje problema opisuje pravilima.

Uspješnost razvoja ekspertskog sistema velikim dijelom zavisi od kvaliteta baze znanja. U okviru baze znanja ugrađena su pravila dobijena na osnovu literaturnih saznanja i sopstvenog iskustva. Komponenta akvizicije znanja omogućava jednostavnu nadgradnju specifičnih pravila korisnika koja su konzistentna sa već ugrađenim pravilima.

Djelovi se klasifikuju u grupe čije prepoznavanje se vrši sintakšno na osnovu metoda sličnog formalnoj jezičkoj teoriji, a sam crtež se definiše u AutoCAD-u. Izlazno rješenje dobijeno u AutoCAD-u se generiše na bazi parametarskog pristupa.

5. LITERATURA

1. Тетерин Г.П., Полухин П.И., Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки, Машиностроение, Москва, 1979.
2. Hartley P., Sturgess C.E.N., Dean T.A., Rowe G.W., Eams J., Development of a Forging Expert System, Expert System in Engineering (Edited by Pham D.T.), IFC Publications, 1988.
3. Пенчев Т.Н., Принципы создания экспертных систем для горячей объемной штамповки, КИП, N1, 1990.
4. Сторожев М.В., Попов Е.А., Теория обработки металлов давлением, Машиностроение, Москва, 1977.
5. Popović P., .., Metode i alati za zapreminsko oblikovanje i kovanje, Niš, 1980.
6. Batljan R., Istraživanje mogućnosti automatskog projektovanja tehnologije izrade rotacionih djelova primjenom razvijenih softverskih paketa za CAD/CAM, Magistrski rad, Mašinski fakultet, Podgorica, 1996.
7. Vukčević M., Krivokapić Z., Principi izgradnje ekspert sistema pri zapreminskom deformisanju, JUPITER, Beograd, 1996.
8. Vujović V., Tehnologija plastičnosti u mašinstvu - I dio, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1990.
9. Devedžić B., Plastičnost i obrada metala deformisanjem, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
10. Musafija B., Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1976.
11. Богомолов Б.Г., ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СПОСОБЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА EBM, КИП, N1, 1976.
12. Zhao G., Wright E., Grandhi R.V., Forging preform design with shape complexity control in simulating backward deformation, Int. J. Tools Manufact., Vol. 35, N 9, 1995.

M. Vukcevic
Z. Krivokapic

THE SYSTEM FOR COMPUTER DESIGN OF THE FORGING OPEN DIE TECHNOLOGY

Summary

Development of expert system of the open die forging is investigated. The available shell BEST for development of expert system is used. The base knowledge, within the frame specific rules are built, simple superstructure make possible. Parts classifies in to groups and syntactic recognized. The design of the part and the out solve, in the AutoCAD are defined.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Dr Drago Blagojević, mr Borislav Predojević *

ISTRAŽIVANJE KONSTRUKCIJE I TEHNOLOŠKOG PROCESA IZRADE DIJAMANTSKIH TOCILA

REZIME : Istraživan je tehnološki postupak izrade brusnih alata sinterovanjem sa ugrađenim dijamantskim zrnima u metalnom vezivu. Postupkom sinterovanja u toplom stanju, inkorporirana su zrna sintetičkog i prirodnog dijamanta različitih vrsta, iste granulacije D 46 (325 / 400 US meša), jednake koncentracije dijamanta u reznom sloju i sa istim vezivom. Brusni učinak dijamantskih slojeva nanesenih na čelične nosače ispitan je brušenjem kristalnog stakla sa 24 % Pb.

KORIŠTENE OZNAKE

z	- redni broj grupe brušenih predmeta	
t	- vrijeme brušenja	[min]
M	- masa grupe predmeta prije brušenja	[gr]
M ₁	- masa grupe predmeta poslije brušenja	[gr]
M ₂	- masa skinutog (obrušenog) materijala	[gr]
Q	- masa tocila prije brušenja	[gr]
Q ₁	- masa tocila poslije brušenja	[gr]
Q ₂	- masa brusnog sloja koji je utrošen	[gr]
D	- prečnik tocila prije brušenja	[mm]
D ₁	- prečnik tocila poslije brušenja	[mm]
X	- smanjenje visine dijamantskog sloja $X = (D - D_1) / 2$	[mm]
S	- " oživljavanje " (čišćenje) tocila	
G	- relativni vijek trajanja tocila	

1. UVOD

Poznato je da su dijamantski rezni slojevi inkorporirani čvrstim zrnima abraziva u metalnom vezivu. Svojstva reznog sloja zavise od sastava, veličine i rasporeda inkorporiranih zrna u metalnom vezivu, vrste metalnog veziva i postupka nanošenja. Pri brušenju se želi uz minimalne troškove obrade postići ne samo maksimalni učinak brušenja nego i što bolji kvalitet obrađene površine. Izbor vrste i granulacije zrna ovisi od materijala koji se obrađuje, postupka brušenja, željene hrapavosti brusne površine

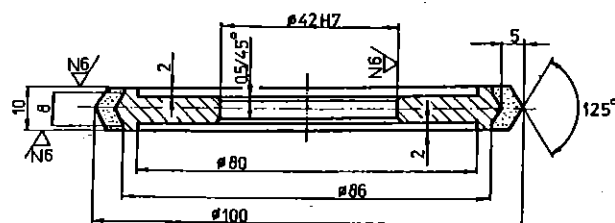
* dr Drago Blagojević, vanredni profesor, Mašinski fakultet u Banjoj Luci; mr Borislav Predojević, Fabrika dijamantskog alata " DIAL " u Tesliću.

i specifičnog učinka brušenja . U cilju testiranja navedenih parametara i što ekonomičnije primjene dijamantskih alata izvršena su istraživanja koja su predstavljena u ovom radu .

2 . EKSPERIMENTALNI RAD

Na osnovu odabranih konstrukcionih parametara izrađeni su nosači dijamantskih tocila od čelika Č . 0345 . Nosači su pripremljeni bakarisanjem ili niklovanjem u cilju što boljeg prijanjanja dijamantskog sloja . Prije procesa galvanizacije izvršena je predobrada čeličnih nosača , a prije stavljanja u galvanski elektrolit nosači su temeljno odmašćeni i nakon toga dobro isprani tekućom vodom . Za depoziciju niklovog sloja izabran je sulfamatni elektrolit . Dijamantska tocila su proizvedena u fabrici dijamantskog alata " DIAL " u Tesliću , a ispitivanja su vršena u Srpskoj fabrici stakla u Paraćinu [1] .

Izgled i mjere dijamantskih tocila prikazani su na slici 1 .



Slika 1 - Dijamantsko
tociło tipa 9EE1
ø 100 x 10 x 5 - 125°

U metalnim kalupima za izradu dijamantskih tocila je sintetički i prirodni dijamant vrsta : MDA , MDA S , MB - 300 , MB - 125 , SNDMB , CDA 55 N , CDA i MBG - II , granulacije D 46 (325 / 400 US meša) i koncentraciji 50 sa metalnim vezivom ugrađen na nosač postupkom sinterovanja u toplom stanju [2] . U rezni sloj su ugrađeni dijamanti iste granulacije , iste koncentracije (C 50) u istom metalnom vezivu . Sinterovanje dijamantskih tocila je izvršeno na mašini za sinterovanje DSP 100 3P proizvođača " Dr . Fritsch " .

Brušenje probnih uzoraka dijamantskih tocila u koje su ugrađena zrna sintetičkih i prirodnih dijamanata ispitivano je na mašini za ručno brušenje kristalnog stakla , proizvođača " Diamant Boart " . Tehnološki postupak obavljen je uz sljedeće kriterije : - broj obrtaja 4200 ° / min , snaga motora P = 3 kW , dubina graviranja u zavisnosti od dezena .

- vaganje kristalnih vaza , čaša i dijamantskih tocila vršeno je na preciznoj tehničkoj vagi proizvođača " Železnik " sa tačnošću od 0 , 01 gr .

- prečnik dijamantskog tocila mjereno je mikrometrom sa područjem mjerenja od 75 do 100 mm proizvođača " Meba " i tačnošću od 0 , 01 mm .

- brušeni proizvodi su od kristalnog stakla sa sadržajem od 24 % Pb .

Za graviranje svakim točilom odabrane su četiri vaze i pet čaša . Tocila su obilježena brojevima pod kojima su proizvedena i prethodno su izvagana .

Prvo su brušene četiri vaze i za svaku je mjereno efektivno vrijeme brušenja . Nakon završenog brušenja druge vaze i završnog brušenja četvrte čaše vršeno je " oživljavanje " (čišćenje) tocila silicijumkarbidnim brusom . Obavljeno je

pet prolaza brusom sa svake kose strane tocila .

Prije početka brušenja i nakon brušenja vaza i čaša dijamantska tocila su izvagana a vršeno je i mjerenje prečnika tocila . U tabelama 1 i 2 su prikazani rezultati brušenja dijamantskim točilom sa ugrađenim sintetičkim dijamantima vrsta CDA 55 N i MB - 125 [3] .

Tabela 1 - Rezultati brušenja
dijamantom CDA 55 N

Tabela 2 - Rezultati brušenja
dijamantom MB - 125

Oznaka tocila " DIAL " broj 1 (CDA 55N)											Oznaka tocila " DIAL " broj 2 (MB - 125)										
Brušenje kristalnih vaza											Brušenje kristalnih vaza										
Z	I	M	M ₁	M ₂	Q	Q ₁	Q ₂	D	D ₁	X	Z	I	M	M ₁	M ₂	Q	Q ₁	Q ₂	D	D ₁	X
1.	16	1200	1200	80	339,80	-	-	99,08	-	-	1.	15	1240	1260	80	336,30	-	-	98,80	-	-
2.	14	1320	1240	80							2.	14	1590	1510	80						
3	Toc. oživlj. (pet probbrusa)										3	Toc. oživlj. (pet probbrusa)									
3.	10	1320	1240	80							3.	11	1510	1420	90						
4.	11	1190	1110	80	-	335,40	0,40	-	98,96	0,050	4.	11	1315	1240	75	-	336,11	0,19	-	98,75	0,025
Brušenje kristalnih čaša											Brušenje kristalnih čaša										
1.	3	401,38	383,74	17,64	335,40	-	-	98,96	-	-	1.	3	398,30	379,81	16,69	336,11	-	-	98,75	-	-
2.	3	360,10	344,01	16,09							2.	3	397,38	379,49	17,89						
3.	3	448,30	419,70	28,60							3.	3	352,11	339,00	13,11						
4.	3	329,50	312,17	17,33							4.	3	386,98	368,49	18,49						
5	Toc. oživlj. (pet probbrusa)										5	Toc. oživlj. (pet probbrusa)									
5.	2	323,38	302,80	20,58	-	335,12	0,28	-	98,88	0,040	5.	2	341,90	324,61	17,29	-	335,77	0,34	-	98,65	0,090

Karakteristike tocila sa sintetičkim dijamantima CDA 55 N i MB - 125 nakon obavljeno brušenja su :

GDA 55 N MB - 125

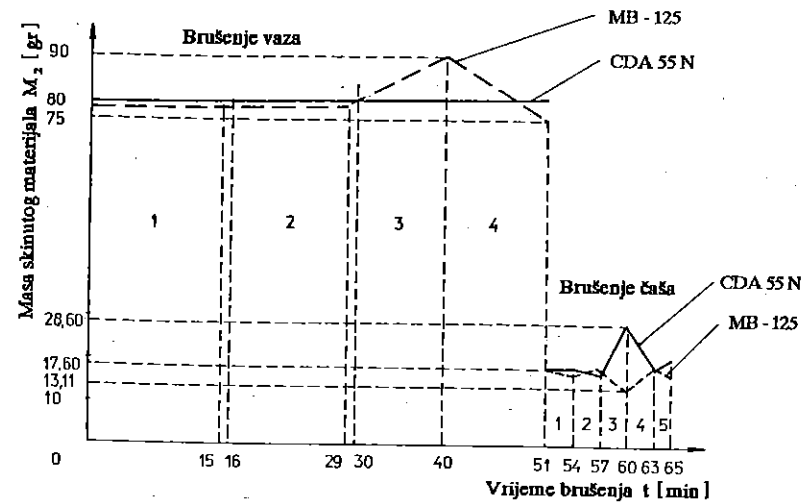
- ukupno vrijeme brušenja	65	65	[min]
- masa skinutog materijala	420,24	408,47	[gr]
- masa potrošenog dijamantskog sloja	0,68	0,53	[gr]
- smanjenje visine dijamantskog sloja	0,09	0,075	[mm]

Tociło broj 1 skinulo je za isto vrijeme brušenja 11 , 77 gr staklenog praha više , ali je masa potrošenog dijamantskog sloja veća za 0 , 015 gr , dok je smanjenje visine dijamantskog sloja veće za 0 , 015 mm . Međutim , iz tabele se vidi da je težina potrošenog dijamantskog sloja tocila broj 1 u drugoj fazi kod brušenja čaša bila manja od tocila 2 za = 0 , 06 gr . Ovo upućuje na zaključak da se tociło broj 1 brže " otvara " pa u prvoj fazi brušenja ima povećanu istrošenost dijamantskog sloja , ali daljim radom njegovo trošenje zaostaje za trošenjem tocila 1 , što se pokazalo kod brušenja čaša .

Iz tabela 1 i 2 se vidi da je za oba tocila nakon " oživljavanja " vrijeme brušenja smanjeno na približno jednu trećinu . Kvalitet obrađenih površina je približno isti za oba tocila .

Iz dijagrama na slici 2 , koji se odnosi na brušenje vaza , se vidi da je tociło sa sintetičkim dijamantom CDA 55 N (puna linija) na svakoj vazii skinulo po 80 gr staklenog praha , tj . 80 gr x 4 kom = 320 gr za vrijeme od 16 + 14 + 10 + 11 = 51 minuta . Tociło sa sintetičkim dijamantom MB - 125 (isprekidana linija) skinulo je 80 + 80 + 90 + 75 = 325 gr staklenog materijala za vrijeme od 15 + 14 + 11 + 11 = 51

minuta. Uočljiv je porast skinutog staklenog materijala na trećoj vazi (90 gr), a zatim pad na četvrtoj vazi na 75 gr. Podaci ukazuju na približno isti kvalitet brusnog sloja.



Slika 2 - Dijagram zavisnosti mase skinutog materijala (M_2) od vremena brušenja (t) za ugrađene sintetičke dijamante CDA 55 N i MB - 125

Iz dijagrama koji se odnosi na brušenje čaša se vidi da je točilo sa sintetičkim dijamantom CDA 55 N (puna linija) skinulo 17,64 + 16,09 + 28,60 + 17,33 + 20,58 = 100,24 gr staklenog materijala za vrijeme od 3 + 3 + 3 + 3 + 2 = 14 minuta. Za isto vrijeme točilo sa sintetičkim dijamantom MB - 125 (isprekidana linija) skinulo je 16,69 + 17,89 + 13,11 + 18,49 + 17,29 = 83,47 gr staklenog materijala. Primjetno je da točilo sa sintetičkim dijamantom CDA 55 N na trećoj čaši ima povećanje mase skinutog staklenog materijala (28,60 gr), a zatim pad na četvrtoj čaši (17,33 gr), da bi nakon "oživljavanja" ponovo nastupio porast.

3. DISKUSIJA REZULTATA

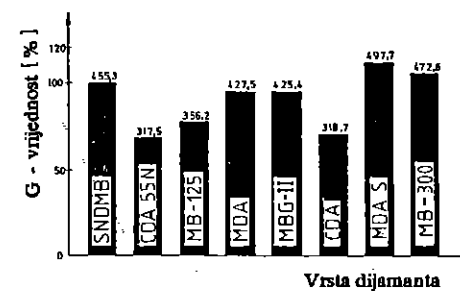
Istraživanja u proizvodnim uslovima su pokazala da je moguće izvršiti ugradnju dijamantskih zrna kvaliteta CDA 55 N u metalno vezivo iako je ova vrsta dijamanta namijenjena po uputstvima proizvođača za povezivanje u alatima sa smolastim vezivima.

Rezultati pokazuju da je odnos zapremina skinutog staklenog praha i dijamantskog sloja, [4] izražen preko G - vrijednosti, kod brušenja kristalnih vaza, veći za 153,4 % u korist dijamanta MB - 125. Ovaj podatak moguće je opravdati i činjenicom da zrna dijamanta CDA 55 N koja imaju ovojnica od nikla nisu u potpunosti "otvorena". Kako je istim točilima nastavljeno i brušenje kristalnih čaša, rezultat pokazuje da je odnos mase skinutog dijamantskog sloja i staklenog praha veći za 138,

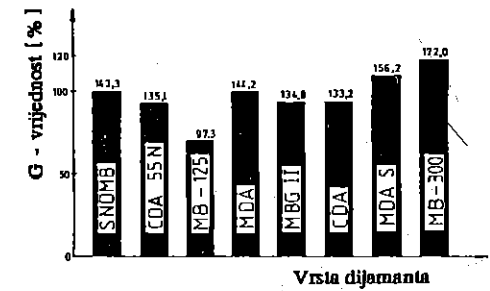
8 % u korist dijamanta CDA 55 N.

Dobijeni rezultati upućuju da je dijamant CDA 55 N moguće koristiti kao zamjenu za dijamant MB - 125 u slučaju graviranja dezena sa manjom dubinom brušenja i kod točila koja su prošla fazu "otvaranja". Po pitanju cijene koštanja, dijamant MB - 125 je za 28 % jeftiniji.

Rezultati relativnog vijeka trajanja točila (za vaze i čaše zbirna G - vrijednost) predstavljene su na slici 3. Kako je SNDMB jedina vrsta prirodnog

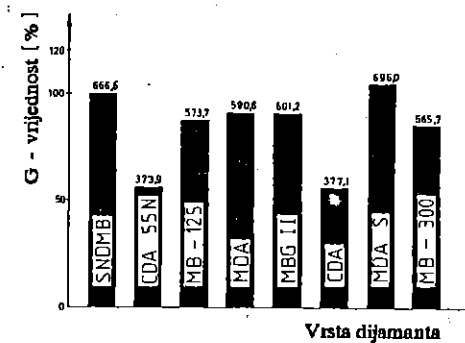


Slika 3 - Relativni vijek trajanja točila u zavisnosti od vrste dijamanta (za vaze i čaše)

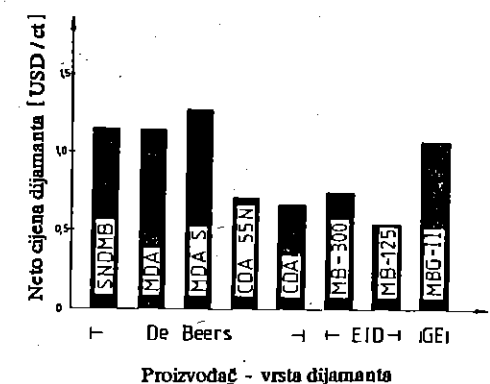


Slika 4 - Relativni vijek trajanja točila u zavisnosti od vrste dijamanta kod brušenja čaša

dijamanta, to smo relativni vijek trajanja točila označili sa 100 % i u odnosu na njega ćemo vršiti poređenje drugih vrsta sintetičkih dijamanata. Superiorniji dijamanti u odnosu na SNDMB su MDA S (za 9%) i MB - 300 (za 5%), sa oko 7% manjom trajnošću su dijamanti MDA i MBG - II, dok sa još većim odstupanjem su dijamanti CDA 55 N (za 32%), CDA (za 32%) i MB - 125 (za 23%). Treba napomenuti da je dijamant CDA 55 N namijenjen za izradu alata u smolastom vezivu.



Slika 5 - Relativni vijek trajanja točila u zavisnosti od vrste dijamanta kod brušenja vaza



Slika 6 - Neto cijene dijamanta De Beers Industrial Diamond, Edel Industrial Diamonds, General Electric

Kako je brušenje vaza i čaša vršeno odvojeno, radi poređenja je na slici 4 prikazan relativni vijek trajanja tocila kod brušenja čaša, a na slici 5 kod brušenja vaza, iskazan pomoću G - vrijednosti.

Neto cijene pojedinih vrsta dijamanta sa oznakom proizvođača predstavljene su na slici 6. Cijena dijamanta MDA S u poređenju sa MB - 300 je veća za 69,7%, a G - vrijednost je veća za 5,3%. Cijena dijamanta MB - 125 u poređenju sa MDA S je veća za 126,3%, a G - vrijednost je veća za 39,6%. Poređenjem dvije vrste dijamanata istog proizvođača MB - 300 i MB - 125 se vidi da je cijena prvog veća za 25%, ali je i G - vrijednost veća za 29%. Pošto je poređenje vršeno u odnosu na dijamant SNDMB, to je vrijedno napomenuti da je njegova cijena veća od cijena četiri vrste sintetičkog dijamanta.

4. ZAKLJUČAK

Odabrana konstrukciona rješenja dijamantskih tocila u eksploatacionim uslovima su pokazala povoljne karakteristike u pogledu kompaktnosti nosača i dijamantskog sloja, propisanih tolerancija i uravnoteženosti. Utvrđene su mogućnosti korištenja određenih sintetičkih dijamanata kod brušenja stakla u metalnom vezivu, iako su oni predviđeni za smolasta veziva. Dobijena je optimalna vrsta sintetičkog dijamanta za brušenje kristalnog stakla, a potvrđeno je da su određene vrste sintetičkih dijamanata nadmoćnije od prirodnog.

LITERATURA

- [1] Predojević, B. : *Istraživanje konstrukcione izvedbe i postupka oblikovanja dijamantskih alata*. Mašinski fakultet, magistarski rad, Banja Luka (1995).
- [2] Stockwell, B. H. : *Die Metallurgie der Diamantwerkzeuge*. Industrie Diamanten Rundschau 1 / 86, 20. Jahrgang, Heft 1, strana 31 do 35.
- [3] Juchem, H. : *Diamond for grinding non - metallics*. Industrial Diamond Review 4 / 88, Volume 48, Number 527, strana 158 do 161.
- [4] Cebalo, R. : *Duboko brušenje*. Školska knjiga, Zagreb 1990.

ZUSAMMENFASSUNG : *Es wurde das technologische Verfahren der Ausarbeitung der Schleifwerkzeuge durch Sintern mit den eingebauten Diamantkörnungen in der Metallbindung untersucht. Durch Sintern im warmen Zustand wurden die Körnungen der synthetischen - und Naturdiamant verschiedener Arten gleicher Granulation D 46 (325 / 400 US Mesh), gleicher Diamantkonzentration im Schneidraum, und mit gleicher Bindung inkorporiert. Die Leistung des Schleifens der Diamantschichten, die auf die Stahlträger gebracht wurden, wurde durch Schleifen der Kristallglas mit 24 % Pb untersucht.*



UTVRĐIVANJE ZAVISNOSTI KRUŽNOSTI OD REŽIMA REZANJA

docent dr Ljubodrag Đorđević, dipl.inž.mašinstva*
asistent Miodragović Goran, dipl.inž. mašinstva*
Petković Goran, dipl.inž. mašinstva**

REZIME

U radu se prikazuje značaj kružnosti, načini utvrđivanja i merenja kružnosti za mašinske elemente, kao i do detalja razrađen plan eksperimenta i rezultati eksperimenta. U pitanju je trofaktorni plan, odnosno utvrđivana je zavisnost kružnosti od parametara t (dubina rezanja), s (korak) i n (broj obrtaja).

UVOD

Režimi obrade predstavljaju osnovne elemente koji definišu međusobni položaj i relativno kretanje između alata i obratka u toku izvođenja procesa obrade. Oni se određuju za svaki zahvat i zavisno od metoda obrade obuhvataju: dubinu rezanja t [mm], broj obrtaja n [o/min] (odnosno broj duplih hodova n_l [db/min]), korak s [mm/o ili mm/z], broj prolaza i . Tehnički uslovi koji se odnose na propisanu tačnost obrade i kvalitet obrađene površine predstavljaju jedan od glavnih faktora, koji utiču na izbor režima obrade. Tačnost mera, oblika i položaja, kao i kvalitet obrađene površine imaju veliki uticaj na funkcionalnost i vek trajanja mašinskih elemenata.

Naročiti značaj ima tačnost obrade u pogledu kružnosti (tolerancija oblika), jer pored ispravnog funkcionisanja mašinskih elemenata u uređajima i sistemima (naročito onih koji se nalaze u relativnom kretanju, recimo klip - cilindar), ovaj parametar prikazuje i stanje mašine alatke na kojoj se obrada izvodi. Odstupanje od idealne kružnosti može da nastane kao posledica lošeg uležištenja glavnog vretena ili zbog lošeg centriranja prilikom stezanja.

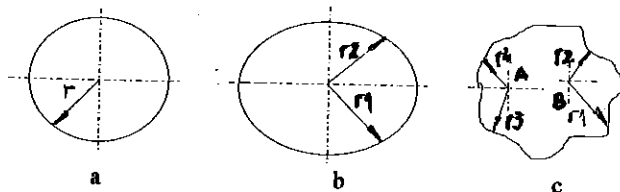
UTVRĐIVANJE KRUŽNOSTI

Mašinski element je idealne kružnosti, samo ako postoji tačka u njegovom preseku, od koje su sve tačke na periferiji podjednako udaljene (sl.1.a.). Međutim ukoliko presek nije idealan krug (sl.1.b.), onda se kružnost [Kr] definiše, kao razlika $\max [r_1]$ i $\min [r_2]$ rastojanja od

* Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo

** DD NAMENSKA - Trstenik

perifernih tačaka do centralne tačke [$Kr = r1 - r2$]. Ukoliko je profil nepravilan (sl.1.c.), kružnost se može definisati kao razlika max i min rastojanja samo ako se pronade centar tog profila; $Kr = r3 - r4$; a centar u tački A, odnosno za centar u B; $Kr = r1 - r2$.

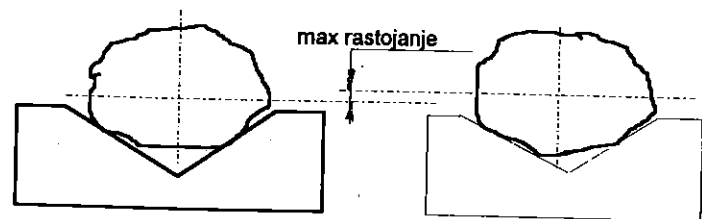


Slika 1.

Definisanje kružnosti ne treba mešati sa definisanjem prečnika jer se mere različito. Za definisanje kružnosti neophodno je ostvariti okretanje radnog predmeta (ili pipalice merne mašine), dok je za utvrđivanje prečnika potreban samo mikrometar ili neki drugi merni alat.

MERENJE KRUŽNOSTI

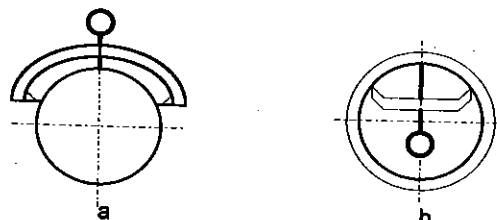
Najjednostavnije merenje kružnosti je naprobnom stolu, gde se komad postavlja na "V" prizmu (sl.2.) i pušta se da se okreće. Ako je komad idealne kružnosti, merni pipak miruje, u suprotnom neravnine same podižu i spuštaju pipak.



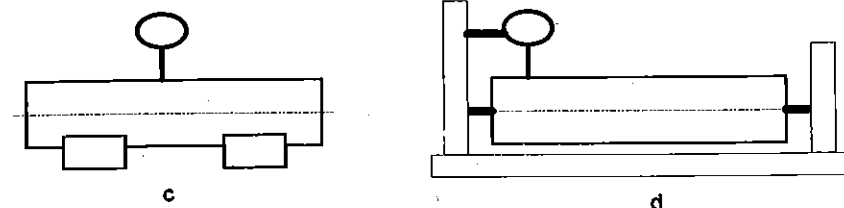
slika 2.

Ovaj način merenja koristi metod tri tačke (jer su za definisanje kruga neophodne tri tačke), pa postoje različite varijacije korišćenja ovog metoda:

- za merenje kružnosti delova velikog spoljnog prečnika (sl.3.a.)
- za merenje kružnosti delova velikog unutrašnjeg prečnika (sl.3.b.)
- za merenje kružnosti delova velikih dužina sa oslanjanjem
 - * preko dve prizme (sl.3.c.)
 - * između šiljaka (sl.3.d.)

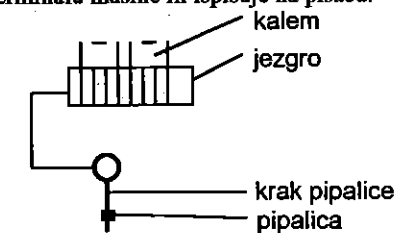


Slika 3.



slika 3.

Mašine na kojima se utvrđuje kružnost se izrađuju u dva osnovna tipa. U jednom se radni predmet obrće, a pipalica miruje, a u drugom radni predmet miruje, dok se pipalica okreće oko dela koji se meri. Kod oba tipa mašina, kretanje pipalice se pretvara u električni signal, pri čemu je najrasprostranjeniji princip promene indukcije sa promenom položaja jezgra (sl.4.). Jezgro je povezano sa krakom pipalice, tako da njeno pomeranje izaziva promenu položaja jezgra, a time se menja indukcija u kalemovima. Kalemovi su povezani sa naizmeničnim strujnim mostom, koji je u ravnoteži kada je jezgro u sredini. Sa promenom položaja jezgra remeti se ravnoteža mosta koji daje signal srazmeran pomeranju jezgra, koji se pojačava i očitava na terminalu mašine ili ispisuje na pisaču.



slika 4.

EKSPERIMENTALNO UTVRĐIVANJE ZAVISNOSTI OD REŽIMA OBRADJE

$$Kr = f(t, s, v)$$

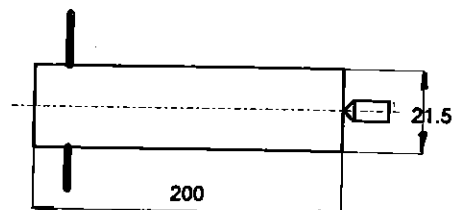
USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA

Ekspiriment je izveden u pogonskim uslovima, u fabrici DD "Industrijska pneumatika" - Trstenik, na univerzalnom strugu POTISJE ADA 501M sa sledećim karakteristikama:

- broj obrtaja 20 - 2000 o/min
- korak *uzdužni 0.04 - 9 mm/o
- *poprečni 0.02 - 4.58 mm/o
- raspon između šiljaka 1500 mm
- max prečnik obrade 480 mm

Prpemek je čelična šipka (Č.1730, čelik za poboljšanje, l = 200 mm; D = 21.5 mm). Stezanje je između šiljaka (sl.5.).

Ekspiriment je izvršen u 8 tačaka sa ponavljanjem eksperimenta u svakoj tački. Dužina obrade za svaku tačku je 20 mm (ponavljanje je na deonicama od 10 mm).



slika 5.

Rezni alat je od tvrdog metala P20 $\kappa = 90$, $r = 0.4$ mm, koja nije menjana u toku eksperimenta.

Utvrđivanje kružnosti je izvršeno na mernoj mašini FORMMETER, firme PERTMEN, kod koje pipalica miruje, a radni predmet se okreće.

PLANIRANJE I IZVOĐENJE EKSPERIMENTA

Cilj eksperimenta je da se utvrdi funkcionalna zavisnost kružnosti Kr , od dužine rezanja t , koraka s , brzine rezanja $v = \pi Dn/1000$; odnosno $Kr = f(t,s,v)$. Kao što se vidi u pitanju je trofaktorni proces $X_1 = t$, $X_2 = s$, $X_3 = v$ ($k = 3$), koji se ispituje na osnovu ortogonalnog plana 2^k , pa je broj tačaka u kojima se izvodi eksperiment $N = 2^3 = 8$, sa ponavljanjem eksperimenta u svakoj tački ($m = 2$).

Nivo eksperimenta je dat u tabeli T1, a plan matrica sa rezultatima merenja u tabeli T2.

Tabela T1

nivo	dubina rezanja t mm	korak s mm/o	brzina rezanja v m/min	kod promenljive		
				X1	X2	X3
gornji	1.5	0.214	49.98	1	1	1
donji	0.4	0.044	15.20	-1	-1	-1

Tabela T2

Redni broj	t mm	s o/min	v m/min	Kod promenljive				Rezultati merenja	
				X0	X1	X2	X3	Kr1	Kr2
1	1.5	0.044	15.20	1	1	-1	-1	15.36	15.28
2	1.5	0.044	49.98	1	1	-1	1	16.73	16.05
3	1.5	0.0214	15.20	1	1	1	-1	22.71	23.19
4	1.5	0.0214	49.98	1	1	1	1	12.02	11.60
5	0.4	0.044	15.20	1	-1	-1	-1	8.32	8.58
6	0.4	0.044	49.98	1	-1	-1	1	9.36	9.04
7	0.4	0.0214	15.20	1	-1	1	-1	18.86	19.35
8	0.4	0.0214	49.98	1	-1	1	1	6.27	5.88

Za dalji rad (utvrđivanje homogenosti eksperimenta, adekvatnosti modela i ocene signifikantnosti koeficijenata regresije) formira se tabela T3.

Tabela T3.

redni broj	rezultati merenja Kr1 Kr2		srednja vred. \bar{y}_u	$\ln \bar{y}_u$	\hat{y}_u	$\Sigma (Kruj - \bar{y}_u)$	$\Sigma (\bar{y}_u - \hat{y}_u)$
1	15.36	15.28	15.32	2.729	2.947	0.0032	0.047524
2	16.73	16.05	16.39	2.797	2.5156	0.2312	0.079186
3	22.71	23.19	22.95	3.133	3.0614	0.1152	0.005126
4	12.02	11.60	11.81	2.469	2.623	0.0882	0.023716
5	8.32	8.58	8.45	2.134	2.431	0.0338	0.088209
6	9.36	9.04	9.2	2.219	2.006	0.0512	0.045369
7	18.86	19.35	19.105	2.95	2.5424	0.12005	0.16614
8	6.27	5.88	6.075	1.804	2.160	0.07605	0.126736

$$S_e = 0.7189 \quad S_{if} = 0.582$$

Pretpostavka je da je matematički model $Kr = f(t,s,v)$:

$$Kr = Q_0 t^{q_1} s^{q_2} v^{q_3}$$

Linearizacijom modela dobija se :

$$\ln Kr = \ln Q_0 + q_1 \ln t + q_2 \ln s + q_3 \ln v$$

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$$

b_1, b_2, b_3, b_0 su koeficijenti regresije koji se računaju iz matrice jednačine :

$$B = (X'PX)^{-1} (X'PY) \quad //$$

X - plan matrica (X' njena transponovana matrica)

P - matrica ponavljanja eksperimenta

\bar{Y} - matrica srednjih vrednosti eksperimentalnih rezultata

B - matrica koeficijenata regresije.

Nakon rešenja matrice jednačine 1., dobijaju se koeficijenti regresije :

$$b_0 = 2.529 \quad b_1 = 0.2526 \quad b_2 = 0.059 \quad b_3 = -0.207$$

Pa je linearizovani model :

$$\hat{y}_i = 2.529 + 0.2526x_1 + 0.059x_2 - 0.207x_3$$

Sledeći korak je bio da se izvrši disperziona i regresiona analiza. Zbog ograničenosti prostora, napomenućemo samo neke rezultate, značajne za dalji rad.

Suma kvadrata vezana za adekvatnost modela $S_{LF} = 0.582$

Suma kvadrata vezana za grešku eksperimenta $S_E = 0.7819$

Disperzija eksperimentalnih rezultata $s^2(y) = 0.0898625$

Rezidualna disperzija $s^2_R = 0.065045$

Fišerovim testom je utvrđeno da je eksperiment homogen i hipoteza je prihvaćena, što pokazuje da je model adekvatan.

Ocena signifikantnosti koeficijenata regresije je pokazala da su faktori b_0, b_1, b_3 signifikantni dok je faktor b_2 nesignifikantan.

Prelaskom na prirodne koordinate dobija se konačni matematički model sa svim faktorima odnosno samo sa signifikantnim faktorima (2.).

$$K_{r1} = 57.94 v^{0.38812} s^{0.09086} v^{-0.3623}$$

$$K_{r2} = 57.94 v^{0.38812} v^{-0.3623}$$

/2.1/
/2.2/

ZAKLJUČAK I INTERPRETACIJA REZULTATA

Za zaključak i interpretaciju rezultata poslužiće tabela T4.

TABELA T4

u	y	K _{r1}	K _{r2}	α ₁ %	α ₂ %
1	15.32	19.05	25.3	-24.35	65.14
2	16.39	12.37	16.43	24.53	-0.24
3	22.95	21.99	25.297	4.18	-10.22
4	11.81	14.289	16.44	-20.99	-39.20
5	8.45	11.405	15.15	-34.97	-79.3
6	9.20	7.41	9.842	19.45	-6.98
7	19.605	13.167	15.147	32.83	22.74
8	60.075	8.555	9.84	40.82	-40.82

α₁, α₂ greške koje nastaju kada se koristi jednašine /2.1./ odnosno /2.2/. Na osnovu vrednosti regresionih faktora zaključuje se da na kružnost najveći uticaj ima dubina rezanja, a analizirajući znakove koeficijenata regresije, zaključuje se da sa povećanjem brzine rezanja dolazi do smanjenja kružnosti. Greške iz tabele T5, variraju od tačke do tačke eksperimenta, što može da bude znak da pri daljoj analizi treba uključiti i neke druge faktore (recimo geometriju alata), da bi se dobili što realniji i ujednačeniji rezultati

LITERATURA

- /1/ Joko Stanić Upravljanje kvalitetom proizvodnje metodi II, Beograd 1985.
/2/ Joko Stanić Metod inženjerski merenja, Beograd 1990.
/3/ H.Dagnall M.A. LET'S TALK ABOUT ROUDNESS, Rank Taylor Hobson, Leicester, England, 1976.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Globočki Lakić Gordana, Stanić Joko*

OPTIMIZACIJA PROCESA SPOLJAŠNJEG KRUŽNOG UZDUŽNOG BRUŠENJA PREMA TROŠKOVIMA OBRADNE

REZIME

U radu je obuhvaćeno ispitivanje procesa spoljašnjeg kružnog uzdužnog brušenja Č.1730. površinski kaljenog, točilom 2B80M6V pri promjeni elemenata režima brušenja i prezentiran način dobijanja funkcija izlaznih parametara procesa u zavisnosti od elemenata režima brušenja i učinka brušenja (tj. proizvodnosti obrade). Na osnovu ovih funkcija određeni su optimalni elementi režima brušenja pri kojima su troškovi brušenja minimalni, uz uvažavanje ograničenja zahtijevane hrapavosti brušene površine. Prema ovako razvijenom modelu unutrašnje tehnokonomске optimizacije procesa obrade brušenjem urađen je program u programskom jeziku C.

1.0. UVOD

Osnovni pokazatelji procesa obrade brušenjem koji se koriste za njegovu ocjenu i prema kojima se izvodi optimizacija ovog procesa su: tačnost i kvalitet obrade, troškovi obrade i proizvodnost procesa. Postoje i određene pretpostavke za optimizaciju procesa obrade. Jedna od osnovnih je poznavanje zavisnosti navedenih pokazatelja procesa i elemenata režima obrade. Kod obrade brušenjem, u većini slučajeva, mogu se koristiti zakonitosti promjene osnovnih karakteristika procesa u funkciji specifičnog učinka brušenja V_M' (zapremina skinutog metala u jedinici vremena), jer ova veličina direktno zavisi od elemenata režima brušenja.

U radu je prezentirano određivanje optimalnih elemenata režima brušenja postupkom minimiziranja troškova obrade. Postupak se zasniva na pronalaženju matematičke veze između ulaznih veličina procesa i izlaznih parametara uz korištenje ograničenja veličina pojedinih parametara procesa prema usvojenoj funkciji cilja.

2.0. METODOLOGIJA I USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENATA

Eksperimenti su izvođeni na brusilici za kružno brušenje tip 3M 152 proizvodnje HSZ-a od 1976. godine. Brušenje je izvedeno točilom 2B80M6V dimenzija 540x65x200 mm proizvodnje Swaty-Maribor, koje je izabrano kao najpovoljnije za izabrani materijal.

* mr Gordana Lakić Globočki, dipl.inž.maš., Mašinski fakultet Banjaluka, S. Stepanovića 75;
prof. dr Joko Stanić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet Beograd, 27. marta 80.

Ispitivanja su vršena na klipovima za prese izrađenim od Č.1730 domaće proizvodnje površinski kaljenog na 54-58 HRC i težine 39 kg, odnosno prečnik Ø130f7x200 mm na kome su vršena ispitivanja je površinski kaljen. Nakon brušenja, ovaj prečnik ide na obradu superfinišom.

Kod svih eksperimenata korišteno je isto rashladno sredstvo, sinterno sredstvo SINTA SOL SHD (proizvođač Rafinerija ulja Modriča) u koncentraciji 2% i količini 10 l/min. Bilo bi povoljnije rashladno sredstvo SINT 30 (proizvođač FAM Kruševac), ali zbog objektivnih razloga u tvornici TAS - Jelšingrad nisu bili u mogućnosti da ga obezbijede.

Pri određivanju načina brušenja, materijala obratka i samog obratka za eksperimentalna ispitivanja vodilo se računa o najčešće zastupljenim materijalima i vidovima brušenja u tvornici TAS - Jelšingrad.

Ostali parametri i uslovi obrade su bili konstanti za posmatrani proces.

3. 0. MODEL ZA OPTIMIZACIJU PROCESA BRUŠENJA PROMJENOM ELEMENATA REŽIMA BRUŠENJA

1. Ulazni parametri obradnog sistema su:

- režim brušenja RB (broj obrtaja obratka n_r , dubina brušenja t i brzina uzdužnog pomoćnog kretanja tj. brzina radnog stola brusilice v_u)

2. Parametri koji su stalni za posmatram proces su:

- karakteristike obratka (KMO)

- karakteristike tocila (KT)

- rashladno sredstvo (SHP)

- dinamičko stanje obradnog sistema (mašina -M, pribor P, - obradak - O, alat - A) (MPOA)

- obimna brzina tocila (brzina rezanja $v_r \approx 50$ m/sek)

- režim poravnavanja tocila (dubina poravnavanja $t_d = 0,01$ mm/dh; korak dijamantskog jednorednog poravnivača $s_d = 0,5$ mm/o)

3. Izlazni parametri obradnog sistema su:

- glavno vrijeme brušenja po komadu (t_g)

- srednja aritmetička hrapavost (Ras)

- postojanost tocila (T)

U toku ispitivanja određivano je glavno vrijeme izrade po jednom komadu i mjerama hrapavost brušene površine na kraju perioda postojanosti tocila. Za kriterijum zatupljenja tocila korištena je pojava tragova "paljenja" na brušenoj površini.

Hrapavost je mjerena pomoću uređaja PERTHOMETAR W5DT proizvod firme Prthen - Hannover. Zavisnost izlaznih parametara od ulaznih mogu se izraziti u obliku stepenih funkcija:

$$t_g = B_1 \cdot n_r^{p_1} \cdot t^{p_2} \cdot v_u^{p_3} \quad (1)$$

$$Ras = B_2 \cdot n_r^{q_1} \cdot t^{q_2} \cdot v_u^{q_3} \quad (2)$$

$$T = B_3 \cdot n_r^{r_1} \cdot t^{r_2} \cdot v_u^{r_3} \quad (3)$$

Navedene zavisnosti (1), (2) i (3) mogu se transformisati u linearni oblik, tj. model prvog reda logaritmiranjem, pa se dobije:

$$\ln t_g = \ln B_1 + p_1 \ln n_r + p_2 \ln t + p_3 \ln v_u \quad (4)$$

$$\ln Ras = \ln B_2 + q_1 \ln n_r + q_2 \ln t + q_3 \ln v_u \quad (5)$$

$$\ln T = \ln B_3 + r_1 \ln n_r + r_2 \ln t + r_3 \ln v_u \quad (6)$$

Plan matrica polureplike $N=2^{k-1}+n_0=2^{3-1}+2=6$ za vrijeme brušenja data je u tabeli T.1. Za srednju aritmetičku hrapavost u tabeli T.2., a za postojanost tocila u tabeli T.3.

Red. br. eksper.	Vrijednosti faktora			Plan - matrica				Izmjerene vrijednost	
	$x_1 (n_r)$ (o/min)	$x_2 (t)$ (mm/dh)	$x_3 (v_u)$ (m/min)	x_0	x_1	x_2	x_3	t_g (min)	$\ln t_g$
1	90	0,02	0,5	+1	+1	+1	-1	19,750	2,983154
2	40	0,005	0,5	+1	-1	-1	-1	61,530	4,119525
3	90	0,005	2	+1	+1	-1	+1	22,550	3,115735
4	40	0,02	2	+1	-1	+1	+1	10,250	2,327278
5	60	0,01	1	+1	0	0	0	19,900	2,990720
6	60	0,01	1	+1	0	0	0	23,450	3,154871

Tabela T.1.

Red. br. eksper.	Vrijednosti faktora			Plan - matrica				Izmjerene vrijednost	
	$x_1 (n_r)$ (o/min)	$x_2 (t)$ (mm/dh)	$x_3 (v_u)$ (m/min)	x_0	x_1	x_2	x_3	Ras (μ m)	$\ln Ras$
1	90	0,02	0,5	+1	+1	+1	-1	0,172	-1,7603
2	40	0,005	0,5	+1	-1	-1	-1	0,152	-1,8839
3	90	0,005	2	+1	+1	-1	+1	0,265	-1,3280
4	40	0,02	2	+1	-1	+1	+1	0,538	-0,6199
5	60	0,01	1	+1	0	0	0	0,196	-1,6296
6	60	0,01	1	+1	0	0	0	0,221	-1,5096

Tabela T.2.

Red. br. eksper.	Vrijednosti faktora			Plan - matrica				Izmjerene vrijednost	
	$x_1 (n_r)$ (o/min)	$x_2 (t)$ (mm/dh)	$x_3 (v_u)$ (m/min)	x_0	x_1	x_2	x_3	T (min)	$\ln T$
1	90	0,02	0,5	+1	+1	+1	-1	177,75	5,180378
2	40	0,005	0,5	+1	-1	-1	-1	738,36	6,604432
3	90	0,005	2	+1	+1	-1	+1	180,40	5,195177
4	40	0,02	2	+1	-1	+1	+1	20,50	3,020425
5	60	0,01	1	+1	0	0	0	179,10	5,187944
6	60	0,01	1	+1	0	0	0	211,05	5,352095

Tabela T.3.

Koristeći osnovne oblike funkcija (1), (2) i (3), kao i linearizovane oblike (4), (5) i (6) i određivanjem nepoznatih koeficijenata i eksperimenata poznatim postupkom prema [2], na osnovu izmjerenih vrijednosti, dobijaju se funkcije izlaznih parametara procesa spoljašnjeg kružnog uzdužnog brušenja Č.1730 (kaljen na 54-58 HRC) točilom 2B80M6V u obliku:

$$t_g = \frac{2,21793}{n_r^{0,21452} \cdot t^{0,69422} \cdot v_u^{0,59862}} \quad (7)$$

$$Ra = 4,07316 \cdot \frac{t^{0,29993} \cdot v_u^{0,61188}}{n_r^{0,36107}} \quad (8)$$

$$T = 0,061879 \cdot \frac{n_r^{0,46238}}{t^{1,29799} \cdot v_u^{1,28741}} \quad (9)$$

Da bi se jednostavnije mogli odrediti optimalni režimi brušenja potrebno je izlazne funkcije izraziti u zavisnosti jednog parametra, tj. specifičnog učinka brušenja (V_M) kao združene promjenljive elemenata režima brušenja. Specifični učinak brušenja (produktivnost obrade, tj. skinuta zapremina metala u jedinici vremena) kod spoljašnjeg kružnog uzdužnog brušenja obimom točila određuje se prema jednom od obrazaca:

$$V_M' = t \cdot v_u \cdot D_R \cdot \pi \cdot \frac{1000}{60} = t \cdot s_u \cdot v_r \cdot \frac{1000}{60} = \frac{t \cdot s_u \cdot n_r \cdot \pi \cdot D_R}{60} \cdot \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \quad (10)$$

gdje je:

t [mm/h] ili [mm/dh] - dubina brušenja

v_u [m/min] - brzina uzdužnog pomoćnog kretanja

v_r [m/min] - brzina obratka - brzina pomoćnog obrtnog kretanja obratka

s_u [mm/o] - uzdužni korak (pomak)

Funkcije glavnog vremena brušenja po komadu t_g , hrapavosti brušene površine R_{as} i postojanosti točila izražene u zavisnosti učinka brušenja V_M imaju sljedeći oblik [4]:

$$t_g = \frac{C}{V_M^{m_1}} \quad (11)$$

$$R_{as} = C_R \cdot V_M^{m_2} \quad (12)$$

$$T = \frac{C_T}{V_M^{m_3}} \quad (13)$$

Ovakav način određivanja izlaznih parametara procesa (t_g , R_{as} i T) je približan, jer se predpostavlja da svaki element režima brušenja ima isti stepen uticaja na pomenute izlazne parametre procesa što nije uvijek slučaj kao što je već naprijed pokazano, jer su različite vrijednosti eksponenata u datim zavisnostima $T=f(n_r, t, v_u)$ ili $t_g=f(n_r, t, v_u)$ ili $R_{as}=f(n_r, t, v_u)$.

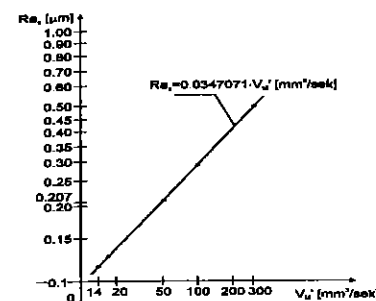
Da bi se prešlo sa oblika funkcija (1), (2), (3) na oblike (11), (12) i (13) korišćena je metoda najmanjih kvadrata i dobijaju se potrebni podaci neophodni za dalja ispitivanja i modeliranja. Dobijene su vrijednosti:

$$t_g = 344,951 \cdot V_M^{-0,6464} \quad (14)$$

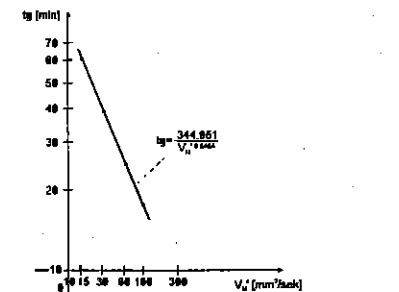
$$R_{as} = 0,034071 \cdot V_M^{0,45589} \quad (15)$$

$$T = 38014,92 \cdot V_M^{-1,29266} \quad (16)$$

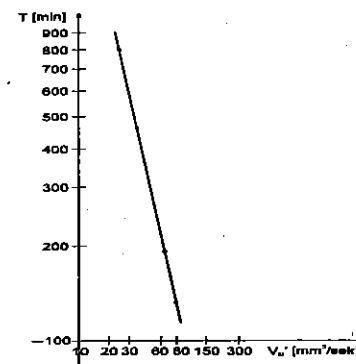
Grafička interpretacija funkcija (14), (15) i (16) data je na slikama 1-3.



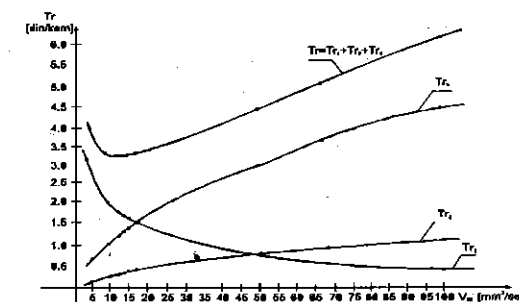
Sl.1. Zavisnost R_{as} od učinka brušenja V_M



Sl.2. Zavisnost t_g od učinka brušenja V_M



Sl.3. Zavisnost T od učinka brušenja V_M



Sl.4. Promjena veličina T_r , T_{r1} , T_{r2} i T_{r4} u zavisnosti od učinka brušenja Č.1730 kaljenog na 54-58 HRC točilom 2B80M6V

4.0. IZBOR OPTIMALNIH REŽIMA BRUŠENJA

U radu je već naglašeno da je optimizacija procesa obrade brušenjem vršena prema troškovima obrade kao funkciji cilja, odnosno kriterijumu optimizacije. Analizom troškova obrade brušenjem u zavisnosti od učinka brušenja V_M , gdje su uzete u obzir samo one komponente troškova koje zavise od postojanosti točila, dobijen je izraz [4]:

$$r = V_M^{(1)} \cdot \left[\frac{C_{nc}}{60} \left(V_M^{-1} + \frac{t_p}{C_T} \cdot V_M^{(m_3-1)} \right) + C_l \left(\frac{V_M^{m_1}}{C_v} + \frac{D_l \cdot B \cdot \pi \cdot \sum t_d}{C_T} \cdot V_M^{(m_3-1)} \right) \right] = r_1 + T_{r2} + T_{r3} + T_{r4} \quad (17)$$

gdje je:

$V_{M(1)}$ [mm³] - zapremina metala koja se skida po komadu,

c_{nc} [din/h]- cijena norma časa (rada brusilica i brusaca),

t_p [min] - dio pomoćnog vremena koje se troši na poravnavanje tocila [min],

c_t [din/mm³] - cijena jedinice korisne zapremine tocila,

D_t [mm]- prečnik tocila,

B [mm] - širina tocila,

$\sum t_d$ [mm] - ukupna debljina sloja tocila koja se skida poravnavanjem,

T_{r1} - troškovi koji zavise od glavnog vremena,

T_{r2} - troškovi potavnanja tocila (bez troškova poravnjivača),

T_{r3} - troškovi usljed tošenja tocila u procesu brušenja,

T_{r4} - toškovi usljed trošenja tocila pri poravnavanju.

Postoje izvjesna pojednostavljenja jednakosti (17). U slučaju rada tocila sa zatupljenjem, kao što je ovdje slučaj, mogu se troškovi T_{r3} zanemariti ($T_{r3} \approx 0$), pa izraz za ukupne troškove obrade u zavisnosti od učinka brušenja V_m' ima oblik:

$$T_r = \frac{c_{nc}}{60} \cdot \frac{C}{V_m'^{m_1}} + \frac{c_{nc}}{60} \cdot \frac{C}{V_m'^{m_1}} \cdot \frac{t_p}{C_T} \cdot V_m'^{m_2} + \frac{C}{V_m'^{m_1}} \cdot c_t \cdot \frac{D_t \cdot B \cdot \pi \cdot \sum t_d}{C_T} \cdot V_m'^{m_3} \quad (18)$$

a izraz za veličinu učinka brušenja pri kome su troškovi brušenja minimalni glasi:

Uvrštavanjem konkretnih vrijednosti u izrazu (18) za ispitivani model i ostale pomenute uslove obrade dobijaju se podaci prikazani u tabeli T.4. ($c_{nc} = 22$ din/h, $t_p = 5$ min, $c_t = 0,0000701$, $D_t = 540$ mm din/mm³, $B = 65$ mm, $\sum t_d = 0,06$ mm).

Učink brušenja V_M [mm ³ /min]	300	600	780	844,8	900	1021,2	3000	4080,6	6000	16338
T_{r1} [din / kom]	3,1682	2,0241	1,7083	1,6224	1,5574	1,4353	0,7152	0,5862	0,4569	0,239
T_{r2} [din / kom]	0,6632	1,0380	1,2298	1,2949	1,3490	1,4638	2,9372	3,5832	4,5970	8,782
T_{r3} [din / kom]	0,1679	0,2627	0,3113	0,3278	0,3414	0,3705	0,7434	0,9069	1,1636	2,2230
T_{r4} [din / kom]	3,9993	3,3248	3,2494	3,2451	3,2478	3,2695	4,3958	5,0763	6,2175	11,244

Tabela T.4.

Promjena veličina T_r , T_{r1} , T_{r2} i T_{r4} u zavisnosti od V_m' prikazana je na slici 4. Analizom podataka iz tabele 4 i sl. 4., uočava se da je vrijednost učinka brušenja pri kome su troškovi brušenja minimalni $V_m' = 14,08$ mm³/sek. Ovakav isti rezultat se dobija i iz jednakosti (19):

$$V_m' (T_{rmin}) = 844,492 \text{ mm}^3 / \text{min} = 14,074867 \text{ mm}^3 / \text{s}$$

Pošto troškovi T_{r1} opadaju, a troškovi T_{r2} i T_{r4} rastu sa porastom V_m' , to će ukupni troškovi T_r imati izražen minimum (sl.4.).

Određivanje optimalnih elemenata režima brušenja može se izvršiti na osnovu učinka brušenja V_m' koji odgovara minimumu troškova brušenja uz korišćenje ograničenja zahtijevane veličine srednje aritmetičke hrapavosti brušene površine.

Iz funkcije srednje aritmetičke hrapavosti R_{as} definisane jednačinom (8), vidi se koji je najuticajniji element režima brušenja na veličinu hrapavosti, to je brzina uzdužnog pomoćnog kretanja v_u i stoga se ovaj element režima brušenja odredi računski. Usvajaju se ostala dva elementa režima brušenja iz intervala varijacije koji obezbjeđuju učinak brušenja pri kome su troškovi minimalni a pri završnoj veličini hrapavosti R_{as} , Na ovaj način se odrede optimalne veličine elemenata režima brušenja sa kojima se obezbjeđuje maksimalni učinak pri najmanjim troškovima brušenja.

Za $V_m' (T_{rmin}) = 14,074867$ mm³/sek, vrijednost R_{as} prema jednakosti (15) je $R_{as} \approx 0,114 \mu\text{m}$.

Pošto je najuticajniji element režima brušenja na hrapavost brušene površine brzina uzdužnog pomoćnog kretanja v_u (tj. brzina stola brusilice) on će stoga biti određen računski, a preostala dva elementa režima (n_r i t) usvoje se iz intervala varijacije prema tabeli T.2.

Prema predhodnom, najuticajniji element režima brušenja na hrapavost brušene površine za slučaj spoljašnjeg kružnog uzdužnog brušenja Č.1730 (kaljen na 54-58 HRC) točilom 2B80MGV dobija se prema jednakosti:

$$v_u = 0,343 \text{ [m / min]} \quad (20)$$

Za ovako razvijen model unutrašnje tehnokonomske optimizacije procesa brušenja urađen je program u programskom jeziku C. Program, pored ostalog vrši provjeru adekvatnosti regresionog modela i vrši ocjenu sigurnifikantnosti koeficijenta regresije i sve podatke štampa u izlaznoj datoteci. U prilogu je jedan segment programa.

5.0. ZAKLJUČAK

Poznavanjem zavisnosti izlaznih parametara procesa brušenja izraženih u funkciji učinka brušenja V_m' kao združene promjenljive koja direktno zavisi od elemenata režima brušenja, moguće je izvršiti jednostavniju analizu troškova obrade i odrediti optimalne veličine elemenata režima brušenja.

Predloženi način modeliranja i optimizacije procesa brušenja može se iskoristiti i za klasično i za automatizovano određivanje optimalnih elemenata režima obrade prema razvijenom programu.

6.0. LITERATURA

1. Stanić J. - Uvod u teoriju tehnokonomske optimizacije, četvrto izdanje, Mašinski fakultet Beograd, 1988.
2. Stanić J. - Metod inženjerskih mjerenja, Mašinski fakultet Beograd, 1990.
3. Todić V. - Varijantni automatizovani sistem tehnokonomske optimizacije tehnoloških procesa obrade, Novi Sad, 1988.

4. Jovičić M. Kršljak B., Vukasojević R., Drobnyak V. - Obrada brušenjem, Identifikacija karakteristika stanja i optimizacija procesa, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
5. Kršljak B. - Određivanje optimalnih režima brušenja pri ravnom brušenju alatnog čelika točilima od kubnog nitrida bora, Zbornik radova, XVI savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.
6. Filimonov L. N. - Stojkost šlifovanih krugov, "Mašinstvo", Lenjingrad, 1973.

RESUME

An examination of outer rotary longitudinal grinding of hardened steel Č.1730 by means of grindstone 2B80M6V and changing regime parameters is done in this paper.

The way of obtaining exit parameters functions dependent of grinding regime parameters and efficiency is also shown.

On the basis of that function, optimal elements of grinding regime, which provide minimal production costs respecting limitations of required grinding surface roughness, are determined.

According to this model of internal techno-economical optimization of grinding process, computer program in the C-programming language is done.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

Jovičić, M., Stanić, J., Majstorović, V., Tanović, Lj.¹⁾

OBRADA PRI VELIKIM BRZINAMA REZANJA, OBLASTI PRIMENE I KARAKTERISTIKE OBRADNIH SISTEMA²⁾

Rezime

U radu se daje kratak osvrt na savremena dostignuća u oblasti tehnologije obrade pri velikim brzinama rezanja i analiziraju efekti i glavne oblasti racionalne primene. Posebno se analiziraju zahtevi koji se postavljaju u odnosu na funkcionalne podsisteme obradnih sistema za obradu pri velikim brzinama rezanja.

Ključne reči: Rezanje, Obrada velikim brzinama, Obradljivost, Mašine alatke.

1. UVODNO RAZMATRANJE

Poslednjih 100 godina permanentno je povećavana brzina rezanja zahvaljujući stalnom razvoju reznih alata i mašina alatki (osvajanje novih i usavršavanje postojećih materijala za rezne alate, optimizacija konstrukcije i geometrije alata, poboljšanje krutosti, tačnosti i brzohodnosti mašina alatki). Tako je krajem prošlog veka brzina rezanja alatima od ugljeničnih i niskolegiranih alatnih čelika bila oko 10 m/min; početkom ovog veka brzorezni čelici su omogućili povećanje brzine rezanja na oko 20 m/min; 30-tih godina brzina rezanja alatima od tvrdog metala bila je oko 30 - 50 m/min; 50 - tih godina poboljšane vrste tvrdog metala omogućavale su brzine rezanja preko 100 m/min a alatna keramika pri završnoj obradi nešto veće brzine rezanja; krajem 70 - tih godina započela je primena tehnologije oslojavanja reznih pločica tvrdog metala, čime je omogućeno znatno povećanje brzine rezanja (pri obradi čelika i sivog liva do oko 200 - 300 m/min) i na kraju, supertvrđi materijali (npr. polikristalni dijamant i kubni bornitrid) i alatna keramika omogućavali su u tom periodu brzine rezanja preko 1000 m/min pri obradi određenih materijala. Naravno, ovakav razvoj alatnih materijala potencirao je stalni razvoj mašina alatki, posebno sa stanovišta njihove brzohodnosti, snage i drugih performansi.

Kada se posmatraju svi materijali alata, vidi se da je ukupno povećanje brzine rezanja u posmatranom periodu oko 100 puta, zahvaljujući čemu je obezbeđeno i smanjenje glavnog vremena obrade takođe za 100 puta. Međutim, ako se posmatra samo jedna određena vrsta materijala alata (npr. tvrdi metali), povećanje brzine rezanja u posmatranom periodu razvoja i usavršavanja toga materijala je znatno manje, tj. oko 10 puta za tvrde metale.

¹⁾ Dr Milenko Jovičić, red. prof., dr Joko Stanić, red. prof. u penziji, dr Vidosav Majstorović, van. prof., dr Ljubodrag Tanović, docent, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 27. marta 80, 11000 Beograd.

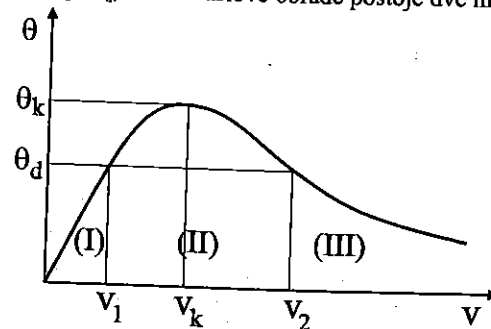
²⁾ Rad predstavlja deo rezultata ostvarenih u okviru strateškog projekta C.5.03.67.298 "Impementacija stečenih znanja u industriji prerade metala u druge grane industrije", u čijem finansiranju učestvuje i MNT Republike Srbije.

Dalje povećanje brzine rezanja bilo je ograničeno toplotnom izdržljivošću pojedinih vrsta materijala alata, jer sa povećanjem brzine rezanja raste i temperatura rezanja koja uslovljava gubitak rezne sposobnosti alata. Visoka brzina rezanja izaziva i neželjene promene karakteristika materijala u površinskom sloju obradene površine. Međutim, i pored toga bila je prisutna stalna težnja da se prekorači dostignuta granica brzine rezanja, odnosno obezbede uslovi za njeno dalje povećanje a time i povećanje efikasnosti obrade (skraćenje vremena obrade, sniženje troškova obrade i dr.).

2. RAZVOJ I SUŠTINA TEHNOLOGIJE OBRADNE VELIKIM BRZINAMA REZANJA

2.1 Etape razvoja /1/, /3/, /8/, /14/, /20/

Istraživanje mogućnosti obrade pri velikim brzinama rezanja započeto je sredinom 20 - tih godina ovog veka od strane nemačkog istraživača Salomon-a, koji je 1931. godine prijavio i svoj patent na ovu temu. Naime, Salomon je u svojim istraživanjima uočio sledeći efekat: sa povećanjem brzine rezanja raste temperatura rezanja sve do dostizanja neke kritične brzine, da bi pri daljem povećanju brzine temperatura počela da opada. To znači, za svaku kombinaciju materijal obratka / materijal alata postoji neka kritična tačka (v_k, θ_k) na krivoj zavisnosti temperatura rezanja / brzina rezanja (sl. 1). Pri tome za neku dopuštenu temperaturu rezanja θ_d , za date uslove obrade postoje dve moguće brzine rezanja: manja v_1 (koja odgovara



Sl. 1 Principijelna zavisnost temperature i brzine rezanja

konvencionalnoj veličini brzine rezanja) i v_2 , koja je znatno veća od v_1 i može se smatrati kao velika brzina rezanja za dati slučaj obrade. Kriva zavisnosti θ / v na sl. 1 ima tri područja: područje (I) odgovara konvencionalnim brzinama rezanja, područje (II) treba izbegavati jer je temperatura rezanja veća od toplotne izdržljivosti materijala alata a područje (III) predstavlja oblasti velikih brzina rezanja.

Istraživanja u oblasti obrade pri velikim brzinama rezanja prošla su kroz nekoliko etapa. Tako, od 1931. godine do početka 60 - tih godina u ovoj oblasti nisu

vršena značajnija istraživanja. Ozbiljnija istraživanja su otpočela početkom 60 - tih godina u SAD za potrebe vazduhoplovne industrije pri obradi Al - legura, da bi početkom 70 - tih godina bila intenzivirana u većini idnustrijski razvijenih zemalja Istoka i Zapada (SAD, SSSR, Nemačka, Francuska, Japan). Tako je, npr. u SR Nemačkoj sistematsko istraživanje procesa obrade Al - legura pri velikim brzinama rezanja započeto 1978. godine, a 1984. godine je otpočeto izvođenje istraživačkog projekta "Obrada pri visokim brzinama rezanja metalnih i nemetalnih materijala", pri čemu su obuhvaćeni: konstrukcioni čelici, sivi liv, laki metali i njihove legure, bakar i legure obojenih metala, visokolegirani čelici (vatrootporni, nerđajući), Ti - legure i Ni - legure. Nosilac ovih istraživanja je bio Institut za tehnologiju i mašine alatke Tehničke visoke škole u Darmstadt-u, a u realizaciji projekta je učestvovalo preko 40 najvećih firmi iz SRN /7/, /8/.

U sadašnje vreme se i dalje vrlo aktivno istražuje problematika vezana za obradu velikim brzinama rezanja, a glavni napori su usmereni na praktičnu primenu u industriji preko razvoja pojedinih podsistema mašina alatki /5/, /9/, /11/, /18/, /19/.

2.2 Objašnjenje Salomonov-og efekta zavisnosti θ / v

Prikazana zavisnost θ / v prema sl. 1 može se najprostije objasniti na sledeći način /2/, /12/: sa povećanjem brzine rezanja smanjuje se deo rada koji se troši na plastično deformisanje materijala u zoni rezanja, usled čega se snižava otpor rezanja i smanjuje porast temperature usled plastičnog deformisanja materijala, ali se pri tome povećava rad sila trenja po kontaktnim površinama alata što uslovljava porast temperature rezanja; pri prekoračenju određene brzine rezanja (v_k) nastaju promene u karakteru formiranja strugotine, tako što umesto plastičnog nastaje krto razaranje materijala usled čega se smanjuje utrošena energija za rezanje, a time se snižava količina razvijene toplote u zoni rezanja te se smanjuje i temperatura rezanja na veličinu kao kod konvencionalne obrade.

3. EFEKTI KOJI SE POSTIŽU PRI OBRADI VELIKIM BRZINAMA I OBLASTI PRIMENE

3.1 Osnovni efekti pri obradi velikim brzinama

Moguće povećanje brzine rezanja na sadašnjem stepenu razvoja mašina alatki i reznih alata je oko 10 puta, u odnosu na konvencionalne brzine rezanja za obradu pojedinih materijala.

U tabl. 1 uporedno su prikazane vrednosti brzine rezanja pri konvencionalnoj obradi i pri obradi velikim brzinama rezanja, u zavisnosti od materijala obratka /8/.

Tabl. 1. Područje konvencionalnih i velikih brzina

Materijal obratka	Brzine rezanja (m/min)	
	konvencionalna	velika
Konst. čel.	100 - 200	500 - 700
Sivi liv	100 - 200	500 - 3000
Al - legure	200 - 1000	2500 - 5500
Cu - legure	100 - 400	3000 - 4500
Visokoleg. čel.	20 - 120	300 - 1200
Ti - legure	30 - 50	100 - 300
Ni - legure	5 - 20	50 - 200
Kompoziti	100 - 300	2500 - 3500

Osnovni efekti koji se postižu obradom pri velikim brzinama rezanja su sledeći /8/, /13/:

- značajno skraćenje vremena i povećanje proizvodnosti obrade,
- smanjenje otpora rezanja i povećanje tačnosti obrade (što je važno kod obrade tankozidnih delova),
- ostvarivanje visokog kvaliteta obradene površine (sa manjim defektima materijala u površinskom sloju),
- mogućnost obrade bez hlađenja i drugo.

Među najvažnije nedostatke mogu se ubrojiti: povećanje pogonske snage mašine i veća potrošnja energije, velika investiciona ulaganja (specijalne konstrukcije mašina alatki, glavna vretena sa velikim brojem obrtaja, upravljački sistemi visoke klase i pouzdanosti, sistemi za nadzor, specijalni sistemi za zaštitu od buke i sigurnost personala i okoline i dr.).

Skraćenje vremena obrade i povećanje proizvodnosti postiže se značajnim povećanjem brzine pomoćnog kretanja, koje se kreće u granicama 10 - 20 m/min i više (pod uslovom da se obrada izvodi pri istoj veličini koraka po obrtaju alata kao kod konvencionalne obrade).

3.2 Osnovne oblasti racionalne primene

Tehnologija obrade pri velikim brzinama rezanja danas se uspešno primenjuje u industrijama prerade metala i nemetala, kao što su: vazduhoplovstvo i svemirska tehnika,

industrija parnih turbina i motora, industrija alata i dr. /3/, /4/, /10/, /13/, /15/, /17/. Racionalna primena je, međutim, prvenstveno u sledećim slučajevima:

- kod obrade integralnih delova u vazduhoplovstvu (kada je potrebno sa pripremkom odstraniti veliki višak materijala i pretvoriti ga u strugotinu), jer bi obrada pri konvencionalnoj brzini rezanja trajala suviše dugo;
- obrada velikih mašinskih delova sa složenim površinama (npr. završna obrada lopatica parnih turbina);
- završna obrada složenih udubljenja specijalnih alata velikih dimenzija (npr. alati za izradu otpresaka karoserijskih delova automobila); izrada elektroda složenog oblika za erodiranje udubljenja specijalnih alata (za presovanje plastičnih masa, livanje pod pritiskom, kovanje i dr.).

Obrada pri velikim brzinama rezanja najdetaljnije je istražena i najšire se koristi pri glodanju vretenastim glodalima radi šire primene ove metode u vazduhoplovstvu i kod izrade specijalnih alata (primena 3- i 5-to osnih CNC mašina alatki), kao i radi pogodnosti te vrste alata za ostvarivanje velikih brzina rezanja (mala masa alata, mogućnost korišćenja alata iz jednog komada i dr.) /4/, /8/, /11/, /17/, /19/.

4. ZAHTEVI U ODNOSU NA REZNE ALATE I PODSISTEME MAŠINA ALATKI

Uspešna primena tehnologije obrade pri velikim brzinama rezanja mogla je biti ostvarena tek posle uspešnog razvoja odgovarajućih konstrukcija mašina alatki i njihovih podsistema (vretenište za glavno kretanje sa vrlo velikim brojem obrtaja, konstrukcija i pogon radnog stola, upravljačke jedinice visokih performansi, sistemi za nadzor alata, sistemi zaštite i dr.) kao i odgovarajućih konstrukcija reznih alata, uz korišćenje najkvalitetnijih materijala za rezne alate /8/, /9/, /18/, /19/.

4.1 Karakteristike reznih alata /8/, /13/

Osnovni zahtevi u odnosu na rezne alate odnose se na sledeće karakteristike:

- Konstruktivno izvođenje (velika mahanička krutost, veliki prostor međuzublja, malo radijalno bacanje i maksimalna uravnoteženost masa, izbegavanje mesta sa koncentracijom napona, odgovarajući sistem oslanjanja i pričvršćivanja reznih pločica i dr.);
- Veza drške alata i glavnog vretena mašine (tačno pozicioniranje i ponovljivost položaja, laka i brza promena alata, siguran prenos obrtnog momenta);
- Vrsta materijala i optimalna geometrija reznog dela (zavisno od materijala obratka, rezni deo alata može biti od tvrdog metala - oslojenog i neoslojenog, rezne keramike, kubnog bornitrida i polikristalnog dijamanta; optimalna geometrija je zavisna od materijala obratka - najčešće pozitivan grudni ugao, velika vrednost lednog ugla i vrlo oštra sečva).

4.2 Karakteristike konstrukcija mašina alatki i osnovnih podsistema istih

Radi velike varijacije optimalne brzine rezanja i brzine pomoćnog kretanja za pojedine materijale obratka (tabl. 1), nije moguća primena neke univerzalne mašine alatke za obradu pri velikim brzinama rezanja. Radi toga se savremene mašine ovog tipa grade na modularnom principu, sa mogućnošću kombinovanja potrebnih podsistema /8/, /15/, /18/. Pri tome su najvažniji podsistemi ovih mašina, sledećih karakteristika:

- Postolje mašine

Izvodi se iz pojedinih modula, sa sposobnošću dobrog prigušivanja vibracija i velikog toplotnog kapaciteta, velikim prostorom za smeštaj strugotine i pogodnošću za njeno lako odvođenje iz zone obrade; kao najčešći materijal je polimer-beton, koji ima niz prednosti u odnosu na sivi liv.

- Podsystem za glavno kretanje

Obuhvata glavno vreteno, pogon glavnog vretena i elemente za pozicioniranje i stezanje reznog alata. Pogon glavnog vretena treba da omogući vrlo visoke brojeve obrtaja - npr. za glodalo prečnika 10 mm i brzinu rezanja 3000 m/min potreban je broj obrtaja oko 100.000 o/min; za ostvarivanje određene brzine rezanja koristi se vreteno odgovarajućeg broja obrtaja - postoji i mogućnost promene vreteništa pri prelazu sa grube na završnu obradu na istoj mašini; najčešće su u primeni glavna vretena sa direktnim pogonom; kod vretena sa manjim brojem obrtaja koriste se specijalna ležišta - najčešće keramička a kod većih brojeva obrta vretena sa aktivnim elektromagnetnim uležištenjem.

- Podsystem za pomoćno kretanje

Visoke brzine rezanja omogućavaju postizanje veoma velikih brzina pomoćnog kretanja, radi čega je potrebno da mase elemenata koji se kreću budu što manje uz dovoljnu krutost i čvrstoću tih elemenata (klizači mašina se izvode po principu lakih konstrukcija, primenom novih materijala kao što su kombinacije Al-Ti i kompoziti); za pogon se koriste specijalni pogonski motori visokog ubrzanja i tačnosti pozicioniranja, visoke brzine i dr.; vodice klizača treba da obezbede sposobnost nošenja, veliku sposobnost prigušenja, malo toplotno deformisanje, neznatno trenje i održavanje tačnosti u toku eksploatacije.

- Podsystem za upravljanje, nadzor i zaštitu zone rezanja

Za upravljanje radom mašine koriste se najnoviji i često specijalni sistemi za CNC upravljanje, sa velikim brzinama računanja i reagovanja; ugrađuju se i odgovarajući sistemi za smanjenje nivoa vibracija (npr. povremenom varijacijom broja obrta glavnog vretena); sistemi za nadzor nad procesom rezanja (kontrola habanja i loma alata, temperature ležišta); posebna pažnja se poklanja zaštiti zone rezanja i okoline.

- Podsystem za odvođenje strugotine i SHP

Ima veliku ulogu, jer se u procesu rezanja formira vrlo velika količina strugotine, koja je često zagrejana do visoke temperature jer se pri obradi velikom brzinom rezanja oko 90% toplote iz zone rezanja odvodi strugotinom, dok intenzivno hlađenje potpomaže odvođenje strugotine.

5. LITERATURA

- /1/ Okushima K., i dr. A study of super-high speed machining. Mem. Fac. Engng. Kyoto Univ., 26 (1964)2, 85-109 (Ekspres informacije RI 1964/45).
- /2/ Poduraev V. N., Rezanie trudnoobrabatyvaemyh materialov. "Visšaja škola", Moskva 1974.
- /3/ High speed machining, Special report 710., Am. Machinist, march 1979, 115-130.
- /4/ Horst F., Hochgeschwindigkeitsfräsen in der Luft-und Raumfahrt. Werkstatt und Betrieb (1987)3, 521-526.
- /5/ Gallist R., Investitionsentscheidung-Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. VDI-Z (1987)11, 12-16.
- /6/ König W., Chancen und Restriktionen der Hochgeschwindigkeitszerspanung. VDI-Z (1988)6, 35-41.
- /7/ Schulz H., Scherer J., Bearbeitung bei hohen Schnittgeschwindigkeiten. Werkstatt und Betrieb (1989)2, 133-142.
- /8/ Schulz H., Hochgeschwindigkeitsfräsen metalischer und nichtmetalischer Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, München 1989.
- /9/ Gallist R., Anforderungen an die Werkzeugschnittstele bei der HSC-Bearbeitung. Werkzeuge (1991)11, 50-55.
- /10/ Eckstein M., Schafffräsen von Titanlegierungen mit hohen Schnittgeschwindigkeiten. VDI-Z (1991)12, 28-34, (1992)6, 61-67.

- /11/ Ronde U., Hahner W., Fertigung mit Motorspindeln. Werkstatt und Betrieb (1992)2, 113-122.
- /12/ Jovičić M., Obrada reznajem teškoobradljivih materijala i legura. Mašinski fakultet, Beograd 1992.
- /13/ Johansen P., Anwendung hoher Schnittgeschwindigkeiten im Fahrzeugbau. Werkstatt und Betrieb (1992)3, 179-182.
- /14/ Majstorović V., Stanić J., Istraživanje parametara obradljivosti za obradu velikim brzinama. Zbornik radova Prvog međunarodnog naučno-stručnog skupa "Teška mašinogradnja", Kruševac / Vrnjačka Banja (MF Kraljevo), knjiga 3, 162-167, 1993.
- /15/ Röders J., Schruppen und Schlichten auf einer Maschine. Form+Werkzeug, Hanser Fachzeitschriften, Hanser Verlag, Okt. 1994, str. 66-67.
- /16/ Schulz H., Hochgeschwindigkeitsbearbeitung - Technologie mit Zukunft. Werkstatt und Betrieb (1994)7-8, 539-541.
- /17/ Hummelsberger R., i dr., Hochgeschwindigkeits - Fräsen im Grosswerkzeugbau. Form+Werkzeug, Okt. 1994, 70-72.
- /18/ Klink M., Klink W., Konzept zur Hochgeschwindigkeits - Bearbeitung. Werkstatt und Betrieb (1994)7-8, 554-559.
- /19/ Schulz H., i dr., Sichere Fräswerkzeuge für die Hochgeschwindigkeits - Bearbeitung. Werkstatt und Betrieb (1995)6, 532-536.
- /20/ Majstorović V., Jovičić M., Stanić J., Istraživanje parametara obradljivosti za obradu velikim brzinama, Projekat Z.6.0007, Elaborati o izvršenim istraživanjima za 1991, 1992, 1993. god., Mašinski fakultet, Beograd.

Jovičić, M., Stanić, J., Majstorović, V., Tanović, Lj.

HOCHGESCHWINDIGKEITS - BEARBEITUNG, RATIONELLE ANWENDUNGEN, WERKZEUGMASCHINE - UND WERKZEUGECHARAKTERISTIK

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit wird ein kurzer Bericht über die Technologie der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, Vorteile, rationelle Anwendungen und Werkzeugmaschine - Module gegeben.

Schlüsselworte: Zerspanung, Hochgeschwindigkeits - Bearbeitung, Zerspanbarkeit, Werkzeuge, Werkzeugmaschine.



THE TOOLS SYSTEM ISCAR-TRIGON AND ISCAR-DRILL BY MACHINING OF STEELS.

Eng. Jozef Jurko

Technical University of Košice, Faculty of Production Technology
The Department of Production technologies, Šturova 31, Prešov

Abstract.

The firm ISCAR prominent world producer of cutting tools, announcing new tool systems which have to help to eliminate the problems in the machining process of the steels. Article's summary is busy at tool systems and wants to show the advantages the firm ISCAR to the tool systems of the other firms. The article is completed with practical experiences of machining metal materials in production firms. The experimental part of the article is busy at value quality of the machining plains by the production parts from stainless steels.

Introduction.

Tool system TRIGON compensating a few of standard the forms of cutting tips with tool cutting edge angle is even $\kappa_r=80^\circ$ of typ CNMG and triangle tips TNMG. Double sided the cutting tip of a new geometry and with a new forms the chip-breaking groove united of positives a new cutting materials IC 8048 and IC 8025 developing specially for tool system ISCAR-TRIGON.

The types of chip-breaking grooves, their characteristic and application us in Table 3. The chip-breaking grooves introduced among to peak the prominent world producers of cutting tools. The helpful: lower of cutting forces, power pretension, improving the economics.

The chip-breaking grooves along with a new cutting materials IC 8048 and IC 8025 securing of cutting conditions of cutting tips. The designation of materials by ISO in Table 1.

Material	ISO
IC 8025	P 15 - P 45 M 20 - M40
IC 8048	P 05 - P 35 K 10 - K 20

Table.1 New materials by standard ISO

The tool system *TRIGON* myself application too for boring. Tool holder for cutting tips with a new typs the chip-breaking grooves delivering Table 2:

SECTIONAL VIEW	DIMENSION (mm)			
square	16	20	25	32
circular	20	25	32	40

Table.2 Dimension of tool holders for cutting tips.

The typs chip-breaking grooves of tool system *TRIGON -TF, PP, GN, TNM, NF, RF/LF*.

The tool system *ISCAR-DRILL*.

The tool system *ISCAR-DRILL* introducing of a new system by drilling, with the interchangetip. The drills of firm *ISCAR* introducing tree generation, which characteristic:

- *the form of cutting chip
- *the form of cutting edge
- *geometry-rake, tool cutting edge angle, clearance
- *geometry is condition for conscription chips from zone of cutting
- *low cutting force
- *increase of tool life
- *increase of power pretension
- *reliability, stability and positive of economic

The all drills assimilating for refrigeratly -jet system. The construction and the project of drills confirming of philosophy the firm *ISCAR* "with the least of amount typs of cutting tips, execute of utmost amount of the operations". The basic typs of drills - DR (d=16-22 mm) , DZ (d=23-33 mm), DS (d=34-56 mm).

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS.

Experimental conditions.

At experimental measurements I am verifacated of the surface roughness on the planes of gardgets, which is expresed characteristics of surface roughness. The measurements was realized in the practical conditions of the firm *ZVL Bearing Prešov*. The characteristics of surface roughness (R_a , R_{max}) was measured on the measure machine -

HOMMEL TESTER T 500. The results introducing arithmetical average of six measurements.

Experimental results.

Turning of gardgets - shufts on the machine *SV-18-RB* with stepless speed variation. This is machine myself aplication in the piece production for very precise machining.

Cutting tool: lathe tool *ISCAR-TRIGON*

tool holder: *PWLNR-2020-K-08*

cutting tip: Sintered hard alloy P20

WNMG 080416-NG, IC635

geometry of cutting tool:

*tool orthogonal rake $\gamma_0 = -6^\circ$

*tool orthogonal clereance $\alpha_0 = 6^\circ$

*tool cutting edge angle $\kappa_r = 95^\circ$

*tool cutting edge inclination $\lambda_s = -6^\circ$

*tool included angle $\epsilon_r = 80^\circ$

*corner radius $r_\epsilon = 2,0$ mm

Material of gardgets: *Stainless steel 17241*

Chemical composition of stainless steel 17241, using Table 5.

AISI	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)
	max.	max.	max.	max.	max.	max.	
304	0,07	2,0	0,04 5	0,03 0	1,0	20,0	10,0

Table.5

The Table 6. using of comparing the stainless steell 17241 with standard of next countries.

The Tables comparing of standards.				
UNI	ASTM	DIN	AFNOR	CSN
8317/81	A240/8 5	(W.Nr.) 17440/1	35572/3	17241
X5CrNi 1810	304	1.4301	Z6CN1 809	17241

Table.6

Cutting conditions.

Range of feed - f (mm/rev.)						
0,122	0,147	0,200	0,254	0,294	0,400	0,510

Depth of cut - $a_p = 0,5$ mm				
Cutting speed (m/min)				
$v_1 = 32,8$	$v_2 = 65,7$	$v_3 = 82,2$	$v_4 = 126,5$	$v_5 = 164,3$

The results from experimental measurements indicating on the Fig.1 to Fig.10.

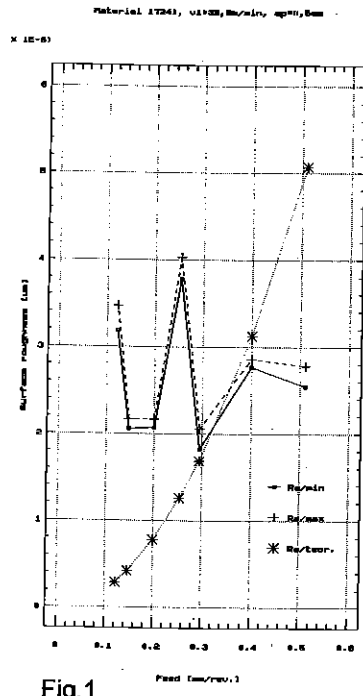


Fig.1

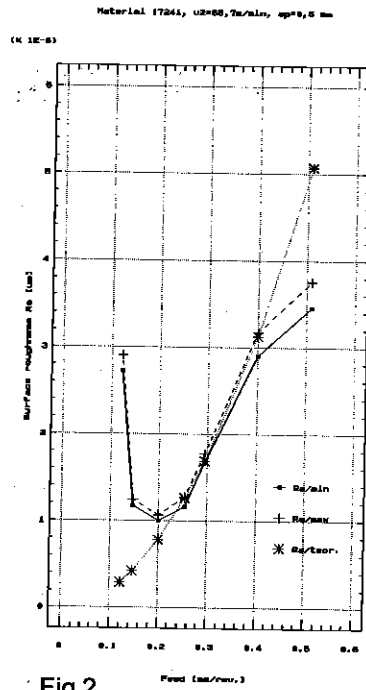


Fig.2

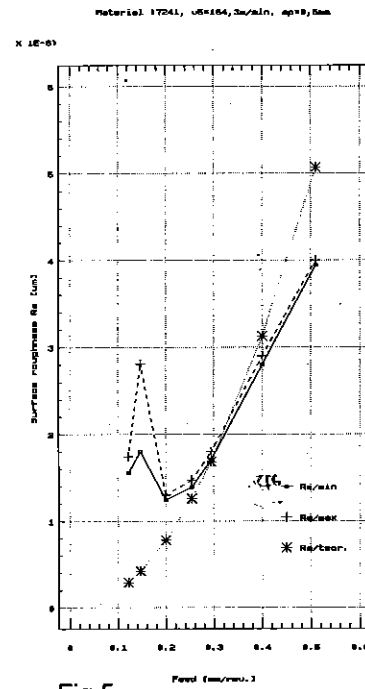


Fig.5

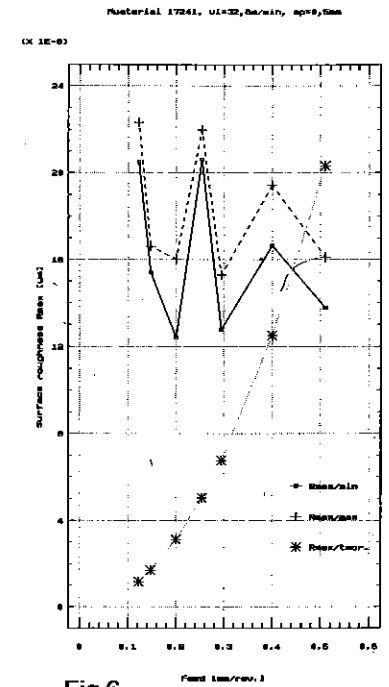


Fig.6

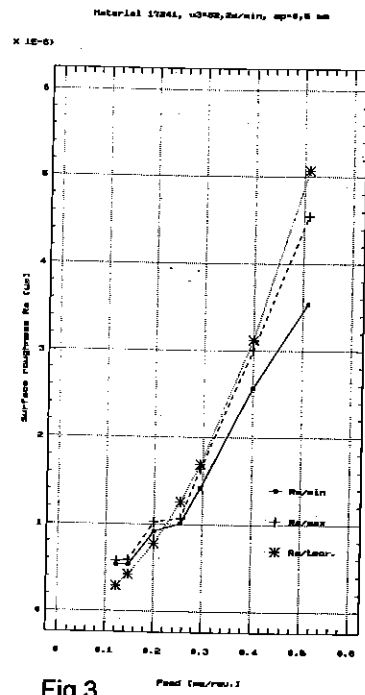


Fig.3

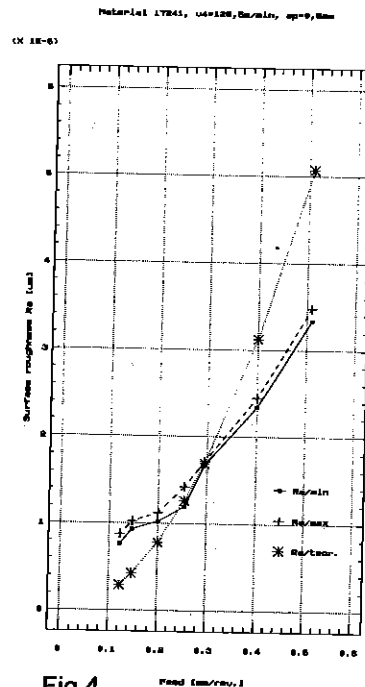


Fig.4

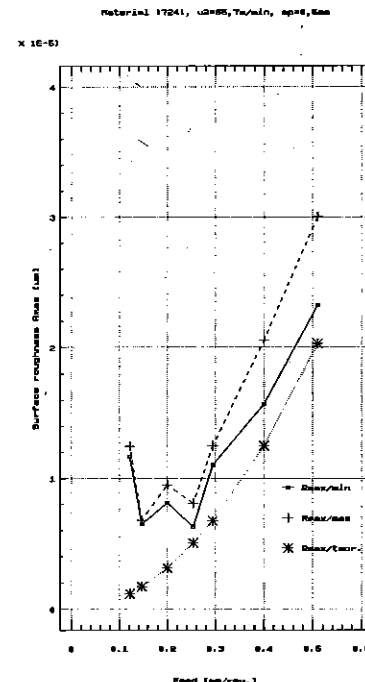


Fig.7

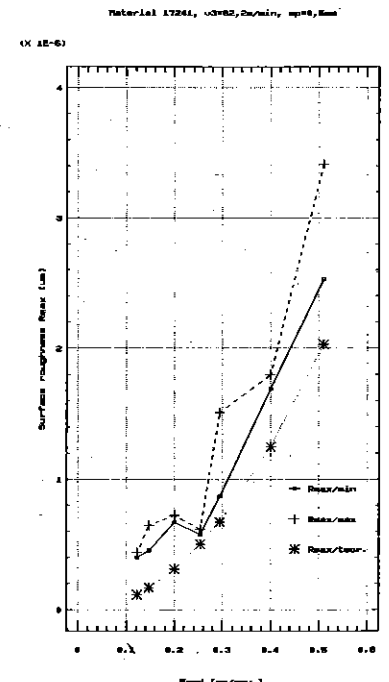


Fig.8

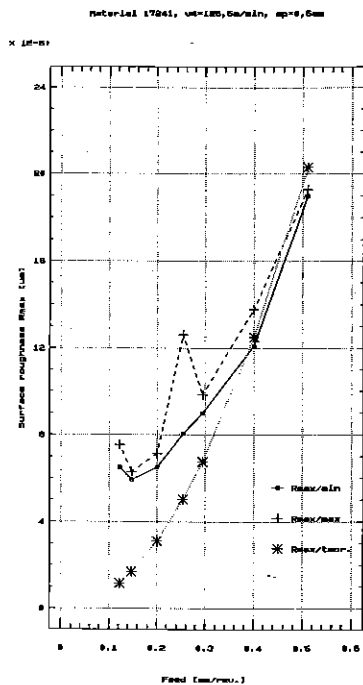


Fig.9

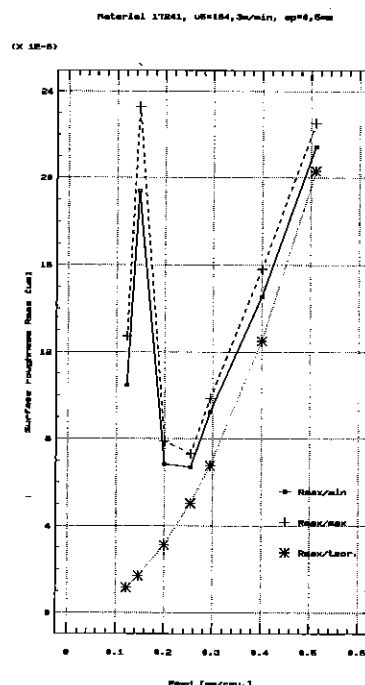


Fig.10

CONCLUSION OF RESULTS.

The figures introducing diagrams of dependence the characteristics of surface roughness R_a , R_{max} , on the feed for different cutting speeds, with lothe tool *ISCAR-TRIGON* by turning. The diagrams on the Fig.1 to Fig.5 indicating of dependence $R_a = f(\text{feed})$ for different cutting speeds v_1 to v_5 , with by interval of measure value R_a ($R_{a/min}$, $R_{a/max}$) and theoretical diagram $R_{a,theor.} = f(\text{speed})$, $R_{a,theor.} = R_{max}/4$.

The diagrams on the Fig.6 to Fig.10 indicating of dependence $R_{max} = f(\text{feed})$, for different cutting speeds v_1 to v_5 , with by interval of measure value R_{max} ($R_{max/min}$, $R_{max/max}$) and theoretical diagram $R_{max,theor.} = f(\text{feed})$, $R_{max,theor.} = f^2/(8 \times r_e)$.

From experimental measurements and diagrams indicating on: For turning of stainless steel 17241, by cutting conditions, is need choice of cutting speeds in the range $v=(70-130)$ m/min, with range of feed $f=(0,147 - 0,254)$ mm/ rev. The best surface roughness, expressing by characteristics R_a , R_{max} was achieving by: $R_a=(0,45-0,5)$ μm , at feed $f = 0,147$ mm/rev., depth of cut $a_p = 0,5$ mm and cutting speed $v = 82,2$

m/min. The best value $R_{max}=(4-4,5)$ μm was achieving feed $f=(0,122-0,147)$ mm/rev., depth of cut $a_p = 0,5$ mm and cutting speed $v = 82,2$ m/min. The diagram on the Fig.3 and Fig.8, this is confirming. In need emphasize that of experimental measurements was realized without internal cooling. The conditions machining of stainless steels depended off chemical composition of steels, off heat treatment, off cutting conditions, geometry of tool, off stability of machine and the types cutting fluids and coolants.

Stainless steels is possible characteristic negative of machinability. This is due to mainly:

- * high strength of shear, which possible of high cutting forces on the cutting edge of tool
- * the high of degree hardening by cutting
- * presence of hard intermetallic components in the microstructure
- * the low thermal conductivity

Their application in the different of industry branch. Because the price of stainless steel is higher than the price of current construction steels, is need look for possible of economical machinability.

LITERATURE:

- [1] BUDA, J.-SOUČEK, J.-VASILO, K.: Teória obrábania. Bratislava, SNTL, 1983, 392 s.
- [2] PICKL, F.B.: Physical metallurgy of stainless steel developments. Int. Metallurg. Rev., 21, 1976, č. 12, s. 227-268
- [3] BUMBÁLEK, B.: Obrabiteľnosť ťažkoobrobiteľných materiálov. In: Obrábanie ťažkoobrobiteľných materiálov a intenzifikácia. Bratislava, 1974, s. 3-8
- [4] MIKOVEC, M.: Obrábění materiálov s velkou pevností a tvrdostí. Praha, SNTL, 1982, 200 s.



Клименко С.А., Полонский Л.Г., Мельничук П.П.

УПРАВЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ ИЗДЕЛИЙ С НАПЫЛЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

АННОТАЦИЯ

В докладе представлены результаты исследования влияния условий точения покрытий, напыленных порошками системы Ni-Cr-B-Si, на высотные, шаговые и структурные параметры микрогеометрии обработанной поверхности. Рассмотрено влияние механических свойств и структурных особенностей обрабатываемого материала. Показана возможность управления шероховатостью обработанной поверхности за счет конструкции режущего инструмента.

ВВЕДЕНИЕ

Напыленные покрытия являются неоднородными по физико-механическим свойствам и структуре материалами, что обуславливает особенности формирования качества поверхности при их механической обработке [1]. Учитывая эту специфику обрабатываемых материалов, а также то, что одним из основных эксплуатационных свойств изделий с покрытием является высокая износостойкость, особенно важной является оценка возможности режущего инструмента по формированию состояния поверхностного слоя при обработке и, в частности, шероховатости обработанной поверхности. Наличие значительной неоднородности механических свойств напыленного покрытия, включений и пор искажает полученный в результате обработки профиль микронеровностей, их высотные, шаговые и структурные параметры. Управлять указанными характеристиками шероховатости напыленных поверхностей при точении возможно варьируя режимами резания, а также за счет оптимального конструирования режущего инструмента.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ

Шероховатость обработанной поверхности оценивалась при проведении одно- и многофакторных экспериментов. В последнем случае использовался дробный факторный эксперимент 2^{4-1} . Параметры шероховатости поверхности - R_a , R_z (среднее арифметическое отклонение профиля и высота неровностей по 10-и точкам), S_m (средний шаг неровностей) и tr (относительная опорная длина профиля), измерялись профилографом-профилометром Talysurf-5M-120 (Великобритания).

Изучалось влияние следующих условий обработки: скорость резания $v = 1,2-3,2$ м/с, подача $S=0,1-0,3$ мм/об, угол резания инструмента $\delta=1,62-1,92$ рад., ширина

Клименко Сергей Анатольевич, к.т.н., Полонский Леонид Григорьевич*, к.т.н., Мельничук Петр Петрович*, к.т.н.

Институт сверхтвердых материалов им В.Н.Бакуля НАН Украины,
Житомирский инженерно-технологический институт*

фаски износа резца по задней поверхности $h=0,1-0,4$ мм.

Обрабатываемый материал - напыленные порошковые покрытия системы Ni-Cr-B-Si - ПГ-10Н-01 (HRC 56-62) и ПС-12НВК-01 (65% ПГ-10Н-01+35%WC). Обработка производилась резцами, оснащенными поликристаллическим сверхтвердым материалом на основе кубического нитрида бора киборит.

Износ инструмента по задней поверхности измерялся специальным микроскопом с ценой деления 1,6 мкм, который устанавливался непосредственно на станке.

Одной из возможностей управления микронеровностями на обработанной поверхности является изменение конструкции режущего инструмента. В настоящей работе сравниваются возможности резцов с плоской и цилиндрической передними поверхностями. При работе резцом с цилиндрической передней поверхностью изменяются условия пластического деформирования обрабатываемого материала перед инструментом, а следовательно и механизм формирования микронеровностей. При этом проекция режущей кромки такого инструмента на основную плоскость имеет радиус кривизны в несколько раз больший, чем у инструмента с плоской передней поверхностью. Все это способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

В сравнительных исследованиях рассматривалось влияние скорости резания и пористости обрабатываемого покрытия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты экспериментального исследования шероховатости поверхности покрытия ПГ-10Н-01 позволили получить уравнение регрессии, описывающее зависимость высотных параметров шероховатости от условий резания:

$$Ra = \frac{0,77S^{0,005}h^{0,017}\delta^{0,14}}{v^{0,11}}$$

где v , S , δ , h - соответственно скорость резания, подача, угол резания и ширина фаски износа инструмента по задней поверхности.

Анализ уравнения показывает, что в рассматриваемых условиях наибольшее влияние на шероховатость поверхности оказывает скорость резания, с увеличением которой высота неровностей снижается. Увеличение других рассматриваемых параметров приводит к росту высоты неровностей на обработанной поверхности.

Незначительное возрастание величины Ra с ростом подачи объясняется большой величиной радиуса при вершине инструмента.

Вероятно, влияние износа инструмента определяется ростом контактной температуры на задней поверхности, силы P_y и связанной с этим интенсивностью колебательных процессов. То, что увеличение износа не приводит к резкому увеличению шероховатости, объясняется возникновением выглаживающего эффекта со стороны задней поверхности инструмента.

Влияние угла резания на шероховатость поверхности проявляется за счет изменения переднего угла инструмента. С ростом его отрицательной величины увеличивается объем деформируемого обрабатываемого материала, воздействие которого на шероховатость поверхности выражается в возрастании высоты неровностей, которое к тому же из-за неоднородности структуры покрытия имеет значительную неравномерность.

Изменение параметра S_m наиболее тесно связано с величинами скорости резания и подачи, причем действие этих факторов противоположно.

Зависимости среднего шага неровностей профиля S_m от условий резания представлены на рис.1.

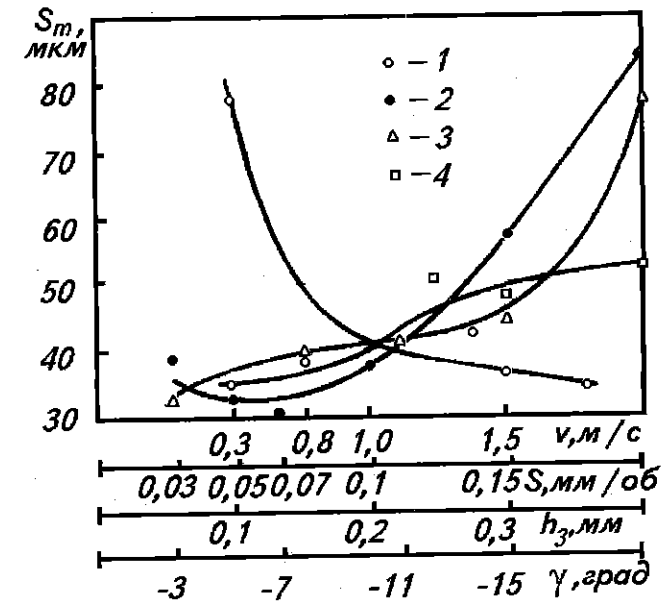


Рис.1. Влияние условий точения покрытия ПГ-10Н-01 на средний шаг неровностей профиля.

С увеличением скорости резания более 0,9-1,1 м/с интенсивность снижения S_m резко уменьшается, что связано с минимизацией хрупкого разрушения материала покрытия при возрастании температуры в зоне резания. Интенсификация повышения S_m при точении с подачей более 0,08-0,1 мм/об обусловлена разрушением материала покрытия вследствие распространения деформации от инструмента на больший объем материала и увеличения силы резания. Аналогичным образом влияет на шаг неровностей увеличение износа инструмента, особенно с ростом h более 0,25-0,3 мм.

Влияние величины переднего угла инструмента в рассматриваемом диапазоне изменения менее значимо в сравнении с указанными выше факторами.

При рассматриваемых величинах скорости резания, подачи, переднего угла и износа по задней поверхности инструмента значение относительной опорной длины профиля tr находится в пределах 17...20% (при уровне сечения профиля $p=30\%$).

Работами ряда исследователей показано, что во многих случаях шероховатость поверхности после механической обработки не соответствует той, которая получается по расчету, исходя из кинематико-геометрических закономерностей процесса резания [2]. Из-за пластических явлений в зоне образования неровностей профиль впадин искажается, а вершина гребешка смещается по направлению вспомогательной режущей кромки. В результате этого высота неровностей увеличивается на величину $H_{пл}$.

В общем на высоту микронеровностей влияют температурно-скоростные условия деформирования в зоне резания, жесткость технологической системы и химические и физико-механические свойства обрабатываемого материала.

Как показали исследования, явление выдавливания материала в вершину формируемой неровности наблюдается при резании металлов с различными механическими свойствами. Имеет место оно и при точении порошковых покрытий.

Величина приращения высоты неровностей зависит от соотношения прочностных и пластических свойств обрабатываемого материала [3]

$$H_{пл} = A(0,1\sigma_B / \delta)^{-0,45} e^{0,03(\sigma_B / \delta)}$$

где A - коэффициент, зависящий от глубины резания, геометрических параметров инструмента, соотношения длин рабочих участков главной и вспомогательной режущих кромок L_1/L_2 (величины угла схода стружки ν), усадки стружки ξ ; σ_B - в МПа; δ - в %.

Указанное обстоятельство существенно усложняет характер влияния условий резания и свойств обрабатываемого материала на высоту неровностей Rz на обработанной поверхности.

Одним из путей снижения высоты неровностей Rz за счет уменьшения составляющей $H_{пл}$ являются специальные конструкторские мероприятия. К их числу относится разработка и применение режущего инструмента с цилиндрической или конической передними поверхностями.

Представляет интерес сравнить параметры и возможности такого инструмента и токарных резцов с плоской передней поверхностью.

В случае, когда передний угол инструмента $\gamma \neq 0^\circ$ (что характерно для обработки труднообрабатываемых материалов инструментом из ПСТМ) проекция режущей кромки инструмента на основную плоскость искажается и принимает форму эллипса. Участок эллипса, ограниченный влево и вправо от вершины инструмента величиной $S/2$, можно аппроксимировать дугой окружности с эквивалентным радиусом R_3 . Для определения проекции режущей кромки на основную плоскость инструмента необходимо совместно решить уравнения окружности и эллипса, соприкасающихся в точке, соответствующей вершине инструмента.

Соответственно этому, с учетом зависимости $Rz = S^2/8R$, теоретическая высота неровностей профиля определяется зависимостями

$$Rz_1 = \frac{S^2 N(R - \sqrt{R^2 - S^2/4})}{S^2 + 4 \left[N(R - \sqrt{R^2 - S^2/4}) \right]^2}$$

где $N = \cos \gamma$, $\sin \alpha$ соответственно для инструмента с плоской и цилиндрической передней поверхностью; R - радиус при рабочей вершине инструмента; S - подача; γ , α - соответственно передний и задний угол инструмента.

Как отмечалось, инструмент с неплоской передней поверхностью имеет проекцию режущей части на основную плоскость инструмента существенно меньшей кривизны, чем обычные резцы с плоской передней поверхностью. При этом величина подачи оказывает на шероховатость поверхности меньшее влияние в сравнении с геометрическими параметрами инструмента. Так изменение величины подачи в восемь раз практически не оказывает влияния на расчетную высоту микронеровностей.

Увеличение переднего угла инструмента у резцов обычной конструкции приводит к росту радиуса проекции режущей кромки, а увеличение заднего угла у резца с неплоской передней поверхностью - к снижению радиуса проекции режущей кромки. Соответственно этому происходит снижение и увеличение высотных параметров шероховатости поверхности.

На рис.2 приведены экспериментальные зависимости высоты микронеровностей Ra от условий точения. С ростом подачи высота микронеровностей поверхности монотонно возрастает, при этом высота неровностей поверхности, обработанной резцом с цилиндрической передней поверхностью, ниже в 1,4...1,9 раза. Увеличение скорости резания не однозначно влияет на величину высотных параметров неровностей. Для случая точения обычными резцами, увеличение скорости резания приводит к некоторому росту высоты неровностей. При обработке резцом с цилиндрической передней поверхностью рост скорости резания обуславливает снижение высоты микронеровностей. Глубина резания оказывает на шероховатость поверхности влияние подобное влиянию подачи. При этом интенсивность возрастания высоты микронеровностей больше для обычного резца.

Аналогичные результаты получены при точении плазменно наплавленного порошкового покрытия ПГ-СР5. Установлено, что при одинаковых условиях резания наименьшая достижимая шероховатость после точения резцом с цилиндрической передней поверхностью составляет $Ra = 0,238 \pm 0,08$ мкм, а инструментом с плоской передней поверхностью - $Ra = 0,544 \pm 0,19$ мкм.

Учитывая повышенную пористость материала порошковых покрытий, высота микронеровностей после точения определяется зависимостью

$$Rz = Rz_p + H_{пл} + K,$$

где Rz_p - теоретическая высота неровностей, определяемая для различных

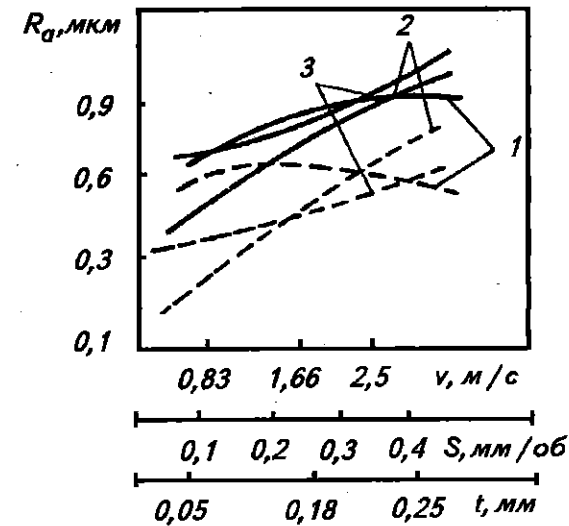


Рис.2. Влияние условий точения инструментом с плоской (1,2,3) и цилиндрической (4,5,6) на шероховатость поверхности покрытия: 1, 4 - v , 2,5 - S , 3, 6 - t .

геометрических параметров, конструкций инструмента и кинематики процесса резания; K - приращение высоты неровностей вследствие пористости материала.

Исследования показывают, что пористость поверхности не только увеличивает высоту неровностей, но и при значительной величине обуславливает отсутствие или минимизацию влияния режимов резания. Так при точении неоплавленного пористого покрытия ПС-12НВК-01 практически не сказывается изменение подачи в четыре раза (от 0,05 до 0,2 мм/об) и скорости резания более чем в шесть раз (от 0,6 до 4 м/с). При точении такого покрытия шероховатость поверхности может не зависеть от конструктивных особенностей инструмента, т.е. поверхность обработанная резцом с цилиндрической передней поверхностью может иметь большую высоту неровностей, если обработанная им поверхность имела большую пористость. Следует иметь в виду, что пористость материала покрытия на различном расстоянии от поверхности имеет разное значение, что еще сильнее определяет ее влияние на шероховатость обработанной напыленной поверхности.

ВЫВОДЫ

Шероховатость обработанной поверхности порошкового покрытия определяется структурой и свойствами обрабатываемого материала, а также режимами резания. Одним из путей управления параметрами микрогеометрии обработанной поверхности является применение инструмента с цилиндрической передней поверхностью. Такие инструменты позволяют существенно снизить высоту микронеровностей при одновременном повышении производительности обработки за счет увеличения подачи.

При оценке шероховатости поверхности порошковых покрытий следует уделять большое внимание величине пористости материала. Значительная пористость делает практически невозможным управление шероховатостью поверхности за счет варьирования режимами резания и использования инструмента различных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями /Э.В.Рыжов, С.А. Клименко, О.Г.Гуцаленко, -Киев:Наукова думка, 1994,-180 с.;
2. Исаев А.И. Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием, -М.:Машгиз, 1950.-358 с.;
3. Клименко С.А. Роль механических свойств обрабатываемого материала в процессе образования микронеровностей поверхности //Получение и применение сверхтвердых материалов:Сб. науч.тр.-Киев:ИСМ АН УССР, 1986.-С. 119-122.



Janez Kopač, Mirko Soković, Krsto Mijanović¹

EKOLOŠKI PARAMETRI SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE I NJIHOV UTICAJ NA PROCES REZANJA

Rezime

Sredstva za hlađenje i podmazivanje se uvode u proces rezanja radi poboljšanja nivoa karakteristika triboloških procesa, koji su uvijek prisutni na kontaktnim površinama između alata i predmeta obrade. Tako utičemo na povećanje postojanosti, povećanje ekonomske brzine rezanja i poboljšanje efikasnosti proizvodnih sistema u cjelini.

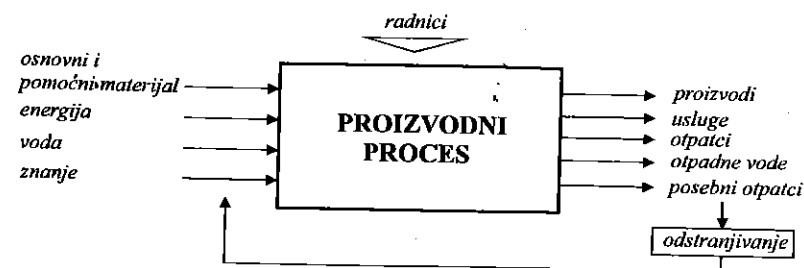
Zbog višestrukog negativnog djelovanja na radnu sredinu, životnu sredinu, čovjeka i ostali životinjski svijet, u savremenim proizvodnjama se sve više poklanja pažnja ekološkim parametrima, sredstva za hlađenje i podmazivanje. Naime, i pored triboloških zahtijeva sredstva za hlađenje i podmazivanje treba da ispuni i zahtjeve za zaštitom životne sredine koji su definisani: internim standardima u preduzećima, državnim zakonima za zaštitu životne sredine i međunarodnim standardima ISO 14000. Zato su proizvođači i korisnici upućeni da zajedno razvijaju nove formulacije sredstava za hlađenje i podmazivanje, verifikujući kvalitet preko parametara obradljivosti i ekoloških parametara.

Ovim radom je dat jedan primjer doprinosa zaštiti životne i radne sredine, istražujući mogućnost zamjene mineralnog ulja za rezanje navoja, sa polusintetičkim sredstvom sa izrazito boljim ekološkim karakteristikama.

1. UVOD

Analizom rezultata naučno-istraživačkih radova iz oblasti ekologije i nauke o životnoj sredini, dolazi se do činjenica da najveći broj problema nastaje zbog tehnoloških propusta i ne riješenih problema u procesima proizvodnje i ponašanja ljudi. Proizvodni procesi izpuštaju materiale koji mogu zagaditi vazduh, vodu ili zemlju. Ovi procesi su dio poslovnih sistema i predstavljaju glavni uzrok zagađenja čovjekove životne i radne sredine, a jedan su od uzroka poremećaja ravnoteže prirodnog sistema. Kada ovaj sistem ne može da obnovi svoje resurse, ili da prečisti svoje dijelove, dolazi do poremećaja koji utiču na čovjeka i njegove generacije. Veliki broj otpadaka na deponijama pretrpjeti će biodegradaciju ili neku drugu vrstu promjene, koja ih čini bezopasnim. Problem nastaje onda kada se otpad stvara većom brzinom od one kojom ga priroda može neutralisati. Tako dolazi do poremećaja prirodnog balansa. Kod resursa je proces obrnut; prirodna bogatstva se koriste brže nego što se mogu obnoviti. U oba slučaja poslovni sistemi su najveći proizvođači otpada i potrošači resursa, slika 1.

¹ dr. Janez Kopač, dipl. ing., izredni profesor,
mag. Mirko Soković, dipl. ing., viši predavatelj,
mag. Krsto Mijanović, dipl. ing., raziskovalni asistent,
Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija.



Slika 1. Proizvodni procesi koji zagađuju životnu sredinu

U preduzećima je neophodno organizovati sistem za evidenciju, odlaganje i odstranjivanje svih vrsta otpadaka, a posebno: hemikalija, otpadnih ulja, emulzija, nitrorazređivača i dr. To su u stvari preduslovi za izgradnju sistema zaštite životne sredine u preduzeću, koji bi bio zasnovan na bogatoj bazi podataka u čijem sastavljanju učestvuju svi radnici. Sa druge strane sistem kvaliteta i politika kvaliteta, koja se sada afirmiše u zemljama u tranziciji, je u jakoj vezi sa ekološkim sistemom. Za kvalitet proizvoda i tehnologija možemo reći da je mjerilo njegove upotrebne vrijednosti, odnosno mjerilo sposobnosti da zadovolji zahtjeve korisnika - potrošača. Da bi to postigli moramo upravljati kvalitetom proizvoda i tehnologija i kvalitetom osnovnih dijelova životne sredine. Na to nas obavezuju prvenstveno međunarodne norme definisane u standardima ISO 9000 i ISO 14000. Osim toga tu je i konvencija o biološkoj raznovrsnosti, nastala na međunarodnom sastanku Konferencije Ujedinjenih nacija za životnu sredinu i razvoj (UNCED) juna 1992 u Rio de Janeiru i sa radnim naslovom "United Nations Convention on Biological Diversity". Postoje takođe ograničenja koja su propisale pojedine države u obliku zakona o zaštiti životne sredine, kao i interni zakoni donijeti u nekim preduzećima. Znači ako želimo inkorporaciju u savremeno poslovno okruženje moraćemo uvažavati donijete norme, odnosno graditi sisteme koji ih podržavaju.

Ovim radom bit će razmatrani problemi zaštite životne sredine nastali upotrebom sredstava za hlađenje i podmazivanje pri rezanju (u daljem tekstu SHP), koji na ljestvici zagađivača zauzimaju visoko mjesto, kao i inicirani neki pravci rješavanja.

2. PROBLEMATIKA UPOTREBNIH I OTPADNIH SHP

Višestruko negativno djelovanje SHP na čovjeka, radnu i životnu sredinu obavezuje menadžere na afirmaciju istraživačkog rada na problemima identifikacije i rješavanja ekoloških problema u metaloprerađi. U tu svrhu trebaju se angažovati zajedno proizvođači i korisnici. Tako proizvođač ulja mora da vlada parametrima kvaliteta ulja u eksploataciji izraženim preko parametara obradljivosti i ekoloških parametara. To znači da, pored zahtjeva za usporavanje i razvoj triboloških procesa na površinama alata, SHP mora da zadovolji ekološke kriterije koje svaki potrošač mora da definiše za sebe.

Istraživanja, kojima bi se uspostavio materijalni i hemijski balans u jednoj proizvodnoj operaciji, su podrška proizvodnji ekološki prihvatljivog SHP ("zelenog" proizvoda). Za eksperimentisanja u tom području posebno su pogodna hemijska (sintetička) sredstva, koja se u osnovi grade aditivizacijom koju je moguće podešavati i kontrolisati prema planu eksperimenta i korigovati prema izlaznim rezultatima.

Iznači uticaj SHP na životnu sredinu, kao i njegove ekološke parametre znači izvršiti analizu njegovog životnog ciklusa. Prema definiciji "Analiza životnog ciklusa proizvoda" je sistematičan skup postupaka za prikupljanje i analiziranje ulaza i izlaza materijala i energije,

kao i uticaja proizvoda na životnu sredinu tokom čitavog životnog ciklusa. Analiza podrazumijeva objektivnu procjenu ekoloških uticaja proizvoda u svim fazama od proizvodnje, distribucije, upotreba, pa do konačnog odlaganja. U toku ove četiri faze proizvod utiče na životnu sredinu na različite načine i sa različitim intezitetom. Tipična analiza životnog ciklusa obuhvata:

- definisanje ciljeva i obim ispitivanja,
- izgrada inventara podataka vezanih za korištenje sirovina, potrošnju energije, ispuštanja u životnu sredinu i stvaranje opasnog otpada,
- analiziranje uticaja na životnu sredinu, uključujući njihovu klasifikaciju, karakterizaciju i vrednovanje,
- procjenu identifikovanih problema u odnosu na ekološke ciljeve,
- primjenu rezultata.

Pri izradi inventara podataka vezanih za upotrebu SHP nameću se pitanja koja se stalno postavljaju pred tehnologa:

1. Kakva SHP upotrebljavati da bi minimalno narušili radnu sredinu?

Pri upotrebi uljnih emulzija dolazi do bakteriološkog procesa usljed prisustva raznih nečistoća. Osim toga ponekad su prisutni agresivni spojevi kakvi su: nitriti, amini i drugi policiklični aromatični ugljikovodonici. Sve to čini dermatološke pokazatelje SHP kritičnim.

U toku rada na mašini, radnika obavija maglica sitnih kapljica ulja pomiješanog sa vodom koji uz to neprestano prskaju po proizvodima. Pod određenim uslovima se javljaju dimni gasovi, usljed sagorevanja SHP u zoni rezanja, koji sadrže: ugljen monoksid, azot dioksid, aromatske ugljikovodonike, ketone, estre, etre, amine itd. Snimanjem količine njihovog prisustva dolazimo do pokazatelja uticaja SHP na disajne organe radnika.

2. Kako smanjiti otpadne emulzije koje narušavaju životnu sredinu?

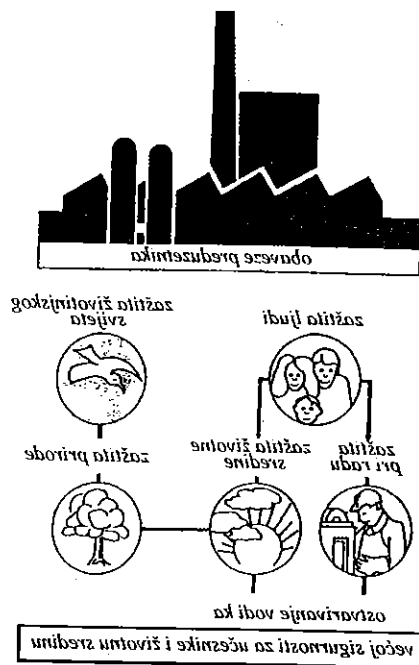
Uticaj otpadnih emulzija na životnu sredinu je vrlo širokog spektra. Raspale emulzije puštaju na površinu vode uljne mrlje koje ometaju prehranjivanje sa kisikom. Izlučena mineralna ulja se lijepe na disajne organe živih bića, a insektima se lijepe za noge i krila. Pored ovog štetnog fizičkog učinka mineralna ulja imaju višestruko hemijsko dejstvo. Posebno zabrinjavajuće je zagađenje površinskih i podzemnih voda. Prisustvo i u najmanjim mjerljivim količinama daje vodi miris i okus do granice neupotrebljivosti. Dokazano je da je bakteriološki razpad mineralnog ulja u zemlji dugotrajan, pa može zagađiti podzemne vode na duži period.

3. Kuda sa velikim količinama upotrijebljenih ulja, emulzija, mulja?

Potrošači, a i proizvođači, moraju se baviti problemima otpada SHP, jer se zaštita životne sredine sve više nameće kao ključni faktor menadžmenta. Smanjenje emisije štetnih elemenata SHP u radnu i životnu sredinu nije samo finansijski problem, već zahtijeva uvažavanje određene metodologije:

- analizom nabavke istraživati korištenje "čistijih" SHP,
- izabirati tehnologije koje su zaokružene sa aspekta reciklaže (mnoge savremene mašine su opremljene sa sistemima za regeneraciju ulja),
- pri projektovanju novih djelatnosti analizom odabrati samo one koje su ekološki kompatibilne sa životnom sredinom izabrane lokacije.

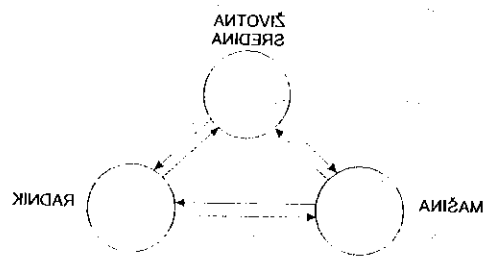
Ovakva analiza nas vodi ka većoj sigurnosti ljudi i životne sredine, slika 2. Preduzetnici su obavezni da izvode analize i upravljaju ekološkim parametrima SHP u fazi upotrebe i postupotrebe.



Slika 2. Šematski prikaz opreza proizvodnje predmeta na području zaštite životne sredine

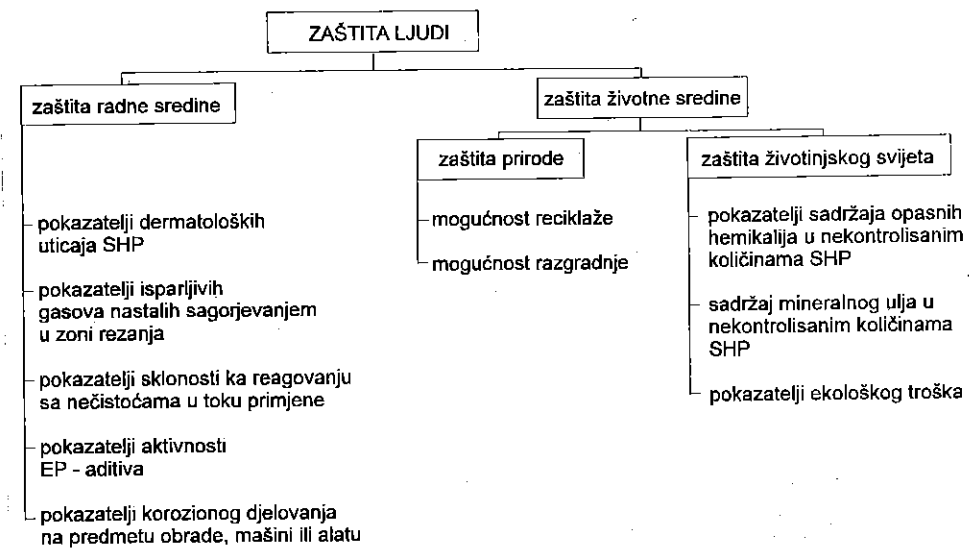
3. NEKI PUTEVI RJEŠAVANJA PROBLEMATIKE

Razloga da ne budemo bezbratni, kada je SHP u pitanju, je mnogo. Jedan od osnovnih je u tome što je čovjek dinamičko biće, pa bi se sredina trebala prilagoditi njegovom trenutnom stanju, slika 3. Pored toga nisu stalno u cjelosti poznati štetni uticaji koji djeluju na čovjeka. Zato je čovjek u svojoj praksi upućen na optimizaciju metoda i sredstava tada za tačnu zadržanja.



Slika 3. Komplikovani kibernetički sistem čovjek - mašina - životna sredina

U cilju postizanja tog medija na čovjeka, tačnu sredinu, predmet obrade, sredstva rada, životnu sredinu, izražava se njegovim ekološkim parametrima. Njihova karakterizacija i vrednovanje zahtijeva detaljnu analizu. Karakterizacija ekoloških parametara SHP bi se mogla izraditi prema sledećoj šemi, slika 4.



Slika 4. Šematski prikaz karakterizacije ekoloških parametara SHP

Postoji više načina prikupljanja informacija za izradu analize životnog ciklusa SHP.

- laboratorijska istraživanja kod proizvođača,
- istraživanja kod korisnika u proizvodnim uslovima,
- istraživanja kod korisnika u laboratorijskim uslovima vrednovanjem parametara obradljivosti i ekoloških parametara.

3.1 Plan eksperimenta

Projektujući karakteristike kvaliteta SHP za određene uslove obrade u prvi mah se nameću tehničko-tehnološki zahtjevi za nivoom parametara obradljivosti. Pošto su problemi zaštite životne sredine sve prioritetniji faktori poslovne politike u preduzećima, pomenute zahtjeve treba dopuniti sa ekološkim parametrima. Eksperimentisat ćemo sa urezivanjem navoja u Al-leguri istražujući efekte primjene tri vrste SHP, kroz vrednovanje parametara obradljivosti.

U standardnim uslovima obrade navoja ureznikom koriste se rezna ulja, koja su u svojoj osnovi mineralna ulja sa i bez aditiva. Tu se još podrazumijevaju i masna ulja, kao i čitav niz mješavina mineralnih ulja i drugih elemenata. Mineralna ulja mogu da čine mješavinu sa: sumporisanim masnim uljima, sumporisanim mineralnim uljima, hlorisanim parafinom i hlorisanim masnim uljima. Visokokvalitetno režno ulje mora da ima dobro usklađen odnos sadržaja sumpora, hlora i fosfora, a aditivi mogu da budu u aktivnoj i neaktivnoj formi. Razlika je u načinu vezivanja sumpora i drugih elemenata koji se dodaju uljima radi poboljšanja EP-karakteristika.

Mineralno ulje sa hlorisanim parafinom, koje će biti posmatrano u istraživanju, pored svojih loših EP-karakteristika ima veoma dobra podmazujuća svojstva. Prednost hlora je u tome što pruža zaštitu alatu, usporavajući razvoj triboloških procesa i sprečavajući stvaranje naslage i pri niskim temperaturama rezanja. Međutim, zbog već pomenutih osobina, ekološki parametri ovog SHP su nezadovoljavajući.

Druga serija eksperimenata izvedena je sa polusintetičkim sredstvom, koje predstavlja u osnovi kombinaciju uljnih emulzija i hemijskih sredstava. Ova vrsta SHP ima slijedeće dodatne karakteristike:

- manji sadržaj (10 - 40%) ulja nego kod uljnih emulzija,
- veći sadržaj emulgatora ili površinski aktivnih molekula, nego kod hemijskih sredstava, što prouzrokuje smanjenje kapljica i poboljšanje eksploatacionih karakteristika.

Ekološki parametri ovog sredstva su povoljniji u odnosu na predhodno, prvenstveno zbog lakše razgradnje u fazi postupotrebe.

Treća serija eksperimenata bila je izvedena uz upotrebu reznog ulja izrađenog, posebno za obradu navoja ureznikom. Prednost ovog SHP je u veoma maloj upotrijebljenoj količini, koja se dozira samo na početku procesa rezanja kvaseći površine ureznika i rupe.

Pregled planiranih SHP u eksperimentu dat je u tabeli 1.

Tabela 1 SHP za tri serije eksperimenata

Režno ulje sa hlorisanim parafinom	Polusintetičko sredstvo	Režno ulje
<i>Kuteol CSN 5</i> "Teol" Ljubljana	<i>Teolin AIK</i> "Teol" Ljubljana (20% emulzija)	<i>SKF - 2</i> firme SKF & Dormer

Drugi cilj rada je da se iznađu povoljne kombinacije brzine rezanja i SHP sa aspekta parametara obradljivosti. Zato su eksperimenti usmjeravani unutar granica brzine, primjenom jednofaktornog ortogonalnog plana. Matematički model funkcije obradljivosti, pomoću kojeg smo zatražili odziv unutar obuhvaćenog eksperimentalnog prostora je stepena funkcija oblika:

$$M = C \cdot v_c^{p_1} \quad \text{Nm} \quad (1)$$

gdje su: C, p_1 - parametri obradljivosti,
 v_c - brzina rezanja kao kontrolisani faktor,
 M - moment otpora rezanja kao funkcija stanja procesa.

Moment otpora rezanja je uzet kao izlazna veličina dobivena mjerjenjem kao rezultat procesa urezivanja. Variranje brzine rezanja uzeto je u granicama: $v_{c \min} = 12 \text{ m/min}$ i $v_{c \max} = 25 \text{ m/min}$.

Ureznici M10, od proizvođača "SKF" za prolaznu rupu dubine $l = 10 \text{ mm}$, odabrani su prema planu eksperimenta, tako da geometrijom odgovaraju za obradu Al - legura.

Materijal predmeta obrade je legura AlMgSiPbBi koja je termički obrađena za posebne namjene. Hemijski sastav i mehaničke osobine legure dati su u tabeli 2.

Tabela 2 Hemijski sastav i mehaničke osobine predmeta obrade

Hemijski sastav %						Mehaničke osobine		
Si	Mg	Pb	Mn	Fe	Bi	Zatez. čvrst. N/mm ²	Gran. razvl. N/mm ²	Izduženje A10 %
1.11	1.00	0.53	0.70	0.30	0.56	387	365	11.4

Magnezijum i olovo u leguri presudno utiču na stvaranje naljepka na grudnoj površini oštrice, odnosno na povećanje otpora rezanja i stvaranje uslova za atheziono habanje. Silicijum, međutim, utiče na pojavu abrazivnog habanja pospješujući uspostavljanje triboloških procesa na površinama alata.

Stežanje ureznika vršeno je u samopodesivu moment glavu čime su izbjegnute greške u podešavanju osa i odstupanju rupe od oblika i položaja.

3.2 Eksperimentalni rezultati

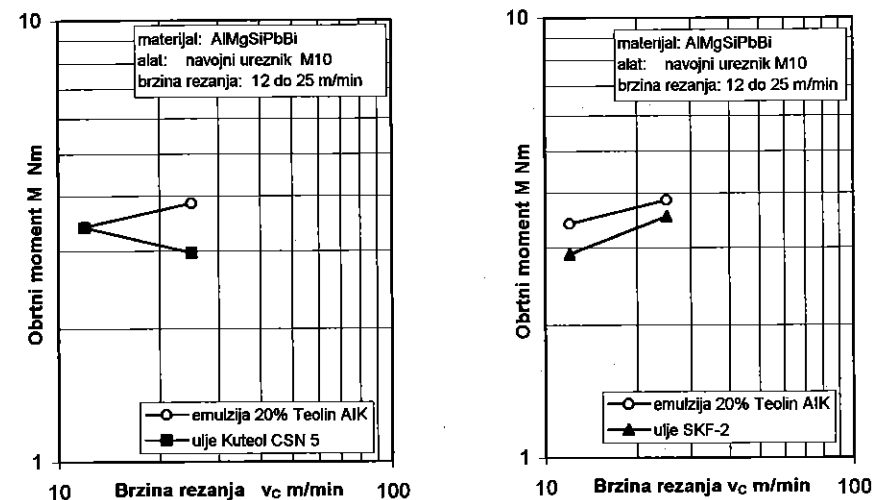
Obradom rezultata dobivene su funkcionalne zavisnosti momenta otpora od brzine rezanja pri obradi sa različitim SHP sredstvima: reznim uljem "Kuteol" CSN 5, polusintetičkim sredstvom "Teolin" AIK i reznim uljem "SKF-2":

$$M_1 = 5,323 \cdot v_c^{-0,182} \quad (2)$$

$$M_2 = 2,23 \cdot v_c^{-0,17} \quad (3)$$

$$M_3 = 1,49 \cdot v_c^{-0,268} \quad (4)$$

Usporedni dijagrami zavisnosti momenta od brzine rezanja dati su na slici 5.



Slika 5. Dijagram zavisnosti momenta od brzine rezanja

3.3 Analiza rezultata

Na obradu navoja ureznikom u AlMgSiPbBi leguri, osim brzine rezanja, bitno utiče sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Logično je što se obradom sa uljem za rezanje "Kuteol" CSN 5 javlja najveći nivo parametara obradljivosti jer hlor usporava tribološke procese na kontaktnim površinama između alata i predmeta. Hlor, naime, u kontaktu sa površinom alata hemijski reaguje, stvarajući hloridne prevlake na alatu. Kod primjene polusintetičkog sredstva prije je došlo do razvoja triboloških procesa i uslova za stvaranje naslage na oštrici, što se očitavalo

većim momentom otpora rezanja. Tribološki aspekt primjene reznog ulja "SKF" teško je tumačiti, ali je posmatranje svakako interesantno zbog komparacije sa prve dvije varijante iz razloga utroška malih količina ulja i prihvatljivih parametara obradljivosti.

Ekološki parametri polusintetičkog sredstva, u fazama upotrebe i postupotrebe, nameću ga prioriternim i pored nešto lošijih parametara obradljivosti

Kad se, u procesu obrade navoja, nađemo u području zakonitosti (3) treba birati brzine rezanja bliže donjoj granici. Sada se nameće potreba analize ekonomičnosti procesa obrade, odnosno sagledovanje tehnoloških problema sa ekonomskog aspekta. Naime, upotrebom polusintetičkog sredstva koristićemo nešto niže brzine, a tribološki procesi na površinama alata će se nešto brže razvijati. Zato treba očekivati nižu produktivnost i veće troškove alata. Tako se dolazi do elemenata ekološkog troška, za operaciju obrade rezanjem u tehnološkom postupku, sa kojima treba da operiše tehnolog odgovarajući na pitanja: "Kako brže?, Kako jeftinije?, Kako kvalitetnije?."

4. ZAKLJUČAK

U Svijetu, naročito poslije "Rio konferencije" i promovisanja koncepta održivog razvoja, iztraživanje ekoloških parametara proizvoda i tehnologija, naročito u hemijskoj i metalo-prerađivačkoj industriji, je dobilo svoj puni značaj.

Karakteristikama kvaliteta proizvoda treba dodati karakteristiku "ekološka kompatibilnost", koja se kasnije iskazuje u fazi upotrebe i postupotrebe preko svojih parametara.

Kada je riječ o SHP koja se koriste u procesu rezanja neophodno je, politikom kvaliteta i menadžmentom, inicirati:

- eksperimentalno istraživanje mogućnosti supstitucije nedozvoljenih sredstava savremenim sintetičkim, ekološko prihvatljivim, sredstvima,
- proizvođače SHP za razvoj novih savremenih formulacija, uključujući ih u istraživanja parametara obradljivosti, gdje se kao izlazne veličine snimaju i tehnološki pokazatelji;
- tako dobiveni inventar podataka koristiti za analizu životnog ciklusa SHP u ekološkom sistemu preduzeća.

5. LITERATURA

- [1] A. Živčić: Nastajanje sistema za varstvo okolja, Problematika uporabnih in odpadnih emulzij, Ekologija, 1995, Ljubljana
- [2] E.M. Trent: Metal Cutting, Third edition, Butterworth, London, 1991
- [3] P. Andre, Ž. Mitrović: Osnove modela ekološkog sistema, Beograd, 1994
- [4] L. Morawska, N. Bafinger, M. Maroni: Indoor Air Integrated Approach ES1st, Elsevier, Oxford, 1995
- [5] G. Douglas, W.R. Herguth: Physical and Chemical Properties of Industrial Mineral Oils affecting Lubrication, Lubrication Engineering, Vol. 52, No. 2, January 1996, 145 - 148
- [6] W.D. Hewson, G.K. Gerow: Development of New Metal Cutting Oils With Quantifiable Performance Characteristics, Lubrication Eng., Vol. 52, No. 1, January 1996, 31-38
- [7] K. Mijanović: Raziskave kakovosti navojnih vrezil oslojenih sa titanovim nitridom, magistrska naloga, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1992
- [8] A. Salmič: Meritve sil pri vrezovanju navojev, Diplomaska naloga, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Slovenia, 1996



Корж Н.Я.
**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ШЛИФОВАНИЯ
ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КРУГАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы электрофизической обработки крупномодульных зубчатых колес кругами из сверхтвердых материалов на металлической связке. Приведены результаты испытаний процесса и результаты рентгеноструктурных и металлографических исследований обработанных зубчатых колес. Процесс позволяет повысить производительность обработки, особенно на предварительных проходах, и обеспечивает точность и качество колес.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом силовых и скоростных характеристик применяемых в настоящее время зубчатых передач и одновременным ужесточением требований к их надежности ежегодно увеличивается выпуск колес с зубьями повышенной твердости. Для их изготовления необходимы финишные операции, трудоемкость которых составляет 30-60% всей трудоемкости механической обработки зубчатых колес [1]. Несмотря на то, что зубошлифование остается одним из основных методов окончательной обработки высокоточных зубчатых колес с зубьями большой твердости, его производительность недостаточна, а в случае использования кругов из обычных абразивов возникают дефекты поверхностного слоя [2].

Зубошлифование предъявляет повышенные требования к профилированию инструмента. Профилирование необходимо не только при первичной установке круга на шпиндель станка для устранения биения и придания профилю требуемой формы, но и для корректировки формы инструмента, так как неравномерный износ его рабочего слоя приводит к снижению точности обрабатываемых зубчатых колес. Один из наиболее эффективных методов - электроэрозионное профилирование и правка кругов из СТМ на металлической связке [3].

Известно, что оптимальный процесс резания кругами из СТМ на металлических связках реализуется при работе в режиме самозатачивания, который может быть достигнут разработкой специальных связок, непрерывной электрохимической правкой и травлением круга, являющихся легко управляемым. В работе [4] разработана схема, которая позволила совместить эти два вида обработки в один, названный методом двойного травления.

Корж Николай Яковлевич, канд.техн.наук
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, г.Киев

Сущность данного метода заключается в анодном растворении поверхности алмазного слоя, при котором круг работает в режиме самозатачивания, и одновременном травлении шлифуемого материала, в результате чего под действием электрических процессов улучшается его обрабатываемость.

МЕТОДИКА

С учетом выше изложенного нами была принята окончательная принципиальная схема зубошлифования комбинированным электрофизическим методом на модернизированном станке мод. ZSTZ кругами 1EE1X из СТМ на токопроводящих связках. В цепь круг из СТМ на металлической связке через специальный токосъемник подключен к общему полюсу источника технологического тока (ИТТ) и является катодом по отношению к обрабатываемому изделию. Зубчатое колесо через токосъемник подключено к положительному полюсу ИТТ и служит анодом в цепи травления. Эта цепь замыкается через электролит, подаваемый в зону обработки с помощью сопла. В цепь правки входит специальный катод и карандаш, закрепленные в электроизолированных от станка державках правящего устройства. Круг в данном случае подключен к положительному полюсу ИТТ, катод - к отрицательному. Между кругом и катодом имеется гарантированный зазор в пределах 0,05-0,1 мм и, таким образом, катод не изнашивается. Электрическое замыкание цепи правки осуществляется через электролит, подаваемый в зазор через внутреннюю полость катода. Карандаши подключаются в цепь правки в момент работы правящего устройства. Работа электрических цепей заблокирована с основными движениями станка и может осуществляться автоматически.

При зубошлифовании применялся стандартный электролит (NaNO_3 - 6-8%, NaNO_2 - 0,6-0,8%, Na_2CO_3 - 0,4-0,5%, глицерин - 0,8-2,0%, остальное - вода).

В ходе испытаний для правки использовались токопроводящие карандаши типа МААС из алмазов АС32-АС50 зернистостью 400/315 - 315/250 при токе 10-25 А/см², круги 1EE1X 320x25x12740 из алмазов АС6 250/200, АС20 315/250 и кубонита КРС 160/125, 100%-ной концентрации на металлических связках М2-15-1; М3-16 и М2-09-3, а также круги размером 350x32x127 из электрокорунда белого 24А 40СМ2 6К5. Обрабатывались зубчатые колеса из цементированной закаленной стали 20ХН3А с модулем 12, числом зубьев 19, углом наклона зуба 0°, углом профиля 20°.

Испытания проводились глубине резания (съем на сторону зуба) $t=0,2-0,05$ мм, скорости обката $S_0=250-270$ мм/мин, числе двойных ходов шпинделя в минуту $n=70-140$. Чистовые проходы: $t=0,05-0,01$ мм, $S_0=52-250$ мм/мин и $n=100-210$ дв.ходов/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты испытаний показали, что оптимальными значениями плотности тока травления в цепи следует считать 10-20 А/см² при съеме основного припуска (черновом зубошлифовании) и 1,5-2,5 А/см² при чистовом. Данный режим поддерживается изменением напряжения в цепи травления с помощью блока управления в пределах 3-12 В. Необходимо отметить, что рост напряжения сверх 12 В приводит к увеличению доли электроэрозионных процессов. Это отрицательно сказывается на качестве

обработанной поверхности, а также ведет к повышенному расходу СТМ. Роль электрохимических процессов в цепи постоянной правки сводится в основном к превращению засаливания и только их небольшая доля направлена на непрерывное растворение связки круга. Поэтому оптимальная плотность тока в цепи постоянной правки составляет 0,2-0,6 А/см².

Установлено также, что при комбинированном методе зубошлифования кругами из указанных СТМ основное время обработки уменьшается за счет интенсификации режимов и сокращения числа проходов. При этом уменьшается также вспомогательное время, необходимое для правки и корректировки профиля круга, так как относительный износ инструмента из СТМ ниже, чем обычных абразивных кругов. Все это позволяет повысить производительность процесса в 1,5-2,0 раза.

Нами проведены рентгеноструктурные и металлографические исследования двух партий зубчатых колес, обработанных при $t=0,20; 0,25$ и $0,30$ мм и плотности тока в цепи травления выше и ниже 20 А/см². Они показали, что в первом случае в результате влияния электроэрозионных процессов наблюдаются прижоги на глубину до 0,02 мм и повышенное содержание остаточного аустенита в тонком поверхностном слое - Fe = (30+5)%. Изменение микротвердости по Кнупу на косых шлифах при нагрузке 1 Н выявили снижение микротвердости на глубину до 0,035 мм. Наличие на поверхности участков, микротвердость которых больше, чем сердцевины, указывает на подзакалку тонкого слоя (~1 мкм) до мартенситной структуры. Во втором случае, то есть при зубошлифовании с плотностью тока меньше 20 А/см², прижоги не наблюдались.

После зубошлифования на чистовых режимах ($t=0,05$ мм) прижогов также не обнаружено. Разность соседних окружных шагов при допуске $\pm 0,048$ мм составляла $+0,025$ мм. Отклонение направления зуба по замерам на эвольвентомере РН100 фирмы МААГ находятся в пределах 8-10 мкм при допуске 20 мкм.

Применение комбинированного электрофизического метода зубошлифования крупномодульных зубчатых колес кругами типа 1EE1X из СТМ на металлических связках позволяет повысить производительность обработки, особенно на предварительных проходах, и обеспечивает необходимые точность и качество зубчатых колес. Процесс рекомендуется проводить при плотности тока в цепи травления не больше 20 А/см².

ЛИТЕРАТУРА

1. Бенкин В.А. Прогрессивные методы финишной обработки цилиндрических зубчатых колес: Обзор. - М.: НИИМаш, 1980 - 40 с.
2. Кораблев И.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубчатых передач. - М.: Машиностроение, 1968. - 287 с.
3. Похалин Ю.А. Алмазное контактно-эрозионное шлифование. - Л.: Машиностроение, 1985. - 178 с.
4. Гордон М.Б., Янюшкин А.С. Высокоэффективная электрохимическая обработка твердых сплавов в режиме самозатачивания алмазного круга и одновременного травления поверхности. // Вестн. машиностроения. - 1984. - #3. - С.62-64.



NOVI PRILAZ ISTRAŽIVANJU OBRADLJIVOSTI¹
Majstorović D. V.²

Rezime:

Osnovu za razvoj sistema za projektovanje tehnologije (CAPP/CAM) čine i razvijeni modeli tehnoloških banki podataka. Više decenijsko istraživanje obradljivosti je danas generisalo nove zahteve u ovoj oblasti: (i) razvoj simulatora obradljivosti za određivanje režima rezanja, (ii) razvoj ekspertnih sistema za obradljivost. U ovom radu se izlažu ti prilazi na konkretnim primerima, kao i istraživanja koja se vrše na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

Ključne reči: Obrada rezanjem, Obradljivost, Simulacija, Ekspertni sistemi.

1. UVOD

Istraživanja i razvoj tehnoloških sistema na bazi fleksibilne automatizacije, su značajno povećali parametre njihove tehničko-ekonomske efektivnosti. Još uvek je u ovim sistemima dominantna tehnologija obrada rezanjem, koja u njima, zbog svojih fenomena posebno ističe sledeće istraživačke probleme: (i) on-line praćenje i upravljanje habanjem reznog alata, i (ii) on-line optimizacija režima rezanja.

Ovakvi prilazi zahtevaju kompleksno istraživanje pojava i procesa u zoni rezanja, sa različitih aspekata, nego što je to do sada rađeno. U zoni rezanja možemo identifikovati četiri karakteristična procesa gde se javljaju specifične pojave koje se istražuju: (i) praćenje stanja alata, (ii) formiranje i odvođenje strugotine, (iii) praćenje stanja obrađene površine, i (iv) praćenje drugih pojava u zoni rezanja (temperatura, buka, vibracije, zvučna emisija itd.).

Sistemi za automatizovano i automatsko projektovanje tehnologije (CAPP/CAM) se zasnivaju na razvijenim modelima tehnoloških banki podataka. One su razvijene istraživanjem obradljivosti, razvojem i generisanjem različitih funkcija obradljivosti, koje se u svetu istražuju više decenija, što je isto i u našoj zemlji.

Razvoj računarske tehnologije kao i obradnih sistema je generisalo nove zahteve za probleme obradljivosti, koji se danas iskazuju kroz: (i) razvoj modela za računarsku simulaciju istraživanja funkcija obradljivosti, (ii) primena novih metoda i tehnika za praćenje pojava i procesa u zoni rezanja (DDS sistem, neuronske mreže, laserski sistemi), i (iii) razvoj ekspertnih sistema za istraživanje obradljivosti i optimizaciju režima rada.

Ovaj rad podržavaju reference [1-11].

¹ Neki rezultati u ovom radu odnose se na projekat: Proizvodno inženjerstvo i fabrike budućnosti koje finansira fond za nauku i MNT Republike Srbije.

² Prof. dr Vidosav D. Majstorović, dipl. maš. inž., Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, Beograd.

2. STANJE ISTRAŽIVANJA OBRADLJIVOSTI U SVETU

Istraživanje obradljivosti u svetu ima tradiciju od nekoliko decenija. Razvijeni prvo kao nezavisni sistemi za određivanje režima rezanja, oni su danas evoluirali u integrisane sisteme za projektovanje tehnologije, gde su režimi rezanja samo jedan modul. Pregled razvijenih sistema za istraživanje obradljivosti prikazan je na slici 1. Osnovna karakteristika navedenih sistema je da su to računarski podržane baze podataka o obradljivosti iz kojih se mogu dobiti: standardni, preporučeni i optimalni režimi rezanja. Poslednje dve grupe režima se dobijaju korišćenjem generalizovanih empirijskih jednačina i matematičkih modela funkcija obradljivosti. Generalizovane jednačine za brzinu, korak i postojanost alata predstavljaju stepene funkcije dobijene eksperimentalno-empirijskim metodama, za različite vrste obrade. Parametri obradljivosti, koji se u njima javljaju su određeni eksperimentalno, slika 2. Model određivanja optimalnih režima rezanja je prikazan na slici 3, a zasniva se na matematičkom modeliranju obradnih procesa.

Novi istraživački pravci u ovoj oblasti su istraživanje obradljivosti za nove materijale, koji su prilagođeni obradi, kao i obrada velikim brzinama.

Effekti razvoja i primene procesa za materijale prilagodljive obradi se odnose na sve različite inženjersko-proizvodne aktivnosti. Oni direktno utiču na povećanje kvaliteta proizvoda i tržišnu konkurentnost firme, slika 4.

Preduslovi za primenu i realizaciju tehnologija za materijale prilagodljive obradi su mašine i alati projektovani prema zahtevima obradnih procesa. Na primer, obrada keramikom koja ima visoke performanse ima niz dodatnih zahteva, u odnosu na konvencionalno brušenje. U ovom procesu, generišu se sile rezanja, koje od mašine zahtevaju da bude vrlo kruta, vrlo preciznih pogona kao i velike snage motora prenosnika za glavno kretanje. Sa druge strane ceo proces mora biti projektovan i vođen tako da se može automatizovati.

Proizvodi visoke tačnosti i kvaliteta se sve više pojavljuju kao ulazni trend zahteva tržišta. Razvoj i primena ultra preciznih mašina, omogućuje dobijanje delova visoke tačnosti i preciznosti, nego što to mogu da daju brušenje, honovanje i poliranje, obradni procesi koji su vrlo skupi.

Istraživanje obradljivosti za obradu velikim brzinama je poseban istraživački problem, zbog karakterističnih procesa i pojava koji se pri tome javljaju, jer se za ovu obradu posebno izučavaju: (i) obradni sistemi i njihove karakteristike, (ii) procesi u zoni rezanja, i (iii) alati za ovu obradu. Danas se za ovu obradu postižu brzine od 24500 m/min, a pregled istraženih funkcija obradljivosti za postignute brzine rezanja je prikazan na slici 5. Taj dijapazon se kreće od 40 do 9200 m/min za različite materijale.

3. NOVI PRILAZI DEFINISANJA I ISTRAŽIVANJA OBRADLJIVOSTI

Danas se obradljivost najčešće definiše preko sledećih funkcija: (i) postojanost alata, (ii) sila rezanja, odnosno specifične energije procesa, (iii) kvalitet obrađene površine, (iv) tačnosti karakteristika kvaliteta, i (v) oblika strugotine. Prve tri funkcije su najvažnije za definisanje obradljivosti.

Ako se obradni proces posmatra kao skup promenljivih parametara, koji mogu biti: (i) ulazne nezavisne promenljive $[X_r, (r=1, \dots, k)]$, (materijal i njegove karakteristike, alat i njegove karakteristike, parametri obradnog procesa), (ii) izlazne zavisne promenljive $[Y_m, (m=1, \dots, l)]$, (habanje alata, sile rezanja, kvalitet obrađene površine, karakteristike strugotine itd.). Procesna funkcija uspostavlja vezu između navedenih promenljivih u obliku:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad (1)$$

i predstavlja generalizovanu funkciju obradljivosti, uspostavljenu za zavisne promenljive.

Regresione funkcije obradljivosti se određuju eksperimentalnim putem. Za komparativnu analizu obradljivosti različitih materijala koristi se indeks obradljivosti.

Apsolutni indeks obradljivosti - I predstavlja vrednost funkcije obradljivosti, određenu precizno za skup nezavisno promenljivih (X_1, \dots, X_k) u obliku $I = F(X_1, X_2, \dots, X_k)$. Relativni indeks obradljivosti (I_r) predstavlja odnos između apsolutnog indeksa obradljivosti ispitivanog materijala (I) i apsolutnog indeksa obradljivosti referentnog (standardnog) materijala (ref I):

$$I_r = I / \text{ref } I \quad (2)$$

Parcijalni indeks obradljivosti za funkciju habanja alata (I_{jw}), se definiše na sledeći način:

$$W = W(PM_j, CT, v, s, a, t_r) \text{ (mm)} \quad (3)$$

gde su: W- parametar habanja alata (VB_{\max} , VB, KS, KT, itd.), PM_j - materijal dela j, CT- materijal alata, v- brzina rezanja, a- dubina rezanja, t_r - vreme rezanja.

Sada se indeks I_{jw} može izraziti za funkciju habanja kao:

$$I_{jw} = VB_{\max} / T \quad (4)$$

gde su: VB_{\max} - kriterijum zatupljenosti na leđnoj površini alata, a T- postojanost alata za prethodni kriterijum.

Na isti način se definišu i ostali parcijalni indeksi obradljivosti za ostale funkcije obradljivosti, i to:

1. Parcijalni indeks obradljivosti za specifičnu energiju rezanja (I_{JE})

$$I_{JE} = N / a \cdot s \cdot v \text{ [J/mm}^3\text{]} \quad (5)$$

gde su: N- potrebna snaga rezanja (J); a, s, v- potrebni režimi rezanja.

2. Parcijalni indeks obradljivosti za kvalitet obrađene površine (I_{JR})

$$I_{JR} = Ra \text{ (}\mu\text{m)} \quad (6)$$

gde je Ra parametar hrapavosti- srednja visina neravnina, a koji može biti zamenjen i sa Rz, Rmax itd.

3. Parcijalni indeks obradljivosti za tačnost obrade (I_{JA})

$$I_{JA} = A_M^d \cdot A_P^r \text{ (}\mu\text{m)} \quad (7)$$

gde su: A_M - odstupanje projektovane od karakteristike kvaliteta dobijene obradom rezanja, i A_P - mogućnost ostvarivanja projektovane karakteristike kvaliteta, koja zavisi od tolerancije procesa (T_p). Eksponenti d i r se odnose na konkretne uslove obrde i kreću se od 0 do 1.

4. Parcijalni indeks obradljivosti za dužinu strugotine (I_{JC})

$$I_{JC} = l_{\text{med}} \quad (8)$$

gde je: l_{med} - srednja dužina strugotine.

Svi navedeni parcijalni indeksi obradljivosti se određuju za jedan skup režima rezanja i date uslove obrade, a u sledećem koraku se utvrđuje faktor prioriteta parcijalnih indeksa obradljivosti, a nakon toga globalni indeks obradljivosti. Ovaj model će biti prikazan u sledećim radovima, zbog ograničenog obima ovog rada.

Indeksi obradljivosti određeni na ovaj način predstavljaju osnovu za projektovanje i razvoj simulatora obradljivosti, koji predstavlja današnji trend u oblasti istraživanja obradljivosti. Polazi se od geometrijskog modela dela i njegovih tehnoloških oblika, preko kojih se dolazi do veza i relacija za zahvate i alate, slika 6. Na ovaj način intergrirano je projektovanje tehnologije i izbor preporučenih režima rezanja na bazi simulacije funkcija obradljivosti.

4. UMEŠTO ZAKLJUČKA

Izloženi prilozi aktuelnog istraživanja obradljivosti u svetu omogućuju da se definišu sledeći zaključci:

a) kompjuterizovani sistemi za obradljivost i režime rezanja su sastavni elementi sistema za projektovanje tehnologije, pri čemu njihov nedostatak predstavlja i nedostatak samog sistema za projektovanje,

b) razvoj i istraživanje virtuelnih fabrika zahteva i nove prilaze istraživanju obradljivosti na bazi simulacije, što je u ovom radu i izloženo, i

c) ekspertni sistemi za obradljivost su nove generacije software-a za ovu oblast, što predstavlja i aktuelan trend i u oblasti projektovanja tehnologije.

Istraživanje obradljivosti na Mašinskom fakultetu u Beogradu ima višedecenijsku tradiciju. U ovom trenutku se u Institutu za proizvodno mašinstvo i CIM, radi na projektovanju i razvoju modela ekspertnog sistema za obradljivost, čiji je model baze podataka za E-R dijagram, na osnovu koga se izrađuje baza znanja prikazan na slici 7. U sadašnjoj fazi razvoja ovog ekspertnog sistema, istraživanja se odnose na standardne režime rezanja.

5. LITERATURA

- [1]. Wang, H., Wysk, R., An Expert System for Machining Data Selection, International Journal "Computers of Industrial Engineering", Vol.10, No.2, pp. 99-107, 1989.
- [2]. Balakrishnan, P., DeVries, M., A Review of Computerized Machinability Data Base Systems, Mechanical Engineering Faculty, University of Wisconsin-Madison, 1990.
- [3]. Teshima, T., et al, On the Setting of the Cutting Conditions Based on the Evaluation of Cutting State, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.26, No.4, pp. 354-355, 1992.
- [4]. Yoneda, T., et al, Development of Machining System with Learning Functions, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.26, No.2, pp. 96-101, 1992.
- [5]. Takata, S., Generation of Machining Scenario and Its Applications to Intelligent Machining Operations, Annals of the CIRP, Vol. 42/1, pp. 531-534, 1993.
- [6]. Enache, S., et al, Mathematical Model for the Establishment of the Materials Machinability, Annals of the CIRP, Vol. 44/1, pp. 79-82, 1995.
- [7]. Takata, S., et al, A Cutting Simulation System for Machinability Evaluation Using a Workpiece Model, Annals of the CIRP, Vol. 38/1, pp. 417-420, 1989.
- [8]. Majstorović, V., Stanić, J., Novi pravci istraživanja obradljivosti, Jugoslovenski simpozijum: "Nove tehnologije u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", Cavtat, 1985.
- [9]. Stanić, J., Teorija obrade metala, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [10]. König, W., et al, Machining of New Materials, Annals of the CIRP, Vol.39/2, pp. 673-680, 1990.
- [11]. Schulz, H., Morivaki, T., High-Speed Machinability, Annals of the CIRP, Vol.41/2, pp. 637-643, 1992.

ADVANCED APPROACHES MACHINABILITY INVESTIGATIONS

Summary:

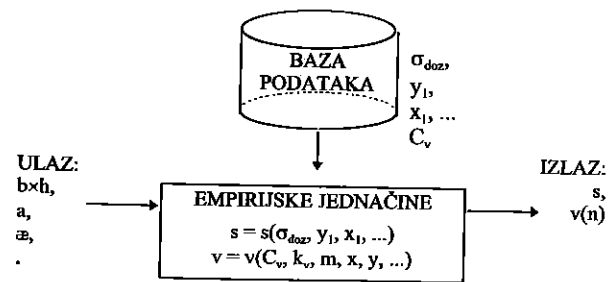
Starting point for developing systems on automated process planning (CAPP/CAM) are and developed model of manufacturing data banks. Long term machinability research in world, today is generating new requirements in this field: (i) machinability simulator building for cutting conditions determining, and (ii) expert system research for machinability. In this paper are given these approaches, with practical examples and researches on Mechanical Engineering Faculty in Belgrade.

Key words: Cutting process, Machinability, Simulation, Expert system.

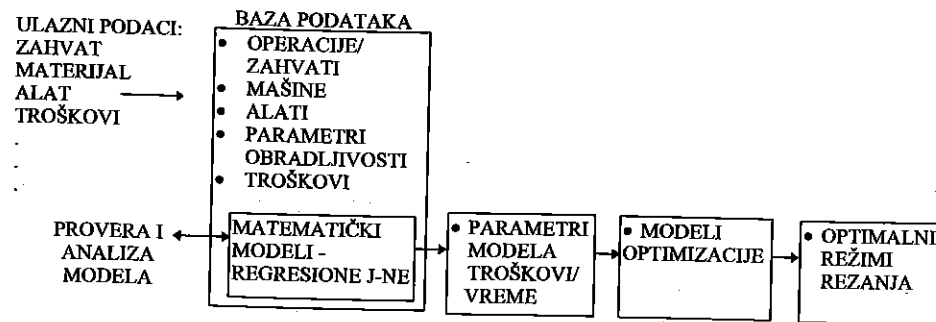
No.	INTEGRISANI SISTEMI		NEZAVISNI SISTEMI												
	SA NC PROGRA- MIRANJEM	SA CAPP/CAD SISTEMIMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Istraživačka organizacija														
2	GE Company-USA	Wickman	GE	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman	Wickman
3	Sandvik Coromant-S	Sandvik													
4	Abex Co.-USA	ABEX													
5	Tech. Un. Aachen-SRN	INROS													
6	PERA-UK	PERA													
7	Tech. Res. Inst.-Japan	TRI													
8	GM Corp.-USA	GM													
9	Warner Co.-USA	COMAD													
10	HB Mannv. Co.-USA	MACHDA													
11	Rath System-USA	AML													
12	Metcut-USA	CUTTECH													
13	Technion-Israel	Technion													
14	Purdue Univ.-USA	APPAS													
15	Pen. State Univ.-USA	ACAPS													
16	Univ. Tech. Cent.-USA	CMRP													
17	Tech. Un. Aachen-SRN	ALTOAP													
18	Kobe Univ.-Japan	CIMS/PRO													
19	Metcut-USA	AUTOPLAN													
20	IBM-USA	IBM													
21	EXAPT Verin-SRN	EXAPT													
22	Macotech Co.-USA	MAMP													
23	Twente Univ.-USA	ROUND,CUBIC													
24	TNO Inst.-Neth.	MITURN													

1* - nezavisni sistemi RR; 2 - inteligentni sistemi; 3 - integrisani sa CAPP/CAD; 4 - deo NC; 5 - deo CAD; 6 - pretraživanje in memorije RR; 7 - generalizovane empirijske f-ke za RR; 8 - matematički model f-ja obradljivosti; 9 - struganje; 10 - obrada otvora; 11 - glodanje; 12 - pregled standardnih/specijalizovanih RR; 13 - optimalni RR

SL.1 - PREGLED RAZVIJENIH SISTEMA ZA ISTRAŽIVANJE OBRADLJIVOSTI



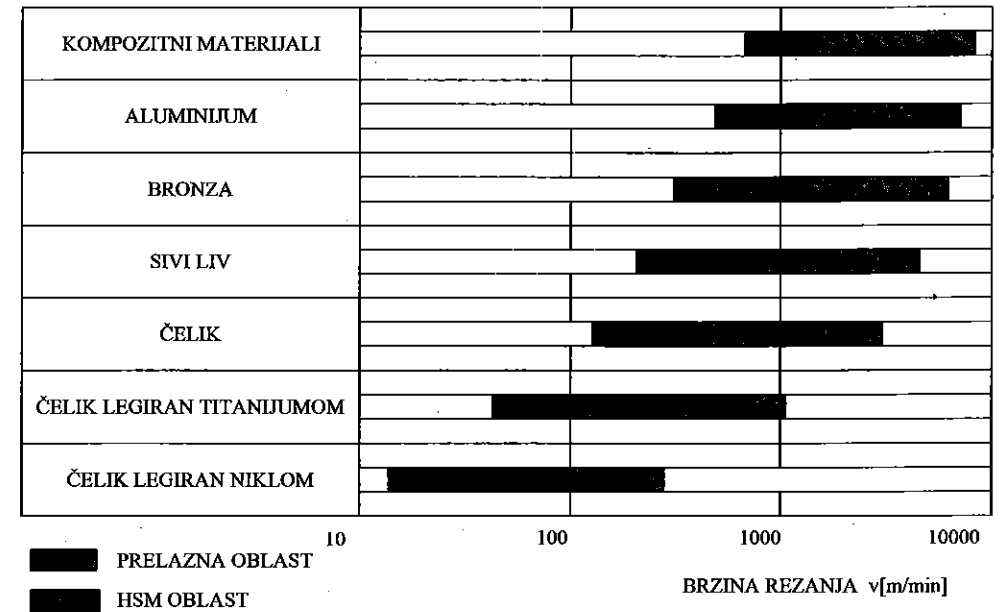
SL. 2. ODREĐIVANJE PREPORUČENIH RR



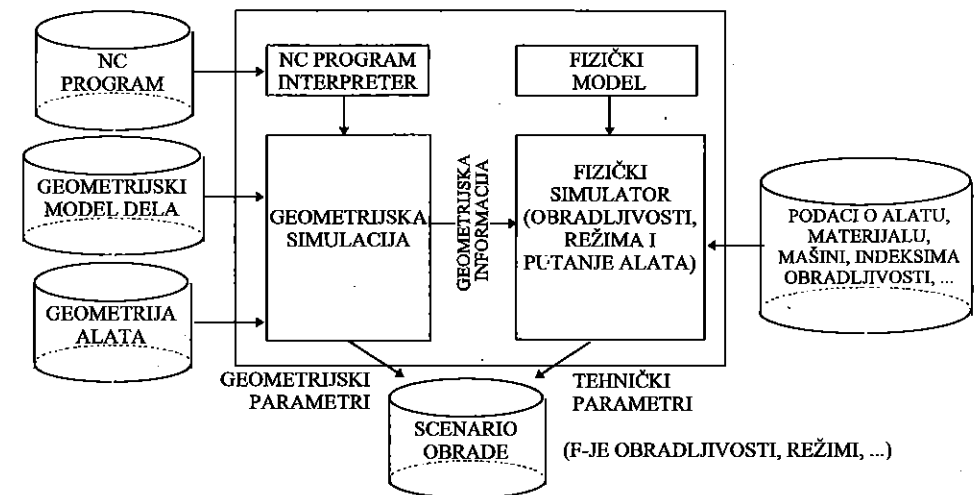
SL. 3. ODREĐIVANJE OPTIMALNIH RR

MATERIJALI PRILAGOĐENI OBRADI	PROCESI REZANJA	MAŠINE ALATKE	OBRADA	PROJEKTOVANJE	PROIZVODI	KONVENCIONALNA OBRADA
<ul style="list-style-type: none"> MATERIJALI POGODNI REŽIMIMA REZANJA MAŠINE I ALATI POGODNI ZA OSTVARIVANJE VISOKOG KVALITETA PROIZVODA 						<ul style="list-style-type: none"> IZBOR STANDARDNIH REŽIMA REZANJA NELINEARNI PROCESI U OBLASTI RADA ALATI SA NEPRILAGODLJIVIM MATERIJALIMA VISOKI TROŠKOVI DORADE VELIKO HABANJE ALATA
<ul style="list-style-type: none"> SMANJENJE VREMENA REZANJA VISOK KVALITET OBRADE VEĆA POSTOJANOST ALATA RAZVOJ NOVIH PROIZVODA KORIŠĆENJEM NOVIH MATERIJALA PROJEKTOVANJE PROIZVODA PREMA BUDUĆIM ZAHTEVIMA TRŽIŠTA 						<ul style="list-style-type: none"> OGRANIČENJA U PROJEKTOVANJU I RAZVOJU GUBLJENJE TRŽIŠNIH POZICIJA

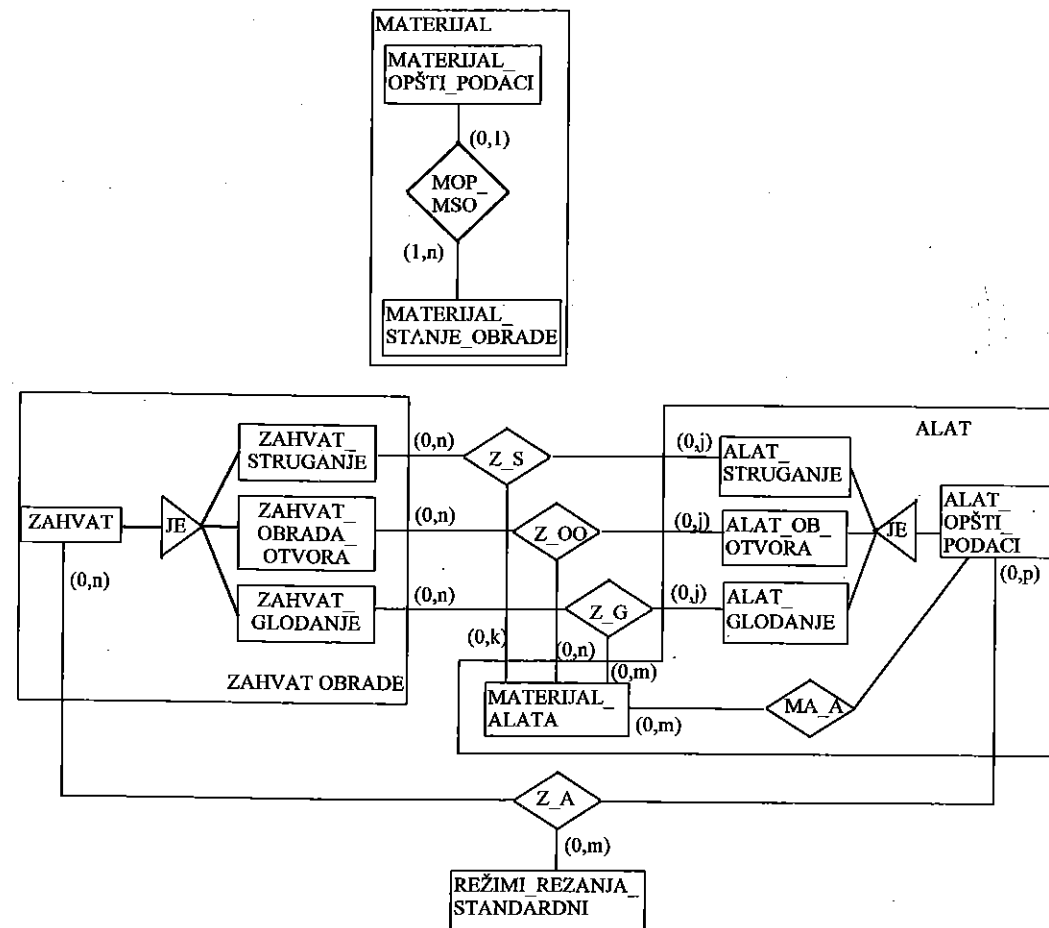
SL. 4. POVEĆANJE KONKURENTNOSTI I PRODUKTIVNOSTI KORIŠĆENJEM NOVIH MATERIJALA PRILAGOĐENIH OBRADI



SL. 5. BRZINE REZANJA ZA HSM



SL. 6. MODEL SIMULATORA ZA OBRADLJIVOST



SL. 7. E-R DIJAGRAM ZA BAZU PODATAKA O SRR

B. Marinković *

UTICAJ REŽIMA OBRADNE NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE PRI RAVNOM BRUŠENJU

U radu je eksperimentalno-analičkom metodom utvrđen uticaj parametara režima obrade pri ravnom brušenju na kvalitet obradene površine.

Kvalitet površine definisan je preko srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od srednje linije R_a i procenta nošenja profila p_n .

Za analizu procesa i ispitivanje navedenih uticaja primenjen je eksperimentalno-analički metod višefaktornih planova sa teorijom disperzije i regresione analize, kao osnov za efikasno proučavanje i upravljanje procesom.

1. UVOD

Kvalitet obradene površine definiše se skupom karakteristika koje određuju upotrebnu vrednost obradaka, a određuje se najčešće preko pokazatelja karakteristika obradene površine (mikrogeometrije i strukture unutrašnjeg graničnog sloja).

Kada se govori o kvalitetu obradene površine misli se skoro uvek na njenu mikrogeometriju koju karakterišu odstupanja stvarne površine od neke geometrijski idealne površine. Obradu brušenjem karakterišu ulazni i izlazni parametri, a njihova zavisnost može se izraziti u obliku višestrukog proizvoda stepenovanih nezavisno promenljivih veličina.

Srednje odstupanje profila može se izraziti jednačinom:

$$R_a = C_1 \cdot V_r^{b_1} \cdot S_s^{b_2} \cdot \delta^{b_3} \quad (1)$$

Na analogan način faktor (procenat) nošenja profila p_n /% može se izraziti jednačinom:

$$p_n = C_2 \cdot V_r^{b_4} \cdot S_s^{b_5} \cdot \delta^{b_6} \quad (2)$$

2. USLOVI IZVOĐENJA ISPITIVANJA

Ispitivanja su obavljena na preciznoj brusilici za ravno brušenje "Blohm" model HFS 6V u D.D. "HIDRAULIKA" Holding kompanija "Prva Petoletka" iz Trstenika.

Uzorci za ispitivanje od Č.1730 (0,62 C; 0,21 Si; 0,60 Mn; 0,02 Cr i 0,03 Ni, MK-Nikšić) prizmatičnog oblika dimenzija 100 x 45 x 20 mm.

Ispitivanje je vršeno točilom sa brusnim sredstvom od plemenitog elektro-korunda 4B 80 M 6V, JUS K.F0.001. Za hlađenje je korišćeno sintetičko sredstvo SINT 30 (10 do 12 lit/min).

Merenje srednjeg odstupanja profila i faktora nošenja profila obradene površine registrovana su zapisima pomoću uređaja Perthometer W5 DT, proizvod firme Perthen-Hannover.

* Branislav spec. Marinković, dipl. ing. viši predavač

Viša tehnička mašinska škola Trstenik, R. Krstića 19 (037) 714-121

Red. br. eksp.	ULAZNI HIPER PROSTOR PROCESA			VIŠEFAKTORNI PLAN						Srednja aritmetička hrapavost		IZLAZNI HIPER PROSTOR		
	Nivoi prirodne prom. (mm)	V_r (mm/s)	S_a (mm)	δ (mm)	N=2 ^{k-1} +n ₀ k=3; n ₀ =2						R _a (μm)		Procenat nosivosti profila p _a (%)	
gornji (-1)	20	4	0,020	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	R _a	Y=lnR _a	c ₁ =1μm	Y=lnC ₁	c ₂ =2μm	Y=lnC ₂	
srednji (0)	10	2	0,010	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	R _a	Y=lnR _a	Y=lnC ₁	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	
donji (-1)	5	1	0,005	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	R _a	Y=lnR _a	Y=lnC ₁	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	
Kodirane prom. izvodenja	X ₁	X ₂	X ₃	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	R _a	Y=lnR _a	Y=lnC ₁	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	Y=lnC ₂	
1	4	20	1	0,020	+1	+1	+1	1,39	0,3293	6,8	1,9169	17,0	2,8332	
2	3	5	1	0,005	+1	-1	-1	0,84	-0,1743	14,6	2,6810	42,8	3,7565	
3	6	20	4	0,005	+1	+1	-1	1,50	0,4055	6,6	1,8871	17,6	2,8679	
4	1	5	4	0,020	+1	+1	+1	1,57	0,4511	5,4	1,6864	13,2	2,5802	
5	2	10	2	0,010	+1	0	0	1,58	0,4574	6,4	1,8563	16,6	2,8094	
6	5	10	2	0,010	+1	0	0	1,56	0,4447	6,0	1,7917	15,6	2,7473	

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Izmerene vrednosti srednje aritmetičke hrapavosti R_a i nosivosti profila p_a , zavisne od režima brušenja: V_r - brzine obratka - brzine stola, S_a - bočnog pomaka po hodu i δ - dubine brušenja i plan matrica polureplike $N = 2^{k-1} + n_0 = 2^{3-1} + 2 = 6$, date su u tablici 1.

Za svaki eksperiment vršeno je brušenje pet uzoraka i na svakom uzorku merene vrednosti srednjeg odstupanja profila i faktora nošenja profila na dubini $1\mu\text{m}$ i $2\mu\text{m}$ ispod najviše tačke efektivnog profila u pet mernih tačaka. Aritmetičke sredine izmerenih vrednosti unešene su u tablicu 1.

U mnogim procesima, naročito u domenu obrade metala rezanjem i deformisanjem, pokazalo se pogodnim da se za funkciju cilja izabere složena stepena funkcija oblika (1):

$$F_0 = C \cdot q_1^{p_1} \cdot q_2^{p_2} \cdot \dots \cdot q_k^{p_k} = C \prod_{i=1}^k q_i^{p_i} \quad (3)$$

gde su: q_i - uticajni faktori (V_r, S_a, δ),
 C, p_i - konstante (koje treba odrediti).

Funkcija (3) logaritmovanjem se svodi na linearni oblik:

$$\ln F_0 = \ln C + p_1 \ln q_1 + p_2 \ln q_2 + \dots + p_k \ln q_k \quad (4)$$

ili

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (5)$$

gde su: $Y = \ln F_0$; $b_0 = \ln C$; $b_i = p_i$; $x_i = \ln q_i$

Proračun koeficijenata u jednačini (5) pojednostavljuje se kodiranjem novih nezavisno promenljivih x_i preko jednačina transformacije:

$$x_i = 1 + 2 \frac{\ln q_i - \ln q_{i\max}}{\ln q_{i\max} - \ln q_{i\min}} \quad (6)$$

Za kodirane vrednosti formira se plan matrica koja je data u tablici 1.

Unošenjem jednačina transformacije (6) u jednačinu (5) kodirane koordinate (faktori) x_i zamenjuju se prirodnim koordinatama q_i , pa se preko izraza (4) matematički model vraća u prvobitni oblik (3). Pri tome se nepoznate konstante (koeficijenti regresije) određuju iz sledećih relacija:

$$p_i = \frac{2b_i}{\ln \frac{q_{i\max}}{q_{i\min}}} = \frac{2b_i}{u_i} \quad (7)$$

$$p_0 = \sum_{i=0}^k b_i - \sum_{i=1}^k p_i \ln q_{i\max} \quad (8)$$

$$C = \exp(p_0) \quad (9)$$

U tablici 2 su izračunate vrednosti koeficijenata b_i , p_0 i p_i kao i jednačine za R_a i p_a .

4. OCENA ADEKVATNOSTI ZAKONA HRAPAVOSTI I FAKTORA NOŠENJA PROFILA

Vrednosti $\hat{Y}_i = \ln R_{ai}$ i $\hat{Y}_i = \ln p_{ai}$, izračunate prema jednačinama datih u tablici 2. Prikazane su u tablici 3, odnosno tablici 4.

Jednačine za srednja odstupanja profila i procenat nošenja profila Tablica 2

F _c	b ₀	b _i			p ₀	P _i		
		1	2	3		1	2	3
R _a	0,3189	0,1145	0,1754	0,1373	0,6753	0,1650	0,2530	0,1981
$R_a = 1,96 V_r^{0,1650} S_a^{0,2530} \delta^{0,1981}$								
P _n	b ₀	b _i			P ₀	P _i		
		4	5	6		4	5	6
c = 1 μm	1,9699	-0,1408	-0,2561	-0,2412	1,0914	-0,2032	-0,3695	-0,3480
	$p_{n1} = 2,968 V_r^{-0,2032} S_a^{-0,3695} \delta^{-0,3480}$							
c = 2 μm	2,9324	-0,1589	-0,2854	-0,3030	1,7327	-0,2292	-0,4117	-0,4371
	$p_{n2} = 5,626 V_r^{-0,2292} S_a^{-0,4117} \delta^{-0,4371}$							

Ocena tačnosti zakona hrapavosti R_a Tablica 3

Redni broj eksperim.	Eksperimentalne vrednosti		Računske vrednosti		Y _i - Ŷ _i	(Y _i - Ŷ _i) ²
	R _{ai}	Y _i = ln R _{ai}	R̂ _{ai}	Ŷ _i = ln R̂ _{ai}		
1	1,39	0,3293	1,480	0,3920	-0,0627	0,003931
2	0,84	-0,1743	0,895	-0,1109	-0,0634	0,004019
3	1,50	0,4055	1,597	0,4681	-0,0626	0,003918
4	1,57	0,4511	1,673	0,5146	-0,0635	0,004032
5	1,58	0,4574	1,370	0,3148	0,1436	0,020334
6	1,56	0,4447	1,370	0,3148	0,1299	0,016874
$\sum_1^6 (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 0,053108$						

Ocena tačnosti faktora nošenja profila p_n Tablica 4

Redni broj eksperim.	Eksperimentalne vrednosti		Računske vrednosti		Y _i - Ŷ _i	(Y _i - Ŷ _i) ²
	R _{ai}	Y _i = ln R _{ai}	R̂ _{ai}	Ŷ _i = ln R̂ _{ai}		
1	17	2,8332	15,654	2,7507	0,0825	0,006806
2	42,8	3,7565	39,425	3,6744	0,0821	0,006740
3	17,6	2,8679	16,550	2,8064	0,0615	0,003782
4	13,2	2,5802	12,155	2,4977	0,0825	0,006806
5	16,6	2,8094	18,675	2,9272	-0,1178	0,013876
6	15,6	2,7473	18,675	2,9272	-0,1799	0,032364
$\sum_1^6 (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = 0,070374$						

Greške eksperimenata (dispersije S_c²) u tačkama nultog nivoa 0 (0,0,0) (1) je:

$$S_c^2 = \sum_{i=1}^{n_0} Y_{0i}^2 - \frac{1}{n_0} \left(\sum_{i=1}^{n_0} Y_{0i} \right)^2 \quad (10)$$

Dispersion neadekvatnosti matematičkog modela (1) je:

$$S_m^2 = \frac{1}{f_r - f_c} \left\{ (Y_i - \hat{Y}_i)^2 - \left[\sum_{i=1}^{n_0} Y_{0i}^2 - \frac{1}{n_0} \left(\sum_{i=1}^{n_0} Y_{0i} \right)^2 \right] \right\} \quad (11)$$

gde je: f_c = n₀ - 1 = 2 - 1 = 1; f_m = f_r - f_c = 2 - 1 = 1; f_r = 2.

$$S_m^2 = 0,053108 - 0,006354 = 0,046754 \text{ (za } R_a)$$

$$S_m^2 = 0,070374 - 0,006383 = 0,063991 \text{ (za } p_n)$$

Provera adekvatnosti izabranih modela za R_a i p_n, vrši se pomoću statistike Fisher-a, tj.

$$F_r = \frac{S_m^2}{S_c^2} \quad (12)$$

$$F_r = \frac{0,046754}{0,006354} = 7,3582 < 161,45 \text{ (za } R_a)$$

$$F_r = \frac{0,063991}{0,006383} = 10,0252 < 161,45 \text{ (za } p_n)$$

Prema Fisher-u F_t = 161,45 za nivo značajnosti p = 0,05, f_e = 1 i f_m = 1 prema tablici X (4).

Može se konstatovati da su oba matematička modela (R_a i p_n), prema Fisher-u, adekvatna.

5. ZAKLJUČCI

- U radu je prikazan eksperimentalno-analitički metod za utvrđivanje matematičkih modela uticaja elemenata režima brušenja na kvalitet obrađene površine pri ravnom brušenju obodom tocila.
- Na osnovu dobijenih matematičkih modela, dat je putokaz pri izboru elemenata režima brušenja za odgovarajući materijal, za obezbeđenje zahtevanog kvaliteta brušene površine definisane srednjim odstupanjem profila i faktorom nošenja profila.
- Brušenje je vršeno sa jednom vrstom tocila i jednim sredstvom za hlađenje i podmazivanje, a bilo bi interesantno ovo razmatrati sa različitim karakteristikama tocila i SHP.
- Usvojeni matematički model za R_a pogodan je za korišćenje pri optimizaciji procesa ravnog brušenja, kada se hrapavost uzima kao kriterijum za optimizaciju.

6. LITERATURA

- [1] Stanić J., Metod inženjerskih merenja, Mašinski fakultet Beograd, 1990.
- [2] Sekulić S., Kovač P., Hrapavost obradene površine pri prethodnoj i završnoj obradi ravnim brušenjem. Zbornik radova "MMA 79", Novi Sad.
- [3] Maslov E., Teorija šlifovanja materialov, Mašinstvo, Moskva 1982.
- [4] Targan V., Ploskoe šlifovanie, Višaja škola, Moskva 1974.

INVESTIGATION INTO THE INFLUENCE OF WORKING CONDITIONS OF FLAT GRINDING ON THE QUALITY OF GROUND SURFACES

The work establishes the influence of parameters of working conditions of flat grinding on the quality of worked-out surface. The result was obtained by using experimentally-analytic methods.

The quality of the surface is defined through the mean arithmetic distance of the profile from the mid-line R_a and the percent of carrying capacity of the profile p_n .

In analyses of process and investigation that influence is applied modern analytic-experimental method of multy variables, as plans, with theory of dispersion and regression analyses, as base for very effective procedure investigation of process.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

B. Marinković *

UTICAJ PRESEKA I STEPENA VITKOSTI STRUGOTINE NA OTPORE REZANJA U OBRADI STRUGANJEM

Proces rezanja u obradi struganjem možemo posmatrati kao sistem koji karakterišu ulazni i izlazni parametri.

Ulazni parametri su: elementi rezanja (presek strugotine, vitkost strugotine, brzina rezanja, geometrija alata), uslovi pri obradi, sredstva za hlađenje i podmazivanje, ...

Izlazni parametri su: otpori rezanja, faktor sabijanja strugotine, termo-apon odnosno srednja temperatura rezanja, habanje alata, ...

U ovom radu je eksperimentalno-analitičkim metodom utvrđen uticaj preseka i stepena vitkosti strugotine na otpore rezanja. Primenjan je višefaktorni plan eksperimenta, kao osnov za efikasno proučavanje procesa obrade struganjem.

1. UVOD

Osnovni zahtevi koji se za svaku obradu, pa i za obradu struganjem, postavljaju, su: poboljšanje kvaliteta i produktivnosti, što sa druge strane dovodi do strožijih zahteva u pogledu tačnosti izrade i rada same mašine.

Za ispunjenje gornjih zahteva neophodno je poznavati mnoge faktore koji na njih utiču, odnosno potrebno je odrediti funkcionalne veze uticajnih faktora na osnovu kojih se može pouzdano odrediti ponašanje sistema u procesu obrade. Jedan od najvažnijih faktora obrade su otpori koji se javljaju pri obradi rezanjem, pa poznavanjem njihove promene u funkciji režima obrade možemo postaviti optimalnu varijantu obrade.

Da bi se odredila funkcionalna veza otpora rezanja u zavisnosti od preseka strugotine

$A = \delta \cdot s$ i njene vitkosti $g = \frac{\delta}{s}$ koristi se DVOFAKTORNI PLAN EKSPERIMENTA (2)

Ova funkcionalna veza može se izraziti jednačinom (1)

$$F = C \cdot A^x \cdot g^y \quad [N] \quad (1)$$

2. USLOVI IZVOĐENJA ISPITIVANJA

Ispitivanja su obavljena na univerzalnom strugu "POTISJE-MORANDO" PA-22, $P_M=10KW$, $n_{min}=20$ o/min do $n_{max}=2000$ o/min (24 stepena prenosa), pomak pri uzdužnoj obradi od 0.04 - 9.04 mm/o (48 stepeni prenosa) u D.D. "HIDRAULIKA" Holding kompanija "Prva Petoletka" iz Trstenika.

Uzorci za ispitivanje od Č.0545 (0,29 C; 0,20 Si; 0,82 Mn; 0,030 S i 0,018 P, sa $R_m=53,2$ kN/cm²) $R_{0,2}=28,3$ kN/cm² i $\delta=26\%$ (podaci iz laboratorije)

Alat kojim je vršeno ispitivanje pri obradi je strugarski nož za grubu uzdužnu obradu JUS K.C1. 051 (ISO 1), drška b x h = 20 x 20, kvaliteta pločice P30. Geometrijski elementi sečiva alata su bili: $\gamma=6^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\chi=70^\circ$, $\chi_1=20^\circ$, $\lambda=4^\circ$ i $r=0,5$ mm.

* Branislav spec. Marinković, dipl. ing. viši predavač
Viša tehnička mašinska škola Trstenik, R. Krstića 19 (037) 714-121

Merenje otpora rezanja vršeno je pomoću električnog trokomponentnog dinamometra na induktivnom principu, tip FSO.

Pri ispitivanju nije korišćeno sredstvo za hlađenje i podmazivanje.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Dvofaktorna funkcija otpora rezanja (1) može se, prema matematičkoj teoriji eksperimenata, napisati u obliku:

$$R = C \cdot f_1^{p_1} \cdot f_2^{p_2} \quad (2)$$

gde su: R - izlaz eksperimentalnog ispitivanja (rezultat merenja ili eksperimentalni rezultat),

f_1, f_2 - ulazi eksperimentalnog ispitivanja (faktori),

C, p_1, p_2 - parametri (parametri obradljivosti).

Za određivanje vrednosti parametra obradljivosti potrebno je ukupno $N=2^k+n_0=2^2+4=8$ eksperimenata.

Obzirom na mogućnost izbora pomaka na univerzalnom strugu u tablici 1 date su vrednosti rezanja δ i pomaka s (3)

Vrednosti dubine rezanja δ i pomaka s

Tablica 1

A_i (mm ³)	$g = \frac{\delta}{s}$	$g_{min.}$	$g_{sr.}$	$g_{max.}$
$A_{min.}$	δ (mm)	1,580	—	2,140
	s (mm/o)	0,321	—	0,214
$A_{sr.}$	δ (mm)	—	2,520	—
	s (mm/o)	—	0,358	—
$A_{max.}$	δ (mm)	2,850	—	3,920
	s (mm/o)	0,571	—	0,392

funkcija (2) logaritmovanjem se svodi na linearni oblik:

$$\ln R = \ln C + p_1 \ln f_1 + p_2 \ln f_2 \quad (3)$$

$$Y = p_0 x_0 + p_1 x_1 + p_2 x_2 \quad (4)$$

gde su: $Y = \ln R$; $p_0 = \ln C$; $x_0 = 1$; $x_1 = \ln f_1$; $x_2 = \ln f_2$

Proračun koeficijenata p_0, p_1 i p_2 u jednačini (4) pojednostavljuje se kodiranjem novih nezavisno promenljivih faktora x_i preko jednačina transformacije:

$$x_i = 1 + 2 \frac{\ln f_i - \ln f_{i_{min}}}{\ln f_{i_{max}} - \ln f_{i_{min}}} \quad (5)$$

Za kodirane vrednosti formira se plan-matrica koja je data u tablici 2.

Unošenjem jednačina transformacije (5) u jednačinu (4) kodirane koordinate (faktori) x_i zamenjuju se prirodnim koordinatama f_i , pa se preko izraza (3) matematički model vraća u prvobitni oblik (2). Pri tome se nepoznate konstante (koeficijenti regresije) određuju iz relacija:

$$p_i = \frac{2 \cdot b_i}{\ln \frac{f_{i_{max}}}{f_{i_{min}}}} = \frac{2 \cdot b_i}{\mu_i} \quad (6)$$

$$p_0 = \sum_{i=0}^k b_i - \sum_{i=1}^k p_i \cdot \ln f_{i_{max}} \quad (7)$$

$$C = \exp(p_0) \quad (8)$$

Izmerene vrednosti otpora rezanja F_i ($i=1,2,3$) date su u tablici 2.

Red. br. eksp.	Prirodne promene		A (mm ²)	g (-)	Dvofaktorni plan						OTPORI REZANJA (eksperimentalne vrednosti)					
	gornji (+1)	srednji (0)			donji (-1)	X_1	X_2	X_0	X_1	X_2	F_1 (N)	F_2 (N)	F_3 (N)	$Y_1 = \ln F_{1i}$	$Y_2 = \ln F_{2i}$	$Y_3 = \ln F_{3i}$
1	2,850	0,571	1,62735	4,99124	+1	+1	+1	+1	-1	2541	7,84031	1147	7,04490	1255	7,13489	
2	1,580	0,321	0,50718	4,92212	+1	+1	-1	-1	-1	814	6,70196	431	6,06611	451	6,11147	
3	2,140	0,214	0,45769	10	+1	-1	-1	+1	+1	736	6,60123	392	5,97126	470	6,15273	
4	2,520	0,358	0,90216	7,03910	+1	0	0	0	0	1425	7,26192	706	6,55961	804	6,68660	
5	3,920	0,392	1,53664	10	+1	+1	+1	+1	+1	2394	7,78072	1079	6,98379	1373	7,22475	
6	2,520	0,358	0,90216	7,03910	+1	0	0	0	0	1439	7,27170	726	6,58755	782	6,66185	
7	2,520	0,358	0,90216	7,03910	+1	0	0	0	0	1411	7,25205	686	6,53088	826	6,71659	
8	2,520	0,358	0,90216	7,03910	+1	0	0	0	0	1401	7,24494	696	6,54535	792	6,67456	

U tablici 3 su date izračunate vrednosti koeficijenata b_i i p_i ($i=0, 1, 2$) kao i izrazi otpora F_i ($i=0, 1, 2$).

Izrazi za otpore rezanja $F_i=f(A, g)$ Tablica 2

F_i	b_0	b_i		p_0	p_i	
		1	2		1	2
F_1	7,24516	0,57946	-0,04008	7,60004	0,91360	-0,11308
	$F_1=1998,274 \cdot A^{0,91360} \cdot g^{-0,11308}$					
F_2	6,53618	0,49783	-0,03899	6,84847	0,78490	-0,11001
	$F_2=942,440 \cdot A^{0,78490} \cdot g^{-0,11001}$					
F_3	0,67328	0,52386	0,03278	6,61478	0,82594	0,09249
	$F_3=746,040 \cdot A^{0,82594} \cdot g^{0,09249}$					

4. PROVERA ADEKVATNOSTI MATEMATIČKOG MODELA

Provera adekvatnosti linernog matematičkog modela (2) vrši se preko statistike Fisher-a (1), tablica 4.

$$F_r = \frac{S_{LF}^2}{S_E^2} < F_i \quad (9)$$

gde su: S_{LF} - disperzija razlika eksperimentalnih Y_i i računskih veličina \hat{Y}_i (prema izrazima u tablici 3)
 S_E - disperzija eksperimenta.

$$S_{LF}^2 = \frac{1}{f_R - f_E} \left\{ \sum_1^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 - \left[\sum_1^{n_0} Y_{0i}^2 - \frac{1}{n_0} \left(\sum_1^{n_0} Y_{0i} \right)^2 \right] \right\} \quad (10)$$

$$S_E^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \left[\sum_1^{n_0} Y_{0i}^2 - \frac{1}{n_0} \left(\sum_1^{n_0} Y_{0i} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Y_{0i} - vrednosti eksperimenta nultog nivoa

$$f_R = N - k - 1 = 8 - 2 - 1 = 5; \quad f_i = f_R - f_E = 5 - 3 = 2$$

$$f_E = n_0 - 1 = 4 - 1 = 3; \quad f_2 = f_E = 3$$

za $f_1=2, f_2=3$ i nivo značajnosti $p=0,05$ imamo $F_i(2,3)=9,55$ iz tablice VII (4)

Provera adekvatnosti matematičkog modela

Tablica 4

Red. broj	S_{LF}^2	S_E^2	F_r	$F_i=9,55$	Matematički model F_i
F_1	0,00562	0,000590	9,525	9,525 < 9,550	adekvatan
F_2	0,00418	0,000583	7,169	7,169 < 9,550	adekvatan
F_3	0,00346	0,000410	8,439	8,439 < 9,550	adekvatan

5. ZAKLJUČCI

- Na osnovu predpostavljenog matematičkog modela i plana eksperimenta, posle obrade podataka dobijeni su izrazi (tablice 3) koji na adekvatan način pokazuju zavisnost komponenti otpora rezanja u funkciji od preseka strugotine A i vitkosti g.
- Upotrebom sredstva za hlađenje i podmazivanje smanjuju se otpori rezanja, umanjuje faktor sabijanja strugotine sa čime se smanjuje koeficijent trenja na grudnoj površini noža (manje habanje alata), umanjuju normalne i tangencijalne sile koje deluju na alat (usled manjih deformacija alata bolji kvalitet obrađene površine).
- Sredstva za hlađenje i podmazivanje imaju daloko veći uticaj na postojanost samog alata nego na veličinu otpora rezanja. Iz tih razloga, u ovom radu nisu izvedeni eksperimenti sa upotrebom emulzija i ulja za rezanje, nego je obrada vršena na suvo.

6. LITERATURA

- [1] Stanić J., Kalajdžić M., Kovačević R. Merna tehnika u tehnologiji obrade metala rezanjem "Građevinska knjiga", Beograd, 1983.
- [2] Stanić J., Metod inženjerskih merenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [3] Stanić J., Nikolić D., Jovanović T., Radović V. Mašinska obrada, priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem, Privredni pregled, Beograd, 1980.
- [4] Vukadinović S., Elementi teorije verovatnoće i uvod u matematičku statistiku, Privredni pregled, Beograd, 1973.

THE INFLUENCE OF THE SECTION AND DEGREE OF SLENDERNESS OF SAWDUST ON THE RESISTANCE OF THE LATHING OPERATION

The cutting process in the lathing operation we can observe as the system characterised by the in and outcoming parameters.

The incoming parameters are: cutting elements (sawdust section, slenderness of sawdust, speed of cutting, geometry of tools, operational conditions, means of cooling and lubricating)...

The outcoming parameters are: the resistance of cutting, sawdust factor compression, thermo-tension, that is medium temperature of cutting, wearing of tools, ...

This paper deals with experimental and analytic method determination of the influence of the section and degree of slenderness of sawdust on the resistance of cutting. We applied multifactorial plan of the experiment as the bases for effective studyina of sawdust operation.



ON VISCOUS FLUID FLOW SIMILARITY IN METAL CUTTING
(AN OVERVIEW)

Valery Marinov[†]

At extremely high cutting temperatures and stresses in cutting, the work material behaves more like viscous fluid than a normal solid. Some experimental results show that it could be modeled as a Bingham solid. These presumptions allow to apply the principles of fluid mechanics to metal cutting. The application of boundary-layer theory, for instance, gives a possibility to evaluate analytically some basic parameters of primary and secondary shear zones as well as cutting stresses and forces in case of a built-up edge formation. The finite element modeling in virtual work-stream line formulation typical for fluid mechanics enables analysis of stream line pattern, stress and strain fields, etc. A thermal finite element model must be an essential part of the cutting model since the most material characteristics depend strongly on temperature. The built-up edge formation could be modeled successfully by means of such coupled finite element model.

The present paper is an overview of the author's work during the last several years along these lines.

1. PHYSICAL BACKGROUND OF FLUID FLOW ANALOGY IN METAL CUTTING

In metal cutting the shear strain is confined to two thin regions: the first one being observed in the primary shear zone (sometimes it is referred to as a shear plane) and the second one lies adjacently to the chip-tool interface (so called secondary shear zone). Extreme conditions of strains, strain rates and temperatures are encountered in these regions. In the workpiece the deformation starts within the elastic region at a high strain rate. The particle from the workpiece, initially at room temperature, is subjected to the heat of deformation as it goes on through the primary shear zone. As a result the temperature increases of the order of 200°-300°C almost adiabatically because of the high strain rate. In these conditions work material shears consecutively passing through what Oxley [1] have called slipline field. Typical strains here would be in range 1-2 with the strain rates of about 10^4 s^{-1} .

In the secondary shear zone experimental evidences show that contacts between the tool and work material at the first part of the chip-tool interface is so nearly complete that sliding is impossible under most cutting conditions. Many photomicrographs have been published demonstrating complete seizure between tool surface and work material [2, 3]. The structureless layer of very high strain that is seen to increase non linearly in thickness with position along the tool face is definitely evident. There is a strong similarity between such tracing and the flow pattern that occurs in fluid boundary layers. Trent [2] has given a possible explanation of the processes in what he has called *flow zone*. He has assumed that in this condition-temperatures up to 800°

[†] Dr. Valery Marinov, Department of Manufacturing Engineering, Technical University-Plovdiv, 61 Sankt Petersburg Blvd., 4000 Plovdiv, Bulgaria

~1200°C and strain rates of about 10^4 to 10^6 s⁻¹, boundary sliding plays an important role and plastic deformations take place without strain hardening. This flow zone may be considered to offer little resistance to flow at low strain rates but to be very strain rate dependent. Since the secondary shear zone is very thin in comparison with the chip and since shear occurs by a viscous-like drag on the rigid tool boundary, a further analogy with fluid mechanics could be made considering this flow zone a boundary layer of a non-Newtonian viscous fluid.

On the other side, there are evidences that flow in a rheological sense is acceptable from a physical viewpoint. In their broadly cited paper Campbell and Ferguson [3] have shown that at elevated temperatures and extremely high strain rates the flow strength begins to increase substantially as a function of strain rate, material obeys viscoplastic constitutive law and the elastic deformations can be neglected. Other researchers have presented similar results [4]. This material behavior is typical for a non-Newtonian viscous incompressible fluid with a constitutive law relating the stresses and strain rates in an fluid flow equation expressed in an Eulerian form as

$$\mathbf{T} = \mu_A \mathbf{A} \mathbf{D} \quad (1)$$

where \mathbf{T} is the deviatoric part of stress tensor, \mathbf{D} is the rate-of-strain tensor, \mathbf{A} is a matrix of constants, and μ_A is the apparent viscosity defined as

$$\mu_A = \mu + k / 2\sqrt{\Pi_D} \quad (2)$$

where μ is called a macroscopic viscosity coefficient, k is the low speed yield stress and Π_D is the second invariant of \mathbf{D} . In terms of rheology, equation(1) represents a viscoplastic material or Bingham solid that obeys von Mises yield criterion and in a state of flow can be regarded as a fluid with variable viscosity function of the strain rate tensor and involving two material constants, μ and k .

In this paper the behavior of the work material is regarded as this of an extremely viscous fluid that obeys equation (1). This approach allows us to implement the principles of fluid mechanics and boundary layer theory in describing the deformation behavior of metal.

2. FLUID FLOW ANALOGY IN METAL CUTTING

Very few works deal with the fluid flow analogy in metal cutting. In an early attempt Lamm [6] has tried to apply the hydrodynamic theory to metal cutting. In spite of some naive assumptions and explanations of the physical foundations of the cutting process, to the best of the author's knowledge this work has first introduced the fluid flow analogy in metal cutting (the author has claimed his priority since 1936). Lamm has suggested that the chip-tool boundary layer should obey the Newtonian fluid flow law:

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (3)$$

where $\dot{\gamma}$ is the shear strain rate in the layer. He has performed cutting experiments with some rather curious cutting tools with cross-section shaped like an airplane wing profile. Some experiments along these lines have been carried out recently [7], the cutting edge being shaped with an artificial built-up edge. The idea was that the built-up edge is a phenomenon of process self-adjustment so that the cutting passes in the best natural way. The experimental results were encouraging and deserve further attention, but as Nakayama [8] has suggested one must keep in mind that the industry asks for simplicity and versatility very strictly and the sophisticated tools should only be used in limited cases.

E. Schaller, and later DeSalvo and Shaw [9] have assumed that the metal flow in the secondary shear zone might be approximated as flow of a Newtonian fluid so the chip-tool interaction reduces to the typical hydrodynamic slider bearing problem. Some of their assumptions seem to be inaccurate, since there are no evidences of melted metal in the chip-tool interface (as they

have proposed) in common cutting conditions.

On the basis of the constitutive law (1) Jackson and Wright [10] have applied the Oldroyd's equations [11] of a two-dimensional viscoplastic flow over a semi-infinite flat knife to the chip-tool interface. The results obtained allow to predict pressure gradient along the contact length. An attempt in unifying the flow lines in the seizure and sliding regions in the secondary shear zone has been presented by El-Zahry [12]. Unfortunately the initial analysis has not been pursued by its author to develop more reliable theoretical explanation of the boundary layer-chip interaction.

3. BOUNDARY-LAYER CHARACTERISTICS

A direct application of the Oldroyd's equations to the chip tool interface allows us to obtain immediately some important parameters of the chip-tool flow zone. The equation for the thickness of a plastic boundary layer near a semi-infinite thin knife is given by

$$\delta(x) = 3x^{2/3} [\mu V / 2(1+3\lambda)k]^{1/3} \quad (4)$$

where $\delta(x)$ is the thickness of the boundary layer along the direction of flow x , V is the velocity of the rigid region far away from the boundary-layer and λ is the non-dimensional coefficient. Substituting in this equation $x=l_c$ and $V=V_c$ (where l_c is the chip-tool seizure contact length and V_c is the chip velocity), the average thickness of the chip-tool boundary layer $\bar{\delta}_l$ is given by

$$\bar{\delta}_l = \frac{1}{l_c} \int_0^{l_c} \delta(x) dx = \frac{9}{5} l_c^{2/3} [\mu V_c / 2(1+3\lambda)k]^{1/3} \quad (5)$$

The average value of the maximum shear strain rate on the upper boundary of the boundary layer is defined as

$$\dot{\gamma}_{max} = V_c / \bar{\delta}_l \quad (6)$$

and from equation (5) it follows

$$\dot{\gamma}_{max} = \frac{5}{9} (V_c / l_c)^{2/3} [2(1+3\lambda)k]^{1/3} / \mu^{1/3} \quad (7)$$

To make use of this equation one needs data about cutting conditions, cutting temperature (as most of the terms in equation (7) are strongly temperature dependent), and material properties. The value of non-dimensional coefficient λ can be defined using experimental results for normal stress distribution on the tool rake face as shown in [13]. An approximate value of $\lambda=25$ seems to be the most appropriate one for a wide range of cutting conditions when cutting carbon steels.

4. BUILT-UP EDGE PHENOMENON

It is well known that when cutting many materials in low cutting speeds so-called built-up edge (BUE) appears. Many theoretical and experimental methods are developed to estimate the cutting forces, as a rule avoiding BUE region. Reasons for this are (1) the large difficulties in describing or modeling the BUE formation and behavior, and (2) the unclear mechanism of BUE formation in spite of numerous investigations hitherto [14]. The reason for changing the cutting forces in case of BUE cannot be seek in the change of the real rake angle when the BUE appears. The experimental results show, indeed, that the rake angle of the BUE is always larger than that of the cutting tools, but a lot of photomicrographs show that the chip separates from the BUE at a point on the curvilinear part of the BUE and does not slide over its face slope. A possible reason then for reducing the cutting forces might be found in the change of the work-BUE contact length but not the rake angle. This phenomenon has been well substantiated in the work of K. Hoshi and T. Hoshi [15] but authors have proposed only a quantitative

analysis of the cutting forces. In a previous paper [16] authors have used a boundary-layer analogy to describe the contact between the work and BUE and to evaluate the cutting forces.

5. FINITE ELEMENT MODELING (FEM) OF METAL FLOW IN CUTTING

Formulation

The viscous flow-solid mechanics analogy has been introduced by Zienkiewicz and Godbole [17] to model some fluid flow problems with methods capable of dealing with incompressible elastic materials and vice versa. Various procedures are available for numerical solutions but the most usual one is by the use of stream functions ψ following directly from the virtual work principle. In a series of papers [18-20] FEM in Eulerian framework and virtual work-stream function formulation typical for fluid dynamics to predict metal flow, temperature, plastic deformation and built-up edge formation have been introduced for the first time in metal cutting.

Flow pattern

A FEM [18] of orthogonal metal cutting has been used to predict the material flow characteristics such as material velocity and stream lines as well as the formation of stagnant metal zone ahead the cutting edge. An adiabatic heating model is included to simulate the heat generation due to plastic work and friction within each element. The mechanical and thermal properties of the work material are allowed to vary with the temperature. The FEM has been used to simulate the cutting process of 0.12% carbon steel for depth of cut 0.2 mm, width of cut 1 mm and cutting velocity 0.5 m/s. The experimental results represented by Stevenson and Oxley [1] were used to determine the chip geometry, since the Eulerian approach requires the chip boundary to be known in advance. The results indicate a presence of a built-up layer ahead of the tool rake face. The shape of the stagnation zone is approximately triangular with a length of ~ 0.7 mm and maximum height of ~ 0.1 mm in a point about 0.05 mm along the rake face.

Deformation characteristics of the flow field

Once obtained the stream line field, the major deformation characteristics of the flow field could be estimated from the appropriate equations of strains, strain rates and stresses in terms of stream

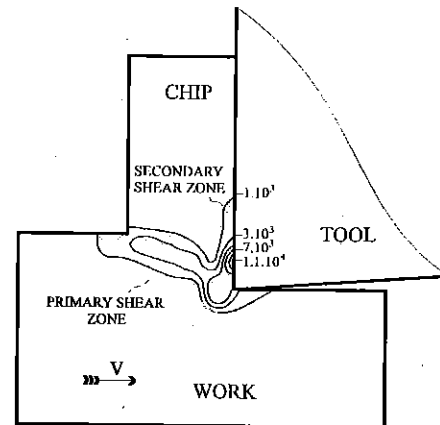


Fig. 1. Rate-of-strain isolines

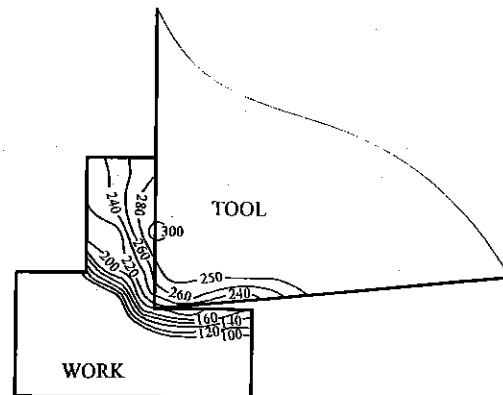


Fig. 2. Isotherms in work and tool

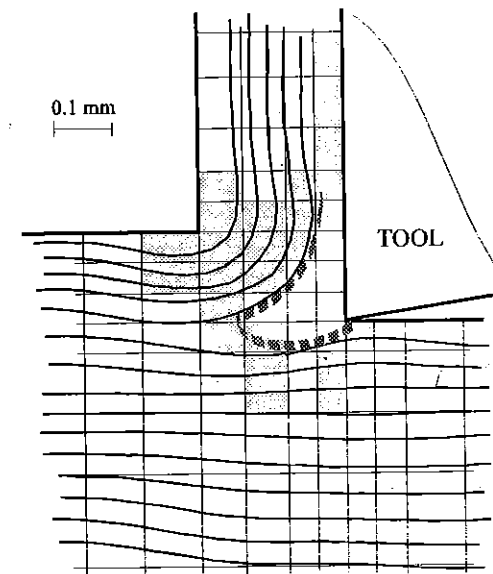


Fig. 3. The flow pattern, predicted built-up edge (-----) and yielded elements (hatched). Cutting velocity 0.2 m/s, undeformed chip thickness 0.15 mm.

Temperature field

The heat FEM requires data about strain rates and stresses to estimate the rate of heat generation in the partial differential equation governing the heat transfer during metal cutting. A prior FEM of metal flow can completely ensure the necessary information. Since the material characteristics vary with the temperature both FEMs must work sequentially and iteratively. Figure 2 shows the predicted isotherms in the workpiece and cutting tool for the conditions of the previous section. Highest values up to 350°C are encountered along the rake face at about 0.15 mm from the edge.

Built-up edge prediction

The Bingham solid starts to flow when the applied stresses exceed some values. Different formulations are possible for the flow criterion but our experience has shown that the best results are obtained if the second invariant of the stress tensor Π_T is used. The viscoplastic FEM can be utilized to predict the shape and sizes of the built-up edge applying the flow criterion to distinguish yielded from unyielded regions in the work material thus tracing the stagnant zone ahead of the cutting tool edge.

Thermo-viscoplastic FEMs have been developed [20] to simulate metal flow and built-up edge formation when machining aluminum alloy 6061-T6A1 with HSS tool. An orthogonal cutting is analyzed in 0.2, 1 and 2 m/s cutting speed and 0.15, 0.48 and 0.63 mm undeformed chip thickness. Figure 3 presents an example result of modeling. It shows the stream line pattern and predicted shape and size of the built-up edge as well as the elements where the metal is yielded. Yet the trace of the stagnant zone seems to be outlined approximately and no precision is to be sought, the method may be useful in built-up analysis since very few techniques are capable of dealing with this very complex phenomenon.

functions.

Figure 1 shows the predicted effective strain rate contours when simulate the cutting of 0.12% carbon steel for depth of cut 0.2 mm, width of cut 1 mm and cutting velocity 1 m/s by a coupled FEM [19]. Carbide P30 cutting tool with rake and clearance angles 0 and 6 degrees respectively has been used. The finite element grid consists of 190 four nodes, 16 d.o.f. rectangular elements for metal flow FEM. The mesh for heat FEM consists of 253 four nodes, 4 d.o.f. isoparametric elements and 304 nodes. It is evident the high concentrations of the strain rates in the primary and secondary shear zone up to $0.5 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ and $1.5 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ respectively. The concentration is extremely high close to the cutting edge and along the rake face where the work material flows around the stagnant metal zone. The pattern gives possibility to predict the form of the shear zones as it is shown.

Conclusions

The work material in cutting can be considered as a non-Newtonian viscous fluid that obeys the viscoplastic constitutive law. The principles of fluid mechanics could be implemented in metal cutting analysis to study in detail the most important parameters of the process. The numerical techniques dealing with viscous fluid flow can be utilized for solving the major problems in metal cutting. The Eulerian finite element modeling is considered as the most appropriate one in metal cutting where large plastic strains occur. The model could be improved by providing an iterative procedure to the free chip surface, aiming determination of the real chip shape.

REFERENCES

1. Oxley, P.L.B. *The mechanics of machining*. Ellis Horwood, Chichester, 1989
2. Trent, E.M. *Metal Cutting*. Butterworths, London, 1984
3. Trent, E.M. Metal cutting and the tribology of seizure. *Wear*, 128, 1988, 47
4. Campbell, J.D., Ferguson W.G. The temperature and strain-rate dependence of the shear strength of mild steel. *Phil. Mag.*, 21, 1970, 63
5. Lindholm, U.S. Review of dynamic testing techniques and mater behavior. *Institute of Metals Conf.*, Ser.21, 3
6. Lamm, M.M. *Hydrodynamic theory of metal cutting*. HGU, Harkov, 1956 (in Russian)
7. Marinov, V. New shape of the cutting edge (unpublished)
8. Nakayama, K. *Private correspondence*, 1994
9. DeSalvo, G.J., Shaw M.C. Hydrodynamic action at a chip-tool interface. *Proc. 9th Int. MTDR Conf.*, Birmingham, 1968, 961-971
10. Jackson, P.S., Wright P.K. Application of plastic boundary layer theory to metal machining. *Trans. ASME J. Engng. Ind.*, 104, 1982, 358-362
11. Oldroyd, J.G. Two-dimensional plastic flow of a Bingham solid: a plastic boundary-layer theory for slow motion. *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, 43, 1947, 383-395
12. El-Zahry, R.M. On the hydrodynamic characteristics of the secondary shear zone in metal machining with sticking-sliding friction using the boundary layer theory. *Wear*, 115, 1987, 349-359
13. Marinov, V., Kim J.-D. Material Characterization in the Chip-Tool Deformation Zone: An Application of Boundary-layer Theory (accepted for publication in the *International Journal of Mechanical Science*)
14. Pekelharing, A.J. Built-up edge (BUE): Is the mechanism understood? *CIRP Ann.*, 23, 1974, 207-212
15. Hoshi, K., Hoshi T. On the metal cutting mechanism with the built-up edge. *Proc. 9th Int. MTDR Conf.*, Birmingham, 1968, 1099-1111
16. Marinov, V., Kim J.-D. Cutting Forces in Case of Built-up Edge Formation: A Boundary-Layer Analogy. (submitted to publication)
17. *Finite Elements in Fluids-Vol. 1*, Eds. R.H. Gallager *et al*, John Wiley, 1981, 43
18. Marinov, V., Kim J.D., Kim D.S. Viscoplastic FEM of metal flow in cutting. *Proc. of ICPCG-94, Shanghai, Sept. 26-28, 1994*
19. Marinov, V. Viscoplastic analysis of metal flow in orthogonal metal cutting by coupled finite element model. *Proc. of AMTECH-94, Rousse, Apr. 19-21, 1995*, 53-62
Marinov, V. Finite element modeling of built-up edge formation in orthogonal machining of aluminum. *Proc. of the Technical University-Sofia, Book 1, 48, 1995*, 176-181



RAČUNARSKI SISTEM ZA ODREĐIVANJE KONSTANTI U KIENZLE-ovoj JEDNAČINI ZA OTPORE REZANJA PRI GLODANJU¹

Milikić dr Dragoje, Sekulić Milenko, Uzelac Srđan, Gostimirović mr Marin²

Rezime

Specifičnost obrade glodanjem ogleda se u promenljivosti poprečnog preseka režućeg sloja, što za posledicu ima promenljive vrednosti otpora rezanja. Zbog toga je njihovo određivanje otežano i zato je do danas ponuđen veliki broj manje ili više složenih jednačina. Jedna od najprostijih, ali i najtačnijih je Kienzle-ova jednačina koja inače važi i za druge postupke obrade rezanjem. Za kvalitetnu primenu ove jednačine moraju se poznavati dve konstante materijala obratka. Nedostatak tih podataka za domaće i nove materijale navela je autore ovog rada da razviju metodologiju za njihovo efikasno i tačno određivanje primenom računarskog sistema za automatizovano merenje i obradu rezultata, što je predmet ovog rada.

1. UVOD

Značaj poznavanja otpora rezanja je veliki, pa zbog toga ovo pitanje stalno privlači pažnju velikog broja istraživača iz ove oblasti. Specifičnosti procesa obrade glodanjem, kao što su veći broj zuba koji istovremeno režu i promenljivost površine poprečnog preseka sloja koji reže jedan zub, uslovlili su i razvoj velikog broja izraza za proračun komponenti otpora rezanja. Zbog svoje jednostavnosti za primenu i tačnosti rezultata, najveću primenu u praksi je našla Kienzle-ova jednačina koju je autor razvio 1952. god. [1]. Ova jednačina ima opšti oblik :

$$F_i = b \cdot h^{1-m_i} \cdot k_{i,1} \quad (1)$$

gde je :

i - indeks koji označava jednu od komponenti rezultujućeg otpora rezanja; npr. mogu se koristiti sledeći indeksi: g - glavni otpor rezanja, r - otpor prodiranja, p - otpor pomoćnog kretanja i a - aksijalni otpor,

b, h - elementi poprečnog preseka režućeg sloja zuba (b - šira strana preseka; h - uža strana preseka),

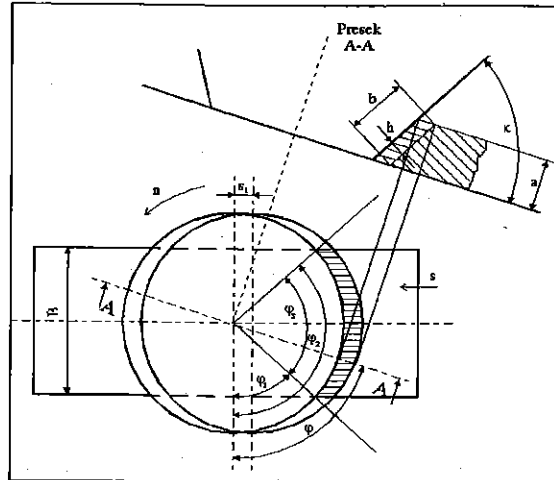
$m_i, k_{i,1}$ - konstante materijala obratka, odnosno: m_i - koeficijent pravca prave $F_i/b = f(h)$ u log-log koordinatama, a $k_{i,1}$ - glavna vrednost specifičnog otpora rezanja pri zamišljenom poprečnom preseku režućeg sloja $b \times h = 1 \times 1 \text{ mm}^2$. O ovim konstantama se detaljnije govori u odeljku 3. ovog rada.

¹Ovaj rad je deo naučnoistraživačkog podprojekta "Razvoj tehnoloških podloga za savremenu primenu postupaka obrade rezanjem" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

²Milikić dr Dragoje, red.prof., Sekulić Milenko, asist.-pripr., Uzelac Srđan, asist.-pripr., Gostimirović mr Marin, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Tel: (021) 55-944, Fax: (021) 54-495, E-mail: Srdjariu@uns.ns.ac.yu.

2. ELEMENTI POPREČNOG PRESEKA REŽUĆEG SLOJA

Uprošćena šema čeonog i valjčasto-čeonog glodanja sa elementima poprečnog preseka režućeg sloja zuba prikazana je na slici 1.



Slika 1. Kinematika rezanja i dimenzije preseka režućeg sloja pri čeonom i valjčasto-čeonom glodanju.

Sa slike 1. se vidi da je debljina režućeg sloja promenljiva i da je određena položajem zuba u zahvatu.

Trenutna debljina režućeg sloja može se izraziti pomoću j-ne:

$$h = s_1 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \kappa \quad (2)$$

gde su:

φ - ugao kojim je određen trenutni položaj zuba u zahvatu;

κ - napadni ugao zuba glodala.

Maksimalne debljina režućeg sloja je $h_M = s_1 \sin \kappa$, a srednja:

$$h_m = s_1 \cdot \sin \varphi_m \cdot \sin \kappa \quad (3)$$

$$\text{odnosno: } h_m = s_1 \cdot \frac{57,29}{\varphi_s^0} \cdot \sin \kappa \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \quad (4)$$

U prethodnim jednačinama su:

φ_s - maksimalni ugao kontakta između zuba glodala i obratka,

φ_1 - ulazni ugao zuba glodala u zahvat sa obratkom,

φ_2 - izlazni ugao zuba glodala iz zahvata sa obratkom.

Širina režućeg sloja se određuje kao:

$$b = \frac{a}{\sin \kappa} \quad (5)$$

gde je:

a - dubina rezanja u jednom prolazu.

3. METODOLOGIJA GRAFIČKOG ODREĐIVANJA

KONSTANTI MATERIJALA $k_{i,1}$ I m_i

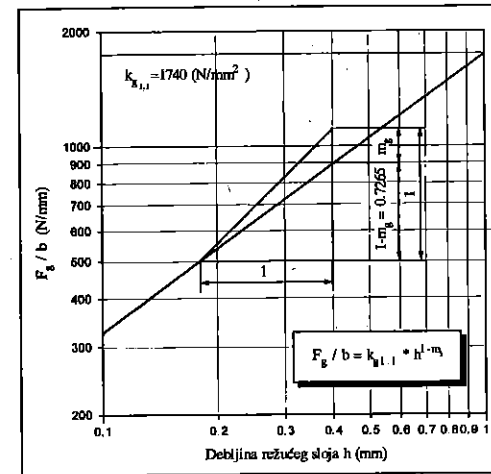
Ovu metodologiju prvi je razvio W. König [4] koristeći pri tome razmatranje koje sledi. Jednačina (1) se može svesti na jednu nezavisno promenljivu deljenjem sa širinom režućeg sloja b , odnosno:

$$\frac{F_i}{b} = k_{i,1,1} \cdot h^{1-m_i} \quad (6)$$

Logaritmujući levu i desnu stranu jednačine (6) dobija se jednačina prave u log-log koordinatama, odnosno:

$$\log\left(\frac{F_i}{b}\right) = \log(k_{i,1,1}) + (1-m_i) \cdot \log h \quad (7)$$

Grafička interpretacija j-ne (7) data je na slici 2.



Vrednost konstante $k_{i,1}$ dobija se iz presečne tačke prave definisane j-nom (7) i prave $h = 1$ (paralelne ordinati). Vrednost konstante m_i , odnosno $1-m_i$, određuje se takođe grafički pomoću jednostranog trougla sa stranicama čija veličina uslovno ima vrednost jedinice.

U slučaju kada vrednosti dobijenih konstanti treba primeniti za proračun komponenti otpora rezanja u uslovima koji se razlikuju od eksperimentalnih, pri kojima su konstante dobijene, uvođe se popravni koeficijenti, ali to nije predmet ovog rada.

Slika 2. Grafička interpretacija j-ne (7) sa metodologijom određivanja konstanti $k_{i,1}$ i m_i [4]

4. RAČUNARSKI SISTEM ZA ODREĐIVANJE KONSTANTI $k_{i,1}$ I m_i

Vrednosti konstanti $k_{i,1}$ i $1-m_i$ u jednačini (6) mogu se odrediti i analitički pomoću računara i odgovarajućeg softvera pošto ova jednačina ima oblik $y = p_1 \cdot x^{p_2}$. Ta mogućnost, koju danas pruža primena računara pri merenju eksperimentalnih rezultata i njihovoj obradi, iskorišćena je za razvoj jednog računarskog sistema za veoma efikasno određivanje traženih konstanti, o čemu će detaljnije biti reči u nastavku ovog rada.

4.1 Određivanje komponenti otpora rezanja jednog zuba pri valjčasto-čeonom glodanju

Eksperimentalnim ispitivanjima pri glodanju, dinamometrom se mogu meriti samo sile u tri ortogonalna pravca x, y, z (slika 3.). U zavisnosti od promene ugla φ menjaju se vrednosti i položaj otpora rezanja jednog zuba i oni se kao takvi ne mogu meriti pomoću dinamometra.

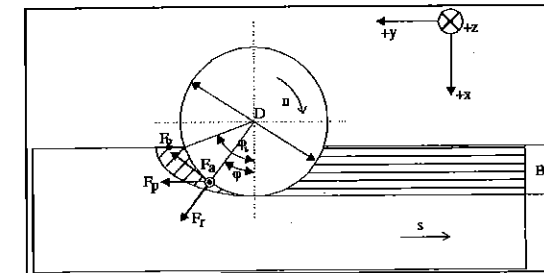
Da bi odredili funkcionalnu zavisnost $F_i \cong f(F_x, F_y, F_z)$, $i=(g, r, p, a)$, posmatraćemo primer suprotnosmernog glodanja valjčasto-čeonim glodalom sa zavojnim zubima i to

slučaj kada se samo jedan zub nalazi u zahvatu sa obratkom. Tada imamo da je:

$$F_x = -F_g \cdot \sin \varphi + F_r \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

$$F_y = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi \quad (9)$$

$$F_z = -F_a \quad (10)$$



Slika 3. Sile rezanja pri valjčasto-čeonom glodanju

Rešavajući sistem jednačina (8), (9) i (10) dobijamo:

$$F_g = -F_x \cdot \sin \varphi + F_y \cdot \cos \varphi \quad (11)$$

$$F_r = F_x \cdot \cos \varphi + F_y \cdot \sin \varphi \quad (12)$$

$$F_a = -F_z \quad (13)$$

Otpor pomoćnog kretanja je:

$$F_p = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi = F_y \quad (14)$$

Širina glodanja, pod uslovom da se samo jedan zub nalazi u zahvatu sa obratkom, određuje se iz nejednakosti:

$$l < t_o, \text{ gde je: } l - \text{dužina zahvatnog luka, } t_o - \text{čeonik korak glodala.} \\ \frac{D}{2} \cdot \varphi_s < \frac{D \cdot \pi}{z}, \text{ odnosno } \varphi_s < \frac{2 \cdot \pi}{z} \quad (15)$$

$$\text{Sa slike 3. se vidi da je: } \cos \varphi = 1 - \frac{2 \cdot B}{D} \quad (16)$$

Koristeći razvoj funkcije $\cos \varphi$ u Maklorenov red dobijamo:

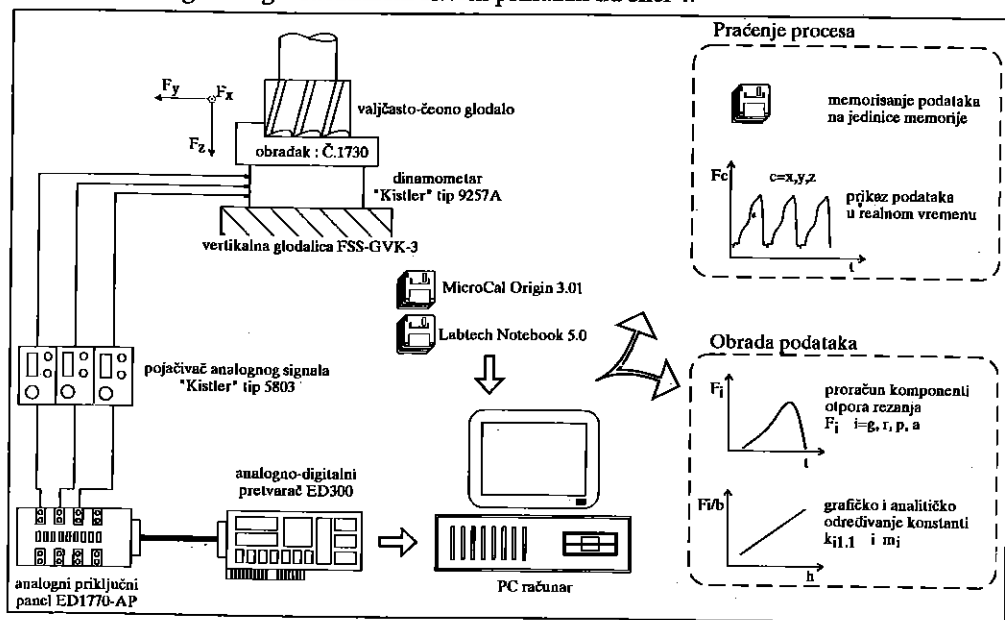
$$B = \frac{D}{2} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\varphi_s^2}{2} \right) \right] = \frac{D \cdot \varphi_s^2}{4} \quad (17)$$

$$\text{Iz nejednakosti (15) konačno sledi: } B < D \cdot \left(\frac{\pi}{z} \right)^2 \quad (18)$$

4.2 Model eksperimentalnih ispitivanja uz pomoć računara

Cilj ovog eksperimenta je bio da se razvije jedan računarski model na kome bi za jedan odabrani materijal obratka pokazali određivanje vrednosti konstante $k_{g1,1}$ i m_g pri suprotnosmernom valjčasto-čeonom glodanju. Model je univerzalan i može se na isti način primeniti za bilo koji materijal obratka i vrstu glodanja.

Merenje i obrada rezultata izvedeni su uz pomoć računara i odgovarajućeg hardvera i softvera integrisanog u računarski sistem prikazan na slici 4.

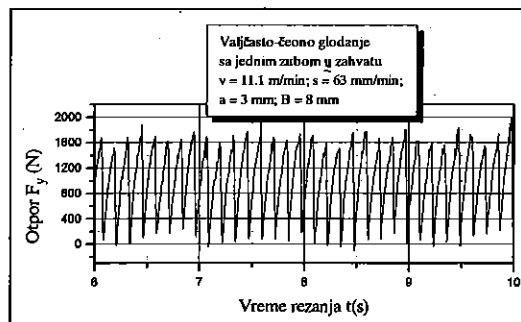


Slika 4. Računarski sistem za merenje otpora rezanja i određivanje konstanti $k_{g1,1}$ i m_g pri valjčasto-čeonom glodanju

Kao rezni alat korišćeno je valjčasto-čeonu glodalicu $\varnothing 63$ mm od brzoreznog čelika sa 8 zuba i napadnim uglom $\kappa = 90^\circ$. Elementi režima rezanja su prilagođeni materijalu obratka i glodalica i iznosili su: dubina glodanja $a = 7$ mm; brzina rezanja $v = 11,1$ m/min, odnosno $n = 56$ o/min; brzina stola glodalice $s = 63$ mm/min. Širina glodanja određena je na osnovu nejednakosti (18) i iznosila je $B = 8$ mm. Ostali uslovi pri izvođenju eksperimenta detaljno su navedeni na slici 4.

5. REZULTATI MERENJA I NJIHOVA OBRADA

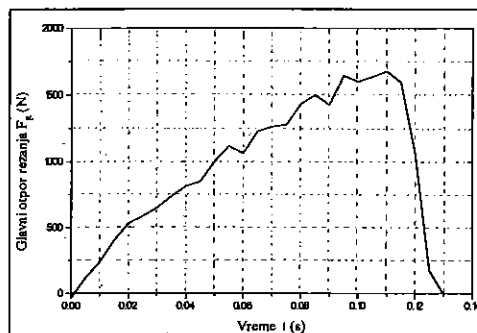
Na slici 5. prikazan je primer vremenskog toka komponente F_y otpora rezanja jednog zuba pri suprotnosmernom valjčasto-čeonom glodanju dobijen korišćenjem aparature na slici 4. Sličan tok imaju i registrovani grafici za otpore F_x i F_z . Koristeći jednačinu (11) i vrednosti izmerenih otpora F_x i F_p , proračunata je vrednost glavnog otpora rezanja F_g . Na slici 6. prikazan je tako dobijen glavni otpor rezanja u funkciji vremena rezanja.



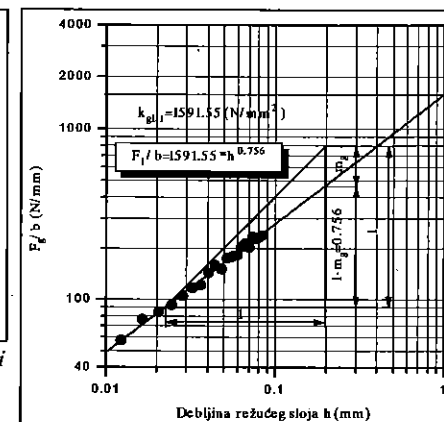
Slika 5. Vremenski tok komponente otpora rezanja F_x

Koristeći j-nu (2) i vezu između vremena i trenutnog položaja zuba u zahvatu, tj. $\varphi = \omega t$, proračunate su vrednosti debljine rezućeg sloja h u bilo kom trenutku vremena. Širina rezućeg sloja je konstantna i prema j-ni (5) iznosi $b = a = 7$ mm ($\kappa = 90^\circ$). Deleći vrednosti glavnog otpora rezanja sa slike 6. sa širinom b i uzimajući odgovarajuće vrednosti debljina rezućeg sloja h , dobijena je prava $F_g/b = f(h)$ u log-log koordinatama, slika 7. Na istoj slici je

pokazan ranije opisan metod grafičkog određivanja konstanti $k_{g1,1}$ i m_g , što se slaže sa vrednostima koje su određene analitičkim putem uz pomoć računara.



Slika 6. Glavni otpor rezanja jednog zuba u funkciji vremena rezanja



Slika 7. Grafičko određivanje konstanti $k_{g1,1}$ i m_g

Prema tome za dati slučaj glodanja i uslove pri izvođenju eksperimenta, konstante u Kienzle-ovoj jednačini za glavni otpor rezanja imaju vrednost: $k_{g1,1} = 1591,55$ N/mm² i $1 - m_g = 0,756$.

6. ZAKLJUČCI

Prikazani računarski sistem za određivanje konstanti materijala u Kienzle-ovoj jednačini (1) omogućuje između ostalog sledeće :

1. Računarsko određivanje komponenti otpora rezanja jednog zuba u četiri interesantna pravca, odnosno: F_z - tangencijalnom, F_r - radijalnom, F_p - pomoćnog kretanja i F_a - aksijalnom, na osnovu otpora rezanja u tri ortogonalna pravca (F_x, F_y, F_z) i jednačina (8) do (14).
2. Merenje otpora rezanja u tri ortogonalna pravca (F_x, F_y, F_z) i automatizovanu obradu dobijenih rezultata na osnovu razvijenog modela hardverskog i softverskog integrisanja (slika 4.).
3. Kombinovanje dva prethodna postupka omogućuje dobijanje sve četiri komponente otpora rezanja jednog zuba, odnosno F_p, F_r, F_x, F_a u funkciji vremena ili puta rezanja (slika 6.).
4. Koristeći proračunate vrednosti debljine i širine režućeg sloja zuba glodala i odgovarajućih vrednosti otpora rezanja iz prethodnog postupka, dobija se prava $F/b = f(h)$ u log-log koordinatama na osnovu koje se grafički ili analitički određuju tražene vrednosti konstanti k_{ij} i m_i (slika 7.).

Razvoj ovog računarskog sistema se nastavlja u cilju njegovog hardverskog i softverskog poboljšanja sve do potpuno automatskog merenja, obrade rezultata i odlaganja dobijenih vrednosti u bazu podataka o obradljivosti materijala.

LITERATURA

- [1] Kienzle O.: Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen, Gekürzte Wiedergabe eines Vortrages in der Fachsitzung "Betriebstechnik" der 81. VDI - Hauptversammlung, Hannover, 1951.
- [2] Kienzle O., Victor H.: Spezifische Schnittkräfte bei der Metallbearbeitung, Werkstattstechnik und Maschinenbau, Hannover, 1957.
- [3] Bobrov V.F.: Osnovi teorii rezania metalov, Mašinstroenie Moskva, Moskva, 1975.
- [4] König W., Essel K.: Spezifische Schnittkraftwerte für die Zerspanung metalischer Werkstoffe, Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf, 1973.
- [5] Milikić D., Uzelac S., Gostimirović M.: Primena računara u istraživanjima tehnologije obrade rezanjem, XXII Jugoslovenski simpozijum o operacionim istraživanjima, Donji Milonovac, 1995.

COMPUTER SYSTEM FOR DETERMINATION OF CONSTANTS IN KIENZLE EQUATION FOR CUTTING FORCES IN MILLING

Abstract

The specification of the milling is in fickle cutting layer area which causes variable cutting force values. Therefore, determination of cutting force values is more difficult and so today we have a number of more or less complex equations. One of the simplest and most precise is Kienzle equation which can be used also for the other cutting technologies. For quality application of this equation, there must be known two workpiece material constants. The lack of these constants for domestic and new material inspire the authors of this paper to develop methodology for their efficient and exact determination using computer system for automatic measurement and result analysis.



Peter Monka

CUTTING EDGE NOT PARALLEL WITH AXIS OF WORKPIECE.

ABSTRACT

The paper contains the results which have been achieved by cutting tool with linear cutting edge not parallel with the axis of the workpiece. The gained results of the measurements show that the investigated cutting tool enables to secure the same values of surface profile characteristics of chromium steel for rolling-element bearings 14 109.3 according to STN 414109 and corrosion resisting chromium-nickel steel 17 241 according to STN 417241 as a classical cutting tool at finishing with the significant increase of the feed per revolution. It directly influences on the length of the technological operation time which is several times shortened.

NOTATION

S	Tool major cutting edge (it's linear cutting edge not paralel with axis of workpiece)	γ_0	Tool orthogonal rake of major cutting edge [°]
γ_0'		γ_0'	Tool orthogonal rake of minor cutting edge [°]
S'	Tool minor cutting edge	r_n	Corner radius [mm]
R_n	Arithmetical average deviation from a mean line [μm]	r_n'	Rounded major cutting edge radius [mm]
λ_n	Tool major cutting edge inclination [°]	r_n''	Rounded minor cutting edge radius [mm]
λ_n'	Tool minor cutting edge inclination [°]	v_c	Cutting speed [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]
α_0	Tool orthogonal clearance of major cutting edge [°]	f	Feed per revolution [mm]
α_0'	Tool orthogonal clearance of minor cutting edge [°]	STN	Slovak Technical Norm

INTRODUCTION

One of the most exacting technological processes as for energy and material in the mechanical engineering production is the machining. Despite of opinion of some experts, that the manufacturing of the workpieces by the machining is not perspective and that it's necessary to substitute it by chipless methods, is this technology irreplaceable by other technological methods in plenty of cases.

The demanded accuracy and the quality of machined surface is not possible to achieve at the manufacture of the workpieces by mechanical working or casting process, because the skin is adversely affected. That's why the machining for giving precision to the sizes is inevitable.

The portion of roughing-cut operations at the machining is lowered by optimization of technology on the one hand, but the portion of laborious finishing-cut operations is risen on the other hand. [3]

The versatility and the flexibility are typical for the machining. There are materials which are not possible to weld or to treat by mechanical working in the mechanical engineering practice. But the material in the mechanical engineering, which is not possible to work by the machining almost doesn't exist, what evidences the versatility of the machining. The flexibility of the machining is given so, that it is possible to work also complicated shapes of details by the simple cutting-tool and by the controlled move of the tool or of the workpiece. There are evident the productivity increase in machining technology during of last years owing to automation of production, multitool machining and intensification of cutting conditions by means of new tool materials. The efficiency of production will be increased by development of work organization in future time to the purpose of lowering of energy and material costs and unloading of living environment. [3]

The advancing of machining productivity, at the cutting speed fixed from the look of optimal durability, is possible by using of faster feeds. This is hindered by limiting conditions at the classical tools, which are given by required surface roughness.

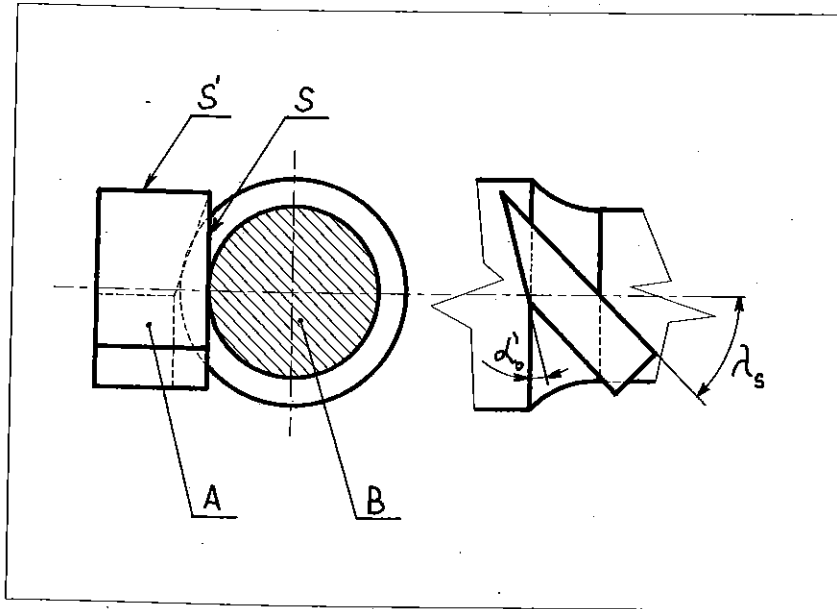


Fig. 1: The working cutting tool with linear cutting edge not parallel with the axis of the workpiece. Designation: A - cutting tip working by linear cutting edge, B - machined workpiece

The cutting tool with linear cutting edge not parallel with the axis of the workpiece (fig.1) enables to achieve better values of surface roughness at multiple magnification of the feed. [4]

The most important problems, which are necessary to solve from the standpoint of machining technology with regard to tool equipment, are [3]:

- a/ the right selection of the tool types and the number of tools.
- b/ automatical following of the cutting tool state during of the machining.
- c/ the optimalization of cutting conditions

GEOMETRICAL PARAMETERS OF CUTTING TIP WORKING WITH LINEAR CUTTING EDGE

The parameters of tool angles determine the shape of cutting part of tool and its position with regard to a workpiece. It's necessary to choose the true geometric parameters, because they very affect productivity and the quality of machined surface.

The individual parameters must to be chosen (at the planning of geometry of tool cutting part) so to be guaranteed:

a/ the good strength of cutting edge - it's mainly important at the material with lower bending strength, at the machining of high-strength materials and at intermittent cutting. During of the experiments with linear cutting edge was this conditions observed so, that the cutting edge S' (Fig. 1) (which doesn't correspond strength conditions respect to the little cutting angle) doesn't take part in the machining.

b/ the maximum cutting edge life - it's necessary to choose the geometric parameters so, that the life is maximum at the keeping of all needed characteristics. Therefore in practical tests the tool angle parameters were chosen according to [4].

c/ at once the minimum energy intensity of output and the suitable ratio of dimensions of cutting force components.

d/ the stability of cutting process - mainly at the tools, which the rigidity respect to their construction is deficient in some of direction. This was in experiments achieved

- by the choice of the angle λ_s according to results published in [5](where the vibrations are minimum)
- by the designing of rigid tool holder
- by the choice of more rigid kind of the clamping from two suggested variants.

e/ the accuracy of workpiece dimensions and the quality of machined surface. On the basis of preliminary results published in [2] is this kind of the tool very suitable for the achievement of high quality characteristics of machined surfaces.

The tool cutting edge inclination was suggested on the basis of results published in [5] so to be kept the conditions a/, b/ and d/ of this section. The used tool angle was defined by these following angles: $\alpha_0 = 10^\circ$, $\lambda_s = \gamma_0' = 45^\circ$, $\gamma_0 = \lambda_s' = 0^\circ$, $\alpha_0' = 10^\circ$

THE STANDPOINTS FOR THE SELECTION OF CUTTING MATERIALS, TYPES OF CUTTING TIPS AND TOOL-HOLDERS

The selection of cutting materials and cutting tips along with tool-holders was done from among materials and tool parts, which are available in the factories cooperated with Faculty of Production Technologies.

Tab. 1: The standpoints for the selection of cutting materials, cutting tips and tool-holders.

Cutting material	
For the tool with linear cutting edge	For the classical tool
- suitable for the machining of the wide spectrum of the steels	- suitable for the machining of the wide spectrum of the steels
- suitable for the finishing-cut operations at the high values of the feed per revolution	- suitable for general use at the finishing-cut operations in the wide extent of cutting parameters
- the ductile materials, because in surroundings of the corner is the section of the cutting tip considerably weak	
- uncoating material to reach the desired shape of the cutting tip by the machining	
- capable to work in the wide extent of the cutting speeds	

The shape of the cutting tip:	
For the tool with linear cutting edge - which enables easy grinding to the required geometry according to Fig.1 - which enables the simple adjustment of the standart tool-holder to be clamped the cutting tip with sufficient rigidity	For the classical tool - which enables to achieve good values of the evaluate characteristics of the machined surface also at the high values of the speed per revolution - which enables the suitable forming of the chip in the wide extent of the cutting conditions - which enables the clamping with sufficient rigidity
The tool-holder:	
For the tool with linear cutting edge - the stability of cutting process - the technological demands made on the dimensional accuracy of the workpieces and on the quality of machined surfaces - the possibility of the good clamping of the cutting tip - the sufficient rigidity during of the machining	For the classical tool

THE CHOICE OF THE CUTTING AND WORK MATERIALS, CUTTING TIPS AND TOOL - HOLDERS

Tab. 2: Choice of the cutting materials, cutting tips and tool -holders.

Cutting material:	
For the tool with linear cutting edge The cemented carbide composition P 30 according to ISO, because: - it is ductile material - it is possible to work with low cutting speeds by them - it is good wearresisting	For the classical tool The material corresponding to the extent of P 30 - P 50 according to ISO coated by IC 635, which is formed by the TiN-TiC-TiN callows. This material is determined for low speed, high feed and unfavable conditions by producer. It is used on austenitic stainless steel, carbon steel and alloy steel.
Interchangeable cutting tip	
For the tool with linear cutting edge The double-sided square cutting tip without chipformer, the type SNMN 120415 FR, which enables good working to the shape according to the fig.1 and good clamping in the tool-holder after machining.	For the classical tool The double-sided 80° trigon insert for wide range of materials and machining conditions - WMNG 080416 NG
The tool-holder:	
For the tool with linear cutting edge Tool-holder was milled from the tool shank with section 25x25 mm. The first suggested variant clamped the cutting tip by means of taper-head screw, but this fixing didn't assure good rigidity during of the machining. Therefore it was used the second suggested variant of tool holder with the clamping by two-arms clamp.	For the classical tool - tool-holder PWLNR -2020K-08

The following steels were selected as work materials:

- 14 109.3 according to STN 414109 as the representative of chromium steel for rolling-element bearings
- 17 241 according to STN 417241 as the representative of corrosion-resisting chromium-nickel steel with hindered machinability

The chemical compositions of work materials are shown in tab. 3. [6, 7]

Tab. 3: The chemical composition of work materials.

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
14 109.3	0,90 - 1,10	0,30 - 0,50	0,15 - 0,35	max. 0,027	max. 0,030	1,30 - 1,65	max. 0,30
17 241	max. 0,12	max. 2,00	max. 1,00	max. 0,045	max. 0,030	17,0 - 20,0	8,00 - 11,00

CONDITIONS OF MACHINING AND MEASURING

The cutting tips for tool with linear cutting edge were spark crossion worked and next their skins were ground by diamond grinding wheel. They were lapping by diamond lapping compound with the grit size M3 and concetration S. It was done the measuring of the surface roughness on the tool face and the tool flanks after working (tab. 4).

Tab. 4: The values of measured surface roughnesses on the cutting tips.

The average values of surface roughness		Directions of the measurings
- on the face	Ra = 0,21 μm	in two mutually perpendicular directions - in direction of the feed and in direction of the infeed.
- on the major flank	Ra = 0,21 μm	in the direction perpendicular on the primary cutting motion
- on the minor flank	Ra = 0,20 μm	
The average values of radiuses on cutting tips		
r = 0,18 μm	r _n = 0,21 μm	r _n ' = 0,08 μm

The practical authentication of the relation of R_a on the cutting speed and on the feed per revolution was done under the conditions shown in tab. 5. In this table are shown conditions of maesuring, too.

Tab.5: The conditions of machining and measuring.

	Tool with linear cutting edge not paralel with the axis of workpiece	Classical tool	
Cutting material:	The uncoated cemented carbide composition P30 according to ISO	The cemented carbide composition coated by TiN-TiC-TiN similar as material P30-P50 according to ISO	
Metal cutting machine:	The engine lathes SV 18 RD and SUI 40		
The cooling fluid:	Emulsin H		
The adjusting of the tool corner:	5 mm over the workpiece axis	in the workpiece axis	
Depth of cut :	0,5 mm		
Constant feed per revolution:	steel 14 109.3 f = 0,72 mm p. rev.	steel 17 241 f = 1,75 mm p. rev.	steel 14 109.3 f = 0,72 mm p. rev.
	steel 17 241 f = 0,147 mm p. rev.		
	when the relation of the R _a on cutting speed was found out		
Constant cutting speed:	steel 14 109.3 v _c = 28,15m.min ⁻¹	steel 17 241 v _c = 75 m.min ⁻¹	steel 14 109.3 v _c = 28,15m.min ⁻¹
	steel 17 241 v _c = 75 m.min ⁻¹		
	when the relation of the R _a on the feed per revolution was found out		
Surface roughness measuring equipment:	The measurements of surface roughness R _a on the cutting tips and on the machined surfaces were done by means of profile meter HOMMEL TESTER T 1000 in parallel direction with the axis of workpiece. The total lenght of measuring section L _t was 4,8 mm.		

RESULTS OF EXPERIMENTAL VERIFICATION

The following shapes of chips were formed at the machining:

- long helix conical chip - at the machining by means of tool with linear cutting edge in the whole extent of cutting conditions
- long continuous, helix annular chip - at the machining by cutting tip WNMG 080416-NG in the whole extent of cutting conditions

The relationship, between experimental obtained dependences for the tool with linear cutting edge and for the series productioned cutting tip WNMG 080416-NG (corner radius r_s = 1,6mm) with a cover IC635, follows from the grafical relations of the arithmetical average deviation from a mean line on the feed per revolution or on the cutting speed - Fig. 2.

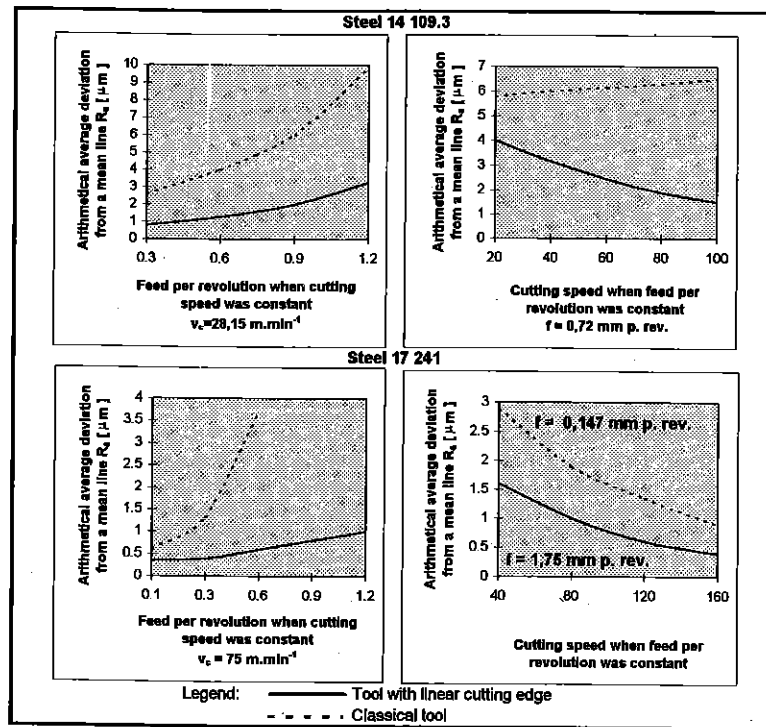


Fig. 2 : Grafical relations of the arithmetical average deviation from a mean line R_a on the feed per revolution and on the cutting speed for steels 14 107.3 and 17 241.

It is evident from these grafical relations, that the tool with linear cutting edge achieves the values of the arithmetical average deviation from a mean line R_a some-times lower as a classical tool with corner radius 1,6 mm at the same conditions. The tool with linear cutting edge unites roughing and finishing cut, what enables to reduce the number of manufacturing operations and the direct manufacture time.

REFERENCES

- [1] Križko, B. at al. : Úspora materiálov a energie v strojárskiej výroby. Alfa Bratislava, 1988
- [2] Monka, P. : Výsledky experimentálneho overovania novej geometrie sústružnickeho noža. Zborník konferencie "Počítačová podpora v technológii obrábania - PPTO 95", KSMaT Sjf TU Košice, 1995
- [3] Vasilko, K. ; Bokučava, G. : Technológia automatizovanej strojárskiej výroby. Alfa Bratislava, 1991
- [4] Vasilko, K.: A cutting tool with a new geometry of the cutting part and its applications. Transactions of the Technical University of Košice, No. 4, 1992
- [5] Vasilko, K.: Nové geometrické vzťahy medzi rezným nástrojom a obrobkom a ich vplyv na mikrogeometriu obrobeného povrchu. Prepriny vedeckých prác, No. 1/92, Sjf TU Košice, 1992
- [6] STN 414109
- [7] STN 417241

B. Nedić, B. Tadić, R. Mitrović, R. Ječmenica¹⁾

PRILOG IZUČAVANJU PROCESA OBRADE STRUGANJEM SA ASPEKTA ANALIZE OTPORA REZANJA

Rezime

Razvoj merne tehnike je omogućio da se veoma lako i brzo dođe do vrednosti komponenta otpora rezanja. U najvećem broju slučajeva dalja analiza rezultata merenja je se odnosila na utvrđivanje korelacionih zavisnosti otpora rezanja i uslova obrade, utvrđivanje uticaja parametara alata na otpore rezanja, utvrđivanje obradivosti materijala predmeta obrade itd.

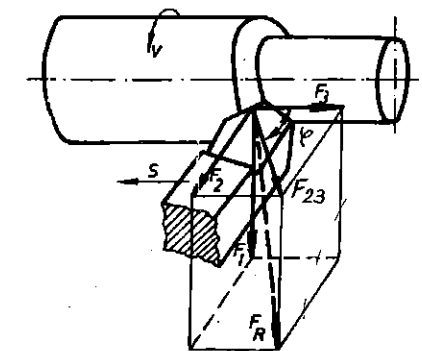
U radu su prezentirani rezultati merenja otpora rezanja za grupu različitih materijala u širokom rasponu režima obrade. Na osnovu dobijenih korelativnih zavisnosti izračunata je rezultanta komponenti F_2 i F_3 i određen njen položaj u odnosu na pravac pomoćnog kretanja za različite režime obrade. U zavisnosti od režima obrade određen je odnos između ove rezultante i glavnog otpora rezanja. Na osnovu ovog koeficijenta odnosa izvršena je analiza obradivosti ispitivanih materijala predmeta obrade.

U drugom delu rada izvršena je analiza uticaja habanja alata na položaj rezultante F_{23} i promenu koeficijenta odnosa ove rezultante i glavnog otpora rezanja.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Otpor rezanja je mehanička veličina kojom predmet obrade deluje na alat suprotstavljajući se rezanju. Veličina i pravac ove sile zavisi od: obradivosti materijala predmeta obrade, mehaničkih, strukturnih i hemijskih osobina materijala predmeta obrade, elemenata režima obrade, geometrije alata, karakteristika mašine i ostalih tehnoloških uslova (SHP i dr.).

Na slici 1 prikazan je otpor rezanja koji deluje na alata kod obrade struganjem i koji se razlaže na komponente F_1 - glavni otpor



Slika 1. Komponente otpora rezanja

¹⁾ Mr Nedić Bogdan, Mr Branko Tadić, Dr Ratko Mitrović, Mašinski fakultet, Kragujevac, Dr Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet, Čačak

rezanja, F_2 - otpor prodiranja i F_3 - otpor pomoćnom kretanju.

Kako u horizontalnoj ravni deluju komponente F_2 i F_3 to se na osnovu njih može izračunati i odgovarajuća rezultanta F_{23} . Ona zauzima određeni ugao φ sa osom predmeta obrade, odnosno pravcem pomoćnog kretanja (pravac sile F_3). Vrednosti ovih veličina se mogu izračunati na osnovu izmerenih komponenti sila:

$$F_{23} = \sqrt{F_2^2 + F_3^2} \quad ; \quad \varphi = \arctg \frac{F_2}{F_3}$$

Pored ovih zavisnosti, za analizu procesa obrade struganjem preko komponenti otpora rezanja, mogu se uspostaviti odgovarajući koeficijenti odnosa i to:

- $\mu_{F_{23}}$ - koeficijent odnosa rezultante F_{23} i glavnog otpora rezanja F_1 , predstavlja novu veličinu koja je u ovom radu definisana i
- μ_{F_2} - koeficijent odnosa sile prodiranja F_2 i glavnog otpora rezanja F_1 :

$$\mu_{F_{23}} = \frac{F_{23}}{F_1} \quad \mu_{F_2} = \frac{F_2}{F_1}$$

2. KORELATIVNE ZAVISNOSTI

Radi utvrđivanja korelativnih zavisnosti komponenata otpora rezanja i uslova obrade izvršena su obimna ispitivanja [2]. Prema odgovarajućem plan eksperimentu ispitivani su čelici Č1212, Č1221, Č5420, Č7422 i Č5430 u širokim dijapazonima uslova obrade:

- dubina rezanja: 0,5; 0,9; 1,3; 1,7 i 2,0 mm,
- korak: 0,1; 0,16; 0,2; 0,25 i 0,315 mm/o,
- brzine rezanja: u zavisnosti od materijala i prečnika ispitivanja su vršena sa pet brzina rezanja u rasponu od 80 do 280 m/min.

Ispitivanja su vršena sa dva alata i to:

- strugarski nož PTG NR 2525-M16 sa trougaonom pločicom TNMG 160408 i napadnim uglom 90° i
- strugarskim nož PSB NR 2525-M12 sa kvadratnom pločicom SNMG 120404 i napadnim uglom 75° .

Ispitivanja su vršena na univerzalnom strugu "Prvomajska" D-480, snage 10 KW bez prisustva sredstva za hlađenje i podmazivanje.

Za ove alate i uslove obrade dobijene su korelativne zavisnosti date u tabeli 1.

Zbog obimnosti rezultata dobijenih analizom korelativnih zavisnosti iz date tabele, u radu je prezentiran samo jedan manji deo.

Na osnovu korelativnih zavisnosti izračunat je indeks obradivosti posmatranih čelika sa aspekta glavnog otpora rezanja, pri obradi strugarskim nožem sa trougaonom pločicom (slika 1).

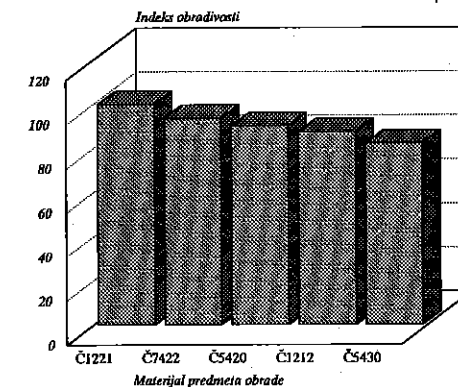
U drugom delu rada vršena je analiza uticaja uslova obrade i habanja na rezultantu F_{23} .

Tabela 1.

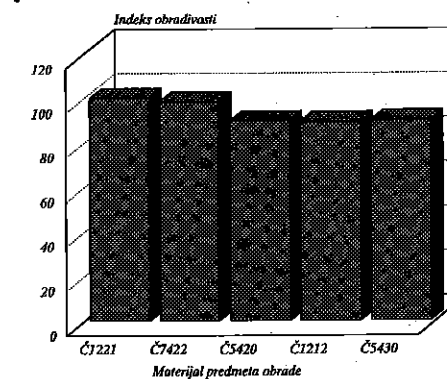
Materijal	Alat	
	PTG NR 2525-M16	PSB NR 2525-M12
Č1212 Tvrdoća 150 HB	$F_1 = 277,8 \delta^{0,88} s^{0,79} v^{-0,078}$ $F_2 = 124,3 \delta^{0,178} s^{0,738} v^{-0,153}$ $F_3 = 174,6 \delta^{1,178} s^{0,528} v^{-0,186}$	$F_1 = 230,8 \delta^{0,85} s^{0,77} v^{-0,064}$ $F_2 = 109,9 \delta^{0,451} s^{0,729} v^{-0,079}$ $F_3 = 135,2 \delta^{0,941} s^{0,484} v^{-0,115}$
Č1221 Tvrdoća 202 HB	$F_1 = 299,8 \delta^{0,936} s^{0,763} v^{-0,133}$ $F_2 = 152,9 \delta^{0,131} s^{0,697} v^{-0,233}$ $F_3 = 206,3 \delta^{1,127} s^{0,522} v^{-0,257}$	$F_1 = 216,8 \delta^{0,89} s^{0,71} v^{-0,097}$ $F_2 = 111,3 \delta^{0,477} s^{0,664} v^{-0,132}$ $F_3 = 104,9 \delta^{1,01} s^{0,436} v^{-0,148}$
Č5420 Tvrdoća 180 HB	$F_1 = 312,6 \delta^{0,954} s^{0,713} v^{-0,136}$ $F_2 = 122,3 \delta^{0,142} s^{0,5} v^{-0,224}$ $F_3 = 216,8 \delta^{1,229} s^{0,328} v^{-0,298}$	$F_1 = 210,7 \delta^{0,86} s^{0,75} v^{-0,064}$ $F_2 = 81,74 \delta^{0,455} s^{0,654} v^{-0,05}$ $F_3 = 81,8 \delta^{0,94} s^{0,397} v^{-0,126}$
Č7422 Tvrdoća 166 HB	$F_1 = 250,5 \delta^{0,999} s^{0,812} v^{-0,0755}$ $F_2 = 77,8 \delta^{0,184} s^{0,769} v^{-0,0836}$ $F_3 = 132,4 \delta^{1,307} s^{0,581} v^{-0,155}$	$F_1 = 250,5 \delta^{0,87} s^{0,75} v^{-0,071}$ $F_2 = 91,8 \delta^{0,517} s^{0,707} v^{-0,074}$ $F_3 = 108,8 \delta^{0,999} s^{0,459} v^{-0,145}$
Č5430 Tvrdoća 190 HB	$F_1 = 374,7 \delta^{0,96} s^{0,74} v^{-0,146}$ $F_2 = 145,4 \delta^{0,167} s^{0,619} v^{-0,221}$ $F_3 = 256,8 \delta^{1,226} s^{0,41} v^{-0,302}$	$F_1 = 238,4 \delta^{0,87} s^{0,72} v^{-0,071}$ $F_2 = 58,53 \delta^{0,467} s^{0,564} v^{-0,01}$ $F_3 = 92,62 \delta^{0,951} s^{0,35} v^{-0,129}$

3. OBRADIVOST MATERIJALA

Sa slike 1 se može videti da najbolju obradivost ima Č1221, dok Č5430 ima najlošiju obradivost sa aspekta glavnog otpora rezanja. Dobra, odnosno loša obradivost je uslovljena na prvom mestu strukturnim i mehaničkim karakteristikama, kao i hemijskom sastavu materijala predmeta obrade, itd. Obradivost sa aspekta glavnog otpora rezanja je direktno vezana za potrebnu snagu za izvođenje operacije obrade.



Slika 1. Indeks obradivosti sa aspekta glavnog otpora rezanja

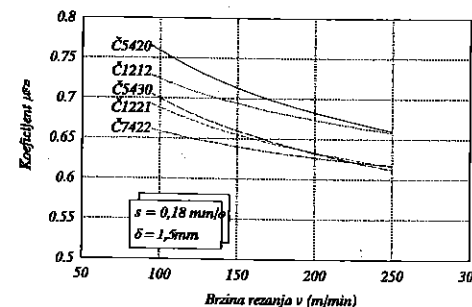


Slika 2. Indeks obradivosti sa aspekta rezultante F_{23}

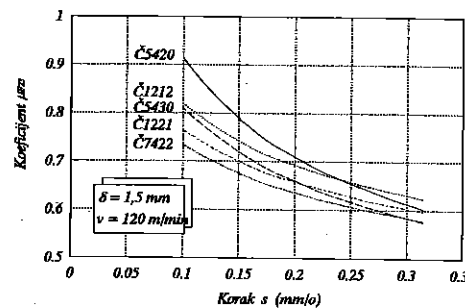
Medutim, habanja alata ne mora biti u direktnoj vezi sa veličinom glavnog otpora rezanja. Kako je habanje alata u najvećem broju slučajeva po leđnoj površini, to je potrebno poznavati silu koja deluje na leđnu površinu alata i definisati obradivost sa aspekta ove sile. Na slici 2 je prikazan indeks obradivosti sa aspekta rezultante F_{23} . Sa ove slike se može zaključiti da su razlike između ovako definisanih obradivosti materijala manje izražene nego preko glavnog otpora rezanja.

4. UTICAJ USLOVA OBRADJE NA REZULTANTU F_{23}

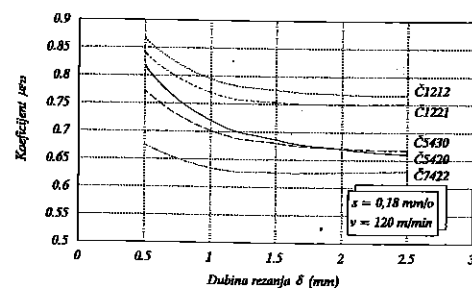
Na slikama 3, 4 i 5 prikazane su krive koeficijenta odnosa $\mu_{F_{23}}$ u zavisnosti od uslova obrade. Slike 3 i 4 se odnose na obradu sa trougaonom pločicom, a slika 5 na obradu sa kvadratnom pločicom.



Slika 2. Uticaj brzine rezanja na koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$



Slika 3. Uticaj koraka na koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$



Slika 4. Uticaj dubine rezanja na koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$

Analizom ovih rezultata može se zaključiti da postoji znatna zavisnost koeficijenta odnosa $\mu_{F_{23}}$ i režima obrade.

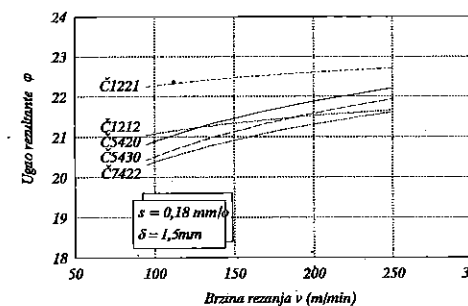
- sa povećanjem brzine rezanja koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$ opada sa 0,78 na oko 0,6 za posmatrani opseg brzina rezanja.
- sa povećanjem koraka (sa 0,1 na 0,315) koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$ ima znatan pad, sa 0,9 na 0,6-0,7.
- sa povećanjem dubine rezanja (sa 0,5 na 2 mm) koeficijent odnosa $\mu_{F_{23}}$

opada do dubine rezanja približno 1 - 1,5 mm da bi nakon toga počeo da raste, kod trougaone pločice ili da bude približno konstantan sa kod kvadratne pločice.

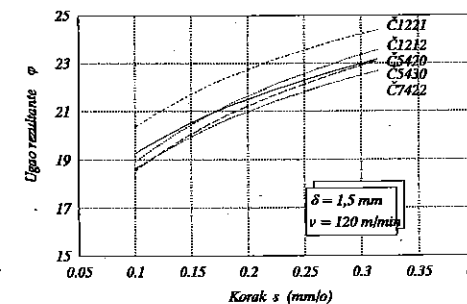
Kod ispitivanih materijala može se zapaziti da je koeficijent $\mu_{F_{23}}$ za čelik Č7422 u svim slučajevima najmanji, dok je za čelike Č5420 i Č1212 u većini slučajeva veći od ostalih.

Takode, u oblasti uslova obrade sa malim korakom i dubinom rezanja, koji odgovaraju finoj završnoj obradi, koeficijent $\mu_{F_{23}}$ je veći nego u uslovima grube obrade, pri većim vrednostima koraka i dubine rezanja.

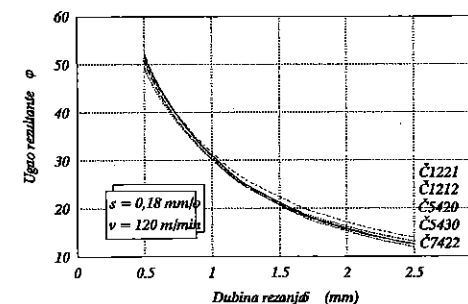
Na slikama 6, 7 i 8 je prikazan uticaj uslova obrade na ugao ϕ između rezultante F_{23} i pravca pomoćnog kretanja pri obradi sa trougaonom pločicom. Isti rezultati su dobijeni i sa kvadratnom pločicom, stim da su izračunati uglovi za približno 15° veći, jer je napadni ugao pri obradi sa ovom pločicom iznosio 75° .



Slika 6. Uticaj brzine rezanja na ugao ϕ



Slika 7. Uticaj koraka na ugao ϕ



Slika 8. Uticaj dubine rezanja na ugao ϕ

Analizom ovih rezultata zaključuje se da sa povećanjem brzine i koraka dolazi do povećanja ovog ugla, odnosno komponenta F_2 znatnije raste u odnosu na F_3 . Sa povećanjem dubine rezanja ugao ϕ znatno pada, do 10° nakon čega postaje konstantan bez obzira na rast dubine rezanja. To znači da komponenta F_2 postaje znatno mala, napadni ugao je 90° .

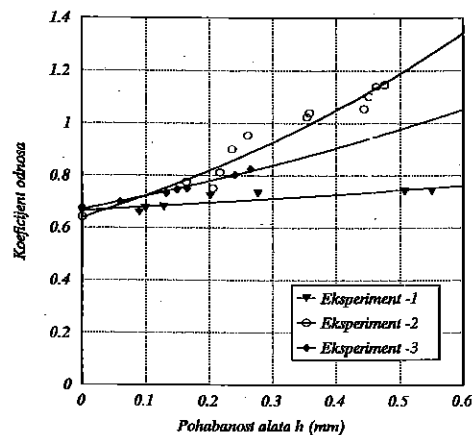
5. UTICAJ HABANJA NA REZULTANTU F_{23} I NJEN POLOŽAJ

Ispitivanje uticaja habanja alata na veličinu rezultante F_{23} i njen položaj je vršeno sa većim brojem alata pri obradi različitih materijala predmeta obrade. U radu je prezentiran deo tih rezultata ispitivanja.

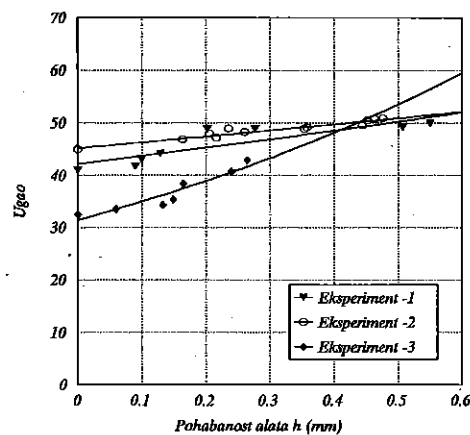
- Eksperimenti 1 i 2: Materijal Č1221 (E-1) i Č54330 (E-2), alat PSBNR 2525-M12 sa pločicom SNMG 120404 i prevlakom TiN+Al₂O₃, režimi obrade: $\delta=1$ mm, $s=0,315$ mm/o, $v=290$ m/min (E-1) i $v=250$ m/min (E-2).
- Eksperiment 3: Materijal Č5430, alat PTG NR 2525-M16 sa pločicom TNMG 160408, režimi obrade: $\delta=1$ mm, $s=0,1$ mm/o, $v=195$ m/min

Na slikama 9 i 10 prikazan je porast koeficijenta odnosa $\mu_{F_{23}}$ i porast ugla ϕ između rezultante F_{23} i pravca pomoćnog kretanja sa porastom habanja alata.

Ovakav porast koeficijenta odnosa $\mu_{F_{23}}$ sa habanjem alata ukazuje da rezultanta F_{23} brže raste u odnosu na glavni otpor rezanja i da je bolji parametar za indirektno praćenje habanja alata. Porast ugla ϕ sa habanjem alata takođe ukazuje da je intenzitet porasta komponente F_2 veći u odnosu na intenzitet rasta komponente F_3 . Kako se analizom rezultata ispitivanja može videti, isti rezultati su dobijeni i sa trougaonom i sa kvadratnom pločicom i sa različitim napadnim uglovima.



Slika 9. Uticaj habanja na koeficijent $\mu_{F_{23}}$



Slika 10. Uticaj habanja alata na ugao ϕ

6. ZAKLJUČAK

Prikazana analiza i njeni rezultati su pružili osnovu za jedan drugačiji način pristupu analizi otpora rezanja u odnosu na do sada najčešće sretan. Pokazano je da analiza otpora rezanja pruža znatan broj informacija koje mogu poslužiti za izbor i projektovanje tehnologije obrade, izbor uslova obrade, izbor alata itd. Takođe, pokazana je znatna zavisnost otpora rezanja od habanja alata i ukazano je na mogućnost korišćenja komponenti otpora rezanja i njihovog položaja za indirektno praćenja procesa habanja alata. To stvara uslove za upravljanje procesom obrade.

LITERATURA

1. Tadić, B. Utvrđivanje korelativnih veza parametara rezanja kao podloge za razvoj ekspertnog sistema u obradi struganjem, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1991.

CONTRIBUTION TO TURNING PROCESS RESEARCH BY THE CUTTING FORCE ANALYSIS ASPECT

Summary

The development of measurement technique enables very easy and quick obtaining of cutting force components values. In most cases further analysis refers to determination of correlation dependence of the cutting force and work conditions the tool parameters influence to cutting force, handle capability of the cutting object, etc.

The paper gives the cutting forces measurement data for the group of various materials and wide specter of cutting regimes. On the basis of correlation dependence's the resulting force of components F_2 and F_3 was determined, as well as its position related to accessory motion direction for variety of work regimes. The relation of this force and the main cutting force was determined, as well. Those relation coefficient is used for analysis of handle capability for examined materials.

The second part of the paper gives the analysis of the tool wear influence on position of F_{23} resulting coefficient for this resulting and main cutting forces.

mr Nikolić R., Nešović J., mr Đorđević S., Miodragović G.
ODREĐIVANJE OPTIMALNE DUBINE DIFUZIONOG SLOJA ZAVOJNIH BURGIIJA OSLOJENIH POSTUPKOM JONSKOG NITRIRANJA

REZIME

U radu je izvršeno određivanje optimalne dubine difuzionog sloja zavojnih burgija od C 7680., oslojenih postupkom jonskog nitriranja, pri čemu je kriterijum maksimalna postojanost istih. U eksploataciji oslojenih alata, pri ranijim ispitivanjima, primećeno je da postojanost raste sa povećanjem dubine difuzije do neke određene vrednosti posle koje daljim povećanjem ista opada. Zavisnost istih utvrđena je eksperimentalno za konkretne režime obrade, a matematička aproksimacija izvršena je korišćenjem polinoma trećeg stepena. Eksperiment je u celini izveden u pogonskim uslovima u IMK "14 Oktobar" Kruševac. Kako vrednost dubine difuzije zavisi od režima oslojavanja, to se na osnovu ove dalje mogu odrediti optimalni režimi jonskog nitriranja.

1. UVOD

Predviđanja tehnološkog razvoja govore da će u narednom veku jedna od dominantnih tehnologija biti tehnologija površina pri čemu se, kombinacijom svojstava osnovnog materijala i površinskog sloja, poboljšava kvalitet tretiranih elemenata. Kada se radi o reznim alatima od brzočvrstog čelika, prednost u odnosu na ostale postupke oslojavanja ima jonsko nitriranje. Otvrdnuti sloj je veoma male debljine i predstavlja samo difuzionu zonu, bez vezivne koja je krta, što je jedna od glavnih prednosti u odnosu na ostale postupke nitriranja.

Pri eksploataciji oslojenih reznih alata primećeno je da postojanost raste sa porastom debljine difuzionog sloja do neke vrednosti, a zatim počinje opadanje iste. Ova pojava se objašnjava istovremenim porastom krtosti.

Nalaženjem optimalne dubine jonskog nitriranja dolazi do daljeg povećanja efekata oslojavanja.

2. USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA

Eksperiment je u celini izveden u realnim pogonskim uslovima IMK "14 Oktobar" u Kruševcu.

Kao rezni alat korišćene su zavojne burgije $\phi 14$, JUS K. D3. 022. od Č 7680., pri čemu je tvrdoća pre oslojavanja bila u rasponu od 610 do 757 HV_{0,3} uz prosečnu vrednost 667 HV_{0,5}.

mr Nikolić H. Radovan* dipl. ing. maš., Nešović M. Jovan* dipl. ing. maš., mr Đorđević Svetislav** dipl. ing. met

Miodragović Goran* dipl. ing. maš. (* Mašinski Fakultet - Kraljevo, ** IMK "14 Oktobar" Kruševac)

Pre oslojavanja izvršeno je numerisanje uzoraka i da bi se ublažio uticaj tvrdoće na efekte oslojavanja isti su raspoređeni tako da se prosečne mikrotvrdoće pojedinih šarži nalaze u granicama od 654 do 667 HV_{0,5}. Svaku šaržu čine tri uzorka, a rezultati merenja predstavljaju aritmetičke sredine vrednosti za pojedine uzorke. Režimi jonskog nitriranja dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Režimi oslojavanja

Režim	1	2	3	4	5	6
T [°C]	450	460	460	500	520	530
t [min]	15	15	25	25	30	30

Napomena:- radni gas: amonijak
 - zaštitni gas: argon
 - radni pritisak: 1,00 mbara.

Oslojavanje je izvršeno na uređaju JON- 50 bugarske proizvodnje.

Eksplataciona ispitivanja izvedena su u realnim proizvodnim uslovima, u sektoru teških delova IMK "14 Oktobar" u Kruševcu.

Kao predmet obrade korišćen je realan deo, kutija tela šasije traktora TG-140, koja predstavlja zavareni sklop većeg broja delova. Eksperimentalna operacija bušenja izvedena je na školjkama izrađenim od čeličnog liva ČL 0501., a tvrdoća 10 proizvoljno izabranih uzoraka nalazi se u intervalu od 178 do 197 HB. Treba naglasiti da je u materijalu obratka u izvesnoj meri prisutna poroznost što nepovoljno utiče na postojanost alata.

Operacija bušenja izvršena je na radialnoj bušilici VR-8, češkoslovačke proizvodnje, instalisane snage 15,5 kW, pri režimima rezanja (v=15,6 m/min, s=0,22 mm/obr.), uz intezivno hlađenje emulzijom 7% rastvora SOL-20.

Kao kriterijum zatupljenja alata uzeta je vrednost širine pojasa habanja na lednoj površini od 0,8 mm.

3. MATEMATIČKI MODEL

Zavisnost funkcije postojanosti od debljine x određena je merenjem postojanosti za različite debljine difuzionog sloja, pri čemu je dobijena diskretna funkcija oblika :

$$= f(x) = \left\{ \begin{array}{l} x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n \\ T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n \end{array} \right\}$$

Treba napomenuti da se određivanje ove zavisnosti, a samim tim i kasnija optimizacija vrši za konkretne uslove (s, v), po kojima takođe predhodno može biti izvršena optimizacija sa istom funkcijom cilja.

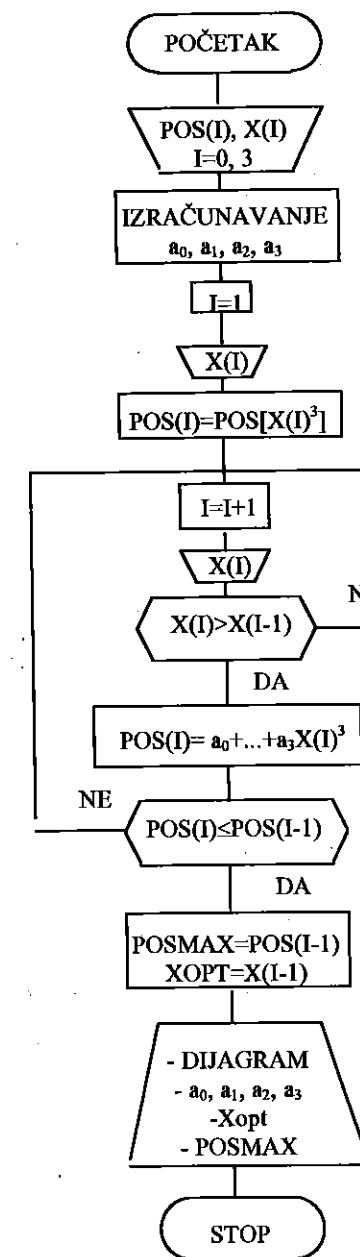
Zavisnost se predpostavlja u obliku polinoma m-tog stepena:

$$P_m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m,$$

čije su vrednosti u čvorovima interpolacije jednake vrednostima funkcije u tim čvorovima.

Prikazano u matricnom obliku :

$[W][A] = \{T\}$, gde je



slika 1. Algoritam optimizacije

$$[W] = \begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^m \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{bmatrix}$$

Očigledno da bi sistem imao rešenja mora biti ispunjen uslov $m=n$.

Nepoznati koeficijenti nalaze se kao $\{A\} = [W]^{-1}\{T\}$, što je prikazano na slici 1., gde je takode dat i način određivanja optimalne debljine x .

Treba napomenuti da je rasipanje vrednosti debljine od uzorka do uzorka u okviru jedne iste šarže znatno i kreće se od 10 do 20%.

4. SISTEMATIZACIJA, OBRADA I ANALIZA REZULTATA

Dobivene vrednosti debljina nitriranog sloja za primenjene režime i njima odgovarajuće postojanosti date su u tabeli 2.

Grafik tražene funkcije i vrednosti koeficijenata dati su na slici 2.

Tabela 2. Rezultati eksperimenta

Režim oslojav.	neoslojene	1	2	3	4	5	6
Proseč. deblj. difuzionog sloja x [μm]	0	10	11	18	26	33	40
Postoj. [min.]	27,6	50	55,3	64,2	64,8	46,3	35,8

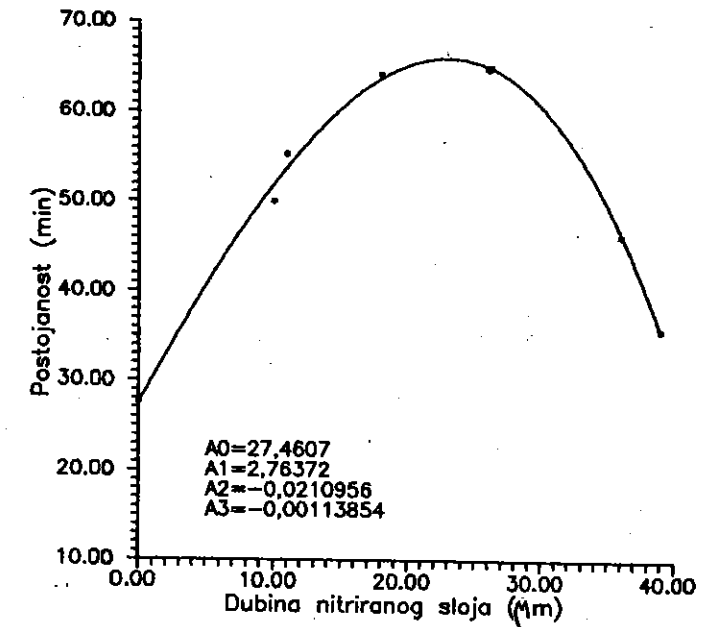
Imajući u vidu pomenuto rasipanje rezultata, kao optimalna debljina mogu se usvojiti one vrednosti za koje je postojanost iznad 60 min., znači ostupanje od maksimalne računске do 10 %. Posmatrano sa dijagrama na sl.2. nalazi se da debljina difuzionog sloja treba da bude u intervalu od 15 do 30 μm . Iz tabele 2. uočava se da je kod režima oslojavanja 3. i 4. postojanost blizu optimalne računске vrednosti te su preporučeni režimi oslojavanja ($T=500^\circ\text{C}$, $t=25$ min., i $p=1,00$ mbar), pri čemu je prosečna debljina difuzionog sloja $x=26$ μm .

Prosečna vrednost postojanosti izmerena u ovom slučaju iznosi 64,8 min., što je u odnosu na neoslojene 2,3 puta više.

Optimalna računska debljina difuzionog sloja je $x_{opt}=23$ μm , pri čemu je odgovarajuća vrednost postojanosti $T_{max}=66$ min.

Dobivena vrednost optimalne debljine se dalje, korišćenjem poznatih izraza :

za $T = \text{const}$; $x = kt^{1/n}$ i $t = \text{const}$; $x = Ae^{-\beta/t}$, može upotrebiti za određivanje optimalnih režima jonskog nitriranja.



Slika 2. Aproksimacija funkcije postojanosti

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja dokazano je postojanje optimalne debljine nitriranog sloja i dobivena aproksimativna zavisnost postojanosti od iste za konkretne uslove rezanja.

Izvodi se nekoliko opštih zaključaka:

1. Alati od brzoreznog čelika oslojeni postupkom jonskog nitriranja imaju znatno veću postojanost od neoslojenih.
2. Mikrotvrdoća površinskog sloja se znatno povećava sa 667 $\text{HV}_{0,5}$ na čak 1146 $\text{HV}_{0,5}$ (kod nekih režima oslojavanja).
3. Nalaženjem optimalne debljine x postojanost se može dodatno povećati (2,2 do 2,4 puta u odnosu na ne nitrirane).
4. Preoštavanjem dolazi samo do neznatnog smanjenja postojanosti.

Ako se ovome doda i čitav niz drugih prednosti, opravdano je očekivati dalju ekspanziju u primeni postupka, kako za nitiranje površina alata, isto tako i za odgovorne mašinske delove.

DETERMINATION OF OPTIMUM DEPTH OF DIFFUSE LAYER OF SPIRAL BORERS
LAYERED BY IONIC NITRIDING

ABSTRACT

In this paper we have determined the optimum depth of diffuse layer of spiral borers made of C 7680, and layered by ionic nitriding, where the criterion is their maximum steadiness. Earlier examinations have shown that in the exploitation of layered tools steadiness increases with the increase of depth of diffusion until a certain value beyond which the further increase of depth of diffusion causes the decrease of steadiness. Dependence of these values has been experimentally determined for concrete modes of procession, and mathematical approximation has been performed by using polynomials of the third degree. The whole experiment was carried out in operating conditions in IMK "14 October" Krusevac. As the value of depth of diffusion depends on the mode of layering, the optimum modes of ionic nitriding can be further determined.

LITERATURA

- [1] Bučkov D.; Toškov V.: Jonno azotirane, Tehnika, Sofija, 1990.
- [2] Dumanović M.: Prilog ispitivanju obradivosti ČL 0501. zavojnim burgijama oslojenim postupkom jonskog nitiranja u pogonskim uslovima, magistarski rad, MF, Beograd, 1991.
- [3] Edelhofer B.: Ionitrieren von werkzeugen, Sammelband Ionitrieren de Klockner- Ionen GmbH, Keln, 1987.
- [4] Mayer G.: Ionitrieren-Klockner Industrie anlagen, Sammelband Ionitrieren de Klockner- Ionen GmbH, Keln, 1987.
- [5] Nikolić R.: Prilog istraživanju graničnih uslova i njihovog uticaja na kvalitete jonskog nitiranja reznih alata, magistarski rad, MF, Kragujevac, 1995.
- [6] Simonović V.: Numeričke metode, MF, Beograd, 1989.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

Рябченко С.В., Рыжов Э.В.

ИЗНОС КРУГОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ШЛИФОВАНИИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы исследования процесса шлифования зубчатых колес инструментом из сверхтвердых материалов. Особое место в работе уделено исследованию износа кругов при обработке колес из железуглеродистых и титановых сплавов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технологии изготовления высокоточных зубчатых колес.

ВВЕДЕНИЕ

Качественные характеристики зубьев зубчатых колес, в основном, формируются на операции зубошлифования, является наиболее распространенным и почти единственным методом окончательной обработки колес с высокой твердостью зубьев. Однако при зубошлифовании кругами из электрокорунда и карбида кремния возникают дефекты поверхностного слоя, что на 10-40% снижает прочность зубьев и в 6-8 раз долговечность [1]. В связи с этим безприжоговое зубошлифование осуществляется малопродуктивными режимами, что указывает на необходимость интенсификации процесса за счет использования более совершенного инструментального материала, оптимизации и разработки новых конструкций кругов, обеспечивающих эффективную обработку высокоточных зубчатых колес. Исследованиями, проведенными ранее, были разработаны технологические процессы и шлифовальные круги из кубического нитрида бора (КНБ) позволившие повысить производительность и качество обработки зубчатых колес на станках типа MAAG [2,3,4]. Одной из основных особенностей зубошлифования кругами из КНБ является малое тепловыделение и отсутствие на обработанной поверхности следов прижогов. Учитывая, что при зубошлифовании на станках типа MAAG затраты на круги составляют приблизительно 1%, а на круги из КНБ - 3% стоимости шлифовальной операции, поэтому задача повышения работоспособности кругов является актуальной. Существует несколько способов повышения работоспособности кругов из КНБ. Это нанесение неметаллических покрытий на зерна КНБ, позволяющие повысить прочность удержания зерен связкой круга без увеличения температуры в зоне резания [3].

Рябченко Сергей Васильевич, Рыжов Эдуард Вячеславович,
докт.техн.наук., проф.

Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, г.Киев.

применение более прочных режущих зерен из КНБ [5], шлифование зубчатых колес кругами КНБ на металлических связках с охлаждением на модернизированных станках типа MAAG [6].

Последний способ наиболее предпочтителен так как позволяет создать принципиально новую технологию шлифования высокоточных зубчатых колес шлифовальными кругами из КНБ. Этот способ позволяет решить проблему шлифования зубчатых колес из труднообрабатываемых железоуглеродистых сталей, титановых сплавов, керамических и композиционных материалов. Однако недостаточность предварительных исследований этого процесса, вызвала необходимость представленных исследований, в частности, исследований износа шлифовальных кругов из КНБ на металлических связках при обработке зубчатых колес из железоуглеродистых и титановых сплавов.

МЕТОДИКА

Исследование процессов шлифования зубчатых колес производилось на зубошлифовальном станке мод.5891, производства Московского завода шлифовальных станков. Станок был модернизирован для работы с охлаждением и правкой кругов электроэрозионным методом.

В качестве СОЖ применялся состав, состоящий из нитрата натрия-0,25%, триэтаноламина-60% и воды-99,15%. Установка для подачи СОЖ состояла из бака емкостью 150 л. и насоса марки Х14-22М. Станок был оборудован лотком для сбора охлаждающей жидкости, щитками и экранами для защиты от разбрызгивания. Во время шлифования жидкость подавалась в зону резания зубчатого колеса и шлифовального круга, а в процессе электроэрозионной правки в зону контакта правящей щетки с поверхностью круга, для чего были предусмотрены отдельные сопла с трубопроводами и кранами.

Устройство для электроэрозионной правки кругов было установлено на торце шлифовальной головки модернизированного станка. В качестве источника питания применялся выпрямительный агрегат типа ВАКР-320-18. Шлифовальный круг включается в цепь в качестве анода, а правящая щетка - в качестве катода. Усилие поджима правящей щетки к режущей кромке круга должно быть такой величины, чтобы при правке обеспечивался рабочий ток 10-15 А. Правка производилась при рабочей скорости шлифовального круга, скорость вращения щетки $n=750$ об/мин. Контроль тока в процессе правки осуществлялся амперметром типа М 104 с пределами измерения 0,015 - 30 А.

В процессе исследований определялась мощность шлифования, фактический съем, точность эвольвентного профиля обрабатываемого колеса и износ шлифовального круга.

Износ круга за период стойкости определяется путем измерения снятого с режущей части вращающегося круга слепка (следа), представляющего из себя тонкую стальную пластинку, перемещаемую вдоль оси круга на определенную величину. Износ круга характеризуется двумя параметрами: износом по торцу круга - l и износом по периферии - h . Дальнейшая обработка результатов по износу круга осуществлялась при использовании микроскопа МБС-2 и прибора 5П0-1 (микрофот).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование обработки зубчатых колес (модуль $m=6$ мм, $z=21$ зуб) из стали ХВГ (HRC 59-63) производилось тарельчатыми шлифовальными кругами из кубического нитрида бора на металлической связке (КТ 250x5x3x40 КР125/100 М2-09). Режимы шлифования: $V_{кр}=27$ м/с, глубина шлифования: $t_{чер}=0,05$ мм и $t_{чист}=0,02$ мм, время обката на одном зубе $\tau=5$ с. После первоначальной правки круга производилась обработка зубчатого колеса. Всего было проведено 16 проходов (336 зубьев) с глубиной $t=0,05$ мм и 2-мя выхаживающими проходами. Зависимость размерного износа круга (параметры l и h) от количества прошлифованных зубьев из железоуглеродистых стали ХВГ приведена на рисунке.

Анализ проведенных экспериментов показал, что лимитирующим параметром является размерный износ тарельчатого круга, который практически пропорционален количеству обработанных зубьев без правки. Этот износ определяет точность получаемого зубчатого колеса. Характер изменения износа показывает, что после ускоренного износа круга в течении первого прохода величина его в дальнейшем стабилизируется и мало растет с течением времени шлифования. Характер изменения мощности шлифования показал, что в течении всей обработки мощность резания практически остается на одном уровне. Не изменяется и фактический съем материала, находясь в пределах 0,61-0,5. Это обстоятельство говорит о том, что в процессе шлифования зубчатых колес из железоуглеродистых сплавов круг из сверхтвердых материалов работает в режиме самозатачивания, изменяя при этом только свои геометрические параметры.

Исследование шлифования зубчатых колес ($m=6$ мм, $z=21$ зуб) из титанового сплава ВТ-6 проводилось в тех же условиях обработки, что и зубчатых колес из железоуглеродистых сплавов. Отличительной особенностью являлось применение кругов из алмазов АС15 взамен кубического нитрида бора и ограничением глубины шлифования $t=0,02$ мм. Было проведено 13 проходов (273 зуба). Зависимость размерного износа круга (параметры l и h) от количества прошлифованных зубьев из титанового сплава ВТ-6 приведена на рисунке.

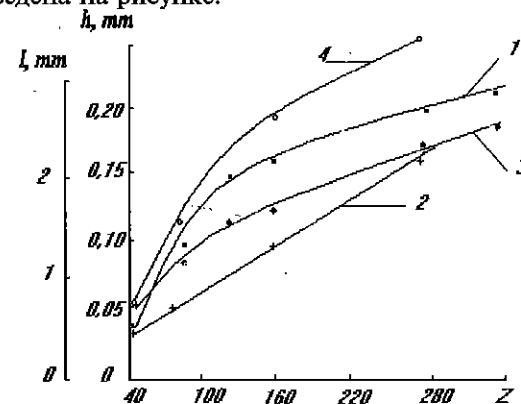


Рис. Влияние числа обработанных зубьев на размерный износ круга при обработке стали ХВГ (1, 2) и титанового сплава ВТ-6 (3, 4):
1- износ по периферии круга (1, 3); h - износ по торцу круга (2, 4).

Анализ результатов показал, что заметного возрастания мощности по мере увеличения износа не происходит (мощность резания составляла 50-60 Вт). Зато изменение фактического съема показывает значительное его уменьшение от 0,5 на первом проходе до 0,27 на 13 проходе. Этим, по-видимому, объясняется то, что мощность резания не увеличивается по мере износа режущей кромки круга, т.к. увеличение площади контакта компенсируется снижением фактической глубины резания. Снижение фактического съема обусловлено также образованием наливов титана на поверхность круга.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что лимитирующим фактором при шлифовании зубчатых колес из титанового сплава кругами из СТМ, является падение режущей способности круга, в отличие от шлифования зубчатых колес из железоуглеродистых сплавов, где лимитирующим фактором является размерный износ круга, влияющий на точностные параметры зубчатого колеса.

Полученные результаты позволяют создать технологический процесс шлифования зубчатых колес инструментами из сверхтвердых материалов, способный значительно повысить качество и долговечность ответственных деталей машин, таких как зубчатые колеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач. - М.: Машиностроение, 1981. - 232с.
2. Лысанов В.С. Высокопроизводительный инструмент из эльбора. - М.: Машиностроение, 1975. - 280 с.
3. Сагарда А.А., Чеповецкий И.Х., Мишнаевский Л.Л. Алмазно-абразивная обработка деталей машин. - Киев: Техника, 1974. - 176 с.
4. T.Bausch. Zahnflankenschleifen mit kubisch - kristallinen Bornitrid/TZ für praktische Metallbearbeitung 1977, 71 #1, s.16-18.
5. Руденко Б.К., Корж Н.Я. Шлифование зубчатых колес кругами из кубического нитрида бора// Сверхтвердые материалы. - 1980. - #3.-С.68-71.
6. Рябченко С.В. Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из сверхтвердых материалов на металлических связках./ Сб. науч.гр.-Получение, свойства сверхтвердых материалов и перспективные технологии их применения. - Киев, 1990. с.116-117.



Рыжов Э.В., Клименко С.А.
**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ, ОБРАБОТАННОГО
ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ СТМ**

АННОТАЦИЯ

В докладе приведены результаты исследования состояния поверхностного слоя наплавленных износостойких покрытий после точения инструментом из поликристаллического сверхтвердого материала киборит. Рассмотрено влияние условий обработки на структуру и упрочнение, параметры напряженно-деформированного и энергетического состояния, химический состав поверхностного слоя покрытия. Показаны корреляционные связи между характеристиками состояния поверхностного слоя.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационные свойства машин и механизмов в большой степени обуславливаются контактным взаимодействием их деталей. Этот процесс тесно связан с состоянием поверхностного слоя деталей, формируемым как при эксплуатационном нагружении, так и в результате технологической обработки, что в большинстве случаев является определяющим. Контактное взаимодействие инструментального и обрабатываемого материалов в процессе резания сопровождается комплексом силовых, тепловых, диффузионных, химических и других явлений. При этом на поверхности изделия формируется определенная совокупность макро-микронеровностей, а в поверхностных слоях обрабатываемого материала происходят процессы упрочнения-разупрочнения, структурно-фазовые превращения и другие явления, приобретающие особое значение при обеспечении долговечности и работоспособности деталей, работающих в условиях контактного нагружения.

Большие возможности по повышению работоспособности машин открывает использование в них деталей с износостойкими покрытиями, получаемыми, например, методами наплавки. В то же время, особенности структуры и повышенные механические свойства покрытий, обуславливая эксплуатационные свойства таких деталей, снижают их обрабатываемость резанием, существенно затрудняют достижение необходимых параметров состояния поверхностного слоя. Применение лезвийного инструмента с рабочей частью из поликристаллических сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора может существенно расширить технологические возможности лезвийной обработки наплавленных деталей машин.

Рыжов Эдуард Вячеславович, профессор, докт. техн. наук,
Клименко Сергей Анатольевич, канд. техн. наук
Институт сверхтвердых материалов им. В.Н.Бакуля НАН Украины, г.Киев

МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В настоящем исследовании изучалось влияние условий течения на состояние поверхностного слоя деталей с покрытиями. В качестве обрабатываемых материалов использовались стали мартенситного класса типа 30X4Г2М (HRC 43-49), 5X4В3МФС (48-50), 35В9Х3СФ (46-50), 25Х5ФМС (HRC 42-46), нанесенные электродуговой наплавкой. Использовались резцы, оснащенные неперетачиваемыми пластинами из поликристаллического сверхтвердого материала на основе кубического нитрида бора - киборита.

Фазовый состав и упрочнение поверхностного слоя оценивались рентгеновским методом. Исследования производились на установке УРС-50-И-М в FeK_{α} -излучении. Регистрировали интервалы углов $2\theta=51-59^\circ$, в котором расположены линии (111). α -фазы и (110). γ -фазы и $105-115^\circ$ с линией (211). α -фазы. Содержание α -фазы (аустенита) в поверхностном слое определяли по формуле Лысака-Хандроса.

Исследования тангенциальных остаточных напряжений I-го рода в поверхностном слое производились по методу Н.Н.Давиденкова. Травление кольцевых образцов выполнялось на специальной установке: позволяющей измерять деформацию до 0,1 мкм.

Деформационно-спектральный метод микромеханических исследований основан на явлениях структурной чувствительности трибоспектральных характеристик, связанных с неоднородностью напряженно-деформированного состояния гетерогенного поверхностного слоя, определяющего спектральный характер формирования сил трения в связи с немонотонным распределением упруго-пластических деформаций через структурные барьеры при контактном взаимодействии. При испытании по этому методу поверхностный слой материала сканировался алмазным индентором в режиме упруго-пластического деформирования и измерялись статистические характеристики сопротивления его движению. Скорость сканирования 2,64 мкм/с, нагрузка на индентор 0,3 Н.

Экзоэлектронная эмиссия как физический процесс представляет собой нестационарную низкотемпературную эмиссию, возникающую с поверхности твердых тел при ее возбуждении. Метод основан на регистрации и анализе параметров эмиссионных токов, возникающих с возбужденной поверхности материалов при низкоэнергетической стимуляции. Интенсивность экзоэлектронной эмиссии после механической обработки характеризует степень деформационного возбуждения микрообъемов поверхности, вызывающего структурные изменения: определяющие физико-химические свойства поверхностного слоя. В настоящем исследовании использовался метод сканирующего светового зонда, позволяющий получить эмиссионные топограммы поверхности. Интенсивность эмиссии электронов измерялась в вакууме 10^{-4} Па, детектор-канальный умножитель ВЭУ-6. Диаметр фотостимулирующего ультрафиолетового зонда - 0,2 мм.

Для установления характера взаимодействия материала режущего инструмента с обрабатываемым использовалась система исследования поверхности ЛАС-3000 (Франция). Энергия электронов в первичном электронном пучке в методе электронной оже-спектроскопии составляла 3 кэВ. Поверхность образцов травилась ионами Ar^+ с энергией 3 кэВ. При исследовании методом вторичной ионной масс-спектрометрии (SIMS) использовался квадрупольный масс-спектрометр, а в качестве источника ионов - дуоплазматрон. Для формирования первичного пучка ионов применялся кислород энергией ионов O_2^+ 10 кэВ.

Оценка взаимосвязи между различными параметрами состояния поверхностного слоя производилась корреляционным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе резания в поверхностных слоях обрабатываемых покрытий происходят структурно-фазовые превращения, приводящие к изменению их упрочненного состояния по сравнению с внутренними слоями материала. В результате пластического деформирования в материале изменяются характеристики субструктуры: измельчаются области когерентного рассеивания и возникает дезориентированная микродеформация, возрастает плотность дислокаций, что можно установить по величине интегральной рентгеновской линии, которая является характеристикой деформационного наклепа и упрочнения обработанного материала. Исследования (рис.1) проведенные при точении слоев, наплавленных материалами мартенситного класса, твердостью HRC 45...55, показали, что при обработке со скоростью резания до 1,5 м/с происходит некоторое уширение линий (110) и (211). γ и α -фазы. Этим же скоростям резания соответствует снижение количества остаточного аустенита в обработанной поверхности. Дальнейшее увеличение скорости резания приводит к увеличению температуры в зоне обработки, что способствует появлению элементов разупрочнения поверхностного слоя, проявляющихся в росте количества остаточного аустенита. Наблюдается тенденция к снятию микроискажений решетки, являющихся следствием пластического деформирования при резании.

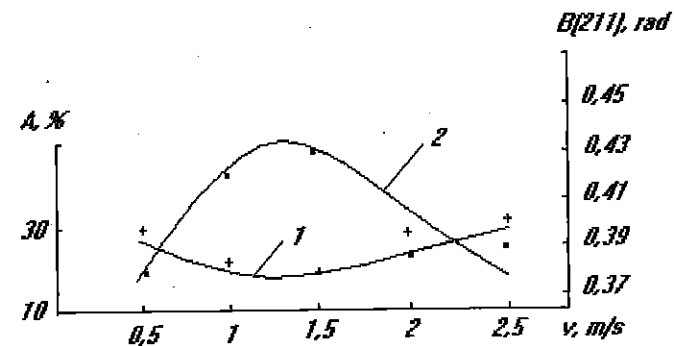


Рис.1 Влияние скорости резания на структуру (1) и упрочнение (2) поверхностного слоя покрытия.

Упрочнение наплавленного поверхностного слоя тесно связано с его напряженным состоянием. В процессе наплавки в поверхностном слое формируются существенные напряжения растяжения, достигающие, в ряде случаев, на поверхности предела текучести и предела прочности наплавленного материала. Это оказывает значительное влияние на результирующую картину распределения остаточных напряжений I рода в поверхностном слое. Указанное проявляется прежде всего в том, что и после обработки точением инструментом из киборита в поверхностном слое наблюдаются значительные остаточные напряжения растяжения. Резкое возрастание величины напряжений до максимума происходит в очень тонком слое - 2...3 мкм. В целом обработка наплавленных материалов точением резцами из киборита существенно снижает величину остаточных напряжений растяжения, имевшихся в поверхностном слое после процесса наплавки. Увеличение скорости резания и подачи приводит к росту величины максимальных остаточных напряжений растяжения, при этом глубина залегания наиболее напряженного слоя практически не меняется. Таким образом, перепад

напряжений в поверхностном слое толщиной 2...5 мкм еще более возрастает. В тончайшем поверхностном слое 1...3 мкм имеется тенденция к формированию сжимающих или резкому снижению растягивающих остаточных напряжений. Наибольшее влияние на формирование и распределение остаточных напряжений I-го рода в наплавленном поверхностном слое после обработки точением имеет скорость резания.

Влияние скорости резания на процесс формирования остаточных напряжений объясняется изменением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью инструмента с ростом скорости резания. Увеличение скорости резания уменьшает коэффициент трения, а также приводит к повышению температуры в зоне обработки. Это способствует снижению напряжений в зоне стружкообразования, облегчает процесс обтекания материалом поверхностного слоя режущих элементов резца и, в результате, формируются большие растягивающие напряжения и они захватывают более узкую зону под обработанной поверхностью. Величина сжимающих напряжений в первой зоне также снижается.

Действие подачи объясняется увеличением течения металла из зоны деформации в сторону задней поверхности резца. Влияние глубины резания на формирование остаточных напряжений менее значительно чем влияние скорости резания и подачи. Ее увеличение затрудняет обтекание обрабатываемым материалом режущих элементов инструмента, что способствует снижению максимальных остаточных напряжений растяжения. Однако, с ростом скорости резания выделяется дополнительное количество тепла, снижаются силы резания и трения, что приводит к увеличению растягивающих напряжений. В связи с тем, что глубина резания влияет на формирование напряжений слабее, чем скорость резания, их суммарное действие проявляется в некотором увеличении максимальных растягивающих напряжений.

Увеличение радиуса при вершине резца способствует уменьшению отношения толщины стружки к ее ширине и действует в направлении снижения растягивающих напряжений. В то же время ширина зоны залегания растягивающих напряжений по глубине поверхностного слоя несколько увеличивается.

Известно, что структурно-энергетические особенности поверхностного слоя определяются накоплением в нем структурных микрповреждений. Упрочнение материалов в процессе деформирования происходит в результате размножения, движения и торможения дислокаций. При этом отдельные их скопления и петли, границы зерен, кристаллитов и фрагментов являются локальными преградами движению дислокаций.

Большей степени деформации поверхностного слоя соответствует большая плотность дислокаций. При этом происходит выход дислокаций на поверхность, дробление блоков и зерен, искажается микрорешетка и изменяется уровень микронапряжений в поверхностном слое, т.е. увеличивается количество дефектов на поверхности. Перераспределяется электронная плотность и вблизи дефектов повышается уровень Ферми и, следовательно, снижается работа выхода электронов.

Из наблюдения дислокационной структуры материала можно сделать вывод о неоднородном характере пластического течения при резании. Это проявляется в локализации деформации в полосах скольжения, одновременности ее начала в различных зернах и блоках, скоплениях дислокаций и т.д. В результате появляются колебания сил резания, температуры, усадки стружки и формируется поверхностный слой с нестабильными прочностными характеристиками.

По этой причине представляет интерес комплексная проверка структурного и энергетического состояния поверхностного слоя покрытия и оценка влияния на него условий обработки.

Такую оценку можно произвести с помощью деформационно-спектрального метода микромеханических испытаний и исследования экзоэлектронной эмиссии с обработанной поверхности.

На рис.2 представлен график спектральной плотности силы контактного взаимодействия индентора с исследуемой поверхностью при испытании наплавленного образца (покрытие 5X4B3MFC) после обработки точением.

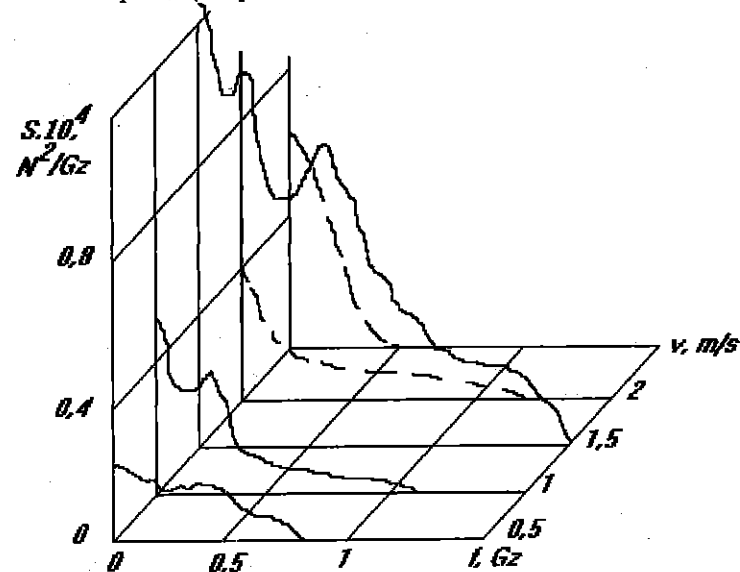


Рис.2 Результаты деформационно-спектрального анализа поверхностного слоя наплавки после точения.

В целом характер влияния скорости резания имеет несколько участков. На первом участке с увеличением скорости резания в поверхностном слое происходит постепенный рост уровня искажения микрорешетки и уменьшаются размеры блочной структуры. Энергия контактного взаимодействия, оцениваемая максимальным значением энергетической спектральной плотности силы контактного взаимодействия, повышается. Наблюдается интенсивное повышение прочности поверхностного слоя, увеличение дисперсии прочностных и деформационных свойств поверхностного слоя. В поверхностном слое формируются крупные однородные области, в которых микронапряжения достигают максимальных для данной обработки значений. При этом величина интенсивности экзотока несколько снижается, что, вероятно, связано с действием сжимающих напряжений в первом горизонте поверхностного слоя, мешающих выходу дислокаций на поверхность. Величина энергетической неоднородности поверхностного слоя возрастает.

На втором участке дальнейшее ужесточение режима обработки связано с разрушением образовавшегося структурного состояния. Этому соответствует увеличение плотности дислокаций в поверхностном слое и, следовательно, рост интенсивности эмиссионного тока и снижение эмиссионной неоднородности.

При дальнейшем увеличении скорости резания может наблюдаться некоторое увеличение силы контактного взаимодействия индентора с исследуемым поверхностным слоем и срединной частотной составляющей спектра энергетической спектральной плотности распределения этой силы, что связано с ростом блоков и зерен вследствие значительной температуры в зоне обработки. При этом, из-за увеличения толщины окисной пленки, снижается интенсивность экзотока с обработанной поверхности.

Исследования, проведенные методом оже-спектроскопии и вторичной ионной масс-спектрометрии показали, что в оже-спектрах обработанных поверхностей после контактирования с киборитом присутствуют линии, соответствующие матричным элементам поликристалла - BN, а спектры вторичных ионов имеют пики, соответствующие ионам соединений типа BN^+ , MeO^+ , MeC^+ , MeB^+ , MeN^+ . При обработке покрытия, содержащего титан, в спектре масс отрицательных вторичных ионов поверхности покрытия присутствуют пики, соответствующие TiB^- , TiN^- , TiB_2^- , TiN_2^- .

Различные соединения, образовавшиеся на обработанной поверхности, распределены по ней неравномерно, что связано с неоднородностью покрытия по химическому составу.

ВЫВОДЫ

Исследования показывают достаточно тесную связь между характеристиками неоднородности свойств поверхностного слоя покрытия после обработки резанием - срединной частотой спектра распределения силы контактного взаимодействия, дисперсией силы контактного взаимодействия и эмиссионной неоднородностью, а также между параметрами упрочнения - средней величиной силы контактного взаимодействия и интенсивностью экзотока.

Полученные данные показывают наличие тесной связи между параметрами состояния и неоднородностью поверхностного слоя с количеством остаточного аустенита на обработанной поверхности.

Анализ результатов исследований показывает, что на параметры однородности поверхности наибольшее влияние оказывают величина подачи и скорость резания. Величина упрочнения и энергетического возбуждения поверхности определяются, в основном, сочетанием подачи, глубины и скорости резания и, в меньшей степени, самими параметрами режима резания. Геометрические параметры инструмента - главный угол в плане реза и радиус при вершине, оказывают существенно меньшее влияние на характеристики деформационного и энергетического состояния поверхностного слоя покрытий и его однородность.

Наряду с изменением структуры поверхностного слоя при точении происходят химические превращения на обработанной поверхности. Химический состав вновь образующихся соединений определяется составом контактирующих материалов и окружающей среды.

Известно, что химические соединения металлов с азотом, бором обладают повышенной твердостью, прочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью и т.д. Таким образом, обработка деталей с покрытиями резами из поликристаллов на основе КНБ способствует повышению их эксплуатационных свойств за счет образования на поверхности новых химических соединений.

Управляя приведенным выше комплексом параметров состояния поверхностного слоя можно достаточно эффективно влиять на качество и эксплуатационные свойства, в частности износостойкость деталей с покрытиями.



S. Sekulić, S. Bogičević, S. Dudić*

O MOGUĆNOSTI PRIMENE POLINOMALNE FUNKCIJE RASPODELENA PRIMERU REZNOG ALATA

Rezime

U radu je izložena primena programskog paketa "Mathematica 2.2", koji omogućuje određivanje koeficijenata u polinomima različitog stepena kao i njihov grafički prikaz. Analiza grafika ukazuje na neprikladnost primene polinomalne raspodele kod tipičnih stohastičkih procesa kakav je proces rezanja.

1.0 UVOD

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, jer 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.

Tako se može reći da postojanost alata predstavlja srednje zbirno vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja, definisanog merodavnim kriterijumima habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima, predstavlja srednje zbirno vreme rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog može se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada manje od postojanosti alata.

2.0 ODREĐIVANJE SREDNJE VREDNOSTI POSTOJANOSTI ODNOSNO SREDNJEG VREMENA BEZOTKAZNOG RADA ALATA

Stanje reznog alata može se opisati prostom funkcijom stanja

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{alat u radu} \\ 0 & \text{alat u otkazu} \end{cases}$$

Vreme do otkaza nije konstantno, već predstavlja slučajnu veličinu koju možemo prognozirati ako znamo parametre funkcije raspodele otkaza.

Funkcije raspodele otkaza reznog alata određuju se na osnovu praćenja otkaza alata u vremenu.

Kao što je poznato statistički reprezentativan uzorak treba da ima preko 50 podataka ($N > 50$).

* Prof. Dr Sava Sekulić, dipl. ing.; Sava Bogičević, dipl. ing., asistent; Slobodan Dudić, dipl. ing., asistent; FTN-Institut za Industrijske Sisteme; Trg D. Obradovića 6; 21000 Novi Sad.

Obrada ovako prikupljenih podataka zahteva znatan utrošak vremena ili posedovanje računara i razvijene odgovarajuće programe za njihovu obradu.

U maloserijskoj proizvodnji, kao i pri hitnim potrebama, parametre funkcije raspodele otkaza treba odrediti na osnovu praćenja u kraćem periodu vremena, odn. na osnovu malog broja podataka o otkazima, što predstavlja nedovoljno reprezentativan uzorak ($N \leq 50$), jer ne postoje uslovi za realizovanje predhodno napomenute procedure koja se odnosi na reprezentativan uzorak.

U ovakvim slučajevima dovoljno je u toku tekuće proizvodnje, obaviti snimanje krivih habanja (minimum 5-6). Sa krivih $b = f(t)$ odn. $b = f(z)$ (gde je z broj obrađenih obradaka na posmatranoj operaciji, tj. $t = kz$ i $k = const.$), za usvojeni kriterijum $b = B$, određuju se pripadajuće postojanosti.

Parametri raspodele otkaza alata mogu se odrediti grafoanalitički ili čisto grafičkim postupkom.

Hipoteza o raspodeli se prihvata ukoliko su, za celu populaciju, odstupanja svih tačaka, manja od kritične vrednosti (daju se tablično u zavisnosti od veličine uzorka N i nivoa poverenja α), koji obrazuje interval poverenja.

Kada su poznati parametri funkcije raspodele otkaza $F(t)$, mogu se odrediti: pouzdanost $R(t)$, frekvencija $f(t)$, intezitet otkaza $\lambda(t)$ i srednje vreme bezotkaznog rada T_{sr} .

3.0 IZBOR FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

Literaturni izvori ukazuju da se kao funkcija raspodele otkaza reznog alata najčešće koristi Weibull-ova raspodela međutim, u prvim radovima vezanim sa pouzdanost alata primenjivana je normalna raspodela [1]. U pojedinim radovima sreću se i eksponencijalna, log-normalna, gama i Poasonova raspodela [2].

U dosadašnjem višegodišnjem radu na problematici vezanoj za primenu pouzdanosti reznog alata autori ovog rada su, kao dovoljno opštu, redovno primenjivali Weibull-ovu raspodelu, obzirom da je u pitanju tehnički sistem i da je raspodela frekvenci najčešće bila simetrična.

Da bi se problematika izbora funkcije raspodele otkaza izvršila sa širih stanovišta iz značajne dadoteke o otkazima alata odabrano je više serija podataka, koji su obrađene primenom programskog paketa "Curvefit", koji omogućuje određivanje konstanti u 25 različitih matematičkih modela, pri čemu izlaz "Bestfit" daje 18 prvorangovanih jednačina, na osnovu koeficijenta korelacije (ili manje ukoliko je $r^2 < 0,1$) [5].

U cilju unifikacije prilaza obrade podataka u ovom radu se istražuje mogućnost primene polinomnog oblika jedinstvene funkcije

$$F(t) = Ax + Bx^2 + Cx^3 + \dots + Sx^i + \dots + Yx^{n-1} + Zx^n$$

uz primenu programskog paketa "Mathematica 2.2" pri čemu su razmatrani polinomi od 2-og do 10-og stepena.

4.0 USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISPITIVANJIMA

Ekperimentalna ispitivanja obuhvatila su podatke jedanaest serija opita

- šest serija opita sadrže šest pozicija obrade na automatskoj blok liniji za obradu klipova motora sa unutrašnjim sagorevanjem (prva serija, pozicija KS-1, veličina uzorka $N_1 = 39$, druga serija; KS-2; $N_2 = 40$, treća serija; KS-3; $N_3 = 46$, četvrta serija; KS-4; $N_4 = 43$, peta serija; KS-5; $N_5 = 40$ i šesta serija; KS-6; $N_6 = 50$) [3,5],
- sedma serija odnosi se na poziciju uzdužna obrada kopiranjem, ostvarena na fleksibilnoj liniji obrade, veličina uzorka $N = 6$ [5],

- osma serija opita odnosi se na operaciju predhodne obrade otvora u ušici klipa, veličina uzorka $N = 11$ [5],
- deveta serija opita odnosi se na operaciju urezivanja navoja u navrtku M16 na uzorku $N = 28$ [5],
- deseta serija opita odnosi se na operaciju struganje (spoljašnje, uzdužno), veličine uzorka $N = 25$ [5],
- jedanaesta serija opita na automatskoj blok liniji za obradu klipova motora sa unutrašnjim sagorevanjem na poziciji KS-5, struganje (usecanje kanala za klipne prstenove), veličina uzorka $N = 57$ [4,5].

Primer:

Prikaz analitičkih i grafičkih zavisnosti funkcije raspodele reznog alata u polinomnom obliku daje se ovde samo za operaciju usecanja žljebova za prstenove na klipu, koja se izvodi na automatskoj blok liniji obrade.

Materijal klipa bila je legura AlSi12CuNiMg. Prečnik klipa iznosio je 62.2 mm, a širina kanala 4.0 odnosno 2.0 mm, pri čemu su tolerancije izrade kanala 0.015 mm, alata 0.002 mm, a dozvoljeno habanje tj. smanjenje širine noža 0.013-0.015 mm. Komplet alata za usecanje predstavljao je prethodno podešeni "blok alata" sa pločicom od tvrdog metala kvaliteta K10 (grudni ugao $\gamma = 20^\circ$ i ledni ugao $\alpha = 10^\circ$).

Režim obrade: brzina rezanja $v = 3.58$ m/s ($n = 1100$ o/min) i pomak $s = 0.06$ mm/o.

Kriterijum zatupljenja bio je tehnološki vezan za tolerancije izrade širine žljebova.

Posmatranje otkaza alata vršeno je u vremenskom intervalu od tri i po meseca. Do otkaza pojedinih alata dolazilo je posle:

164.0	191.0	100.5	168.5	91.5	183.5	168.5	183.5	200.0	176.0
176.0	183.5	164.0	191.0	210.0	160.0	91.5	164.0	45.5	219.0
110.0	148.0	110.0	183.5	121.0	168.5	183.5	153.5	191.0	100.5
191.0	226.0	121.0	183.5	200.0	91.5	110.0	168.5	121.0	
82.5	153.5	176.0	191.0	127.5	96.0	176.0	200.0	82.5	
153.5	200.0	164.0	210.0	168.5	205.5	168.5	205.5	176.0	

Uzorak veličine $n = 57$ vrednosti vremena otkaza alat. Svrstan je u $z = 10$ intervala (tablica T.1). Tablica sadrži granice intervala, t_{min} i t_{max} srednju vrednost intervala t_{sr} , frekvenciju otkaza, kumulativnu frekvenciju i vrednostima funkcije raspodele $F(t)$.

i	t_{min}	t_{sr}	t_{max}	$f(t)$	$f(t)_k$	$F(t)$
1.	40	50	60	1	1	0.01754
2.	60	70	80	0	1	0.01754
3.	80	90	100	6	7	0.12281
4.	100	110	120	5	12	0.21053
5.	120	130	140	4	16	0.2807
6.	140	150	160	4	20	0.35088
7.	160	170	180	16	36	0.63158
8.	180	190	200	11	47	0.82456
9.	200	210	220	9	56	0.98246
10.	220	230	240	1	57	1

Tablica T. 1.

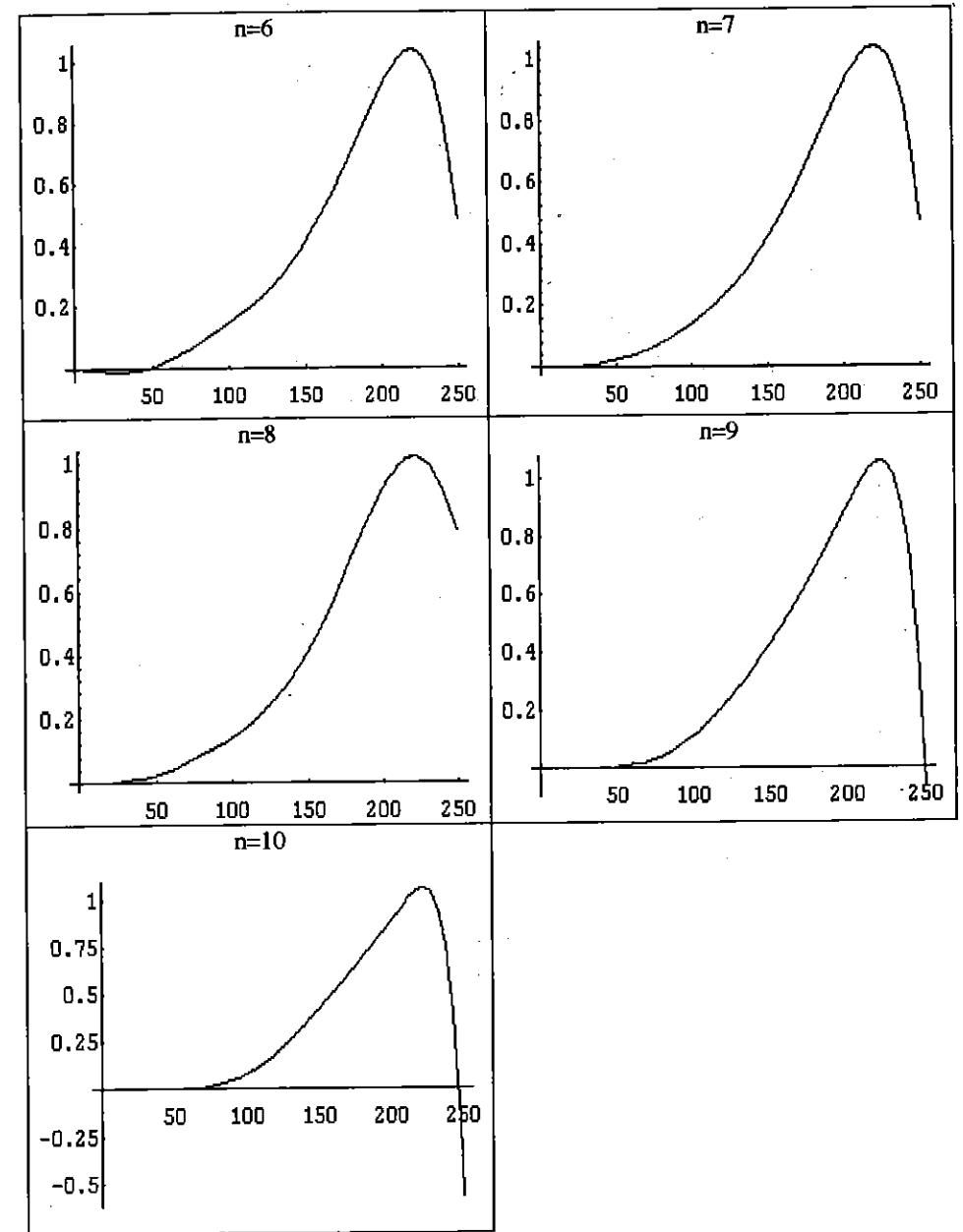
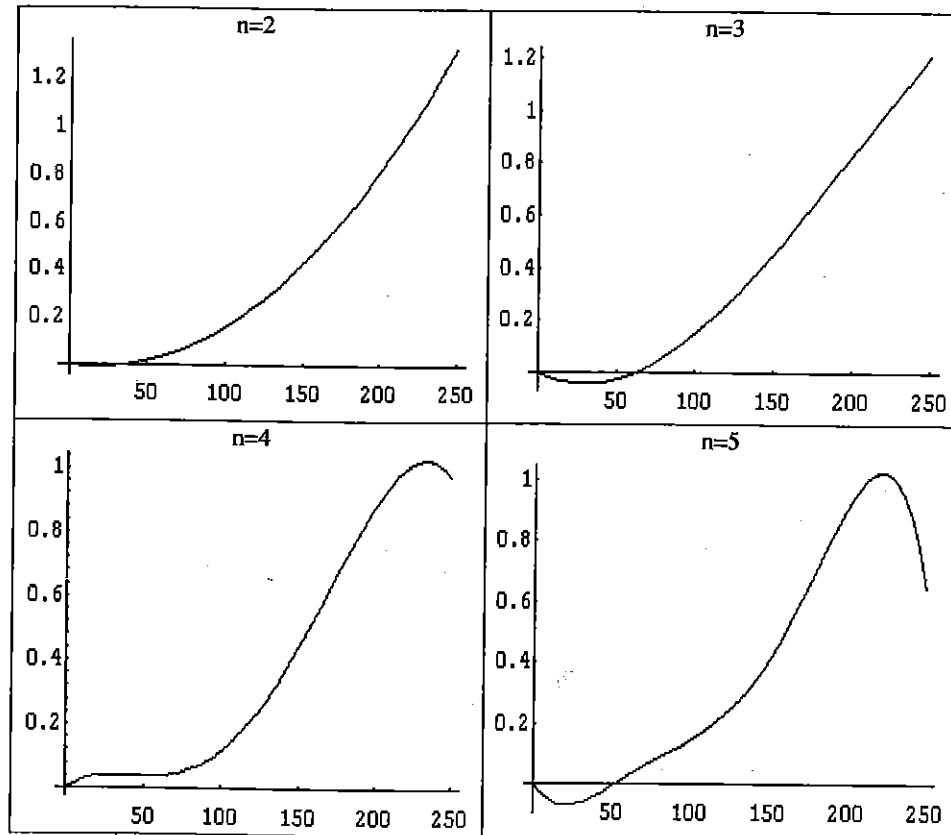
Polinomni oblik funkcije raspodele zatražen je za vrednosti t_{sr} $F(t) = F(t_{sr})$.

$$F(t) = a_1 t_{sr} + a_2 t_{sr}^2 + \dots + a_n t_{sr}^n \quad \text{ili} \quad F(t) = \sum_{i=1}^n a_i t_{sr}^i$$

Za polinome stepena $n=2,3,\dots,10$ polinomi su dati u tablici T. 2, a grafički prikaz na slici Sl.1.

Stepen polinoma	OBLIK POLINOMA
$n=2$	$F(t) = -0.00088019 t + 0.0000248754 t^2$
$n=3$	$F(t) = -0.00293688 t + 0.0000528814 t^2 - 8.662 \cdot 10^{-9} t^3$
$n=4$	$F(t) = 0.00347175 t + 0.0000969281 t^2 - 9.65468 \cdot 10^{-7} t^3 - 2.28576 \cdot 10^{-9} t^4$
$n=5$	$F(t) = -0.00803996 t + 0.000291528 t^2 - 3.49953 \cdot 10^{-6} t^3 + 1.88909 \cdot 10^{-8} t^4 - 3.55179 \cdot 10^{-11} t^5$
$n=6$	$F(t) = -2.4384 \cdot 10^{-6} t - 0.0000577241 t^2 - 2.10323 \cdot 10^{-6} t^3 - 2.31761 \cdot 10^{-8} t^4 + 1.13987 \cdot 10^{-10} t^5 - 2.02994 \cdot 10^{-13} t^6$
$n=7$	$F(t) = 1.1614 \cdot 10^{-10} t + 4.73667 \cdot 10^{-9} t^2 + 1.23377 \cdot 10^{-7} t^3 + 2.50894 \cdot 10^{-9} t^4 - 4.54068 \cdot 10^{-11} t^5 + 2.7404 \cdot 10^{-13} t^6 - 5.54184 \cdot 10^{-16} t^7$
$n=8$	$F(t) = 0.0 t + 8.58266 \cdot 10^{-12} t^2 + 1.15142 \cdot 10^{-8} t^3 - 2.1985 \cdot 10^{-10} t^4 + 1.7 \cdot 10^{-12} t^5 - 5.83137 \cdot 10^{-15} t^6 + 7.2993 \cdot 10^{-18} t^8$
$n=9$	$F(t) = 0.0 t + 6.50419 \cdot 10^{-21} t^2 + 2.19939 \cdot 10^{-18} t^3 + 1.81479 \cdot 10^{-16} t^4 + 1.22918 \cdot 10^{-14} t^5 + 5.31843 \cdot 10^{-13} t^6 - 6.88001 \cdot 10^{-15} t^7 + 3.12609 \cdot 10^{-17} t^8 - 4.90233 \cdot 10^{-20} t^9$
$n=10$	$F(t) = 0.0 t + 8.16001 \cdot 10^{-22} t^2 + 1.7212 \cdot 10^{-22} t^3 + 1.66016 \cdot 10^{-20} t^4 + 1.43075 \cdot 10^{-18} t^5 + 1.00524 \cdot 10^{-16} t^6 + 4.4872 \cdot 10^{-15} t^7 - 5.8772110 \cdot 10^{-17} t^8 + 2.64558 \cdot 10^{-19} t^9 - 4.0567710 \cdot 10^{-22} t^{10}$

Tablica T. 2.



Slika 1.

5.0 ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

Program "Mathematica 2.2" omogućuje da se na osnovu ulaznih podataka za unapred zadan stepen odrede koeficijenti polinoma, grafički prikažu eksperimentalne tačke i regresione krive polazeći od nižeg ka polinomnu višeg reda.

Posmatrajući grafike možemo zaključiti da sa porastom stepena polinoma dobijamo bolju aproksimaciju, ali moramo na žalost zaključiti, da se za proces rezanja, koji je tipično stohastički proces, gubi smisao primene polinomalne raspodele bilo kog stepena.

6.0 ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

- da se polinomalni oblik raspodele otkaza reznog alata ne može uspešno prikazati
- u cilju određivanja funkcije raspodele otkaza, odn. pouzdanosti reznog alata, korisno je primeniti programski paket "Curvefit", ali
- ukoliko prvo u rang funkciji raspodele, pripada nedovoljno visok koeficijent korelacije, preporučuju se poznate metodologije obrade podataka, koje se odnose na Weibull-ovu raspodelu.

7.0 LITERATURA

- [1] Kacev, P. G., Statističke metode istraživanja rezućeg instrumenta, Mašinstvo, Moskva, 1968.
- [2] Ramaligam, S, Watson, J. D., Tool-life distribution, Part 1: Single-injury tool-life model, Trans. ASME, 1977, B99, No 3, 519 - 522. Part 2. Tool-life model with failure after dulling.
- [3] Sekulić, S., Troškovi alata i ukupni troškovi obrade u funkciji pouzdanosti alata kod protočnih automatizovanih linija, Tribologija u industriji, 1, 16-23, 1979.
- [4] Sekulić, S., Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti i otkazima alata u proizvodnim uslovima i njihova obrada, Zbornik radova 20. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Proizvodne tehnologije, maj 1986., Beograd, 51 - 58, 1986.
- [5] Sekulić, S., Funkcija raspodele otkaza reznog alata, Zbornik radova 25. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije sa međunarodnim učesćem, sept. 1994., Beograd 1994., p.p. 57-62.

S. Sekulić, S. Bogičević, S. Dudić*

AN APPLICATION POSSIBILITIES OF POLYNOMIAL DISTRIBUTION FUNCTION OF FAILURES ON EXAMPLE OF CUTTING TOOLS

Summary

The paper points out the application of the programming support "Mathematica 2.2 for windows", which enables determination of coefficients of polynomials with different potentions and with their graphical presentations. Analysis of graphics points to unapplication of polynomial distribution with typical stochastic processes as the metal cutting process.



Prof. dr Sava Sekulić, Ratko Dakić, dipl. maš. inž., Mr Nikola Radaković

PRIKAZ PROGRAMSKOG REŠENJA ZA UNUTRAŠNJU OPTIMIZACIJU PROCESA CILINDRIČNOG SPOLJAŠNJEG BRUŠENJA METODOM SIMULACIJE

REZIME: U radu je prikazano programsko rešenje za unutrašnju optimizaciju procesa spoljašnjeg cilindričnog brušenja primenom metode simulacije. Težište ovog rada je na definisanju strukture podataka koja je neophodna za rešavanje problema optimizacije. Pored toga razmatrane su i mogućnosti za proširenje osnovnog programa sa optimizacijom drugih obradnih procesa koristeći metodu simulacije.

1. UVOD

Proces optimizacije primenom metoda simulacije, je poznat i priznat metod koji je već opisan u brojnim radovima [1, 2, 3], i zbog svoje strukture, predstavlja interesantno područje za automatizaciju primenom računara.

U ovom radu, autori su pokušali da automatizuju proces optimizacije obrade spoljašnjim cilindričnim brušenjem korišćenjem metoda simulacije. Metod simulacije u osnovi predstavlja postupak pretraživanja funkcije cilja u određenim tačkama matematičkog modela uzimajući u obzir funkcije ograničenja.

Najčešća funkcija cilja pri optimizaciji su troškovi obrade. Troškovi obrade su vezani za elemente režima rada, vreme obrade i postojanost alata i time utiču na ukupnu cenu koštanja proizvoda. Pored toga i druge funkcije cilja imaju svoje opravdanje.

Smanjenje cene koštanja proizvoda u velikoj meri utiče na konkurentnost na tržištu, stoga je od interesa pronaći vrednosti elemenata režima rada, vremena obrade, i postojanosti alata, za koje su troškovi obrade minimalni.

Ako između određenih parametara koji karakterišu neki proces uspostavimo korelaciju vezu, to znajući dimenzione promene pojedinih parametara možemo odrediti optimalne veličine tako da iz svih realnih i raspoloživih vrednosti, u zavisnosti od postavljene funkcije cilja optimizacije, odaberemo one ulazne veličine koje je zadovoljavaju. I kod metode simulacije, broj variranja se smanjuje uvođenjem svih ograničenja. U realnim uslovima je broj simulacija vrlo veliki, tako da se one mogu efikasno provesti samo uz primenu računara. Ova metoda danas je jedna od najviše korišćenih jer se direktno koriste osnovni, a ne izvedeni matematički modeli koji su redovno jednostavniji. Simulacioni postupak za unutrašnju optimizaciju, odnosno, određivanje režima obrade, našao je primenu kod svih osnovnih vrsta obrade.

2. POSTAVKA PROBLEMA

Osnovni cilj matematičkih metoda optimizacije sastoji se u određivanju ekstremnih vrednosti funkcije cilja u matematičkom modelu. Unutrašnja tehnokonomska optimizacija obradnog procesa odnosi se direktno na optimizaciju vektora elemenata režima rezanja i uslova obrade.

* Prof. dr Sava Sekulić, Ratko Dakić, mr Nikola Radaković, FTN - Institut za inžinierske sisteme, Trg Dositeja Obradovića 7, Novi Sad

Dovođenjem kriterijuma optimizacije, kojima se iskazuju ključni proizvodni efekti, a takođe i funkcija ograničenja - kojima se ograničava dopušteni domen promene ulaznih veličina, u funkcionalnu vezu sa skupom ulaznih upravljačkih i drugih navedenih veličina, dobija se matematički model optimizacije determinističkog obradnog procesa. Model optimizacije obradnog procesa čine:

- Funkcija cilja ili kriterijum optimizacije,
- Funkcije stanja,
- Funkcije ograničenja.

U radu su, za potrebe ilustrovanja optimizacije obrade spoljašnjim cilindričnim brušenjem metodom simulacije, kao reprezentivne funkcije cilja ili kriterijuma optimizacije definisane tri veličine:

- Maksimalna proizvodnost, i u okviru nje minimalno komadno vreme;
- Minimum ukupnih troškova;
- Minimum ukupnih troškova po jedinici vremena obrade.

Maksimalna proizvodnost.

Uzevši u obzir da proizvodnost predstavlja količinu obradaka u jedinici vremena tada je /1/:

$$q_{max} = \frac{1}{t_{kmin}}$$

gde je t_{kmin} minimalno komadno vreme. Komadno vreme se određuje prema formuli /1/:

$$t_k = \frac{\Delta L k}{2\delta_1 s_a n_p} \left(1 + \frac{t_z}{T}\right) + B \quad (1)$$

gde je:

- Δ - ukupni dodatak za obradu,
- L - dužina obrade,
- k - koeficijent trošenja tocila,
- δ_1 - dubina rezanja u jednom prolazu,
- n_p - broj obrtaja predmeta rada,
- t_z - vreme zamene alata,
- T - postojanost alata
- B - suma neefektivnih vremena.

Minimum ukupnih troškova

Ukupni troškovi obrade se izračunavaju prema formuli /1/:

$$U_0 = E \left[B + \frac{\Delta L k}{2\delta_1 s_a n_p} \left(1 + \frac{H}{T}\right) \right] \quad (2)$$

gde je:

- E - faktor koji uzima u obzir cenu i amortizaciju mašine, i
- H - faktor koji uzima u obzir troškove radne snage i alata.

Minimum ukupnih troškova po jedinici vremena obrade

Ukupni troškovi svedeni na jedinicu vremena obrade predstavljaju odnos ukupnih troškova i vremena da se obradi jedan komad. Izračunavaju se prema formuli:

$$U_{01} = \frac{U_0}{t_k} \quad (3)$$

Funkcije stanja, zavisno od predmeta optimizacije, predstavljaju one veličine koje povezuju ulazne veličine procesa sa nekim interesantnim izlaznim parametrima ili su to okruženja koja obezbeđuju odvijanje procesa /4/.

U posmatranom problemu optimizacije cilindričnog spoljašnjeg brušenja, funkcije stanja su:

- Postojanost tocila

$$T = C_T \delta_1^x s_a^y v_p^z \quad (4)$$

gde su C_T, x, y, z empirijski faktori koji se određuju u zavisnosti $T = f(\delta_1, s_a, v_p)$ /5/.

- Hrapavost obrađene površine

$$R_a = C_2 \delta_1^{x_2} s_a^{y_2} v_p^{z_2} \quad (5)$$

gde su C_2, x_2, y_2, z_2 empirijski faktori koji se određuju u zavisnosti $R_a = f(\delta_1, s_a, v_p)$ /6/.

Funkcije ograničenja su predstavljena tehničkim, tehnološkim, ekonomskim i drugim ograničenjima obradnog sistema ili procesa.

U posmatranom problemu optimizacije cilindričnog spoljašnjeg brušenja, funkcije ograničenja su vezana za:

- dubinu rezanja u jednom prolazu,
- broj obrtaja radnog predmeta,
- aksijalni pomak,
- potrebnu snagu mašine,
- hrapavost obrađene površine, i
- deformaciju radnog predmeta.

Najveći deo ograničenja se odnose na konstrukciono tehnološke mogućnosti mašine alatke i ekstremne vrednosti ograničenja se uzimaju prema katalogima proizvođača (maksimalna snaga mašine, minimalna i maksimalna brzina radnog stola,...). Preostala ograničenja predstavljaju tehnološka ograničenja i zavise od vrste obrade.

Metod simulacije predviđa sukcesivno izračunavanje veličina koje su opisane matematičkim modelom optimizacije procesa uvažavajući vrednosti funkcije ograničenja. Za konkretan slučaj brušenja, u zavisnosti od maksimalnog broja prolaza, variraju se dubina rezanja u jednom prolazu (δ_1), aksijalni pomak (s_a) i brzina radnog predmeta (v_p) u granicama maksimalnog broja prolaza i koeficijenta trošenja tocila K_j .

Uzevši da je maksimalni broj prolaza $n \leq 25$, to se u koracima $i = 1, \dots, n$ viši izračunavanje funkcija cilja. Elementi optimizacije se sukcesivno izračunavaju prema formulama datim u nastavku, uzevši u obzir funkcije ograničenja:

- dubina rezanja u jednom prolazu

$$\delta_{1min} \leq \frac{\Delta}{2i} \leq \delta_{1max}; i = 1, \dots, n \quad (6)$$

- obimna brzina radnog predmeta

$$v_{pi} = \frac{C}{\delta_{1i} (D_p \pm D_t)}; n_{pmin} \leq \frac{v_{pi}}{\pi D_p} \leq n_{pmax} \quad (7)$$

- aksijalni pomak

$$s_{aj} = K_j B_t \quad (8)$$

$$K < 1; K_{min} < K_j < K_{max}; s_{amin} \Rightarrow j=1; s_{amax} \Rightarrow j=m$$

$v_{amin} \leq s_{aj} n_{pi} \leq v_{amax}$
 - snaga potrebna za obradu brušenjem

$$P_{ij} = C_p \delta_{li}^{xp} s_{aj}^{yp} v_{pi}^{zp} D_p^{qp} \quad (9)$$

- hrapavost obrađene površine

$$R_{aij} = C_2 \delta_{li}^{x2} s_{aj}^{y2} v_{pi}^{z2} \quad (10)$$

- deformacija obratka

$$f_{maxij} = \mu k_r 16,68 * 10^6 \left(\frac{\delta_{li} v_{pi} s_{aj}}{v_i} \right)^{0,65} HB^{0,167} \frac{l^3}{EI} \quad (11)$$

$$f_{maxij} \leq cH$$

3. PRIKAZ PROGRAMSKOG REŠENJA

Prilikom razvoja automatizovanog postupka optimizacije procesa cilindričnog spoljašnjeg brušenja metodom simulacije, razvijen je modul za obuhvat podataka (podaci o materijalima, alatima, mašinama, vremenima, konstantama,...) relevantnih za navedeni proces. Takođe je razvijen i algoritmi procesa brušenja kao i korisnički interfejs.

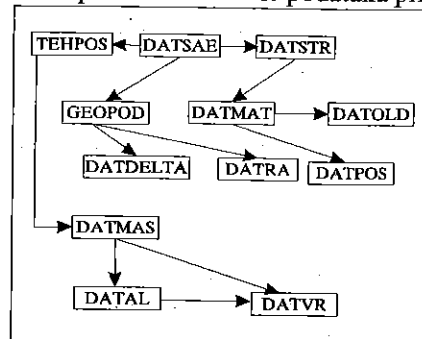
Rezultate optimizacije, kao i polazne podatke, potrebno je prikazati u obliku ekranskog i štampanog izveštaja.

Polazni podaci se mogu svrstati u tri grupe:

- podaci o predmetu rada,
- podaci o mašini, alatu i
- podaci o vremenima rada/troškovima.

Podaci su organizovani u vidu tabela relacionog modela baze podataka.

Konceptualna šema baze podataka prikazana je na slici 1.



Slika 1.

Osnovu u ovoj šemi predstavlja datoteka sastavnih elemenata (DATSAE) koja sadrži podatke o identifikacionom broju elementa (proizvod, sklop, podsklop, deo,...), nazivu elementa, oznaci, statusu elementa,... Ova datoteka, takođe, predstavlja osnovu za povezivanje programa za optimizaciju sa drugim aplikacijama koje se razvijaju na Institutu za industrijske sisteme (automatizovani postupak oblikovanja proizvodnih sistema, upravljanje proizvodnjom, ...). Preko datoteke strukture (DATSTR), koja predstavlja osnovu za

strukturnu sastavnicu, povezan je određeni deo sa pripadajućim materijalom.

Datoteka materijala (DATMAT) sadrži podatke o materijalima (oznaka, naziv, stanje, tvrdoća, modul elastičnosti,...).

Geometrijski podaci o predmetu rada, sadržani su u datoteci GEOPOD, koja sadržava geometrijske i tehnološke podatke o pripremu i elementarnim površinama od kojih je sastavljen predmet rada.

Podaci o Oldenovoj konstanti sadržani su u datoteci DATOLD.

Podaci za ukupni dodatak za obradu brušenjem sadržani su u datoteci DATDELTA prema /4/. Prilikom proračuna, ukupan dodatak za obradu se deli na dva dela - 0.8Δ za grubu obradu i 0.2Δ za završnu obradu.

Podaci o maksimalnoj dozvoljenoj hrapavosti, odnosno, konstantama vezanim za postojanost alata ($T = f(\delta_1, s_a, v_p)$) sadržani su u datotekama DATRA i DATPOS, respektivno.

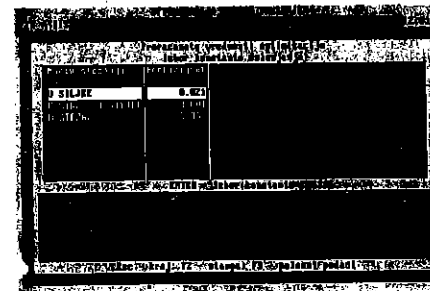
Podaci o karakteristikama mašine, alata i elementima vremena rada sadržani su u okviru datoteka DATMAS (podaci o mašinama), DATAL (podaci o alatima) i DATVR (podaci o vremenima).

Neke od navedenih datoteka su "statičke" tj. ne ažuriraju se jer sadrže iskustvene podatke (DATOLD, DATRA, DATDELTA, DATPOS), dok se datoteke DATMAS, DATAL, DATVR ažuriraju i predmet su modula za obuhvat podataka. Datoteke DATSAE, DATSTR, DATMAT, TEHPOS i GEOPOD se koriste u ovom programu, ali su predmet ažuriranja drugih aplikacija (automatizovano postupak oblikovanja proizvodnih sistema).

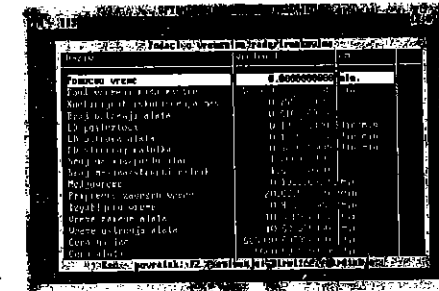
Algoritam za optimizaciju cilindričnog spoljašnjeg brušenja metodom simulacije, zahteva da se u prvom koraku definiše broj prolaza n, koji u osnovi, predstavlja broj koraka simulacije. Takođe, potrebno je uneti identifikacioni broj dela koji se obrađuje, podatke o površini koja se obrađuje, kao i ukupni dodatak za obradu.

Na osnovu relacija uspostavljenih nad bazom podataka, definišu se podaci vezani za materijal, oldenova konstanta, maksimalna dozvoljena hrapavost, koeficijenti vezani za postojanost alata, ograničenja vezana za mašinu i alat, i elementi vremena rada.

U nastavku je potrebno izabrati koeficijent μ koji figuriše u formuli 11, prema preporučenim vrednostima. Ekranski prikaz izbora koeficijenta oslanjanja μ predstavljen je na slici 2, dok su na slici 3 prikazani elementi troškova i vremena rada.



Slika 2. Izbor konstante oslanjanja

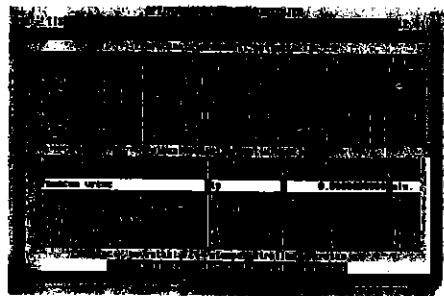


Slika 3.

Kompletiranjem podataka, relevantnih za postupak simulacije, simulacija se odvija u dva prolaza (gruba obrada i završna obrada) pri čemu se za različiti broj prolaza ($i = 1, \dots, n$) vrši izračunavanje predmeta optimizacije uzevši da je ukupan dodatak za obradu brušenjem pri gruboj obradi jednak 0.8Δ , odnosno pri završnoj obradi 0.2Δ . Broj koraka simulacije za grubu i završnu obradu je jednak i iznosi n.

Vrednosti režima obrade (δ_1, s_a, n_p i broj prolaza) za koje funkcije kriterijuma optimizacije postižu svoj minimum, čuvaju se u okviru datoteka polaznih podataka.

U cilju verifikacije programskog rešenja, izvršena je simulacija, u 10 koraka (maksimalni broj prolaza), procesa optimizacije spoljašnjeg cilindričnog brušenja u šiljcima predmeta izrađenog od čelika u žarenom stanju Č.4175 i dimenzija $\phi 67h6x80$ mm. Predmet se izrađuje na brusilici proizvođača LŽTK tip AFB-300 i korišćenjem tocila prečnika $D_t = 300$ mm i širine $B_t = 20$ mm.



Slika 4. Rezultati optimizacije

Rezultati optimizacije, kao i polazni podaci prikazani su na slici 4.

4. ZAKLJUČAK

U radu je definisana konceptualni model podataka relevantnih za proces optimizacije cilindričnog spoljašnjeg brušenja metodom simulacije i razvijen algoritam - program za simulaciju navedenog procesa.

Konceptualni model podataka obuhvata, pored podataka neophodnih za proces optimizacije, i podatke o

predmetu rada, tehnologiji njegove izrade i strukturnoj sastavnici, čime se ostavlja mogućnost za povezivanje sa drugim aplikacijama koje u izlazu definišu navedene podatke (automatizovano projektovanje tehnoloških postupaka, upravljanje proizvodnjom,...).

Rezultati optimizacije su predstavljeni režimima rezanja (dubina rezanja u jednom prolazu, aksijalni pomak, broj obrtaja radnog predmeta i broj prolaza) za koje funkcije cilja optimizacije dostižu svoj minimum. Minimalne vrednosti funkcije cilja, uzvši u obzir različite kriterijume (minimalno komadno vreme, minimalni ukupni troškovi obrade ili minimalni ukupni troškovi obrade po jedinici vremena) mogu da se postignu u istom ili različitom broju prolaza.

5. LITERATURA

1. S. Sekulić: Metodologije za obrađivanje optimalnih režima pri pojedinim vrstama obrade metodom simulacije, IIS - crvene sveske 7, FTN - Institut za industrijske sisteme Novi Sad, 1986.
2. S. Sekulić: Optimizacija režima obrade pri glodanju metodom simulacije, Zbornik del XIV jugoslovenski mednarodni simpozij o obravnavanju podatkom Informatica '79, Bled, 1979.
3. S. Sekulić: Optimization of cutting conditions in milling operation by simulation, Preprints, Third IFAC/IFIPS Symposium MANUACNT '80, Budapest, Hungary, 1980.
4. J. Stanić: Uvod u teoriju tehnoekonomske optimizacije, Mašinski fakultet Beograd, Beograd 1988.
5. M. Jovanić i dr. : Obrada brušenjem, Mašinski fakultet Beograd i Jupiter zajednica, Beograd, 1986.
6. S. Sekulić: Hrapavost obrađene površine u funkciji elemenata režima obrade pri prethodnoj i završnoj obradi kod cilindričnog spoljašnjeg brušenja, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1981.
7. S. Sekulić: Ekonomski aspekti identifikacije režima obrade simulacijom pomoću elektronskog računara, Zbornik radova objav. III, XII Jugoslovensko posavetovanje proizvodnog strojništva, Maribor, 1978.

Abstract - Paper presents a review of software for optimization of external cylindrical grinding process using the simulation method. Relevant data structure for optimization problem is shown as well as possibilities for extending this program with another machining process using the same methodology.



Mirko Soković^{a)}, Saša Novak^{b)}, Boris Navinšek^{b)}

MODEL OF IMPROVEMENT OF CERMET TOOL PERFORMANCE BY TiN (PVD) COATING

Abstract

The last decade was characterised by the introduction of PVD-coated cutting tools, which presently take a large share of the cutting tool market. Wear resistant PVD coatings (TiN, TiCN and TiAlN) are regularly used to improve HSS, ASP and HM tools in industrial practice today. Few years ago a first PVD-coated cermet appeared on the market. Since a large number of factors contribute to the efficiency of hard coatings on cutting tools, these factors were analysed mainly from the improvement of product quality point of view. However the efficiency of PVD coatings depends strongly on the adhesion to the substrate and on the wear resistance. A new mode for estimation of coated cutting tools is proposed: i.e. CTE-index.

The present paper deals with the development of the model of complex performance optimisation of PVD-coated cermet tools in order to produce expected or requested high quality products.

1. INTRODUCTION

The use of coated cutting tools to machine various materials now represents state-of-the-art technology. Developments in coating equipment and processes now enable us to produce a wide range of different hard nitridic and oxidic films and to deposit them on various substrates as monolayer or multilayer coatings. Irrespective of whether carbide, cermet or HSS are being coated, the primary concern is to control and optimise properties such as coating adhesion, coating structure, coating thickness, etc., which determine the performance of the complex composite represented by a "coated cutting tool" [1].

The present studies are of importance from two viewpoints. On the one hand, it is considered that the substrate material is important for the production of highly effective tool of TiC-based cermet (developed at the "Jožef Stefan" Institute, Ceramics Division) [2], on the other, the performance maximum of TiN hard coating on the cermet substrate is depended to precisely of the interface characteristic. The interface is analysed with regard to surface state, mechanical treatment and surface roughness. The diffusion couple technique was used to show that a TiN hard coating (JOSTIN[®]) represents an excellent diffusion barrier between Armco iron and the cermet substrate. The diffusion couples and the worn cutting tools were analysed by SEM, EDS and AES in order to identify the dominant wear mechanisms [3].

^{a)} mag. Mirko Soković, dipl.ing., Senior Lecturer,
Faculty of Mechanical Engineering, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia

^{b)} mag. Saša Novak, dipl.ing., Research Assistant,
dr. Boris Navinšek, dipl.ing., Professor,
"Jožef Stefan" Institute, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

Despite great advanced in the analysis of thin films, machinability tests are still needed to demonstrate the performance potential of hard coatings on cutting tools. The following experiments are intended to help isolate and interpret the interface characteristics between hard coating and substrate and their influence on the parameters in the machining process, and resulting forms and causes of tool wear.

2. PVD COATED CERMET TOOLS

Since the beginning of the nineteen-eighties, PVD coating has been used for large scale industrial coating of geometrically complex tools such as twist drills, reamers, taps, end mills, form tools, etc. Coating, initially with TiN, led to a major advance in the performance of these tools. Unlike high speed steels, whose operating conditions are primarily restricted by their annealing resistance, hot hardness and hot wear resistance, carbides or cermets are essentially limited by their toughness behaviour and their resistance to abrasion, diffusion and oxidation.

The main advantages of TiC-based cermets over conventional WC-hardmetals are their good wear resistance at high cutting speed, superior edge strength and sharpness, and good surface quality of machined products. In many cases the workpiece can be machined without the use of cooling lubricants. The mechanical properties of early developed grades have been significantly improved and are nowadays competitive with the properties of WC-based hardmetals [4]. Beside these attractive properties, the abundance of Ti and Ni as compared to W and Co is undoubtedly an important attribute which supports the concept of intensive research activity in the field of TiC-based cermets [5].

Coated carbides and cermets have achieved a high quality standard, as evidenced by the fact that some 80 % of all indexable tips used in turning are now coated. Use of coated carbides or cermets is much less widespread in interrupted cut applications, at roughly 25-30 %. The causes are to be sought in the entry and exit impacts and the associated mechanical and thermal shocks, which impose much more exacting demands on the toughness behaviour of the cutting material than on its wear resistance.

Analysis of tribo-system in cutting processes

Understanding of tribological problems, nature and characteristics of the cutting material, cooling agent and its application are of significant importance for the predictability of the tool life for a reliable production in a given application. If all parameters of the tribo-system are mutually optimally combined, it can be expected with high probability that the selected technological values, with existing machinery will give an optimal product. The theory of resistance of tool is very complicated since it is necessary to know several scientific disciplines.

Figure 1 shows an generalized system approach of analysis of the tribo-system during the cutting process, i.e. turning, face milling, ... [6]. The tribo-system that develops when using coated tools can be shown in a simplified way with a model (emphasized in Fig. 1) representing the basis for an approach in analyzing the substrate (cermet tool) - TiN coating - workpiece system. Substrate (3), which can be a different kind of tool, is covered by a hard TiN coating (2) and is in contact with the workpiece (1). All the results of systematic research show that for the efficiency of the whole system the so-called adhesive joint (5) between TiN coating and substrate (cermet tool) is of decisive importance. The quality of the joint directly defines the efficiency of TiN coating in the tribological contact (4) with the workpiece.

The definition of the parameters, description of the processes and optimization possibilities of both contact spots (4 and 5) have been the subject of extensive research. Besides the regularly observed wear, change of mechanical properties and machining problems, we now encounter as

important parameters also adhesion, surface physics and chemistry, film growth and epitaxy and electron metallography. Therefore, every coated tool is also an interdisciplinary scientific problem.

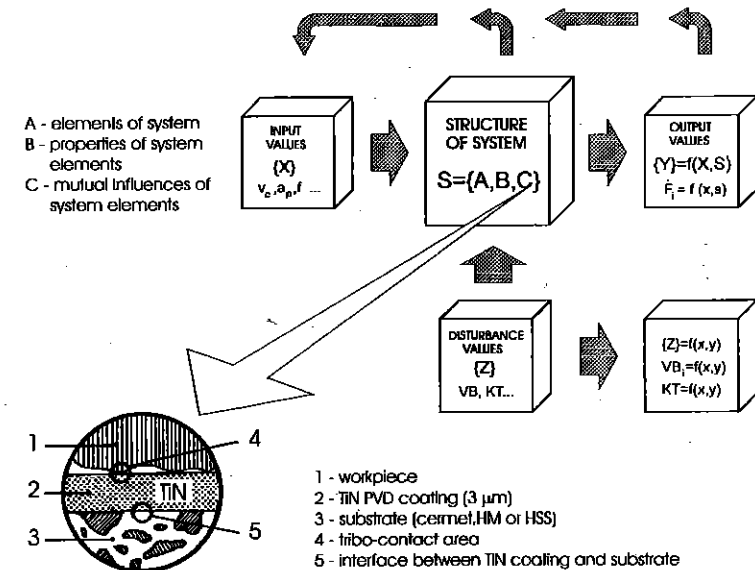


Figure 1. System approach to analysis of tribo-system in cutting process

Coated tool efficiency index

In all cases of testing tool wear, it is possible to note a marked increase in tool life of the cermet tool coated with a TiN (PVD) coating, irrespective of the kind of machining procedure, either turning or milling. To be able to evaluate this effect numerically, a name was introduced to denote this increase in the tool life of coated tools, i.e. "coated tool efficiency index" (*CTE - index*) It was defined as a ratio between the coated tool life time to the life time of an equal tool without coating:

$$CTE = \frac{(Tool\ life)_{PVD-coated\ tool}}{(Tool\ life)_{uncoated\ tool}}$$

In fine machining, the criterion of wear is given by $VB = 0.2$ mm. Thus the coated tool efficiency index would be denoted as: $CTE_{0.2}$. Similarly, in the case of normal machining for which the wear criterion is defined by $VB = 0.4$ mm, the efficiency index would be denoted: $CTE_{0.4}$.

In accordance with this definition, we defined the coated tool efficiency indexes for the different cases as follows [7]:

- $CTE_{0.2} = 1.48$... by fine turning alloy steel (280 HB),
- $CTE_{0.2} = 1.67$... by fine turning steel Ck 45,
- $CTE_{0.4} = 3.00$... by turning alloy steel C 60N,
- $CTE_{0.4} = 1.32$... by face milling steel Ck 45.

The analysis of a series of examples has shown that the value of the index increases with materials difficult to machine or in more difficult working conditions (especially higher feed rate). However, this enormous increase in the CTE-index should not mislead us: it will occur when the machining with uncoated tool is fully inefficient or in certain cases even impossible. The advantages of coatings can be exploited by using higher cutting parameters to achieve higher removal rates per unit time. Coated tools are, however, frequently also used at cutting parameters identical with or only slightly higher than those for their uncoated equivalents. Increased performance potential is then transformed into higher removal rates per tool life and not per unit time, as compared to uncoated tools.

3. OPTIMISATION OF TiN (PVD) COATING ON CERMET SUBSTRATE

The availability of new coating systems and sophisticated coating processes enables us to understand previously unexplained phenomena relating to the performance of coated cutting materials. It is increasingly apparent that thermophysical properties of the coatings have a substantial effect on their performance and operating parameters. The quality of coated cutting tools often depends on three main parameters, which are shown in Fig. 2.

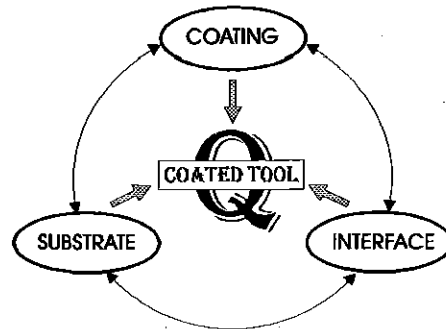


Figure 2. The interaction of main parameters on the quality of coated cermet tools

Substrate (tool material). The causes of carbide or cermet failure continue to imply a need for improved toughness and wear resistance. One key area of interdisciplinary development work, which cannot be discussed in greater detail here, is improvement of the substrates [2].

Coating. A second key area of interdisciplinary work, which is very complex is the sophistication of the coatings. There are a great many external and internal process variables involved. Determining the relationship between both process variables is needed in order to achieve reproducibility and high quality in coated tooling.

Interface. The study of interface problems in coating advanced tool material (TiC-based cermet) included the following parameters [3]:

- the surface morphology and microstructure of the substrate and the TiN (PVD) coating;
- the distribution of the elements at the interface;
- possible reactions between elements from the substrate and the coating;
- the TiN (PVD) coating as a diffusion barrier at the TiC-based cermet couple with Armco iron;
- the possible interaction between titanium and iron atoms at the interface.

For the characterisation of these parameters modern analytical techniques are used.

From machinability tests to quality coating on the cermet tools

These tests encompass workpiece materials, cutting tools, and the cutting operation and its characterization. The considerations used in selecting and evaluating cutting tool performance and workpiece machinability. In the continuation, discussion is focused on machining tests which are still needed to demonstrate the performance potential of hard coatings on cutting tools. The latter problems will be given our full attention. The aims of this research and development work were to establish the general model of improvement of cermet tool performance by PVD coating, and determine the strategy of the machinability in finish machining (within the field of the Near-Net-Shape technology). Figure 3 shows the central part of this model.

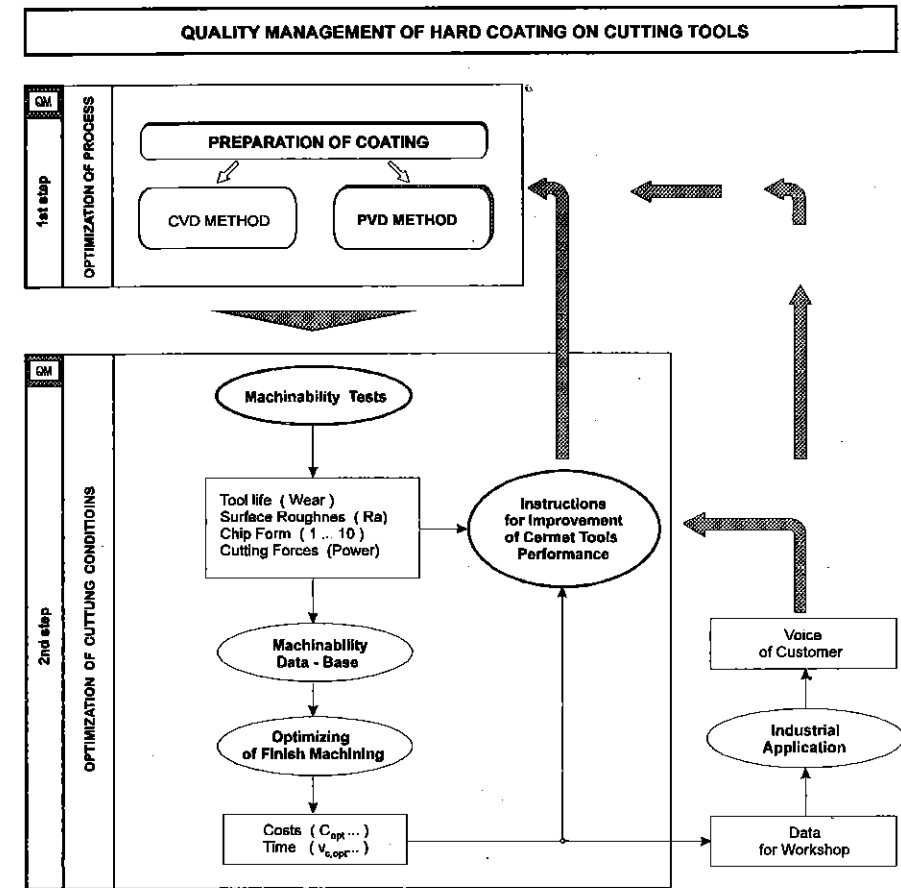


Figure 3. From machinability tests to quality coating on the tool

The first step of quality management in this case was carried out by the selection of the method (PVD or CVD) and optimization of parameters for hard coating processing. The second step, the decision for the machinability tests offers the correctness of the first step on one hand and provides

the correct dates about the time and costs of machining on the other hand, considering the selected parameters of machining and required product quality [8].

The performance potentials of coated and uncoated tools can consequently be compared in the following ways:

- uncoated with differently coated tools (TiN; Ti(C,N); (Ti,Al)N; CrN, ...) - determining the value of the *CTE-index*,
- differently coated tools in the same machining processes;
- differently coated tools in various machining processes (turning, milling, ...).

Some results of such comparative testing are given in another publications [1,5,7].

4. CONCLUSIONS

One of the pre-requisites for successful production is the use of quality cutting tools with defined mechanical and technological properties. Therefore, for the development and introduction of new kind of cutting tool (cutting material or coating), it is necessary to carry out a number of studies with the purpose to optimize the material (substrate) composition, processing procedures, and the resulting workpiece material machinability.

In this paper we try to show the importance of improvement of cermet tool performance by TiN (PVD) coating. An attempt is made to apply the general model of quality assurance of cermet coated tools, and determine the strategy of the machinability in finish machining, where the dimensional accuracy, surface roughness and tool life are the major aspects of interest.

Acknowledgments

The authors wish to thank Mr. M. Bahor BSc. for preparing experiments and technical assistance by designing of this paper.

References

- [1] W. König, R. Fritsch, D. Kammermeier, New Approaches to Characterising the Performance of Coated Cutting Tools, *Annals of the CIRP* Vol.41/1, 1992, pp. 49.
- [2] S. Novak, M. Čeh, N. Cigrinova, S. Spaić and M. Komac, IX. Int. Pulvermetallurgische Tagung in der DDR, Dresden, ZFW der Akademie der Wissenschaften, Dresden, Vol.3, 1989, pp. 135.
- [3] B. Navinšek, S. Novak and D. Zalar, Interface problems in metallurgical coatings, *Materials Science and Engineering, A*, 139, 1991, p. 249-258.
- [4] P. Etmayer, H. Kolaska, K. Dreyer, Effect of sintering atmosphere on the properties of cermets, *Powd. Met. Int.*, Vol. 23, 1991, pp. 224.
- [5] S. Novak, M.S. Soković, B. Navinšek, M. Komac, B. Praček, On the wear of TiN (PVD) coated cermet cutting tools, *Int. Conf. AMPT '95, Dublin, Vol. III, 1995*, pp. 1414.
- [6] F. Čuš, M. Soković, J. Kopač, J. Balič, Model of complex optimisation of cutting conditions, *4th Int. Conf. AMME '95, Wisla, 1995*, pp. 45.
- [7] M. Soković, B. Navinšek, Improvement of cermet tool quality by TiN (PVD) coating, *Int. Conf. AMPT '93, Dublin, Vol. II, 1993*, pp. 443.
- [8] M. Soković, J. Kopač, Quality management in machining of aluminium alloys for free cutting, *4th Int. Conf. AMME '95, Wisla, 1995*, pp. 299.



A CASE TOOL FOR LOCAL PROCESS CONTROL AND INSTRUMENTATION APPLICATIONS DEVELOPMENT

Stoicu-Tivadar Vasile
Rácz Sándor¹

ABSTRACT :

The paper presents an integrated development environment for process control and instrumentation programs, which are designed to run on microsystems with reduced hardware resources for local process interface or industrial measurement systems. The presented environment runs under WINDOWS and is designed for microsystems which use microcontrollers from the 8051 family.

The programming environment offers, beside standard development facilities (files handling, edit, tools as: assembly, link, convert, and settings including tools selection, etc.), and others for remote loading in a target computer (i.e. the microsystem with microcontroller) through serial link, and also for testing/debugging in the remote mode. The CASE specific feature is settled by a small text-base, which refers to the possibilities of the associated software base. These texts can be read in hypertext-like mode and a "navigation" across the base generates a selection matrix. Using this matrix, with a command can be selected the corresponding demanded functions from the software base, and the first version of the desired application is generated. The software base contains software modules for a standard set of useful features for remote control and instrumentation applications, for systems built around the 8051 family microcontrollers.

The presented software development instrument strongly increases the productivity of new applications development, like the ones specified above.

1. INTRODUCTION

The paper refers to a special CASE-type software tool destined to assist all the life-cycles of small instrumentation development and process control applications with microcontrollers, with emphasis on software reuse. Other approaches for software reuse in process control (as an example, [Mat87]) do not treat the characteristic problems of this kind of small-sized applications, frequently written in assembly language. A specific approach for this kind of applications is presented in [Sto94].

The central point of the original aspects of the presented tool is that the applications assisted in developing are classified in classes of applications [Mit87]. A class of application is

¹ The authors are with the Faculty of Computer Science and Control, Automatics and Industrial Informatics Dept., V. Parvan Bul., No. 2, Timișoara 1900, România, e-mail: tivadar@aut.utt.ro

a set of programs characterized by the property that each program belonging to the class can be obtained from a special program of the class, called generic program. In defining such a class of applications we consider small applications built around microcontrollers from the same family (like 8051-compatible controllers [PHi95]) with a few process input-output resources and PC-driven through serial link, with simply process-control, or instrumentation functions. A certain application can be obtained if we extract the components of the demanded program from a software base [Mit87].

The presented tool uses such a software base. We can generate a new program from a class, using a software base associated with this class. The generation can be achieved by navigation through a hypertext that is associated to the software base. But the program includes "classical" features of software base, too (i.e. browse- or search-type access to a large amount of functions, sub-routines or other program modules, with associated descriptions, include and copy possibilities, etc.).

The other needs of the small-sized applications include : edit, executable code obtaining, the transfer of code in the target-system, the testing-debugging and the documentation making. The described CASE tool offers solutions to all of the described problems.

The approaches from this paper are based on a systemic view of software reuse, presented in [Sto95-A]. Part of the problems which appear in the process of program generation for small applications are solved in [Sto95-H].

2. THE GENERAL CONCEPTION OF THE PROGRAM

The functions of the CASE tool described here, are :

- editing the source-files ;
- processing the source-files, in order to obtain the executable (and transferable) code ;
- communication with the target-system through serial link (transfer in target, and terminal emulation, included), testing/debugging and monitoring an entire PC-driven application ;
- software base facilities ;
- applications' generation facilities (with associated minimal documentation obtaining) ;
- settings ;
- auxiliary functions (from Windows, which refers to windows handling and on-line help).

Hence, this program is equally a CASE tool and an IDE (Integrated Development Environment) and allows the complete aided software design. The most interesting feature, the applications generation, is achieved through navigation in a hypertext-base : each text lists a set of functions (a family, from same category corresponding to software modules from the software base) or explains one and the user selects the desired properties. Thus, a selection matrix is generated at the same time with the navigation. At each selection of an interesting subject for the designer (i.e. which corresponds to several specifications of the program which must be designed), an element of the matrix is set. If the navigation is finished, the user can demand the application generation : the CASE tool selects the appropriate software modules from the software base, pointed by the elements of the selection matrix. Hence, a prime version of the desired program is immediately available.

The described program is running under Windows. It manipulates the following information categories and associated files :

- hypertext file, (*.HTX), which contains a hypertext-base for the design aid ; the user navigates through hypertext-base and selects the desired functions ; hence, results an index matrix from the position of marked functions ; if we open a hypertext-file, automatically is opened the associated generic program-file.

- generic program-file (*.GEN) with a set of BIOS functions, other functions and code slices, indexed in a manner in which each fragment corresponds to an index from the hypertext-base ; after the navigation, the Generate command makes the selection of the desired functions from this file, based on the index matrix ; thus, the prime version of the source-code is obtained ;
- source-file (*.ASM) with the source-code obtained by design, from software-base, from hypertext-base or simply by edit ;
- text-file (*.TXT) with text slices from the hypertext-base, which are selected by the user, i.e. corresponds to the desired functions description ;
- general project informations (*.IFP) with general informations about a current project ; this is completed whenever a new project is created ;
- configuration file (*.INI) which contains the settings selected by the user (as an example, the name of *.HTM file, the used serial unit settings, etc) ;
- console status file (*.DSK) which allows the restart of the program from the point where it was interrupted ;
- dictionary-file (*.DFB) with software modules (as indicated at *.GEN files) that constitute a software-base in the sense from [Mit87], modules that fulfill several functions of an instrumentation system ; the user can include here the new functions designed whenever he wants and he can copy these functions when he needs them (by a Copy - Paste procedure) ; the modules included here have each, an associated description text.

From the user's point of view, the described program presents the lay-out of a classical IDE, thus, on the console, a "pull-down" menu appears, which allows the desired actions selection:

- File - is a classical command for source- and text files handling, with : New, Open, Save, Save as, Delete, Info (general informations about the current project), Version (fixes a project as a new version), Backtrack (back to an old version), Status (informations about the current project status, as days remaining to the final term, the number of modules, etc.), Quit (from the program) ;
- Edit - is identically with the same command from ordinary IDE i.e. Undo, Cut, Copy, Paste, Delete, Find, Replace, Next are usually-defined options ;
- Tools is a command that allows the access to the programs that builds the executable and the transferable code (assemblers, linkeditors, converting programs) and contains the access facility to the hypertext-base and to the software-base; the options from this command are : Assemble, Link, Convert and Build (which allows the source-code processing such as the transferable code is obtained), Export (generates the text-file with the program modules description), User command (runs a user-defined command), Expert system (that activates the navigation across the hypertext-base with Search, Index, Generate, Report commands), Dictionary (that allows to access the software-base with Copy, Edit, Insert, Delete) ;
- Target is the command that makes the link from the host to the target (the microsystem with the microcontroller) and includes the following options : Open link (opens the serial link between host and target), Close link, Identification (allows an identification dialog if it is necessary), Open TTY (opens a terminal emulator window), Load (a program in target, in *.HEX format), Monitor (access to a standard debugging system), Master (opens a master application which runs with the application from target) ;
- Settings allows to establish the running conditions of the program ; the user can make the following settings : System (IDE - specific), Build (for the programs used for source-code processing), Expert sytem, Dictionary, Serial link (the communication parameters), TTY (for the terminal emulator settings), Monitor (in order to adapt to the specific features of the

serial monitor from the target), **Master** (the name and directory of the *Master* application) and **Open** settings file that loads a new *.INI file (i.e. the program is thus available for another target computer or another class of applications).

The other commands are typically for a Windows application.

The program is written in Borland C++ 3.1 for Windows and uses OWL (Object Windows Library). Hence, a user-friendly interface is defined.

3. THE USE OF THE CASE TOOL

The lay-out of the program is performed with suggestions from [Fow95].

We suppose that the designer (i.e. the user) wants to achieve a small instrumentation system with 80C31 microcontroller, serial link and several analogical and digital inputs and outputs. In this case, the designer opens, with the **Expert system** command, the hypertext-file associated to the class of this kind of instrumentation applications and navigates through the hypertext in order to select the desired features of the application. If the user is content with his trace of navigation, he calls **Generate** and a minimal source-code is generated automatically, which contains source-code fragments, from the software base, accordingly with the selected features (eventually, he asks a **Report**, in order to summarize the called functions or source-code fragments). The user must complete a new file name and general informations in a window associated with the new application, in accordance with the structure included in the template file.

From this moment, a primary version of source-code is available. The user can immediately continue editing the obtained source-file, or can accomplish any other possible actions allowed by this program. Any time, he can go back to source-code edit, through **File**, then **Open** commands. There is another possibility to obtain the source-code: the user can create a new file with **New** command from **File** option. In this case, the general information window is opening, also, in order to be completed by the designer. The user can edit, himself, the source-code (without the help of design aid options) or to call the software-base, activating it by the **Dictionary** option. The program modules considered interesting for the current application (appropriate reusable components, respectively) can be copied in the current edit window. Once the source-code obtained, the designer must traverse all the stages of software development, so, he must open the **Tools** window and command the assembly of the program (with **Assemble** command). After eventual corrections, until eliminating the errors, he can achieve the linking and the conversion in transferable code. The testing is accomplished through the transfer of the code in the target-computer (with the microcontroller) through the serial link, then the running of the tested program, slice by slice. In order to accomplish this, the user opens the serial link (with **Target**, then **Open link**) and he commands the transfer of the program with the **Load** command. The proper testing can be accomplished with **Monitor** mode, or directly, through the terminal emulator window, which is opened with the **Open TTY** command. The cycle edit - transferable code obtaining - transfer - testing can be simply repeated until the complete testing the new application. A strong and original facility for the correct testing is the **Master** command, in order to allow the user to run a master application in conjunction with the application from the target-microsystem. In this case, the serial link is monitored, the exchanged information being viewed.

The designer must appropriately configure his development environment. So, the high-level designer must edit the hypertext- and generic-files, from the desired application class. This designer must adapt, too, the CASE tool to the concrete working conditions, through the monitor- and template-files (in order to adapt to the monitor in use, associated to a certain available hardware, and to the methodology of his own software organization) edit. He

establishes the serial link settings, the settings for the assembly-link-convert tools and the settings for the software base (**dictionary**) (all of these, with **Settings** command). The current user can contribute to software base growth, including interesting software modules, from the reuse point of view. In order to include a new module in the database the **Insert** command from **Dictionary** option must be activated. The command opens a specification window, that must be completed by the user.

The documentation achievement is made easily with this environment: the **Export** command from the **Tools** option generates an ASCII file which contains all the available information about the component software modules which are taken from the software base, are edited by the user or are achieved by navigation through the hypertext-base. The program adds to these, the general information edited by the user when he opens a new application file.

The environment is appropriate for all kinds of small applications with microcontrollers, (not only for process control, or instrumentation), even that the microsystem uses another link that the serial one. A console status is presented in the Fig. 1. A particular aspect of the console (The *Dictionary* Window) is shown in Fig. 2.

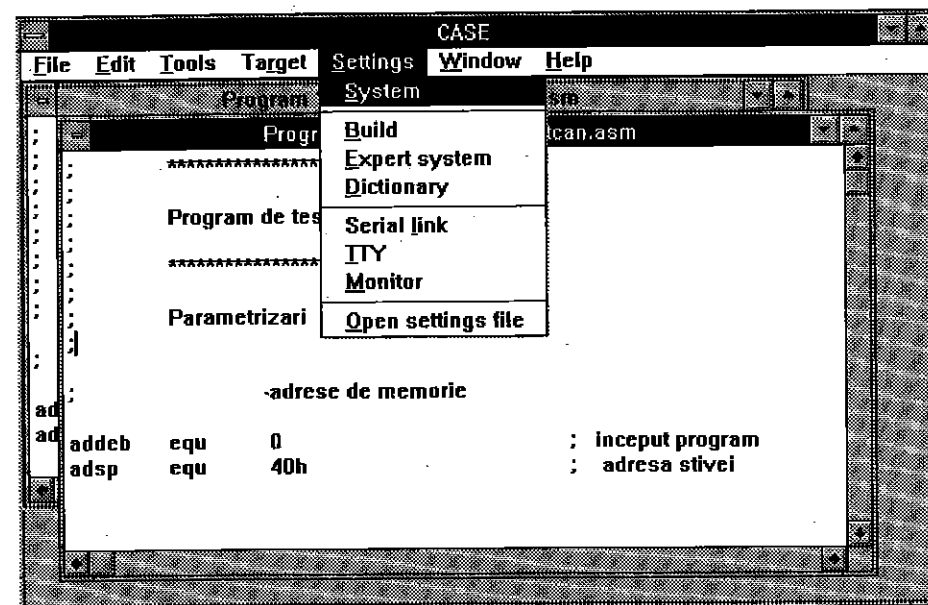


Fig. 1. The main menu

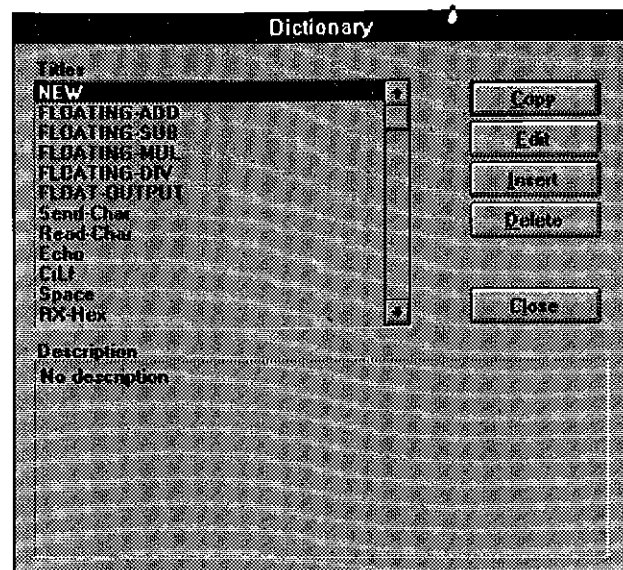


Fig. 2. The Dictionary Option Window

4. CONCLUSIONS

We presented an original CASE tool that allows the development of small-sized applications for instrumentation, or local process control systems with microcontrollers. The original features of this program are : it includes all the tools needed for developing the application, from a to z (from analysis to testing, the link with target computer, included), it presents an increased flexibility and it contains application generation features, based on an original dialogue, with a hypertext data-base. The program includes the most important functions of a "classical" CASE tool.

The program is still under development, but it is already successfully used in current software development activities.

REFERENCES :

- [Fow95] Fowler, S.L., Stanwick, V.R., "The GUI style guide", Academic Press Professional, Boston, 1995
- [Mat87] Matsumoto, Y., "Software Reuse in Industrial Process Control", 2-nd International Conference on Software Production, IEEE Tutorial, P. Freeman, editor, 1987
- [Mit87] Mittermeir, R. T., Oppitz, M., "Software Bases for the Flexible Composition of Application Systems", IEEE Trans. on Software Engineering, vol. SE-13, no. 4, apr. 1987
- [PHi95] "Data Handbook IC20. 80C51-Based 8 Bit Microcontrollers", PHILIPS, 1995
- [Sto94] Stoicu-Tivadar, V., "Reuse rate increase program structures in process control small applications", Proceedings of Conference on Computer Science and Technical Informatics - CONTI '94, Timișoara, 1994
- [Sto95-A] Stoicu-Tivadar, V., "An attempt of formalization in software reusability", XXXIX Konferencija ETRAN-a, Zlatibor, 1995
- [Sto95-H] Stoicu-Tivadar, V., Haag, Zs., "Instrumentation, and process surveillance program generators", Proceedings of CSCS '10, București, 1995



Lj. Tanović^{*)}

UTICAJ REŽIMA BRUŠENJA NA OBRADLJIVOST KERAMIKE SILINIT R^{**})

Rezime

Rad obuhvata pregled zastupljenosti postojećih metoda obrade keramike bez kritičkog osvrta na probleme koji su kod njih prisutni. Prikazani su rezultati istraživanja u oblasti brušenja alatne keramike Silinit R kroz analizu uticaja promene dubine, brzine uzdužnog pomeranja stola i poprečnog pomaka na komponente otpora brušenja i hrapavost obrađene površine.

1. UVOD

Danas se razmatra mogućnost široke primene keramičkih materijala u mašingradnji, alatnoj, motornoj, elektro i hemijskoj industriji i, u sve većem stepenu, medicini. Da bi označili široku oblast primene često se koristi termin "mašinska", "industrijska", "konstrukciona" i "specijalna keramika".

Uslov serijske proizvodnje delova od keramike je postizanje neophodne tačnosti oblika i kvaliteta obrađenih površina uz ekonomičnost obrade. Treba naglasiti da keramika spada u teško obradljive materijale, zahteva se primena skupih alata a troškovi obrade iznose i do 90% svih proizvodnih troškova. Pojave defekata na površini dela izazvana neadekvatnom obradom, pri nepovoljnim uslovima opterećenja u procesu eksploatacije, mogu dovesti do kartastrofalnog loma. U znatno većem stepenu, nego što se uočava kod metala, na pouzdanost keramike imaju uticaj zaostala naprezanja i svojstva površinskog sloja. Stanje površinskog sloja neposredno utiče na njegovu čvrstoću, koeficijent trenja i zamor.

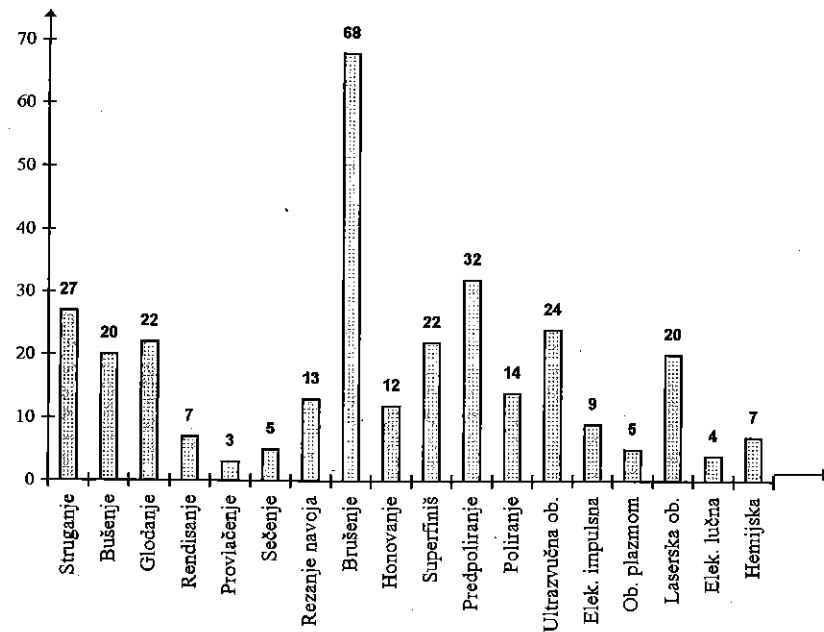
Obrada keramike se može izvoditi u: sirovom stanju, (pre sinterovanja i tada se postiže tačnost dimenzija $\pm 0.5\%$ i hrapavost površine $1\div 3 \mu\text{m}$), u predsinterovanom stanju i nakon završetka procesa sinterovanja kada se postiže [3]:

	Tačnost dimenzija [μm]	Hrapavost površine [μm]
Brušenje	$\pm 1\div 25$	$0.2\div 16$
Sečenje	$\pm 15\div 60$	-
Honovanje	$\pm 2\div 10$	$0.3\div 1$
Lepovanje	$\pm 1\div 5$	$0.02\div 0.3$
Poliranje	-	< 0.05
Ultrazvučna obrada	± 25	< 1.5
Elektroeroziona obrada	-	2
Obrada laserom	± 20	-

^{*)} Doc. dr Ljubodrag Tanović, dipl. inž., Mašinski fakultet, 27. marta 80, 11000 Beograd

^{**)} Rezultati rada na projektima: C.3.05.33.211 (Konstrukciona monolitna i kompozitna keramika na bazi oksida i neoksida), C.5.03.67.298 - PP5 (Obradljivost keramike i kompozitnih materijala)

Na sl. 1 prikazani su rezultati analize Japanskog Naučnoistraživačkog društva po pitanju zastupljenosti metoda obrade keramike.



Sl. 1. Zastupljenost metoda obrade keramike u Japanu.

U okviru sveobuhvatnih istraživanja u oblasti obradljivosti keramike Silinit R brušenjem analiziraju se pojave u zoni kontakta abrazivnog zrna i keramike kao i uticaj režima obrade na promenu komponenti otpora i hrapavost površine.

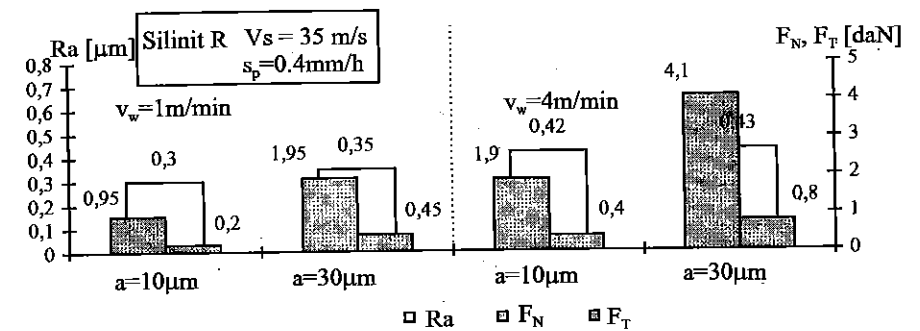
2. METODOLOGIJA I USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA

Pre početka brušenja dijamantsko tocilo sa prirubnicom je statički balansirano na specijalnom uređaju. Uzorci keramike postavljeni su na trokomponentni dinamometar UMD-100 koji je povezan sa tenzometrijskim pojačivačem TA5, svetlosnim pisačem H 115 i sistemom za napajanje P133.

Obrada je izvođena bez primene sredstva za hlađenje mada su prisutna protivurečna mišljenja. Jedni autori smatraju da primena SHP uslovljava nastanak prskotina a kao posledica naglih temperaturnih promena u površinskom sloju obrađivane površine. S druge strane, grupa autora je posmatrajući promene na tocilu konstatovala neohodnost hlađenja zbog visoke temperature koja snižava i tvrdoću abrazivnog zrna i čvrstoću veziva a time se intenzivira proces habanja tocila.

Mašina: Brusilica za ravno brušenje modela 3T71
 Alat: Dijamantsko tocilo 1A1 200x10x3x76 AC 15 100/80 B2-01-4-100%
 Keramika: Silinit R 12.7x12.7x4.8 mm ($\rho=3.8\div4 \text{ g/cm}^3$, 94÷96 HRA, $\alpha=(2.7\div3.0)10^{-6}\text{K}^{-1}$)
 Režim brušenja: $v_s=35 \text{ m/s}$, $v_w=1\div4 \text{ m/min}$, $s_p=0.4\div0.8 \text{ mm/h}$, $a=10\text{-}30 \mu\text{m}$

3. DOBIJENI REZULTATI

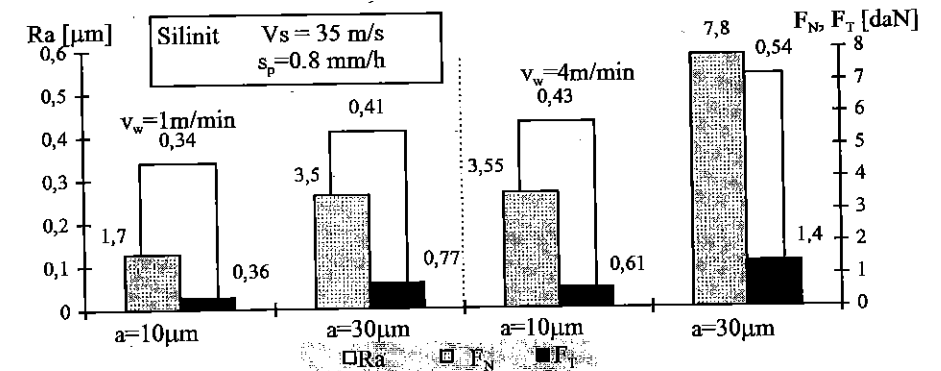


Slika 2. Promena F_N, F_T i Ra pri datim režimima brušenja

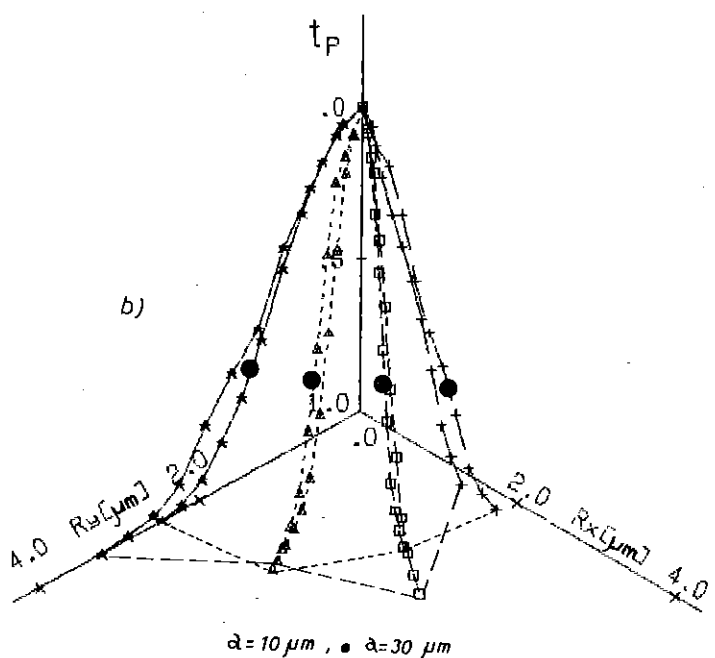
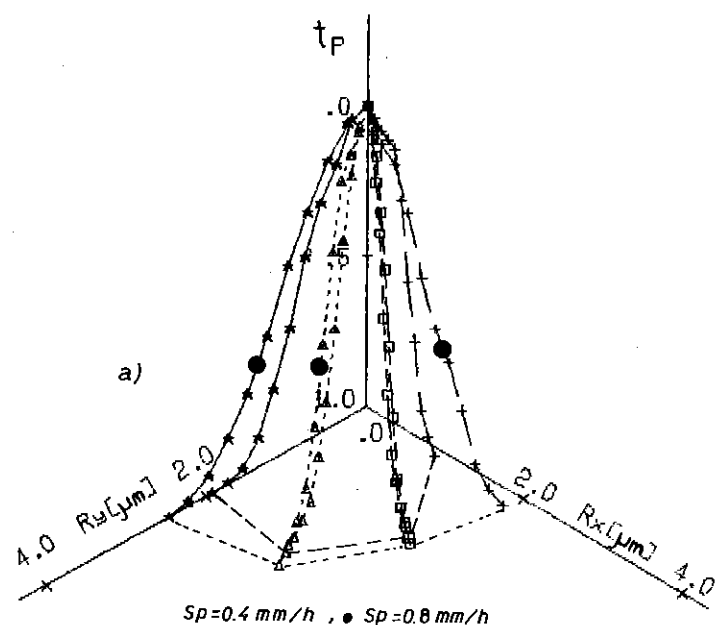
Na sl. 2 i 3 prikazana je promena komponenti otpora F_N, F_T i Ra u zavisnosti od režima brušenja. Treba naglasiti da je merenje izvedeno pri stabilizovanom režimu brušenja, tj. u uslovima samoostrenja tocila.

Na osnovu dobijenih rezultata konstatuje se:

- Povećanje dubine brušenja od 10÷30 μm uslovljava porast komponente otpora $F_N=0.95\div1.95 \text{ daN}$, $F_T=0.20\div0.45 \text{ daN}$, ($v_w=1 \text{ m/min}$, $s_p=0.4 \text{ mm/h}$); $F_N=1.9\div4.1 \text{ daN}$, $F_T=0.4\div0.8 \text{ daN}$, ($v_w=4 \text{ m/min}$, $s_p=0.4 \text{ mm/h}$), tj. za približno 2 puta. Uočava se i približno povećanje i pri koraku $s_p=0.8 \text{ mm/h}$ (sl. 3).
- Povećanje brzine uzdužnog pomeranja stola (v_w) od 1÷4 m/min uslovljava porast $F_N=0.95\div1.90 \text{ daN}$, $F_T=0.2\div0.4 \text{ daN}$, ($s_p=0.4 \text{ mm/h}$, $a=10 \mu\text{m}$); $F_N=1.95\div4.1 \text{ daN}$, $F_T=0.45\div0.8 \text{ daN}$, ($s_p=0.4 \text{ mm/h}$, $a=30 \mu\text{m}$); $F_N=3.5\div7.8 \text{ daN}$, $F_T=0.77\div1.40 \text{ daN}$ ($s_p=0.8 \text{ mm/h}$, $a=30 \mu\text{m}$) tj. približno do 2.2 puta.
- Povećanje poprečnog pomaka (s_p) od 0.4÷0.8 mm/h uslovljava porast $F_N=1.95\div3.5 \text{ daN}$, $F_T=0.45\div0.77 \text{ daN}$, ($v_w=1 \text{ m/min}$, $a=30 \mu\text{m}$); $F_N=4.1\div7.8 \text{ daN}$, $F_T=0.8\div1.4 \text{ daN}$, ($v_w=4 \text{ m/min}$, $a=30 \mu\text{m}$) tj. približno 1.8 puta.
- Analizirajući parametar hrapavosti Ra uočena je promena u intervalu 0.30÷0.54 μm za razmatrani režim obrade uz konstataciju da najveći uticaj ima promena brzine uzdužnog pomeranja stola.



Slika 3. Promena F_N, F_T i Ra pri datim režimima obrade



Slika 4. Promena relativne noseće dužine profila pri brušenju keramike Silinit R, $V_w=4\text{m/min}$ a) $a=30\mu\text{m}$, b) $s_p=0.8\text{mm/h}$

Veoma važnu karakteristiku površine predstavlja kriva relativne noseće dužine profila i iznalaženje procenta nošenja profila na nivou 30-40% R_{max} .

Na slici 4(a, b) prikazana je promena relativne noseće dužine profila u zavisnosti od ugla zapisa (90° , 62° , 34° i 6° sa leva u desno) u odnosu na pravac brušenja.

Povećanje poprečnog pomaka $s_p=0.4-0.8\text{ mm/h}$ dovodi do povećanja hrapavosti $R_a=0.43-0.54\mu\text{m}$ uz istovremeno smanjenje relativne noseće dužine profila (t_p) sa 63 na 38% (ugao zapisa $\alpha=90^\circ$) i 72-50% ($\alpha=34^\circ$) slika 4a.

Povećanje dubine brušenja $a=10-30\mu\text{m}$ dovodi do smanjenja relativne noseće dužine profila $t_p=42-36\%$ ($\alpha=90^\circ$) i $58-34\%$ ($\alpha=34^\circ$) slika 4b.

Pri obradi brušenjem često se uzima u razmatranje uticaj trenja u zoni kontakta definisan koeficijentom brušenja (koeficijentom abrazivnog rezanja) $f_a = F_T/F_N$. Pri brušenju Silinit R keramike, pri navedenim uslovima, $f_a=0.17-0.23$.

Istraživanja [2] pokazuju da pri čeonom brušenju navedene keramike točilom 12A245° 150x10x3x32AC4 B1-13 100% ($v_s=15\text{ m/s}$, $v_w=0.5\text{ m/min}$, $s_p=0.25\text{ mm/h}$) koeficijent $f_a=0.2$.

Na osnovu koeficijenta f_a moguće je izvršiti i klasifikaciju materijala:

Oksidna keramika $f_a=0.06-0.075$

Oksidno-karbidna keramika $f_a=0.25-0.32$

Nitridna keramika $f_a=0.15-0.25$

Tvrđi metal $f_a=0.37$

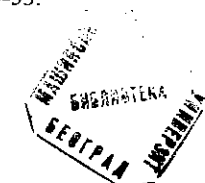
4. ZAKLJUČAK

Ova istraživanja se izvode u cilju kompleksnog izučavanja pojava koje nastaju u procesu brušenja keramike i obuhvataju:

- Izučavanje fenomena kontakta dijamantsko zрно-keramika sa hipotezama o mehanizmu nastanka strugotine,
- Izučavanje kinematike kretanja i položaja dijamantskog zrna u tocilu,
- Razvoj novih točila sa aspekta: koncentracije dijamantskih zrna, novih vezivnih materijala i konstrukcije,
- Uticaj režima brušenja i karakteristika točila na pokazatelje obradljivosti (v , s , $a \rightarrow F_N, F_T, R_a$).

5. LITERATURA

- Earchon, R.W., Grinding of Structural Ceramics with Diamond Abrasives, ASME Techn. Pap., 1985., 281, s. 1-14.
- Лавриненко, В.И., Шкляренко, В.В., Сытник, А.А., Силовые закономерности алмазного шлифования, Сверхтвёрдые материалы, Наукова Думка, Киев, Н5, 1990.
- Oczoc, K., Bearbeitungsverfahren für keramische Werkstoffe: Qualitätsansprüche sind hoch, Schweizermaschinenmarkt, 1988, 8. 30-31, 33-34.
- Stark, Ch., Bearbeitung von nichttoxischen Keramiken durch Schleifen, Fachberichte für Metallbearbeitung, 1986, 5/6, s. 222-228.
- Tanovic, Lj., Ryzhov, E., Studies of Microcutting Ceramics Materials, Superhard Materials, Naukova Dumka, Kiev, 1994, N1, s. 49-53.



[6.] Tanovic, Lj., Kalajdžić, M., The formation of scrapings in Microcutting of Ceramics, International Conference on Precision Engineering, Singapore, 1995.

[7.] Танович, Л. М., Влияние подачи при шлифовании на шероховатость поверхности керамики Силинит Р, Сверхтвердые материалы, Наукова Думка, Киев, 1995, НЗ, с. 28-32.

IMPACT OF GRINDING REGIME TO CERAMICS MACHINABILITY

Abstract:

Paper includes a survey of existing machining methods of ceramics without critical review at problems which are present. Results of researches in the field of grinding tool ceramics Silinit R are presented through analysis of influence of depth change, velocity of longitudinal feed of table and cross-feed at components of grinding resistance and roughness of processed surface.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

PRECIZNIJE ODREĐIVANJE VREDNOSTI MAŠINSKOG ČASA, JEDAN OD USLOVA ZA EKONOMIČNIJU PROIZVODNJU

ABSTRACT

U radu se razmatra važnost što tačnijeg određivanja vrednosti mašinskog časa u mašinskoj industriji. Analiziran je problem racionalne segregacije funkcije ukupne vrednosti mašinskog časa na više komponenti, razmatrajući uticaj svake od komponenti na ukupnu vrednost mašinskog časa.

1. UVOD

Cena koštanja jedinice vremena rada mašine (minut ili čas) je važan podatak za mnoge vrednosne analize koje se obavljaju u proizvodnim pogonima i prodajnim službama fabrike.

Proizvodnja svakog proizvoda redovno u sebi uključuje mnoge aktivnosti. Cena koštanja proizvoda predstavlja zbir troškova mnogih aktivnosti koje su nužne za izradu proizvoda kao što su: radna snaga, energija, materijal, alat, oprema, režiski troškovi i td. Zato cene komponentalnih troškova koje su direktno ili indirektno povezane za proizvodni proces treba da se odrede što tačnije, da bi se dobila što tačnija cena koštanja proizvoda. Vrednost mašinskog časa, je isto tako važan podatak kod izbora varijanti tehnološkog procesa, pri donošenju odluke za nabavku nove mašine, uvođenje automatizacije viših stepena i dr. Nažalost u svakodnevnoj praksi svedoci smo da se vrednost mašinskog časa određuje kao prosečna vrednost za celo odelenje ili pogon, bez detaljnijih analiza. Ovako uprošćeno određivanje cene koštanja mašinskog časa, nedaje mogućnost za izbor ekonomičnih varijanti tehnoloških procesa (operacija) i ne pruža mogućnost da se sagledaju mogućnosti za smanjenje cene proizvoda u uslovima nedovoljnog zapošljenja pogona t.j. u uslovima koje vladaju danas na tržištu.

2. STRUKTURA CENE KOŠTANJA MAŠINSKOG ČASA

Cena koštanja mašinskog časa (C_{oh}) [2], može se izraziti pomoću sledeće jednačine:

$$C_{oh} = \sum_{i=1}^p C_{ohi} \quad (1)$$

gde su: C_{ohi} - komponentalni troškovi na čas, za određeno radno mesto (mašina),
 p - broj različitih komponentalnih troškova.

Tačnost određivanja cene koštanja mašinskog časa u velikoj meri zavisi od organizacije vođenja proizvodnih troškova. Ukoliko je organizacija vođenje proizvodnih troškova detaljnije razrađena, u toliko su i mogućnosti za preciznije određivanje vrednosti mašinskog časa veće. U radu /2/, autor uzima 14 različitih komponentalnih troškova. U ovom radu izostavljeni su komponentalni troškovi koji relativno malo utiču na vrednost mašinskog časa, pa je ukupan broj komponentalnih troškova sveden na $p=10$ i to:

- C_{oh1} - troškovi amortizacije opreme (DEM/h),
- C_{oh2} - troškovi amortizacije radnog prostora (DEM/h),
- C_{oh3} - troškovi anuiteta opreme (DEM/h),
- C_{oh4} - troškovi anuiteta radnog prostora (DEM/h),
- C_{oh5} - troškovi održavanja opreme (DEM/h),
- C_{oh6} - bruto plata direktnih (proizvodnih) radnika (DEM/h),
- C_{oh7} - bruto plata indirektnih radnika (DEM/h),
- C_{oh8} - troškovi upravno prodajne režije (DEM/h),
- C_{oh9} - troškovi električne energije (DEM/h) i
- C_{oh10} - troškovi materijalno pogonske režije (DEM/h).

Troškovi amortizacije opreme (mašine i pribora), određuje se na bazi osnovne vrednosti mašine (K_T), (zajedno sa standardnim priborom i troškovima instaliranja mašine):

$$C_{oh1} = \frac{K_T}{F \cdot n_{am} \cdot n_s} \quad (2)$$

gde su: F - godišni fond časova efektivnog korištenja mašine pri radu u jednoj smeni, n_{am} - amortizacioni period mašine u god., a n_s - broj smena.

Ukoliko se mašina koristi u dve smene maksimalni period amortizacije treba uzeti $0,7 n_{am}$, a u tri smene $0,6 n_{am}$.

Troškovi amortizacije radnog prostora određuje se po jednačini:

$$C_{oh2} = \frac{C_z \cdot A_{ri}}{F \cdot n_p \cdot n_s} \quad (3)$$

gde su: C_z - cena koštanja $1m^2$ radne površine, A_{ri} - redukovana fabrička površina radnog prostora u kome je sadržan i deo neproizvodnih površina (transportne staze, magacinski prostor, prostor tehničke administracije i dr.) n_p - amortizacioni period objekta (god).

$$A_{ri} = A_{pi} + \frac{A_{npi}}{A_p} \cdot A_{pi} = A_{pi} \left(1 + \frac{A_{npi}}{A_p}\right) \quad (4)$$

gde su: A_p - proizvodna površina pogona u (m^2), A_{pi} - proizvodna površina radnog mesta u (m^2), A_{npi} - deo neproizvodnih površina fabrike koje pripadaju pogonu gde se nalazi analizirano radno mesto u (m^2).

Ukoliko je cena koštanja neproizvodnih površina različita od cene proizvodnih površina, onda se A_{ri} određuje preko jednačine:

$$A_{ri} = A_{pi} \left(1 + \frac{A_{npi}}{A_p} \cdot K_1\right) \quad (5)$$

gde je: K_1 - odnos cene koštanja m^2 proizvodne površine prema m^2 neproizvodne površine.

Troškovi anuiteta opreme određuje se po jednačini:

$$C_{oh3} = \frac{a_m}{F \cdot n_s} \quad (6)$$

gde je: a_m - anuitet opreme,

$$a_m = K_T \frac{(1+i)^{n_0}}{(1+i)^{n_0} - 1} = K_T \frac{i \cdot q^{n_0}}{q^{n_0} - 1} \quad (7)$$

gde su: i - godišnja kamatna stopa (interes) za angažirana sredstva za opremu, q - kamatni diskontni faktor ($q=i+1$), n_0 - broj godina odplate kredita.

Troškovi anuiteta sredstava angažiranih za radni prostor određuju se prema jednačini:

$$C_{oh4} = \frac{a_{pr} \cdot A_{ri}}{F \cdot n_s} \quad (8)$$

gde je: a_{pr} - anuitet za $1m^2$ radne površine, koji se određuje po jednačini (7) ako se umesto K_T , stavi vrednost $1m^2$ proizvodne površine, a umesto n_0 - n_p koji je obično veći od n_0 , jer se odplata sredstava za zgrade vrši u dužem vremenskom periodu.

Troškovi održavanja opreme, određuje se u zavisnosti od složenosti opreme, njene robusnosti i uslova eksploatacije,

$$C_{oh5} = \frac{K_2 \cdot K_T}{F \cdot n_s^{0.6}} \quad (9)$$

gde je: K_2 - koeficijent troškova za održavanje opreme t.j. odnos godišnjih troškova za održavanje prema vrednosti mašine ($K_2 = 0,02 - 0,06$ u zavisnosti od složenosti mašine).

Troškovi bruto plate "direktnih" radnika određuje se na bazi neto ličnih dohodaka za dato radno mesto (kvalifikaciju, radni staž i dr.):

$$C_{oh6} = \frac{NLD \cdot K_3 \cdot 12}{F} \quad (10)$$

gde su: NLD - neto mesečni lični dohodak radnika, K_3 - koeficijent različitih doprinosa.

Troškovi "indirektnih" radnika u pogonu (normirci, lanseri, magacioneri, brigadiri, poslovođe i dr.) obično se uzimaju na bazi troškova direktnih radnika:

$$C_{oh7} = K_{pr} \cdot K_b \cdot C_{oh6} \quad (11)$$

gde su: K_{pr} - koeficijent vezan za prosečne lične dohodke direktnih radnika, K_b - koeficijent vezan za broj indirektnih radnika u odnosu na broj direktnih radnika.

Troškovi vezani za upravno-prdajnu režiju, konstrukciona biroa, razvojne službe i slično, najčešće se određuju na bazi ličnih dohodaka direktnih radnika po jednačini (11). Ovo je relativno jednostavno, no nedovoljno tačno, budući da su ovi troškovi vezani uglavnom za obim proizvodnje, karakter proizvoda i vrste opreme. Produktivnost radnog mesta u odnosu na instaliranu opremu može da varira u velikim granicama, a time i vrednost ovih troškova svedenih na radno mesto.

Ako se uzme da je produktivnost radnog mesta direktno zavisna za vrednost instalirane opreme, onda se ovi troškovi mogu odrediti prema jednačini:

$$C_{oh8} = \frac{C_{vp} \cdot K_T}{F \cdot K_{T1}} \quad (12)$$

gde su: C_{vp} - ukupni godišnji troškovi za upravno prodajnu režiju i drugih zajedničkih službi, K_{T1} - ukupna vrednost proizvodne opreme u pogonu. (U ove troškove pogodno je uvrstiti i troškove vezane za obrtna sredstva).

Troškovi za električnu energiju svedeni na mašinski čas, mogu se odrediti prema jednačini:

$$C_{oh9} = \frac{P_M \cdot C_E \cdot K_p \cdot K_t \cdot K_L}{\eta_{ME}} \quad (13)$$

gde su: P_M - instalirana snaga na radnom mestu u kW, C_E - cena 1kW/h električne energije, K_p - koeficijent opterećenja elektromotora po snazi (0,5 - 0,8), K_t - koeficijent opterećenja elektromotora po vremenu (0,4 - 0,7), K_L - koeficijent gubitaka električne energije u mreži u pogonu (1,05), η_{ME} - koeficijent korisnog dejstva elektromotora (0,65 - 0,8).

Troškovi materijalno pogonske režije (osvetljenje, grejanje, vazduh, voda, sredstva za podmazivanje, higijenu i dr.) određuju se na bazi angažovane površine radnog mesta:

$$C_{oh10} = \frac{C_R \cdot A_{pi}}{F \cdot n_a^{0,5} \cdot A_p} \quad (14)$$

gde je: C_R - godišnji troškovi za materijalno pogonsku režiju i održavanje objekata.

3. ANALIZA KOMPONENTALNIH TROŠKOVA

Analiza uticaja komponentalnih troškova na vrednost mašinskog časa izvršen je preko određenog primera za određeni proizvodni pogon sa sledećim podacima: Redukovana proizvodna površina pogona $A_p = 7000 \text{ m}^2$; $C_R = 1500 \text{ DEM/m}^2$; $n_a = 10\text{g}$; $n_p = 30\text{g}$; $i = 0,1$; $q = 1,1$; $F = 1500\text{h}$ (za 1 smenu); NLD - direktnih radnika 600 DEM/mes.

Na sl.1 prikazana je promena procentualnog učešća komponentalnih troškova u vrednosti mašinskog časa za radno mesto sa različitom vrednošću opreme (od 20.000 DEM do 600.000 DEM).

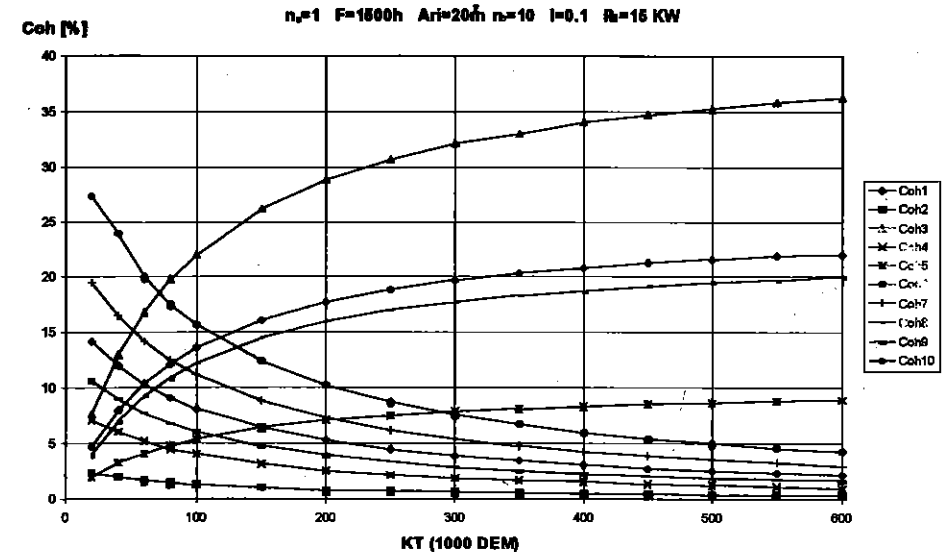
Iz sl.1 jasno se vidi da je učešće amortizacije (C_{oh1}) i anuiteta za otplatu kredita za opremu (C_{oh3}) u toliko veće ukoliko je oprema radnog mesta skuplja. Obratno učešće troškova za direktne radnike (C_{oh8}) i indirektno (C_{oh7}) smanjuje se sa porastom vrednosti instalirane opreme, tako da se kod skupih mašina na radnoj snazi praktički se nemože uštedeti.

Danas kada se privreda balkanskih zemalja nalazi u vrlo teškoj situaciji i teško nalazi plasman za svoje proizvode, postavlja se pitanje, kako izaći na kraj sa nemilosrdnom konkurencijom koja vlada na tržištu. Sasvim je razumljivo da ukoliko možemo da ponudimo niže cene proizvoda utoliko su veće šanse da zaposlimo naše proizvodne pogone. Cena proizvoda pored cene materijala i alata, značajno zavisi i od cene koštanja mašinskog časa.

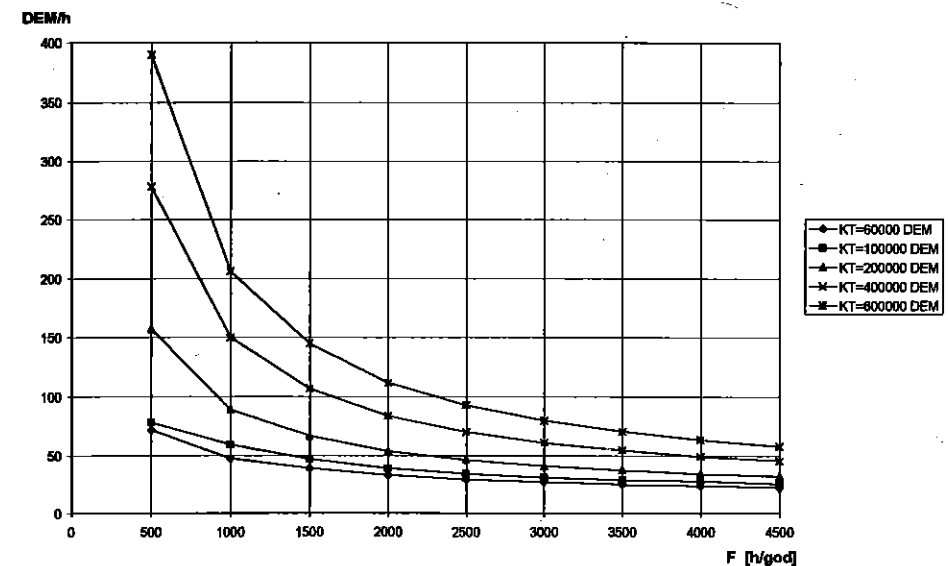
Prvi faktor za sniženje vrednosti mašinskog časa je da se isključi amortizacija opreme (C_{oh2}). Amortizacija faktički neprestavlja trošak. Njome se obezbeđuju sredstva za kupovinu nove opreme kada se predhodna "amortizuje".

Drugi faktor je da se isključi i amortizacija radnog prostora (C_{oh2}).

Međutim, ukoliko dobijanje posla na tržištu zavisi isključivo od cene mašinskog časa, treba isključiti i anuiteta za opremu i radni prostor (C_{oh3} i C_{oh4}), čime se može znatno uticati na vrednost mašinskog časa naročito kod skupe opreme.



Sl.1. Promena procentualnog učešća komponentalnih troškova od vrednosti opreme radnog mesta



Sl.2. Promena vrednosti mašinskog časa sa godišnjem fondom efektivnog rada mašine (F)

Iz sl.2. jasno se vidi da se vrednost mašinskog časa rapidno opada sa povećanjem efektivnog korišćenja opreme naročito za skupu instaliranu opremu.

4. ZAKLJUČCI

1. Poznavanjem vrednosti mašinskog časa dobija se značajna informacija za kalkulaciju cene koštanja proizvoda i analizu rentabilnosti rada proizvodnih pogona.
2. Poznavanjem strukture troškova mašinskog časa, menadžerskom kadru omogućuje da podešava cenu koštanja proizvoda prema uslovima tržišta, sa jasnim saznanjem šta dobija, a šta gubi, što doprinosi za veće zapošljenje pogona i ekonomičniju proizvodnju.

5. LITERATURA

- /1/. Trajkovski S.: Tehnoekonomski aspekti pri primenata na avtomatski liniji i mašini. Mašinski fakultet, Skopje, 1982.
- /2/. Trajkovski S.: Postapka za opredelovanje na cenata na činenjeto na mašinskiot čas za proizvodnata oprema. Mašinski fakultet, Skopje, 1986.
- /3/. Trajkovski S.: Determination of the machine hour rate in the metalworking and machine productive industry. Transformation of science and technology neto productive power, Peking, 1991, p.1131-1134.

PRECISE DETERMINATION OF THE MACHINE HOUR RATE ONE OF THE CONDITIONS FOR MORE ECONOMICAL PRODUCTION

SUMMARY

The paper discusses about the importance of precise determination of the machine hour rate in the metalworking industry, and the rational disaggregation of the total machining cost function to a more detailed level, to account for costs imputes (labour, amortization, depreciation rate, factory overheads e.t.c).

The paper also examines the influence of different component costs, and the number of shifts on the machine hour rate.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Vasić, I., Kalajdžić, M.¹⁾

OPTIMIZACIJA ČEONOG GLODANJA²⁾

Rezime

Jedna od mogućnosti optimizacije obradnih sistema pri čeonom glodanju jeste i primena glodačkih glava sa promenljivim lučnim korakom zuba, sa ciljem poremećaja dinamike sistema tako da se dinamički najstabilnije područje poklapa sa eksploatacijskim. Istraživanja u ovoj oblasti se zasnivaju na postojećim iskustvima [1], [2], ali sa novim pristupom koji je omogućen primenom savremenih računara. U ovom slučaju izvršena je kompleksna analiza uticaja promenljivog lučnog koraka na dinamiku procesa glodanja i ukupnog obradnog sistema, potom i optimizacija rasporeda zuba da bi se dobio najveći porast stabilnosti u željenom području broja obrta, a sve pomoću odgovarajućeg softvera univerzalne namene. Eksperimentom je izvršena verifikacija teorijskih postavki.

1. UVOD

Analiza obradnog sistema u oblasti čeonog glodanja zasnovana je na poboljšanju dinamike celog sistema delovanjem na konstrukciju alata. Primena glodala i glodačkih glava sa promenljivim lučnim korakom zuba je opravdana i u tehnološkom i u ekonomskom smislu [1], [2], [3], a suština je u poremećaju dinamike noseće strukture korišćenjem energije iz procesa, tako da dolazi do zanatnog povećanja dinamičke stabilnosti sistema u određenoj oblasti broja obrta. To je vrlo značajno za primenu na univerzalnim mašinama, a još značajnije kod specijalnih mašina koje rade sa jednim ili dva broja obrta. Polazeći od ranijih iskustava u ovoj oblasti [1], [3], [4], [5], izvršena je kompleksna teorijska, numerička i eksperimentalna analiza ovog problema i to:

- teorijsko obrazloženje uticaja promenljivog lučnog koraka na dinamičku stabilnost procesa glodanja,
- simulacija procesa glodanja pri promenljivom lučnom koraku zuba [5],
- analiza dinamike noseće strukture mašine alatke,
- izrada odgovarajućeg softvera, sa mogućnostima dobijanja numeričkih i grafičkih rezultata za svaki konkretan slučaj, analizom dinamike noseće strukture i optimizacijom rasporeda zuba za proizvoljan režim na datoj nosećoj strukturi,
- eksperimentalna identifikacija dinamike čeonog glodanja korišćenjem tehnika A/D konverzije signala, naknadne digitalne obrade i prezentacije na personalnom računaru.

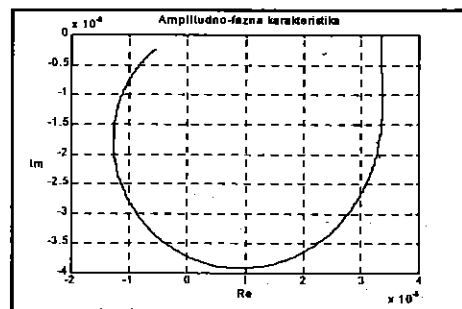
2. DINAMIKA ČEONOG GLODANJA

Dinamika obradnog sistema predstavlja spregu dinamičkog ponašanja noseće strukture i dinamike samog procesa obrade. Poznavanje dinamike noseće strukture ekvivalentno je poznavanju frekventnih karakteristika sistema. Na slici 1. je prikazana amplitudno - fazna

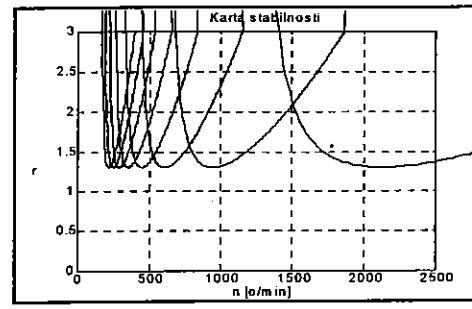
¹⁾ Vasić Ivan, dipl. inž. maš., Prof. dr. Milisav Kalajdžić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, Beograd, 27. Marta 80.

²⁾ Rad predstavlja deo rezultata ostvarenih u okviru projekta "Fleksibilni tehnološki sistemi i fleksibilna automatizacija u industriji prerade metala", u čijem finansiranju učestvuje i MNT Republike Srbije.

karakteristika za jedan stepen slobode noseće strukture mašine alatke formirana poznatim metodama identifikacije [1], [3], [8]. U slučaju poznavanja dinamike procesa možemo iz amplitudno - fazne karakteristike formirati i kartu stabilnosti datu na slici 2., koja predstavlja vezu između broja obrta n i koeficijenta stabilnosti r . Prikazana karta stabilnosti odgovara obradi glodalom sa ravnomernim rasporedom zuba, sa nosećom strukturom čija je amplitudno - fazna karakteristika data na slici 1., i primenom teorije regenerativnog efekta u procesu glodanja, gde je ispunjen uslov da je na granici stabilnosti pomeraj u pravcu pomoćnog kretanja za jedan zub jednak po apsolutnoj vrednosti pomeraju njemu prethodnog $|x(t)| = |x(t-T)|$, [1], [2].



Slika 1. Amplitudno - fazna karakteristika



Slika 2. Karta stabilnosti

Kod glodačkih glava sa promenljivim lučnim korakom zuba definiše se srednji lučni korak L kao aritmetička sredina pojedinih lučnih koraka L_i .

Srednja relativna promena lučnog koraka ϵ definiše relativnu promenu koraka između susednih zuba, a zakon promene lučnog koraka dat je nizom pozitivnih brojeva X_i , ($i=1,2,\dots,z$).

Koeficijent promene koraka q_i definiše veličinu pojedinih lučnih koraka L_i preko:

$$L_i = L(1 + q_i) \quad (i=1, \dots, z)$$

U slučaju obrade glodalom sa promenljivim lučnim korakom dolazi do podizanja granice između stabilne i nestabilne oblasti na karti stabilnosti sa slike 2., [1], [2], [3]. To znači da se povećava vrednost koeficijenta stabilnosti r u odnosu na obradu glodalom sa konstantnim korakom.

Funkcija pomoću koje se dobija faktor povećanja stabilnosti za svaki broj obrta, a u odnosu na stabilnost pri radu glodalom sa konstantnim korakom, data je izrazom:

$$G = \frac{2 \sum_{j=1}^z R_{kj} \left\{ \sum_{j=1}^z R_{kj} - \sum_{j=1}^z R_{kj} \cos[\theta(1+q_{kj})] \right\}}{\left\{ \sum_{j=1}^z R_{kj} - \sum_{j=1}^z R_{kj} \cos[\theta(1+q_{kj})] \right\}^2 + \left\{ \sum_{j=1}^z R_{kj} \sin[\theta(1+q_{kj})] \right\}^2}$$

dok je fazni ugao iz amplitudno-fazne karakteristike u tom slučaju:

$$\varphi = \arctan \left(\frac{\sum_{j=1}^z R_{kj} \sin[\theta(1+q_{kj})]}{\sum_{j=1}^z R_{kj} \cos[\theta(1+q_{kj})] - \sum_{j=1}^z R_{kj}} \right)$$

gde je θ fazni ugao između dve uzastopne vibracije, q_{kj} matrica koeficijenata promene koraka, R_{kj} koeficijent pravca sile, a z broj zuba u zahvatu.

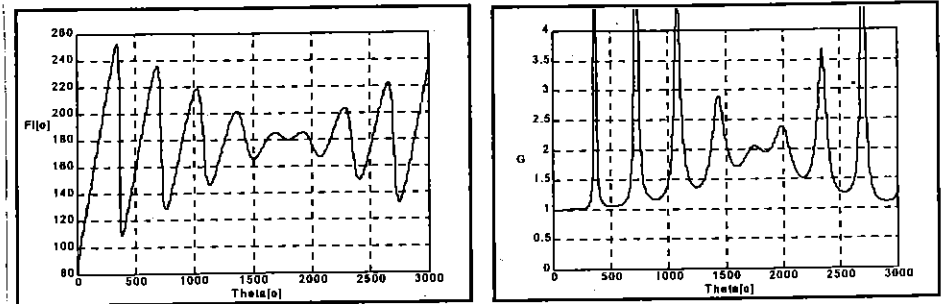
Vezu $\theta = \theta(\epsilon)$ nije moguće eksplicitno odrediti, pa se za svako $\pi/2 \leq \varphi \leq 3\pi/2$ iz amplitudno fazne karakteristike, numeričkim putem, određuju rešenja za θ , G , odnosno koeficijent stabilnosti r . Odgovarajući broj obrta glodala određuje se po formuli:

$$n = \frac{21600}{z \theta} f_r$$

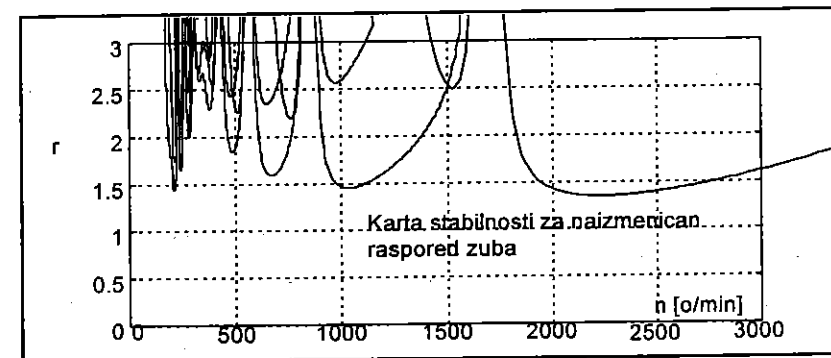
gde je f_r frekvencija koja odgovara nastanku samopobudnih vibracija.

Analitički je dokazano da je funkcija $G(\theta) \geq 1$, za svako θ , što pokazuje da je koeficijent stabilnosti pri rezanju glodalom sa promenljivim korakom zuba veći, ili u najgorem slučaju jednak koeficijentu pri rezanju glodalom sa konstantnim korakom.

Zavisnost funkcija φ i G od θ , za glodačku glavu sa 8 naizmenično raspoređenih zuba od kojih su 4 u zahvatu i gde je $\epsilon=10\%$, prikazana je na slici 3., dok je na slici 4. prikazana korigovana karta stabilnosti sa slike 2., za ovaj slučaj.



Slika 3. Funkcije φ i G za naizmenični raspored zuba



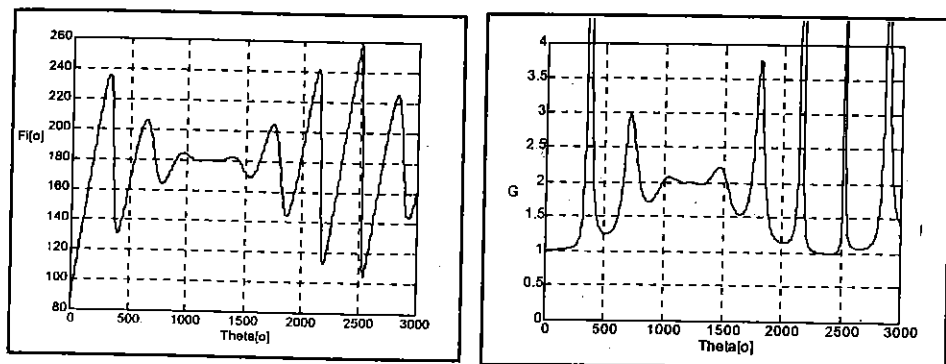
Slika 4. Korigovana karta stabilnosti za naizmenični raspored zuba

3. PROGRAMSKA REALIZACIJA I REZULTATI

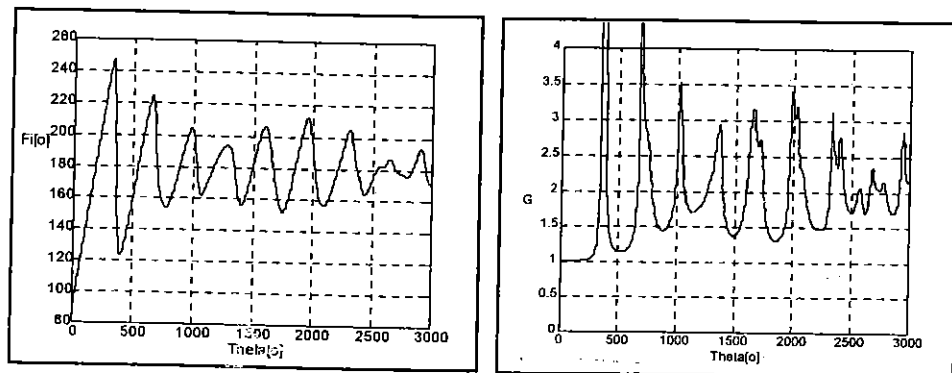
Na osnovu teorijskih istraživanja u oblasti dinamike čeonog glodanja i dinamike nosećih struktura mašina alatki [1], [3], [8], od kojih je deo iznet u prethodnom poglavlju, realizovan je univerzalni softver sa sledećom namenom:

- analiza dinamike procesa glodanja za proizvoljan slučaj rasporeda zuba po obimu glodala,
- analiza dinamike noseće strukture preko amplitudno - faznih karakteristika i karti stabilnosti za određeni proces,
- optimizacija rasporeda zuba, preko optimizacije srednjeg relativnog odstupanja ϵ za odgovarajuću raspodelu vektora X ,
- grafička prezentacija rezultata.

U nastavku je dat deo rezultata dobijenih programom. To su najpre, na slici 5, dijagrami φ i G od θ , za glodačku glavu sa 12 zuba raspoređenih po sinusnom zakonu, od kojih su 6 u zahvatu i gde je $\epsilon=15\%$, a na slici 6. dijagrami φ i G za glodačku glavu sa 12 zuba raspoređenih slučajno, od kojih su 6 u zahvatu i gde je ϵ takođe 15%.

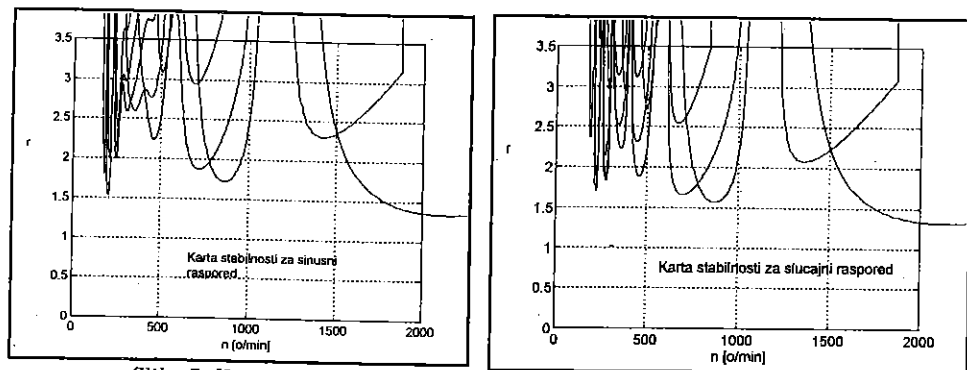


Slika 5. Funkcije ϕ i G za sinusni raspored zuba



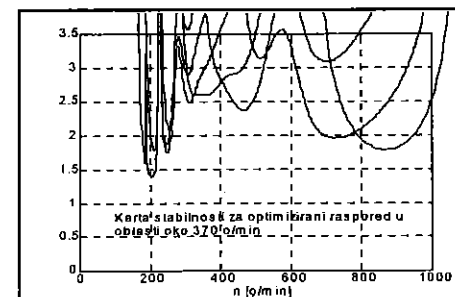
Slika 6. Funkcije ϕ i G za slučajni raspored zuba

Na slici 7. date su korigovane karte stabilnosti za sinusni i slučajni raspored zuba. Kao što se može uočiti do najvećeg porasta stabilnosti za sinusni raspored zuba dolazi na području oko 350 obrta, a za slučajni raspored oko 380 obrta u minuti. Interesantno je uočiti da džepovi karte stabilnosti bivaju rasečeni funkcijom $G(\theta)$, pri množenju postojećeg koeficijenta stabilnosti r sa funkcijom G . Ipak, suštinski značaj jeste podizanje granice između stabilne i nestabilne ili uslovno stabilne oblasti. Karte stabilnosti su dobijene za slučaj amplitudno - fazne karakteristike sa slike 1., koja je dobijena istim programom za parametre sistema: krutost $k=3e7$ N/m, viskozno prigušenje $b=28000$ kg/s, masa $m=28$ kg.

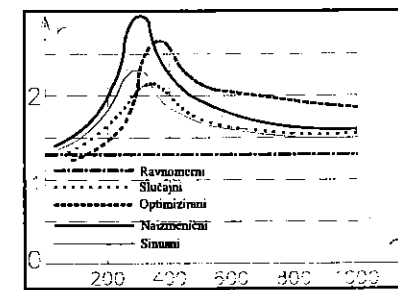


Slika 7. Korigovane karte stabilnosti za sinusni i slučajni raspored zuba

Optimizacija koja se vrši programski na osnovu teorijskih izvođenja za zavisnost faktora ϵ od broja obrta i frekvence na kojoj dolazi do samopobudnih vibracija [1], sprovodi se za dati način raspodele zuba (sinusni, naizmjenični, ...) i željenu oblast broja u kojoj treba da se izvede optimizacija koeficijenta stabilnosti. Kao primer ovde se izdvaja optimizacija rasporeda zuba glodačke glave sa 12 zuba raspoređenih po sinusnom zakonu, sa 6 zuba u zahvatu i sa prethodno pomenutom nosećom strukturom. Kao oblast optimizacije je usvojeno $n \approx 370$ o/min i kao rezultat se dobija $\epsilon=16.30\%$. Provera je izvršena ponovnim proračunom sa $\epsilon=16.30\%$, kao ulaznim parametrom i dobijeno je potpuno poklapanje korigovane karte stabilnosti (slika 8.) sa željenom. Na slici 9. dat je uporedni prikaz graničnih vrednosti koeficijenta stabilnosti za konstantan, naizmjeničan, sinusni i slučajni i optimizirani raspored zuba, tj. donjih obvojnica karti stabilnosti sa slika 2, 4, 7 i 8.



Slika 8. Optimizirana karta stabilnosti za $n=370$ o/min



Slika 9. Granične vrednosti koeficijenta stabilnosti

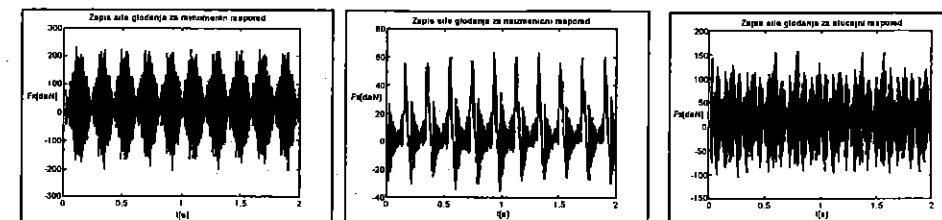
4. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA

Iz niza eksperimenata [2], [8] izdvaja se nekoliko interesantnih rezultata. U konkretnom slučaju vršena je, najpre, obrada glodačkom glavom sa 8 ravnomerno raspoređenih zuba. Izabrane vrednosti elemenata režima obrade i uslovi obrade u tom slučaju su doveli do pojave samopobudnih vibracija noseće strukture, što potvrđuje i zapis komponente sile glodanja u pravcu brzine pomoćnog kretanja (slika 10a). Eksperiment je ponovljen, pod identičnim uslovima, i sa glavama sa slučajnim, odn. naizmjeničnim rasporedom zuba, u oba slučaja $\epsilon=10\%$.

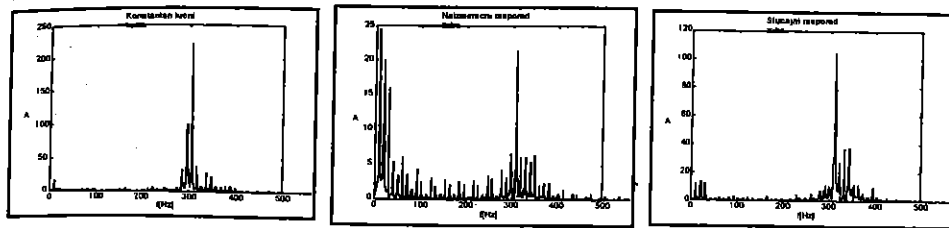
Uslovi eksperimenta:

- mašina: ILR HBG 80-OC
- materijal obratka: Č.1530
- godanje čeonu suprotnosmernom
- širina glodanja $b=85$ mm, dubina glodanja $a=0.8$ mm
- brzina pomoćnog kretanja $v_s=80$ mm/min
- broj obrta glodala $n=300$ min⁻¹

Na slici 11. dat je uporedni prikaz amplitude sile F_x u frekventnom domenu, za sva tri slučaja. Očigledno je smanjenje intenziteta samopobudnih vibracija što pri konkretnom režimu obrade ukazuje na povoljnosti primene glava sa slučajno i naizmjenično promenljivim lučnim korakom zuba.



Slika 10. Zapisi sile glodanja



Slika 11. Amplitudno-frekventne karakteristike

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijskih, numeričkih i eksperimentalnih rezultata se može zaključiti da je primena glodačkih glava sa promenljivim rasporedom zuba opravdana i da i pored ostvarenih rezultata treba nastaviti sa istraživanjem u ovoj oblasti, ne samo kod glodala već i drugih višesečnih alata. Primena je posebno interesantna za specijalne mašine, koje rade sa jednim brojem obrta ili u vrlo uskom opsegu, pa optimizacijom za tu oblast dolazi do vrlo povoljnih efekata u dinamičkom ponašanju. Realizovani softver već sada predstavlja dobru osnovu za konkretnu primenu ovih rezultata, a planiranim proširenjem treba da se izvrši dalje približenje modela realnom sistemu.

6. LITERATURA

- [1] Kalajdžić, M., Tomašević, M., Optimizacija obradnih jedinica - Obrada glodanjem, Elaborat 209/73, IAMA, Beograd, 1973.
- [2] Kalajdžić, M., Tomašević, M., Optimizacija obradnih jedinica na primeru čeonog glodanja glodanja, Časopis Tehnika, br. 7-8, Beograd, 1974.
- [3] Vasić, I., Dinamička stabilnost procesa glodanja, Diplomski rad, MF, Beograd, 1995.
- [4] Vasić, I., Kokotović, B., Kalajdžić, M., Dinamička stabilnost pri čeonom glodanju, 21. JUPITER konferencija, Zbornik radova, Beograd, 1995.
- [5] Vasić, I., Cupać, D., Glavonjić, M., Simulacija procesa glodanja pri promenljivoj lučnoj koraku zuba, 22. JUPITER konferencija, Zbornik radova, Beograd, 1996.
- [6] Glavonjić, M., Kalajdžić, M., Simulacija procesa glodanja, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Beograd, 1994.
- [7] Kalajdžić, M., Glavonjić, M., Tanović, Lj., Kokotović, B., Uzelac, B., Model procesa glodanja, V Medjunarodna konferencija MMA 94, Zbornik radova, Novi Sad, 1994.
- [8] Kalajdžić, M., Puzović, R., Janković, S., Sistem model sila pri čeonom glodanju, II naučno-stručni skup Teška mašingranja, Zbornik radova, Kraljevo, 1996.

Vasić, I., Kalajdžić, M.

OPTIMIZATION OF FACE MILLING PROCESS

In this paper was presented optimization of face milling process with various distribution of tooth arc pitch of face mills. Function which allow estimation of dynamics behaviour of manufacturing system, was shown. Possibility of application, procedure and part of results of experimental verification were presented.



M. Vučićević, P. Dimitrijević

OPTIMALNI TEHNOEKONOMSKI PARAMETRI OBRADLJIVOSTI KOD ZAVRŠNOG STRUGANJA SINTEROVANIH MATERIJALA V556W I COMO12FS

Rezime

U radu su prikazani rezultati određivanja optimalnih elemenata režima pri završnom profilnom struganju sedišta ventila za automotore na bezolovni benzin od teškoobradljivih sinterovanih materijala V556W i COMO12FS. Definisane optimalnih režima rezanja vršeno je obzirom na minimalne troškove obrade, uz respektovanje zahtevanog kvaliteta obradene površine izraženog preko srednjeg aritmetičkog odstupanja profila od srednje linije.

1. UVOD

Ispravno funkcionisanje određenog elementa u sklopu nekog proizvoda uglavnom zavisi od pravilnog izbora materijala i kvaliteta obrade. Kod izbora materijala se vodi računa o odnosu konstruktivnih osobina i cene sa jedne, a sa druge strane o troškovima obrade koji su vezani za osobinu izabranog materijala prema obradljivosti. Sinterovani materijali zbog mogućnosti izrade delova različite konfiguracije konačnog ili sa vrlo malim dodatkom za obradu ("Near - Net - Shape" tehnologija) skidanjem strugotine, zatim zbog visokih fizičko-mehaničkih osobina, naročito visoke otpornosti na habanje i pri povišenim temperaturama eksploatacije i, na kraju, proizvodnja delova od sinterovanih materijala za veće serije je ekonomičnija nego za delove od monolitnih materijala. Jedan takav slučaj su sedišta ventila od sinterovanih materijala za automotore na bezolovni benzin. Za njihovu obradu koristi se proces završnog struganja, pri čemu se optimizacija elemenata režima rezanja bazira na pouzdanim relacijama koje definišu tok procesa, odnosno funkciju kvaliteta procesa.

2. USLOVI ISPITIVANJA

Da bi se istražio proces završne obrade struganja teškoobradljivih sinterovanih materijala odnosno odredili optimalni tehnokonomski parametri obradljivosti neophodno je sprovesti određena ispitivanja. Pošto za praksu ima značaja način struganja i vrsta alata koji se primenjuje, to se ispitivanja odnose na profilno i konturno fino struganje sinterovanih sedišta ventila motora za bezolovni benzin, alatom od CBN. Za pojedine načine struganja, vrši se praćenje širine pojasa habanja ledne površine

* Dr Miroslav Vučićević, dipl. maš. inž, dr Petar Dimitrijević, dipl. maš. inž. VTMŠ Beograd, Nade Dimić 4

reznog dela noža sa polikristalnom pločicom od CBN u zavisnosti od vremena za pojedine režime rezanja. Istovremeno se prati kvalitet obradene površine preko parametra hrpavosti R_a (srednje aritmetičko odstupanje profila obradene površine). Na ovaj način se definišu krive habanja za pojedine uslove obrade. Korišćenjem rezultata merenja i matematičko-statističke teorije eksperimenata definišu se funkcije obradljivosti, tj. funkcije postojanosti alata i kvaliteta obradene površine. Na kraju, preko funkcije optimizacije kao funkcije troškova i funkcije kvaliteta obradene površine kao granične funkcije, određuju se elementi režime rezanja.

Obratke predstavljaju prstenasta sedišta ventila automotora za gorivo bez dodatka olova. Zbog specifičnih eksploatacionih uslova, posebno izduvnih sedišta, ona se izrađuju od legiranih sinterovanih materijala. Ovde se tretiraju dve vrste sinterovanih materijala za sedišta ventila. Firma TEIKOU PISTON RING CO.LTD. daje dvodelna usisna i izduvna sedišta od sinterovanih materijala. Ovaj materijal nosi internu oznaku V556W, dok onaj deo sedišta na koji naleže "pećurka" ventila ima oznaku V556. Drugi sinterovani materijal za izduvno sedište od firme BLEISTAHL nosi oznaku COMO12FS.

Hemijski sastav pojedinih vrsta sinterovanog materijala dat je u tabl. 1, a uporedne vrednosti mehaničko-fizičkih karakteristika sedišta ventila u zavisnosti od vrste sinterovanih materijala u tabl. 2.

Tabela. 1. Hemijski sastav legiranog sinterovanog materijala

Vrsta sinter. mater.	Interv. legiraj. elem.	Hemijski sastav legiranog sinterovanog materijala 1%														
		C	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Mo	W	Pb	P	S	Ost. elem.	Fe	
V556	od	0,8		2,5		4,5	0,8	10	2,0						max 1	O S T
	do	1,3		4,5		7,5	2,3	14	4,5							
COMO 12FS	od	0,6			0,3	9,0	1,0		2,0		0,5		0,2	<1,0		
	do	1,1			0,7	11	2,0	3,0		1,5		0,6				

Tabela. 2. Fizičko-mehaničke osobine sedišta ventila

Fizičko-mehaničke veličine	Jedinica mere veličine	Interval merenja veličine	Vrsta legiranog sinterovanog materijala	
			COMO 12FS	V556W
Gustina	$\frac{g}{cm^3}$	od do	> 7,4	7,7 8,0
Tvrdoća	HRC	od do	34 40	25 38
Zatezna čvrstoća	$\frac{daN}{mm^2}$	od do	90 105	min 70
Radijalna čvrstoća	$\frac{daN}{mm^2}$	od do	120 125	min 140
Koef. term. širenja	$\frac{10^{-6}}{K}$	od 20°C do 600°C	11,5 12,0	11,6 13,0
Termička provodljiv.	$\frac{W}{mK}$	na 20°C na 400°C	39	42
Modul. elastičnosti	$\frac{daN}{mm^2}$	od do	160 175	185

Sedišta ventila firme BLEISTAHL imaju poboljšanu bainitnu strukturu pri čemu su zone obogaćene kobaltom, specijalnim karbidima i unutrašnjim veznim metalima.

Kod sedišta TEIKOKU čestice legirajućih elemenata hroma, mangana, kobalta i gvožđa su ravnomerno raspoređene u rešetki od martenzita i sorbita, sa infiltriranim bakrom.

Alat je od CBN koji se sastoji iz tela i dvodelne pločice pri čemu je podloga od tvrdog metala TM a rezni deo od polikristalnog CBN [1]. U toku procesa izrade dolazi do "srastanja" ovih delova u jednu celinu sa uzajamno dopunjenim mehaničko-fizičkim osobinama CBN i TM. Naime, pošto je polikristalni CBN sam po sebi vrlo krk, zato mu podloga od TM sa većom čvrstoćom i žilavošću povećava stepen otpornosti na dinamičke udare, zadržavajući veliku tvrdoću i visoku otpornost na habanje.

U procesima obrade pri izvođenju eksperimenata korišćeno je sredstvo za hlađenje i podmazivanje HYSOL firme CASTROL iz Hamburga. Ovo SHP čini rastvor oko 4 do 5% biostabilnog emulzivnog ulja sa dodacima aditiva protiv korozije i bolje obradljivosti. Protok SHP prilikom ispitivanja uzet je od $Q = 5$ l/min kao što je u proizvodnim uslovima.

Merenja habanja alata i kvaliteta obradene površine sedišta ventila izvođena su u Metrološkoj laboratoriji DMB-a. Za parametar habanja alata sa pločicom od CBN pri završnom struganju sedišta ventila od sinterovanog materijala uzeta je širina pojasa habanja ledne površine noža B_L . Merenjem se određuje srednja veličina širine pojasa habanja i izvodi se na univerzalnom alatnom mikroskopu firme CARL ZEISS, Jena. Tačnost očitavanja mikroskopa je 0,2 μ m. Kod određivanja parametara obradljivosti u parcijalnoj funkciji kvaliteta obradene površine, vrše se merenja srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a na PERTHOMETER S8P, firme FEINPRÜN PERTHEN GmbH iz Göttingen-a. Za kriterijum zatupljenja alata usvaja se tehnološka kritična veličina širine pojasa habanja na leđnoj površini noža CBN, od $B_{LK} = 0,15$ mm, čime se sa jedne strane zadovoljava kvalitet obraćene površine a sa druge ekonomičnost pri reparaciji noža.

3. ODREĐIVANJE OPTIMALNIH PARAMETARA OBRADLJIVOSTI

Za identifikaciju konstanti i parametara obrade pri procesu završnog profilnog i konturnog struganja sedišta ventila od sinterovanih materijala V556W i COMO12FS, sa CBN korišćena je radna plan matrica potpunog ortogonalnog plana prvog reda za dvofaktorni sistem (v, s), sa brojem eksperimenata $N = 2^k + n_0 = 2^2 + 4 = 8$. Proces se odvijao u uslovima optimalne geometrije reznog dela noža (α_0, γ_0) [2] i upotrebi SHP HYSOL sa protokom $Q = 5$ l/min. Brzina rezanja varirana je od $v = 60 \div 120$ m/min, a korak $s = 0,04 \div 0,12$ mm/o, dok je dubina rezanja za konturno struganje iznosila $a = 0,15$ mm.

3.1 Parcijalne funkcije obradljivosti

Izračunavanje vrednosti koeficijenata regresije u funkciji reagovanja za postojanost alata T i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a , kao mere kvaliteta obradene površine i disperzione analize se izvodi preko programa. Na osnovu dobijenih rezultata, i Fišerove raspodele za nivo značajnosti $\alpha = 0,05$, svi koeficijenti višestruke regresije u svim modelima za obratke različitih sinterovanih materijala su signifikantni, dok hipoteza o neadekvatnosti modela u svim slučajevima se odbacuje [3].

Na osnovu izračunatih vrednosti za koeficijente višestruke regresije određuju se konstante i parametri obradljivosti preko kojih se formiraju parcijalne funkcije obradljivosti za postojanost alata i kvalitet obradene površine (tabl. 3.).

Tabela 3. Parcijalne funkcije obradljivosti

STRUG.	ALAT	MATERIJAL OBRATKA	PARCIJALNE FUNKCIJE OBRADLJIVOSTI		
			POSTOJANOST ALATA T	BRZINA REZANJA v	SREDNJE ARITMETIČKO ODSTUPANJE
PROFIL	CBN	V556W	$\frac{54664}{v^{2,073} s^{0,490}}$	$\frac{192,9}{T^{0,482} s^{0,236}}$	$\frac{105,4s^{1,187}}{v^{0,528}}$
		COMO12FS	$\frac{15957}{v^{1,801} s^{0,456}}$	$\frac{215,1}{T^{0,555} s^{0,253}}$	$\frac{66,1s^{1,049}}{v^{0,434}}$
KONTUR.	CBN	V556W	$\frac{25099}{v^{1,778} s^{0,467}}$	$\frac{297,9}{T^{0,562} s^{0,263}}$	$\frac{54,9s^{0,934}}{v^{0,480}}$
		COMO12FS	$\frac{11170}{v^{1,704} s^{0,436}}$	$\frac{237,8}{T^{0,587} s^{0,256}}$	$\frac{34,1s^{0,966}}{v^{0,330}}$

3.2. Identifikacija funkcija optimizacije

Algoritam određivanja optimalnih tehnokonomskih parametara obradljivosti s obzirom na min troškove i zahteve po kvalitetu obrađene površine kod elementarne operacije pri procesu završnog struganja delova od sinterovanih materijala, obuhvata definisanje funkcije troškova obrade kao funkcije optimizacije i granične funkcije kao zahteva kvaliteta obrađene površine.

Funkcije troškova obrade na nivou zahvata završnog struganja sedišta ventila sa nožem od CBN definiše se preko izraza [4,5]:

$$T_z = K_1 + \frac{K_2}{v \cdot s} + K_3 v^{\frac{1}{q_1} - 1} s^{\frac{q_2}{q_1} - 1} a^{\frac{q_3}{q_1}} \quad (1)$$

pri čemu $K_i, i = \overline{1,3}$, predstavljaju složene faktore koji zavise od konkretnih tehnokonomskih i proizvodnih uslova obrade struganja.

S obzirom da najveći uticaj na kvalitet obrađene površine ima korak s, to se kao granična funkcija uzima srednje aritmetičko odstupanje profila u obliku:

$$R_a \geq Q_R \frac{s^{q_{R2}} a^{q_{R3}}}{v^{q_{R1}}} \quad (2)$$

pri čemu su $Q_R, q_{Ri}, i = \overline{1,3}$ - parametri obradljivosti kvaliteta obrađene površine.

Optimalni režimi rezanja nalaze se iz sistema jednačina koje se dobijaju na osnovu min troškova obrade (1) i granične funkcije definisane preko srednjeg aritmetičkog odstupanja profila (2), i obzirom da se kod završnog struganja može uzeti da je $a = \text{const}$, biće:

$$v_r = \left(\frac{q_1}{1 - q_1} \right)^{q_1} \left(t_s + \frac{c_a}{c_{pm}} \right)^{-q_1} s^{-q_2} = C_T s^{-q_2} \quad (3)$$

$$v_R = \left(\frac{Q_R}{R_a} \right)^{\frac{1}{q_{R1}}} \frac{q_{R2}}{s^{q_{R1}}} = C_R s^{\frac{q_{R2}}{q_{R1}}}$$

pri čemu se konstante C_T i C_R određuju na osnovu izraza:

$$C_T = \left(\frac{q_1}{1 - q_1} \right)^{q_1} \left(t_s + \frac{c_a}{c_{pm}} \right)^{-q_1}, \quad C_R = \left(\frac{Q_R}{R_a} \right)^{\frac{1}{q_{R1}}}$$

Rešavanjem sistema (3), dolazi se do optimalnih elemenata režima rezanja završnog struganja sedišta ventila u opštem obliku:

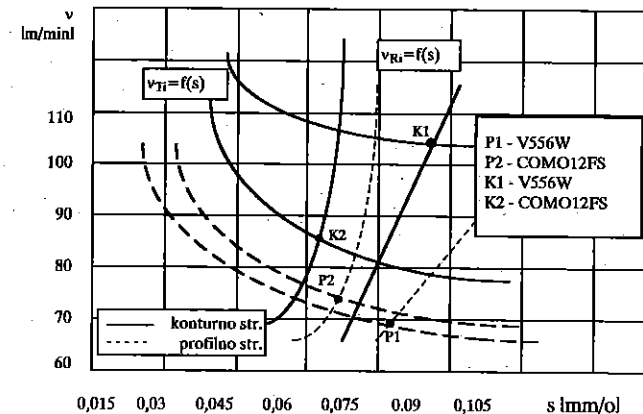
$$v_{OIR} = e^{\frac{q_2 q_{R1} \ln C_R + q_{R2} \ln C_T}{q_2 q_{R1} + q_{R2}}}; s_{OIR} = e^{\frac{q_{R1} (\ln C_T - \ln C_R)}{q_2 q_{R1} + q_{R2}}}$$

Konkretno vrednosti optimalnih elemenata režima rezanja određene su (tabl. 4.) preko programa na osnovu parametara obradljivosti $Q, Q_R, q_i, q_{Ri}, i = \overline{1,3}$, koji su određeni u pogonskim uslovima [6], vremena smene alata t_s i potrebnih elemenata za određivanje specifičnih troškova alata po postojanosti c_a i minutnih troškova vezanih za poslužioca i mašinu, c_{pm} .

Tabela 4. Optimalni elementi režima rezanja

STRUG.	VRSTA MATERIJALA	OPTIMALNI ELEMENTI REŽIMA REZANJA		
		v _{OTR} [m/min]	s _{OTR} [mm/o]	T _{OTR} [min]
PROFIL	V556W	69,17	0,077	29,31
	COMO12FS	78,43	0,062	21,92
KONTUR.	V556W	104,70	0,077	21,26
	COMO12FS	85,35	0,063	19,21

Grafička ilustracija određivanja optimalnih režima rezanja kod procesa završne obrade struganjem sedišta ventila od teškoobradljivih sinterovanih materijala V556W, COMO12FS data je na sl. 1. U preseku krivih $v_{T1} = f_1(s)$ minimalnih troškova i $v_{R1} = f_2(s)$



Slika 1. Grafičko određivanje optimalnih elemenata režima rezanja

zahtevanog kvaliteta obradene površine dobijaju se optimalne tačke P1 i P2 za profilno i K1 i K2 za konturno struganje, čije koordinate predstavljaju optimalne elemente režima rezanja. Prema sl. 1, kod profilnog struganja lošiju obradljivost ima sinterovani materijal V556W, a kod konturnog materijal COMO12FS, što je potvrđeno u praksi.

4. ZAKLJUČAK

Za praksu su od posebnog značaja dobijeni rezultati optimalnih elemenata režima rezanja pri završnom struganju sedišta ventila od teškoobradljivih sinterovanih materijala V556W i COMO12FS, obzirom na min troškove obrade i zahteva po osnovu kvaliteta obradene površine. Optimalne vrednosti koraka s_{OTR} pri struganju nožem od CBN su u rasponu $0,06 \div 0,08$ mm/o, pri čemu je najveća za sinterovani materijal V556W pri konturnom struganju. Optimalne vrednosti brzine rezanja v_{OTR} su 69 m/min za profilno i 104 m/min za konturno struganje materijala V556W, dok su 78 m/min i 85 m/min za profilno odnosno konturno struganje materijala COMO12FS.

5. LITERATURA

[1] Верещагин, Л. Ф., Яколев, Н. Е., Слесарев, Н. Б., *Сверхтвердый материал на основе кубического нитрида бора, Станки и инструмент, (1972), Но 6.*

[2] Vučićević, M., Jovičić, M., Optimizacija geometrije alata od CBN pri završnoj obradi struganjem teškoobradljivih sinterovanih materijala, V Međunarodna naučno-stručna konferencija mma '94, N. Sad, 1994.

[3] Налимов, В. В., *Теория эксперимента, Наука Москва, 1971.*

[4] Макаров, А. Д., *Оптимизация процессов резания, Машиностроение, Москва, 1976.*

[5] Stanić, J., Uvod u teoriju tehnoekonomske optimizacije procesa, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.

[6] Vučićević, M., Istraživanje procesa završne obrade struganjem teškoobradljivih sinterovanih materijala, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.

OPTIMAL TECHNOECONOMICS PARAMETERS OF PREPARATION IN PHASE OF FINISHING TURNING OF SYNERIZED MATERIALS V556 AND COMO12FS

Abstract

This work research results finding optimal elements regime in the phase of finishing with profile grinding of valve sitting in automobile motors driven with lead free fuel, made of hardly processing synerized materials based upon V556W and COMO12FS. Definig optimum regime cutting was done depending on the minimum processing cost with respecting the required quality of the processed area showed by mean arithmetic roughness.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

Dr D Vukelja, Mr R Savić, Mr B Marković, Dr S Stojković*

OPTIMIRANJE DEBLJINE REZNE PLOČICE ALATA KOD UPRAVLJANJA TERMIČKIM STANJIMA U OBRADI REZANJEM

Rezime

Radom se daje opis pristupa optimizaciji debljine pločice reznog alata putem metoda konačnih elemenata. Ovaj pristup se realizuje kroz formiranje matematičkog modela temperaturnog polja i primenom paketa programa za analizu ponašanja putem metode konačnih elemenata: ravanskog a tetraedra. Analiza se prezentira putem kratkog prethodnog teorijskog razmatranja, opisa pristupa kao i prikaz rezultata zavisnosti temperature u pojedinim čvorovima diskretizovane strukture od debljine rezne pločice.

Rad se završava iznošenjem zaključaka i pregledom korišćenih referenci.

1. Uvod

Obrada metala rezanjem predstavlja složen proces udaljavanja slojeva metala u vidu strugotine, uz prisustvo transformacije energije, pri čemu nastaju promene oblika na površini i u graničnom sloju radnog predmeta.

Obradnom sistemu **) se dovodi mehanička energija koja se u obradnom procesu transformiše u druge vidove energije: toplotnu, elektromagnetnu i hemijsku. Najveći deo mehaničke energije transformiše se u toplotnu. Usled toga nastaju temperaturna polja u obradnom sistemu. Najviše temperature polja prisutne su na kontaktnim površinama alata i strugotine. U nekim slučajevima (pri obradi teže obradivih materijala) dovodi se dodatna količina toplotne energije u cilju poboljšanja obradljivosti. U uslovima završne obrade, pak, nužno je intenzivno odvoditi toplotnu energiju, posebno, kod obrade titanovih legura. Na taj način ostvaruju se poboljšanje kvaliteta i tačnost obrade rezanjem, a povećava se i postojanost alata. Intenzitet odvođenja toplotne energije iz zone kontakta alata i strugotine bitno zavisi od obradljivosti. U uslovima završne obrade, pak, nužno je intenzivno odvoditi toplotnu energiju, posebno, kod obrade titanovih legura. Na taj način ostvaruju se poboljšanje kvaliteta i tačnost obrade rezanjem, a povećava se i postojanost alata. Intenzitet odvođenja toplotne energije iz zone kontakta alata i strugotine bitno zavisi od

* Prof. Dr Dušan Vukelja, Dipl. Ing. Mašinski fakultet u Kragujevcu
Mr Radoje Savić, Dipl. Ing. "Arhitekt" u Beogradu,
Mr Bogdan Marković, Dipl. Ing. "IMR" Rakovica,
Prof. Dr Svetislav Stojković, Dipl. Ing. Mašinski fakultet u Kragujevcu

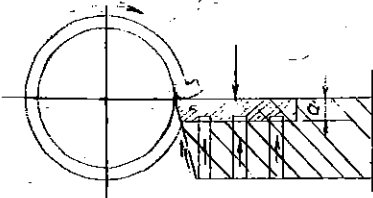
** Obradni sistem čine rezni alat, mašina, radni predmet i okolina

konfiguracije rezne pločice. U cilju ostvarivanja boljih uslova hlađenja u odnosu na sadašnje stanje, u narednom tekstu, daje se metoda određivanja optimalne debljine rezne pločice.

2. Prethodno razmatranje:

Novija istraživanja, u cilju povećanja efikasnosti obrade metala rezanjem kreću se u više pravaca: pronalaženje i uvođenje novih materijala alata, poboljšanje geometrije alata, primena novih postupaka uvođenjem adaptivnog upravljanja, povećanje stabilnosti obrade, poboljšanje kvaliteta rashladnih sredstava i načina dovodjenja rashladnih sredstava u zonu rezanja, obrada u zagrejanom stanju i dr. Kod obrade teže obradivih materijala u zagrejanom stanju snižava se jačina materijala koji se obradjuje, dok se rezna svojstva materijala poboljšavaju, naravno, pri odgovarajućim temperaturama.

Pri obradi titana i titanovih legura obradivost se značajno poboljšava u uslovima hlađenja sredstvima nižih temperatura; postojanost se tada, povećava 3-5 puta u odnosu na konvencionalne načine hlađenja. Istovremeno, u takvim uslovima, poboljšava se kvalitet i tačnost obrade. Razvijeno je više vidova dovodjenja i pripreme rashladnih sredstava (od konvencionalnih pa do savremenih). Jedan način prikazan je na sl. 1.

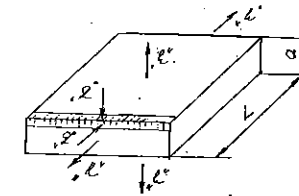


Sl. 1. Izgled hlađenja alata

Rashladno sredstvo, ohlađeno do temperature -15°C dovodi se sa donje strane pločice (a može i sa više strana) odvođeci, pri tom toplotnu energiju dovedenu iz zone rezanja. Na taj način snižava se temperatura na kontaktnoj površini rezne pločice i strugotine. Debljina rezne pločice može da bude ograničavajući faktor sniženju kontaktnih temperatura. Naime:

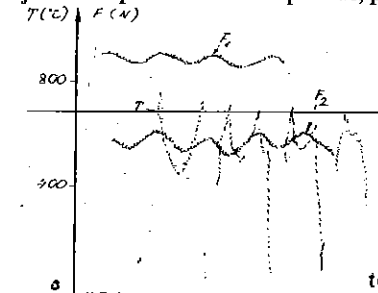
- povećanjem debljine pločice snižava se temperatura na kontaktnim površinama do određene veličine, ali sa daljim uvećanjem debljine počinje da se uvećava otpor provodjenju toplotne energije, što dovodi do povećanja temperature na kontaktnim površinama, međutim, sa druge strane, pri smanjenju debljine pločice smanjuje se toplotni kapacitet, a takodje i površina konvektivnog odavanja toplotne energije okolini i kao rezultat nastaje porast temperature na kontaktnoj površini.

Neophodno je, radi bolje korišćenih resursa alatnog materijala, lakšeg upravljanja obradom metala rezanjem i postizanja boljih tehno-ekonomskih efekata, da se odredi optimalna debljina rezne pločice. U tom cilju koristi se pristup metodom konačnih elemenata. Uzima se pločica u vidu kvadra, pri čemu se toplotna energija dovodi kroz kontaktnu površinu (Sl.2.), a dovodi konvekcijom preko ostalih površina (Sl.1.). Treba istaći da je cilj određivanje optimalne debljine rezne pločice i u drugim uslovima (na prim. obrada bez hlađenja).



Sl. 2. Rezna pločica

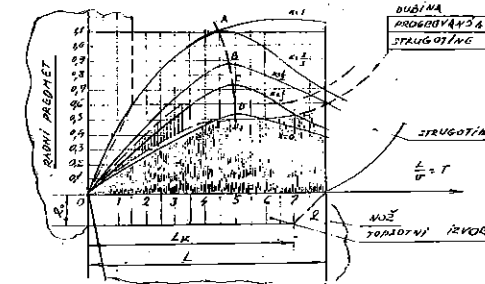
Za potrebe optimizacije daju se neki rezultati merenja otpora rezanja, kao i temperatura, dobijenih eksperimentalnim putem, procesa rezanja.



Sl. 3. Veličine otpora rezanja

Promena temperatura kao i otpori rezanja *) su periodičnog karaktera (prisutno je zagrevanje pri nastajanju strugotine i hlađenje pri njenom lomljenju).

Na Sl. 4. dato je temperatursko polje na kontaktnoj površini rezne pločice alata, dobijeno proračunom [2] i radnog predmeta, kao i oblik površinskog izvora toplotne energije; radi se o kontinualnom kontaktu strugotine i rezne pločice [2]. Za taj slučaj obrade razmatra se optimizacija debljine pločice.



Sl. 4. Dijagram bezdimenzionane temperature u zavisnosti od vremena i promene jačine toplotnog izvora (q)

3. Proračun optimalne debljine pločice reznog alata sa mehaničkim pritezanjem

Kao što je već pomenuto na visinu temperatura na kontaktnim površinama u zoni rezanja bitno utiče debljina pločice. U radu će akcenat biti na određivanju njene najpovoljnije debljine.

Da bi se pojednostavio zadatak optimizacije debljine rezne pločice, posmatraće se stacionarno stanje ravanskog problema, tj:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

(1)

granični uslovi, prema Sl. 2. 3 i 4 su

*) te veličine prate se preko odgovarajućih senzora [2]

$$\frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda q n$$

$$T_o(x, y) = T_o$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = h(T - T_o)$$

(2), (2a), (3)

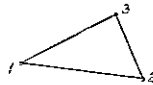
Kriterijum optimalnosti je minimalna temperatura na kontaktnoj površini "A". Za određivanje optimalne debljine pločice proračunavaju se temperature u njenom temperaturskom polju, uz variranje visine (debljine) pločice. Tok proračuna pomoću softverskog paketa razvijenog od strane autora u programskom jeziku: QUICK BASIC varijanta 4 kompajriranog za PS računare daje se u daljem tekstu. Paket programa se odnosi na analizu temperaturskog polja strukture metodom konačnih elemenata. Diskretizacija se izvodi u dve varijante:

- 1) ravanskim konačnim elementom sa 3 stepena slobode i
- 2) tetraedarskim konačnim elementom.

Polazi se od funkcionala [1] za slučaj ravanskog i stacionarnog problema)

$$\kappa = \iint_V \left\{ \frac{\lambda}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy + \iint_A \left[\frac{1}{2} h (T - T_o)^2 + qT \right] dx dy \quad (4)$$

Zatim se pločica kao kontinuum deli na konačne elemente u vidu trouglova (Sl. 5).



Sl. 5. Konačni element - trougao

Aproksimacija temperatura u čvornim tačkama trougla data je u vidu linearne funkcije

$$\{T^{(e)}\} = \begin{Bmatrix} T_1^{(e)} \\ T_2^{(e)} \\ T_3^{(e)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} c_1^{(e)} \\ c_2^{(e)} \\ c_3^{(e)} \end{Bmatrix} \quad (5)$$

ili

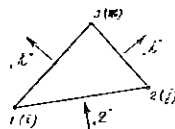
$$\{T^{(e)}\} = [1 \quad x \quad y] \cdot \begin{Bmatrix} c_1^{(e)} \\ c_2^{(e)} \\ c_3^{(e)} \end{Bmatrix}$$

Diferenciranjem funkcionala (4) po čvornim temperaturama $\{T^{(e)}\}$ elementa, te

izjednačavanjem izvoda sa nulom dobija se

$$\frac{\partial \kappa}{\partial T} = \sum_{e=1}^E \frac{\partial \kappa}{\partial \{T^{(e)}\}} = 0 \quad (7)$$

Integraljenjem (7) po zapremini i površini elementa (Sl. 6.) dolazi se do sistema linearnih jednačina u matricnom obliku (8).



Sl. 6. Površine elementa sa konvektivnim prenosom toplote

$$[k] \cdot \{T\} + \{F\} = 0 \quad (8)$$

Konačno, izraz za temperature u tačkama polja dobija oblik

$$\{T\} = [k]^{-1} \cdot (-\{F\}) \quad (9)$$

pri čemu je

$$[k^{(e)}] = \frac{\lambda_x}{4A} \begin{bmatrix} b_1 b_1 & b_1 b_2 & b_1 b_3 \\ b_2 b_1 & b_2 b_2 & b_2 b_3 \\ b_3 b_1 & b_3 b_2 & b_3 b_3 \end{bmatrix} + \frac{\lambda_y}{4A} \begin{bmatrix} c_1 c_1 & c_1 c_2 & c_1 c_3 \\ c_2 c_1 & c_2 c_2 & c_2 c_3 \\ c_3 c_1 & c_3 c_2 & c_3 c_3 \end{bmatrix} + \frac{\lambda L_{jk}}{6} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} + \frac{\lambda L_{ki}}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$(-\{F\}) = \frac{h T_o L_{jk}}{2} \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} + \frac{h T_o L_{ki}}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} - \frac{q L_{ij}}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (11)$$

a uvedene oznake predstavljaju

L_{ij} - dužina stranice između temena i i j respektivno,

A - površina konačnog elementa (trougla),

q - toplotni fluks doveden sistemu,

E - broj konačnih elemenata,

N - broj čvornih tačaka.

Pri tome je:

$$L_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

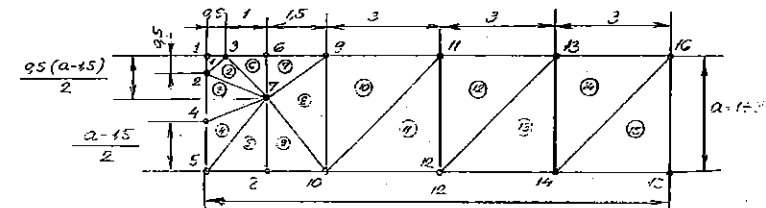
$$2A = \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} \quad (12)$$

kao i

$$\begin{aligned} b_1 &= y_i - y_k & c_1 &= x_k - x_j \\ b_2 &= y_k - y_j & c_2 &= x_i - x_k \\ b_3 &= y_i - y_j & c_3 &= x_j - x_i \end{aligned} \quad (14)$$

gde su $x_i, y_i; x_j, y_j; x_k, y_k$

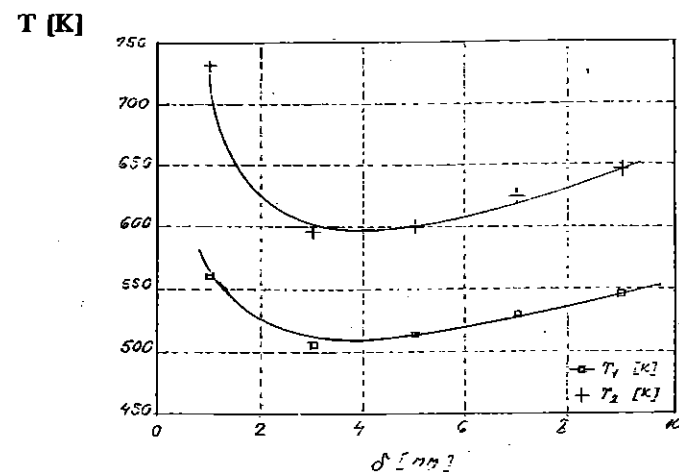
koordinate čvornih tačaka konačnog elementa u odnosu na usvojeni koordinatni sistem. Za slučaj rezne pločice (Sl. 7) i ostale ulazne podatke:



Sl. 7. Izgled čvornih tačaka, kodiranje i podela rezne pločice na konačne elemente

$T_o = 280K, \lambda = 10W/mK, h = 600W/m^2K, q = 200W/mK$.

Nakon više propuštanja programa "KRTICA" slede rezultati u zavisnosti od debljine pločice, iskazani u vidu dijagrama (Sl 8.).



Sl. 8. Izgled zavisnosti temperatura u čvoru "1" od debljine rezne pločice.

4. Zaključak

Na osnovu iznetog daju se ovi zaključci:

1. Za date granične uslove najpovoljnija debljina rezne pločice iznosi 4,2 mm.
2. Debljinu pločice treba uzimati prema graničnim uslovima prisutnim na reznoj pločici, a isto tako u zavisnosti od materijala radnog predmeta, pločice, alata, držača i faktora obrade.
3. Alati sa uslovno optimalnom debljinom imaju veću postojanost, a time se postižu bolji tehno-ekonomski efekti.
4. Dobijeni rezultati mogu da se koriste za upravljanje termičkim stanjima u procesu rezanja.

5. Literatura

- [1] L.J. Segerlind: Applied finite element analysis, J. Wiley & sons, New-york (1976)
- [2] D. Vukelja: Termodinamika rezanja, Monografija Iama 2 Beograd (1970)
- [3] Reznikov: Teplofizika rezania, Mašinstrosenke, Moskva (1969)

OPTIMIZING OF THE CUTTING BLADE THICKNESS ON THE THERMAL STATES CONTROL IN THE CUTTING TREATMENT

Summary

Paper gives the access to optimizing of the cutting blade thickness by the finite elements method. This approach is realised through the forming of the mathematical model of temperature field and applying the software package for behaviour analysis by means of the finite elements method: plane and tetradar. The analysis is presented by means of a brief pretheoretical discussion, description of the approach and review of the temperature dependended results in specific nodes of discretized structure against cutting blade thickness. The paper ends by giving conclusions and reviewing reference applied.



Zogović Vukašin, Vukasojević Radomir*

UTICAJ REŽIMA REZANJA NA POZICIONU TAČNOST PRI OBRADI BUŠENJEM

REZIME

U radu su prikazani rezultati ispitivanja uticaja elemenata režima rezanja na tačnost pozicije bušenih otvora (rupa). Ispitivanja su vršena prema postavljenom planu eksperimenta za dva faktora: broj obrtaja i korak. Utvrđeno je da se ne može uspostaviti matematička zavisnost tačnosti pozicije bušenih otvora i elemenata režima rezanja.

1. UVOD

Stalni porast zahtjeva za smanjenjem vremena proizvodnje ističe potrebu za moćnim sistemima kao što su računarom podržano projektovanje tehnoloških postupaka. Naročito sistemi za generativno planiranje mašinskih operacija, procjene cijene proizvodnje i proračun korektnih podataka za obradu su od ogromne važnosti. Broj i poredak pojedinih zahvata i operacija pri obradi otvora (rupa) bušenjem, u datom mašinskom dijelu, zavisi od propisane tačnosti i klase površinske hrapavosti tj. od zahtijevanog nivoa kvaliteta konformnosti proizvoda koji treba da se obezbijedi u toku tehnološkog procesa, kao i od karakteristika priprema: oblika, obradljivosti, nagiba, i kvaliteta radne površine. Priprema može biti pun materijal ili u njemu postoji otvor predhodno izliven ili obrađen plastičnom deformacijom [2].

2. POZICIONA TAČNOST PRI OBRADI BUŠENJEM

Uzimajući u obzir željene parametre otvora kao što su: prečnik, tolerancija prečnika, tolerancija pozicije otvora, kvalitet površine otvora, zatim raspoložive alati i mašine moguće je odrediti optimalni redosled zahvata i operacija u procesu obrade bušenjem. Mada parametri otvora utiču na izbor redosleda zahvata i operacija pri obradi, zahtjev za tačnošću pozicije otvora utiče prije svega na izbor prve operacije (zahvata) u procesu bušenja.

* Mr Zogović Vukašin, asistent, Mašinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b.

Dr Radomir Vukasojević, redovni profesor, Mašinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b.

** Rad je dio naučno-istraživačkog projekta: Identifikacija parametara i upravljanje u funkciji kvaliteta konformnosti procesa obrade bušenjem, koga finansira Ministarstvo prosvjete i nauke Republike Crne Gore.

Tačnost pozicije otvora pri bušenju zavisi od sledećih parametara:

- Mašine: stabilnosti, tačnosti pozicioniranja, ponovljivosti, rada i dr.
- Radnog komada: stabilnosti, hrapavosti, upravnosti alata i radne površine, obradljivosti i dr.
- Alata: dužine, prečnika, stabilnosti, geometrije vrha i dr.
- Elementa režima rezanja: brzine rezanja, koraka.

Svi ovi parametri utiču na tačnost pozicije otvora. Neke greške mogu biti redukovane pažljivim mjerenjem parametara kao što su greška pozicioniranja mašine, rad mašine i stabilnost. Međutim ima nekoliko drugih parametara koje je teško ili praktično nemoguće procijeniti kao što su stabilnost alata i inicijalne sile pri bušenju. Isto tako je nemoguće odrediti kako poprečno sječivo zavojne burgije pravi kontakt sa grubom površinom i koje sile i u kojim pravcima će biti generisane, čak i u slučajevima kada je površina pripremljena upravna na osu glavnog vretena mašine tj. kada je nagib radnog komada jednak nuli [4].

Na početku procesa obrade poprečno sječivo prvo dodiruje čone površine radnog komada. Zbog nepovoljne geometrije poprečnog sječiva dolazi do klizanja vrha burgije po površini radnog komada. Neuravnotežene radijalne sile koje se javljaju u ovoj fazi obrade skreću burgiju (njenu osu) sa zadanog pravca i na taj način ostvareno je stohastičko pomjeranje početne pozicije otvora. Ovaj dio procesa bušenja traje, zavisno od režima rezanja, nekoliko obrtaja tj. dok burgija ne počne da reže glavnim reznim ivicama. Ovako dobijena početna pozicija otvora još nije u potpunosti fiksirana i njen konačan položaj biće određen daljim tokom obrade. U nastavku procesa bušenja, zavisno od niza faktora, a u prvom redu od geometrije vrha alata, dolazi do pojave sila na glavnim sječivima koje dodatno opterećuju burgiju usled čega se opseg pomjeranja vrha burgije povećava. Ovo povećanje traje sve dok čitav vrh alata ne uđe u radni komad i burgija postane vođena zavojnim vlaknima. Pozicija otvora je tada određena i poslije toga se teško može promijeniti u ovoj operaciji. Radijalne sile koje se pojavljuju u xoy ravni, koja je upravna na osu glavnog vretena mašine, ukazuju na grešku pozicije bušenog otvora. Vrh burgije sada rotira oko nove stabilne ose rotacije pomjerene u odnosu na osu glavnog vretena mašine za određeni iznos "e". Savijeni alat teži da se vrati prema početnoj poziciji što rezultira ostvarivanju otvora koji nije kružnog oblika [5].

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

3.1. Uslovi izvođenja eksperimenta

MAŠINA: Univerzalna glodalica tip FGU-32 proizvođač-Metalski zavodi Škoplje. Pogonski elektromotor snage $P=5.5\text{kW}$, broj obrtaja glavnog vretena $n=31.5\div 1400$ (o/min), brzina pomoćnog kretanja $3v_s=14\div 900$ (mm/min).

ALAT: Zavojne burgije prečnika $\varnothing 10$ (mm) sa valjkastom (cilindričnom) drškom izrađene su namjenski za ova ispitivanja prema standardu JUS K. D3. 020 (DIN 338) u Industriji alata Trebinje.

RAČUNAR: Za eksperimentalna ispitivanja i obradu podataka korišćen je PC/AT/486 sa instaliranim sistemom za akviziciju podataka: AD/DA konvertor tip DT 2801-A i softver za obradu podatka GLOBAL-LAB.

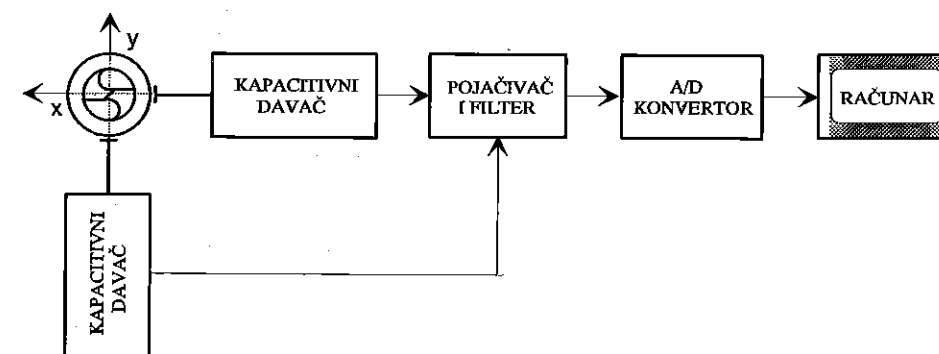
MATERIJAL: Za eksperimentalna ispitivanja korišćen je čelik za poboljšanje Č.1530. Epruvete dimenzija $\varnothing 30 \times 30$ (mm) brušene su sa obje bočne strane (čela) kako bi se eliminisao uticaj površine radnog komada na pozicionu tačnost u procesu bušenja.

KAPACITIVNI SENZORI: Poziciona tačnost bušenih otvora (rupa) mjerena je pomoću specijalno urađenih davača. Davači pomeraja osim jednostavnosti konstrukcije, visoke osjetljivosti i reagovanja na brze promjene vrijednosti mjerene veličine, imaju i veoma linearnu prenosnu karakteristiku sa greškom manjom od 0.5%.

REŽIM OBRADE: Elementi režima rezanja određeni su saglasno planu eksperimenta i prikazani su u tabeli 1.

3.2. Eksperimentalni rad i analiza rezultata

Ispitivanja uticaja elemenata režima rezanja na tačnost pozicije otvora (rupa) pri obradi bušenjem realizovana su na univerzalnoj glodalici. Šematski prikaz korišćene opreme dat je na sl.1. Kao što se sa šeme vidi uređaji su tako povezani da čine jedan informacioni mjerni sistem (STANIĆ). Na specijalno urađenim nosačima postavljeni su kapacitivni davači u dva međusobno upravna pravca koji registruju pomjeranje vrha alata u ravni koja je upravna na osu glavnog vretena mašine.



Sl.1. Uprošćena strukturna šema mjernog sistema

Eksperimenti su realizovani prema planu tipa 2^k , gdje je k-broj faktora. To su planovi u kojima se svi faktori variraju na dva nivoa. Dakle, pri ispitivanju se koriste vrijednosti faktora koje odgovaraju gornjoj i donjoj granici intervala variranja (+1 i -1). Ukupan broj eksperimenata određuje se na sledeći način:

$$N=2^k+n_0=2^2+4=8.$$

gdje su: $n_0=4$ broj ponavljanja eksperimenta u centralnoj tački višefaktonog ortogonalnog plana,

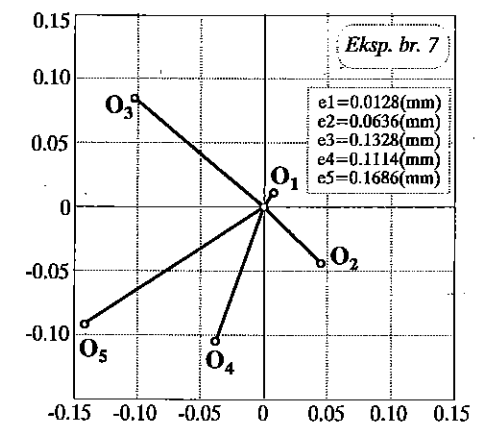
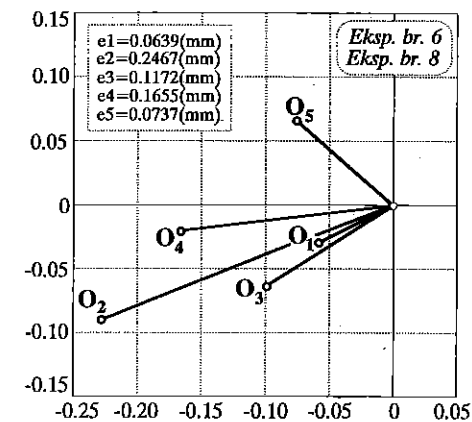
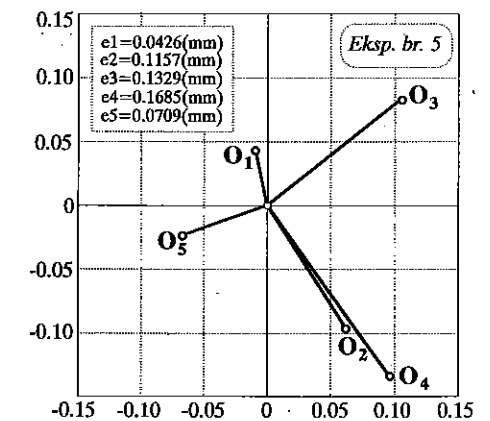
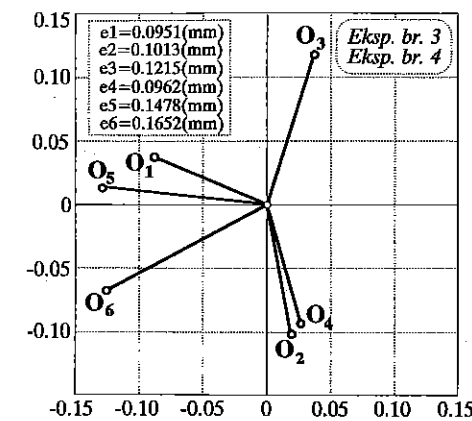
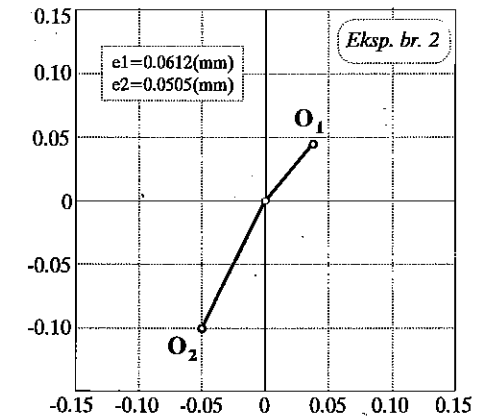
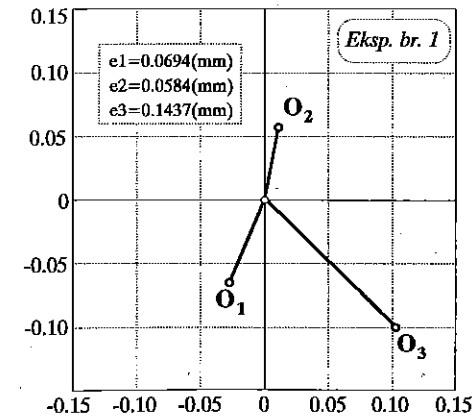
$k=2$ broj faktora (n-broj obrtaja alata i s-korak).

Tabela 1.

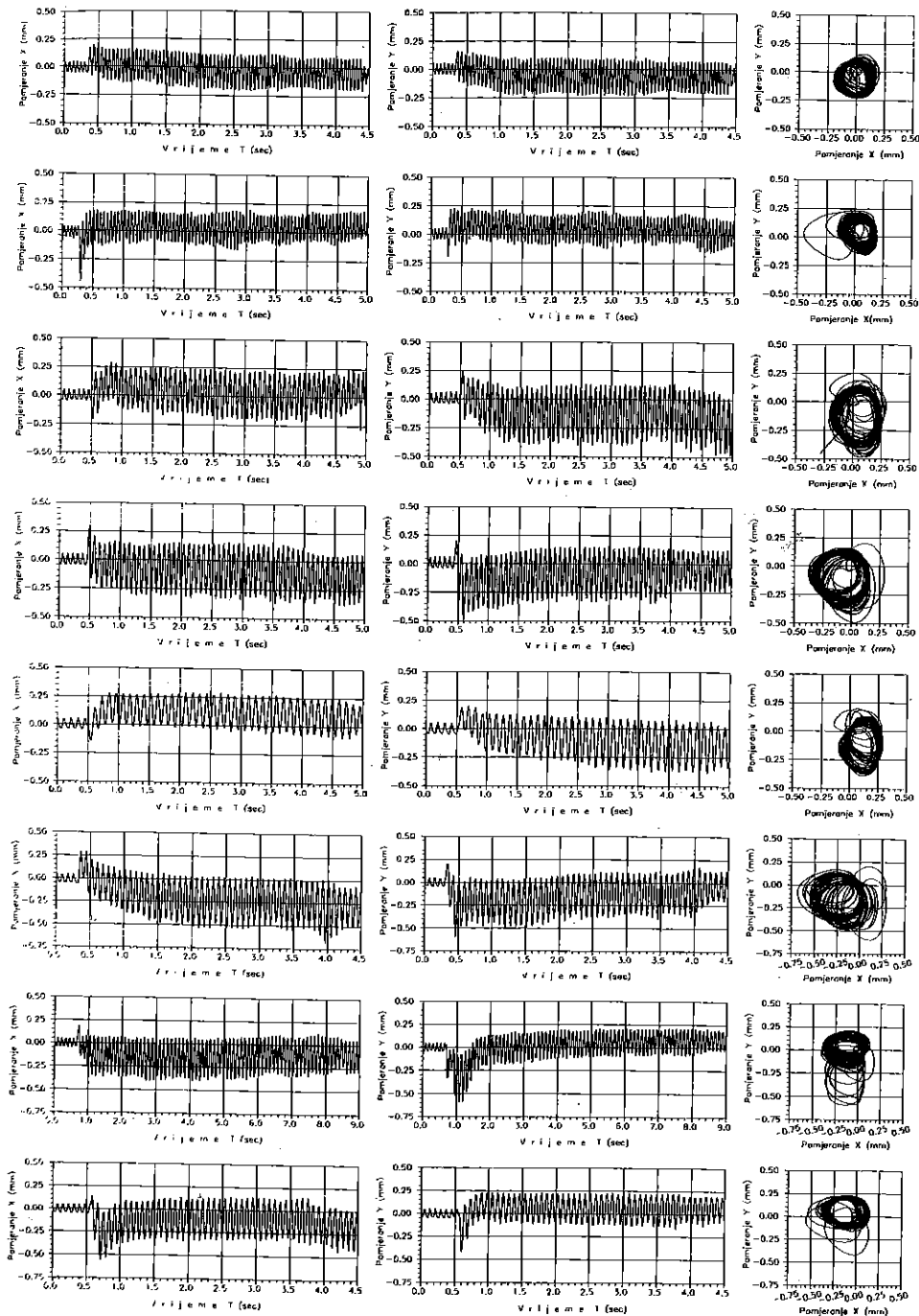
Redni broj exp.	Kod faktora			Faktori		Poz. tač.	Pozicija otvora
	x_0	x_1	x_2	n (o/min)	s (mm/o)	e (mm)	
1	+1	+1	+1	1000	0.210	0.0694	O_1
	+1	+1	+1	1000	0.210	0.0587	O_2
	+1	+1	+1	1000	0.210	0.1437	O_3
2	+1	+1	-1	1000	0.105	0.0612	O_1
	+1	+1	-1	1000	0.105	0.0505	O_2
	+1	0	0	710	0.148	0.0951	O_1
3	+1	0	0	710	0.148	0.1013	O_2
	+1	0	0	710	0.148	0.1215	O_3
	+1	0	0	710	0.148	0.0962	O_4
4	+1	0	0	710	0.148	0.1478	O_5
	+1	0	0	710	0.148	0.1652	O_6
	+1	-1	+1	500	0.210	0.0426	O_1
5	+1	-1	+1	500	0.210	0.1157	O_2
	+1	-1	+1	500	0.210	0.1329	O_3
	+1	-1	+1	500	0.210	0.1685	O_4
6	+1	-1	+1	500	0.210	0.0709	O_5
	+1	0	0	710	0.148	0.0639	O_1
	+1	0	0	710	0.148	0.2467	O_2
7	+1	0	0	710	0.148	0.1172	O_3
	+1	-1	-1	500	0.105	0.0128	O_1
	+1	-1	-1	500	0.105	0.0636	O_2
8	+1	-1	-1	500	0.105	0.1328	O_3
	+1	-1	-1	500	0.105	0.1114	O_4
	+1	-1	-1	500	0.105	0.1686	O_5
9	+1	0	0	710	0.148	0.1655	O_1
	+1	0	0	710	0.148	0.0737	O_2

Analizom rezultata eksperimenata koji su izvedeni prema planu (eksperimenti naznačeni u tabeli 1.) dolazi se do zaključka da se između elemenata režima rezanja i tačnosti pozicije otvora ne može uspostaviti matematička zavisnost. Da bi se ovakav zaključak mogao sa sigurnošću prihvatiti izvršeno je ponavljanje svih eksperimentalnih tačaka proizvoljan broj puta. Rezultati potvrđuju raniju konstataciju da je pomjeranje početne pozicije otvora stohastički proces koji ne zavisi od režima rezanja jer se pri istim režimima dobijaju različite vrijednosti pozicije otvora (sl.2.).

Da bi se utvrdila zakonitost i karakteristike rasporeda (distribucije) frekvencija tačnosti pozicije otvora korišćena je metoda statističke kontrole kvaliteta. U tom cilju, za centralnu tačku eksperimenta, izvršena su dodatna ispitivanja tako da je ukupan broj ponavljanja u ovoj tački iznosio $N=19$. Izračunati su: aritmetička sredina \bar{x} , standardna devijacija σ i koeficijenti asimetrije α i spljoštenosti β [1]. Rezultati su dati u T.2 i na sl.4.



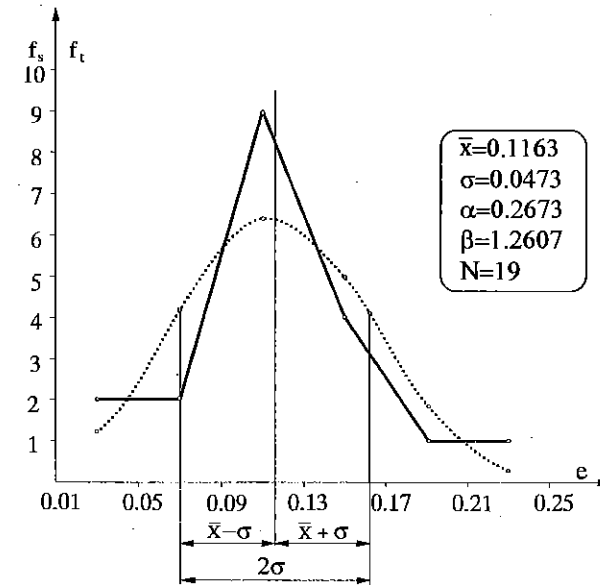
Sl. 2. Tačnost pozicije bušenih otvora za eksperimente izvedene prema tabeli 1



Sl. 3. Signali radialnih pomjeranja vrha burgije i njihovi kružni dijagrami za eksperimente naznačene u tabeli 1

Tabela 2.

INTERVAL		STVARNA		TEORIJSKA	
Širina intervala	Sred. intervala	Frekven. f_s	Vjerovat. p_s	Frekven. f_t	Vjerovat. p_t
0.01÷0.05	0.03	2	0.10526	1.21460	0.06391
0.05÷0.09	0.07	2	0.10526	3.97420	0.20917
0.09÷0.13	0.11	9	0.47368	6.36004	0.33474
0.13÷0.17	0.15	4	0.21052	4.97830	0.26202
0.17÷0.21	0.19	1	0.05263	1.90599	0.10032
0.21÷0.24	0.21	1	0.05263	0.35690	0.01878



Sl. 4. Eksperimentalna i teorijska kriva rasporeda frekvencija tačnosti pozicije otvora

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata eksperimentalnih ispitivanja uticaja elemenata režima rezanja na tačnost pozicije pri obradi bušenjem mogu se izvesti sledeći zaključci:

Pomjeranje vrha alata je proces na čiji intenzitet i pravac nije moguće odrediti uticaj elemenata režima rezanja. Dakle, nije moguće uspostaviti matematičku zavisnost između ovih veličina.



- Centar vrha burgije pri punom ulasku u radni predmet, u odnosu na osu glavnog vretena, ima proizvoljnu poziciju, tj. može biti bilo gdje u odnosu na koordinatni sistem xoy ravni upravne na osu glavnog vretena mašine.
- Vrh burgije rotira oko nove stabilne ose rotacije pomjerene u odnosu na osu glavnog vretena mašine za proizvoljnu vrijednost ekscentričnosti "e".
- Za centralnu tačku eksperimenta ($n=710$ o/min i $s=0.148$ mm/o) određene su: aritmetička sredina $\bar{x}=0.1163$ (mm), ili srednji položaj rasporeda frekvencija oko koga se raspoređuju ostale vrijednosti i standardna devijacija $\sigma=0.0473$. U intervalu $\bar{x} \pm \sigma$ (2σ) nalazi se 68.26% vrijednosti tačnosti pozicije bušenih otvora. Tek sa intervalom veličine 6σ dobija se da se 99.73% svih vrijednosti posmatrane karakteristike kvaliteta - pozicione tačnosti - nalazi unutar intervala $\bar{x} \pm 3\sigma$.
- Dobijena teorijska kriva rasporeda frekvencija tačnosti pozicije otvora nagnuta je u lijevo - pozitivno asimetrična kriva jer je koeficijent asimetrije $\alpha=0.2673>0$ i raspored frekvencija je spljošteniji od normalnog pošto je koeficijent spljoštenosti $\beta=1.2607<3$ (kriva rasporeda frekvencija je široka).

LITERATURA:

- [1] Stanić, J., *Mjerenje i kvalitet obrade II deo*, Mašinski fakultet, Beograd, 1969.
- [2] Stanić, J., ..., *Mašinska obrada - Priručnik za proračun mjerodavnih režima mašinske obrade rezanjem*, Privredni pregled, Beograd, 1977.
- [3] Stanić, J., *Tehnološki merni sistemi*, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [4] Kaminski, J., Crafoord, R., *Position Accuracy of Drilled Holes*, Annals of the CIRP, Vol.40/1/1991.
- [5] Zogović, V., *Prilog analizi uticaja prelaznih pojava na kvalitet konformnosti procesa obrade zavojnim burgijama*, Magistarski rad, Beograd, 1992.

INFLUENCE OF CUTTING DATA ON THE POSITIONING ACCURACY OF DRILLING

SUMMARY

In this paper, results of investigation of the influence of data cutting on the position accuracy of drilled holes, are shown. Investigation are done on the basis of experimental planes for two factors: cutting speed and feed rate. Ascertained, mathematical dependence between position accuracy of drilled holes and elements of data cutting can't be defined.

KINETICS OF CHIP AND SURFACE LAYER FORMATION ON TREATMENT BY CUTTING.

Yashcheritsyn P.I., Popok N.N., Kheifetz M.L.

SUMMARY.

On the basis of characteristics of strained condition of technological surroundings, different mechanisms of chip formation and forming of superficial layer in the machine part and tool during the cutting process were examined.

INTRODUCTION.

Physical and mechanical properties of new construction materials are improving nowadays and the demands for the quality of surfaces are increasing so rapidly that it is necessary to improve constantly the cutting processes ensuring effectiveness of the surfaces and treatment quality. That's why research into kinetics of surface formation processes in the layer being removed is of special significance for treatment of new materials and coatings as well as for cutting processes intensification.

ANALYSIS OF CUTTING PROCESSES INTENSIFICATION METHODS.

Cutting is mainly a thermodeformation process. That's why its intensification is accomplished with the help of two main methods, namely: heat and mechanical effect but study of intensification using additional sources of energy requires analysis of thermochemical elastoplastic, tribological and other processes accompanying cutting.

Intensification methods of thermal, deforming processes and cutting, their relation to running-in, friction and destruction during the surfaces near [1-3] are given in table I. The table shows that a variety of energy sources are used to intensify all types of cutting except abrasive treatment, thus repeating conditions of heat emission in grinding and energy emission in running-in, friction and destruction of surfaces [4-6]. Sources not used when forming surfaces by cutting and having focused zones similar to heat emission during running-in, are used to reinforce the cutting tools surfaces [7].

Research into distribution of thermal and deformation processes, cutting intensification methods and their interconnection with the tribological processes by their geometric of the surface being formed was carried out depending on the concentration level of various energy sources (Fig. 1). For mechanical treatment the surface precision was estimated by the deviations in form and size or by waviness and roughness. For thermotreatment and friction it was done, by the irregularities of the depth of strengthening and by thickness of the layer being destroyed.

Analysis of the precision of the surface formation showed that simultaneously with the increase in energy concentration there is a rise of power density which results in diminishing of

Yashcheritsyn Peter Ivanovich¹

¹Physical-Technical Institute AS of Belarus

Popok Nikolai Nickolaeovich²

Kheifetz Michael Lvovich²

²Polotsk State University

the heat emission zone sizes. The reduction of the zones sizes brings forward an increase in stress concentration, the field of which determines the surface to be formed and its accuracy.

It is found out (Fig. 1) that when treating on level I the precision of surface forming method does not become better, more because of the increase of thermoevolution zone than because of energy concentration. On level II accuracy is minimal as a result of surface forming by greatly spread stress concentrators which are formed by a great number of localized zones of heat evolution. On level III accuracy does not decrease, later on it sharply rises because of focusing local heat evolution zone which is accompanied by accelerated growth of stress concentration.

In tribological processes (Fig. 1) if energy concentration rises accuracy increase is followed by its drop, because unlike treatment, friction maximum accuracy correlates with minimum surface renewal.

Energy interrelation of thermodeformation and tribological processes on cutting proves that it is necessary to study joint effect of technological and maintenance factors in the zone of chip and surface layer formation.

EXPERIMENTS AND CALCULATION METHODS.

Regularities of cooperative processes evolution were considered when mechanical treatment was intensified by additional thermal and mechanical influence [8]. Kinetics of chip and surface layer formation was investigated, the layer being preliminary heated by plasma and electroan sources when cutting and ironing of the surface. The latter was accomplished with the help of additional moving of the rotation instrument blade and rolling tool ball.

Temperature T and constituents of cutting force P_z, P_y, P_x were taken, as well as coefficients of chips shortening and thickening k_t and k_A , with the help of which there were determined forces P and moments M of surface forming, stress σ in to be cut and deformed layers depending on the rate of main movement - v , instrument delivery - S , cutting depth - t , intensity of heating source - I and distance between the source and the instrument - L [9,10].

In our experiment moments mean vectorial products of force constituents, as moment in the direction of axis perpendicular to the treatment surface [11,12].

$$M = C_M \cdot |\vec{P}_X \times \vec{P}_Z| = C_M P_X P_Z = C_M M_{XZ},$$

where C_M is a constant proportion coefficient of a force constituent and movement of instrument edge under the influence of and in the direction of the constituent.

In accordance with the forces constituents the stressed condition of the layers being cut and deformed was described in the direction \vec{v} of the main movement - $\sigma_z = P_z / (S k_t)$; additional \vec{v}_τ movement of the instrument edge - $\sigma_x = P_x k_A / t$ and taking into account interaction of these movements through parameters - $\sigma_{xz} = \sigma_x \sigma_z = M_{XZ} k_A / (S t k_t)$, using constituents of shaping moment.

The temperatures T and stresses σ fields [9,10] calculated on the basis of the experimental data were compared with the structures and microhardness of to be removed and shaped layers.

RESULTS AND DISCUSSION.

Kinetics of chipformation. Experimental study of processes in the layers to be cut and deformed showed that in case of treatment without some extra movement of instrument edge it is reasonable to consider force constituents (Fig. 2, a) on stabilization of cutting characteristics as in the ratio

$$P_{z,y,x} = C_p t S^{0.7},$$

where C_p is a constant proportion coefficient, characterizing the treated material.

If treatment is done by an instrument with additional degrees of freedom it is recommended to use constituents of moment shaping (Fig. 2, b) when the process is stabilized

$$M_{XZ,YZ,XY} = C_M t S^{0.7}$$

It is rational to describe the stressed condition of layers being removed and shaped in accordance with the constituents of forces and moments

$$\sigma_z = C_\sigma = \text{const}$$

$$\sigma_{xz} = C_\sigma S^{0.3},$$

The ratios obtained allowed to introduce an evolution criterion of structures in the process of chip and surface layer formation [8, 12]

$$t S^{0.7} = \frac{t S v}{S^{0.3} v} = \frac{v t}{(C_\sigma / \sigma_{xz})(v/S)} = \frac{v t}{(\sigma_z / \sigma_{xz})(v/S)} = \frac{v t}{v^*} = \text{Re}^*,$$

where $v^* = (\sigma_z / \sigma_{xz})(v/S)$, Re^* - Reinold's criterion

The inner friction in moving medium is described with the help of formula [13]

$$\tau_g = -\eta \cdot \text{grad } \vec{v},$$

where η is coefficient of dynamic viscosity.

Additional normal stresses [13] appear when the treated medium is compressed or stretched

$$\sigma_0 = -\zeta \text{div } \vec{v},$$

where ζ is coefficient of volume viscosity. That's why if rotation constituent \vec{v}^* is available in the medium flow, moving at speed \vec{v} , additional tangent stresses are advised to describe [8]

$$\tau_0 = -\mu \cdot \text{rot } \vec{v}^*$$

where $\mu = \frac{1}{v^*}$ is coefficient of rotation viscosity

The study of kinetics of structures formation when the treatment rate \vec{v} is increased, using the advised criterion Re^* , gave an opportunity to single out several stages (Table 2): I) fragile destruction of material by an outstripping crack, II) compacting of destruction particles, III) vortical formation of stagnant structures, IV) plastical flow of the material, V) wavy formation of folds, VI) disintegration of material by adiabatic shifts and VII) faze formation of molten material.

Thus, using the obtained figures of degree in relation of forces and moments of surface formation versus cutting conditions it is possible to find out the kinetics phase of chipformation when working different construction materials and coatings.

Surface Layer Formation. Analysis of interrelation of thermal versus mechanical effects and study of their influence on quality parameters of surface formed in cutting brought out the necessity to carry out research work into technological heredity on intensified mechanical treatment.

Every high intensity effect transmits an impulse to the treated surface, the rate and acceleration of energy and substance distribution reflecting on all sections of the impulse passage. Thus it is possible to work out the rate of their spreading by distribution of strengthening indexes (Fig. 3, curves 1) over the depth of surface layer. The impulse energy is determined by the area under the curve of strengthening, which can be determined by graphic integration (Fig. 3, curves 2).

Acceleration, that is the first derivative of the rate or the second one of the impulse obtained by graphic differentiation (Fig. 3, curves 3), characterize the magnitude and position of the force slowing down energy and substance flows in surface layer. That's why it is suggested that the second impulse derivative over the depth of surface layer be considered as technological barrier [14].

When strengthened and weakened the barriers group along different sides of coordinate axis (Fig. 3, b). In case of sufficient proximity of technological barriers as, for example, during intensification of rotation cutting, the plasticity of surface layer is increasing as a result of

preliminary heating, and deformation penetrates to a greater depth [15]. Increases of zone and extent of deformation, accompanied by greater heat absorption, prevent the passing and bring the borderline of spreading of heat stream nearer to the surface. Resultant cooperative action of mechanical and thermal streams causes joining of the barriers and thermodeformative strengthening all over the depth of combined influences (Fig. 3, b).

Cooperative processes in cutting are stable if there is a possibility of dissipation of substance and energy excess during surface layers formation. Thus in thermal processes dissipation is developed when there are phase shifts, at the moment of melting groove formation during additional heating, disintegration and solution of the surface when using surface and active substances in lubricating and cooling medium. In case of mechanical effects it is developed because of additional degrees of freedom of instruments by means of selfmovement of cutting blade.

It is necessary that stabilization of chip and shape forming processes take place because unstable structures in the layer being cut and in the nearing out instrument may change dissipation direction of substance and energy flows, affecting stability of surface layer formation.

So, analyzing technological barriers by curves of strengthening and determining stability of surface formation it is possible to register the necessary stage of structure formation providing maximum strengthening of surface layer.

CONCLUSION.

Research into kinetics of chip and surface layer formation in instrumental and treated material makes it possible to claim new:

- intensification means of cutting with the help of additional effects by both highly productive instruments and concentrated energy sources;
- criterion for working out stages of kinetics of chip and shape formation of surface layer in construction materials;
- methods of determining technological barriers by curves of surface layer strengthening, providing possibilities to predict formation of structures of joint effect.

REFERENCES.

1. Yashcheritsyn P.I., Kozhuro L.M., Senchillo I.A., Kheifetz M.L. On selforganization in technological and maintenance processes when using combined methods of metal treatment. Reports of AS of Belarus. 1995, v.39, No 1. - p.112-116.
2. Kheifetz M.L. Ways to increase effectiveness of surface formation from the point of view of synergetics. Vestnik Mashinostroenia (Bulletin of Machinebuilding). 1994, No 2. - p. 22 - 25.
3. Kheifetz M.L. Ways of increasing efficiency of processes forming surfaces of friction // Proceedings of the International symposium on the tribology of friction materials: YAROFRI - 91. - Yaroslavl, 1991, vol. II. - p. 344-349.
4. Kragelsky I.V. Friction and Wear. Moscow: Machinebuilding. 1968. - 480 p.
5. Kostetsky B.I., Kolesnichenko N.F. Surface quality and friction in machines. Kiev: Technika (Engineering). 1969. - 216 p.
6. Yashcheritsyn P.I., Skorynin J.V. Workability of friction units of machines. Minsk: Nanka and Technika (Science and Engineering). 1984. - 288 p.
7. Vereshchaka A.S., Tretyakov I.P. Cutting tools with wear-resistant coatings. Moscow: Machinebuilding. 1986. - 256 p.
8. Kheifetz M.L. Designing optimal kinds of treatment by cutting on the basis of selforganization of tribocontact processes. Friction and Wear. 1995. v. 16, No 3 - p. 545-554.

9. Popok N.N., Kheifetz M.L. Providing rational conditions of tribocontacts when cutting difficult to treat materials and coatings. Friction and Wear. 1993, v.14, No 3. - p. 552-562.

10. Popok N.N., Kheifetz M.L., Minevich A.A. Contact conditions and performance of rotary cutting tools. Proceedings of the 6th International congress on tribology: EUROTRIB'93. - Budapest, 1993. v. I - p. 220-228.

11. Yashcheritsyn P.I., Borisenko A.V., Kheifetz M.L. Synergetic approach to metal cutting. Proceedings of AS of Belarus. Series of physical and technical sciences. - 1992, No 1 - p. 48-53.

12. Kheifetz M.L., Yashcheritsyn P.I. Organization and management of technological systems using combined possibilities. Problems of machinebuilding and machines reliability. RAS. - 1994, No 6 - p. 66-76.

13. Yavorsky B.M., Detlaph A.A. Manual on Physics. Moscow: Science. 1980 - 512 p.

14. Kheifetz M.L., Yashcheritsyn P.I. Selforganization and heredity in technological systems with combined effects. Problems of machinebuilding and reliability of machines. RAS. - 1995, No 4 - p. 61-72.

15. Yashcheritsyn P.I., Borisenko A.V., Popok N.N., Kheifetz M.L. Combined method of treatment by rotation instrument with heating to be cut layer by concentrated energy flows. Reports of AS of Belarus. - 1992, v. 36, No 5. - p.429-432.

Table I
Cutting intensification methods used with high efficiency (X), little efficiency (-) and practically unused (O) treating construction materials

Heat evolution zones	Power density of standard sources $q, W/cm^2$	I'. Thermal treatment by				II'. Instrumental cutting			III'. Deformation by				
		thermal shock	hardening	annealing	tempering	blade	with forced movement	seefmoving	abrasive	breaking	plate	roller	ball
I. Volumetric	1. Destruction processes (DP) III' $3 \cdot 10^3 \dots 10^5$	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X
	2. Induction heating (IH) III' $(10^3) \dots 10^3 \dots 10^4$	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
	3. Gas flame (GF) III' $10^2 \dots 10^3 \dots (3 \cdot 10^3)$	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
	4. Plasma arc (PA) III' $5 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^4$	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
II. Multitude of localized	5. Friction process (FP) II'' $10^3 \dots 3 \cdot 10^4$	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X	X	
	6. Electro-contact preheating (EP) II'' $10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	-	-	-	-	X	X	X	-	X	X	X	
	7. Welding arc (WA) II'' $10^3 \dots 10^3 \dots (10^6)$	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	
	8. Spark Discharge (SD) II'' $5 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
III. The only focused	9. Running-in processes (RP) I' $(10^3) \dots 3 \cdot 10^4 \dots 8 \cdot 10^8$	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	10. Electronic ion beam (EB) I' $(5 \cdot 10^3) \dots 10^6 \dots 10^8$	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
	11. Continuous laser (CL) I' $(5 \cdot 10^3) \dots 10^6 \dots 10^8$	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
	12. Impulse-periodic laser (IL) I' $(10^3) \dots 10^{10} \dots 10^4$	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X

Table 2
Changes of constituents of stressed condition described viscosity when increasing rate of treatment

Stages	I	II	III	IV	V	VI	VII
Rate	v_I	$< v_{II}$	$< v_{III}$	$< v_{IV}$	$< v_V$	$< v_{VI}$	$< v_{VII}$
Stressed condition							
Viscosity	Volumetric ζ	Rotation μ					Dynamic η

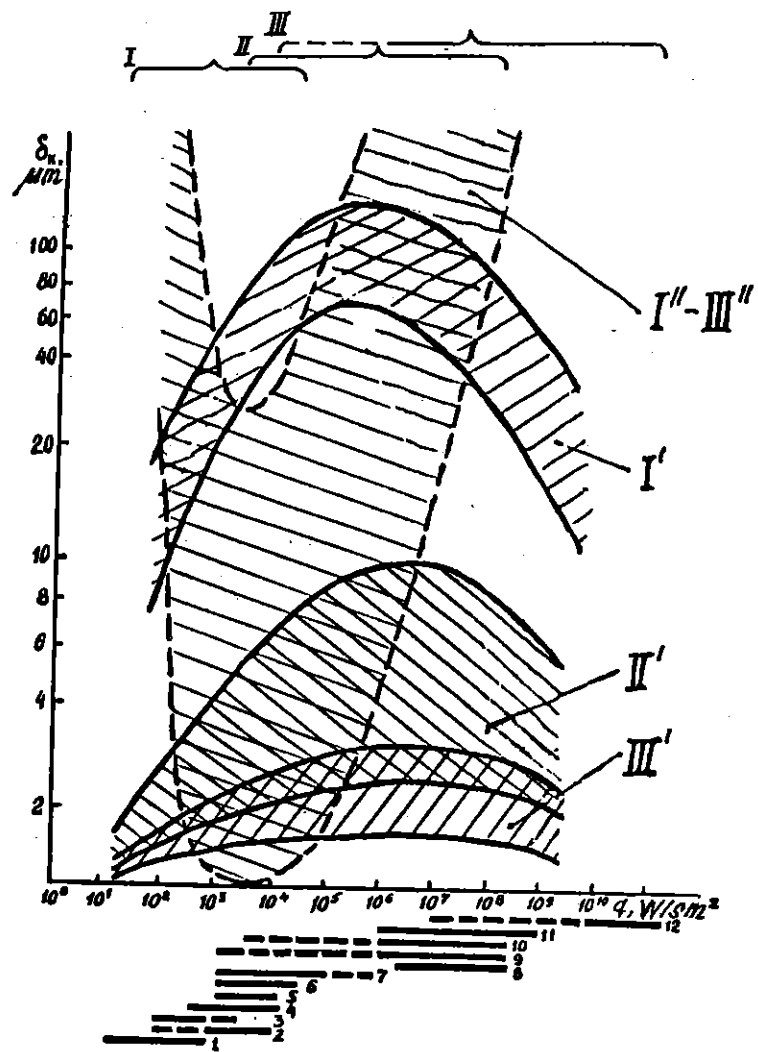


Fig. 1. Distribution of treatment methods and maintenance stages (I'-III') according to accuracy and quality of surfaces formation depending on the level of energy concentration (I-III) for standard technological sources (1-12)

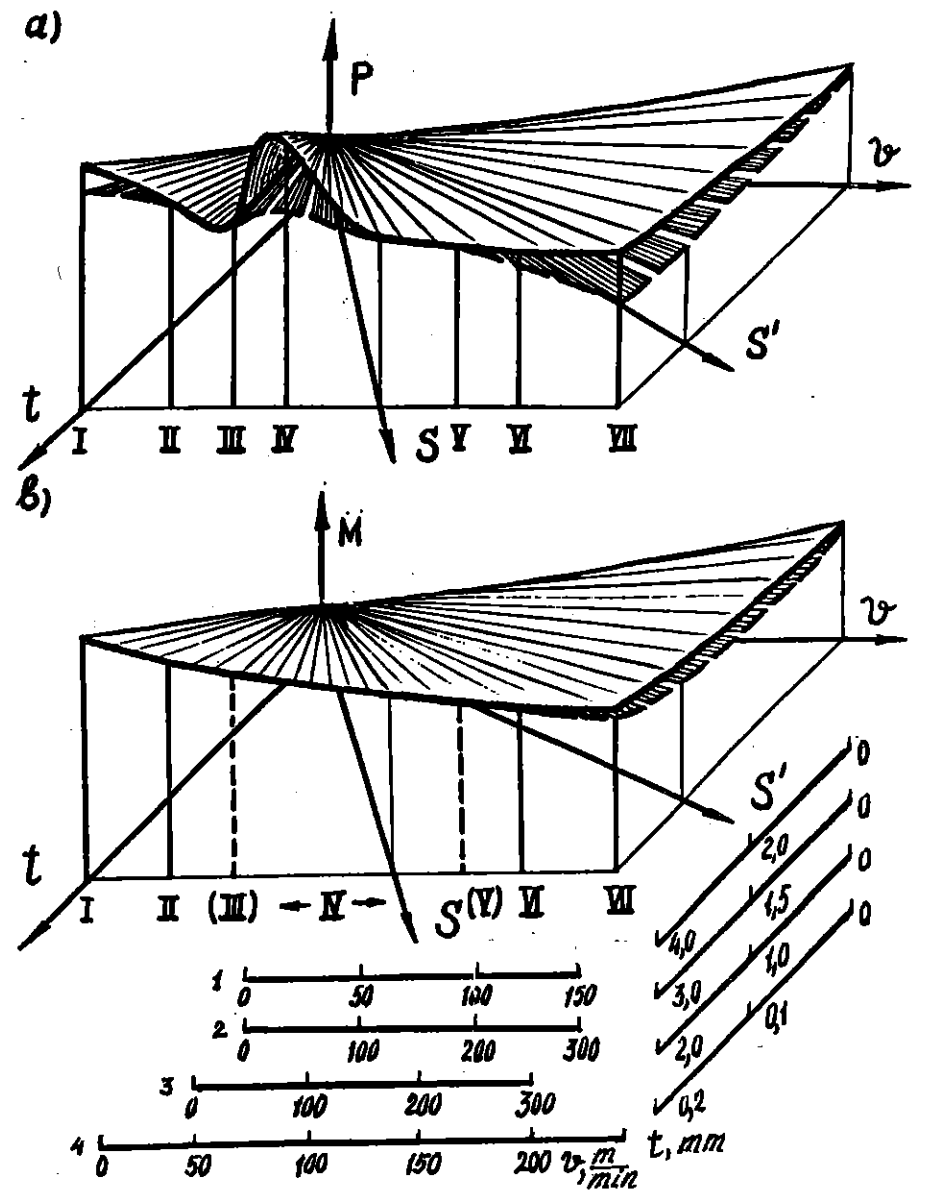


Fig. 2. Change of force constituents P(a) and shape formation moments M(b) depending on the treatment conditions on structure formation stages when treating 1) titanium alloys, 2) constructional, 3) chrome and nickel powder coatings

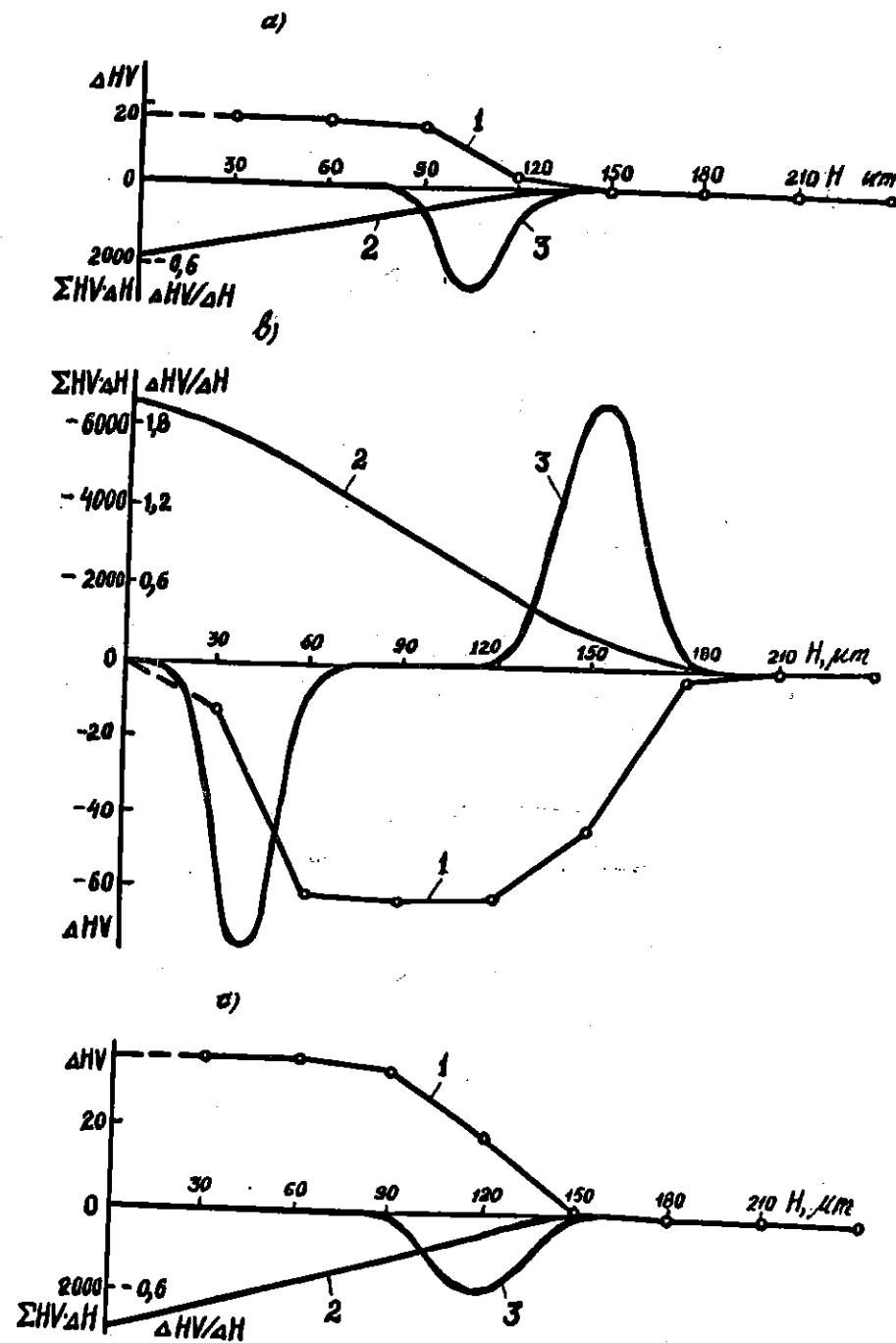


Fig. 3. Distribution dependencies on depth H of surface layer of powder building-up PG-SR4: 1) hardness changes ΔHV ; 2) general strengthening $\Sigma HV \cdot \Delta H$; 3) increase rate $\Delta HV / \Delta H$; after rotational cutting with plasma heating of insufficient (a), redundant (b) and rational (c) intensity

TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA TEHNIČKOG TITANA TIG POSTUPKOM

Brestovački L., Sabo B., Šidanin L., Dakić J., Novović M.

REZIME

Tehnički titan je vrlo interesantan konstrukcioni materijal za procesnu industriju, sa obzirom na vrlo povoljan odnos čvrstoće i specifične mase, izuzetnu korozionu postojanost i relativno dobru obradivost.

U radu su analizirani eksperimentalni rezultati zavarivanja titana VT1-0 prema GOST standardu TIG postupkom sa jednostepenom zaštitom argona, pri čemu je u cilju smanjenja troškova obrade smanjen obim pripreme osnovnog materijala i nije primenjena trostepena gasna zaštita materijala šava i ZUT-a. Izvršeno je zavarivanje sučeonih spojeva na limu debljine 2,2 mm u horizontalnom položaju, pri različitim temperaturama predgrevanja osnovnog materijala, različitim parametrima režima zavarivanja, bez ili sa delimičnom pripremom osnovnog materijala za zavarivanje, a mereni su parametri režima zavarivanja i temperatura osnovnog materijala. Ispitivane su mehaničke karakteristike, tvrdoća i dimenzije zavarenog spoja, a pregledan je i lom uzoraka i ZUT.

1.0. UVOD

Proizvodnja i primena titana i njegovih legura u industrijskim uslovima je počela tek u drugoj polovini XX veka. Razlozi za to su bili vrlo složen proces proizvodnje titana i visoki energetske troškovi proizvodnje.

Titan i njegove legure, stoga, prvu primenu nalaze u vojnoj i vazduhoplovnoj industriji i kosmičkim programima, kao materijal čiji je odnos čvrstoće i specifične mase vrlo povoljan. Otpornost titana i njegovih legura na uticaje agresivnih sredina uz dobru obradivost i snižavanje troškova proizvodnje krajem šezdesetih godina ovog veka su ih učinili zanimljivim konstrukcionim materijalom.

Izrada složenih konstrukcija od titana ili njegovih legura gotovo uvek podrazumeva obradu zavarivanjem. Zavarljivost titana i njegovih legura je dobra uz poštovanje mera tehnološkog opreza što dovodi do visokih troškova obrade. Titan i njegove legure se uspešno mogu zavarivati sledećim postupcima: električnim otporom, elektrolučno u atmosferi zaštitnih inertnih gasova, laserom, elektronskim snopom i plazmom.

Dipl. ing. Lazar Brestovački, asistent pripravnika; dr Bela Sabo, vanredni profesor; dr Leposava Šidanin, redovni profesor; mr Jovica Dakić, asistent; dipl. ing. Milorad Novović, asistent pripravnika; Fakultet tehničkih nauka-Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.

2.0. TITAN I LEGURE TITANA

Pošto je proces proizvodnje tehnički čistog titana (99,99%) komplikovan i skup, a primenjuje se tehnički titan sa određenom manjom količinom primesa i legirajućih elemenata (pre svega O, N, C, H, Fe, Si, Ni) koji ima niže troškove proizvodnje i dobre mehaničke karakteristike.

2.1. Tehnički titan

Hemijska čistoća tehničkog titana je veća od 99,0 masenih%, a ostatak čine primese i legirajući elementi. Hemijski sastav i mehaničke karakteristike tehničkog titana su standardizovani, najčešće nacionalnim ili strukovnim standardima (DIN, BS, GOST, AFNOR, ASTM, MIL, AMS, DTD, AICMA itd.). Ovi standardi rigorozno propisuju maksimalne količine O, N, H i C i sadržaj Ti u tehničkom titanu i njegove mehaničke osobine.

Mikrostruktura koju tehnički titan treba da ima je strogo propisana navedenim standardima i treba da bude sastavljena od zrna α faze titana. Malo učešće α' faze titana je dozvoljeno dok učešće β faze titana u tehničkom titanu nije dozvoljeno.

Pregled nekih tipova standardizovanog tehničkog titana sa mehaničkim karakteristikama je dat u tabeli 1.

Tabela 1.

PREGLED NEKIH STANDARDIZOVANIH TIPOVA TEHNIČKOG TITANA								
Titan Standard	Titan Oznaka tipa	Čistoća % Ti	Mehaničke karakteristike					izvor
			Rm x10 ⁶ Pa	Rp _{0,2} x10 ⁶ Pa	HV	δ_{min} %	ψ_{min} %	
DIN	99,8	99,8	294-412	176	-	25	-	/1/
	99,7	99,7	392-540	245	-	20	-	
	99,6	99,6	461-589	324	-	16	-	
	99,5	99,5	540-736	392	-	15	-	
ASTM	Grade 1	99,5	280	210-385	-	22	-	/1/
MIL	TypeIcA	99,2	407	276	-	28	-	/45/
	TypeIcC	99,0	545	434	-	27	-	
	TypeIcB	99,0	655	552	-	25	-	
ASM	99,5	99,5	241	172	-	24	-	/46/
	99,0	99,0	552	483	-	15	-	
-	-	-	442-550	343-491	140-200	cca25	cca55	/2/
GOST 19807	VT1-00	99,57	294-442	-	-	25	55	/3/
	VT1-0	99,33	393-539	-	-	20	45	
GOST	VT1-00	99,6	294-442	-	-	cca30	-	/4/
	VT1-0	99,3	393-539	-	-	cca30	-	

2.2. Legure titana

Veoma opsežnu klasifikaciju svih legura titana na osnovu mehaničkih i tehnoloških karakteristika i mikrostrukture na sobnoj temperaturi su predložili GLAZUNOV, MOISEV i VAREŽIN, /4/, a ona je data u tabeli 2.

Tehnički titan, prema ovoj klasifikaciji spada u grupu legura titana male čvrstoće i visoke plastičnosti, sa α tipom mikrostrukture.

Tabela 2.

KLASIFIKACIJA LEGURA TITANA, prema radovima GLAZUNOV-a, MOISEV-a i VAREŽIN-a				
Osnova klasifikacije		Karakteristike		
Prema mehaničkim i tehnološkim osobinama, /4/	Prema tipu mikrostrukture, /4/	Rm _{max} x 10 ⁶ Pa /34/	δ_{min} % /4,34/	Mikrostruktura na sobnoj temperaturi, /34/
Male čvrstoće, visoko plastične	α	550	25	α
	pseudo α	750	20	> 95% α + < 5% β
Srednje čvrstoće	α	900	10	α
	pseudo α	1200	8	> 95% α + < 5% β
	$\alpha + \beta$	1000	12	$\alpha + \beta$
Visoke čvrstoće	β	850	10	β
	$\alpha + \beta$	1550	5	$\alpha + \beta$
	pseudo β	1500	4	metastabilna β

3.0. TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA TITANA TIG POSTUPKOM

Posebne mere tehnološkog opreza pri zavarivanju titana TIG postupkom, za razliku od zavarivanja nerđajućih čelika, obuhvataju: pripremu osnovnog materijala u zoni budućeg zavarenog spoja mehaničkim skidanjem površinske oksidne opne neposredno pre zavarivanja do širine planirane ZUT, kvalitet obrađene površine mora biti što viši, a hrapavost što manja, zbog apsorpcije vodonika, pripremu dodatnog materijala (koji može biti sopstveni) mehaničkim skidanjem površinske oksidne opne neposredno pre zavarivanja, upotrebu zaštitnog inertnog gasa argona visoke čistoće (preko 99,9%), zaštita inertnim gasom materijala šava i ZUT-a se vrši sve dok im je temperatura iznad 300°C, zaštita titana inertnim gasom se vrši u tri stepena (primarna: rastop sa mlaznicom TIG gorionika, sekundarna: šav i ZUT sa produženom mlaznicom, tercijalna: korena strana šava i ZUT sa posebnim sklopom), protok zaštitnog gasa podesiti pažljivo, prečnik mlaznice TIG gorionika povećati u odnosu na zavarivanje nerđajućih čelika.

4.0. PLAN EKSPERIMENTA

Plan eksperimenta obuhvata konstante eksperimenta, opis promenljivih eksperimenta, planirani tok eksperimenta i program ispitivanja.

4.1. Konstantne veličine eksperimenta

Konstantne veličine eksperimenta su:

Uređaj za TIG zavarivanje ISKRA KND 350; Elektroda legirana sa ThO₂ (crvena) prečnika 2 mm; Prečnik mlaznice TIG gorionika 12 mm; Merenje vremena hronometrom RAKETA; Merenje jačine struje zavarivanja ampermetrom ugrađenim u uređaj za zavarivanje; Merenje dimenzija pomično kljunasto merilo MEBA; Merenje temperature kontaktni digitalni termometar ISKRA; Mehanička ispitivanja zatezanjem kidalica SCHENK; Uređaj za merenje tvrdoće HUDREL; Argon standardne čistoće; Osnovni materijal tehnički titan VT1-0 prema GOST-u; Debljina osnovnog materijala 2,2 mm; Zavaruju se ploče dimenzija 250x250 mm; Temperatura okoline 20°C; Razmak u korenu spoja 2 mm; Položaj

zavarivanja horizontalan sa podlogom masivne čelične ploče; Tip postupka ručno TIG zavarivanje; Zavarivanje se izvodi sa sopstvenim dodatnim materijalom kvadratnog poprečnog preseka, izrezanom mehaničkim makazama; Sekundarna i tercijalna gasna zaštita se ne vrši; Predgrevanje se vrši izrazito redukujućim oksiacetilenskim plamenom pri čemu temperatura površine osnovnog materijala ne prelazi 280°C;

4.2. Promenljive veličine eksperimenta

Promenljive veličine koje se variraju u toku eksperimenta su:

Priprema osnovnog materijala brušenjem brusnim papirom sa obe strane budućeg spoja oba dela osnovnog materijala neposredno pre zavarivanja; Temperatura predgrevanja osnovnog materijala; Protok zaštitnog gasa; Jačina struje zavarivanja; Brzina zavarivanja

4.3. Tok eksperimenta

Prvi tip uzoraka, označen sa N, se dobija eksperimentom koji se izvodi sa konstantnim veličinama eksperimenta dok su promenljive usvojene u ekstremnim vrednostima: Priprema osnovnog materijala se ne vrši; Predgrevanje osnovnog materijala se ne vrši; Jačina struje zavarivanja je maksimalna; Brzina zavarivanja je minimalna; Protok zaštitnog gasa je minimalan.

Drugi tip uzoraka, označen sa P, se dobija eksperimentom koji se izvodi sa konstantnim veličinama eksperimenta dok su promenljive usvojene u ekstremnim vrednostima: Priprema osnovnog materijala se vrši; Predgrevanje osnovnog materijala se vrši; Jačina struje zavarivanja je minimalna; Brzina zavarivanja je maksimalna; Protok zaštitnog gasa je maksimalan.

Treći tip uzoraka je označen sa O a odnosi se na ispitivane uzorke osnovnog materijala.

4.4. Program ispitivanja u toku eksperimenta

Tokom eksperimenta su merene veličine: Jačine struje zavarivanja; Vremena zavarivanja; Temperature predgrevanja osnovnog materijala.

Program ispitivanja uzoraka dobijenih eksperimentom obuhvata:

- Mehanička ispitivanja osnovnog materijala i zavarenog spoja zatezanjem standardnih epruveta (prema JUS C.T3.051): zatezna čvrstoća R_m , granica tečenja $R_{p0,2}$ i homogeno izduženje do loma δ .
- Merenje tvrdoće: osnovnog materijala HV, materijala šava HRC, materijala ZUT-a HRC
- Pregled loma epruveta: lokacija loma, struktura materijala na mestu loma
- Pregled ZUT-a: širina ZUT-a sa lica i korena šava, oblik prelaza sa materijala ZUT-a na osnovni materijal.

5.0. EKSPERIMENT

Pregled merenih veličina u toku eksperimenta prema planu eksperimenta je dat u tabeli 3.

Eksperiment je izveden potpuno u skladu plana eksperimenta.

Tabela 3.

MERENE VELIČINE U TOKU EKSPERIMENTA					
uzorak tip	temperatura OM |°C|	priprema OM	Protok Ar |l/min|	brzina zavarivanja |m/h|	struja zavarivanja |A|
N	20	ne	9,5	5	85
P	280	da	18	9	70

5.1. Rezultati eksperimenta

Mehanička ispitivanja su izvršena na po 7 ispitnih epruveta za svaki tip uzorka, a u tabeli 4. su prikazane srednje vrednosti ispitivanja.

Tabela 4.

MEHANIČKA ISPITIVANJA UZORAKA EKSPERIMENTA			
uzorak tip	zatezna čvrstoća R_m $\times 10^6$ Pa	granica tečenja $R_{p0,2}$ $\times 10^6$ Pa	homogeno izduženje δ %
O	477,02	365,70	22,90
N	432,20	394,90	4,05
P	458,00	413,50	2,90

Merenje tvrdoće je izvršeno prema planu eksperimenta na po 14 mernih mesta za svaki tip uzorka. Srednje vrednosti tvrdoće su prikazane u tabeli 5.

Tabela 5.

TVRDOĆA OSNOVNOG MATERIJALA, ŠAVA I ZUT-a			
uzorak tip	osnovni materijal HV ₁₀	materijal šava HRC	materijal ZUT-a HRC
O	201	-	-
N	-	42	32
P	-	40	34

Rezultati pregleda loma epruveta su prikazani u tabeli 6.

Tabela 6.

PREGLED LOMA EPRUVETA		
uzorak tip	mesto loma	struktura materijala na mestu loma
O	sredina vretena epruvete	homogena sitnozrna
N	ZUT	krupnozrna
P	prelaz materijal šava-ZUT	homogena sitnozrna

Rezultati pregleda ZUT-a su dati u tabeli 7.

Tabela 7.

PREGLED ZONE UTICAJA TOPLOTE (ZUT)			
uzorak tip	širina ZUT-a |mm|		oblik prelaza materijal šava-ZUT
	lice šava	korena strana	
N	25	24	blage granice prelaza
P	23	23	oštre granice prelaza

Rezultati merenja dimenzija šava su dati u tabeli 8.
Tabela 8.

uzorak tip	DIMENZIJE ŠAVA			
	širina šava |mm|		nadvišenje šava |mm|	
	lice šava	koren šava	lice šava	koren šava
N	8	8	1,2	0,8
P	8	8	1,0	0,7

5.2. Diskusija rezultata eksperimenta

Manjom pogonskom energijom (niže jačine struje zavarivanja i veće brzine zavarivanja) uz predgrevanje osnovnog materijala je moguće postići gotovo identične dimenzije šava kao i većom pogonskom energijom bez predgrevanja osnovnog materijala.

Predgrevanjem osnovnog materijala se postiže pojava homogene sitnozrne mikrostrukture na prelomu ispitnih epruveta što je povoljnije u odnosu na krupnozrnu mikrostrukturu dobijenu bez predgrevanja.

Zavarivanje sa prvostepenom gasnom zaštitom rastopa rezultira sa znatnim padom duktilnosti zavarenog spoja, neznatnim padom zatezne čvrstoće i porastom granice tečenja, zbog nedovoljne gasne zaštite materijala šava i ZUT-a.

Rast temperature predgrevanja osnovnog materijala vrši uticaj na povećanje zatezne čvrstoće i granice tečenja zavarenog spoja, a pad duktilnosti.

Priprema osnovnog materijala, u smanjenom obimu, koji je izveden u okviru eksperimenta, vrši slab uticaj na karakteristike zavarenog spoja.

Protok zaštitnog gasa u prvostepenoj gasnoj zaštiti materijala šava vrši neznatan uticaj na karakteristike zavarenog spoja.

6.0. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata opisanog eksperimenta moguće je zaključiti da je izrada statički opterećenih konstrukcija od tehničkog titana VT1-0 opisanom tehnologijom zavarivanja bez pripreme i predgrevanja osnovnog materijala (TIG postupkom zavarivanja sa jednostepenom gasnom zaštitom materijala šava) moguća, sa tim da se vodi računa da dolazi do znatnog smanjenja duktilnosti zavarenog spoja. Izrada dinamički opterećenih konstrukcija opisanim postupkom nije preporučljiva upravo iz razloga niske duktilnosti zavarenog spoja i sklonosti ka krtom lomu.

Ispitivanja zavarljivosti tehničkog titana VT1-0 TIG postupkom zavarivanja sa smanjenim obimom pripreme osnovnog materijala, trebalo bi ispitati i na niskim temperaturama osnovnog materijala (-20°C) i rezultate uporediti sa rezultatima ovog eksperimenta.

Nakon toga bi trebalo izvršiti eksperiment sa trostepenom gasnom zaštitom zavarenog spoja sa smanjenim obimom pripreme i različitim temperaturama osnovnog materijala, a rezultate uprediti.

Konačno bi se mogla ispitati zavarljivost tehničkog titana TIG postupkom zavarivanja sa smanjenim obimom pripreme osnovnog materijala sa prvostepenom i drugostepenom zaštitom helijuma, a trećestepenom zaštitom argona (u literaturi nme postoje podaci o takvom postupku zavarivanja). Primenom navedene tehnologije zavarivanja se mogu očekivati dobre karakteristike zavarenog spoja.

7.0. LITERATURA

- 11/ ZWICKER U.: Titan und Titanlegierungen, Springer-Verlag, Berlin, 1974.
12/ GRABIN B.F.: Osnovi metalolovedenja i termičeskoj obradki svrnih soedinenii iz titanovih splavov, Naukova dumka, Kiev, 1975.
13/ GUREVIČ S.M.: Spravočnik po svarke cvetnih metalov, Naukova dumka, Kiev, 1981.
14/ GRUPA AUTORA: Metalurgija i tehnologija svarki titana i ego splavov, redakcija Prof. Dr. S.M. GUREVIČA, Naukova dumka, Kiev, 1979.
15/ BELJČUK G.A., GATOVSKII K.M., KOH B.A.: Svarka sudovih konstrukcii, Sudostroenie, Leningrad, 1980.
16/ GRUPA AUTORA: Svarka v mašinostoenii, tom 3, redakcija Prof. Dr. V.A. VINOKUROVA, Mašinostroenie, Moskva, 1979.
17/ GLIZMANENKO D.L.: Svarka i rezalka metallov, Višaja škola, Moskva, 1971.
18/ GRUPA AUTORA: Spravočnik svaršička, redakcija Prof. Dr. V.V. STEPANOV, Mašinostroenie, Moskva, 1974.
19/ BAGRIANSKII K.V., DOBROTINA Z.A., HRENOV K.K.: Teorija svaročnih procesov, Viša škola, Kiev, 1976.
110/ RABKIN D.M., RAJBOV V.R., GUREVIČ S.M.: Svarka raznorodnih metallov, Tehnika, Kiev, 1975.
111/ FOMINIH V.P., JAKOVLEV A.P.: Ručnaja dugovaja svarka, Viščajja škola, Moskva, 1981.
112/ HANAPETOV M.V.: Svarka i rezalka metallov, Stroizdat, Moskva, 1980.
113/ RUGE U.: Tehnika svarki (prevod s nemeckogo), Metalurgija, Moskva, 1984.
114/ VRHOVENKO L.V., TUKIN A.K.: Spravočnik svaršička, Viščajja škola, Minsk, 1977.
115/ FEDIN A.P.: Svarka, naplavka i rezalka materialov, Viščajja škola, Minsk, 1972.
116/ PETROV G.L., TUMAREV A.S.: teorija svaročnih procesov (s osnovami fizičeskoj himii), Višaja škola, Moskva, 1977.
117/ POTAPEVKII A.G.: Svarka v zaščitnih gazah plavjačimsja elektrodom, Mašinostroenie, Moskva, 1974.
118/ GRUPA AUTORA: Svarka sudovih konstrukcii, sudostroenie, Leningrad, 1971.
119/ GRUPA AUTORA: Spravočnik svaršička, redakcija Prof. Dr. V.V. STEPANOV, Mašinostroenie, Moskva, 1982.
120/ GRUPA AUTORA: Aktualnoe problemi svarki cvetnih metalov, Naukova dumka, Kiev, 1980.
121/ FETISOV G.P.: Svarka i paika v aviacionnoi promišlennosti, Mašinostroenie, Moskva, 1983.
122/ GRUPA AUTORA: Reaktivni dlja vijavljenja makro- i mikrostruktur svrnih soedincii staei i splavov, Naukova dumka, Kiev, 1977.
123/ GRUPA AUTORA: Svarka i rezalka v promišlennom stroitelstve, redakcija Prof. B.D. MALIŠEV, Stroizdat, Moskva, 1980.
124/ NOVOŠILOV N.M.: Osnovi metalurgii dugovoi svarki v gazah, Mašinostroenie, Moskva, 1979.
125/ AKULOV A.I., BELČUK G.A., DEMJANCEVIČ V.P.: Tehnologija i obrudovanie svarki plavljeniem, Mašinostroenie, Moskva, 1977.
126/ RIBAKOV V.M.: Svarka i rezalka metallov, Viščajja škola, Moskva, 1979.
127/ VUZOV V.: Tehnologija i obrudovanie svarki plavljeniem, Mašinostroenie, Moskva, 1986.
128/ KITAEV A.M., KITAEV JA.A.: Spravočnaja kniga svaršička, Mašinostroenie, Moskva, 1985.
129/ DREIZENŠTOK Z.B., LUŠKOV N.L.: Spravočnik svaršička - sudostroitelja, Sudostroenie, Leningrad, 1977.
130/ BAGRIANSKII K.V., DOBROTINA Z.A., HRENOV K.K.: Teorija svaročnih processov, Izdatelstvo Harkovskogo Universiteta, Harkov, 1968.
131/ GRUPA AUTORA: Tehnologija električeskoj svarki metallov i splavov plavljeniem, redakcija Akademik Dr. B.E. PATON, Mašinostroenie, Moskva, 1974.
132/ VILIAM R.: Titantartalnu femek hegesztese argon vedogazban, Muszaki Konyvkiado, Budapest, 1969.
133/ Metals handbook, Vol. 6., Welding and Brazing, ASM Metals Park, Ohio, 1971.
134/ GRUPA AUTORA: Svarka v mašinostoenii, tom 2., redakcija Dr. A.I. AKUROV, Mašinostroenie, Moskva, 1978.
135/ GRUPA AUTORA: Sprovočnik montažnika, Svarka i rezalka v promišlennom stroitelstve, redakcija Prof. B.D. MALIŠEV, Stroizdat, Moskva, 1980.
136/ GRUPA AUTORA: Inženjersko tehnički priručnik, Zavarivanje, tom 1., redakcija E.V. SOKOLOV, prevod sa ruskog, Rad, Beograd, 1979.
137/ GRUPA AUTORA: Inženjersko tehnički priručnik, Zavarivanje, tom 4., redakcija Prof. Dr. A.I. AKULOV, prevod sa ruskog, Rad, Beograd, 1980.
138/ KRAUT B.: Stojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.
139/ PALIČ V.: Zavarivanje, FTN, Novi Sad, 1987.
140/ BLAGOJEVIČ A., PAŠIĆ O.: Zavarivanje, lemljenje, lijepljenje, MF Mostar - MF Banjaluka, Mostar, 1991.
141/ LONČAR Đ., BEZJAK V. i drugi: Priručnik za zavarivanje, Elektroda, Zagreb, 1987.
142/ PAŠIĆ O.: Primjena analitičke metode za određivanje temperaturnog polja pri zavarivanju titana, Međunarodno savjetovanje mehanizacija, automatizacija, robotizacija i primjena računala u zavarivanju, Zbornik radova, strane 85.-94. Pula, 1987.
143/ ŠIDANIN L.: Mašinski materijali II, Stylos, Novi Sad, 1996.
144/ STANKOVIČ V.: Mašinski materijali i termička obrada, Viša tehnička škola, Novi Sad, 1966.
145/ Metals handbook, Vol 1, Properties and Selection of Metals, ASM, Metals Park, Ohio, 1961.
146/ ASKELAND D.R.: The Science and Engineering of Materials, Chapman and Hall, London, 1990.
147/ BROOMFIELD R.W.: Application of advanced joining techniques to titanium alloys, Prociding of Conference Designing with Titanium, pp 69-74, Bristol, UK, 1986.
148/ BAESLACK W.A. III, BECKER D.W., POES F.H.: Advanced in Titanium Alloy Welding Metallurgy, Journal of Metals, may 1984, pp 46-57.
149/ BECKER D.W., MESSLER R.W. Jr., BAESLACK W.A. III: Titanium welding - a critical review, Publishing The Metallurgical Society of AIME, Vol 1, pp 255-275, 1980.

TIG PROCESS WELDING TECHNOLOGY OF COMMERCIALLY PURE TITANIUM

SUMMARY

Commercially pure titanium is a very attractive structural material for industry, because of its high strength-to-weight ratio, good resistance to corrosion and good workability.

This paper presents the results of welded commercially pure titanium (according to GOST standard grade VT1-0), using a different variety of inert-gas TIG processes. Particular attention is given to the lower costs of the weldments as the preparation of weld metals and HAZ, are minimized. Furthermore, the samples are welded by applying the single-J weld procedure with and without preheating.

In addition, the mechanical properties, hardness and fracture mode of welded specimens are discussed.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

m-r Jasmina Čaloska, d-r Jovan Lazarev

UTICAJ TERMIČKE OBRADJE NA OBRADLJIVOST ČELIČNIH LIMOVA FINIM PROSECANJEM

REZIME

U radu su prikazani rezultati dobijeni finim prosecanjem tri grupe čeličnih limova. Materijali su klasificirani u zavisnosti od sadržaja ugljenika i strukture:

- niskougljениčni čelični limovi (0,066% C)
- nelegirani ugljениčni čelični limovi (0,19% C)
- legirani čelični limovi (0,48% C).

Rezultati ovih ispitivanja pokazuju da ukoliko je procenat ugljenika veći sa lamelarnom cementitnom strukturom, kvalitet obradjene površine biće lošiji, dok se trajnost alata znatno smanjuje.

Primenjenom termičkom obradom, periodično cikličnim mekim žarenjem, dobija se transformacija lamelarnog cementita u 100% globularni cementit. Prikazane su fotografije dobijenih mikrostruktura pre i posle termičke obrade, kao i izgled prosečene površine izabranih materijala. Kvalitet prosečene površine je N7- N8, a odnos kvaliteta prosečene površine iznosi $K=S_2/S_1 = 1$.

UVOD

Osnovna karakteristika savremene tehnologije u metalo-prerađivačkoj industriji je postojana tendencija korišćenja novih materijala i tehnologija, sa ciljem da se dobiju delovi visokim stepenom tačnosti dimenzija i visokim kvalitetom obradene površine.

Zbog toga u oblasti obrade metala plastičnom deformacijom dolazi do permanentnog usavršavanja postojeće tehnologije, kao i uvođenje principijelno novih tehnoloških metoda. Jedna od njih je i fino prosecanje sa utiskivanjem konturno-klinastog rebra.

Suština metode je u stvaranju visokog svestranog pritiska u zoni deformacije, i pri takvom naponskom polju izvesti prosecanje matricom i patricom po stogo određenoj konturi. Zbog visokog svestranog pritiska i specifičnih geometrijskih odnosa u kritičnoj zoni, prosečeni delovi su sa glatkom staničnom površinom, i kvalitet N6-N8, za razliku od konvencionalnog prosecivanja gde je kvalitet N10-N11. Zahvaljujući visoke tačnosti oblika i mera, kao i glatke rezne površine, delovi dobijeni finim prosecanjem, posle operacije odstranjivanja srta, ugrađuju se u računare, raznih mernih i električnih aparata, u avtomobilskoj industriji (brave, viljuške za kaiševe itd.) itd.

Zbog specifičnosti u odnosu na naponsko stanje u zoni prosecanja i stogosti u odnosu na veličinu zazora između reznih elemenata ($z=0$), ovaj tehnološki proces izvodi se na specijalnim troodnim presama i visoko preciznim alatima.

* m-r Jasmina Čaloska - Mašinski fakultet, Skopje
* d-r Jovan Lazarev - Mašinski fakultet, Skopje

Takav alat za ispitivanje obradljivosti čeličnih limova izrađen je u Alatnici, Rade Končar, u Skoplju po originalnoj šemi ureda firme, ERICHSEN.

U ovom radu je ispitivan uticaj termičke obrade na obradljivost materijala, domaćeg proizvodstva.

Kriterijum obrade pretstavlja odnos debljine glatko prosečenog dela S_g i debljine materijala S (Sl. 1).

$$K = S_g / S$$



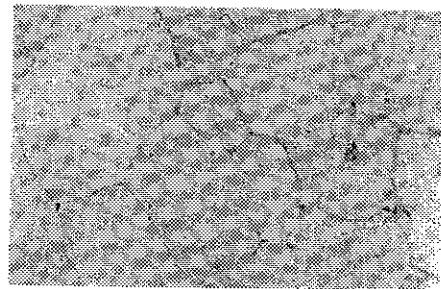
Sl. 1

2. UTICAJ TERMIČKE OBRADNE NA STRUKTURU I OBRADLJIVOST ČELIČNIH LIMOVA FINIM PROSECANJEM

Reprezent niskougljeničnih čeličnih limova je hladnovaljani čelik Č.0147, debljine $S=2\text{mm}$, proizveden u POS, Železara, Skopje.

Rezultati ispitivanja ukazuju da je reč o materijalu siromašnim ugljenikom, sa mnogo primesa u svom sastavu. Dijagram F-Al kao i ispitivanja mehaničkih karakteristika pokazuju da materijal ima malu tvrdoću ($HV_{10}=85 \text{ daN/mm}^2$), veliko izduženje ($\epsilon_k=35\%$), i malu granicu tečenja ($R_t=165 \text{ N/mm}^2$). Sve ove osobine idu u prilog jednom materijalu namenjen obradom finim prosecanjem.

Na Sl.2 prikazana je struktura ispitivanog materijala sa ciljem da se utvrdi veličina zrna (po ASTM, 6-8) i raspored karbida (po ARMCO, C-2).



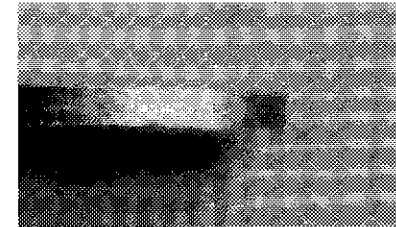
Sl.2

Na fotografiji mikrostrukture primećuje se izlačeni tercijalni cementit u vidu lanca po granici zrna. Njegovo prisustvo je posledica starenja materijala ili proces žarenja posle valanja.

Iz aspekta obrade finim prosecanjem izlačeni tercijalni cementit po granici zrna i u samom zrnju, nema veliki uticaj na kvalitet obrađene površine. Kristali tercijalnog

cementita su veoma sitni, jer se izdvajaju na niskoj temperaturi (bavna difuzija), a to znači da prosekivač pri prodoru u materijal neće ih kršiti već samo pomestivati levo i desno sa rezne ivice alata u meki ferit.

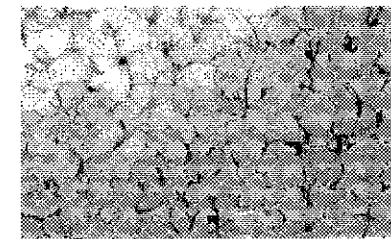
Na Sl.3 prikazan je izgled prosečene površine sa odnosom $K=91\%$.



Sl.3

Dobijena vrednost odnosa K govori da i pored povoljnih mehaničkih karakteristika materijala za obradu finim prosecanjem, struktura može bitno da utiče na kvalitet obrađene površine. Tercijalni cementit pogoršava kvalitet i treba ga izbegavati ukoliko se radi o odgovornijim delovima.

Reprezent grupe nelegiranih čeličnih limova je Č.0451 sa $C\%=0,19\%$, iz kvalitetnog asortimana Železare, Skoplje, t.e. čelik za opštu konstruktivnu upotrebu. Materijal ima izduženje $\epsilon_k=24\%$, tvrđinu $HV_{10}=147 \text{ daN/mm}^2$ i granicu tečenja $R_t=386 \text{ N/mm}^2$. Struktura isporučenog materijala prikazana je na Sl.4. (X 500).



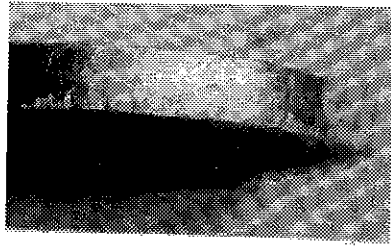
Sl.4

Fotografija prikazuje poliedarsko feritno-perlitnu strukturu, sa izlačenim cementitom u lamelama. Veličina zrna je srednja (po AMST, 7), a raspored karbida po ARMCO, iznosi C-2. Količina perlita iznosi 20-25%.

Rezna ivica prosekivača postojano krši lamele cementita koje su izvanredno tvrde (750 HV), pa zbog toga prosečena površina rezultira visokim srtovima. Izgled prosečene površine prikazan je na Sl.5.

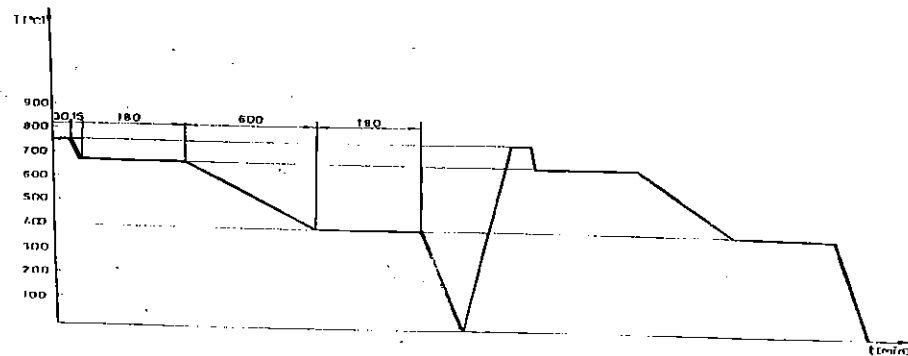
Povećanjem prisustva ugljenika, pogoršava se kvalitet obrađenja površine zbog čega je neophodna termička obrada t.e. meko žarenje, kako bi lamele koagulirale u globule.

Globule cementita su ramnomerno raspoređene i ne dolazi do sečenja, već samo do nabijanja u meki ferit.



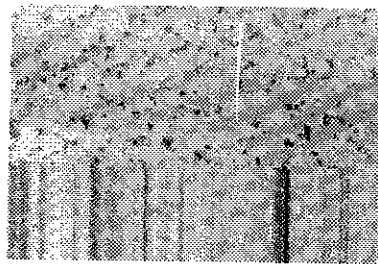
SI.5

Materijal je podložen cikličnom žarenju, prema dijagramu na SI.6.



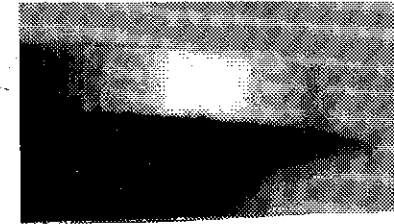
SI.6

Čelik se hladi veoma bavno sa temperature koja je nešto viša od A_1 (Fe-C dijagram, $A_1=723^\circ\text{C}$), pa se cementit direktno izdvaja u obliku globula na već prisutnim kristalima austenita. Pojava lamela u tom slučaju je izbegnuta. Rezultat ove termičke obrade prikazan je na SI.7 gde se vidi 100% koagulacija cementita.



SI.7

Materijal posle termičke obrade pokazuje namaljene jakosne, a povećane deformacione karakteristike. Izgled prosečene površine posle žarenja prikazan je na SI.8. Vrednost odnosa $K=98\%$, a kvalitet obrađene površine je N8.



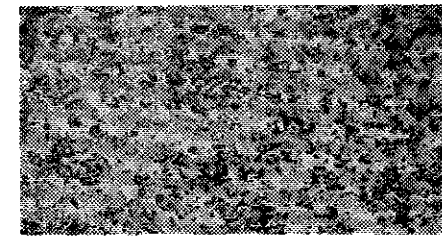
SI.8

Reprezent grupe legiranih čelika je manganski čelik za poboljšanje Č.3134 sa $C\%=0,48\%$ i mehaničkim karakteristikama u normalizovanom stanju: $R_t=600\text{N/mm}^2$, $\epsilon_k=10\%$, $HV=230\text{daN/mm}^2$. Izgled prosečene površine prikazan je na SI.9 i rezultira velikim srtozima.



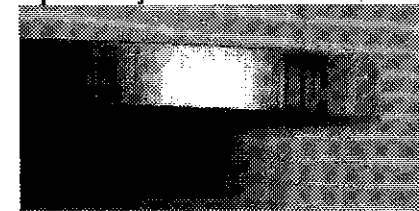
SI.9

Posle izvedene termičke obrade prema dijagramu na SI.6. struktura materijala izgleda kao na SI.10. sa 100% globularnim cementititom.



SI.10

Ovako tretirani materijal posle dekapiranja je prosečen po utvrđenom režimu, a izgled prosečene površine prikazan je na SI.11.



SI.11

Iznos odnosa $K=100\%$, a kvalitet obrađene površine je N8.

SUMMARY

This paper, deals with a fine blanking treatment of steel plates. The quality of cutting surface is measured depending upon the percentage of carbon and material structure. We examined examples from the following three groups of materials:

- carbon steel plates with a low percentage of carbon (0,066%C)
- unalloyed carbon steel plates (0,19%C)
- alloyed carbon steel plates (0,48%).

Results of this research show us that if material contains higher percentage of carbon with laminated cementite structure, there is a necessary thermal treatment (soft heating) for transformation of laminated cementite into globular cementite. With this treatment the quality of cutting surface is significantly higher ($S_g/S=1$).

Thermal treatment with soft heating (glowing) has been done periodically. That helps to accelerate transformation of laminated cementite into 100% globular cementite.

The cutting surface quality is N7-N8.

REFERENCES

1. V. Strezov, J. Lazarev: Technological problems of fine blanking process, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, 1990
2. V. Strezov, J. Lazarev: Technological problems of fine blanking and influence of geometrical and dynamically factories to the effects of fine blanking, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, 1989
3. J. Caloska: Examination of the formability to the materials with the fine blanking process, Skopje, 1993



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

S. Đurić, Dr T. Pantelić, Z. Vesić, M. Jakovljević**

AUTOMATSKO ZAVARIVANJE TANKIH LIMOVA

Rezime

U radu je dat opis automata za zavarivanje tankih limova MIG/MAG postupkom. Dati su osnovni parametri zavarivanja tankih limova od konstruktivnih čelika. Rezultati ispitivanja zavarenih spojeva potvrđuju da dati parametri i zavarivanje na automatu garantuju kvalitet zavarenih spojeva. Primena ovakvog automata za nastavljavanje tankih limova ima potpuno opravdanje u cilju izvođenja zavarenih konstrukcija, a znatno doprinosi povećanju iskorišćenja materijala.

1.0 UVOD

Izvođenje zavarenih konstrukcija od tankih limova zahteva posebnu tehnologiju zbog potrebe zadovoljavanja specifičnih uslova. Naime, pri zavarivanju tankih limova neophodno je obezbediti kontrolisani unos energije u cilju: sprečavanja progorevanja materijala, obazbeđivanja kvalitetnog provara korena zavarenog spoja, smanjenja ili eliminisanja deformacija, obezbeđenja nepropusnosti šava itd. Izvođenje zavarenih konstrukcija od tankih limova zahteva vrhunski obučene zavarivače ili primenu automata za zavarivanje. Treba napomenuti s obzirom na činjenicu da je pojam tanki limovi dosta rastepljiv, da se u ovom radu podrazumevaju limovi debljine od 0,5 mm do 5 mm, što je uobičajena terminologija u mašinstvu, odnosno u proizvodnji automobila, kamiona, vagona, poljoprivrednih, rudarskih i građevinskih mašina i procesne opreme. U radu je dat opis tehnologije izvođenja pravolinijskih zavarenih spojeva tankih limova u Fabrici karoserija DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu.

2.0 ZAVARIVANJE TANKIH LIMOVA

Za izradu elementa karoserije građevinskih, rudarskih i poljoprivrednih mašina, rezervoara za vodu, gorivo i ulje, kabina, kapotaža motora, blatobrana i sl. koriste se limovi debljine 0,5 - 5 mm, dimenzija tabli 1000 x 2000 mm u kvalitetima Č.0147 P4, Č.0148, Č.0261, Č.0361, Č.0461, Č.0562.

* Sava Đurić, dipl. ing., Dr T. Pantelić, Z. Vesić, dipl. ing.,
Institut IMK "14. oktobar", Kruševac

** Milica Jakovljević, dipl. ing.
Mašinsko - elektrotehnička škola, Kruševac

Zahtevi konstrukcije i dimenzije delova često zahtevaju izvođenje pravolinijskih zavarenih spojeva. Takođe, u cilju optimalnog iskorišćenja materijala javljala se potreba za nastavljanjem ostataka tabli limova, takozvanog korisnog otpada. Taj problem je rešavan ručnim zavarivanjem MIG/MAG postupkom zavarivanja, ali se nije mogao rešiti na zadovoljavajući način, jer je uticaj zavarivača na kvalitet ostvarenog spoja bio veoma veliki i teško je bilo obezbediti sve zahtevane karakteristike zavarenog spoja. Ostvarivanje ovih zahteva postignuto je nabavkom automata za zavarivanje.

Automat je trebao da zadovolji sledeće zahteve:

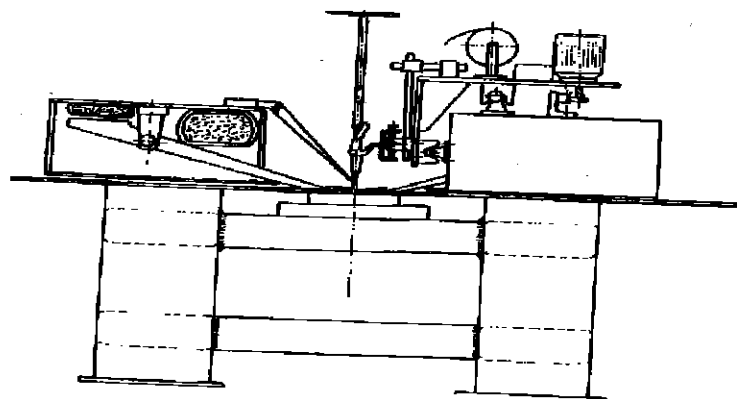
- kvalitetni zavareni spoj uz potpuni provar korena zavarenog spoja bez progrevanja i sličnih grešaka;
- estetski izgled šava, simetričan, pravolinijski šav konstruktivnih dimenzija lica i korena šava, bez rasprskotina i bobica;
- homogen, nepropustiv šav sa pravilnim ugorevanjem.

Na bazi ovih zahteva uz pomoć stručnjaka iz DD IMK "14. oktobar" iz Kruševca, specijalisti "Rada Končara" - Aparatna tehnika iz Skoplja, projektovani su i proizveli automat za pravolinijsko zavarivanje tankih limova UZL - 3500/1.

2.1 Automat za pravolinijsko zavarivanje

Na slici 1 data je skica automata za uzdužno zavarivanje limova UZL - 3500/1, koji ima sledeće tehnološke karakteristike:

$L_{max} = 3500$ mm.....	Maksimalna radna dužina
$v_k = 8 - 80$ mm/min.....	Brzina kretanja kolica
$v_z = 1,75 - 175$ cm/min.....	Brzina dovodenja elektrodne žice
$d = 1,0 - 1,6$ mm.....	Prečnik elektrodne žice
$v_z = 15 - 150$ cm/min.....	Brzina zavarivanja
$I_{max} = 300 - 350$ A.....	Maksimalna struja zavarivanja



Slika 1 Automat za uzdužno zavarivanje limova UZL 3500/1

2.2 Opis rada automata za zavarivanje

Da bi se postavio lim u prostor za zavarivanje ispod bakarnih papuča, stezne papuče se pomoću ručne komande podižu u gornji položaj.

Limovi se postavljaju na konzole rama (postolja) i dovode do graničnika, tako da se obezbedi neophodan zazor iznad donje bakarne ploče sa kanalom za obezbeđenje provara korena zavarenog spoja. Ručnom komandom limovi se stežu između gornjih papuča.

Na uređaju za zavarivanje topivom žičanom elektrodom u zaštitnoj atmosferi gasova (MIG/MAG postupak zavarivanja) D - 450 proizvodnje "R. Končar" AT Skoplje, ručno se podešavaju željeni parametri zavarivanja: brzina dodavanja žice, protok zaštitnog gasa, struja zavarivanja, a na komandnom ormariću se podešava brzina zavarivanja. Zatim se kolica sa gorionikom dovedu na početak zavarenog spoja, podese se odstojanje gorionika i pritiskom na dugme "START" uključuje automatski režim rada i počinje sa zavarivanjem. Po završenom zavarivanju automatski se podižu gorionik i papuče, a lim, odnosno zavareni sklop se oslobađa.

2.3 Tehnološki parametri zavarivanja

Za svaki od zahtevanih kvaliteta i materijala posebno je propisana tehnologija zavarivanja koja se proverava u praksi. Pri verifikaciji tehnologije zavarivanja vrši se više proba.

Tehnološki parametri zavarivanja na automatu UZL 3500/1 za tri probe čeličnog lima od Č.0362 dati su tabelarno za debljine limova 2, 3, 4 i 5 mm.

Zbog obezbeđenja željenog kvaliteta priprema za zavarivanje se izvodi mašinskom abradom, a ivice moraju biti očišćene od masti, boja, ulja i drugih nečistoća i metalno sjajne.

TEHNOLOŠKI PARAMETRI ZAVARIVANJA NA AUTOMATU ZA UZDUŽNO ZAVARIVANJE TANKIH LIMOVA MIG/MAG POSTUPKOM

δ (mm) debljina materijala	2mm			3mm			4mm			5mm		
	PRIPREMA											
φ d (mm) prečnik elektrode	φ 1,0 mm			φ 1,2 mm			φ 1,2 mm			φ 1,2 mm		
	BROJ UZORAKA											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
I (A)	100	110	130	140	190	160	250	230	250	250	230	250
- podeok					(4,8)	(4,5)	(6)	240				
U (V)	22	21	21	23	22	22	26	26	26	25	24	25
- greben	(6)					(8)	(6)	(11)				
v (podeok)	3,5	3,5	4,4	3,6	3,5	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,8	4,0
podeok												

Tabela 1

2.4 Kvalitet izvedenih zavarenih spojeva

Kvalitet zavarenih spojeva ispituje se u Tehničkoj laboratoriji DD IMK "14. oktobar", Kruševac pri verifikaciji tehnologije zavarivanja, a potom se redovno kontroliše od strane linijske kontrole. Ustanovljeni kvalitet zavarenih spojeva je 100% ponovljiv pri poštovanju zadanih tehnoloških parametara.

Kao primer rezultata laboratorijskih ispitivanja pri verifikaciji tehnologije zavarivanja dat je izveštaj Tehničke laboratorije za zavareni spoj izveden od Č.0362, debljine lima 2 mm (prva kolona u tabeli 1).

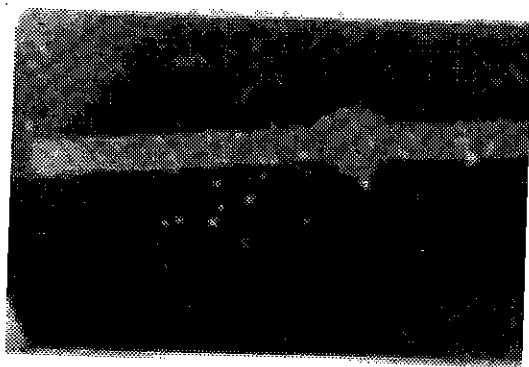
Zavarivanje je izvedeno propisanim parametrima iz tabele elektrodnom žicom VAC - G0, u zaštitnom gasu CO₂.

Mehanička ispitivanja dala su sledeće rezultate:

R _m = 431 - 442 MPa.....	Zatezna čvrstoća
a _{d=3a} = 180°.....	Ugao savijanja sa lica i sa korena zavarenog spoja
HB = 115.....	Tvrdoća u ZUT-u
HB = 179.....	Tvrdoća u zavarenom spoju
HB=110.....	Tvrdoća osnovnog materijala

Metalografska ispitivanja data su na slikama 2, 3 i 4.

Na slici 2 dat je makroizbrusak zavarenog spoja nagrižen nitalom, uvećan tri puta. Na njemu su vidljiva mesta na kojima je merena tvrdoća. Jasno su vidljive granice zavarenog spoja i zone uticaja toplote (ZUT).



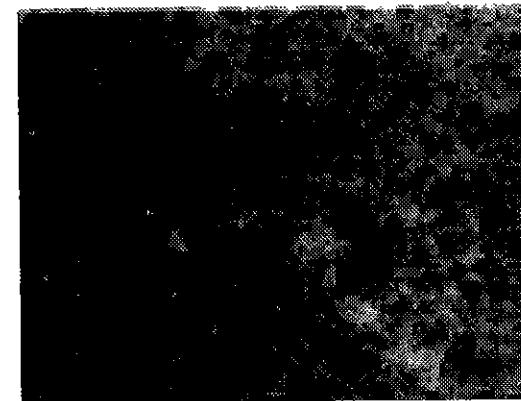
Slika 2. Makroizbrusak zavarenog spoja nagrižen nitalom uvećan tri puta

Na slici 3 data je makrostruktura zavarenog spoja i ZUT-a. Makroizbrusak je nagrižen nitalom i uvećan sto puta. Makrostruktura metala šava je perlit + ferit (izdužena perlitna mikrostruktura), dok je mikrostruktura ZUT-a krupnozrnasta tj. perlit + ferit.



Slika 3. Makroizbrusak metala šava, ZUT-a nagrižen nitalom uvećan sto puta

Na slici 4 data je mikrostruktura prelazne zone i osnovnog materijala. Mikroizbrusak je nagrižen nitalom i uvećan sto puta. Mikrostruktura prelazne zone i osnovnog materijala je prelaz krupnozrnog ferita u ZUT-u ka sitnozrnog feritu u osnovnom materijalu.



Slika 4. Mikroizbrusak prelazne zone i osnovnog materijala i uvećan sto puta

Na osnovu ovih rezultata ispitivanja može se zaključiti da je zavareni spoj izveden kvalitetno, da mehaničke osobine odgovaraju materijalu Č.0362 i da nema većih metalurških razlika u strukturi osnovnog materijala, zoni uticaja toplote i metalu šava.

3.0 EFEKTI PRIMENE AUTOMATA ZA ZAVARIVANJE

Uvođenjem u primenu automata UZL - 3500/1 postignuti su željeni efekti, odnosno zahtevani kvalitet zavarenih spojeva pri zavarivanju tankih limova. Takođe, posebni efekti se ogledaju u povećanju produktivnosti (do tri puta je skraćeno vreme zavarivanja po dužnom metru zavarenog spoja), kao i povećanje stepena iskorišćenja materijala (i za 80%) korišćenjem takozvanog "korisnog otpada" spajanjem redova tabli lima koji su ranije bili korišteni u manjem obimu ili bacani. Ovaj aspekt je posebno značajan danas zbog visokih cena materijala u odnosu na svetske cene.

4.0 ZAKLJUČAK

Na osnovu petogodišnjeg iskustva u korišćenju automata za uzdužno zavarivanje tankih limova može se sa sigurnošću zaključiti da je investicija u njegovu nabavku opravdana, a da se on kroz efekte njegove primene višestruko isplatio. Obezbeđen je zahtevani kvalitet uz 100%-nu ponovljivost, deformacije su svedene na minimum, povećana je produktivnost, znatno je olakšan rad zavarivača, povećan je stepen iskorišćenja materijala, obezbeđeno je poštovanje propisanih tehnoloških parametara.

Jedan od mogućih načina rešenja problema zavarivanja tankih limova je automatizacija ove tehnološke operacije, kao što pokazuje ovaj primer.

5.0 LITERATURA

- [1] Đurić S., Milojević M., Mehanizacija i automatizacija zavarivačkih radova u Industriji "14.oktobar" Kruševac, MAG br.48, Beograd, 1983.
- [2] Mr Bajić B., MAG zavarivanje, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, 1985.
- [3] Živčić M., Elektrolučno MIG/MAG zavarivanje, "Zavarivanje", broj 3 -5, Zagreb, 1984.
- [4] Zbornik radova Međunarodnog savetovanja Mehanizacija, automatizacija, robotizacija i primena računara u zavarivanju, DTZH, Pula, 1987.

AUTOMATISCHE SCHWEISSVERFAHREN VON DUENNBLECHEN

Zusammenfassung

Die Arbeit beinhaltet die Beschreibung eines Schweissautomaten fuer Duennblechen mit MIG/MAG Verfahren. Es wurden die Grundparameter von Duennblechenschweissung aus Konstruktivstaehlen gegeben. Die Pruefergebnisse bestaetigen, dass die gegebene Parameter und Automatschweissung die Qualitaet von Schweissnaehten gewerleisten. Die Anwendung solcher Automaten fuer die Verbindung der Duennblechen hat ihre Gerechtfertigkeit gefundden im Bereich der qualitativen Ausfuehrung von Schweisskonstruktionen und traegt bedeutend zur Ausnuetzung des Werksoffs bei.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

V.I.Georgiev*, I.L.Ilkova**, D.K.Stankov*** and E.V.Georgieva*

INVESTIGATION OPERATION MODE PARAMETERS INFLUENCE ON TECHNOLOGICAL INDICES UNDER LOCAL ELECTRIC SPARK PILING OF TOOLS

Summary

Different operation modes under local electrical spark stratification were experimented in order to obtain a quality coating aiming at increasing of tools wear resistance.

On the basis of the obtained results, conclusions are drawn about the nature and extend of operation mode parameters (magnitude of current, electrode-tool frequency of rotation, electrode-detail speed of moving, etc.) influence on technological indices (surface roughness, microhardness, etc.)

Introduction

Local electrical spark stratification find application as a progressive technological method for piling covers from high wear-resistance materials (Tungsten and Titan carbides) on the cutting tool surfaces (punches, drills, spot-facers, mills, etc.). Covers, obtained in that method are compact, even, whit very good smoothness, exactly copy on cutting edges relief, with a high degree of localisation. Cover quality increases tools durability which leads to elongation of duration and effectiveness of their work and to decrease of their net-coast. Cover quality depends on operation mode parameters under local electrical spark stratification and of electrode-tool and electrode-detail materials.

In the present research work the results from experimental investigation in order to establish operation mode parameters influence on technological indices are given. The goal is practical use, since the previous research works reflect mostly the nature of the process.

Materials and experimental conditions

The examination were carried out upon tool-steel specimens sort Y9A (in accordance with Bulgarian standard 6751-73) and X12M (in accordance with Bulgarian standard 7938-73). These steels are mostly used for producing tools working in different production scopes. The specimens were quenched to 58-60 HRC and then - ground.

Piling of coating was performed trough machine for local electrical spark stratification ELFA541(Bulgaria) by rotating electrode-tool, made from one-carbide hard alloy - Tungsten carbide BK6M (in accordance with Bulgarian standard) with diameter 1mm.

In order to obtain the different operation modes the following parameters were variable:

-magnitude of current I - $1.6 \div 16.6$ A

* Vassil Ivanov Georgiev, Dimitrar Kostov Stankov, Elena Vassileva Georgieva - Higher Institute of Mechanical and Electrical Engineering - Plovdiv

** Ilona Lubenova Ilkova - Higher Institute of Food and Flavour Industries, Plovdiv

*** Reporter and a correspondence person.

-impulse frequency $f - 5 \pm 66.66 \text{ kHz}$ (it is determined by combinations from impulse duration $T - 3 \pm 20 \mu\text{s}$ and filling coefficient $\tau - 0.1 \pm 0.2$)

-capacity $C - 0.1 \pm 1.0 \mu\text{F}$

-electrode - tool frequency of rotation $n - 1000 \pm 3800 \text{ min}^{-1}$;

-electrode - detail speed of moving $V - 0.1 \pm 1.0 \text{ mm/s}$

-the number of junctions $N - 1 \pm 5$ number (it is defined from the number of electrode - tool passings on the same place upon the processed surface)

Operation mode parameters influence on coating quality was estimated by variation of the following indices values:

-coating surface roughness $R_a, \mu\text{m}$ - measured by "Profilograph - Profilometer 250"

-coating microhardness $HV, \text{kgf/mm}^2$ - measured by metallographic microscope "EPYTYP" (loading 0.050 kgf)

-coating compactness b, mm (this index defines availability of non-covered sectors from the electrode-tool) - measured by BRINEL magnifying glass.

-coating thickness $\delta, \mu\text{m}$ (this index defines the difference between the values of the processed detail dimensions without and with coat).

Results and discussion

The obtained data were evaluated by mathematical-statistical methods. The different parameters influence was explored by two-factors dispersive analyse. For the investigated quality indices the arithmetic average and standard deviation were calculated.

From the analyses of the obtained data it was established that among the parameters, which define impulse energy (magnitude of current, capacity, impulse duration and filling coefficient) the magnitude of current has the heaviest influence.

Figs. 1,2 and 3 show coating microhardness variations depending on the magnitude of current, I and the rest of parameters conformably: electrode-detail speed of moving, V (fig. 1), the number of junctions, N (fig. 2), electrode-tool frequency of rotation, n (fig. 3). And figs. 4,5 and 6 show coating surface roughness variations depending on the same parameters.

With increasing the magnitude of current coating microhardness, compactness, thickness and roughness rise but for the steel Y9A variation is smoother and in shorter ranges then for the steel X12M.

For the steel X12M coating microhardness and roughness weakly lessen and for the steel Y9A they almost do not change when the tool -detail speed of moving increase, coating compactness and thickness lessen.

It was set from the research work, that the optimal number of junctions is 2-3, as when the number of junctions increase, coating roughness sharply increase, coating microhardness, compactness and thickness increase.

With increasing electrode- tool frequency of rotation, coating roughness, compactness and thickness lessen and microhardness varieties in short ranges.

It was set from the carried out research that the operation mode parameters influence to a different degree the coating quality indices depending on the sort of the detail and tool materials.

The obtained experimental data and results find a practical supplement in local electrical spark stratification of tools, made from steel Y9A and X12M, because they make possible to choose suitable and concrete operating mode parameters values in order to obtain the necessary values for the different technological and operational indices.

References:

- 'AMO 89' Collection of papers, Botevgrad, Bulgaria, 1989.
- Stancov D.K., Georgieva E. V., Ilkova I. L. 'Investigation of technological indices depending on operation mode parameters under local electrical spark stratification of tools', Ruse, Bulgaria, 1994.

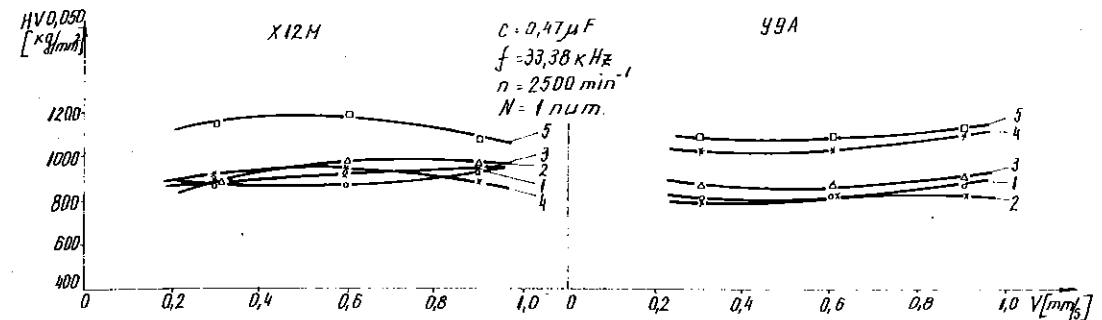


fig.1

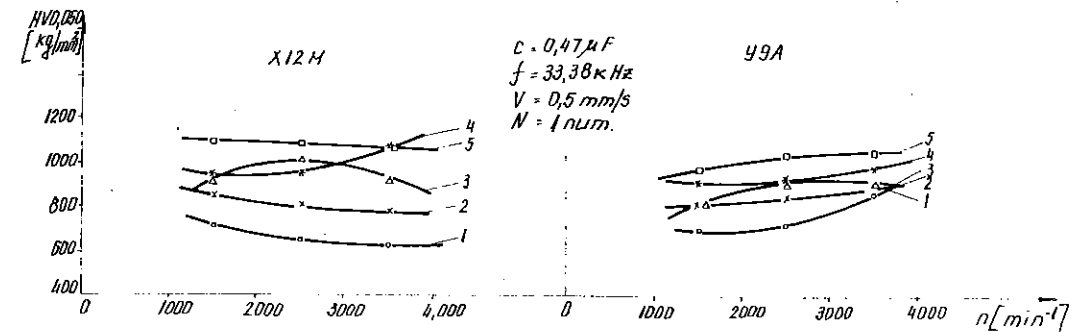


fig.2

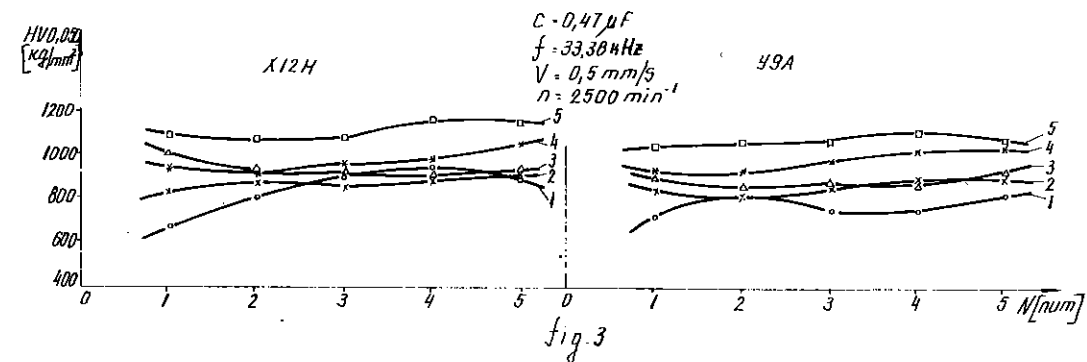


fig.3

I, A
 Legend: 1 (•) - 3,2
 2 (x) - 6,4
 3 (Δ) - 9,6
 4 (*) - 12,8
 5 (□) - 16,6

M.B. Jevtić, P. Miljanić, D. Nikolić, M. Dostanić, M. Savić*

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ NEKONVENCIONALNIH VISOKO
BRZINSKIH TEHNOLOGIJA OBRADJE DEFORMISANJEM

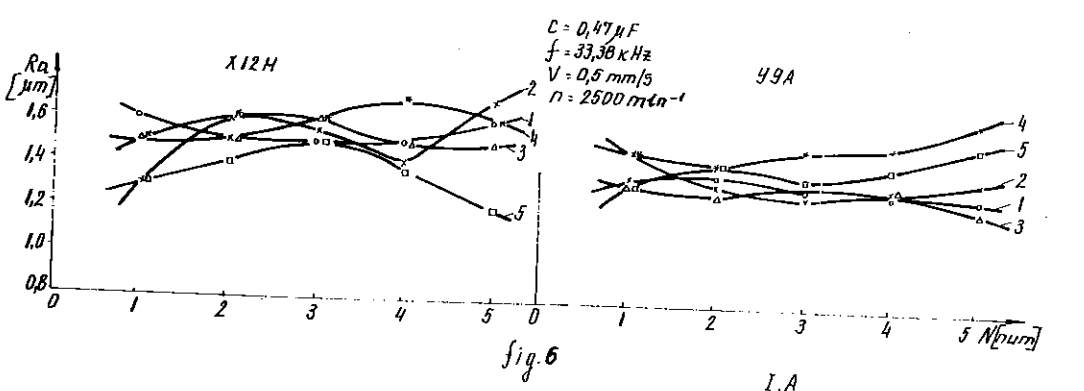
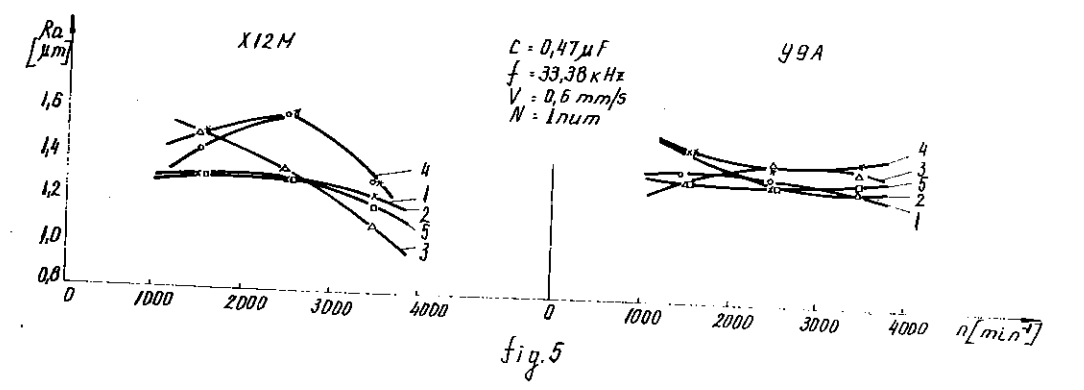
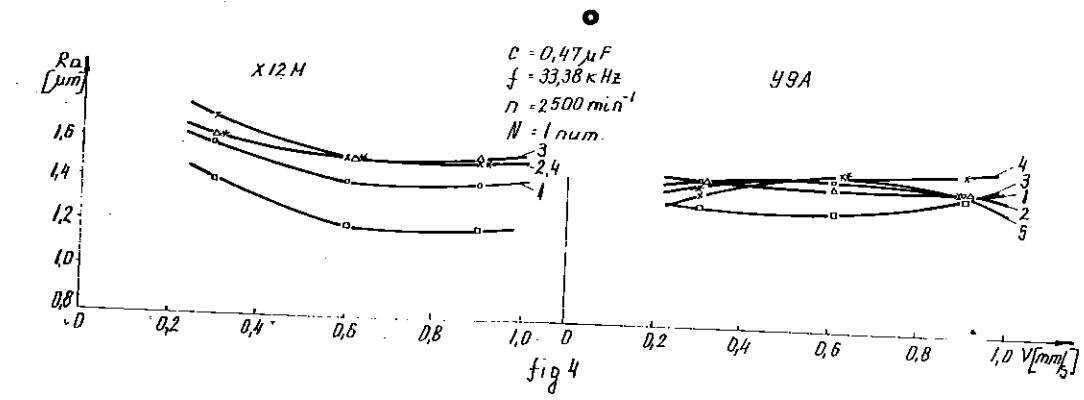
REZIME

U radu su predstavljene mogućnosti primene teorijskih postavki matematičke fizike u obradi deformisanjem. Naime, efekti impulsnih električnih pražnjenja u specijalnim induktorima i u komorama sa tečnim fluidom su eksperimentalno verifikovani i pri tome su dobijeni pozitivni, atraktivni i ohrabrujući rezultati, što je potvrđeno odgovarajućim deformisanim uzorcima.

1. UVOD

Poznate tehnološke prednosti obrade deformisanjem materijala nad obradom rezanjem, posebno pri oblikovanju nekih obradaka, potvrđuju se ekonomskim efektima. Prema raspoloživim informacijama za obradu različitim metodama deformisanja jedne tone gotovih obradaka neophodna je količina materijala od 1,1 do 1,5 tona uz učešće opreme i energije, dok je za dobijanje jedne hiljade tona strugotine metodama rezanjem materijala neophodno angažovanjem više od 160 kvalifikovanih radnika, oko 100 alatnih mašina, 4000 [m²] proizvodne pogonske površine i utrošak oko 800.000 [kWh] kvalitetne električne energije. Pored ostalih, i ovako navedeni podaci ukazuju na neophodnost odgovarajućeg tehnološkog usmerenja proizvodnog mašinstva prema širokom spektru tehnoloških mogućnosti deformisanja materijala. U sklopu ovakvih tendencija uočava se snažna koncentracija istraživačkih napora, ozbiljno podražanih značajnom laboratorijskom i materijalnom potporom, usmerenih istraživanjima u razvoju novih tehnoloških mogućnosti visokobrzinskih i visoko produktivnih metoda obrade materijala deformisanjem. U prilog ovoj činjenici idu i stavovi vodećih svetskih futurologa iz SAD i Japana, koji tvrde da je sadašnji razvoj proizvodnog mašinstva veoma intenzivan i da će se u narednih deset do petnaest godina u proizvodnim pogonima širom sveta nalaziti preko 50% nekonvencijalnih tehnologija i opreme, koja se sada ne bi mogla prepoznati po osnovnim principima, koncepcijama i oblicima. Navedeni kompleks nekonvencijalnih tehnoloških, visokobrzinsko-produktivnih metoda obrade materijala deformisanjem sačinjavaju: i) elektromagnetno impulsno oblikovanje (sistem EMIO) i elektrohidraulično oblikovanje (sistem ELHIM).

*Dr Milenko B. Jevtić, dipl.inž.maš., Lola Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a,
Akademik SANU dr Petar N. Miljanić, dipl.inž.ef., Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80,
Prof. dr Dragomir Nikolić, dipl.inž.maš., Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80,
Milica Dostanić, dipl.inž.tehnol., Lola Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a,
Miloš Savić, dipl.inž.el., Minel - Kondenzatori, Ripanj, Beograd



I.A
Legend: 1 (•) - 3,2
2 (x) - 6,4
3 (Δ) - 9,6
4 (*) - 12,8
5 (□) - 16,6

2. ELEKTROMAGNETNO IMPULSNA METODA - EMIO

Nova metoda visokobrzinsko-produktivnog oblikovanja materijala pripada tzv. bespreserskom načinu obrade deformisanjem. Bespreserski način obrade podrazumeva obradu bez korišćenja skupih presa i konvencijalnih obradnih sistema sa višestrukim pretvaranjem energije iz jednog oblika u drugi, uz učešće visoko tačnih i složenih alata. Navedena elektromagnetno-impulsna metoda omogućava jednostruko pretvaranje energije, pri čemu se dobija koristan mehanički rad za izvođenje deformisanja obradaka. Oprema je konstrukcijski vrlo jednostavna i nema potrebe za korišćenjem skupih materijala i za visokim tačnostima obrade komponenta opreme. Pored toga, obradni istem ne poseduje klasični pogonski sistem. Nema pokretnih elemenata, znači ni trenja ni habanja elemenata obradnog sistema. Ove činjenice umnogome ukazuju na prednosti ove metode obrade (EMIO) deformisanjem u odnosu na klasične. Dalje, neophodno je ukazati na znatno veću pouzdanost i postojanost izvršnih elemenata obradnog sistema EMIO. Sam proces obrade deformisanjem u vremenskom smislu traje izuzetno kratko i iznosi svega 10 do 60 mikrosekundi, što navedenu metodu svrstava u visokoproduktivne tehnologije, pri čemu se u jednokratnom dejstvu dobija konačan oblik obratka visoke tačnosti.

Sušтина novog procesa deformisanja pomoću sistema EMIO je definisana teorijskim postavkama matematičke fizike i elektromagnetike, tj. korišćenjem tzv. Hallovog efekta. Naime, kroz kvalitetno izolovane namotaje ravnih ili cilindričnih induktora propušta se snažan impuls električne struje, koji, s jedne strane, formira u zoni obratka veoma snažno elektromagnetno-impulsno polje, a sa druge strane se u obratku indukuje struja određenog intenziteta, discipativnog karaktera, koja istovremeno zagreva obradak i smanjuje deformacioni otpor materijala, odnosno obratka. Uzajamno dejstvo snažnog elektromagnetnog polja i indukovane struje u obratku se manifestuje nastankom ponderomotornih sila, koje imaju karakter mehaničkog pritiska na obradak, pri čemu induktor veoma snažno, brzinom oko 400 [m/s], potiskuje obradak prema matrici i na taj način izvodi obradu deformisanjem.

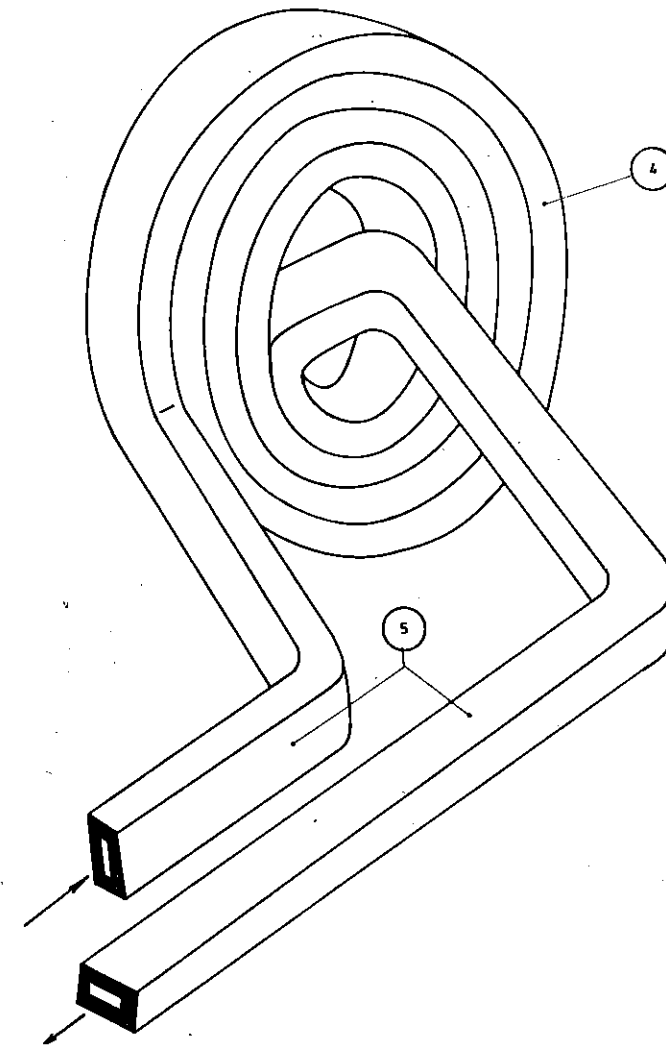
Shematski prikaz navojaka induktora je dat na slici 1. Provodnik je od šuplje bakarne cevi, koja je savijena u Arhimedovu spiralu. Provodnik je izolovan sa araldit epoksidnom smolom i smešten u kućište induktora. Hlađenje induktora se može izvesti sa stalnim protokom vode kroz provodnik.

Sprovedenjem detaljne matematičke elaboracije došlo se do analitičke zavisnosti (1), koja definiše pritisak elektromagnetnog polja P u zavisnosti od magnetnog permabiliteta μ_0 , koeficijenta slabljenja magnetnog polja K_s , jačine struje pražnjena I i dužine obradka l .

$$P_{\max} = \frac{\mu_0 \cdot K_s \cdot I^2}{2l^2} \quad (1)$$

3. ELEKTROHIDRAULIČNA METODA OBRADJE - ELHIM

Metoda ELHIM predstavlja aplikaciju teorijskih postavki relevantnih naučnih disciplina i u fizičkom smislu podrazumeva korišćenje efekata impulsnog električnog pražnjenja u radnoj zoni eksperimentalnog postrojenja, koja je ispunjena tečnim fluidom. Pri tome se za sprovođenje eksperimenta koristi visokovoltna električna instalacija sa ispravljačem, transformatorom, baterijom kondenzatora za impulsna pražnjenja sa relevantnim komutatorima, pomoću kojih se ostvaruje impulsno električno pražnjenje u radnoj zoni sa obradkom. U komiori iznad obradka se nalazi voda u koju je potopljena elektroda.



Sl. 1. - Shematski prikaz navojaka induktora EMIO

Drugu elektrodu predstavlja kućište komore. Impulsno električno pražnjenje se izvodi u radnoj zoni u formi električne eksplozije, pri čemu se formira snažan električni luk u tečnom fluidu, koji se dalje manifestuje nastankom strujno-varničnih gasnih mehurova i kanala između električnih polova. Shodno Paskalovom zakonu nastali vranično-gasni mehurovi se skoro trenutno šire ispunjavajući prostor radne zone i u formi udarnih talasa prenose pritisak na sve strane podjednako, a posebno uz pomoć odgovarajućih usmerivača taj pritisak se koncentriše na željenim mestima na obradku deformišući ga i oblikujući ga prema konfiguraciji matrice na željeni oblik. Ceo proces oblikovanja traje svega nekoliko stotina mikrosekundi shodno vremenu impulsnog pražnjenja.

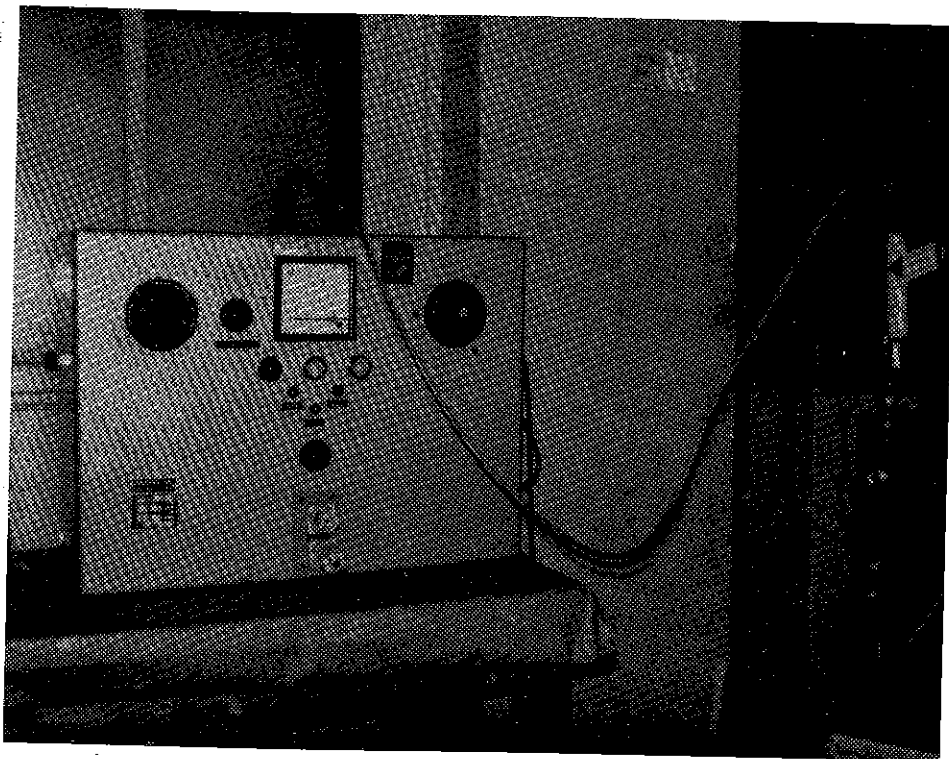
Na ovakav način je moguće izvoditi oblikovanje limova sa različitim konfiguracijama: sfernim, polusfernim, cilindričnim i kombinovanim. Pri tome se koriste slični elektropodsistemi sa

različitim energetska nivoima sa jednom ili dve elektrode zavisno od nivoa zahtevane energije deformisanja obradaka.

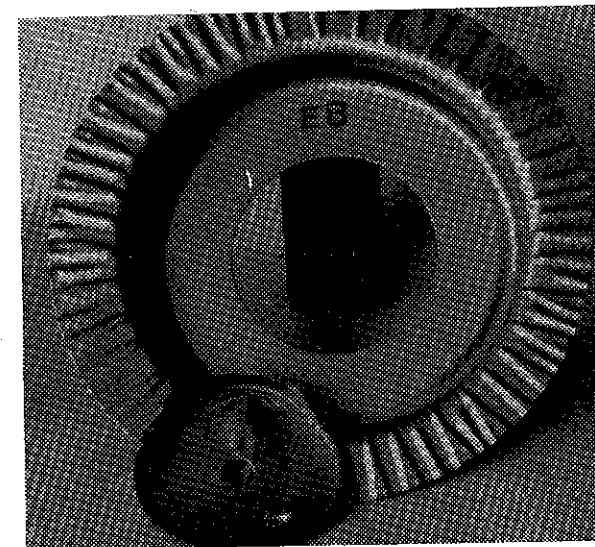
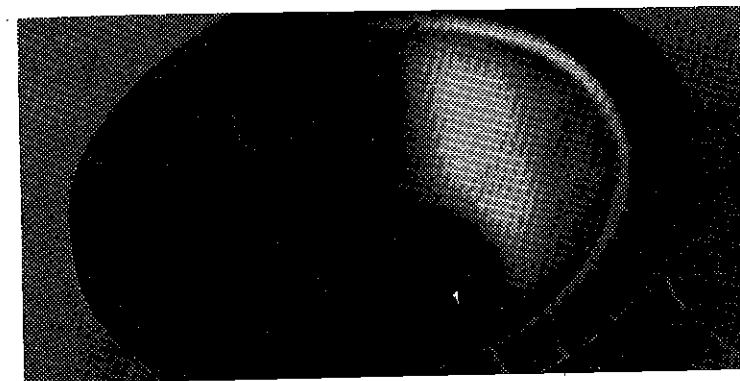
4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Ekperimentalna ispitivanja su izvedena na specijalno razvijenim instalacijama sa elektro i mašinskim podsistemima. Elektro podsistem sadrži bateriju sa promenljivim brojem kondenzatora, sistem provodnika sa preklopnima i komutatorima, upravljačku jedinicu i jedinicu za punjenje kondenzatora sa visokovoltnim transformatorom i ispravljačem. Mašinski podsistemi EMIO i ELHIM sadrže neophodne funkcionalne izvršne elemente induktor, komoru, elektrode i izolatore. Svi navedeni elementi su ukomponovani i vezani u funkcionalnu celinu. Modul za punjenje kondenzatora preko sklopke je prikazan na slici 2.

Ekperimentalna ispitivanja su izvedena sa različitim brojem kondenzatora, sa različitim energetska nivoima i sa uzorcima različitih debljina i od različitih materijala. Sprovedenim eksperimentima je verifikovana fizikalnost procesa EMIO i ELHIM i dobijeni su realni deformisani obradci. Na slici 3 su prikazani obradci na kojima je izvedena obrada izvlačenja i prosecanja, shodno obliku i konfiguraciji matrice u mašinskim podsistemima. Serija eksperimenata je izvedena sa strujama napona od 4 do 10 kV.



Sl. 2. - Izgled modula za punjenje kondenzatora preko sklopke



Sl. 3. - Izgled deformisanih uzoraka sa obradom izvlačenjem i prosecanjem

5. ZAKLJUČAK

Uvažavajući jedan od osnovnih principa matematičke fizike i teorije elektromagnetike o uzajamnom dejstvu impulsno-elektromagnetnog polja i indukovane električne struje u strujnom elementu, koje se manifestuje pritiskom elektro-magnetnog polja na obradak, moguće je koncipirati model obradnog sistema EMIO.

Grupi novih nekonvencijalnih visokobrzinskih i visokoproduktivnih metoda priključuje se i elektrohidraulična metoda, koja je razvijena na teorijskim postavkama tehničke fizike. Ova metoda može imati široku primenu u proizvodnom mašinstvu, pa stoga njeno istraživanje opravdava koncentraciju napora, kadrova i sredstava sa kojima su izvedena ekperimentalna ispitivanja. Autori ovog saopštenja su izveli analizu procesa i mogućih aplikacija i na osnovu toga razvili rešenja eksperimentalnog sistema ELHIM i EMIO. Sprovedenim serijama eksperimentalnih ispitivanja i dobijenim uzorcima verifikovana je fizikalnost procesa, a dobijeni pozitivni rezultati su ohrabrujući i omogućavaju dalji rad autora na razvoju realne, proizvodno industrijske verzije ovih sistema.

6. REFERENCE

- [1] Wilson, F., High Velocity Forming of Metals, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, N.Y. USA, 1987.,
- [2] Košljakom, N., Smimov V., Diferencijalne uravnenia matematičkoi fiziki, izdatelstvo fizikomatematičkoi literaturi, Moskva, 1982.,
- [3] Surutka, J., Elektromagnetika, Građevinska knjiga, Beograd, 1971.,
- [4] Jevtić, M.B., Nikolić, D., Miljanić, P., Elektrohidraulična metoda oblikovanja metala deformisanje, Studija br. 90/94, Lola Institut, Beograd, 1994.,
- [5] Jevtić, M.B., Nikolić, D., Miljanić, P., EMIO obrada metala deformisanjem, Studija br. 89/94, Lola institut, Beograd, 1994.,
- [6] Jevtić, M.B., Visoko brzinska obrada materijala deformisanjem pomoću impulsnog elektromagnetnog polja, Studija br. 912/90, Lola institut, Beograd, 1990.,
- [7] Jevtić, M.B., Nikolić, D.M., Elektromagnetno impulsna obrada deformisanjem, Studija br. 674/92, Lola institut, Beograd, 1992.,
- [8] Jevtić, M.B., Miljanić, P., Nikolić, D., Rezultati istraživanja i razvoja elektromagnetno impulsnog oblikovanja metala deformisanjem, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994, str. 113-120,
- [9] Jevtić, M. B., Nikolić, D., Miljanić, P., Istraživanje i razvoj elektrohidrauličnog postupka oblikovanja metala deformisanjem, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994., str. 120-125.

M.B. Jevtić, P.N. Miljanić, D.M. Nikolić, M. Dostanić, M. Savić

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF UNCONVENTIONAL HIGH SPEED METAL FORMING TECHNOLOGIES

Abstract

The paper presents the possibilities of applying theoretical assumptions of mathematical physics in the field of metal forming. The effects of pulse electrical discharges in special inductors and in chambers containing liquid fluid were experimentally verified. The obtained results are positive, attractive, encouraging and supported by appropriately formed samples.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

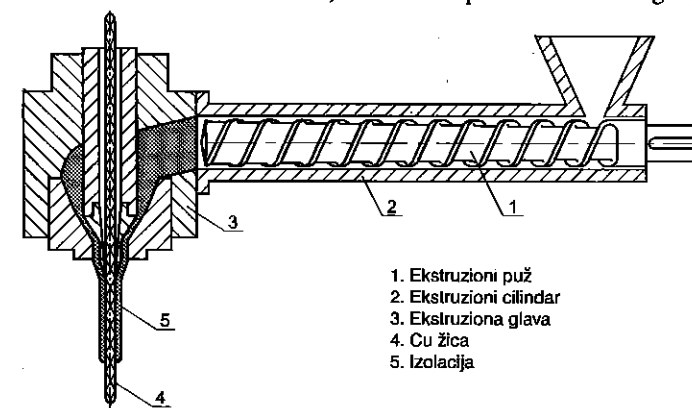
S. Mitrović, Z. Canić

UTICAJ POHABANOSTI OSNOVNIH ELEMENATA TMS-a EKSTRUDERA NA KVALITET EKSTRUDATA U KABLOVSKOJ INDUSTRIJI

Ekstruder čini sklop cilindra i puža. Ovaj sklop, zajedno sa ekstruzionim materijalom predstavlja tribomehanički sistem (TMS) od čijeg stepena pohabanosti zavisi funkcionalnost i proizvodnost ekstruzione opreme kao i kvalitet ekstrudovanog i plastičnog materijala. Tokom vremena eksploatacije dolazi do neminovnog habanja pomenutih elemenata TMS-a, tako da isti dovodi do otkaza kompletne ekstruzione linije. U cilju sprečavanja nekontrolisanih otkaza, a i održavanja kvaliteta nanošene izolacije na provodnicima i kablovima, neophodna su istraživanja razvoja procesa habanja, definisanje oblika habanja i utvrđivanje kriterijuma za ocenu potpune pohabanosti elemenata TMS-a, što je predstavljeno ovim radom.

1. UVOD

U kablovskoj industriji se za izolovanje provodnika i kablova termoplastičnim materijalima uglavnom primenjuje tehnika ekstruzije. Tehnika ekstruzije se koristi za izradu kako osnovne izolacije tako i za nanošenje plašta na već gotove kablove. Ekstruzija predstavlja transformaciju granulisanog termoplastičnog materijala u kontinualno - homogeno stanje najpogodnije za nanošenje na provodnik ili kabl. Mašine za transformisanje termoplastičnog materijala nazivaju se ekstruderi. Osnovni tribo - mehanički sistem, (TMS), svakog ekstrudera čine elementi: cilindar, ekstruzioni puž i ekstruzionna glava, slika 1.



Slika 1. Osnovni elementi TMS-a ekstrudera, 1-puž, 2-cilindar, 3-ekstruzionna glava

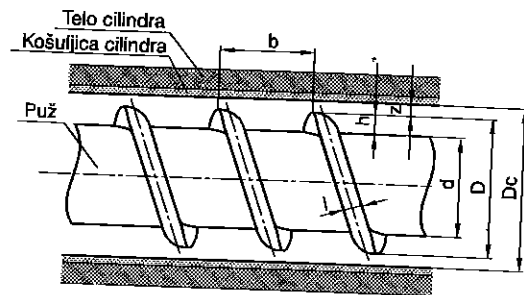
Slobodan Mitrović, dipl. ing., "MultiComp", Kragujevac
Zoran Canić, dipl. ing., DD FEK HK "KABLOVT", Jagodina

Tokom vremena eksploatacije dolazi do neminovnog habanja pomenutih elemenata TMS-a, tako da isti dovodi do otkaza kompletne ekstruzione linije. U cilju sprečavanja nekontrolisanih otkaza a i održavanja kvaliteta nanošene izolacije na provodnicima i kablovima, neophodna su istraživanja razvoja procesa habanja, definisanje oblika habanja i utvrđivanje kriterijuma za ocenu potpune pohabanosti elemenata TMS-a.

2. OSNOVNE FUNKCIJE ELEMENATA TMS-a EKSTRUDERA

Ekstruziona glava služi za formiranje izolacionog sloja od PVC-a ili drugog pogodnog materijala na provodnik ili kabl.

Zadatak sklopa cilindra i puža ekstrudera, slika 2, je da se u njima termoplastični materijal dovede u stanje plastičnosti, tj. stanje najpogodnije za nanošenje na provodnik. Takvo stanje homogenosti i umješnosti ekstrudata mora da bude bez ikakvog prisustva vazduha i vlage.



Slika 2. Funkcionalni sklop ekstruzionog cilindra i puža

Ekstruzioni puž u ekstruzionom cilindru služi za transportovanje neplastificiranog materijala iz hranilice i doprema ga pod odgovarajućim pritiskom i brzinom u matricu glave u obliku homogenog rastopa (kao najpovoljnijeg oblika).

Da bi se došlo do tog homogenog rastopa, u navojcima ekstruzionog puža se dešavaju vrlo složeni termodinamički procesi koji su uslovljeni samom geometrijom ekstruzionog puža. Svaki ekstruzioni puž mora da ispuni tri osnovna zahteva, i to:

- da svojim navojcima vrši hranjenje, odnosno da transportuje granulirani materijal iz hranilice,
- da sabija, zagreva i plastificira materijal i
- da dovodi materijal do završne temperature ekstrudovanja, homogenizuje ga i potiskuje u glavu ekstrudera.

Prema navedenom, na svakom ekstruzionom pužu mogu se uočiti tri karakteristične zone: zona hranjenja, zona sabijanja i zona odmeravanja, kako je dato na slici 3.



Slika 3. Karakteristične zone na ekstruzionom pužu

Pored ovih osnovnih funkcija koje treba da zadovolji, ekstruzioni puž svojom geometrijom i kvalitetom obrade površina treba da u svim zonama omogući i složene termodinamičke procese tečenja termoplastičnog materijala, što je uslov za dobijanje što homogenije i žitkije mase pogodne za nanošenje na provodnike i kablove.

3. PARAMETRI POHABANOSTI SKLOPA CILINDAR-PUŽ I NJIHOV UTICAJ NA KVALITET EKSTRUDATA

Kako je u proizvodnim uslovima analizirane kablovske industrije posmatrana ekstruziona linija nabavljena krajem sedamdesetih godina, na pojedinim linijama je uočen drastično smanjen kapacitet ekstrudera. Poremećena geometrija ekstruzionog puža i povećan zazor između navojaka puža i cilindra direktno prouzrokuje smanjenje brzine topljenja polimera što uslovljava loš kvalitet ekstrudata (pojava zrnaca i mehurića).

Da bi se ustanovilo stanje pohabanosti ekstruzionog puža i cilindra i u kojoj meri je prisutno, treba pratiti nekoliko karakterističnih parametara:

- promenu geometrije ekstruzionog puža i unutrašnjeg prečnika cilindra, odnosno povećanje zazora između temena navoja puža i unutrašnjeg prečnika cilindra,
- kapacitet ekstrudera, koji se smanjuje u toku povećanja zazora između cilindra i puža pri konstantnom broju obrtaja puža,
- kvalitet rastopljene mase, nije zadovoljavajući za normalno propisane režime prerade, a to se ogleda u neumešanosti mase, što znači da masa nije homogena,
- pojavu neujednačenih zadebljanja na izolacijama i plaštevima nanešenim na provodnicima i kablovima, odnosno pojavu neravnomernosti prečnika izolacije provodnika i
- pojavu zrnaca i mehurića po površini izolacije i plašta.

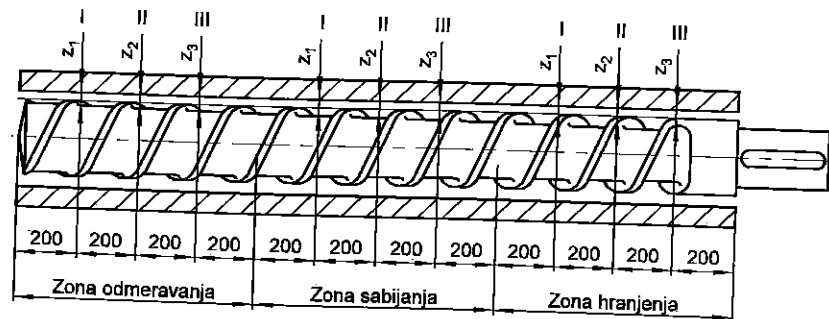
Veličina pohabanosti ekstruzionog puža i cilindra se ogleda u promeni veličine međusobnog zazora, koji je veći kod ekstrudera koji duže vremena rade. Najpouzdaniji način utvrđivanja veličine pohabanosti puža i cilindra vrši se merenjem međusobnog zazora. Ovako dobijeni zazor predstavlja parametar na osnovu koga se može tačno predvideti ponašanje ekstrudera u proizvodnji, odrediti režim rada u eksploataciji i utvrditi da li pristupiti reparaciji sklopa cilindar - puž ili nabavci novog.

4. RAZVOJ PROCESA HABANJA PUŽA I CILINDRA PRAĆEN PROMENOM NJIHOVOG MEĐUSOBNOG ZAZORA

Za utvrđivanje stepena pohabanosti sklopa puž - cilindar treba vršiti merenje zazora i ostalih geometrijskih parametara, povremeno, tokom eksploatacije ekstrudera.

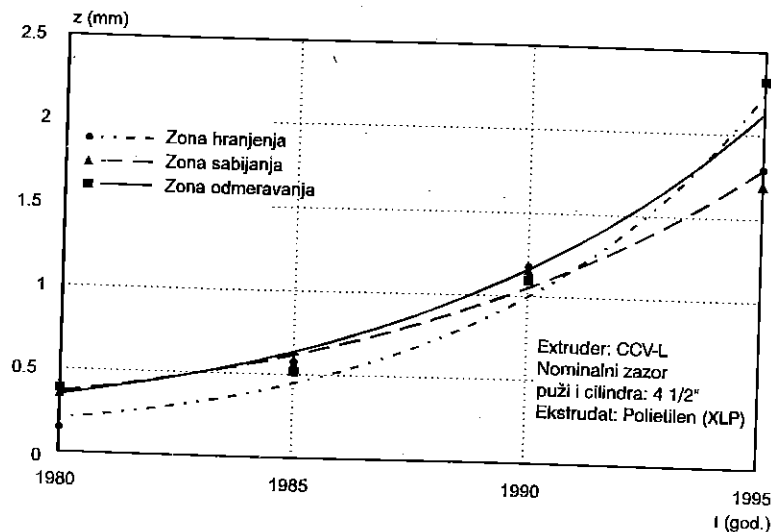
U tom cilju vršena su merenja zazora na konkretnom sklopu puž - cilindar u vremenskom periodu od 1980. do 1995. godine u razmaku od pet godina. Na sklopu puž - cilindar odabrano je devet mernih tačaka (u svakoj zoni puža po tri) na međusobnom rastojanju od 200 mm, slika 4, na kojima je vršeno merenje zazora.

Praćenje pohabanosti puža i cilindra vršeno je u proizvodnim uslovima na ekstruziono liniji CCV-L (kontinualna linija sa parom) na kojoj je vršeno izolovanje provodnika i kablova tzv. umreženim polietilenom (XLP) sa nominalnim prečnikom puža i cilindra od 4 i 1/2".



Slika 4. Raspored mernih tačaka na pužu

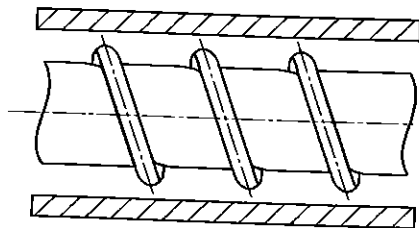
Na osnovu dobijenih srednjih vrednosti zazoru konstruisane su odgovarajuće krive habanja za svaku zonu ekstruzionog puža, slika 5.



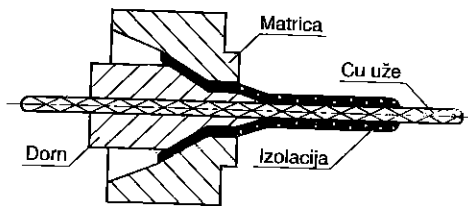
Slika 5. Razvoj procesa habanja ekstruzionog puža i cilindra

Povećanje zazora sa vremenom, u svim zonama puža, dovodi do negativnih pojava na ekstrudatu.

U zoni hranjenja navojci ekstruzionog puža su zaobljeni, slika 6, tako da pri zahvatanju granulisanog materijala dolazi do klizanja (vraćanja) što dovodi do nedovoljnog priliva istog u ostale dve zone (zonu sabijanja i odmeravanja).



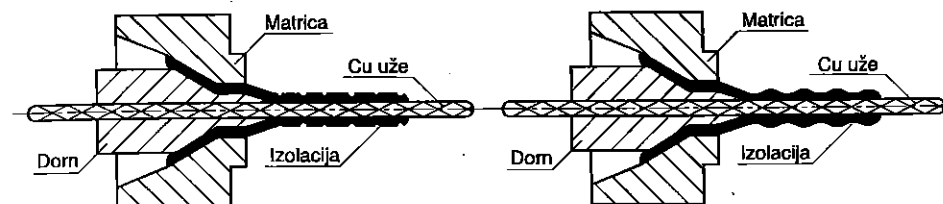
Slika 6. Zaobljenje navojaka puža



Slika 7. Pojava uključaka i mehurića u izolaciji

Posledica ove pojave je smanjeni kapacitet na ekstruzionoj glavi, a u zonama sabijanja i odmeravanja dolazi do zadržavanja polimera, što na izolaciji i plaštu izaziva pojavu uključaka i mehurića, slika 7, koji slabe otpornost izolacije na visoke napone.

U zoni sabijanja i odmeravanja se vrše glavni termodinamički procesi pretvaranja granulisanog materijala u žitko homogeno stanje, pogodno za nanošenje na provodnik. Pri povećanom zazoru, a dovoljnog priliva materijala iz zone hranjenja, dolazi do nedovoljne umešavanosti, što na izolaciji i plaštu dovodi do pojave kratera i cepanja izolacije i plašta, slika 8.



Slika 8. Pojava kratera i cepanje na izolaciji

Slika 9. Zadebljanja i suženja na izolaciji

Ovaj problem se obično ublažava dužim zadržavanjem materijala unutar cilindra, a to se postiže smanjenjem broja obrtaja puža. Pri tome treba voditi računa da se broj obrtaja puža ne smanji previše jer se u ekstrudatu mogu pojaviti izgoreli uključci. Zato se češće pribegava izmeni dozna i matrice kako bi se povećao izlazni pritisak ekstrudata.

Zona odmeravanja na ekstruzionom pužu ima vrlo važnu funkciju jer obezbeđuje ravnomeran (kontinualan) dotok materijala kroz alat na provodnik ili kabl. Međutim u slučaju povećanih zazora usled habanja javljaju se tzv. "bambusna" zadebljanja i suženja na izolaciji odnosno plaštu sa neumešanim uključcima, slika 9.

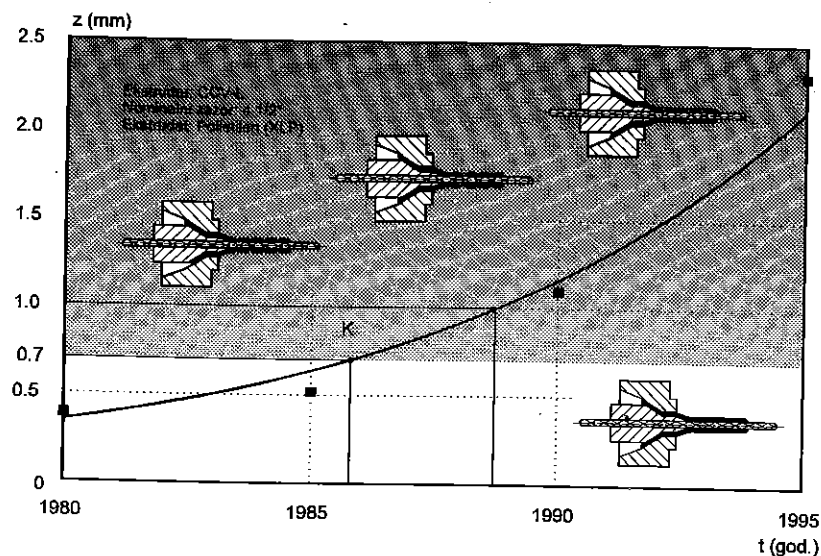
5. ZAKLJUČAK

Iz prethodno iznešenih razmatranja može se zaključiti da habanje TMS-a puž - cilindar nije u svim zonama (hranjenja, sabijanja i odmeravanja) ravnomerno. Sa dijagrama na slici 5, jasno se uočava da je habanje najintenzivnije u zoni odmeravanja, odnosno na izlazu puža i cilindra, pa se kao merodavna veličina zazora za određivanje stepena potpunosti pohabanosti TMS-a puž - cilindar uzima zazor u zoni odmeravanja, slika 10.

Ispitivanja su pokazala da se dopuštena vrednost zazora u zoni odmeravanja kreće od 0.7 do 1.0 mm, odnosno ova oblast predstavlja gornju granicnu do koje se kvalitet izolacije može kontrolisati korigovanjem radnih parametara ekstrudera (promena zazora između dozna i matrice, promena broj obrtaja puža, promena temperature topljenja).

Kada veličina zazora izađe iz ove kritične oblasti (K), odnosno kada zazor dostigne veće vrednosti od 1.0 mm dolazi do niza neželjenih posledica koje su u radu opisane (pojava uključaka i mehurića u izolaciji, pojava kratera, smanjenje otpornosti izolacije na visoke napone, neujednačena debljina izolacije).

Na kraju se može zaključiti da za jedan kvalitetan rad ekstrudera, odnosno dobijanje kvalitetne izolacije na provodniku i kابلu, treba u svakom trenutku poznavati veličinu zazora između ekstruzionog puža i cilindra.



Slika 10. Definisane kriterijuma potpune pohabanosti puža i cilindra u zoni odmeravanja

Tako bi se blagovremeno uticalo na kvalitet rastopljenog polimera i kapacitet ekstrudera, bilo korekcijom režima prerade ekstrudata, bilo zamenom dotrajalih ekstruzionih puževa i cilindara novim ili revitalizacijom istih. Takođe, treba napomenuti i to, da su troškovi revitalizacije dotrajalih elemenata u odnosu na nove niži i preko 50%.

LITERATURA

- [1] Fenner, R. T., 1970, Extruder Screw Design, London, Iliffe book LTD.,
- [2] Mitrovic, S., Canic, Z., 1995, Analiza stanja pohabanosti najugroženijih elemenata TMS-a linija za ekstruziju gume i plastike, Tribologija u industriji 4

INFLUENCE of WORN OUT ELEMENTS of TMS EXTRUDER on EXTRUDATE QUALITY in CABLE INDUSTRY

The effect of wear between screw and barrel, as a tribomechanical parameter, on extrusion of thermoplastics materials has been presented in this work.

Growth of a radial clearance between barrel and screw as a consequence of surface wear, could be controlled during extruder operation which can be valuable for cable production since both, the extruder output rate and extrudate quality, are in direct proportion with the value of the radial clearance.

Criterion determination of completely worn out extruder elements in a cable industry, (screw and barrel), enables on time preventive intervention in the sense of reparation and production new elements (screw and barrel) which would greatly reduce the cost of production.



M. Ninkovic, Z. Lazić *

PREDNOST ELEKTRO-EROZIVNE OBRADNE SA ŽIČANOM ELEKTRODOM U ODNOSU NA METODE OBRADNE REZANJEM

Rezime

Elektro-erozivna obrada sa žičanom elektrodom spada u grupu nekonvencionalnih postupaka obrade. Nalazi sve širu primenu kako u mašingradnji tako i šire. U ovom radu prikazaćemo neke tehno-ekonomske pokazatelje koji opravdavaju primenu ove tehnologije u oblasti mašingradnje. Eksperimentalni podaci koje smo ovde koristili uzeti su iz realnih proizvodnih uslova jugoslovenskih proizvođača alata.

1. UVOD

Postupak elektro-erozivne obrade sa žičanom elektrodom dobija sve širu primenu u izradi delova od teškoobradljivih materijala složenih profila. Razvoj avionske, raketne i nuklearne tehnike uporedo uslovljava i razvoj svih nekonvencionalnih metoda obrade, jer određene legure sa vrlo velikom tvrdoćom i toplotnom otpornošću, koje su našle primenu i u drugim oblastima tehnike, moguće je samo ovim postupcima obraditi. Elektro-erozivna obrada omogućuje verno oblikovanje alata ili tačno reprodukovanje programirane konture. Ovom obradom moguće je ostvariti složene oblike obrađivanih površina koje povezuju dve različite konture koje leže u dvema različitim ravnima. To nalazi primenu kod alata za brizganje predmeta od plastične mase. Od svog početka EDM sa žicom je automatski proces i savremene mašine su opremljene CNC sistemom za automatsko upravljanje svih f-ja obradnog sistema. Kao dielektrikum se koristi dejonizovana voda, koja se dobija iz obične vode primenom jonskog izmenjivača kojim se iz vode odstranjuju rastvoreni minerali, pa se se tako ostvaruje njena elektroneprovodljivost.

2. TEHNOLOŠKI PARAMETRI PROCESA OBRADNE

Ocena procesa obrade se može iskazati preko tri osnovna tehnološka parametra, a to su:

- produktivnost
- tačnost izrade
- kvalitet obrađene površine.

* Milka Ninković, dipl.ing.maš., HK "Krušik" Valjevo, VNOP Odreda 59
Zorica Lazić, dipl.ing.maš., HK "Krušik" Valjevo, VNOP Odreda 59

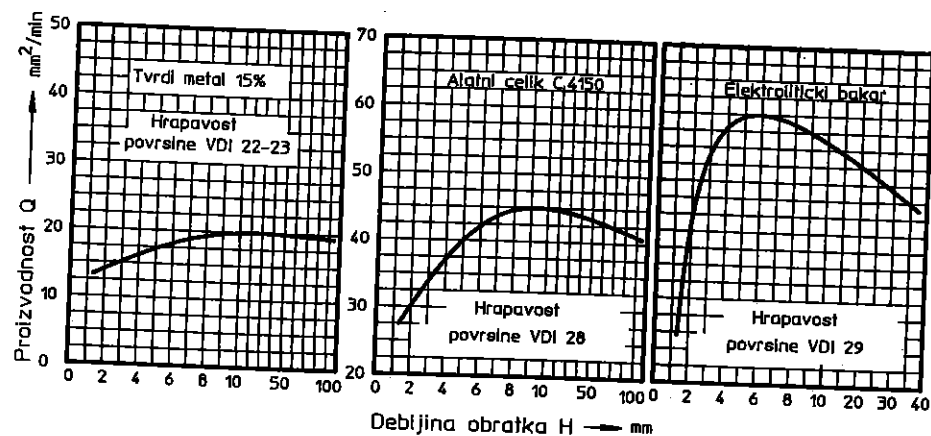
Tačnost i kvalitet obrađene površine su karakteristike funkcije obrađenog dela, a proizvodnost je najvažniji tehnološki parametar sa ekonomske tačke gledišta. Ovi dolaze u suprotnost, tj. kada se jedan povećava drugi se automatski smanjuje. Zato je izbor optimalnih parametara veoma bitno pitanje.

2.1. PROIZVODNOST

Proizvodnost ili učinak pri elektro-erozivnoj obradi sa žicom izražava se obično u vidu površine koju u jedinici vremena "prebriše" žičana elektroda, tj. u mm²/min. Ona zavisi od sledećih faktora:

- materijala koji se obrađuje
- parametara električnog impulsa
- prečnika i materijala elektrode
- brzine podešavanja radnog zazora
- provodljivosti dielektrikuma.

2.1.1. UTICAJ MATERIJALA KOJI SE OBRAĐUJE



Slika 1. Proizvodnost pri EDM sa žicom u zavisnosti od materijala

Elektro-erozijom se mogu obrađivati samo metali i njihove legure. Na njihovu obradljivost utiče hemijski sastav, a tvrdoća i druga mehanička svojstva praktično nemaju nikakvog uticaja. Ovaj zaključak je veoma važan jer pokazuje da se, napr. čelici, mogu jednako efikasno obrađivati pre i posle kaljenja. To je u toliko važnije ako se zna da se pri kaljenju nekog složenijeg alata, koje se vrši posle mehaničke obrade, mogu pojaviti takve deformacije koje bitno umanjuju njegovu tačnost i obično se ne mogu otkloniti pri brušenju kao poslednjoj operaciji.

Obradljivost materijala utvrđuje se eksperimentalno, vidi sliku br.1.

2.1.2. UTICAJ PARAMETARA ELEKTRIČNOG IMPULSA

Proizvodnost elektro-erozivne obrade je proporcionalna efektivnoj snazi pražnjenja, tj.

$$Q=qP \quad (\text{mm}^2/\text{min})$$

gde je q-specifična proizvodnost u (mm²/Wmin)

Efektivna snaga pražnjenja - predstavlja srednju aritmetičku vrednost snage koja se u radnom prostoru pretvara u toplotu i može se izraziti sledećom jednačinom

$$P=W_i f \quad (\text{W})$$

gde je f-frekvencija u (1/s)

Srednja vrednost energije impulsa koja se za vreme pražnjenja pretvara u toplotu :

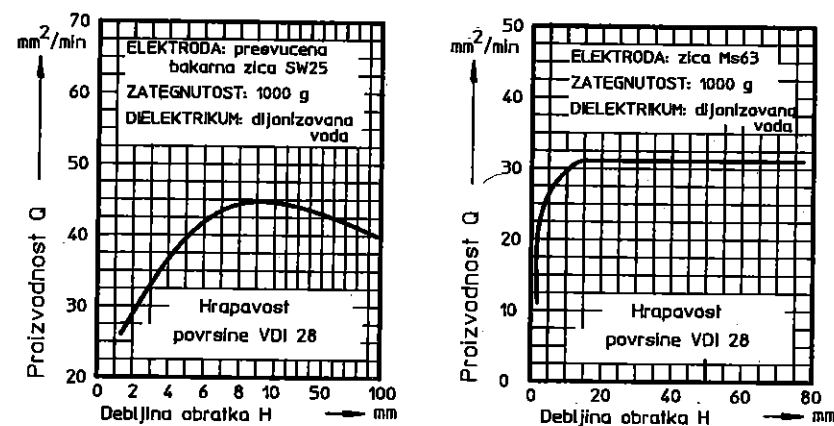
$$W_i=U_f I_f t_f f \quad (\text{Ws})$$

pri čemu je U_f(V), I_f(A), t_f(s).

Proizvodnost je:

$$Q=q U_f I_f t_f f \quad (\text{mm}^2/\text{min})$$

2.1.3. UTICAJ PREČNIKA I MATERIJALA ELEKTRODE



Slika 2. Proizvodnost pri EDM sa žicom u zavisnosti od elektrode

Izbor prečnika žice je vezan za debljinu obradka, tako što se kod većih debljina koristi veći prečnik žice, zbog potrebe za većom snagom pražnjenja i silom zatezanja žice. Uobičajeni prečnici žice se kreću između 0.2 i 0.3 mm, pri čemu se najčešće koristi žica prečnika 0.25 mm. Kod malih debljina obradka i malih unutrašnjih radijusa uglova, koristi se žica prečnika 0.1 do 0.2 mm. Za izradu najfinijih rezova koristi se vrlo fina žica prečnika 0.03 do 0.1 mm od molibdena, volframa ili čelika. Za EDM sečenje se ne mogu koristiti uobičajeni kvaliteti žice zbog odstupanja prečnika. Mora se koristiti precizno kalibrisana žica, čije maksimalno odstupanje žice iznosi ± 1 μm. Mašine firme CHARMILLES imaju uređaje za kalibrisanje i zatezanje žice, pa se u tom slučaju može koristiti i žica trgovačkog kvaliteta. Materijali koji se koriste za izradu elektroda su: bakar, mesing, volfram i čelik. Da bi se prenela veća energija pražnjenja vrši se presvlačenje elektroda tankim slojem nekih specijalnih legira, vidi sliku 2.

2.3. TAČNOST KOJA SE OSTVARUJE PRI OBRADI ELEKTROEROZIJOM SA ŽIČANOM ELEKTRODOM

Tačnost kod ove vrste obrade ne zavisi od tehnologa i poslužioaca na mašini, već proizilazi iz tačnosti rada mašine i programa. Greške mogu biti posledica većeg broja uticaja kao što su:

- tačnost same mašine
- temperaturske deformacije
- zategnutost žice
- brzina žice
- homogenost (naponska) materijala obradka
- greške izazvane silama stezanja
- brzina podešavanja radnog zazora itd.

$$W = \sqrt{W_m^2 + W_Q^2 + W_Z^2 + W_{vr}^2 + W_o^2 + W_{vp}^2 + W_{st}^2}$$

2.4. KVALITET OBRADENE POVRŠINE

Hrapavost i stanje površinskog sloja materijala izražavaju kvalitet obradene površine. Površina obradka koja se dobija konvencionalnim postupcima obrade je sjajna i ima tragove reznog alata, dok ta ista površina pri obradi EDM je matirana i sastavljena od niza sitnih udubljenja.

Klasifikacija hrapavosti obradenih površina postupkom EDM vrši se na osnovu VDI normi koje imaju 51 klasu:

- VDI-0- najfinija sa $R_a = 0.1 \mu m$
- VDI-50-najgrublja sa $R_a = 31.5 \mu m$.

Hrapavost površine i zahtevana tačnost izrade tj. tolerancije su međusobno povezane veličine, tako da mora biti zadovoljen uslov:

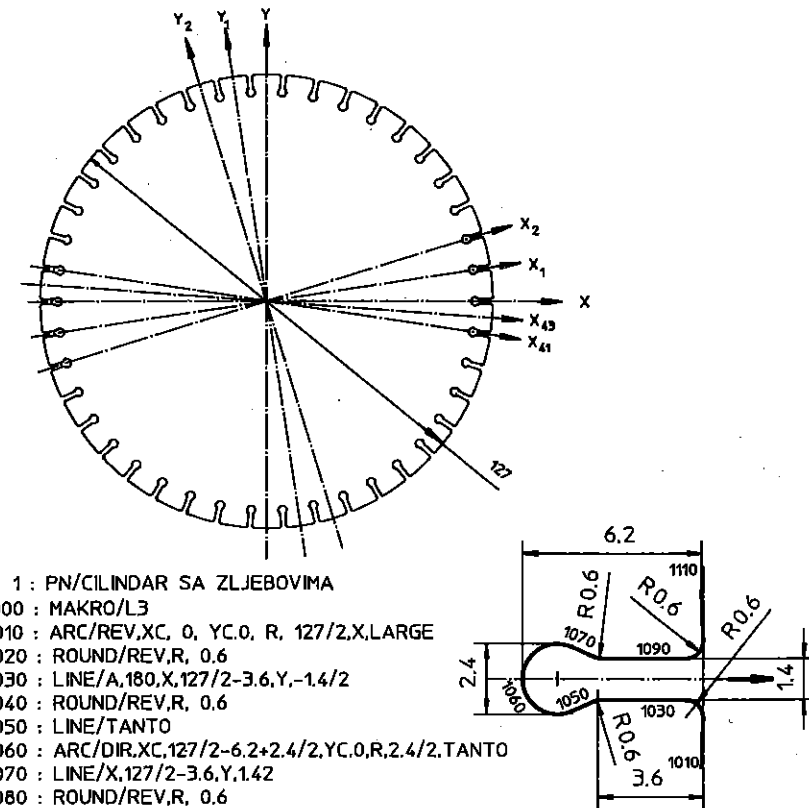
$$(R_{max}, R_p, R_z) \leq 0.5T \quad T\text{-tolerancija.}$$

Elektro-erozivnom obradom sa žicom se može ostvariti širok dijapazon hrapavosti površina, od najfinijih koje se mogu porediti sa lepovanom površinom (N4 - N5) do srednje fine koja se može porediti sa nešto grublje brušenom površinom (N7 - N8).

3.0 PRIMER IZRADE CILINDRA SA ŽLJEBOVIMA

Primer izrade cilindra sa žljebovima koji se kontinualno ponavljaju 42 puta na pravi način ilustruje mogućnosti primene elektro-erozivne obrade sa žicom u odnosu na klasične postupke obrade rezanjem. Bilo bi teško i zahtevalo bi puno više vremena kada bi određenu konturu koja se ponavlja morali opisati više desetina puta. Umesto toga se piše samo podprogram MAKRO za jedan žleb, a zatim za svaki naredni definiše novi pomoćni koordinatni sistem čija se jedna osa poklapa sa simetralom žleba. Nakon toga se pozivom podprograma i rotacijom za određeni ugao vrši obrada.

PRIMER IZRADE CILINDRA SA ŽLJEBOVIMA



- 1 : PN/CILINDAR SA ŽLJEBOVIMA
- 1000 : MAKRO/L3
- 1010 : ARC/REV,XC, 0, YC,0, R, 127/2,X,LARGE
- 1020 : ROUND/REV,R, 0,6
- 1030 : LINE/A,180,X,127/2-3.6,Y,-1.4/2
- 1040 : ROUND/REV,R, 0,6
- 1050 : LINE/TANTO
- 1060 : ARC/DIR,XC,127/2-6.2+2.4/2,YC,0,R,2.4/2,TANTO
- 1070 : LINE/X,127/2-3.6,Y,1.42
- 1080 : ROUND/REV,R, 0,6
- 1090 : LINE/A,0,X,LARGE
- 1100 : ROUND/REV,R, 0,6
- 1110 : ARC/REV,XC, 0, YC,0, R, 127/2.
- 1120 : TRASYS7A,360/42
- 1130 : TERMAC

- 0 : BEGIN/X,127/2+5,Y,0
- 10 : LINE/A,-90
- 20 : LINE/A,-0.5*360/42+180,D,0,X,LARGE
- 30 : CALL/40,L3
- 40 : STOP
- 50 : CALL/2,L3
- 60 : TRAYS/A,-0.5*360/42
- 70 : STOP
- 80 : ARC/DIR,R,1,XC,127/2+1,YC,0,TANTO
- 90 : STOP
- 100 : MOVE
- 110 : LINE/A,0
- 120 : SYSREF
- 130 : LINE/A,90,X,127/2+5,Y,0,FINISH
- 140 : END

4.0 ODNOSI TROŠKOVA I UKUPNOG VREMENA IZRADE

Troškovi elektro-erozivne obrade su takođe jedan od veoma opredeljujućih parametara pri opredeljenju za elektro-erozivnu obradu u uslovima mogućnosti primene različitih tehnologija obrade.

Red. br.	NAZIV RADNOG KOMADA	KONVENCIONALNA OBRADA		ELEKTROEROZIVNA OBRADA	
		Vreme obrade (cas)	Troškovi obr. (din)	Vreme obrade (cas)	Troškovi obr. (din)
1	Noseca placa alata	16.5	825	16.5	825
2	Vodeca placa alata	34	2210	10.6	1378
3	Rezna placa alata	45	2925	14.9	1937
4	Prosekaci	26.5	1722	16.5	2145
5	Sastavljanje alata	30	1350	16	1350
	UKUPNO	152	9032	74.5	7635

5.0 ZAKLJUČAK

Ovde su prikazani samo delimični rezultati istraživanja na polju optimizacije parametara EDM sa žičanom elektrodom. Svi tehnno-ekonomski pokazatelji ukazuju na prednosti ove vrste obrade u odnosu na metode obrade rezanjem.

6.0 LITERATURA

- [1] Milikić D., Elektroerozivna obrada na mašinama sa žičanom elektrodom i njena primena u savremenoj praksi, Savez alatničara Beograd, 1984.,
- [2] Lazić M., Nekonvencionalni postupci obrade, Naučna knjiga, Beograd, 1990.,
- [3] Ječmenica R., Razvoj i osvajanje proizvodnje obradnih sistema za elektro-erozivnu obradu, Čačak, 1987 - 1990.,

ADVANTAGE OF ELECTROEROSIVE PROCESS BY WIRE ELECTRODE Vs MASHINING

Summary

Electro-erosive processing by wire electrode to a group of non conventional processing procedures. It is being excessive applied in mashine building and other fields. Some techno-economic indicators justifying or non-justifying the application of this tehnologu in mashine building will be giren in this paper. Data used for the analysis have been taken from real production conditions of Yugoslav tool manufacturers.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M. Perović, KA-Podgorica
M. Vukčević, Mašinski fakultet - Podgorica

NEKI ASPEKTI IZBORA POSTUPAKA OBNAVLJANJA DJELOVA IZLOŽENIH HABANJU U PROCESNOJ INDUSTRIJI

Rezime

U radu je analiziran izbor postupka obnavljanja na primjeru osovine i kućišta mješalice. Za izabrani postupak REL navarivanja razradena je tehnologija primjene. Utvrđeno je da revitalizovani dijelovi imaju karakteristike u skladu sa tehnološkim zahtjevima što rezultira značajnim ekonomskim efektima.

1. UVOD

Zavarivanje i srodni postupci su važan segment u tehnologiji održavanja proizvodnih sistema, čijim optimalnim izborom je moguće ostvariti značajne uštede potrošnje rezervnih dijelova. Posebnu ulogu imaju postupci obnavljanja pohabanih dijelova procesne opreme. Nihovom primjenom smanjuju se potrebe za novim rezervnim dijelovima. Istovremeno može se ostvariti poboljšanje radnih karakteristika obnovljenih dijelova.

Visoka učestanost otkaza opreme u uslovima eksploatacije posledica je habanja i dezintegracije radnih površina usled abrazije, odnosno trenja u brojnim tribo-mehaničkim sistemima.

Na praktičnom primjeru obnavljanja pohabanih površina elemenata sistema za drobljenje, mljevenje i miješanje anodne mase u Fabrici za proizvodnju anoda Kombinata aluminijuma u Podgorici prikazan je postupak obnavljanja pohabanih dijelova i njegova optimizacija sa tehničko-tehnološkog i ekonomskog aspekta.

2. HABANJE RADNIH POVRŠINA U PROCESU MLJEVENJA ANODNE MASE

Tehnološka operacija mljevenja anodne mase u Fabrici za proizvodnju anoda odvija se pomoću dvije mješalice koje se sastoje od elektromotora snage 150 kW, reduktora,

spojnice, spiralne osovine i kućišta. Po obimu osovine, dužine 5000 mm i prečnika 280 mm, raspoređeni su segmenti, na koraku od 200 mm i sa međusobnim uglom od 120°.

Kućište mješalice je masivna dvodjelna zavarena konstrukcija, sa hidrauličkom regulacijom sistema otvaranja, po čijoj se unutrašnjosti takođe nalaze segmenti istih geometrijskih karakteristika kao i na pokretnom dijelu mješalice. Proces mljevenja ostvaruje se preko zavojnice smještene na početnom dijelu osovine, čiji je zadatak pravilno usmjeravanje anodne mase na međuzublje koje čine spregnuti segmenti pokretnog i nepokretnog dijela osovine. Zazor između zuba segmenata kreće se u intervalu od 10-20 mm i tačno je utvrđen korakom zuba.

Habanje radnih površina javlja se kao posledica trenja klizanja minerala kombinovanog sa dinamičkim udarima. Habanje je prouzrokovano djelovanjem abrazivnih čestica, koje se slobodno kreću između međusobno spregnutih površina zuba osovine i zuba kućišta mješalice. To se jednostavno utvrdilo prilikom vizuelnog pregleda oštećenih mjesta na segmentima postojećih osovine. Detaljna analiza pokazala je da, uzimajući u obzir sve bitne faktore koji utiču na proces habanja, abrazivne čestice na površinama miješanja, ostavljaju karakteristične tragove tzv "abrazivne brazde" nejednakih dimenzija i specifične konfiguracije.

Analiza radnih površina novih osovine pokazala je da su površinski slojevi otporni na habanje dobijeni postupcima metalizacije.

3. TEHNOLOGIJA OBNAVLJANJA OSOVINE I KUĆIŠTA MJEŠALICE

Karakteristike osnovnog materijala

Hemijskom analizom osnovnog materijala utvrđeno je da su segmenti izrađeni od visokolegiriranog manganskog čeličnog liva, austenitnog tipa, kvaliteta ČL 3160, sledećeg sastava: C(0.95%); Si(1.04%); Mn(12.7%); Cr(1.16%); Ni(0.21%); Mo(0.11%); Cu(0.72%); P(0.065%); Si(0.03%).

Ispitivanje tvrdoće urađeno je na bočnim i čeonj strani segmenta. Izmjerene vrijednosti kretale su se u rasponu od 34-42 HRC. Porast tvrdoće u odnosu na nominalne vrijednosti čeličnog liva ČL 3160 tumači se činjenicom da manganski čelici, tokom gnječenja, do koga dolazi u proizvodnom procesu, otvrdnjavaju.

S obzirom da se radi o visoko legiranom manganskom čeliku, isključuje se potreba za termičkom pripremom navarivanja tj. temperatura osnovnog materijala ne smije preći 250 °C. Zbog toga se vrši intezivno hlađenje tokom izvođenja prvog sloja navara.

Izbor postupka obnavljanja

Pri izboru postupka obnavljanja treba izabrati onaj koji s tehno-ekonomskog stanovišta opravdava funkciju cilja. Kod ocjenjivanja pogodnosti primjene pojedinih postupaka uzeti su u obzir određeni faktori koji utiču na tehnologiju navarivanja (tabela 1).

Stepen pohabanosti radnih površina i značajno odstupanje izmjerenih vrijednosti u odnosu na nominalne (gubitak dimenzija čak do 40%) isključio je primjenu nanošenja tvrdih legura upotrebom bilo kojeg tipa metalizacije. Nemogućnost nabavke legiranih dodatnih materijala, pogodnih za primjenu gasnog navarivanja, eliminiše ovu tehnologiju. Mali broj komada i složenost geometrijskog oblika zuba na segmentima ne pogoduje automatizaciji postupka.

Tabela 1. Izbor postupka navarivanja

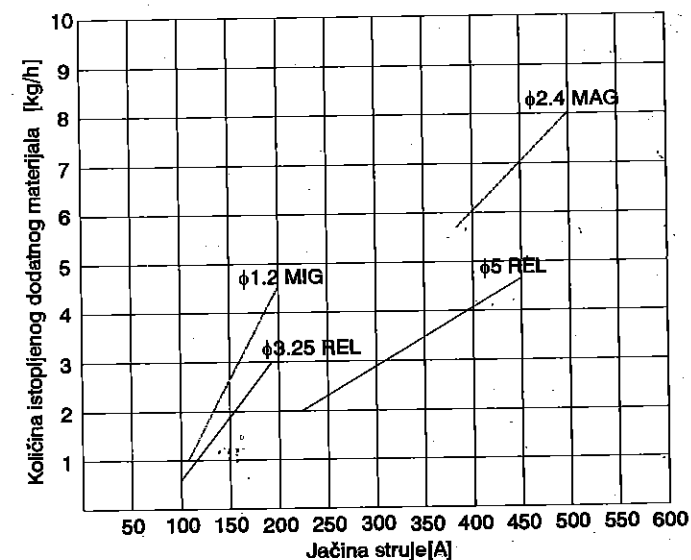
Vrsta postupka	Uticajni faktori						
	Svojstva nanešen. sloja (tvrđ. šava)	Uticaj dod. mat. na osn. materijal	Dimenzije i oblik dijela	Broj djelova za navariv.	Mogućnost automatiz. postupka	Debljina nanešenog sloja	Količina istopljenog materijala
Gasno navarivanje	-	-	+	+	-	+	-
REL obloženom elektrodom	+	+	+	+	-	+	+
MIG/MAG	+	+	+	+	-	+	+
EPP	-	-	-	-	-	+	+
Navarivanje plazmenim lukom	+	+	+	-	-	-	+
Metalizacija	+	+	+	-	-	-	+
Tvrdo hromiranje	+	+	+	+	-	-	-

+ povoljno; - nepovoljno

Analizom tabele 1 izbor tehnologije navarivanja sveden je na:

- ručno elektrolyčno navarivanje obloženom elektrodom i
- poluautomatsko navarivanje MIG/MAG postupkom punom ili punjenom elektrodom žicom.

Sa aspekta ekonomičnosti ova dva postupka prednost je na strani MIG/MAG postupka (sl.1).



Sl.1. Količina dodatnog materijala u funkciji postupka navarivanja

Bez obzira na sve prednosti MIG/MAG postupka, obnavljanje dijela izvršeno je navarivanjem REL postupkom zbog nemogućnosti nabavke dodatnog materijala koji je uvoznog porijekla.

Izbor dodatnog materijala

Zahtjev za otpornošću radnih površina segmenata i zuba na habanje i povećanje udarne žilavosti opredijelili su izbor dodatnog materijala. Bira se dodatni materijal koji daje metal navara legiran sa 11-18% Mn, više od 0.5% C, i do 3% Ni. Mikrostruktura navara je nestabilni austenit koji se pod djelovanjem udara djelimično transformiše u martenzit usled čega dolazi do značajnog porasta površinske tvrdoće. Da bi se dobila žilava austenitna podloga sa površinskim slojevima mješovite strukture austenita, martenzita i Mn karbida koja daje otpornost na intenzivne udare i habanje navarenog sloja, kao gradivni sloj na osnovni od 12% manganskog čelika dodaje se materijal koji daje metal navara legiran ca Cr i Ni uz dodatak Mn, takođe austenitne strukture.

Za izvođenje međuslojnog (gradivnog) navarivanja korišćena je elektroda PIVA 18/8/6 Ø3.25 mm. Za tvrdo navarivanje upotrijebljena je elektroda PIVA 460B Ø4 mm.

Priprema za navarivanje i pozicioniranje komada

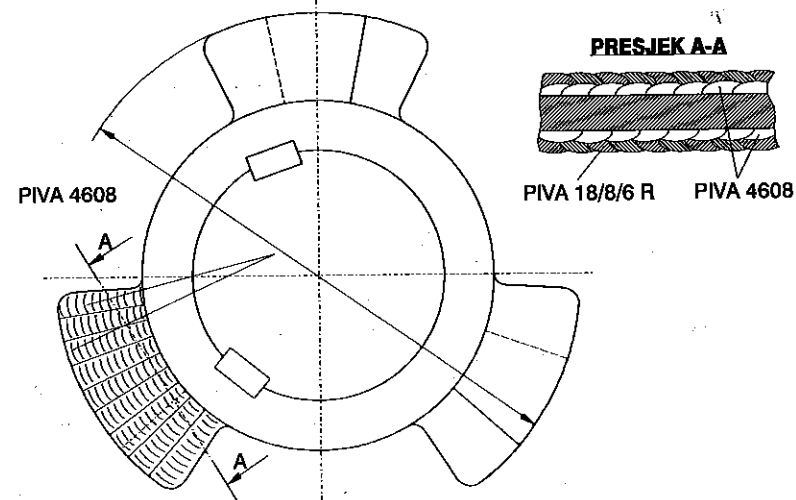
Sve površine prije navarivanja moraju biti bez: oksida, antikorozivnih premaza, masnoća, površinskih prslina, oštih zarezova. Prve dvije nečistoće uklanjaju se najčešće mehaničkim sredstvima - specijalnim brzohodim brusilicama, pjeskarenjem (kvarcnim pijeskom, korundom ili čeličnom sačmom). Masnoće se odstareju rastvorima trihloretilena, ugljentetrahlorida i tetrahloretilena, koji su nezapaljivi ali su lako isparljivi. Površinske prsline, nakon uspješno izvedene lokalizacije penetrantskim tečnostima, efikasno se uklanjaju brušenjem. Sve oštre zarezove potrebno je, zbog eliminisanja koncentracije napona, zaobliti na radijus $r=3$ mm.

S obzirom na gabarite i težinu osovine, u svrhu zauzimanja položaja pogodnog za navarivanje konstruisan je stabilni sto sa dva para točkova na čijim obodima se naslanjaju rukavci osovine. Urađen je specijalni kontrolni pribor čija geometrija i korak u potpunosti odgovaraju geometriji i koraku zuba na segmentima osovine mješalice.

Izvođenje navarivanja

Naponi usled navarivanja mogu se svesti na najmanje vrijednosti, izvođenjem navarivanja po odgovarajućem redosljedu. Osnovna načela za pravilno definisanje redosljeda polaganja navara mogu se svesti na sljedeća:

- Toplotu unositi ravnomjerno tako da se izbjegnu lokalna toplotna naprezanja (naizmjenično izvođenje navara s bočnih strana zuba segmenta osovine).
- Unošenje toplote obavljati u smjeru rasprostiranja ka središtu mase radnog komada u cilju izbjegavanja akumulacije toplote na krajevima zuba segmenta osovine.
- Parametri navarivanja (napon i jačina struje) su usklađeni sa karakteristikama izabranih elektroda.
- Pravac navarivanja mora biti upravan na osu kretanja abrazivnog anodnog ostatka a ne u njegovom pravcu. Na sl.2 uočljiv je osnovni materijal (1); gradivni ili međusloj (2) i tvrdi navar (3).



Sl.2. Šema navarivanja

- Radi bolje zaštite površina pod navarenim slojem urađen je sačasti oblik rasporeda navara, na taj način stvaraju se "džepovi" u kojima se izvjesna količina materijala zadržava. Ovo dovodi do stvaranja abrazivne mrlje koja umanjuje negativno dejstvo radnog materijala.
- Pri nanošenju tvrdih slojeva koristi se tehnika tzv navarivanja na preskok.
- Navari su pri hlađenju izloženi naponima zatezanja, čije smanjenje je moguće izvršiti silama "čekićanja" koje proizvode plastičnu deformaciju na mjestu udara čime se mijenja oblik napona u pritisni koji je sa stanovišta pojave pukotina mnogo povoljniji.

Kontrola navarivanja

Poslije izvršenog navarivanja pristupilo se:

- vizuelnoj kontroli u obimu 100%,
- dimenzionalnoj kontroli u obimu 100%,
- kontroli penetrantskim tečnostima na karakterističnim mjestima.

Pomenutim oblicima kontrole bez razaranja ustanovljeno je vraćanje geometrije segmenata zuba na projektovane mjere. Analiza hemijskog sastava pokazala je povećano učešće hroma i mangana (13% Cr i 16% Mn), što dovodi do stvaranja karbida hroma otpornih na habanje, dok povećani sadržaj mangana umnogome doprinosi otvrdnjavanju tokom gnječanja. Sve to skupa povećava otpornost radnih površina na habanje.

ZAKLJUČCI

Analizom uslova za neposredno izvođenje obnavljanja, odabran je, REL postupak navarivanja.

Ovim postupkom, po propisanoj tehnologiji, izvršeno je obnavljanje osovine i kućišta mješalice anodne mase u pogonu anoda.

Podatak da revitalizovane osovine mješalice uspješno rade u znatno pogoršanim eksploatacionim uslovima, koje karakteriše povećana granulacija i tvrdoća anodnog ostatka, potvrđuje da su, odabranim postupkom navarivanja, postignute karakteristike navarenih površina u skladu sa tehnološkim zahtjevima.

Metalografska ispitivanja pokazala su da su navarivanjem po propisanom postupku, na površini obnovljenog sloja dobijena tvrda karbidna zrna veća od abrazivnih čestica protočnog materijala, čime je povećana otpornost na habanje. Praćenjem stanja obnovljenih mješalica, u datim uslovima rada uočeno je da je proces habanja usporen u odnosu na habanje novih mješalica.

Primijenjenim postupkom navarivanja postignuti su značajni ekonomski efekti koji se odnose na uštede u nabavci novih mješalica, održavanju i tehnološkom procesu koji se odvija sa smanjenim otkazima opreme.

LITERATURA

1. Palić V., Zavarivanje, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1987.
2. Majstorović A., Jovanović M., Osnovi zavarivanja lemljenja i lijepljenja, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
3. Vukčević M.M., Bulatović V.M., Uvod u proizvodne tehnologije II, CID, Podgorica, 1996.
4. Kalpakjian S., Manufacturing engineering and technology, Adison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1992.
5. Tehnološka dokumentacija fabrike anoda, DD Kombinat aluminijuma, Podgorica, 1972.
6. Tehničko-tehnološka dokumentacija tehnološke pripreme OSR, DD Kombinat aluminijuma, Podgorica, 1992.
7. Dodatni materijal za zavarivanje, Fabrika elektroda Plužine, Plužine, 1994.
8. Reparturno navarivanje istrošenih površina, Zbornik radova prve šjkole reparturnog zavarivanja, Zavod za zavarivanje, Beograd, 1989.

M. Perovic, M. Vukčević

SOME ASPECTS OF THE RENEW TECHNOLOGY CHOICE OF THE ABRASIVE PARTS IN THE INDUSTRY

Summary

In this paper, choice of the technology of renew on the example of axle and housing is analyzed. REL welding is chosen and its technology of the using is studied. The renew patterns have characterizations according to technology requires. Economic effects are significantly



Radić dr Vlado *

KARAKTERISTIKE PROCESA ZAVARIVANJA EKSPLOZIJOM SA ISTOVREMENIM OBLIKOVANJEM

Rezime

U nizu oblasti mašingradnje zavarivanje eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem predstavlja vrlo interesantno područje pošto se pri tome ne zahtevaju snažne prese i složena proizvodna oprema koja povećava proizvodnost rada. Zavarivanje eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem ima veoma izraženu karakteristiku ekonomičnosti jer se nekoliko operacija, koje se u tradicionalnim tehnologijama moraju izvršavati postupno, u ovom slučaju izvode odjednom. Oblikovanje eksplozijom omogućava izradu delova velikih gabarita, pa je iskustvo u tom segmentu uveliko naraslo.

1. UVOD

Eksploziv se prvi put koristio za oblikovanje metala 1888. godine, kada se blok eksploziva primenio za graviranja čelične ploče i kada se postavio šablon između eksploziva i ploče. Sa izuzetkom nekoliko izdvojenih primena, oblikovanje eksplozijom bilo je malo zastupljeno sve do sredine pedesetih godina i napretka svemirske tehnologije, koja je promenila potrebe za delovima male zapremine kompleksnih oblika. Često su delovi bili veliki i oblikovani od materijala koji su se konvencionalnim postupcima mogli teško obrađivati.

Po mnogim pitanjima koja se tiču matrica, tolerancija izrade i materijala, dosada ne postoje preporuke po pitanju izbora materijala, konstrukcije matrica i njihove upotrebe u operacijama zavarivanja eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem.

2. KARAKTERISTIKE ZAVARIVANJA EKSPLOZIJOM SA OBLIKOVANJEM

Za izradu matrica, koje se koriste u obradi metala eksplozijom, primenjuju se različiti materijali, od čelika povišene čvrstoće do betona i polimera relativno niske čvrstoće. Zahtevi čvrstoće određeni se vrstom i debljinom metala koji se obrađuje i konfiguracijom konačnog dela, te zahtevima tolerancija, vrstom, količinom i detonacionim svojstvima eksploziva. Matrice relativno niske čvrstoće primenjuju se, uglavnom, pri maloserijskoj proizvodnji, a pri velikoserijskoj proizvodnji elementi za matrice moraju biti od materijala povišene čvrstoće.

* Vojnotehnički institut VJ, Katanićeva 15, Beograd

Proučavanjem uticaja materijala matrice na dobijanje zadanog profila zaključeno je da se primenjuju tri oblika matrice: peščana, betonska i metalna.

Ispitivanja u ovom radu izvršena su na paru ploča od bronzne (ploča koja se odbacuje i/ili ubrzava) debljine 3 mm i čelika (osnovna ili bazna ploča) debljine 30 mm. U svim eksperimentima zavarivanje eksplozijom ostvareno je pri identičnim režimima.

Maksimalna relativna deformacija proračunava se prema formuli

$$e_{\max} = \frac{f_{\max}^2}{r^2}$$

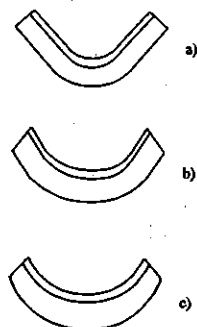
gde su: f_{\max} - maksimalno savijanje gotovog dela, r - poluprečnik gotovog dela.

Rezultati eksperimenata o uticaju materijala matrice na veličinu maksimalnog relativnog savijanja i maksimalne relativne deformacije dati su u tabeli 1.

Tabela 1.

Materijal matrice	Maksimalno relativno savijanje	Srednje aritmetičko odstupanje, %	Odstupanje od početnog oblika, %	Maksimalna relativna deformacija	Srednje aritmetičko odstupanje	Odstupanje od zadate deformacije
Pesak	0,62	± 7	38	0,036	± 10	61
Beton	0,91	± 4	9	0,077	± 7	17
Metal	0,98	± 2	2	0,090	± 3	3

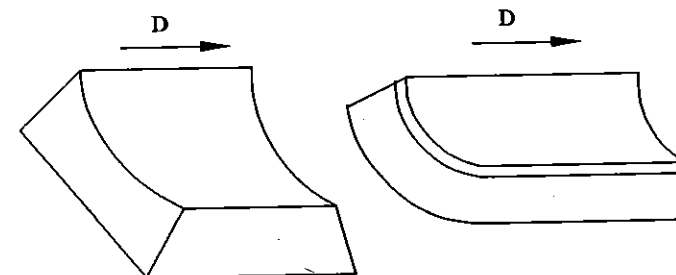
Kao što se vidi, kao materijal matrice sa tačnošću od 9% po obliku, moguće je primeniti beton i metal. Ispitivanja profila delova dobijenih zavarivanjem eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem pokazala su da je najkvalitetniji profil postignut pri korišćenju metalne matrice (slika 1).



Slika 1 - Profili bimetalnih elemenata dobijeni pri korišćenju raznih oblika matrice: a) peščana, b) betonska, c) metalna

U eksperimentima su korišćene matrice određenog oblika, što je omogućilo da se dobiju bimetalni proizvodi koji odgovaraju profilu matrice (slika 2). Pri tome, nije bilo segmenata na kojima se primećivala nezavarenost, naduvenost, razdvajanje, što je bio

slučaj kod matrice otvorenog tipa. Posle višestruke primene te matrice (više od 10 eksplozija) nije primećeno postojanje prskotina. Dobijeni proizvod posle zavarivanja eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem leži direktno na matrici i njegov profil odgovara profilu matrice. Rezultati mehaničkih i metalografskih ispitivanja prikazani su u tabeli 2.



Slika 2 - Matrice otvorenog oblika i dobijeni bimetalni proizvod

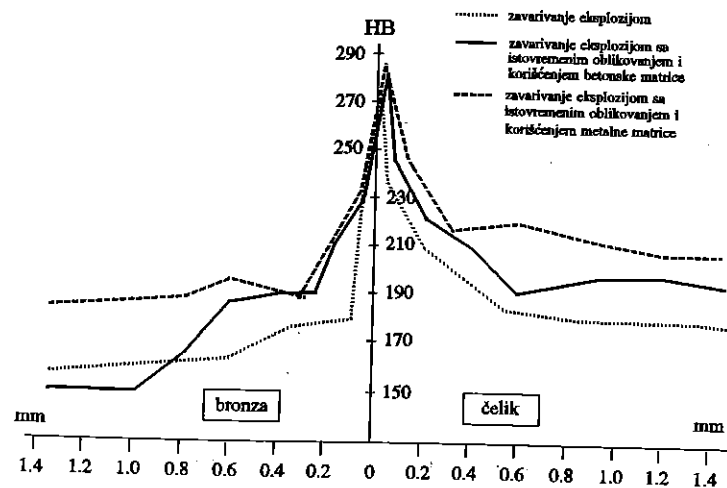
Tabela 2.

Eksperiment	Materijal matrice	Čvrstoća na prekid, MPa	Količina istopljenog metala, mm ²	Parametri talasa	
				visina, mm	dužina, mm
Zavarivanje eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem	Beton	380	0,09	0,08	0,32
Zavarivanje eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem	Metal	375	0,10	0,08	0,31
Zavarivanje eksplozijom		380	0,09	0,08	0,31

U izvršenim eksperimentima nije primećeno odstupanje čvrstoće na prekid, parametara talasa i količine istopljenog metala. Međutim, pri udaljenju od granice prekida metala, primećuje se razlika u ojačanju: pri zavarivanju eksplozijom sa istovremenim oblikovanjem i korišćenjem metalne matrice mikročvrstoća se povećala u sredini za 15 - 20 jedinica (slika 3). Ispitivanje mikrostrukture zone spoja pokazalo je da metal u svim uzorcima ima deformisanu strukturu, zrna su istegnuta po profilu talasa i orijentacije u pravcu zavarivanja, dok defekti oblika prskotina i mikroprskotina nisu povećani.

Kada se eksplozijom oblikuju homogeni radni delovi (pripremi) jednake debljine, konačan oblik zavisi od sledećih činilaca: količine eksploziva, vrste eksploziva, oblika eksplozivnog punjenja, položaja eksploziva i medijuma (sredstva) koji se koristi za transfer energije.

Količina eksploziva, zajedno sa medijumom, određuje ukupnu energiju koja će delovati na pripremak. Zbog uticaja pet različitih činilaca, ne postoji odgovarajuća formula kojom bi se precizno odredila količina eksploziva za korektno oblikovanje konkretnog dela. Zbog toga se moraju izvršiti brojni eksperimenti kako bi se dobila zahtevana ekspanzija. Prema tome, količina eksploziva direktno zavisi od ostala četiri



Slika 3 - Raspodela mikrotvrdoće po debljini bimetala bronza - čelik

činioca. Relativna snaga i brzina sagorevanja određeni su vrstom eksploziva, jer je zajednička karakteristika brizantnih eksploziva brzina sagorevanja od $2,6 - 8,06 \text{ km/s}$, uz generisanje pritiska reda $12 - 25 \text{ GPa}$.

Oblik eksplozivnog punjenja pomaže da se odredi profil fronta energije koja se predaje površini radnog dela i na taj način doprinosi dobijanju konačnog oblika. Položaj eksploziva, takođe, određuje oblik i veličinu fronta energije koja se predaje površini radnog dela. Ova promenljiva se, više nego ostale, može koristiti za efikasno ostvarivanje različitih profila pri oblikovanju. Za transfer energije eksplozije veliki značaj ima medijum u kojem se ostvaruju potrebni uslovi za oblikovanje. To je, najčešće, voda, ali se vrlo uspešno mogu koristiti i druge tečnosti, vazduh ili čvrsti materijali, kao što su plastika ili vosak.

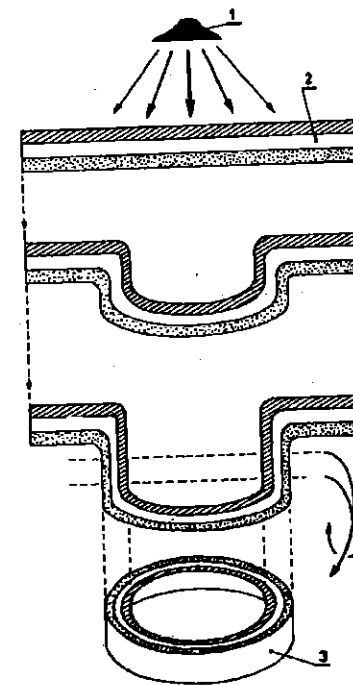
Oblikovanje eksplozijom je ekonomično zbog toga što je potrebna samo jedna komponenta - matrica. Ona se mora pažljivo projektovati kako bi izdržala opterećenje koje se prenosi na radni deo. Zbog toga što energija udarnog talasa uzrokuje vrlo velika naprezanja uzorka, zajedno sa materijalom matrice, moraju se eliminisati i oštri uglovi i zarezi. Faktor sigurnosti 4 obično je dovoljan za prevenciju oštećenja izazvanih udarnim talasima. Selekcija materijala je, takođe, vrlo bitna. Korišćenjem kvalitetnih materijala optimiziraju se performanse i smanjuju troškovi. Kada se određuje čvrstoća materijala najpre se mora proceniti ili proračunati maksimalni pritisak potreban za oblikovanje komponente. Ako se zna maksimalni pritisak, konvencionalnim metodama analize čvrstoće mogu se odrediti dimenzije matrice.

U projektovanju matrice i kasnijim analizama važna je i vrsta opterećenja koje će podneti matrica. Opterećenje se ispoljava preko oblika dela koji treba izraditi i načina na koji se postavlja eksplozivno punjenje. Za određivanje maksimalnog pritiska, sile koje se generišu od eksplozivnog punjenja mogu se proceniti iz osnovnih zakona fizike. Problem sa primenom tih zakona jeste što kratko vreme odvijanja procesa onemogućava ili otežava merenje parametara koji određuju primenu zakona. Površine matrice treba da budu kvalitetno obrađene, što je zahtev i za površine konačnog dela jer se površina

matrice reprodukuje u svakom detalju na konačnom delu. Kada se koristi držač, on mora imati dovoljnu čvrstoću kako bi onemogućio nabiranje uzorka na krajevima.

Postoje brojne aplikacije oblikovanja eksplozijom koje se ne koriste često, ali zaslužuju određenu pažnju. Jedna od tih operacija jeste eksplozivno autofretovanje, koje se može primeniti u proizvodnji cevi topova. Pri ovom postupku energija eksplozije koristi se za ekspanziju čelične cevi centrirane unutar cevi topa. Kao medijum za prenos impulsa pritiska služi voda, a za rad se može koristiti eksploziv tipa *slurry*.

Mogućnost dobijanja tripleks prstenova, na primer, koji se najpre eksplozivno plakiraju, a zatim primenom oblikovanja eksplozijom prevode u zahtevani oblik i dimenzije, prikazana je na slici 4.



Slika 4 - Oblikovanje eksplozijom hemisferičnih oblika iz plakirane tripleks ploče: 1 - eksploziv, 2 - multilaminatni pripremak, 3 - multilaminatni prsten isečen nakon oblikovanja eksplozijom

Razvijena je i tehnika transformacije austenitne kristalne strukture nerđajućih čelika u vrlo čvrste martenzitne materijale, deformisanjem pomoću eksplozivnog oblikovanja. Austenitni nerđajući čelik je duktilan materijal u termički neobrađenom stanju, lako se zavaruje i oblikuje. Deformacija kojom se transformišu metastabilni austenit u vrlo čvrsti martenzit zavisi od hemijskog sastava materijala i temperature njegove transformacije. Opisani su eksperimenti u kojima su od nerđajućeg čelika izrađeni cilindri tankih zidova, prečnika oko 150 mm . Cilindri su eksplozivno oblikovani na kriogenim temperaturama, posle čega su postavljeni u matricu na temperaturi okoline. Ukupna deformacija tokom eksperimenata varirala je od $12,8$ do $20,3\%$. Cilindri su

testirani na lom hidrauličkim pritiskom, gde su postignuti vrlo dobri rezultati. Taj metod je pogodan za proizvodnju cilindara male mase ili sudova pod pritiskom. Takođe, moguće je koristiti ovu tehniku i za dobijanje panela velike čvrstoće, oblikovanjem ravnih ploča. Slična primena oblikovanja eksplozijom je u proizvodnji dupleks cevi velikog prečnika. Za izvršenje nuklearnih eksperimenata bilo je potrebno napraviti dupleks cev spoljašnjeg prečnika 127 mm. Cevi u sklopu imale su debljinu zidova 9,5 mm, a kompletna cev bila je dugačka 12 m. Zahtevano je da između cevi postoji radijalni zazor do 0,076 mm po čitavoj dužini. Proizvodnja eksplozijom odabrana je zbog toga što je deformacija na hladno minimalna, očuvaju se svojstva materijala i što je cena drugih metoda za izradu zahtevanih dupleks sklopova bila mnogo veća. Dupleks cev oblikovana je tako što je unutrašnja cev umetnuta u spoljašnju i takav sklop postavljen vertikalno. Pre spajanja eksplozijom, cevi su spolja zavarene na donjem kraju, a unutrašnja cev je napunjena vodom. Eksplozivno punjenje detonirajućeg štapina centrirano je čitavom dužinom unutrašnje cevi, a eksplozija je inicirana sa gornje strane sklopa.

3. ZAKLJUČAK

Zavarivanje eksplozijom uz istovremeno oblikovanje, naravno, umnogome smanjuje vreme izrade delova, ukupni troškovi proizvodnje se radikalno redukuju, a tačnost i kvalitet dobijenih proizvoda je jednaka izradi konvencionalnim tehnologijama. Međutim, kompozicije koje se ostvaruju najpre zavarivanjem, a kasnije oblikovanjem tradicionalnim tehnologijama se ne mogu dobiti ili je njihovo dobijanje povezano sa mnogim tehničkim i organizacionim problemima. Mnogi metali se ne mogu spojiti tradicionalnim tehnologijama, pa je i oblikovanje nemoguće. Svi ti nedostaci mogu se eliminisati zavarivanjem eksplozijom uz istovremeno oblikovanje. Ova tehnologija pokazala se opravdanom u mnogim segmentima tehnike, pa je njena svrsishodnost i racionalnost veoma izražena.

4. LITERATURA

- [1] Zernov, L.: High Velocity Forming of Metals, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice - Hall Inc., 1964.
- [2] Blazynski, T. Z.: Explosive Welding, Forming and Compaction, Applied Science Publishers, London and New York, 1983.
- [3] Murr, L. E.: Shock Waves for Industrial Applications, Noyes Publications, New Jersey, 1988.
- [4] Meyers, M. A., Murr, L. E.: Shock Waves and High-Strain Rate Phenomena in Metals, Plenum, New York, 1981.
- [5] Radić, V.: Doktorska disertacija, VTA Beograd, 1995.
- [6] Radić, V.: Oblikovanje eksplozijom, VTG, N° 5, 1995.
- [7] Radić, V.: Primena obrade materijala eksplozijom u industriji, VTG N° 3, 1995.

Summary

Presentation of application of explosive energy for the attainment of specific shapes which either cannot be obtained by application of existing conventional methods and technologies or can be obtained only with great difficulties and utilization of expensive and complex equipment.

The purpose of the article is to point out characteristics of the technology of shaping by explosion, and to make a contribution to enrichment of knowledge concerning the possibilities of obtaining concrete parts of elements in the metal working industry.



M. Radovanović, J. Stanić, Lj Janković, D. Lazarević, P. Dašić¹

ISTRAŽIVANJE KVALITETA REZA KOD LASERSKOG SEČENJA

REZIME

U radu je dat prikaz eksperimentalnih istraživanja kvaliteta obrade kod laserskog sečenja. Istraživan je uticaj parametara laserskog sečenja (snage lasera, brzine rezanja, debljine lima) na pokazatelje kvaliteta reza (geometriju reza, hrapavost površine reza, pojavu šljake). Eksperimenti su izvedeni na CO₂-laserskoj mašini za sečenje lima sa CNC upravljanjem. CO₂-laser je sa maksimalnom izlaznom snagom od 1.3kW u kontinualnom režimu rada. Materijal upotrebljen za ispitivanja je nisko ugljenični čelik, često korišćen u proizvodnim operacijama. Cilj istraživanja je bio da se odrede funkcije pokazatelja kvaliteta reza pri čemu je korišćen višefaktorni plan eksperimenata.

1. UVOD

Povećanje konkurentnosti i obezbedjenje potrebnog nivoa kvaliteta proizvoda, kao jednog od vrhunskih zahteva savremene proizvodnje, direktno je povezano sa uvodjenjem novih ili visokih tehnologija. Laserska tehnologija je u tom smislu jedna zrela tehnologija koja je brzo postala potreba u skoro svim proizvodnim industrijama. Laseri su našli široku primenu u metaloprerađivačkoj industriji za obradu materijala, merenje i kontrolu kvaliteta. U obradi materijala laseri se najviše koriste za konturno sečenje limova, bušenje, površinsko otvrdnjavanje i zavarivanje. Lasersko sečenje je jedna od najvećih primena lasera u metaloprerađivačkoj industriji. Zasnovano je na preciznom sečenju limova fokusiranim snopom laserskih zraka. Snop laserskih zraka je novi univerzalni rezni alat koji može da seče gotovo sve poznate materijale. Proizvodjači prototipova znaju da su laserske mašine za konturno sečenje limova ekonomična alternativa konvencionalnim mašinama. Laserske mašine karakterišu osobine kao što su: brzina, fleksibilnost, preciznost, tako da se troškovi proizvodnje rapidno smanjuju i brzo vraća investicija. Tehnološki problemi koji se javljaju u

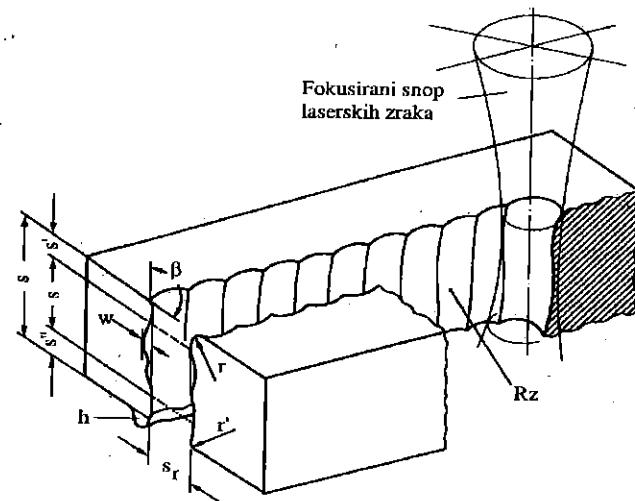
¹Dr Miroslav Radovanović, asistent, Mašinski fakultet u Nišu, dr Joko Stanić, red. prof., Mašinski fakultet u Beogradu, dr Ljubomir Janković, vanr. prof., Mašinski fakultet u Nišu, dr Dragoljub Lazarević, vanr. prof., Mašinski fakultet u Nišu, mr Predrag Dašić, predavač, Viša tehnička-mašinska škola u Trsteniku.

vezi primene laserskih mašina za konturno sečenje limova su u nedovoljnom poznavanju primene laserske tehnike sa jedne strane i nepostojanju dovoljno pouzdanih praktičnih podataka i znanja o uticajnim parametrima na sam proces obrade sa druge strane. Posledica toga je nedovoljna iskorišćenost laserskih mašina s obzirom na mogućnosti koje one pružaju.

Radi daljeg napretka i usavršavanja procesa laserskog sečenja vrše se svestrana izučavanja teoretskih osnova i eksperimentalna istraživanja. Strategija tih istraživanja je da se izgrade baze znanja i podataka i izgradi tehnološki procesor za upravljanje procesom obrade. Poznavanjem procesa laserske obrade i njene zavisnosti od različitih parametara obrade moguće je poboljšati kvalitet obrade kao i njenu efikasnost.

2. KVALITET REZA

Kvalitet obrade kod laserskog sečenja određen je tačnošću oblika i dimenzija i kvalitetom reza. Tačnost oblika i dimenzija radnog predmeta određena je karakteristikama koordinatnog radnog stola kao i kvalitetom upravljačke jedinice u slučaju NC ili CNC laserske mašine za sečenje lima. Kvalitet reza se odnosi na geometriju reza, kvalitet površine reza i fizičko-hemijske karakteristike materijala u površinskom sloju reza. Pod geometrijom reza se podrazumevaju: širina reza, nagib stranica reza i zaobljenje ivica reza. Kvalitet površine reza sadrži ocenu hrapavosti, valovitosti i odstupanje oblika-površinske greške. Fizičko-hemijske karakteristike materijala u površinskom sloju reza odnose se na površinski sloj nastao u procesu laserskog sečenja pri toplotnom dejstvu snopa laserskih zraka na materijal radnog predmeta. Pri tome se posmatra mikrostruktura materijala, tvrdoća, pojava zaostalih napreznja, debljina oksidnog sloja i pojava depozita šljake. Na slici 1 dat je šematski prikaz laserskog reza.



Slika 1: Šematski prikaz laserskog reza

Širina reza je bitna karakteristika procesa laserskog sečenja koja mu obezbeđuje prednost u odnosu na druge postupke sečenja limova. Veličina širine reza kod metala je mala, kreće se $0,1+0,3\text{mm}$ pri sečenju čeličnih limova, pri čemu se širina reza povećava sa povećanjem debljine lima. Nagib stranica reza je jedan od parametara koji određuju kvalitet reza. Do pojave nagiba stranica reza dolazi usled nepravnosti snopa laserskih zraka na

površinu radnog predmeta i usled pojave suženja reza. Do nepravnosti snopa laserskih zraka na površinu radnog predmeta može doći iz više razloga, bilo zbog nepravnosti obradne glave, neravnosti table lima ili tehnoloških razloga. Sečenje materijala fokusiranim snopom laserskih zraka karakteriše pojava suženja reza. Veličina ovog suženja zavisi od više faktora, prvenstveno od žižne daljine sočiva za fokusiranje i defokusacije ali i od osobina materijala radnog predmeta i polarizacije laserskih zraka. Za kvantitativno određivanje nagiba stranica reza koristi se tolerancija nagiba stranica reza (α) i ugao nagiba stranica reza (β). Do zaobljenja ivica reza na ulaznoj strani snopa laserskih zraka dolazi usled Gausove raspodele intenziteta zračenja po poprečnom preseku snopa laserskih zraka. Ovo zaobljenje ivica je veoma malo, poluprečnik zaobljenja ivice reza se kreće od $0,05\text{mm}$ do $0,2\text{mm}$ kod sečenju čeličnih limova, pri čemu se zaobljenje povećava sa povećanjem debljine lima.

Na površini laserskog reza uočava se specifičan oblik neravnina. Ove neravnine u obliku polukružnih žljebova ili brazdi pravilnog oblika posledica su oblika fokusiranog snopa laserskih zraka, brzine rezanja i procesa stvaranja, odnošenja i očvršćavanja rastopine na mestu reza. Vizuelnim posmatranjem površine reza kod laserskog sečenja uočavaju se dve zone: gornja, u području ulazne strane snopa laserskih zraka, koja je jedna fino obradjena površina pravilnih žljebova na međusobnom rastojanju $0,1+0,2\text{mm}$, i donja zona, u području izlazne strane snopa laserskih zraka, kod koje je površina reza grublja i koju karakteriše pojava depozita rastopine i šljake. Iz tog razloga određeno je da se hrapavost površine reza meri na rastojanju jedne trećine debljine lima od gornje ivice reza. Najčešće primenjivani parametri za ocenu hrapavosti površine su: srednja visina neravnina R_z i srednje aritmetičko odstupanje profila R_a .

Lasersko sečenje je visoko-temperaturni proces kod koga se zapaža malo toplotno oštećenje okolnog materijala u zoni reza, odnosno neznatna promena osobina osnovnog materijala radnog predmeta. Oblik promena na materijalima prouzrokovan laserskim zračenjem može da ima različite forme. Promene mogu da se odnose na kristalnu strukturu, pojavu makro i mikro pukotina materijala na njegovoj površini, stopljene ili isparene zone. Promena tvrdoće u površinskom sloju reza nastaje usled zagrevanja materijala radnog predmeta do visokih temperatura iznad kritičnih tačaka transformacije pri nailasku snopa laserskih zraka a zatim, po prolasku snopa laserskih zraka, dolazi do samohladjenja pri čemu se naglo hladi zagrejani površinski sloj.

U većini slučajeva kod laserskog sečenja tanjih limova uspešno se odstranjuje materijal iz zone reza bez pojave depozita šljake. Kod limova veće debljine i nekih vrsta materijala depoziti šljake rastopljenog materijala pojavljuju se duž izlazne ivice reza. Raspored ove šljake u prvom redu zavisi od viskoznosti rastopljenog materijala koji nije bilo moguće pomoćnim gasom odstraniti iz zone reza.

3. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE KVALITATA REZA

Eksperimentalna istraživanja su imala za cilj da se utvrdi uticaj parametara obrade na kvalitet reza kod laserskog sečenja. Laserska mašina za sečenje lima na kojoj su vršena ispitivanja je "Tehnološki laserski sistem TLS-1A", proizvod firme "Optical Technologies" iz Plovdiva, Bugarska. Mašina se sastoji od tehnološkog CO_2 -lasera HEBAR-1A, portalnog koordinatnog radnog stola TLU-1000, obradne glave i upravljačke jedinice CNC ZIT 500M.

Tehničke karakteristike CO_2 lasera su: talasna dužina zračenja $10,6\mu\text{m}$, maksimalna izlazna snaga $1,3\text{kW}$, oblast kontinualne regulacije snage $0,2+1,3\text{kW}$, režim rada kontinualni, divergencija snopa laserskih zraka manja od 4mrad , prečnik snopa laserskih zraka 22mm , mod TEM_{00} , kružna polarizacija. Portalni koordinatni radni sto TLU-1000 je trokoordinatna mašina za pozicioniranje. Moguća kretanja su: po X-osi 1200mm , po Y-osi 2000mm i po Z-osi 600mm . Radna brzina, kontinualno podešljiva, za ose X i Y je $0,1+4\text{m/min}$. Brzina praznog hoda je 8m/min . Tačnost pozicioniranja je $\pm 0,15\text{mm}$. Obradna glava se sastoji od sistema za fokusiranje i mlaznice. Sočivo sistema za fokusiranje je prečnika 28mm žižne daljine 125mm . Pomoćni gas se dovodi u zonu obrade kroz mlaznicu koja je u sastavu

obradne glave. Otvor mlaznice je 1.6mm. Na obradnoj glavi se nalazi kapacitivni senzor za automatizovano pozicioniranje glave u odnosu na površinu radnog predmeta. Rastojanje obradne glave od površine radnog predmeta je 0.5mm. Materijal upotrebljen za ispitivanja je nisko ugljenični čelik Č.0147. Uzorci dimenzija 50x50mm sečeni su iz tabli lima debljine 0.5mm, 1mm, 2mm, 3.2mm, 4mm, 4.5mm i 8mm. Obrada je vršena uz pomoć kiseonika kao gasa za prodivavanje čistoće 98%. Položaj žiže fokusiranog snopa laserskih zraka, za izvedena eksperimentalna istraživanja, držan je na površini radnog predmeta.

Pri planiranju eksperimenta korišćen je faktorni plan eksperimenata, koji se kao savremena metoda planiranja eksperimenata danas gotovo isključivo koristi u izučavanju procesa obrade metala. Eksperiment je vršen prema ortogonalnom trofaktornom planu tipa 2³. Zbog ocene signifikantnosti koeficijenata regresije opit je ponavljan 4 puta u svakoj tački hiperkuba. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja, sa srednjim vrednostima merenih veličina, prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1

R b.	FAKTORI			KOD FAKTORA				IZMERENE VREDNOSTI					
	P _L (kW)	v ($\frac{m}{min}$)	s (mm)	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	s _r (mm)	β (°)	r (mm)	R _z (μm)	R _a (μm)	h _s (mm)
1	0.5	1.6	2	1	-1	-1	-1	0.25	1.00	0.08	21.2	3.60	0.08
2	0.8	1.6	2	1	1	-1	-1	0.27	0.75	0.07	18.8	3.30	0.05
3	0.5	2.6	2	1	-1	1	-1	0.20	1.50	0.10	17.6	2.83	0.17
4	0.8	2.6	2	1	1	1	-1	0.25	1.50	0.10	16.6	2.80	0.10
5	0.5	1.6	4	1	-1	-1	1	0.30	1.90	0.13	37.0	6.40	0.25
6	0.8	1.6	4	1	1	-1	1	0.35	1.20	0.12	23.0	4.33	0.11
7	0.5	2.6	4	1	-1	1	1	0.22	3.00	0.15	29.5	5.60	0.57
8	0.8	2.6	4	1	1	1	1	0.30	2.30	0.13	21.0	3.90	0.30

Širina reza, nagib stranica reza i zaobljenje ivica reza mereni su na "Optičkom projektoru profila", tip LM8, firme Titanus, Italija. Merenje hrapavosti vršeno je na profilometru "Hommel Taster T20", firme Hommelwerke, Nemačka. Podaci merenja hrapavosti dobijeni su pod sledećim uslovima: merni pipak TKE 400-1491, r=5μm, brzina pipka v=0.5mm/s, merna dužina l₁=4.8mm. Metalografska ispitivanja vršena su na "Univerzalnom kamera mikroskopu MeF2", firme Reichert, Austrija. Merenje tvrdoće vršeno je na "Uredjaju za merenje tvrdoće po Vickersovoj metodi", tip V-Testor2, firme Otto Wolpert, Nemačka.

Na osnovu ortogonalne plan matrice eksperimenata i rezultata merenja, datih u tabeli 1, dobijeni su izrazi za pokazatelje kvaliteta reza kod laserskog sečenja prikazani u tabeli 2.

U cilju verifikacije dobijenih jednačina izvršene su statistička provera adekvatnosti matematičkog modela i ocena signifikantnosti koeficijenata regresije. Sve provere, koje su izvršene za nivo značajnosti α=5%, dale su pozitivne rezultate.

Na slici 2 prikazana je promena brzine rezanja sa promenom debljine lima, za različite visine depozita šljake, pri snazi lasera od 0.8kW i pritisku pomoćnog gasa od 80kPa. Na slici 3 prikazana je promena brzine rezanja sa promenom snage lasera, za različite debljine lima, pri pritisku pomoćnog gasa od 80kPa i visini šljake od 0.2mm.

Brzina rezanja se rapidno smanjuje sa povećanjem debljine lima koji se seče. Brzina rezanja može da se poveća s tim da se poveća dozvoljena visina šljake. Brzina rezanja može da se poveća i povećanjem snage lasera, međjutim tu treba imati u vidu da laser gotovo uvek radi sa nekom optimalnom izlaznom snagom zračenja, kod CO₂-lasera HEBAR-1A to je 800W, tako da nije poželjno na ovakav način povećavati brzinu rezanja.

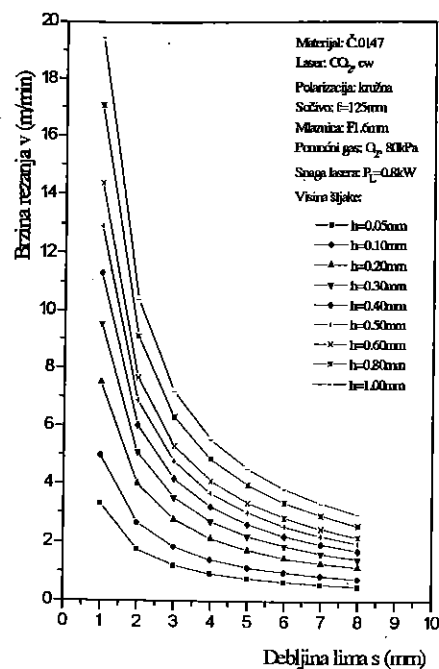
Tabela 2

LASERSKO SEČENJE		
MERENA VELIČINA	OZNAKA	REGRESIONA JEDNAČINA
Širina reza	s _r (mm)	$s_r = 0,321 \cdot \frac{P_L^{0,406} \cdot s^{0,259}}{v^{0,394}}$
Nagib stranice reza	β (°)	$\beta = 0,226 \cdot \frac{v^{1,138} \cdot s^{0,805}}{P_L^{0,540}}$
Poluprečnik zaobljenja ivice reza	r (mm)	$r = 0,039 \cdot \frac{v^{0,414} \cdot s^{0,610}}{P_L^{0,189}}$
Hrapavost	R _z (μm)	$R_z = 12,528 \cdot \frac{s^{0,542}}{P_L^{0,528} \cdot v^{0,322}}$
	R _a (μm)	$R_a = 2,018 \cdot \frac{s^{0,670}}{P_L^{0,451} \cdot v^{0,330}}$
Visina šljake	h _s (mm)	$h_s = 0,005 \cdot \frac{v^{1,687} \cdot s^{1,530}}{P_L^{1,311}}$
USLOVI OBRADE		
Laserska mašina za sečenje lima	Lasera Snop las.zraka Sočivo Mlaznica Pomoćni gas	CO ₂ , 1,2kW, cw φ22, TEM ₀₀ , kružna polarizacija f=125mm φ1,6mm O ₂ , 80kPa
Radni predmet	Materijal	Č.0147
Parametri obrade	Snaga lasera Brzina rezanja Debljina lima Defokusacija	P _L =0,5-0,8kW v=1,6-2,6m/min s=2-4mm Položaj žiže na površini obratka

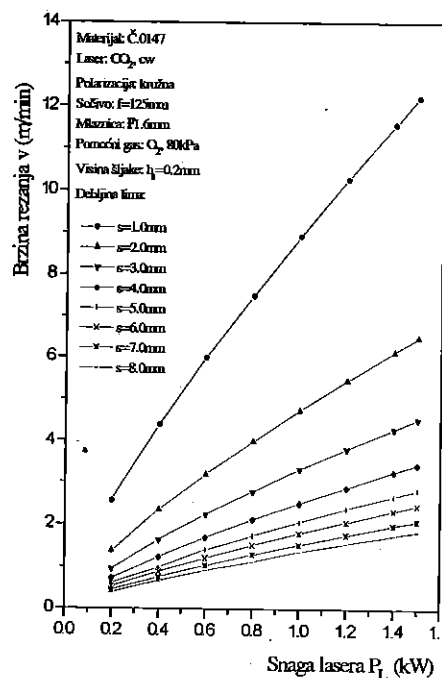
5.0 ZAKLJUČAK

Tehnološki problemi u vezi primene laserskih mašina za konturno sečenje limova su u nedovoljnom poznavanju primene laserske tehnike sa jedne strane i nepostojanju dovoljno pouzdanih praktičnih podataka i znanja o uticajnim faktorima na sam proces obrade sa druge strane. U okviru ovog rada dati su rezultati eksperimentalnih istraživanja koji se odnose na određivanje pokazatelja kvaliteta reza kod laserskog sečenja, promena brzine rezanja sa promenom debljine lima za različite visine depozita šljake pri određenoj snazi lasera kao i promena brzine rezanja sa promenom snage lasera za različite debljine lima i određenu visinu depozita šljake. Brzina rezanja može da se poveća s tim da se poveća dozvoljena visina šljake. Brzina rezanja može da se poveća i povećanjem snage lasera, međjutim tu treba imati

u vidu da laser gotovo uvek radi sa nekom optimalnom izlaznom snagom zračenja tako da nije poželjno na ovakav način povećavati brzinu rezanja.



Slika 2: Promena brzine rezanja sa promenom debljine lima, za različite visine šljake, pri snazi lasera od 0.8kW i pritisku pomoćnog gasa od 80kPa.



Slika 3: Promena brzine rezanja sa promenom snage lasera, za različite debljine lima, pri pritisku pomoćnog gasa od 80kPa i visini šljake od 0.2mm.

6.0 LITERATURA

- [1] Lazarević D., Radovanović M., Nekonvencionalne metode, obrada materijala odnošenjem, Mašinski fakultet, Niš, 1994
 [2] Radovanović M., Automatizovano projektovanje tehnologije obrade laserom, disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1996

M. Radovanović, J. Stanić, Lj. Janković, D. Lazarević, P. Dašić

RESEARCH THE QUALITY OF THE CUT BY LASER CUTTING

Abstract

The paper gives a summary of the experimental researches of the cutting quality at laser cutting. It was researched the factors at laser cutting (laser power, feed rate, sheet thickness) affecting the cutting quality (geometry of cut, surface roughness of cut, dross). The experiments were conducted with a NC-guided CO₂ laser cutting machine. A CO₂-laser is with radiation output up to 1.3kW in cw state. Material used for researches is low alloyed carbon steel often used in manufacturing operations. The aim of the research was to determine cutting quality functions by which is used multifactor plan of experiments.



Рыжов Э.В.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЛЕГИРУЮЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ С ВВЕДЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА (ЛДЭО)

АННОТАЦИЯ

Качество деталей в значительной степени зависит от технологии их изготовления. Особая роль отводится методам комбинированной обработки, обеспечивающим значительное сокращение времени изготовления деталей и повышение качества их поверхности. Легирующе-деформирующая обработка деталей с введением в зону контакта инструмента с деталью электрического тока (ЛДЭО) позволяет осуществить упрочнение рабочих поверхностей деталей машин до твердости деталей, закаленных ТВЧ и выше, повышая при этом их износостойкость в 5-10 раз, усталостную прочность в 2-6 раз по отношению к исходным. При этом методе обработки поверхность стальных деталей имеет шероховатость Ra=0,63-0,32 мкм и опорную площадь на 40-50% больше, чем у шлифованных.

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение качества машин и приборов, повышение их надежности и долговечности неразрывно связаны с проблемой качества деталей, так как практически все эксплуатационные показатели изделий определяются геометрическими параметрами, физико-механическими и химическими свойствами их рабочих поверхностей. Состояние и свойства этих поверхностей связаны не только с материалом детали, но и с технологией ее обработки. Характерным является тот факт, что машины совершенно одинаковых конструктивных компоновок и с деталями из одних и тех же материалов часто имеют весьма отличающуюся надежность и долговечность. Причиной этого во многих случаях являются различия в технологических процессах изготовления деталей. И прежде всего в операциях, формирующих окончательные свойства и состояния рабочих поверхностей, определяющие их эксплуатационные показатели. При этом следует учитывать качество поверхности на предыдущих операциях, т.е. технологическую наследственность.

Технологическая наука позволяет более обоснованно подходить к оценке и назначению параметров качества деталей, методам их достижения. Особая роль отводится комбинированной обработке, обеспечивающей значительное сокращение времени изготовления деталей, повышение качества их поверхностей.

При комбинированной обработке осуществляется дополнительное воздействие на

Рыжов Эдуард Вячеславович, доктор технических наук, профессор
 Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, г. Киев

зону контакта инструмента и детали (тока, плазмы, лазера, магнитного поля и т.д.).

ЛЕГИРУЮЩЕ-ДЕФОРМИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРООБРАБОТКА (ЛДЭО)

Легирующе-деформирующая электрообработка (ЛДЭО) является развитием метода электромеханической обработки (ЭМО). При ЛДЭО в зону контакта инструмента (ролика) и заготовки подается ток, происходит сглаживание неровностей, упрочнение поверхностного слоя и нанесение покрытия сразу после то

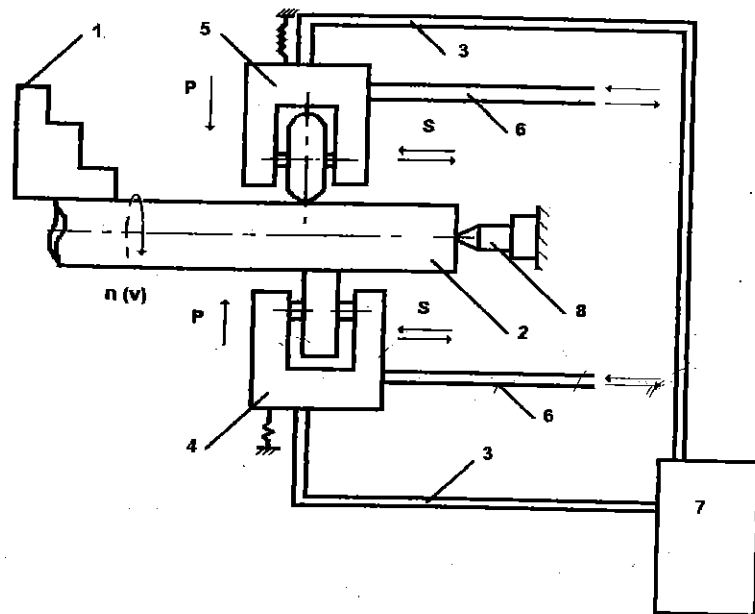


Рис. 1. Схема установки для ЛДЭО: 1. токарный патрон; 2. деталь; 3. силовые шины; 4. легирующий инструмент (ролик); 5. выглаживающий инструмент (ролик); 6. охлаждение; 7. источник питания; 8. центр задний.

оборудования. Процесс ЛДЭО относится к методам поверхностного пластического деформирования и основан на сочетании термического и силового воздействий на поверхностный слой детали. Особенность метода ЛДЭО заключается в том, что в месте контакта инструмента с изделием проходит ток большой силы и низкого напряжения. Это приводит к значительному повышению твердости поверхностных слоев. С точки зрения металловедения процесс ЛДЭО имеет наибольшее сходство с высокотемпературной термомеханической обработкой (ВТМО), где пластическая деформация детали проводится при температуре выше порога рекристаллизации. Однако ЛДЭО имеет ряд особенностей: 1). длительность нагрева и выдержки кратковременна (0,01-0,001 с); 2). высокая скорость охлаждения обеспечивается быстрым отводом тепла от поверхностных слоев в глубь детали; 3). тепловое и силовое воздействие осуществляется одновременно, а не последовательно, как при процессах ВТМО.

При ЛДЭО имеет также место массоперенос материала инструмента на обрабатываемую поверхность стальных заготовок (формирование покрытия). В зависимости от уровня термического воздействия инструмента с упрочняемой поверхностью наблюдаются три зоны формирования покрытия: 1- образование покрытий за счет протекания в зоне контакта инструмент-заготовка электроискровых процессов, обеспечивающих создание необходимых условий локального переноса материала легирующего инструмента на обрабатываемую поверхность; 2- формирование покрытия за счет контактно-электроэрозионных процессов в зоне контакта инструмент-заготовка; 3- я область гетерогенного и неравномерного массопереноса материала покрытия за счет интенсификации процесса адгезионного схватывания контактирующей пары инструмент-заготовка в условиях высоких давлений и температур. Таким образом при ЛДЭО совмещены в схеме обработки процессы электромеханического упрочнения с контактно-электроэрозионным легированием композиционными материалами. Это достигается за счет введения в схему электромеханической обработки дополнительного легирующего ролика и создания соответствующих технологических условий его работы.

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЛДЭО

ЛДЭО объединяет преимущества упрочняющей и отделочной обработки. При этом упрочняющая обработка позволяет сформировать поверхностные слои с определенными физико-механическими свойствами, а отделочная обработка - определенными геометрическими параметрами.

Установлено, что при рациональном выборе условий обработки изменяются не только высотные параметры шероховатости, но и возрастают радиусы выступов, микронеровностей и впадин, изменяются шаговые параметры, параметры опорной кривой профиля. Изменение формы микронеровностей приводит в общем к увеличению опорной поверхности, в значительной степени определяющей износостойкость деталей машин. В результате ЛДЭО поверхности, полученной шлифованием, R_a снижается почти в 10 раз (для шлифованной поверхности с $R_a=0,4$ - 3-4 раза). Следовательно, после точения и ЛДЭО высота неровностей соответствует шлифованной поверхности, а опорная площадь превышает эту площадь после шлифования в 1,5-2 раза, что позволяет в ряде случаев исключить шлифование.

Получаемый при ЛДЭО твердый износостойкий и светлый поверхностный слой (микротвердость 10-12 ГПа) представляет из себя бесструктурный мартенсит, который образуется при высокой скорости термического цикла в сочетании с высоким удельным давлением. Это обстоятельство позволяет исключить термическую обработку.

Сложность формирования остаточных напряжений при ЛДЭО также связана не только с деформацией, но и значительным повышением температуры. При разных условиях ЛДЭО возникают различные по величине и знаку остаточные напряжения в зависимости от соотношения вкладов трех факторов - силового, теплового и фазового.

Меняя условия обработки (силу тока, усилие прижима ролика к заготовке, скорость обработки, подачу инструмента и т.д.) можно управлять шероховатостью поверхности, величиной и знаком остаточных напряжений, глубиной залегания светлого поверхностного слоя.

Особое значение при ЛДЭО имеют материалы выглаживающего и легирующего роликов. Установлено, что наиболее стойким материалом для выглаживающих

роликов является твердый сплав ВК6-М, а в качестве материала для легирующих роликов - безвольфрамовые КХН15Р и ВН20-Г2. Установлено, что зависимость толщины легированного слоя имеет экстремальный вид (Рис.2), а характер массопереноса, определяющий качество упрочнения, неразрывно связан с процессами, происходящими при контакте пары инструмент-заготовка, о чем упоминалось выше.

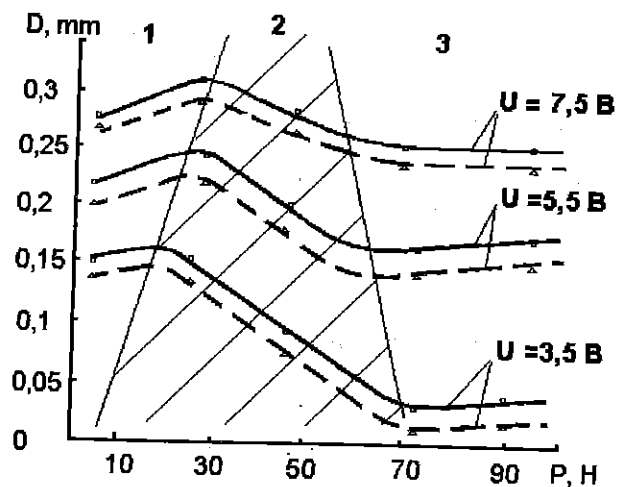


Рис.2. Зависимость изменения диаметра обрабатываемой детали и характера формирования композиционных покрытий от технологических параметров процесса ЛДЭО.

Сравнение результатов, полученных при таких отделочно-упрочняющих методах как ППД, ЭМО и ЛДЭО на сталях 45, 40Х и 65Г показали, что степень упрочнения поверхностного слоя по отношению к упрочнению ТВЧ составляет соответственно 0,5, 1,3 и 2 раза; глубина упрочнения в мм -0,1-5, 0,1-0,8 и 0,2-0,8; микротвердость МПа 4000, 8500 и 12000; шероховатость $Ra=0,1-0,16, 0,32-0,16$ и $0,63-0,32$. Относительная износостойкость соответственно 0,6, 1,1 и 2,2.

ВЫВОДЫ

Применение ЛДЭО позволяет увеличить износостойкость в 5-10 раз, фреттингостойкость более чем в 3 раза, усталостную прочность в 2-6 раз по сравнению с исходными материалами заготовок, повышает в несколько раз коррозионную стойкость в кислых и нейтральных средах.

Таким образом, легирующе-деформирующая электрообработка является эффективным методом повышения качества деталей машин.



Рыжов Юрий Э.
**УЛУЧШЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ
СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ
АЛМАЗНОГО ХОНИНГОВАНИЯ**

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты исследований по улучшению антифрикционных свойств поверхностных слоев стальных деталей пар трения путем микролегирования активными компонентами смазочно-охлаждающих технологических сред в процессе алмазного хонингования. В результате предложенного метода обработки стем металла совмещается с насыщением ювенильных поверхностей антифрикционными соединениями фосфора, хлора или серы, что способствует повышению износостойкости деталей сопряжения.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что до 80 % машин и механизмов выходят из строя по причине износа деталей, а по данным ЮНЕСКО приблизительно треть мировых энергетических ресурсов расходуется на преодоление трения в той или иной форме. Поэтому, обеспечение износостойкости деталей машин, в том числе путем управления качественными характеристиками их поверхностных слоев, является актуальной научно-технической проблемой. Наряду с шероховатостью свойства поверхностного слоя (его состав, микроструктура, твердость, напряженное состояние) играют определенную роль в износостойкости. Взаимодействие твердых тел при трении сосредотачивается в локальных поверхностных объемах трущихся деталей. Возникающая при этом на участках контакта интенсивная пластическая деформация, быстрый локальный нагрев и последующее быстрое охлаждение приводят к образованию на поверхности трения неравновесных структур, свойства которых в значительной степени определяют износостойкость материала. Это в равной степени относится к трению скольжения и трению качения. Изучение природы поверхностных структур, поиск условий формирования на поверхности трения защитных пленок, обеспечивающих повышение износостойкости материала, проводились в большей степени применительно к процессам трения поверхностей, чем к технологическим процессам их обработки. Известно множество технологических методов формирования поверхностного слоя деталей и повышения их износостойкости: термо- и химико-термическая обработка, нанесение гальванических покрытий, механическая обработка как со снятием стружки, так и поверхностным пластическим деформированием, финишная антифрикционная безабразивная обработка (ФАБО) с применением меди, цинка, олова, графита, дисульфида молибдена. Совершенствование методов механической обработки представляет особый интерес, так как позволяет без значительного усложнения технологии изготовления деталей, уже

Рыжов Юрий Эдуардович, канд. техн. наук
Институт сверхтвердых материалов НАН Украины, г. Киев

при формировании их макрогеометрии и шероховатости, обеспечить требуемое качество поверхностного слоя. В связи с этим наиболее исследованы процессы финишной обработки металлов - шлифование, хонингование, суперфиниширование, доводка и другие. Известны работы по оптимизации этих процессов по показателям кинематики и режимов резания, характеристик инструмента и некоторым другим технологическим параметрам. Среди критериев оптимизации чаще рассматриваются производительность процессов, износ инструмента, а из качественных характеристик - шероховатость обработанной поверхности [1-3].

Роль смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) в процессах финишной обработки металлов и, в частности, в формировании поверхностных слоев деталей с целью повышения их износостойкости изучена крайне незначительно. Воздействие СОТС отражается не только на указанных технологических характеристиках, но и на тепловых процессах, физико-механических свойствах поверхностного слоя материала изделия. До настоящего времени этим характеристикам уделялось недостаточное внимание. Тем не менее, в машиностроении применяется большая гамма прецизионных деталей пар трения скольжения из термообработанных сталей твердостью HRC, 62 ... 65 с малыми диаметрами отверстий ($\varnothing 6 \dots 12$ мм) и шероховатостью $R_a 0,02 \dots 0,04$ мкм, при изготовлении которых затруднительно применение специальных дополнительных методов повышения их износостойкости. К таким изделиям, например, относятся плунжерные втулки топливных насосов дизельных двигателей. Имеется также множество деталей машин, для которых процесс алмазного хонингования точных отверстий является окончательным (без последующей доводки обработанной поверхности) [4].

МЕТОДИКА

Процесс хонингования плоских образцов из закаленной стали ШХ15 размером $10 \times 10 \times 5$ мм осуществлялся на специально разработанной установке, позволяющей получать характерную для хонингования "сетку" следов обработки хонбрусками из синтетических алмазов АС32 200/160 на металлической связке, исключить взаимовлияние исследуемых СОТС, иметь полностью готовые образцы для изучения поверхностных слоев на электронных микроанализаторах типа "LAS-3000" и "ЭСКАЛАБ-5" без дополнительных физико-механических и тепловых воздействий на изучаемую поверхность. Время обработки всех образцов постоянно.

Доводка призматических и кольцевых образцов из закаленной стали ШХ15 осуществлялась на притирочной машине "MULTIPOL". Нагрузка (2 ... 3 кг) распределялась равномерно по всей поверхности образца. Образец совершал колебательное движение по синусоиде с амплитудой 25 ... 30 мм. Доводочная суспензия приготавливалась из порошка КТ 7/5 (25%) и исследуемой СОТС (75%).

При хонинговании с синтетическими СОТС применялись 2 ... 5% -ные водные эмульсии и растворы. Исследование триботехнических характеристик поверхностных слоев образцов проводилось на микротрибометре и машинах трения. Микротрибометр осуществлял однонаправленное поступательное движение индентора (наконечник из твердого сплава, с радиусом 100 мкм) по неподвижному образцу. При этом регистрировалось усилие, возникающее между индентором и образцом, характеризующее степень упрочнения поверхностного слоя образцов после обработки с различными СОТС.

Износостойкость обработанных поверхностей образцов из закаленной стали ШХ15 оценивали по изменению коэффициента трения во времени при приработке цилиндрического и дискового образцов на машине трения SRV-860 фирмы "OPTIMOL". Испытания образцов проводили в среде гексадекана класса ЧДА при возвратно-поступательном скольжении. Схема контакта - "плоскость - плоскость". Температура рабочей среды и образцов поддерживалась на уровне 20°C. Задиры-

стойкость поверхности определялась по числу циклов до наступления момента задира между контактирующими образцом и контртелом.

ИССЛЕДОВАНИЯ

При хонинговании и доводке весьма эффективными смазочными компонентами в составах водосмешиваемых и масляных СОТС являются высокомолекулярные органические поверхностно-активные вещества (ПАВ) различного химического строения. Возможность варьирования в широких пределах свойств полимерных соединений изменением химического состава ПАВ, структуры, молекулярной массы объясняет повышенный интерес к их применению в различных отраслях промышленности, в том числе в составах СОТС. Механизм действия полимерных соединений в составе СОТС заключается в том, что они в зоне трения разрушают под воздействием высоких механических нагрузок с образованием целой гаммы продуктов разложения, главными из которых являются свободные макро- и микро-радикалы и парамагнитные центры. Выделяющиеся активные макро- и микро-радикалы взаимодействуют с металлической ювенильной поверхностью, образуя химические соединения, более прочные, чем те, которые обеспечиваются физической адсорбцией.

Исследовано влияние ряда СОТС на качество поверхностного слоя и износостойкость стальных деталей пар трения скольжения после алмазного хонингования и доводки. В качестве технологических сред применялись: масляные СОТС, различные по вязкости и содержанию активных компонентов; эмульсолы; синтетические, содержащие различные активные компоненты - серу, хлор, фосфор, ПАВ, полимерсодержащие присадки и т.д. Испытана также экспериментальная композиция фосфор-содержащей присадки "СИНХО-2С", представляющей собой органическую соль фосфорной кислоты (Разработана совместно с институтом нефтепродуктов НИИ НП "МАСМА", г. Киев).

Химический состав поверхности, полученный на электронном растровом микроскопе "CAMSCAN", шероховатость и задиростойкость образцов из закаленной стали по результатам испытаний на машинах трения после чистового хонингования с применением некоторых серийно выпускаемых СОТС представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	СОТС	Содержание химических элементов в поверхностных слоях стали, %						R _a , мкм	Число циклов до задира
		Si	Cl	S	Ca	P	Na		
1.	КЕРОСИН	0,370	—	0,020	—	0,027	—	0,24	120
2.	ГИДРОПОЛ-2	0,228	—	—	0,011	—	1,209	0,07	150
3.	ОСМ-1	0,190	—	0,017	—	—	0,890	0,12	200
4.	МР-4	0,198	0,069	0,046	0,004	—	2,268	0,18	300
5.	АКВАХОП	0,197	0,097	0,075	0,006	0,100	2,148	0,15	480
6.	АМФАПОЛ	0,153	0,019	0,115	—	—	0,080	0,16	1000

Из таблицы 1 видно, что по параметру шероховатости R_a лучшие результаты получены с применением СОТС "ГИДРОПОЛ", "АКВАХОН" и "АМФАПОЛ", а задиростойкость повышается с ростом процентного содержания хлора, серы и фосфора в поверхностных слоях образцов. При этом очевидно, что состав серийно выпускаемых СОТС для механической обработки деталей не является оптимальным в решении задачи повышения их износостойкости путем микролегирования поверхностных слоев при хонинговании и доводке.

Шероховатость поверхности при хонинговании замерена с помощью профилометра и по параметру R_a составляет 2,03 ... 2,85 мкм, следовательно, данный показатель состояния поверхности мало зависит от применяемой СОТС и определяется зернистостью алмазов в инструменте.

Установлено, что эффект повышения поверхностной прочности образцов наблюдался после обработки с СОТС "АМФАПОЛ" и "АКВАХОН".

Методы вторично-ионной масс-спектрометрии позволили обнаружить в поверхностных слоях исследованных образцов продукты деструкции СОТС (углеводороды, хлориды, фосфаты, сульфиты) на глубине до 300 нм, что подтверждает предположение об интенсивных адсорбционных и хемосорбционных процессах при контактном взаимодействии инструмент - СОТС - деталь.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований процессов алмазного хонингования и доводки с различными СОТС установлено:

— СОТС, используемая при формировании поверхностных слоев деталей пар трения скольжения может оказывать существенное влияние на их износостойкость;

— наиболее быстро и с минимальным абсолютным коэффициентом трения (до $\mu=0,12$) проходит приработка поверхностей, обработанных в экспериментальной СОТС на "полифосфорной" основе;

— по показателям поверхностной прочности, износостойкости и прирабатываемости образцов наиболее перспективными являются водосмещиваемые синтетические (безмасляные) СОТС "АМФАПОЛ" и "АКВАХОН" с полимерсодержащими присадками и новая экспериментальная фосфорсодержащая СОТС с условным названием "СИНХО-2С", предназначенная для использования одновременно в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды и улучшения антифрикционных свойств стальных деталей в процессе алмазного хонингования и доводки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский Ю.С., Шаповал Б.С., Квятковская Т.А. Отечественные и зарубежные СОТС для хонингования металлов. - В кн.: Хонингование - технология и оборудование, М.: НТЦ "Информтехника", 1990. - С. 67-69.
2. Квятковская Т.А., Выхрестюк Н.И., Рудакова Н.Я. и др. Влияние факторов химического состава нефтяной основы на технологические свойства СОТС для алмазно-абразивной обработки. - В кн.: СОТС для механической обработки металлов / Сб. науч. тр. ВНИИПКнефтехим. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988. - С. 61-69.
3. Троший А.Р. Влияние состава СОТС на эффективность хонингования стальных заготовок. - В кн.: СОТС в процессах абразивной обработки / Сб. науч. тр. Ульяновского политехнического института. - Ульяновск, 1988. - С. 69-72.
4. Чеповещкий И.Х., Кизиков Э.Д., Рьжов Ю.Э. Алмазное хонингование термообработанных сталей. - Киев: Наук. думка, 1988. - 136 с.



Mr Богдан Ђирковић¹
Dr Миле Максић²
Dr Томислав Тодић³
Dr Душанка Вукићевић⁴

ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ НОСЕЋЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ПРЕСЕ ИЗРАЂЕНЕ ОД КОМПОЗИТНОГ МАТЕРИЈАЛА ГВОЖЂЕ - БЕТОН

Резиме

Познајто је да је носећа конструкција пресе, као и сваки машински део, дефинисана обликом, димензијама и материјалом од кога се израђује. Својства материјала у великој мери утичу на мериторне карактеристике целе конструкције.

У раду је дајна теоријска анализа носећих конструкција (ојворених и зајворених конструкција) пресе израђених од композиционог материјала гвожђе-бетон, као новој конструкционој материјала, за различита проценијална учешћа композиција (армајуре и бетона) и извршен је избор оптималне конструкције.

1.0 УВОД

Развојем влакнастих композита створене су могућности коришћења бетона у машинама и машинским системима.

При анализи примене армираног бетона у изради носећих структура пришло се одређивању: потребне чврстоће, статичке и динамичке стабилности тј. решавању проблема дозволених еластичних деформација као и њиховог карактера.

2.0 НОСЕЋА СТРУКТУРА ОД КОМПОЗИТА

Композитни материјали (композити) су вештачки створени материјали састављени од два или више хемијски разнородна материјала са јасном границом раздвајања међу њима, али тако да чине јединствен материјал са новим физичко-хемијским и механичким својствима.

¹ Mr Богдан Ђирковић, асистент-приправник Машинског факултета у Приштини

² Dr Миле Максић, доцент Машинског факултета у Нишу

³ Dr Томислав Тодић, ванредни професор Машинског факултета у Приштини

⁴ Dr Душанка Вукићевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу

Грађу композита чине две фазе: матрица (везиво) и арматура (укључци). Облик укључака (цилиндричан, сферан и лиснат), својства материјала укључака, као и њихова количина и распоред одређују карактеристике композита.

У раду се даје само најкраћи пут теоријског прорачуна тих својстава. Под ефективним модулима се подразумева средња мера истих, узимањем у обзир својстава свих фаза, њиховог узајамног дејства и процентуалног удела, а за њихово израчунавање користе се познате релације теорије еластичности и пластичности.

За композитни материјал са сферним укључцима коришћени су следећи изрази:

- за запремински модул:

$$\kappa = \kappa_M + \frac{c(\kappa_U - \kappa_M)}{1 + (1-c)\left[\frac{\kappa_U - \kappa_M}{\kappa_M - 4/3\mu_M}\right]} \quad /1/$$

- за модул смицања:

$$\frac{\mu}{\mu_M} = 1 - \frac{15(1 - \nu_M)\left(1 - \frac{\mu_U}{\mu_M}\right)c}{7 - 5\nu_M + 2\left(4 - 5\nu_M\right)\left(\frac{\mu_U}{\mu_M}\right)} \quad /2/$$

$$\frac{\mu}{\mu_U} = 1 - \frac{\left(1 - \frac{\mu_M}{\mu_U}\right)\left[7 - 5\nu_M + 2\left(4 - \nu_M\right)\frac{\mu_U}{\mu_M}\right]c}{15(1 - \nu_M)} \quad /3/$$

- и за модул еластичности:

$$E = \frac{9\kappa\mu}{3\kappa + \mu} \quad /4/$$

где су: μ, μ_M, μ_U - модул смицања; ефективни, матрице, укључка;
 $\kappa, \kappa_M, \kappa_U$ - запремински модул; ефективни, матрице, укључка;
 ν_M, ν_U - Пуасонов коефицијент матрице и укључка;
 $c = (a/b)^3$ - запремински однос количине сферних укључака;
 $c = 1 - c$;
 E, E_M, E_U - модул еластичности; ефективни, матрице и укључка.

За композитне материјале са цилиндричним укључцима коришћена је формула за директно израчунавање модула еластичности која има облик:

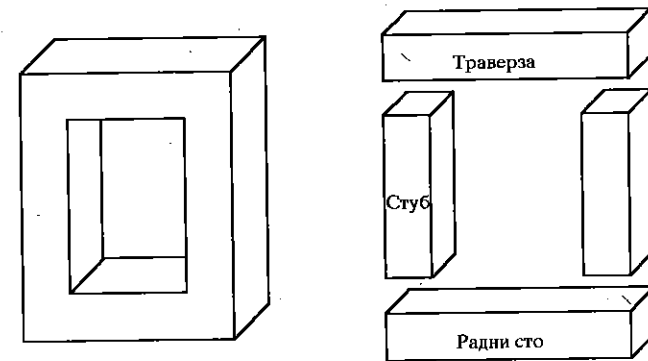
$$\frac{E}{E_M} = 1 + c \left[\frac{E_U}{E_M} - 1 + \frac{2(\nu_U - \nu_M)^2}{(1 + \nu_M) + \left(\frac{E_U}{E_M}\right)(1 + \nu_U)(1 - 2\nu_U)} \right] \quad /5/$$

За композитни материјал гвожђе - бетон, који је предмет овог рада, могло би се рећи да је систем од три фазе: цемент, камен и арматура (гвожђе). Испитивања која су вршена при употреби самог бетона, без арматуре, показала су да иако у њему постоје две фазе на почетку његовог формирања (не узимајући у обзир воду и шупљине) на крају се добија један систем са подједнаким карактеристикама у свим тачкама запремине. Једно од простијих објашњења ове појаве јесте и то да се за израду бетона користе природни материјали, тј. користи се камен као сферни укључак и цемент (који се такође добија од камена, али друге врсте) као матрица. Тако остаје да се изврши прорачун само двофазне

средине, тј. влакнастог композитног материјала, и то његовог модула еластичности коришћењем израза /5/.

Са овако дефинисаним новим конструкционим материјалом, чије се карактеристике лако могу израчунати, и од кога се могу добити потребне карактеристике, приступило се конструисању носеће конструкције машина за обраду деформисањем.

Носеће структуре, чији су основни задатаци да приме и уравнотеже радна и друга оптерећења, којима је изложена машина при раду, и да обезбеде при томе потребан однос алат - предмет обраде, по свом конструктивном облику могу бити затвореног и отвореног типа. Затворене носеће конструкције, које су предмет анализе овог рада, деле се на једноделне и вишеделне, као што је приказано на сл. 1.



Слика 1. Једноделна и вишеделна затворена носећа конструкција

Коначно обликовање и димензионисање носеће структуре спроводи се на основу идентификације напонског и деформационог стања при максимално дозвољеном оптерећењу. Оптерећење може бити статичког и динамичког карактера, а напонско и деформационо стање под тим оптерећењем одређује се познатим законима статике и динамике.

Статички модели носећих конструкција, који су уведени ради одређивања напонског и деформационог стања, добијају се на следећи начин:

а) модел 1 - свођењем једноделне носеће структуре на затворени оквир ABCD, који се примењује за носеће структуре у којима је крутост радног стола, стубова и траверзе истог или приближно истог реда;

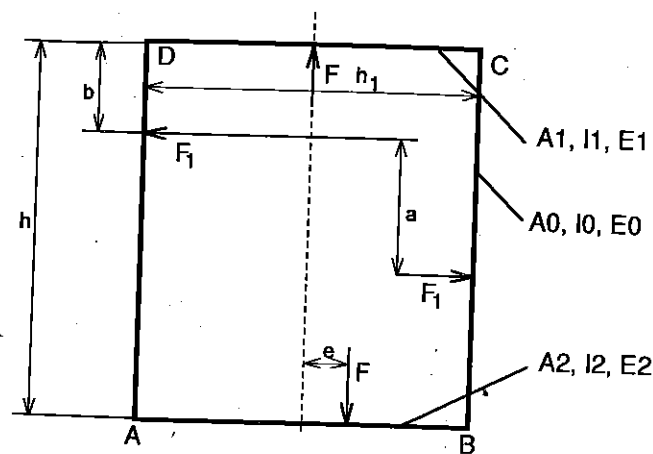
б) модел 2 - свођењем вишеделне носеће структуре на затворени оквир ABCD, чији се елементи повезују у једну целину преднапрегнутим елементима и чије су крутости истог или приближно истог реда;

в) модел 3 - свођењем као под а) само што су крутости траверзе и радног стола знатно веће од крутости стубова;

г) модел 4 - свођењем као под б) само што су крутости траверзе и радног стола знатно веће од крутости стубова;

Подваријанта модела 1 и 2 јесте случај када је носећа структура једноделна, али се користе виши за преднапрезање.

Распоред оптерећења на један од модела са потребним димензијама потребним за прорачун има облик као на сл. 2.



Слика 2. Приказ апроксимативног модела једноделне затворене носеће конструкције

У свим овим моделима узета је у обзир потребна количина арматуре, али у овом раду није дат утицај њеног распореда и облика унутар бетонске матрице.

Као посебни случајеви прорачунате су носеће структуре са стубовима од челичних профила и може се рећи да је ово прелазно решење које има предности у конструисању носећих структура машина са нестабилним режимом рада, тј. где су одступања симетричности алата већа.

3.0 ИЗБОР ОПТИМАЛНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

За лакши рад на прорачуну затворене носеће структуре, у оба облика извођења, направљен је програм, преко кога, путем промене појединих утицајних величина се долази до најбољег конструктивног решења носеће структуре.

Како се ради о композитном материјалу гвожђе - бетон, примењеном на конкретно димензионисаној носећој структури (са свим потребним величинама) и конкретним оптерећењем (које је у овом раду узето од 100 kN), то су могуће варијанте конструктивних решења тражене путем промене величина као што су:

- дужина вођице,
- растојање вођице од траверзе,
- ексцентритет дејства радне силе,
- површине попречних пресека траверзе, стубова и радног стола.
- концентрација влакнастих укључака (арматуре) у матрици (бетону) од које су израђени траверза, стубови и радни сто,

Као први случај испитивања јесте испитивање оптерећене носеће структура без ексцентричног дејства радног оптерећења. Као главна последица тога изостаје дејство хоризонталне силе на стубове, али се ипак на месту дејства радног оптерећења добијају високи напони. Може се рећи да се ови напони

налазе у области дозвољених напона, како за гвожђе као армирајуће средство тако и за бетон као слабији материјал у овој вези. Стубови у овом случају носе мали део оптерећења, или боље речено у њима нема сложеног напрезања па нема ни великих напона. С друге стране они су изложени само истезању што је неповољније за бетон, јер се зна да он не трпи већа истезања. Надаље ће све варијанте конструкција бити испитиване са ексцентритетом, као неповољнији случај, који је у пракси непожељан, али увек постоји.

У другом случају вршена је промена величине дужине вођице. Може се рећи да је већа дужина вођице критичнија, јер су тада напони у стубовима врло велики. Мање дужине дају мање напоне у критичним пресецима, али је стабилност конструкције већа. Из тих разлога у даљим варијантама узета је средња мера дужине вођице код једне овакве конструкције.

За једну овакву дужину вођица најповољнији њен положај јесте на средини конструкције. Међутим, у току рада неповољни тренуци могу да се јаве, у зависности од величине обрађиваног комада, на већем или мањем растојању од средњег. Машина, односно носећа конструкција мора бити димензионисана за те, критичне случајеве, а уједно нам шири распон кретања вођице од средњег до критичног положаја, даје већу флексибилност машине у смислу рада са различитим величинама предмета обраде.

Са овако дефинисаним, критичним, величинама приступило се изналажењу најпогоднијег састава композитног материјала гвожђе - бетон. Ту се пратио утицај количине арматуре и то кроз равномерно и неравномерно повећање концентрације у стубовима, траверзи и радном столу.

По првом случају, када је концентрација повећана од 2% до 4% уочено је да долази до незнатног смањења критичних напона. Мора се још рећи да иако критични напони остају незнатно промењени, композитни материјал гвожђе - бетон има већу носивост, јер бетон задовољава критичне напоне, а гвожђе због веће количине може много веће оптерећење да поднесе.

У другом случају, повећањем концентрације арматуре у бетону, и то више у стубовима него у траверзи и радном столу добијају се критичније вредности напона него у супротном случају, када је концентрација арматуре у стубовима мања од концентрације истог у радном столу и траверзи. Разлог томе јесте крутост тих елемената. Наиме, још у подели носећих конструкција по моделима речено је да је крутост елемената носеће конструкције важна, у смислу да повећана крутост радног стола и траверзе у односу на стубове даје већу крутост целе конструкције, мања оптерећења у стубовима, а код великих разлика крутости нека оптерећења се и занемарују.

Досадашња анализа односила се на једноделне структуре.

Код вишedelних структура имамо другачији распоред напона по конструкцији. Наиме, услед преднапрезања, које је неопходно за спајање делова носеће конструкције, долази до напона на притисак у стубовима. Након оптерећења конструкције радним оптерећењем долази до растерећења стубова од притиска уз мале напоне на савијање, а у траверзи и радном столу јавља се чисто савијање. Композитни материјал гвожђе - бетон врло добро подноси овакав распоред напона, па можемо рећи да је ова врста конструкција погоднија од претходне за случај када се користи композитни материјал гвожђе - бетон.

4.0 ЗАКЉУЧАК

Разматрајући све моделе и расподелу напона у њима за дато оптерећење, и узимајући у обзир понашање композитног материјала гвожђе - бетон за поједине врсте напрезања, дошло се до закључка о оптималном решењу.

Пошто се вијци у једноделним конструкцијама могу користити за повећање крутости а у вишеделним да носе целокупно оптерећење, пожељно је конструисати такву једноделну носећу структуру у којој би део оптерећења носили вијци, а од тренутка када је радно оптерећење веће од силе петходног притезања тих вијака да они и носећа конструкција носе одговарајући део оптерећења. Тај део оптерећења био би сразмеран крутости вијака и стубова носеће конструкције, а то значи да би бетон био изложен мањим напонима на истезање које иначе врло слабо подноси.

То значи да би носећа конструкција, машине за обраду деформисањем, од композитног материјала гвожђе - бетон би била оптерећена наизменично променљивим оптерећењем са мањом амплитудом, тј. са већи опсегом радног оптерећења; затим би имала већу крутост и стабилност у раду а самим тим и бољи квалитет обраде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богдан Ђирковић, Компаративне статичко - динамичке карактеристике носеће структуре преса од влакнастог, ламеластог и дисперзно ојачаног композита, Магистарски рад, Ниш, 1995.
2. Душанка Вукићевић, Носеће структуре машина у технологијама пластичности од композитних материјала, 24. Саветовање производног машинства југославије, Нови Сад, 1992.
3. Душанка Вукићевић, Предраг Јанковић, Могућност замене металних легура, као градивног материјала, композитима у изради у носећих структура
4. Д. Вукићевић, Д. Петковић, П. Благојевић, П. Јанковић, Армирано бетонска носећа структура пресе - математичко моделирање и начин армирања, ЈУРИТЕР конференција, Београд, 1994.

SELECTION OF OPTIMAL CARRYING CONSTRUCTION OF PRESS MADE OF COMPOSITE MATERIAL IRON - CONCRETE

It is known that press carrying structure, like every machine part, is defined by shape, dimensions and material made of. Properties of material are very important for properties of whole constructions.

This Paper deals with theoretical analyses of presses' carrying constructions (opened and closed) made of new composite material iron-concrete. Selection of the optimal construction is made considering different proportionate of components (armature and concrete).



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

S. Janković¹

KVALITET OBRADE POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Rezime

Pri obradi polimernih kompozitnih materijala, pojam kvaliteta obrade je proširen u odnosu na obradu metala. Za sada ne postoje opšte prihvaćeni standardi mernih tehnika i karakteristični pokazatelji kvaliteta. U radu su navedene zavisnosti hrapavosti obrađene površine od elemenata režima rezanja, za različite metode obrade. Posebno je razmotren kvalitet obrade pri bušenju polimernih kompozitnih materijala.

1. UVOD

Polimerni kompozitni materijali visoke čvrstoće se koriste pri izradi konstrukcija i elemenata mašina, izloženih mehaničkom opterećenju. Sve više se šire oblasti primena polimernih kompozitnih materijala u tehnici, usled male težine, povišenih mehaničkih karakteristika i specifičnih fizičkih svojstava.

Proizvodi od polimernih kompozitnih materijala se izrađuju uglavnom u konačnom obliku (presovanjem, namotavanjem i dr.). Završna obrada je neophodna da bi se ostvarila zahtevana tačnost, kvalitet površine i konačan oblik proizvoda. Znanja i iskustva prikupljena pri obradi metala i legura metala, ne mogu da se koriste pri obradi polimernih kompozitnih materijala. Proces obrade polimernih kompozitnih materijala se suštinski razlikuje od procesa obrade metala, zbog nehomogenosti, anizotropije i specifičnih fizičko-mehaničkih svojstava materijala (relativno niska tvrdoća, izuzetno niska toplotna provodnost). Pod dejstvom mehaničkih i termičkih naprezanja u toku procesa obrade, dolazi do: destrukcije polimera, smanjenja čvrstoće polimernog kompozitnog materijala i povećanog apsorbovanja vlage [1].

2. SPECIFIČNOSTI KVALITETA OBRADE POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Obrada polimernih kompozitnih materijala rezanjem, znatno utiče na promenu svojstava površinskog sloja. Skidanjem sloja polimernog veziva koji ima zaštitnu funkciju i presecanjem armirajućih vlakana, narušava se integritet površinskog sloja, a čvrstoća proizvoda od polimernog kompozitnog materijala se smanjuje (do 20%). Smanjenje čvrstoće je minimalno, pri srednjoj visini neravnina $R_z=6-20\mu\text{m}$ [1].

¹ mr Sanja Janković, dipl. maš. inž., asistent, Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd

Pri obradi polimernih kompozitnih materijala rezanjem, usled velike kontaktne površine alata i visokih temperatura u zoni rezanja, neizbežno dolazi do mehaničke i termodestrukcije polimernog veziva. Između alatnog materijala i polimernog veziva, pobuđuje se mehanohemijski proces i povećava kinetička aktivnost sistema. U toku ovog procesa stvaraju se slobodni radikali. Katalitično dejstvo metala na polimerno vezivo, produbljuje proces destrukuiranja makromolekula. Eksperimentalno je utvrđeno da se u zoni rezanja odvijaju intenzivni oksidacioni procesi, koji potpomažu proces destrukcije polimera. Dubina defektnog površinskog sloja, posle obrade polimernog kompozitnog materijala, iznosi 35-420 μ m [1]. Destruktuiran, dispergovan sloj na površini izratka menja njegove eksploatacione pokazatelje (naročito, otpornost na habanje).

Pojam kvaliteta obrade u odnosu na obradu metala je proširen, zato što je potrebno opisati i karakteristične defekte površine polimernih kompozitnih materijala (prskotine, raslojavanje, izvlačenje vlakana iz matrice i termičko oštećenje matrice). Na površinskim slojevima ugljenoplastika dolazi do krzanja materijala i rasprskavanja vlakana, usled niske savojne čvrstoće ugljeničnih vlakana. Ovi defekti su više izraženi u podnožnom sloju materijala.

Zbog nehomogene strukture polimernih kompozitnih materijala, otežano je merenje hrapavosti obrađene površine, tačnosti mera i tačnosti oblika površina. Neki površinski defekti se vizuelno procenjuju. Kvalitet obrađene površine se najčešće određuje preko hrapavosti (srednje visine neravnina - R_z) i maksimalne širine oštećenja površinskog sloja (b_0), normalnog na osu alata [2].

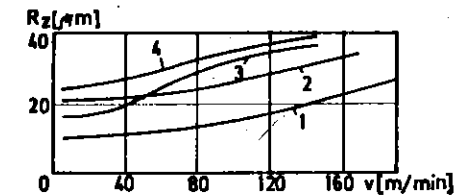
3. HRAPAVOST OBRAĐENE PVRŠINE POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Merenje hrapavosti obrađene površine polimernog kompozitnog materijala nije pouzdano kao merenje hrapavosti metala, zato što se zbog izbočenih vlakana mogu dobiti netačni rezultati ili velike varijacije očitanih vrednosti. Dodatne greške se javljaju, ukoliko se vlakna izvučena iz matrice (pojava karakteristična za organoplastike) zakače za vrh mernog pipka. Profilografom se meri hrapavost obrađene površine ugljenoplastika i stakloplastika, a za merenje hrapavosti obrađene površine organoplastika se koristi indirektan metod (skidanjem otisaka). Rezultat merenja hrapavosti zavisi od putanje mernog pipka u odnosu na pravac orijentacije vlakana.

Hrapavost obrađene površine polimernih kompozitnih materijala zavisi od velikog broja faktora, od kojih su najvažniji: fizičko-mehanička svojstva materijala obratka, međusobni raspored armirajućih vlakana, elementi režima obrade, geometrija alata, stanje alata (stepen zatupljenja), metod obrade, dinamičko ponašanje obradnog sistema, primena sredstva za hlađenje i dr. Ukoliko se materijal obrađuje alatom optimalne geometrije, na određenoj mašini, moguće je minimizirati faktore koji utiču na parametre hrapavosti. To su elementi režima obrade rezanjem (brzina rezanja, korak i dubina rezanja). Razrađene su tehnološke preporuke elemenata režima rezanja, pri kojima se ostvaruje potrebna klasa hrapavosti obrađene površine.

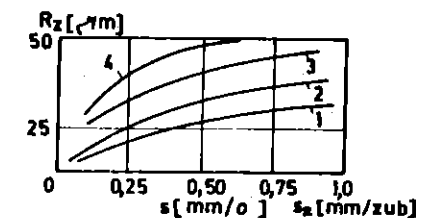
Zavisnost hrapavosti obrađene površine od brzine rezanja pri struganju, glodanju i bušenju stakloplastika, prikazana je na slici 1. Obrada se izvodila bez hlađenja, korišćen je alat od tvrdog metala (K30), optimalne geometrije. Povećanjem brzine rezanja neznatno se

povećava hrapavost obrađene površine. Pri struganju stakloplastika, brzina rezanja je povećana tridesetpet puta a srednja visina neravnina (R_z) tri puta [1].

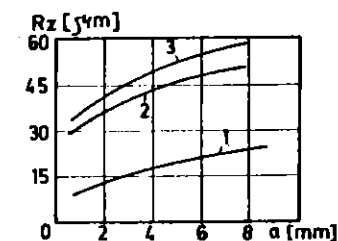


Slika 1. Zavisnost hrapavosti obrađene površine stakloplastika od brzine rezanja, pri: 1- struganju ($a=0.5$ mm; $s=0.03$ mm/o), 2 - glodanju u pravcu normalnom na pravac orijentacije vlakana ($a=0.1$ mm; $s_z=0.1$ mm/zub), 3 - bušenju ($D=20$ mm; $s=0.217$ mm/o), 4 - glodanju u pravcu orijentacije vlakana ($a=0.1$ mm; $s_z=0.1$ mm/zub).

Korak i dubina rezanja imaju veći uticaj na hrapavost obrađene površine (slika 2, slika 3). Povećanjem koraka i dubine rezanja, skoro se proporcionalno povećava hrapavost obrađene površine.



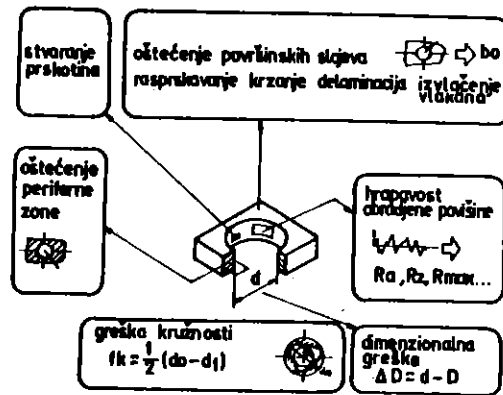
Slika 2. Zavisnost hrapavosti obrađene površine stakloplastika od koraka, pri: 1 - glodanju u pravcu orijentacije vlakana ($v=8$ m/min; $a=0.1$ mm), 2- struganju ($v=73$ m/min; $a=0.5$ mm), 3 - glodanju u pravcu normalnom na pravac orijentacije vlakana ($v=8$ m/min; $a=0.1$ mm), 4 - bušenju ($v=13$ m/min; $D=20$ mm).



Slika 3. Zavisnost hrapavosti obrađene površine stakloplastika od dubine rezanja, pri: 1- struganju ($v=8$ m/min; $s=0.03$ mm/o), 2 - glodanju u pravcu orijentacije vlakana ($v=8$ m/min; $s_z=0.1$ mm/zub), 3 - glodanju u pravcu normalnom na pravac orijentacije vlakana ($v=8$ m/min; $s_z=0.1$ mm/zub).

4. KVALITET OBRADE PRI BUŠENJU POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Na slici 4. su prikazani pokazatelji kvaliteta obrade, pri bušenju polimernih kompozitnih materijala. Dimenzionalna tačnost se procenjuje preko odstupanja ΔD , koje predstavlja razliku prečnika otvora i prečnika alata. Da bi se ostvarila potrebna tačnost otvora, neophodno je izabrati burgiju s određenim geometrijskim parametrima i određene elemente režima obrade. Na tačnost otvora utiče radijalno bacanje burgije i glavnog vretena mašine alatke. Ukoliko se obrada bušenjem izvodi primenom konduktorske ploče, smanjuju se radijalna bacanja, što utiče na povećanje tačnosti otvora [1], [5]. Tačnost oblika otvora se definiše preko greške kružnosti f_k .



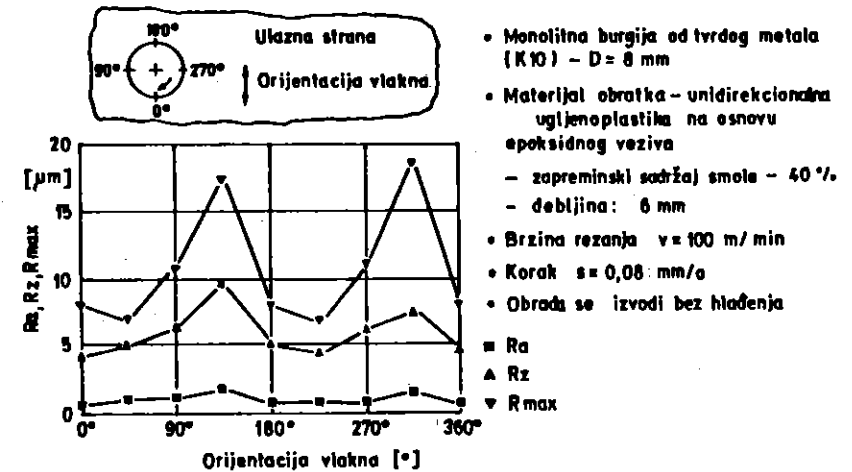
Slika 4. Pokazatelji kvaliteta pri obradi polimernih kompozitnih materijala bušenjem [6].

Delaminacija polimernih kompozitnih materijala predstavlja odvajanje površinskih slojeva obratka. Različiti temperaturni koeficijenti linearnog širenja matrice i vlakana, mogu uticati na pojavu delaminacije. Kod slojevitih polimernih kompozitnih materijala, prskotine se stvaraju između pojedinih slojeva.

Ukoliko se pri obradi polimernih kompozitnih materijala koriste burgije sa nepravilno izabranim geometrijskim parametrima ili burgije kod kojih je habanje po leđnoj površini veće od dopuštenog habanja, kvalitet obrađene površine je nezadovoljavajući. Na podnožnom sloju obratka dolazi do krzanja, rasprskavanja ili delaminacije. Zbog toga se ispod polimernog kompozitnog materijala postavlja podmetač, koji je obično izrađen od aluminijuma [1], [4], [5].

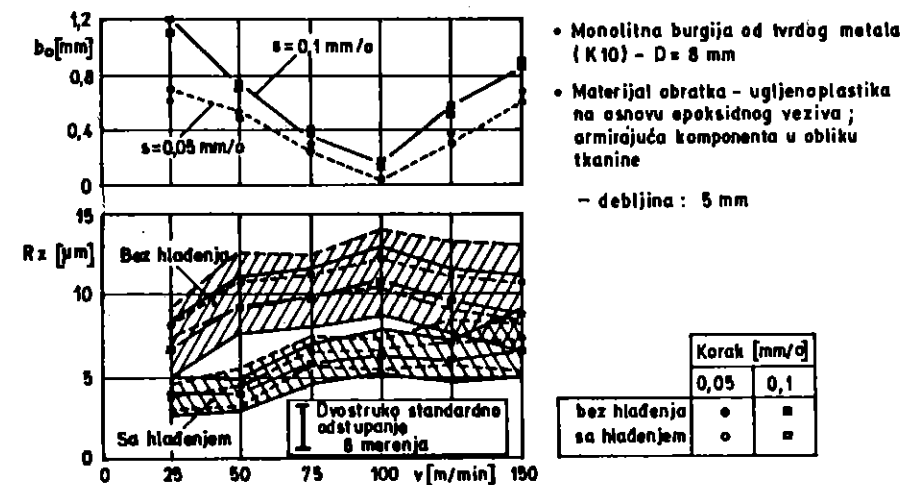
Mera unutrašnjih oštećenja obratka je širina oštećene zone. Unutrašnja oštećenja nastaju usled termičkih uticaja i mogu se otkriti destruktivnim metodama.

Veličine parametara hrapavosti (R_a, R_z, R_{max}) zavise od pravca orijentacije vlakana. Na slici 5. je prikazana zavisnost parametara hrapavosti od orijentacije vlakana, pri bušenju unidirekionalne ugljenoplastike. Maksimalna hrapavost obrađene površine se ostvaruje, pri pritiskom opterećenju vlakana, pod uglom od 45° (koji u ovom slučaju iznosi 135° i 315°). Slojeviti polimerni kompozitni materijal se sastoji od nekoliko slojeva, u kojima su vlakna orijentisana pod različitim uglovima. Za jedan obrt burgije, svako vlakno se preseče najmanje dva puta. Zbog toga se, pri opisivanju kvaliteta obrađene površine, usvaja srednja vrednost nekoliko izmerenih vrednosti hrapavosti (na slučajno odabranim mestima) [2].



Slika 5. Uticaj orijentacije vlakana na hrapavost obrađene površine, pri bušenju ugljenoplastike

Kod unidirekcionalnih polimernih kompozitnih materijala, sa povećanjem koraka dolazi do povećanja hrapavosti obrađene površine. Uticaj koraka je znatno manji pri obradi polimernih kompozitnih materijala sa armirajućom komponentom u obliku tkanine. Hrapavost obrađene površine se neznatno povećava sa promenom brzine rezanja i koraka, a smanjuje se primenom sredstva za hlađenje (slika 6.). Sredstvo za hlađenje ne utiče samo na smanjenje srednje visine neravnina (R_z), nego i na smanjenje standardnog odstupanja izmerenih vrednosti hrapavosti. Mala vrednost maksimalne širine oštećenja površinskog sloja (b_0) se dobija, pri određenom opsegu brzine rezanja. Primena sredstva za hlađenje ne utiče na vrednost maksimalne širine oštećenja površinskog sloja (slika 6.) [2].



Slika 6. Uticaj brzine rezanja i primene sredstva za hlađenje na hrapavost obrađene površine i širinu oštećenja površinskog sloja, pri bušenju ugljenoplastika.

5. ZAKLJUČAK

Rezultati merenja tačnosti oblika otvora, hrapavosti obrađene površine i profili odstupanja oblika otvora pri obradi unidirekionalne ugljenoplastike, navedeni su u izvoru literature [7]. Može se zaključiti da je pri obradi bušenjem, potrebno koristiti pomoćni pribor (izrađen najčešće od aluminijuma) odgovarajuće konstrukcije, kako ne bi došlo do pojave karakterističnih defekata. Pri obradi polimernih kompozitnih materijala burgijama izrađenim od supertvrdih alatnih materijala (polikristalni dijamant, kubni nitrid bora), ne javljaju se karakteristični defekti površine. U stranoj literaturi i u literaturi na našem jeziku nema sistematizovanih podataka o obradi rezanjem novih materijala. Neophodno je ispitati obradljivost polimernih kompozitnih materijala i razraditi normative režima rezanja za različite metode obrade.

6. LITERATURA

- [1] Stepanov, A. A., Obrabotka rezaniem visokopročnih kompozicionih polimernih materialov, Mašinstroenie, Leningrad, 1987.
- [2] König, W., Wulf, Ch., Grass, P., Willerscheid, H., Machining of Fibre Reinforced Plastics, Annals of the CIRP, Vol. 34/2 (1985), pp. 537-548.
- [3] König, W., Grass, P., Bohr-und Fräswerkzeuge für faser verstärkte Kunststoffe, VDI-Z, 128(1986)3, 71-75.
- [4] König, W., Grass, P., Schmitz-Justen, C., Heintze, A., Okcu, F., Neue Entwicklungen beim Bohren und Trennen von faserverstärkten Kunststoffen, ZWF80, 1985(1), 25-31.
- [5] Rudnev, A. V., Korolev, A. A., Obrabotka rezaniem stakloplastikov, Mašinstroenie, Moskva, 1969.
- [6] König, W., Grass, P., Quality Definition and Assessment in Drilling of Fibre Reinforced Thermosets, Annals of the CIRP, Vol. 38/1(1989), pp.119-124.
- [7] Janković, S., Obradljivost polimernih kompozitnih materijala visoke čvrstoće, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1993.

S. Janković

QUALITY STANDARDS FOR MACHINING FIBRE REINFORCED PLASTICS

For the machining of Fibre Reinforced Plastics the content of the notion "quality" has to be enlarged as compared to metal working. At present, commonly accepted standards of measurement techniques and characteristic indices do not exist. The paper brings functions between average surface roughness and the cutting parameters, for different mechanical techniques. Quality standards for drilling Fibre Reinforced Plastics are discussed special.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Predrag Janković¹
Mr Bogdan Ćirković²
Mr Predrag Blagojević³
Dr Dušan Petković⁴
Dr Dušanka Vukićević⁵

VLAKNASTI KOMPOZITI KAO GRADIVNI MATERIJALI U MAŠINOGRADNJI

Rezime

Cilj primene vlaknaste armature za ojačavanje krstost, a poboljšaju ostala mehanička svojstva čime bi se takav materijal učinio pogodnim gradivnim materijalom u mašinstvu.

U radu će biti prikazani rezultati ispitivanja svojstava vlaknastih kompozitnih materijala na bazi cementa i sintetičkih smola i mogućnosti njihove primene u mašingradnji.

1.0 UVOD

Poznato je da su u mašingradnji osnovni gradivni materijali metali i njihove legure, dobijeni livenjem i valjanjem. Statistički podaci ukazuju da oko 60% valjanih proizvoda crne metalurgije troši mašingranja, i da se pri tome cca 20% upotrebljenog metala pretvori u otpad pri njegovoj mašinskoj obradi.

Zbog izraženih, svakim danom sve većih potreba za metalnim materijalima i sve izraženijim zahtevima u pogledu svojstava materijala od kojih se izrađuju elementi mašina i mašinskih sistema, razvili su se novi veštački materijali i odgovarajuće tehnologije njihovog dobijanja. Pod novim materijalima se u ovom radu podrazumevaju i tretiraju kompozitni materijali, i to samo jedna njihova vrsta - vlaknasti kompoziti na bazi cementa i sintetičkih smola.

Kada su se početkom, ovog veka prvi put pojavile u industrijskoj proizvodnji plastične mase ojačane vlaknima, a to znači kompozitni materijali, koristili su se uglavnom - za izradu delova sekundarnog značaja, odnosno, delova koji nisu izlagani radnim opterećenjima, kao što su: razni zaštitnici, poklopci i sl.

¹Predrag Janković, Mašinski fakultet u Nišu

²Mr Bogdan Ćirković, Mašinski fakultet u Prištini

³Mr Predrag Blagojević, Gradjevinski fakultet u Nišu

⁴Dr Dušan Petković, Gradjevinski fakultet u Nišu

⁵Dr Dušanka Vukićević, Mašinski fakultet u Nišu

Medjuitm, danas su to materijali visokih svojstava i koriste se u izradi osnovnih, vitalnih elemenata mašina i uređaja - elemenata izloženih radnim opterećenjima. Zahvaljujući ovome otvorile su se mogućnosti korišćenja kompozita na bazi betona i na bazi plastičnih masa za izradu elemenata u mašingradnji, i to specijalno elemenata izraženih gabarita i masa. Pri ovome se postižu bolja ekonomičnost u korišćenju metala, jer se drastično smanjuje otpad, zatim snižuju troškovi cene proizvodnje elemenata, otvaraju mogućnosti da se teška mašingradnja oslobodi krupno gabaritnih proizvoda od metala i problema koji se javljaju pri obradi i njihovom transportu.

Otvaranje mogućnosti korišćenja betona za izradu mašinskih elemenata positže se njegovim armiranjem različitim vlaknima, čime se znatno poboljšavaju svojstva ovog materijala.

Isto tako, armiranjem plastičnih masa dobijaju se kompoziti veoma širokog spektra svojstava što je otvorilo mogućnost njihove primene u mašingradnji.

Proučavajući uticaj različitih vlakana na svojstva vlaknastih komozita na bazi betona i plastičnih masa dolazi se do spoznaje da se otvaraju velike mogućnosti dobijanja novih mašinskih materijala, i to materijala sa prognoziranim svojstvima, što čini ove materijale veoma interesantnim.

U vezi sa iznetim na Mašinskom i Gradjevinskom fakultetu u Nišu i mašinskom fakultetu u Prištini vrše se programirana i sistematizovana istraživanja u domenu vlaknastih kompozita na bazi betona i plastičnih masa sa kratkim i neprekidnim vlaknima, pa se neki rezultati ovih istraživanja prezentiraju u ovom radu.

2. KOMPOZITI NA BAZI BETONA

Podstaknuti ostvarenim rezultatima u zemlji u izradi postolja strugova, kao i ostvarenih rezultata u inostranstvu u izradi nosećih struktura mašina statičkog dejstva za obradu materijala deformisanjem - presa velikih nominalnih sila, posvećena je posebna pažnja teorijskom izučavanju kompozita na bazi betona armiranog kratkim i neprekidnim vlaknima. Eksperimentalna istraživanja vršena su kako na ekpseimentalim epruветama tako i na dva modela zatvorene noseće strukture prese, i to: model jednodelna noseća struktura zatvorenog tipa i model višedelne zatvorene noseće strukture sa prednapregnutim vijcima, čija je fotografija sa ispitivanja data na Slici 1.



Slika 1. Model noseće struktura od armiranog betona

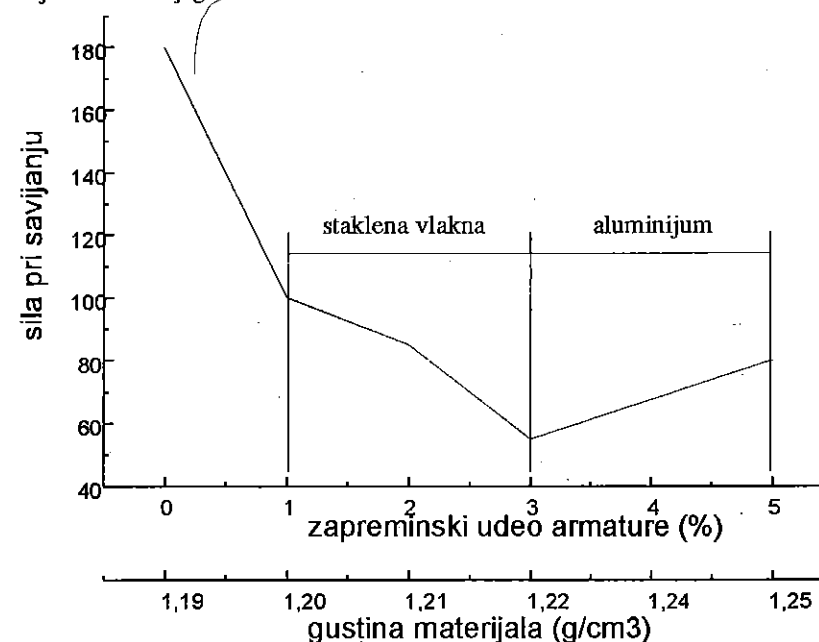
Vršena eksperimentalna ispitivanja su se odvijala do razaranja noseće strukture i rezultati ukazuju da se ovaj materijal može uspešno koristiti za izradu ovih elemenata.

Od interesa je istaći da neprekidna vlakna imaju značajnog uticaja na poboljšanje svojstava sa aspekta statičke i dinamičke stabilnosti, kao i čvrstoće, ali da kratka vlakna nisu značajnije poboljšala meritorna mehanička svojstva ovog materijala.

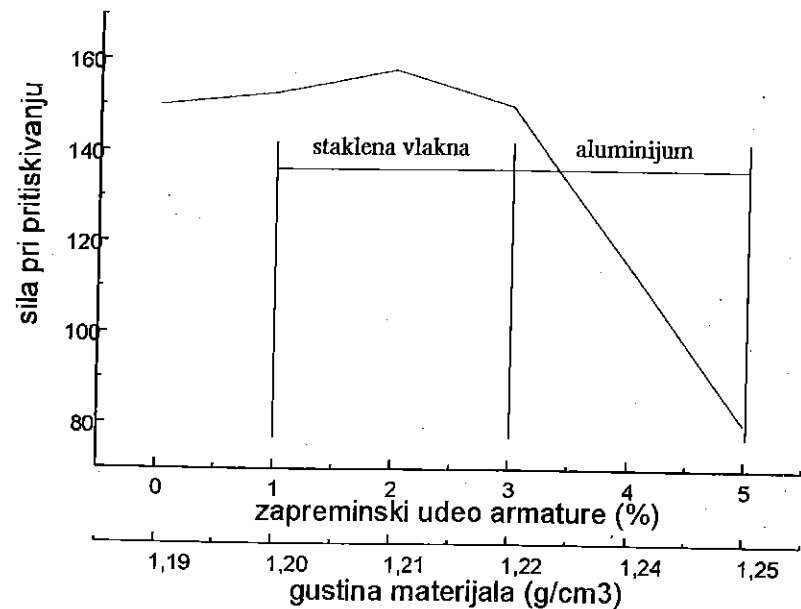
3. KOMPOZITI NA BAZI SINTETIČKIH SMOLA

Istraživanja u domenu kompizita na bazi sintetičkih smola sa kratkim vlaknima vršena su sa matricom na bazi poliestarskih smola i armaturom od krakih staklelnh vlakana izradjenih od E - stakla. Isitivanja su vršena na epruветama izradjenih od plastike bez aramtore i sa armaturom koju su činila staklena vlakna sa različitim zapreminskim sadržajima (1, 2 i 3%), kao i sa armatorom od uključaka aluminijuma dobijenih iz strugotine nakon obrade rezanjem.

Ispitivanja su vršena na opterećenje savijanjem i pritiskaivanjem. Rezultati ovih ispitivanja dati su u dijagramu na Slici 2.



Slika 2. Rezultati ispitivanja savijanjem



Slika 3. Rezultati ispitivanja pritiskivanjem

Na osnovi dobijenih rezultata ispitivanja se konstatuje da se neka mehanička svojstva kompozita sa malim procentom vlakana izraženo smanjuju (čvrstoća na savijanje), dok se kod čvrstoće na pritisak pojavljuje mali porast vrednosti.

Ovako dobijeni rezultati ukazuju da kratka vlakna u malom procentu imaju negativan uticaj, odnosno, da se njihov uticaj svodi na greške u materijalu. Razlog ovome se može tražiti u izgledu prelomne površine jer je veliki procenat neprekinutih vlakana koja nisu izvučena iz matrice, što ukazuje da je na tom mestu došlo do odvajanja matrice od vlakna - odnosno došlo je do razdvajanja na dodirnoj površini.

Ovaj fenomen ukazuje da se malim procentom lako savitljivih kratkih vlakana smanjuju neka svojstva, naročito na istezanje kompozitnog materijala, a što je posledica savijanja lako savitljivih vlakana, nekontrolisanog rasporeda, pa u osnovnom materijalu njihov uticaj je više negativan nego pozitivan.

Od interesa je istaći i sledeće objašnjenje ovakvog fenomena [2]. U slučaju kratkih vlakana, čiji je zapreminski udeo mali, veza između matrice i vlakana najčešće se raskida na čelu vlakana onda kada naprezanje u vlaknima dostigne čvrstoću adhezije (σ_A). Pri tome je deformacija kompozita jednaka:

$$\frac{\sigma_A}{E_V} = \epsilon = \frac{\sigma_k}{E_V \cdot V_V}$$

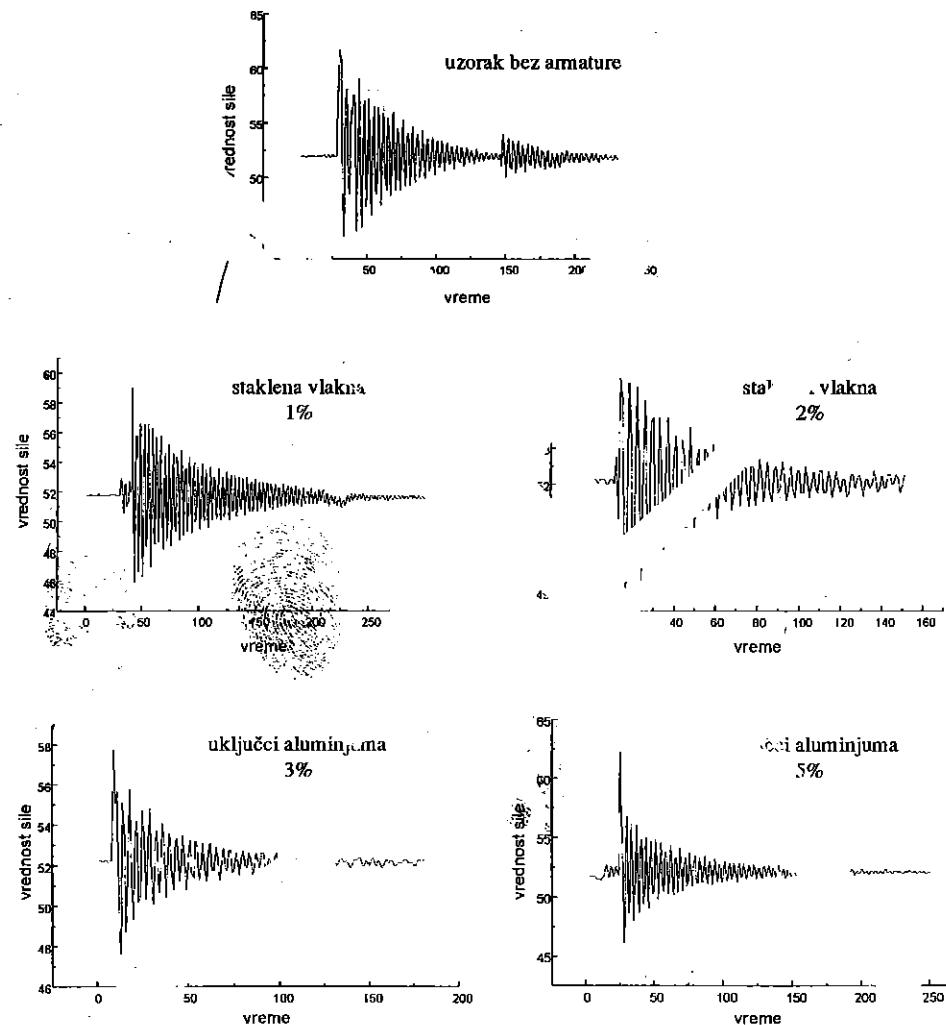
gde je:

- σ_k - čvrstoća kompozita,
- E_V - modul elastičnosti vlakana,
- V_V - zapreminski udeo vlakana.

Naprezanja u kompozitu u tom momentu su jednaka: $\sigma_A \cdot V_V$.

U korist ovakve pretpostavke govore neka zapažanja [2] iz kojih se vidi da modul elastičnosti kompozita sa polimernom matricom i kratkim staklenim vlaknima nepridno pada pri deformaciji i to sniženje počinje već pri malim vrednostima deformacije.

Takodje su sprovedena ispitivanja prigušenja oscilacija. Rezultati oživanja dati su na Slici 4.



Slika 4. Rezultati dobijeni ispitivanjem prigušenja oscilacija

Dobijeni rezultati ukazuju da sa porastom količine vlakana prigušujuća svojstva rastu.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega iznetog mogu se izneti sledeći zaključci:

1. Kompoziti na bazi betona za izradu nosećih struktura i njima sličnih elemenata, naročito velikih gabarita i masa, su veoma interesantan materijal, jer značajno utiče na dva meritoma faktora: pojednostavljenje izrade ovih elemenata i smanjenje cene njihovog koštanja.
2. Kompoziti na bazi sintetičkih smola su od interesa u proizvodnji širokog spektra mašinskih elemenata najrazličitijih oblika i dimenzija, pa je svako istraživanje u ovom domenu od velikog teorijskog i praktičnog značaja, i to naročito zbog toga što su na osnovu stvaranja pouzdanih pokazatelja odnosa matrica-vlakno moguća prognozirana svojstva kompozita.

LITERATURA

1. Bogdan Ćirković, dipl. ing.: Komparativno statičko-dinamičke karakteristike noseće strukture presa od vlaknastih, lamelastih i disperzno ojačanih kompozita. Magistarski rad, Niš, 1995.
2. Visokopročne materijali: A Keli, Mir, Moskva 1986.
3. Predrag Blagojević, dipl. ing. Prilog proučavanju graničnih stanja mikroarmiranog betona napregnutog na savijanje. Magistarski rad, Niš, 1996.

FIBER REINFORCED COMPOSITES AS BUILDING MATERIAL IN MACHINES MANUFACTURING

Summary

Aim of fiber composites is improvement of mechanical characteristics, which will bring to their use in machines manufacturing.

In this Article is shown some results of mechanical probes of fiber composites on cement and plastic base.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

P. Kovač *, M. Novović *, L. Šidanić *, S. Milićević **

UTICAJ MIKROSTRUKTURE NODULARNOG LIVA NA PROCES STVARANJA STRUGOTINE

Rezime:

Nodularni liv se veoma mnogo koristi u automobilske industriji, posebno za izradu kolenastih vratila gde zamenjuje tradicionalne čelične otkovke. Zbog velike mikrostrukturne osetljivosti, sve osobine nodularnog liva, uključujući i ponašanje pri obradi rezanjem su specifične. Pri obradi nodularnog liva, eksperimentalno je uočena pojava smicajne nestabilnosti. Ovakvo ponašanje je slično ponašanju pri rezanju nekih teško-obradljivih materijala. U procesu formiranja strugotine, grafitne nodule se intenzivno deformišu, po čemu se razlikuju od ponašanja pri konvencionalnim mehaničkim ispitivanjima.

UVOD

U mnogim analizama procesa rezanja, pri izučavanju fenomena koji se javljaju u zoni rezanja, prihvaćen je prilaz na bazi mehanike kontinuuma. Bez sumnje, najpoznatija analiza koja se zasniva na ovom konceptu je Merchant-ova [1]. Na osnovu široko prihvaćenog inženjerskog prilaza, Merchant je materijal obratka modelirao kao kontinuum, sa konstantnim naponom tečenja u toku rezanja. Od Merchant-ovog rada u ovom području, mnogi autori su razmatrali napon tečenja i proces deformisanja pri rezanju metala. U mnogim slučajevima materijal je posmatran kao kontinuum sa stabilnim deformacionim mehanizmom koji uzrokuje nastajanje kontinuirane strugotine. Kasnije analize procesa rezanja su, međutim, pokazale da diskontinuiteti mikrostrukture materijala imaju važnu ulogu u procesu nastajanja strugotine.

Mnogi istraživači su pokušavali da objasne ponašanje mikroprslina u mehanici rezanja. U tom cilju ispitivana je mehanika procesa stvaranja diskontinuirane strugotine u odnosu na ponašanje mikroprslina, kritični uslov za lom strugotine, dinamičko ponašanje mikroprslina, tj. stvaranje i rast mikrošupljina u toku rezanja [2-4]. Pri tome, najveći deo rezultata se odnosi na ispitivanje čelika.

Kod nodularnog liva, najizraženiji diskontinuitet u mikrostrukтури predstavljaju grafitne nodule. Pri konvencionalnim mehaničkim ispitivanjima nodularnog liva (zatezanje, pritisak, savijanje, ispitivanje udarnim opterećenjem), nodule služe kao mesta za stvaranje mikrošupljina. U procesu rezanja, međutim, grafitne nodule se u primarnoj i sekundarnoj zoni smicanja intenzivno deformišu, pretvarajući se u izdužene trake.

* Dr Pavel Kovač, vanr.prof.; Dipl.ing. Milorad Novović, asistent pripravnik;
Dr Laposava Šidanić, red.prof.;
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo,
21000 N. Sad, V. Perića Valtera 2

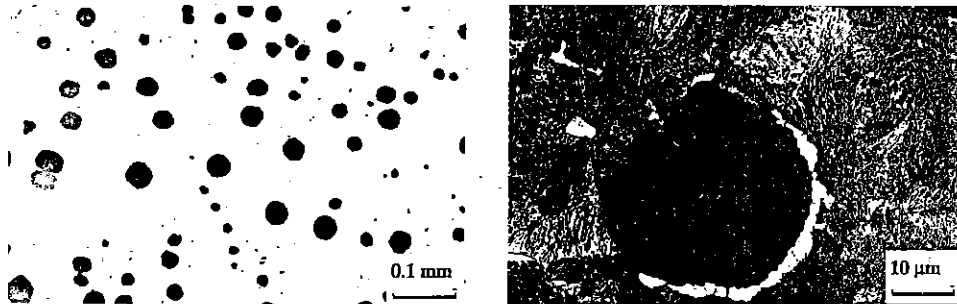
** Slavica Milićević, dipl.ing., "LIVNICA-KIKINDA", Kikinda

EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje su korišćeni uzorci perlitnog nodularnog liva oznake po JUS-u NL600 dobijeni isecanjem iz kolenastih vratila. Testovi rezanja izvedeni su na vertikalnoj glodalici snage 14 kW i univerzalnom strugu tipa Galeb snage 6 kW -proizvođač Pobjeda Novi Sad. Kao alat pri glodanju je korišćeno standardno valjčasto čeonno glodalo JUS K.D3.021 od brzoreznog čelika, prečnika 63 mm sa 8 zuba, presvučeno titan nitridom, a pri struganju strugarski nož za završnu obradu JUS K.C1.054 sa pločicom od tvrdog metala P20. Svi testovi su urađeni bez primene sredstva za hlađenje i podmazivanje, a uzorci korena strugotine su dobijeni primenom metode brzog zaustavljanja procesa rezanja, koja je razvijena od strane autora [5], a zasniva se na lomu obratka pod dejstvom sile rezanja. U toku eksperimenata primenom dinamometra tipa Kistler merena je promena komponente sile rezanja. Za mikrostrukturna ispitivanja, uz standardnu metalografsku pripremu uzoraka, korišćeni su Leitz-ov svetlosni mikroskop i JEOL JSM 35 skening elektronski mikroskop.

REZULTATI I DISKUSIJA

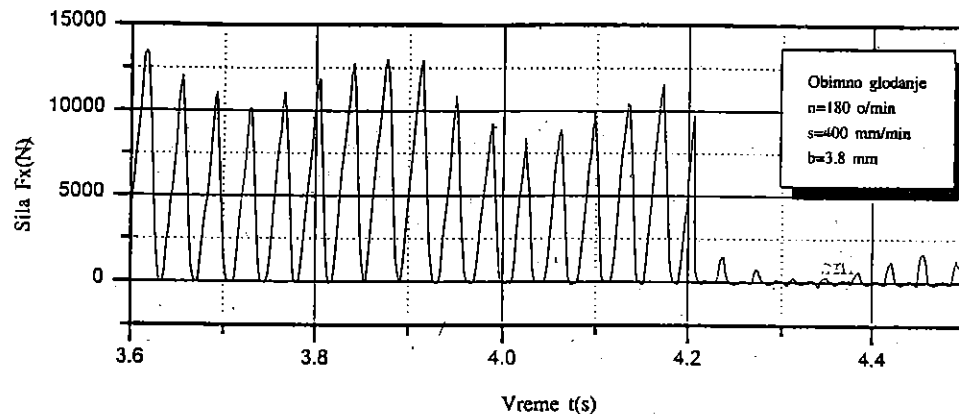
U svim ispitivanim uzorcima, oblik, veličina i raspored grafitnih nodula su ujednačeni. Prosečna veličina nodula je $35 \mu\text{m}$ uz prosečnu gustinu od 120 mm^{-2} i stepen sferoidizacije nodula veći od 90%, sl.1. Mikrostruktura metalne osnove je lamelarni perlit sa oko 10% zapremninskog udela slobodnog ferita i manje od 1% slobodnih karbida, sl.2.



Sl.1 Oblik, veličina i raspored grafitnih nodula

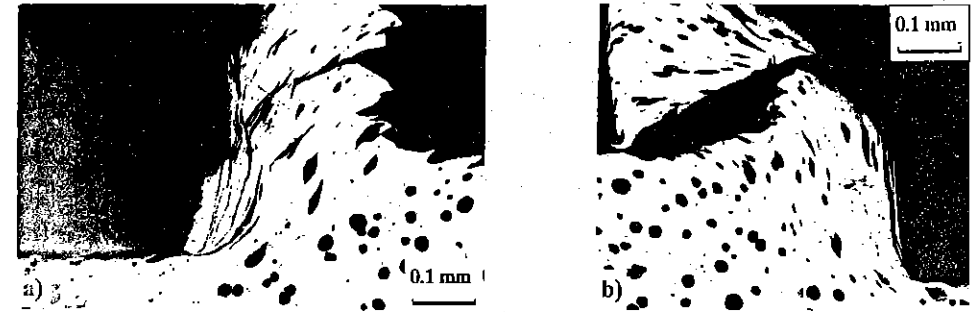
Sl.2 Mikrostruktura metalne osnove

Promena jedne komponente sile rezanja u trenutku nastajanja uzorka korena strugotine pri primeni metode brzog zaustavljanja procesa rezanja prikazana je na sl.3. Uočava se trenutni pad sile u momentu nastajanja uzorka što pokazuje da je proces rezanja "zamrznut".



Sl.3 Komponenta sile rezanja F_x u trenutku nastajanja uzorka korena strugotine

Uticaj režima rezanja (uzorak 1: brzina rezanja $v=66.6 \text{ m/min}$; dubina rezanja $\delta=4 \text{ mm}$ i pomak $s=0.507 \text{ mm/o}$; uzorak 2: brzina rezanja $v=66.6 \text{ m/min}$; dubina rezanja $\delta=4 \text{ mm}$ i pomak $s=0.640 \text{ mm/o}$) nodularnog liva na oblik i vrstu strugotine prikazan je na sl.4a,b. Kod uzorka 1, sl.4.a, nastala je diskontinuirana strugotina sa naslagom, a kod uzorka 2 diskontinuirana strugotina, sl.4.b.

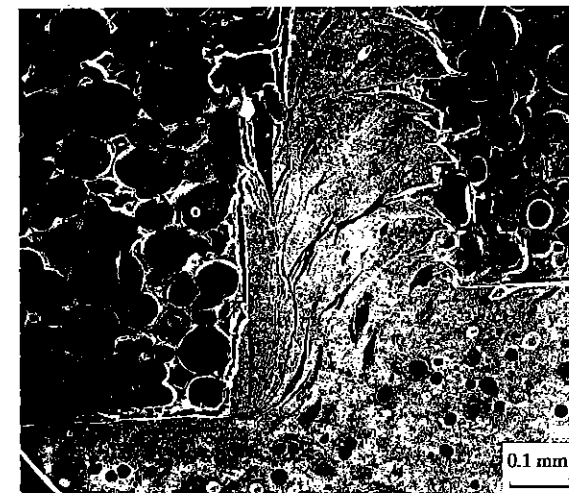


Uzorak 1

Uzorak 2

Sl.4 Mikrofotografije različitih oblika strugotine

Kod standardnih mehaničkih ispitivanja nodularnog liva, grafitne nodule se u metalnoj osnovi ne deformišu, ometaju deformisanje osnove, i predstavljaju mesta na kojima dolazi do stvaranja mikrošupljina [6]. U procesu rezanja se međutim, grafitne nodule intenzivno deformišu, a da pri tome ne dolazi do stvaranja mikrošupljina na graničnoj površini sa metalnom osnovom, sl.5. U zoni ispred vrha alata, jasno se uočavaju intenzivno deformisane grafitne nodule izdužene u pravcu ravni smicanja.



Sl.5 Koren strugotine

Grafitne nodule koje su se u procesu deformisanja pretvorile u izdužene trake mogu se uočiti i u formiranoj naslagi, sl.6, čiji jedan deo ostaje i na obradenoj površini, sl.7.



Sl.6 Izdužena grafitna nodula u nastazi



Sl.7 Ostaci nastage na obradenoj površini

Na osnovu izloženih rezultata može se konstatovati da se pri rezanju nodularnog liva odvijaju fenomeni koji su različiti od pojava pri rezanju konstruktivnih čelika. Predpostavlja se da se usled visoke temperature, u materijalu istovremeno i sa jednakim intenzitetom odigravaju procesi deformacionog ojačavanja i termičkog omekšavanja, usled čega pri nastajanju strugotine ne dejstvuje mehanizam stvaranja i rasta mikrošupljina, već se proces segmentacije strugotine pripisuje smicajnoj nestabilnosti. Ovakvo ponašanje materijala pri rezanju koje je karakteristično za teško-obradljive materijale (na primer, legure titana, superlegura na bazi nikla) označava se kao termomehanički model smicajne nestabilnosti [7].

ZAKLJUČAK

- u toku procesa nastajanja strugotine pri rezanju nodularnog liva, grafitne nodule se intenzivno deformišu, a da pri tom ne dolazi do stvaranja mikrošupljina na graničnoj površini grafitna nodula/metalna osnova, što se dešava kod konvencionalnih mehaničkih ispitivanja
- pri rezanju nodularnog liva režimima koji izazivaju nastajanje strugotine sa naslagom, usled velikog stepena deformacije grafitnih nodula i metalne osnove, naslaga se sastoji od naizmeničnih slojeva grafita i metalne osnove
- segmentacija strugotine pripisuje se smicajnoj nestabilnosti, što je slično ponašanju teško-obradljivih materijala

LITERATURA

- [1] M.E. Merchant, Trans. ASME, 66, (1944), p.65
- [2] Z.W. Chen, H.Z. Wu, M.D. Tan, H.N. Fu, Advances in Fracture Resistance and Structural Integrity, Elsevier Science Ltd., Oxford, (1994) p.651
- [3] P. Kovač, L. Šidānin, Investigation of Chip Formation During Milling, Proc. 13th Conf. Production Researches, Jerusalem, (1995) p.250
- [4] P. Kovač, L. Šidānin, Influence of Chip Formation on Machining Surface Integrity of Ductile Iron, Proc. 2nd International Conf. on Tribology, Solun, (1996) p.35
- [5] L. Šidānin, P. Kovač, Materials Science and Technology, (1996) in press
- [6] Z.K. Fan, R.E. Smallman, Scripta Metallurgica and Materialia, Vol.31, No.2, (1994) p.137
- [7] H. Zhen-Bin, R. Komanduri, Annals of the CIRP, 44, (1995) p.69

P. Kovač, M. Novović, L. Šidānin, S. Milićev

INFLUENCE OF DUCTILE IRON MICROSTRUCTURE ON CHIP FORMATION PROCESS

Summary:

Automobile crankshafts can be produced as either steel forgings or ductile iron castings. In the later case, because of high microstructure sensitivity, all properties including machining behaviour have to be specific. Shear instability was observed experimentally in the machining of ductile iron leading to produce quasi-continuous cyclic chip. This model is similar to that of difficult-to-machine materials such as titanium alloys. During the chip formation process, graphite nodules were found to be highly deformed without any void and crack nucleation on the graphite nodule/metal matrix interface. However, cracks can be initiated on the tip of highly deformed nodules which caused the discontinuous chip formation.



Marinković V., Nikolić J.*

MEHANIČKE I PLASTIČNE KARAKTERISTIKE NERĐAJUĆEG ČELIKA Č.4574

Rezime

U radu su dati rezultati ispitivanja mehaničkih i plastičnih karakteristika visokolegirano nerđajućeg čelika Č.4574. Pokazalo se da ispitivani materijal poseduje visoku deformabilnost, o čemu svedoče vrednosti nekih najvažnijih parametara ($n = 0,333$, $Re/Rm = 0,3$, $m = 0,474$, $r/s = 0,25$, $E > 12$).

Stvarna kriva ojačavanja datog materijala može se uspešno aproksimirati različitim stepenim funkcijama. Analitička aproksimacija dobijena statističkim putem, takođe malo odstupa od navedenih stepenih funkcija, odnosno od stvarne krive ojačavanja.

1. UVOD

Visokolegirani austenitni nerđajući čelik Č.4574 je našao široku primenu u hemijskoj, tekstilnoj i prehrambenoj industriji. Za razliku od nekih drugih visokolegiranih i nerđajućih čelika, ovaj čelik spada u grupu čelika, koji poseduju zadovoljavajuće mehaničke osobine i zavarivost, a visoku obradivost deformisanjem u hladnom stanju.

Iz navedenih razloga je izrada delova i uređaja od ovog čelika, primenom postupaka obrade deformisanjem u hladnom stanju, veoma racionalna.

2. ODREĐIVANJE MEHANIČKIH I PLASTIČNIH KARAKTERISTIKA

2.1. Epruvete za ispitivanje

Za određivanje mehaničkih i plastičnih karakteristika navedenog čelika korišćene su epruvete od lima, debljine 2,5 i 5 mm. Dimenzije epruveta izabrane su u skladu sa standardima JUS.C.A4.001 i JUS.C.A4.002. Korišćena su dva tipa epruveta: neproportionalne ($s = 2,5$ mm) i proporcionalne ($s = 5,0$ mm).

Uzorci za izradu epruveta isećani su pod uglovima 0°, 45° i 90° u odnosu na pravac valjanja lima (po dva uzorka za svaki pravac).

Za određivanje mehaničkih i plastičnih karakteristika korišćen je klasičan (standardni) opit istezanja limenih epruveta. Ove karakteristike su određene na poznati način, obradom snimljenih dijagrama sila-izduženje (napon-dilatacija) za svaku epruvetu.

2.2. Mehaničke karakteristike materijala

Rezultati ispitivanja su pokazali da sa povećanjem debljine lima rastu u izvesnoj meri svi karakteristični parametri materijala (osim zatezne čvrstoće i tvrdoće).

* dr Velibor Marinković, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu
Jugoslav Nikolić, dipl. ing., "NIKROOPREMA" DP, Paraćin

U tablicama T1 i T2 dati su hemijski sastav i najvažnije mehaničke karakteristike materijala, kao srednje vrednosti za date debljine loma. Odstupanja od srednjih vrednosti manja su od $\pm 5\%$.

T.1.

s	C	S _i	M _n	C _r	N _i	M _o	T _i	P	S
(mm)	(%)								
2,5 ÷ 5,0	0,07	0,95	1,75	18,00	11,50	2,00	0,425	0,035	0,020

T.2.

α	R _e	R _m	HB	ϵ_m	A	Z
(°)	(N/mm ²)		(daN/mm ²)	(-)	(%)	
0	218,405	591,480	247,5	0,3935	45,70	54,35
45	215,615	597,870	255,0	0,4060	47,05	57,05
90	229,225	593,815	255,0	0,3865	45,35	54,65
Srednje vrednosti	221,1	594,4	252,5	0,395	46,03	55,35

2.3. "r-faktor" i "n-faktor"

Koeficijent anizotropije ("r-faktor") ispitivanog materijala je različit u različitim pravcima u odnosu na pravac valjanja (Tablica T3, Sl. 1.).

Srednja (integralna) vrednost koeficijenta anizotropije, proračunata po poznatom obrascu iz literature [1], [2], [3], iznosi za ovaj materijal $\bar{r} = 0,9194$. Kako je u radu [4] pokazano, za najveći broj materijala, pa i za ovaj čelik, praktično ista vrednost se dobija primenom obrasca:

$$r_{sr} = (r_0 + 2r_{45} + r_{90})/4 \quad (1)$$

gde su:

r_0, r_{45}, r_{90} - koeficijenti anizotropije u pravcu valjanja lima ($\alpha = 0^\circ$), poprečno ($\alpha = 90^\circ$) i dijagonalno u odnosu na pravac valjanja lima ($\alpha = 45^\circ$).

Zato će se nadalje imati u vidu srednja aritmetička vrednost koeficijenta anizotropije, koja u ovom slučaju iznosi $r_{sr} = 0,919$.

Kada je reč o eksperimentu deformacionog ojačavanja ("n-faktoru") tada se ima u vidu aproksimacija stvarne krive ojačavanja materijala stepenim funkcijama oblika $K = C \cdot \varphi^n$. Ovaj se eksponent određuje po opštepoznatom obrascu:

$$n = \varphi_n = \ln(1 + \epsilon_m) \quad (2)$$

gde su:

φ_n, ϵ_m - logaritamska i relativna deformacija na kraju ravnomernog deformisanja (istezanja) epruvete.

T.3.

α	r	n
(°)	(-)	
0	0,734	0,3318
45	1,008	0,3407
90	0,928	0,3268
Srednje vrednosti	0,919 *)	0,333

*) Sračunato po obrascu (1)

Vrednosti "n-faktora" date su u tablici T3. Pokazalo se da vrednost i ovog faktora zavisi od pravca isecanja epruvete iz table lima.

U literaturi se mogu naći preporuke da se srednja vrednost "n-faktora" određuje po obrascu za proračun srednje vrednosti "r-faktora" [5], [6]. Tako dobijena srednja vrednost navedena je u tablici T3. ($n_{sr} = 0,333$). Praktično isti rezultat se dobija i primenom obrasca (2) (za $\bar{\epsilon}_m = 0,395$; v. tab. T2.).

2.4. Eriksenov broj i odnos izvlačenja

Sposobnost materijala da se obrađuje dubokim izvlačenjem procenjuje se različitim testovima. Jedan od najčešće primenjivanih testova u tekućoj proizvodnji još uvek je - Eriksenov test (opit).

Na osnovu nekoliko ponovljenih opita za svaku debljinu lima, konstruisan je dijagram $E = E(s)$ za dati materijal (Sl. 2.). S obzirom na visok Eriksenov broj ($E > 12 \text{ mm}$), može se smatrati da je čelik Č.4574 pogodan za obradu dubokim izvlačenjem (razvlačenjem) [5], [8].

Prema drugim testovima utvrđuje se granični (minimalni) odnos izvlačenja, koji se može postići u jednoj operaciji izvlačenja. S obzirom na to da je odnos izvlačenja najvažniji parametar za projektovanje tehnoloških postupaka obrade lima mora dubokim izvlačenjem, V. A. Averikijev [7] je na osnovu opširnih eksperimentalnih istraživanja utvrdio da se za čelične limove odnos izvlačenja može odrediti po sledećem polu-empirijskom obrascu:

$$m = 0,708 \cdot P^{-0,075} \quad (3)$$

gde je: P - "P-kriterijum".

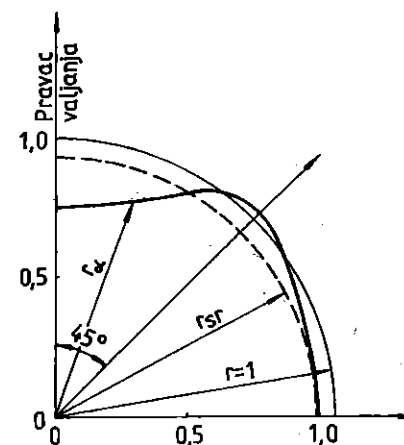
Za anizotropni i izotropni materijal vrednost "P-kriterijuma" se određuje po obrascima:

$$P = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{G+H}{F+G+H} \frac{n}{n+1}} e^n R_m \quad (4a)$$

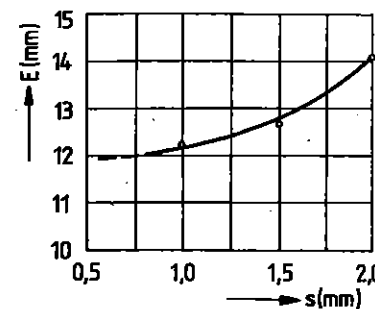
$$P = \frac{n}{n+1} e^n R_m \quad (4b)$$

gde su:

F, G, H - parametri anizotropije, koji se određuju po poznatim



Slika 1.



Slika 2.

obrascima iz literature [1], [3], [9], [11].

Primenom obrasca (4a) za dati materijal dobija se: $F = 210,26$, $m = 0,474$.

Sa dijagrama na slici 1. u radu [4], za $r_r = 0,919$ i koeficijent trenja $\mu = 0,1$ dobija se odnos izvlačenja $m \approx 0,47$. Navedene vrednosti su u saglasnosti sa podacima koji se mogu naći u literaturi ($m = 0,45 + 0,50$) za ovu vrstu materijala [1], [2].

Navedeni odnos izvlačenja je manji (numerički) od uobičajenih vrednosti za odnose izvlačenja u prvoj operaciji izvlačenja [8].

2.5. Minimalni radiju savijanja

Za operacije savijanja limova veliki značaj za praksu ima poznavanje minimalnog (graničnog) radijusa savijanja.

Za ispitivani materijal u opitima slobodnog savijanja ("U-profila") utvrđeno je da se prve (mikro) pukotine pojavljuju pri relativnom radijusu $r/s \approx 0,25$. Pri tome je savijanje vršeno poprečno u odnosu na pravac valjanja lima.

S obzirom na činjenicu da je minimalni relativni radijus savijanja za limove od visokougljeničnih i legiranih čelika znatno veći od navedene vrednosti ($r_{min}/s \geq 0,5 + 1$) [12], u konkretnom slučaju radi se o materijalu koji poseduje visoku obradivost deformisanjem u hladnom stanju.

2.6. Kriva ojačavanja

Za egzaktan proračun i racionalno projektovanje procesa obrade materijala deformisanjem (OMD) neophodno je poznavanje krivih ojačavanja.

Kao što je poznato, napred opisani standardni opit istezanja limenih epruveta može se iskoristiti za određivanje krive ojačavanja, pri čemu je domen primene tako dobijene krive ojačavanja ograničen na veličinu ravnomernog relativnog izduženja (ϵ_m).

U konkretnom slučaju izvedeno je 12 nezavisnih opita i snimljeno isto toliko dijagrama sila-izduženje, koji su zatim prevedeni u dijagrame napon-dilatacija. Na osnovu ovih dijagrama konstruisane su odgovarajuće stvarne krive ojačavanja za čelik Č.4574.

Utvrđeno je da se krive ojačavanja za različite pravce malo razlikuju. Zato su na slici 3. (u okviru) prikazane stvarne krive ojačavanja trećeg reda $K = K(\varphi)$ za različite debljine lima, kao i "srednja" kriva ojačavanja. Odstupanja pojedinih krivih ojačavanja od "srednje" krive ojačavanja iznose tek nekoliko procenata.

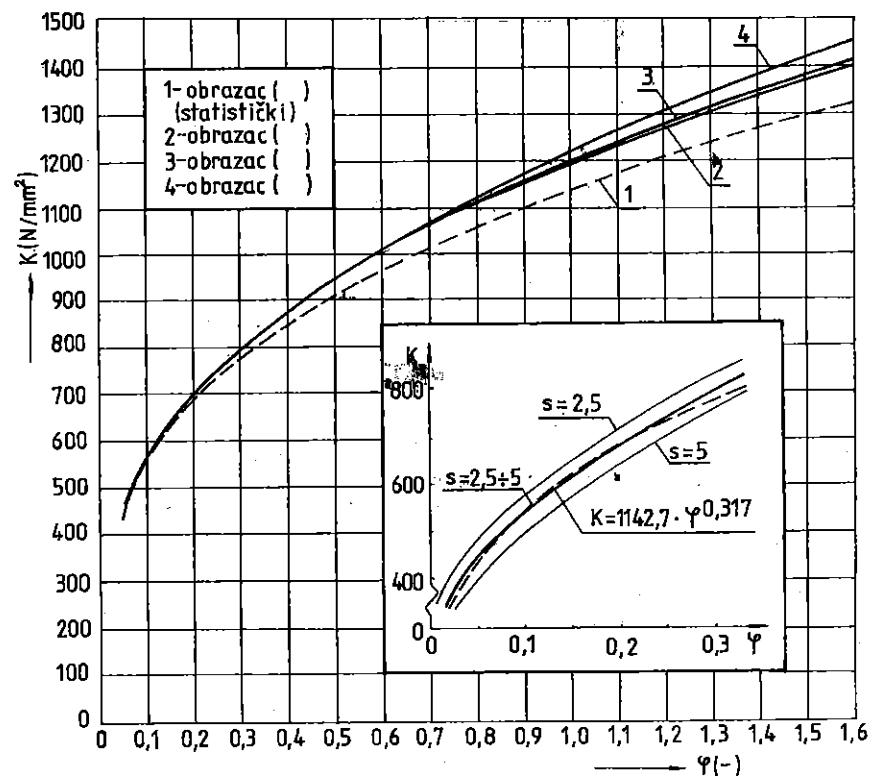
Eksperimentalni rezultati se mogu obraditi i analitički (statistički). Naime uzimanjem većeg broja parova vrednosti ($\varphi_i, K_i; i = 1 + 14$) sa "srednje" stvarne krive ojačavanja, pod pretpostavkom da se eksperimentalni podaci mogu aproksimirati funkcijom $K = C \cdot \varphi^n$ dobijena je regresiona kriva, čiji je grafik dat na slici 3.

U koordinatnom sistemu $K0\varphi$ ova kriva ima sledeći oblik:

$$K = 1142,7 \cdot \varphi^{0,317} \quad (5)$$

Za određivanje analitičkog oblika regresione krive (5) korišćen je program "KRIVE" [9].

U mnogim procesima OMD ostvaruju se višestruko veći stepeni deformacije od ravnomernog relativnog izduženja. Zato je neophodno izvršiti ekstrapolaciju stvarne krive ojačavanja i na domen velikih stepena deformacije.



Slika 3.

Analitičke ekstrapolacije se vrše, najčešće, korišćenjem stepenih funkcija ili polinoma [3], [6], [8], [9], [10], [11]. Pokazalo se da se važnost analitičkih aproksimacija stvarnih krivih ojačavanja može proširiti i na male stepene deformacije. To znači da se umesto stvarnih krivih ojačavanja mogu koristiti samo njihove analitičke aproksimacije.

Za analitičke aproksimacije (zasnovane na opitu jednoosnog istezanja) najčešće se koriste sledeće stepene funkcije [3], [5], [9], [11], [13]:

$$K = C \cdot \varphi^n = R_m e^{\varphi^n} (\varphi/\varphi_m)^{\varphi^n} \quad (6a)$$

$$K = K_0 + C \cdot \varphi^n = K_0 + (R_m e^{\varphi^n} - K_0) (\varphi/\varphi_m)^{\frac{R_m \varphi_m e^{\varphi^n} - K_0}{R_m \varphi_m e^{\varphi^n} - K_0}} \quad (6b)$$

$$K = C(A + \varphi)^n = R_m e^{\varphi^n} [(A + \varphi)/(A + \varphi_m)]^{A + \varphi^n} \quad (6c)$$

gde su:

C, n, A - konstante krive ojačavanja,

$K_0 = K(\varphi = 0) \approx R_e$ - početni napon tečenja (specifični deformacioni otpor).

Na osnovu obrazaca (6) i eksperimentalnih rezultata za čelik Č.4574 dobija se:

$$K = 1196,0 \cdot \varphi^{0,333} \quad (7a)$$

$$K = 221,1 + 1001,9 \cdot \varphi^{0,454} \quad (7b)$$

* Konstanta "A" može se odrediti iterativni (numeričkim) postupkom po obrascu datom u knjizi [9].

$$K = 1196,5(0,0047 + \varphi)^{0,338} \quad (7c)$$

Grafički prikazi analitičkih aproksimacija krivih ojačavanja (7) dati su na slici 3.

Na osnovu poznate krive ojačavanja trećeg reda $K = K(\varphi)$ mogu se odrediti krive ojačavanja drugog reda $K = K(\psi)$ i prvog reda $K = K(\varepsilon)$ [9].

Kao što se sa slike 3. vidi, krive ojačavanja u obliku stepene funkcije (6), praktično se poklapaju u širokom intervalu stepena deformacije. Izvestan osklon pokazuje kriva ojačavanja (5) dobijena statističkom obradom eksperimentalnih rezultata.

Kada je reč o primeni statističkih metoda za aproksimaciju stvarnih krivih ojačavanja u literaturi se preporučuje primena polinomijalnih funkcija oblika:

$$K = A_0 + A_1\varphi + A_2\varphi^2 + \dots + A_m\varphi^m \quad (8)$$

gde su:

A_0, A_1, \dots, A_m - konstante.

Za određivanje nepoznatih konstanti preporučuje se primena metoda "najmanjih kvadrata", a kod polinoma višeg reda i primena matričnog računa i računara [9].

Pokazalo se da je za neke materijale dovoljno ograničiti se na polinom trećeg reda, dok su za druge materijale, za kvalitetnu aproksimaciju stvarne krive ojačavanja potrebni polinomi i desetog reda [12], [13]. Zato se aproksimacije krivih ojačavanja polinomom ređe koriste.

Napred navedene aproksimacije krivih ojačavanja ne uzimaju neposredno u obzir anizotropiju materijala. Aproksimacija stepenom funkcijom (6a), sa uzimanjem u obzir anizotropije, može se izraziti u obliku [9]:

$$K = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{G+H}{F+G+H}} R_m \left(\frac{e}{\varphi_m}\right)^{\varphi_m} \left(\sqrt{\frac{2F+G+H}{3}} \frac{G+H}{G+H}\right)^{\varphi_m} \varphi^{\varphi_m} \quad (9)$$

Za dati materijal funkcija (9) dobija sledeći oblik:

$$K = 1207,6 \cdot \varphi^{0,333} \quad (10)$$

U konkretnom slučaju krive ojačavanja (7a) i (10) se praktično poklapaju, što se može tumačiti činjenicom da se dati materijal može smatrati kvazi-izotropnim.

3. ZAKLJUČAK

Za proračun i projektovanje tehnoloških procesa obrade deformisanjem sasvim su nedovoljni podaci o materijalima koji se mogu naći u literaturi i katalogima proizvođača.

Iz tog razloga su neophodna kompleksna ispitivanja mehaničkih, plastičnih i tehnoloških karakteristika materijala. Rezultati jednog takvog ispitivanja za jedan visokolegirani nerđajući čelik (Č.4574) dati su u ovom radu.

Pored zadovoljavajućih mehaničkih karakteristika i sposobnosti za zavarivanje, mnogi drugi parametri (eksponent deformacionog ojačavanja, koeficijent anizotropije, Eriksonov broj, odnos izvlačenja, minimalni relativni radijus savijanja), utvrđeni u okviru ovog rada, pokazuju da se radi o čeliku koji poseduje visoku obradivost deformisanjem u hladnom stanju.

4. LITERATURA

- [1] Jakovljević S. P., Kuhar V. D.: Štampovka anizotropnih zagotovok. "Mašinstroenie", Moskva, 1986.
- [2] Golovljević V. D.: Rasčeti processov listovoj štampovki, "Mašinstroenie", Moskva, 1974.
- [3] Marinković V.: MAŠINSKA OBRADA, Deo I, Zbirka zadataka iz obrade materijala deformisanjem. Mašinski fakultet, Niš, 1990.
- [4] Marinković V.: O određivanju srednje vrednosti koeficijenta anizotropije i njegovom uticaju na proces dubokog izvlačenja. 25. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994.
- [5] Devedžić B.: Obradivost materijala dubokim izvlačenjem. Mašinski fakultet, Kragujevac, 1972.
- [6] Kroha V. A.: Upročnenie metallov pri holodnoj plastičeskoj deformaciji, Spravočnik. "Mašinstroenie", Moskva, 1980.
- [7] Averkijev V. A.: Štampuemost listovogo prokata. "Kuznečno-štampovočnoe proizvodstvo", No 9, 1986.
- [8] Averkijev V. A., Belov E. A. i dr.: Kovka i štampovka. Spravočnik, Tom 4: Listovaja štampovka (pod red. A. D. Matvejeva). "Mašinstroenie", Moskva, 1987.
- [9] Marinković V.: Deformaciono ojačavanje materijala u procesima obrade deformisanjem u hladnom i toplom stanju. Monografija. Mašinski fakultet, Niš, 1995.
- [10] Tekkaya A. E. Pöhlandt K., Dannenmann E.: Methoden zur Bestimmung der Fließkurven von Blechwerkstoffen. Teil 1. Blech • Rohre • Profile 29 (1982) 9.
- [11] Johnson W., Mellor P. B.: Engineering Plasticity. Van Nostrand Reinhold Comp., London, 1973.
- [12] Meljnikov E. L.: Holodnaja štampovka dnišč. "Mašinstroenie", Moskva, 1986.
- [13] Evstratov V. A.: Teorija obrabotki metallov davleniem, "Višča škola", Harkov, 1984.

MECHANISCHE UND PLASTISCHE EIGENSCHAFTEN VOM HOCHLEGIERTEN NICHTROSTENDEN STAHL Č.4574

Zusammenfassung

In der Arbeit sind die Prüfungsergebnisse der mechanischen und plastischen Eigenschaften vom hochlegierten nichtrostenden Stahl Č.4574 (X10CrNiMoTi1810) gegeben worden.

Der geprüfte Werkstoff hat hohe plastische Umformbarkeit, was deutlich die Werte der gewissen wichtigsten Parametern ($n = 0,333$, $R_p/R_m = 0,30$, $m = 0,474$, $r/s = 0,25$, $E > 12$) zeigen.

Die reale Fließkurve kann erfolgreich mit den stufenfunktionen approximiert werden. Die statistisch erhaltene analytische approximation weicht auch nur wenig von den auf gefürten stufenfunktionen, bzw. von der realen Fließkurve ab.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M. Novović *, L. Šidanin *, B. Sladojević **

MECHANIZMI I MORFOLOGIJA LOMA ADI MATERIJALA

Rezime:

U radu su prikazani rezultati istraživanja ponašanja ADI materijala pri lomu u različitim uslovima opterećivanja. Za ispitivanje je korišćen nodularni liv u kome je silicijum zamenjen aluminijumom, austenitiziran na 950°C u trajanju od 1 sat i izotermno transformisan na 400°C u trajanju do 6 sati. Utvrđeno je da se mikrošupljine i mikroprslina uvek stvaraju na grafitnim nodulama, a da širenje mikroprslina u ADI osnovi zavisi od orijentacije snopova bainitnih pločica u odnosu na pravac dejstva opterećenja i substrukture, odnosno da li su u substrukтури izlučeni karbidi i ako jesu, od mesta njihovog izlučivanja. Kod substrukture bez karbida i sa η -karbidima u bainitnom feritu nastaje duktilni lom, dok substruktura sa χ -karbidima na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit uzrokuje pretežno krti lom.

UVOD

U poslednjih nekoliko godina u svetu postoji veliko interesovanje za bainitni nodularni liv (ADI materijal - Austempered Ductile Iron) u kome je silicijum zamenjen aluminijumom. To je novi materijal koji mnogo obećava. Mehaničke osobine ADI materijala direktno zavise od mikrostrukture i promenom parametara termičke obrade mogu se menjati u širokom opsegu, što omogućava dobijanje izvanredne kombinacije čvrstoće i duktilnosti [1]. Parametri termičke obrade kontrolišu obrazovanje gornjeg, odnosno donjeg bainita, količinu zadržanog austenita i prisustvo karbida, a sve ove veličine utiču na mehaničke osobine liva. U ovom radu je prikazan deo rezultata proisteklih iz kontinuiranog programa istraživanja koji se odnosi na izučavanje zavisnosti mikrostrukture i morfologije i mehanizama loma kod duktilnog i žilavog ADI materijala pri statičkom i udarnom opterećenju.

* Dipl.ing. Milorad Novović, asistent pripravnik; Dr Leosava Šidanin, red.prof.; Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 N. Sad, V. Perića Valtera 2

** Dr Branislav Sladojević, naučni savetnik, Institut Kirilo Savić, Beograd, Vojvode Stepe 51 415

EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje je korišćen aluminijumski nodularni liv čiji je hemijski sastav prikazan u Tabeli 1:

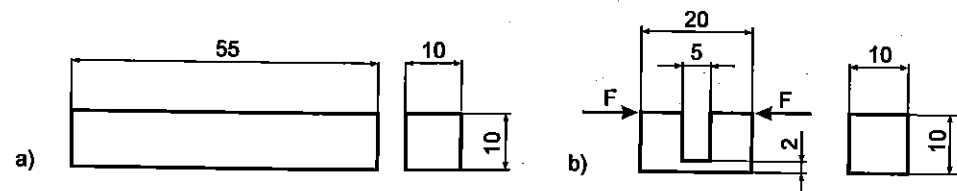
Tabela 1: Hemijski sastav ispitivanog materijala, tež.%

C	Al	Si	Mn	S	P	Ni	Sn	Mg
3,2	2,2	0,3	0,01	0,01	0,02	0,6	0,26	0,045

Termička obrada liva sastojala se od:

- austenitizacije na 950°C u trajanju od 1.5 h
- izotermne transformacije na 400°C u trajanju od 0.5-6 h

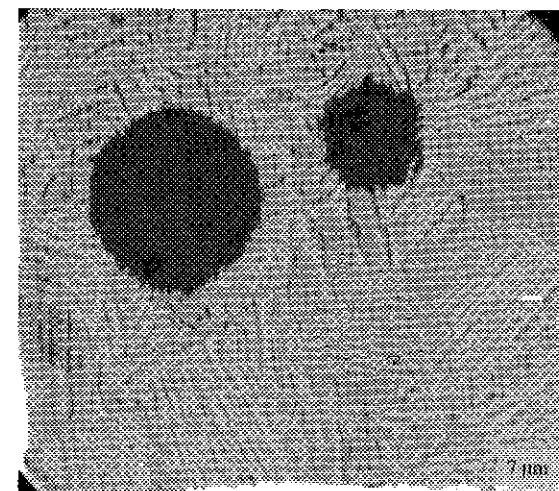
Epruvete za ispitivanje, čiji su oblik i dimenzije prikazane na slici 1a,b, isečene su iz "Y" proba. Treba naglasiti da kod epruvete koja se koristi za ispitivanje stvaranja i rasta mikroprslina do loma na kidalici pri pritiskom opterećenju, jedna strana mora biti metalografski pripremljena. Pored korišćenja elektronske kidalice i Charpy-jevog klatna, ispitivana je i mikrostruktura primenom više metalografskih tehnika. Za svetlosnu mikroskopiju korišćen je Leitz-ov mikroskop uz prethodnu konvencionalnu pripremu uzoraka, a za ispitivanje razvoja prslina i morfologije loma JEOL JSM 35 skening elektronski mikroskop. Zapreminski udeo zadržanog austenita određen je rendgeno-strukturnom analizom, primenom $C_{\alpha}-K_{\alpha}$ zračenja pri radnom naponu 40 kV i jačini struje od 30 mA.



Slika 1 a) Epruveta za ispitivanje udarne žilavosti; b) epruveta za ispitivanje na kidalici

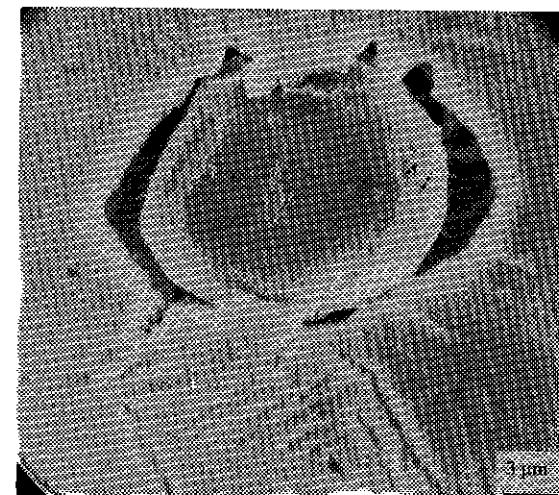
REZULTATI I DISKUSIJA

U svim ispitivanim uzorcima, oblik, veličina i raspored grafitnih nodula su ujednačeni. Prosečna veličina nodula je 15 μm uz prosečnu gustinu od 300 mm^{-2} i stepen sferoidizacije nodula veći od 90%. Mikrostruktura uzoraka austenitiziranih na 950°C i izotermno transformisanih na 400°C sastoji se iz pločica bainitnog ferita smeštenog u osnovi stabilnog, ugljenikom obogaćenog, zadržanog austenita, sl.2. Pločice su u vidu snopova različite orijentacije. Količina zadržanog austenita posle izotermne transformacije u trajanju od 1 h dostigla je vrednost od 42% i ta vrednost ostaje približno konstantna sa povećanjem vremena izotermne transformacije.

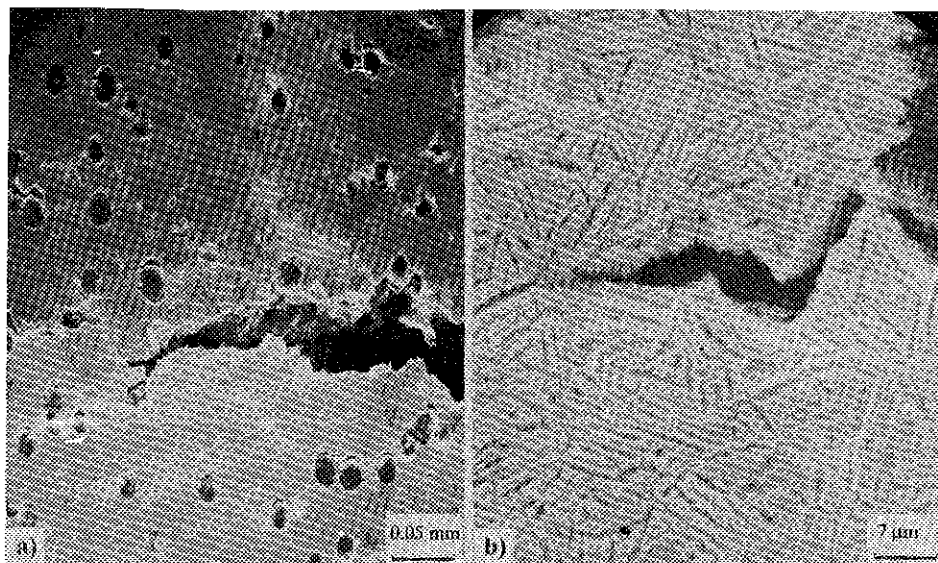


Slika 2 Mikrostruktura ADI materijala transformisanog na 400°C (SEM)

Nodule grafitne koje su diskontinuirano raspoređene u metalnoj ADI osnovi pri opterećivanju uzoraka predstavljaju mesta koncentracije napona i to je razlog što se pri dejstvu opterećenja najpre deformišu metalna osnova oko grafitnih nodula i što se stvaraju mikrošupljina kao prateći mehanizam plastične deformacije uvek odvija na graničnoj površini grafitna nodula/metalna osnova, sl.3. Stvorena mikrošupljina sa povećanjem opterećenja prerasta u mikroprslinu koja se širi do susedne grafitne nodule. Ovaj proces se nastavlja sve do potpunog loma uzorka, sl.4a,b



Slika 3 Stvaranje mikrošupljine na graničnoj površini grafitne nodule i metalne osnove (SEM)



Sl.4 Širenje prsline kroz metalnu osnovu: a) nenagrižen uzorak; b) nagrižen uzorak (SEM)

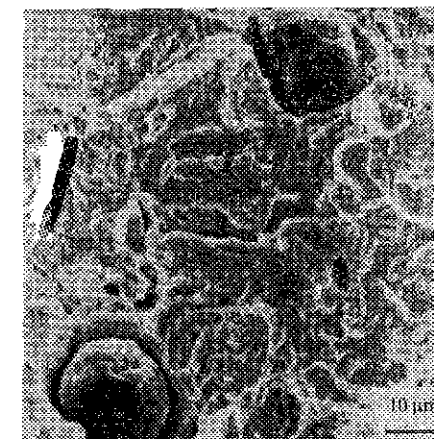
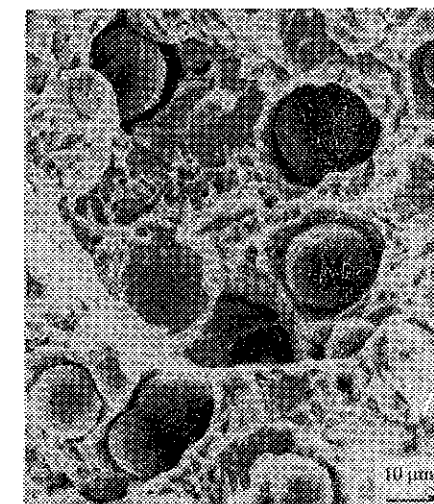
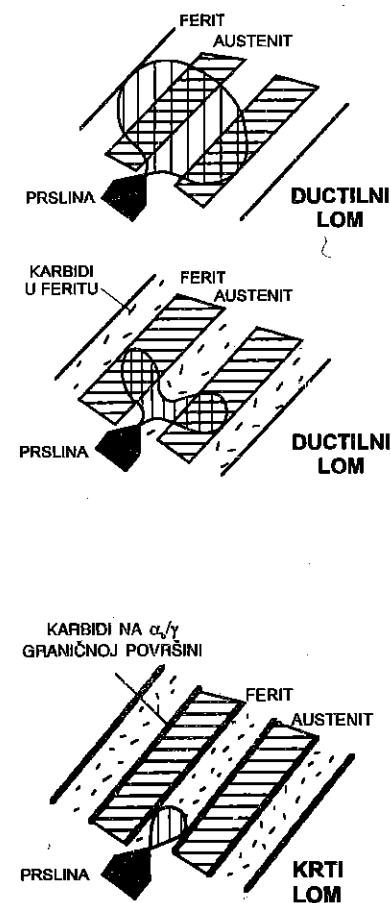
Mikrostruktura metalne ADI osnove, kroz koju se mikroprslina širi, veoma je kompleksna i zavisi od termičkog tretmana. Naša prethodna istraživanja [2-4] su pokazala da izotermna transformacija aluminijumskog nodularnog liva na 400°C u trajanju od 3 sata omogućava dobijanje mikrostrukture sastavljene iz pločastog bainitnog ferita bez karbida i stabilnog, ugljenikom obogaćenog zadržanog austenita. Povećanjem vremena transformacije na 4 i više sati najpre dolazi do izlučivanja η -karbida u bainitnom feritu, zbog prezasićenosti ferita ugljenikom, a zatim do stvaranja χ -karbida na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit, zbog razlaganja ugljenikom obogaćenog austenita.

Za razliku od opisane TEM substrukture, mikrostruktura dobijena svetlosnim mikroskopom pokazuje da su bainitne pločice grupisane u snopove koji imaju različitu međusobnu orijentaciju. Pri dejstvu jednoosnog opterećenja, zavisno od orijentacije pločica bainitnog ferita ispred vrha mikroprslina, rast mikroprslina može da se odvija uzduž granične površine bainitna pločica/zadržani austenit, preko bainitnih pločica ili ukoso kroz bainitne pločice. U svakom slučaju, mikroprslina će se kretati u pravcu u kojem je utrošak energije za njeno kretanje najmanji. Najpovoljniji put kretanja mikroprslina, međutim, ne zavisi samo od orijentacije snopa bainita, pogotovu što je ta orijentacija u odnosu na pravac dejstva opterećenja slučajna, već i od tipa substrukture. U slučaju kada se substruktura sastoji iz bainitnog ferita bez karbida i ugljenikom obogaćenog austenita, mikrošupljina odnosno mikroprslina koja uvek nastaje na grafitnoj noduli, na svom vrhu će stvoriti veliku plastičnu zonu, tj. širenju mikroprslina uvek će prehoditi neometana naizmjenična plastična deformacija u bainitnom feritu i austenitu. Tada je najpovoljniji put kretanja mikroprslina uzduž granične površine bainitni ferit/zadržani austenit, pogotovu ako je pravac dejstva opterećenja u odnosu na pločice bainitnog snopa pod uglom od ili približno 90°. U slučaju da je pravac dejstva opterećenja paralelan pločicama bainitnog snopa, tada prslina na svom putu seče bainitne pločice. U oba slučaja, zbog intenzivne plastične deformacije na vrhu mikroprslina prelomljena površina je potpuno duktilna, sl.5.

U substrukuri koju karakteriše izlučivanje η -karbida u bainitnom feritu, prisustvo η -karbida u stvari samo potpomaže kretanje prsline kroz bainitni ferit kao najpovoljniji put

kretanja. Obzirom da je i ovo kretanje prsline praćeno intenzivnom plastičnom deformacijom bainitnog ferita i austenita, prelomljena površina je takođe potpuno duktilna.

U substrukuri u kojoj je došlo do izlučivanja χ -karbida na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit, plastična zona na vrhu prsline se drastično smanjuje na širinu jedne pločice ferita ili austenita. Obzirom da je zbog smanjenja plastične zone na vrhu mikroprslina stvoren uslov za mikrocepanje, kretanje mikroprslina se odvija uzduž izlučenih χ -karbida, a prelomljena površina kod ovakve substrukture je pretežno krta, sl.5.



Sl.5 Morfologija loma sa shematskim prikazom modela mehanizma loma

ZAKLJUČAK

Stvaranje mikrošupljina uvek počinje na grafitnim nodulama. Stvorena mikrošupljina brzo prerasta u mikroporsliu, a njen put širenja zavisi od orijentacije pločica bainitnog snopa u odnosu na pravac primenjenog opterećenja i od tipa substrukture, odnosno da li su u substrukтури izlučeni karbidi i ako jesu, od mesta njihovog izlučivanja. Tip ADI substrukture bez izlučenih karbida ili sa η -karbidima izlučenim unutar bainitnih pločica pokazuje tipičan duktilan prelom koji nastaje mehanizmom koalescencije mikrošupljina. Put kretanja mikroporsline koji omogućava mehanizam koalescencije zavisi od orijentacije snopa bainitnih pločica. Mikroporslina se kreće uzduž granične površine bainitne pločice/zadržani austenit kada su bainitne pločice usmerene normalno u odnosu na pravac primenjenog opterećenja, ili preko njih kada su nagnute ili paralelne u odnosu na primenjeno opterećenje. ADI substrukture sa χ -karbidima izlučenim na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit prouzrokuje pretežno krti lom, jer χ -karbidi potpomažu kretanje mikroporsline uzduž granične površine bainitni ferit/zadržani austenit uz ograničenje veličine plastične zone na vrhu mikroporsline na jednu pločicu bainitnog ferita ili austenita.

LITERATURA

- [1] R.A. Harding, The Foundryman 86, Part 5, (1993), p.197
- [2] L. Sidjanin, R.E. Smallman, S.M. Boutorabi, Mater. Sci. Technol., 10, (1994), p.711
- [3] L. Sidjanin, R.E. Smallman, J.M. Young, Acta Met. Mater. 42, (1994), p.3149
- [4] L. Sidjanin, R.E. Smallman, M. Novovic, Prack. Metalogr., Vol. XXXIII, 1, (1996), p.2

M. Novović, L. Šidjanin, P. Kovač

MECHANISMS AND FRACTURE MORPHOLOGY OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON

Summary:

The present work is concerned with the effect of heat treatment on the fracture behaviour of an aluminum ductile iron. Specimens were austenitized at 950°C for 15 hour, and then austempered in a salt bath at a temperature of 400°C for intervals of time up to 6 hours. Microstructures were examined using light and scanning electron microscope. To determine the volume fraction of retained austenite, an X-ray diffraction analysis was carried out with C_{α} -K α radiation. It was found that cracks always were originated from graphite nodules. The propagation path in ADI matrix depends on the orientation relationship of bainitic ferrite sheaf with the applied load direction, and also on whether there is carbide precipitation in the bainitic ferrite laths or at the ferrite/austenite interfaces. The fracture behaviour of samples austempered after 5 hours is dramatically influenced by the χ -carbide formation, which results in a mostly brittle cleavage of failure.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

OPTIMISING THE PROPERTIES OF ION-NITRIDED LAYERS

Dr. Anguel Zyumbilev, Dr. Nikolay Tonchev

1. ABSTRACT

An approach to the determination of relative extrema of controlled mechanical and other quantities as well as their corresponding parameters controlling the ion-nitriding process is proposed in the present study. Using a procedure of compromise optimisation, technological ion-nitriding modes simultaneously optimising the surface roughness, microhardness, wear resistivity, and thermal resistance are defined.

This study is funded by the National Fund for Scientific Research, Contract No.566/95.

2. INTRODUCTION

The thermal pre-treatment and the final thermochemical treatment are of essential importance for attaining the desired properties of machine parts and equipments.

In general, the required optimum values of parameters which are of interest for the user (most often these are data concerning mechanical quantities) are obtained for various combinations of controlling factors, so it is actually impossible to optimise simultaneously all target functions, not to mention that some of these factors are in reverse proportions to each other.

3. MAIN PURPOSE

The present study illustrates the application of multicriterial optimisation to the thermal and thermochemical treatment of a class of alloy steels, intended for heat treatment, by investigating the possibility of choosing rationally the steel as well as the technological mode of its treatment, which will ensure not only the combination of desired mechanical properties, but also the highest possible energy savings.

4. RESULTS

The chemical composition of 3X3M3Φ, [BH 10 (1354659)] tool steel intended for high-temperature applications is given in Table 1.

Table 1

Alloy Elements	C	Cr	Mo	V	W	Si	Mn	Ni	Cu	S
%	0.28	3.24	2.74	0.55	-	0.45	0.2	0.13	0.12	0.01

For the user of such tool steels it is of essential importance to determine the modes of thermal and thermochemical treatments which will ensure the relatively best microhardness, destruction resilience, wear resistivity, and thermal resistance. These target functions of the mode of thermal and thermochemical treatments are directly proportional to the operating life of the manufactured tools.

In order to determine these relative maxima and their locations, it is necessary to apply a procedure of multicriterial optimisation. The application of this procedure requires a planned experiment to be carried out, and on the basis of the results obtained regression models expressing the relationship between investigated properties and treatment mode parameters to be deduced.

The specimens made of the investigated steel (size: 20 mm x 20 mm x 10 mm) have been heat-treated in Degussa vacuum furnace, having been firstly annealed at 760 °C, then hardened at 1050 °C, and tempered at 600-700 °C. After this heat treatment the specimens have been subjected to ion-nitriding treatment at temperatures of 500-560 °C, ammonia pressure of 150-450 Pa, and process duration of 4-10 h. Therefore, the nitriding temperature x_1 , ammonia pressure x_2 , nitriding process duration x_3 , and tempering temperature x_4 [2] have to be determined as control parameters of the processes of thermal and thermochemical treatments. The variation ranges of these input parameters, which have been used in performing the planned experiment, are shown in Table 2.

Table 2 - Variation ranges of control parameters.

Factors	X_1 T nit [°C]	X_2 P [Pa]	X_3 t [hrs]	X_4 T tem [°C]
Zero level	530	300	7	650
Interval of variation	20	150	3	50
Top level	550	450	10	700
Bottom level	510	150	4	600

The following optimisation parameters have been chosen: maximum microhardness, wear resistivity, thermal resistance, and surface roughness.

The microhardness has been measured with SHIMADZU microhardness tester, and the roughness with SURTRANIC-3.

The thermal resistance of the nitrided steel has been determined with reference to the boundary temperature of heating, at which the hardness $H_v = 4500$ Mpa has been maintained for four hours.

After carrying out the experiments specified by the optimum-composition plan for the selected control factors, the following significant and adequate regression equations have been obtained for the investigated steel:

microhardness, Hv [1]

$$Hv = 11527.2 - 129.5X_1 + 150.41X_2 - 292.02X_3 + 87.5X_4X_2 - 62.5X_1X_3 - 75X_1X_4 - 137.5X_2X_3 - 234.5X_2^2 - 194.5X_3^2 - 137.5X_4^2 \quad \dots (1)$$

thermal resistance

$$T = 714.92 + 17.93 X_1 + 4.33X_2 + 4.21X_3 - 19.28X_4 - 0.902 X_1^2 - 0.321 X_2X_3 + 1.5X_4X_1 - 1.4X_2^2 - 1.95X_3X_2 - 0.125X_4X_3 + 1.02X_3^2 - 1.375X_4X_3 - 3.83X_4^2 \quad \dots (2)$$

wear resistivity Kv [1]

$$Kv = 0.3898 - 0.0786X_1 - 0.0099X_2 - 0.0494X_3 + 0.0151X_4 + 0.0307X_1^2 + 0.0131X_2X_3 + 0.0044X_3X_2 + 0.0157X_4X_3 + 0.0257X_3^2 - 0.0494X_4X_3 + 0.0243X_4X_3 + 0.0107X_4^2 - 0.0218X_3X_4 + 0.0457X_4^2 \quad \dots (3)$$

surface roughness R_a

$$R_a = 0.437 - 0.026X_1 - 0.068X_2 + 0.079X_3 + 0.042X_4 - 0.013X_1X_2 + 0.0093X_2X_3 - 0.0594X_3X_4 - 0.0068X_4^2 \quad \dots (4)$$

The regression models, which control the properties of the investigated steel in relationship with the control parameters of the processes of thermal and thermochemical treatments, having been deduced, it becomes possible to determine the maximum and minimum values of the resulting characteristics as well as the treatment parameters for which these values have been obtained. The results of this analysis are given in Table 3. However, for the user of the 3X3M3Φ, [BH 10 (1354659 steel it is necessary to determine not only the absolute extremum values of controlled parameters, but also the combination of controlling factors guaranteeing a desired set of parameters values. For example, in the case being considered the user will require the determination of those combinations of the values of nitriding temperature, ammonia gas pressure, nitriding process duration, and tempering temperature, which will guarantee relatively highest microhardness and destruction resilience and lowest wear of the tool steel. This requirement is connected with the operating life of the tool being manufactured.

Table 3

Parameters	Equation	Type of extremum	Value of extremum	Control parameters			
				X1	X2	X3	X4
Hv	1.	min	10451.27	550	150	10	700
		max	11971	510	450	7.45	600
T	2.	min	660.78	510	150	4	700
		max	752.29	550	450	10	600
Kv	3.	min	0.2816	550	450	10	637.5
		max	0.707	510	450	4	700
R_a	4.	min	0.25	550	450	4	600
		max	0.683	510	150	10	700

The computer system developed offers the possibility of multicriterial optimisation. Applying this optimisation procedure specifies the non-improving solutions among all 6561 combinations of control parameter values. The results of this study are shown in Tables 4, 5, and 6.

Table 4 - Results of the multicriterial optimisation of surface roughness and microhardness

No of the regime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	540	540	540	540	545	550	550	550	550
X_2	450	450	450	450	450	450	450	450	450
X_3	5,30	5,30	5,30	6,15	7,00	5,30	6,15	7,00	7,45
X_4	600	600	600	600	600	600	600	600	600
$R_a, \mu m$	0,3024	0,2913	0,3026	0,2992	0,2971	0,2689	0,2780	0,2871	0,2961
$R_a, \%$	11,34	9,36	11,98	11,18	10,69	4,19	6,29	8,38	10,48
$H_{\mu V}, Mpa$	11821	11817,3	11812,3	11869,2	11881	11812	11855	11871	11856
$H_{\mu V}, \%$	90,06	89,88	89,54	93,29	94,07	89,52	92,42	93,38	92,42

Table 5 - Results of the multicriterial optimisation of surface roughness and wear resistivity

No of the regime	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X_1	545	545	550	550	550	550	550	550	550	550	550
X_2	450	450	450	450	450	450	450	450	300	260	150
X_3	7,45	8,30	7,45	7,45	8,30	9,15	8,30	7,45	5,30	4,45	4,00
X_4	612	600	600	625	612	600	600	612	612	625	637
$R_a, \mu m$	0,32	0,31	0,30	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,33	0,33	0,33
$R_a, \%$	14,9	14,6	10,4	15,1	14,8	14,6	12,5	12,8	18,7	18,1	18,6
KV	0,34	0,33	0,34	0,33	0,32	0,31	0,33	0,34	0,36	0,36	0,37
$KV, \%$	14,2	12,3	14,7	12,4	8,75	7,37	10,9	12,7	18,8	19,4	19,4

Table 6 - Results of the multicriterial optimisation of microhardness and thermal resistance

No of the regime	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X_1	540	540	540	540	545	545	550	550	550
X_2	340	450	450	450	450	450	450	450	450
X_3	7,45	7	7,45	8,30	7	7,45	6,15	7	7,45
X_4	600	600	600	600	600	600	600	600	600
$H_{\mu V}, Mpa$	11806	11892	11885	11849	11881	11870	11856	11871	11856
$H_{\mu V}, \%$	89,17	94,76	94,31	91,93	94,07	93,37	92,42	93,38	92,42
$T, ^\circ C$	741,6	741,4	742,09	742,09	745,2	745,89	748,4	748,95	749,39
$T, \%$	88,32	88,10	88,85	89,74	92,29	93,01	95,78	96,35	97,05

5. CONCLUSIONS

1. By applying the multicriterial optimisation it becomes possible to determine the relative extrema of controlled mechanical and other quantities as well as their corresponding parameters controlling the process.

2. The comparative analysis of clusters of compromise solutions enables the determination of those combinations which guarantee a best set of properties to be obtained as well as of a technological mode ensuring this set of properties with minimum consumption of electric power.

Applying the multicriterial optimisation to the determination of such modes of thermal and thermochemical treatments, which simultaneously give relatively high values of the properties investigated, offers also the possibility of specifying a technological mode guaranteeing a minimum consumption of electric power.

REFERENCES

1. Zyumbilev A.P. Vliyanie na azotiraneto v niskotemperaturna plazma varhu svoystvata na instrumentalni stomani za goreshita obrabotka (The Impact of Nitriding in Low-Temperature Plasma on the Properties of Tool Steels for Heat Treatment). Dissertation thesis, 1992, Sofia.
2. Wierzbicki A.P. A Methodological Guide to Multiobjective Optimisation. IIASA Report WR-79-122, 1979.
3. Stoyanov S.K. An Investigation on Some Algorithms for Optimisation of Technological Objects. Res. report, Dept. Chem. Techn., IC London, 1981.



Dr Ilija Čosić, Zoran Anišić¹

ISTRAŽIVANJE USLOVA ZA POVIŠENJE FLEKSIBILNOSTI MONTAŽNIH SISTEMA

Rezime:

U radu se razmatraju problemi montažnih sistema u izmenjenim uslovima tržišta i sve oštrijoj nacionalnoj, a posebno internacionalnoj konkurenciji. Osnovni uzroci nedovoljne efektivnosti leže u nedopustivo dugom vremenu trajanja ciklusa montaže uzrokovanom nefleksibilnom strukturom samih montažnih sistema i neadekvatnim planiranjem procesa montaže. U radu je predstavljen koncept povišenja fleksibilnosti putem dinamičkog modeliranja u fazi projektovanja fleksibilnih montažnih sistema sa jedne strane i efikasnijeg planiranja pomoću simulacije u toku perioda eksploatacije sa druge strane. Osnove prilaza leže u kriterijumima i načinima za izražavanje fleksibilnosti su takođe prikazani u radu. Koncept obezbeđuje uspešno projektovanje i upravljanje montažnim sistemima koje u uslovima velikog broja varijanti proizvoda, relativno malim količinama po narudžbinama pre svega svodi pripremno završna vremena u toku promena varijanti proizvoda na minimum, a time i ukupno vreme trajanje ciklusa montaže (T_{cp}). Pored navedenog omogućeno je optimiranje sistema i po nizu drugih kriterijuma: potrebni kapacitet, broj radnika, redosled lansiranja partija koje daju najkraće T_{cp} itd. Efekti primene navedenog koncepta direktno utiču na cenu, kvalitet i vreme isporuke proizvoda kao osnovnu meru konkurentnosti.

1. UVOD

Sve veći zahtevi u pogledu kvaliteta proizvoda i promena na tržištu koje uslovljavaju potrebu proizvodnje sve većeg broja varijanti istog proizvoda smanjenih količina, uslovljavali su razvoj kompetentnih na tržištu konkurentnih - efektivnih proizvodnih sistema. Povišenje stepena efektivnosti neminovno traži razvoj *fleksibilnih* proizvodnih struktura sposobnih za prilagođavanje promenama uslova okoline, otklanjanja stanja u otkazu, smanjenje otuđenosti od predmeta rada i između učesnika u procesu rada i zadovoljenje ostalih potreba. Sa stanovišta razvoja struktura sistema prilaz o fleksibilnosti se odnosi podjednako na sve elemente strukture sistema.

Fleksibilnost sistema je dakle mera njihove sposobnosti za prilagođavanje uticajima okoline i zahtevima procesa rada u datom vremenu i datim uslovima okoline [1]. Razlikujemo:

- fleksibilnost strukture (f_s) i
- fleksibilnost procesa (f_{PR})

1.1 Fleksibilnost strukture (f_s)

predstavlja verovatnoću da će se data struktura uspešno prilagoditi uslovima okoline, zahtevima postupaka rada i poremećajima u procesu rada i izraz je konstrukciono-

¹ Dr Ilija Čosić, red.prof., Zoran Anišić, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, Trg Dositeja Obradovića 5, 21000 Novi Sad, Jugoslavija

tehnoloških parametara elemenata strukture sistema. Ova fleksibilnost se izražava kroz:

- fleksibilnost strukture toka (f_{ST}) i
- fleksibilnost strukture prostora (f_P)

Fleksibilnost strukture toka (f_{ST}) je uslovljena stepenom iskorišćenja konstrukciono-tehnoloških parametara i efektivnog kapaciteta elemenata strukture sistema i sastoji se iz dve komponente:

- tehnološke (f_{tk}) i
- kapacitivne (f_{ka}),

koje se određuju posebno za svaki element strukture sistema (radno mesto, čvor, radnu jedinicu), dok je ukupna fleksibilnost strukture toka određena kompozicijom datih komponenti.

Tehnološka fleksibilnost (f_{tk}) je određena mogućnostima posmatranog tehnološkog sistema u smislu prihvatanja predmeta montaže ili obrade i predstavlja verovatnoću da će se dati tehnološki sistem uspešno izvršavati projektovanu operaciju obrade ili montaže u granicama ugrađenih tehnoloških mogućnosti prihvatanja.

Kapacitivna fleksibilnost (f_{ka}) je određena rezervom kapaciteta i predstavlja odnos razlike usvojenog i proračunatog broja jedinica tehnoloških sistema za izvršavanje određene i-te operacije rada i usvojenog broja jedinica tehnoloških sistema.

Ukupna **fleksibilnost strukture toka (f_{ST})** čini redna veza tehnološke i kapacitivne komponente:

$$(1) \quad f_{ST} = f_{tk} \cdot f_{ka}$$

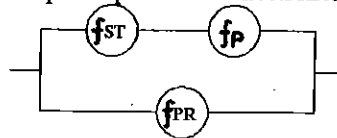
Fleksibilnost strukture prostora (f_P) je određena načinom razmeštaja radnih mesta uslovljenim tipom toka u sistemu i predstavlja verovatnoću da će se data prostorna struktura uspešno prilagoditi promenama i uslovima okoline.

2.2.2 Fleksibilnost procesa (f_{PR})

predstavlja verovatnoću da će se dati proces rada uspešno i u što kraćem vremenu prilagoditi zahtevima uslova okoline i izraz je vremenskih veličina i organizacionih zahvata u procesu rada proizvodnog sistema.

3.3 Ukupna fleksibilnost sistema (F_S)

je uslovljena vezom pojedinih komponenti. Obzirom da je strukturna fleksibilnost sastavljena od fleksibilnosti strukture toka i prostora koje se međusobno nadopunjuju i ne isključuju, dok fleksibilnost procesa rada ima samo jednu komponentu koja ne zavisi od strukture fleksibilnosti, to je ukupni stepen fleksibilnosti sistema prema (SI.1).



Slika 1: Ukupna fleksibilnost proizvodnog sistema

$$(2) \quad F_S = 1 - (1 - f_{ST} \cdot f_P) \cdot (1 - f_{PR})$$

gde je:

- f_{ST} - fleksibilnost strukture toka,
- f_P - fleksibilnost strukture prostora,
- f_{PR} - fleksibilnost procesa.

2.2 Simulacija kao alat za dinamičko modeliranje

Uz pomoć alata za simulaciju mora biti obezbeđeno formiranje modela projektovanog montažnog sistema i omogućena simulacija njegovog rada u realnom vremenu i za aktuelni proizvodni program. [3, 4]

Alat za simulaciju predstavlja računarski program za koji je na ulazu potrebno obezbediti podatke o:

- statički projektovanim varijantama montažnih sistema u vidu razvijene prostorne strukture sistema,
- strukturi proizvoda iz programa proizvodnje i tehnološkim postupcima montaže i
- planu proizvodnje koji je predviđen za simulaciju,

nakon čega se vrši simulacija rada za određeni vremenski period (smena, planski period, itd.) u skladu sa dinamikom koja se očekuje u periodu eksploatacije.

U toku izvođenja računarske simulacije prate se trenutna stanja na elementima sistema (stanje u radu, zastoju, priprema) kao i tokovi materijala od ulaznih do izlaznog skladišta (kretanje podsklopova i sklopova kroz sistem).

Nakon završetka simulacije u vidu rezultata se dobija izveštaj o sledećim veličinama:

- vreme trajanja ciklusa moraće za dati proizvodni program (T_{cm}),
- vreme u radu za pojedinačna radna mesta (T_{RMI}),
- ukupan stepen iskorišćenja montažnog sistema (η_{uk}),
- stepen iskorišćenja po radnim mestima (η_{RMI}),
- maksimalna količina proizvoda koja se može montirati u toku planskog perioda (Q_{jmax}),
- maksimalan broj varijanti proizvoda koji se može montirati u toku planskog perioda (P_{jmax}),
- nivo fleksibilnosti projektovanih varijanti montažnih sistema (F_S),
- redosled izlaska serijalpartija iz sistema,

čime se omogućava: **kontrolisanje statičkog proračuna** dimenzionisanja sistema na osnovu zadatog opterećenja i izlaza iz sistema, **potvrda funkcionalnosti** rada sistema (pre svega u funkciji broja promena varijanti proizvoda), **pronalaženje i uklanjanje slabih mesta i uskih grla** u planiranom sistemu rada, ocenjivanje **nivoa fleksibilnosti** projektovanih varijanti, **planiranje procesa proizvodnje** (optimiranje redosleda ulaska partija u sistem u cilju dobijanja minimalne vrednosti T_{cm}), **utvrđivanje potrebnog broja radnika** (u montaži i pripremi), **regulisanje radnog vremena i odmora** radnika.

2.3 Određivanje vrednosti komponenti fleksibilnosti

Određivanje veličina preko kojih su iskazane komponente fleksibilnosti vrši se na osnovu rezultata simulacije, odnosno iz prethodnih analiza proizvodnog programa za koji se projektuje montažni sistem.

1.1 Tehnološka komponenta fleksibilnosti (f_{tk})

$$(3) \quad f_{tk} = \frac{P_{jmax} - P_{jproj}}{P_{jmax}} = 1 - \frac{P_{jproj}}{P_{jmax}}$$

- f_{tk} - tehnološka komponenta fleksibilnosti,
- P_{jproj} - projektovana struktura proizvoda (broj varijanti proizvoda),
- P_{jmax} - maksimalan broj varijanti proizvoda koji se može montirati u okviru planiranog režima rada - rezultat simulacije.

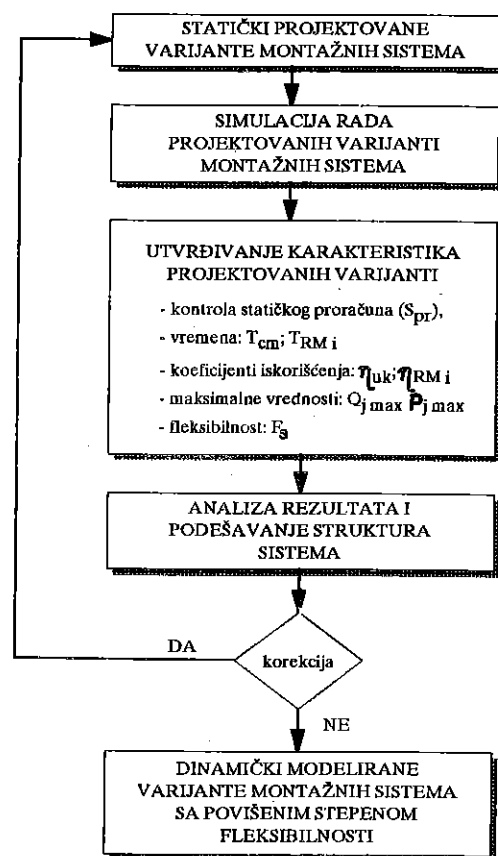
2. DINAMIČKO MODELIRANJE U FUNKCIJI POVIŠENJA FLEKSIBILNOSTI

2.1. Osnove prilaza

Na osnovu iznetih pokazatelja pojedinih komponenti kao i ukupnog nivoa fleksibilnosti moguće je izvršiti ocenjivanje projektovanih varijanti montažnih sistema prema tom kriterijumu i u zavisnosti od dobijenih rezultata preduzeti određene korake na povišenju fleksibilnosti, odnosno konačni rezultati predstavljaju podlogu za izbor optimalne varijante. [2]

U tom smislu razvijen je koncept za povišenje fleksibilnosti putem dinamičkog modeliranja, koji u osnovi ima program za simulaciju rada montažnih sistema, kao alat za određivanje vrednosti pojedinih komponenti fleksibilnosti, kao i niza drugih kriterijuma neophodnih za optimizaciju projektovanih varijanti. Nakon izvršene simulacije i utvrđivanja nivoa fleksibilnosti vrši se analiza kritičnih mesta i u zavisnosti od toga koja je od komponenti fleksibilnosti kritična u povratnoj sprezi se preduzimaju korekcije kojima se povećava fleksibilnost.

U nastavku je prikazan koncept dinamičkog modeliranja u vidu blok dijagrama aktivnosti Sl.1.



Slika 2: Dinamičko modeliranje varijanti montažnih sistema

2. Kapacitivna komponenta fleksibilnosti (f_{ks})

$$(4) \quad f_{ks} = \frac{Q_{j \max} - Q_{j \text{projekt.}}}{Q_{j \max.}} = 1 - \frac{Q_{j \text{projekt.}}}{Q_{j \max.}}$$

- f_{ks} - kapacitivna komponenta fleksibilnosti,
- $Q_{j \text{projekt.}}$ - projektovana količina proizvoda,
- $Q_{j \max.}$ - maksimalna količina proizvoda koja se može montirati u okviru planiranog režima rada - rezultat simulacije.

3. Fleksibilnost strukture prostora (f_p)

$$(5) \quad f_p = \frac{\sum_{i=1}^m K_i}{m \cdot (m-1)}$$

- f_p - fleksibilnost strukture prostora,
- K_i - broj veza i-tog radnog mesta sa ostalim - rezultat simulacije,
- m - ukupan broj radnih mesta.

4. Fleksibilnost procesa (f_{PR})

$$(6) \quad f_{PR} = \frac{T_{cm}^I}{T_{cm}}$$

- f_{PR} - fleksibilnost procesa,
- T_{cm}^I - vreme trajanja ciklusa montaže pri apsolutnoj fleksibilnosti ($t_{pzi} = 0$) - rezultat simulacije,
- T_{cm} - vreme trajanja ciklusa montaže u realnim uslovima - rezultat simulacije.

2.4 Analiza rezultata i podešavanje strukture sistema

Nakon simulacije rada i utvrđivanja karakteristika projektovanih varijanti montažnih

Tabela T1.

KOMPONENTE FLEKSIBILNOSTI		KORACI ZA POVIŠENJE FLEKSIBILNOSTI
fleksibilnost strukture f_s	fleksibilnost strukture toka f_{st}	<ul style="list-style-type: none"> - tehnološka komponenta f_{ts} - univerzalna oprema/alati/pribori, - podešljiva oprema/alati/pribori, - zamenljiva oprema/alati/pribori, - pogramabilna oprema, -
		<ul style="list-style-type: none"> - kapacitivna komponenta f_{ks} - povećanje kapaciteta na kritičnim radnim mestima, - uvođenje produktivnije opreme, -
	fleksibilnost strukture prostora f_p	<ul style="list-style-type: none"> - uvođenje višeprotočnih i višepozicionih struktura, -
fleksibilnost procesa f_{PR}		<ul style="list-style-type: none"> - uvođenje paralelnih tokova (obezbediti mogućnost istovremene montaže više različitih proizvoda), - uvođenje rednih tokova (obezbediti mogućnost brzog transformisanja za nove proizvode), - razdvajanje predmontaže od završne montaže, - univerzalnija oprema/alati/pribori, -

sistema sledi analiza dobijenih rezultata.

Utvrđuju se kritična mesta na osnovu vrednosti pojedinih komponenti fleksibilnosti, na osnovu kojih se zatim preduzimaju odgovarajuće akcije prema tabeli T1., sa ciljem povećanja nivoa fleksibilnosti.

Pored fleksibilnosti neizostavno se analiziraju i ostali kriterijumi kao što su: troškovi montaže po jedinici proizvoda, očekivani kvalitet proizvoda, pogodnost upravljanja, itd., uz pomoć kojih se stiče kompletna slika o kvalitetu projektovanih varijanti i stvaraju uslovi za višekriterijumski izbor optimalne varijante.

3. ZAKLJUČAK

Istraživanja su pokazala da je moguće primenom dinamičkog modeliranja i simulacije kao alata obezbediti efikasnije projektovanje više varijanti montažnih sistema i na tim osnovama izvršiti izbor optimalne varijante. Utvrđivanjem slabih mesta i sprovođenjem navedenih aktivnosti moguće je povećati nivo fleksibilnosti montažnih sistema pri čemu su nužne analize kako troškova tako i drugih pokazatelja koji se ne mogu kvantitativno iskazati.

4. LITERATURA

- [1] Čosić I.: *Prilog razvoju proizvodnih struktura povišenog stepena fleksibilnosti*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1982.
- [2] Zelenović D, Čosić I.: *Montažni sistemi*, Nauka, Beograd, 1991.
- [3] Čosić, I., Anišić, Z.: *Development of Flexible Assembly Systems Using Simulation Method*, Proceedings, Vol. II, pp.283 - 287, XII - International Conference on System Science, Wrocław, Poland, September 12 - 15, 1995.
- [4] Čosić, I., Anišić, Z., Radlovački, V.: *Some Results from Applying a Flexible Concept of Assembly Systems Designing and Assessment of the Simulation Effects*, p.p. 318 - 320, Proceedings of The 13th ICPR, Jerusalem, Israel, August 6-10, 1995.

INVESTIGATION OF THE CONDITIONS FOR ENHANCEMENT OF THE ASSEMBLY SYSTEMS FLEXIBILITY

Summary:

Problems of the assembly such as: enlarged costs per item and too long lead time, caused by the growing number of product variants in relatively small batches are results of the inflexible layout of the assembly system and inadequate process control. The paper presents a concept for flexibility enhancement in the designing phase. Background of the concept are well defined flexibility criteria and the procedure for computing the numerical value of the total flexibility of the designed alternatives, as well as the components of its. After the determination of the systems flexibility, with the use of a simulation software as a tool, authors propose steps for making corrections in the feed back loop, depending on which component of flexibility is critical. Simulation of the assembly process in the same time provides different outcomes used for the purpose of optimization and better process control in the exploitation phase.



M.Bulatović¹

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

EKSPERTNI SISTEM U FUNKCIJI PREDVIĐANJA I SPREČAVANJA OTKAZA MAŠINA²

REZIME

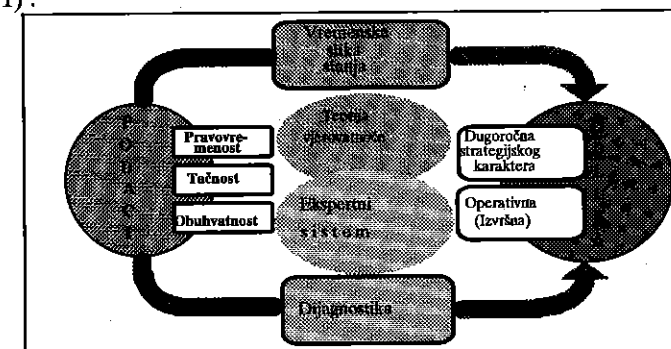
Poremećaji u procesu korišćenja i održavanja sistema i dijelova sistema dovode do odstupanja od očekivanog ponašanja pretpostavljenog na osnovu istorije podataka, odnosno, primjenom Teorije vjerovatnoće i statistike i Teorije obnavljanja.

U uslovima stohastičke promjene parametara stanja razvijen je novi postupak predviđanja otkaza na osnovu koga se, određenim pravovremenim aktivnostima održavanja, sprečavaju otkazi dijelova sistema i sistema u cjelini. Taj postupak se zasniva se na primjeni ekspertnog sistema kao oblika vještačke inteligencije.

U ovom radu prikazan je postupak izrade i rezultati primjene prototipa ekspertnog sistema za dijagnostiku kombinovan sa vjerovatnoćom nastanka otkaza

UVOD

Kvalitet funkcije održavanja određen je konceptom održavanja, što podrazumijeva princip donošenja odluke o vremenu i načinu sprovođenja postupaka održavanja (sl.1).



Sl.1 Proces odlučivanja o koncepciji i upravljanju u održavanju

Za analizu ponašanja sistema i donošenje dugoročnih i operativnih odluka Teorije vjerovatnoće i statistike i Teorije obnavljanja, na bazi istorije podataka o

¹ mr Miodrag Bulatović, Mašinski fakultet u Podgorici, Katedra za proizvodno mašinstvo.

² Rad je dio prezentacije Naučno istraživačkog projekta "Primjena vještačke inteligencije u predikciji i sprječavanju otkaza" koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Crne Gore, Sektor za nauku, za period 1995-97.

vremenu u radu i otkazu, prihvatljive su kao metode za planiranja aktivnosti održavanja na određeno vrijeme. Međutim, poremećaji u procesu korišćenja i održavanja sistema i djelova sistema dovode do odstupanja od očekivanog ponašanja

Predviđanje događaja zasniva se na stvarnom stanju sistema i njegovih dijelova čime se stvaraju uslovi za koncepciju preventivnog održavanja po stanju na bazi praćenja promjena parametara stanja tj. primjenom tehničke dijagnostike.

Preventivne aktivnosti u održavanju, kao što su intervali zamjene dijelova sistema, kada su u funkciji vjerovatnoće otkaza, baziraju se na matematičkom vjerovatnosnom modelu u Teoriji obnavljanja, pri čemu se:

-predviđa nastanak otkaza sa vremenskom tolerancijom koja izaziva povećane troškove održavanja i

-ne upozorava na otkaz, ako do njega dolazi prije isteka proračunatog intervala zamjene.

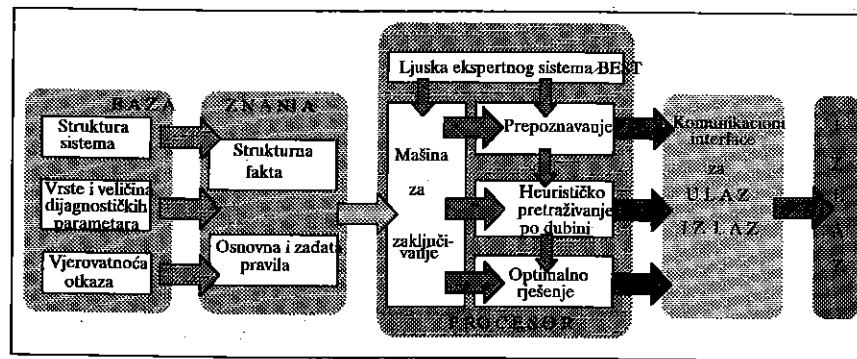
Problem je riješen primjenom ekspertnog sistema kao pogodnog oblika vještačke inteligencije. U radu je prikazan:

- razvoj prototipa ekspertnog sistema za predviđanje otkaza,
- testiranje modela ekspertnog sistema na mlinu za mljevenje boksita.

EKSPERTNI SISTEM ZA DIJAGNOSTIKU I VJEROVATNOĆU OTKAZA

Ekspertni sistem ima zadatak da registruje i obrađuje unešene podatke, ukazuje na vjerovatnoću nastanka otkaza djelova sistema i sistema u cjelini locirajući kritična mjesta, odnosno, kritične puteve, rangira ih po kritičnosti kako bi organizatori aktivnosti održavanja donosili odluke po prioritetima.

Arhitektura ekspertnog sistema za predviđanje i sprečavanje otkaza, (sl.2) sastoji se od:



Sl.2 Arhitektura ekspertnog sistema za predviđanje otkaza

- baze znanja - identifikacija i konceptualizacija,
- ljuske ekspertnog sistema BEST -formalizacija,
- procesora (implementacija, mašina za zaključivanje)
- komunikacionog interfejsa.

Baza znanja se formira na osnovu postojećih znanja o opštim i posebnim karakteristikama procesa, sistema i parametara održavanja. Znanja su predstavljena faktima i pravilima.

Ljuska BEST (Blackboard-based Expert System Toolkit), razvijena je u Institutu Mihajlo Pupin u Beogradu.

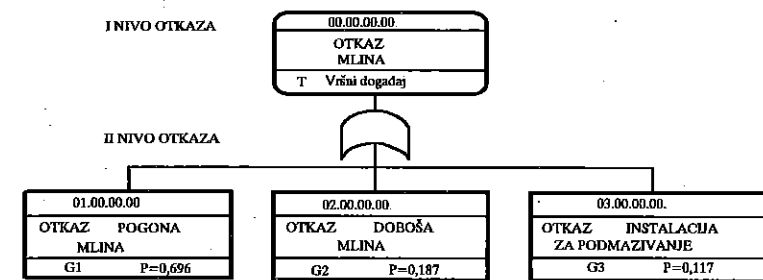
Processor je entitet ekspertnog sistema koji zaključke inference engine (mašine za zaključivanje) prenosi kroz: proces heurističkog pretraživanja po dubini, procedure prepoznavanja za dijagnozu, odgovarajuće rješenje-akciju.

Komunikacioni interfejs, za ulaz i izlaz omogućava konforan rad korisnika. U ovaj entitet spada i jezik ekspertnog sistema kao intelektualnog partnera između čovjeka i mašine.

PRAVILA ZA IZRADU PROTOTIPA EKSPERTNOG SISTEMA

Polazni uslovi za izgradnju produkcionih pravila za izradu ekspertnog sistema, s obzirom na usvojenu koncepciju, su struktura sistema, dijagnostički parametri i nivoi vjerovatnoće otkaza zavisno od stanja parametara**.

Struktura sistema



Sl.3 Stablo otkaza vršnog događaja

Slijedeći metodologiju formiranja i analizu stabla otkaza konstruisano je stablo otkaza sa pet nivoa u odnosu na vršni događaj T (otkaz mlina) (sl.3), otkaze podsklopova Gi i bazične događaje (primarne Pj i sekundarne Sk koji definišu uzroke nastanka otkaza djelova, podsklopova i sklopa).

Na sl.4 prikazano je stablo otkaza ulaznog vratila reduktora glavnog kretanja mlina, sa bazičnim događajima P i S za podsklop i njegovde djelove.

Vjerovatnoća otkaza sistema i dijelova sistema

Vjerovatnoća otkaza mlina za boksit i njegovih dijelova, za prototip ekspertnog sistema, definisana je opisno i numerički u tri gradacije, kao:

- mala vjerovatnoća otkaza ($P=0,05$), kada se promjene dijagnostičkih parametara nalaza ispod dozvoljenih granica poremećaja,
- srednja vjerovatnoća otkaza ($P=0,5$), predstavlja mogućnost da dođe do otkaza, odnosno da se dijagnostički parametri nalaze u granicama dozvoljenih poremećaja i mogu izazvati otkaz ukoliko ne dođe do potrebne intervencije.
- velika vjerovatnoća otkaza ($P=0,95$), kada se dijagnostički parametri sistema ili njegovi djelovi nalaze iznad dozvoljenih odstupanja, gdje postoji velika mogućnost otkaza, kada treba hitno preduzimati akciju u cilju sprečavanja otkaza.

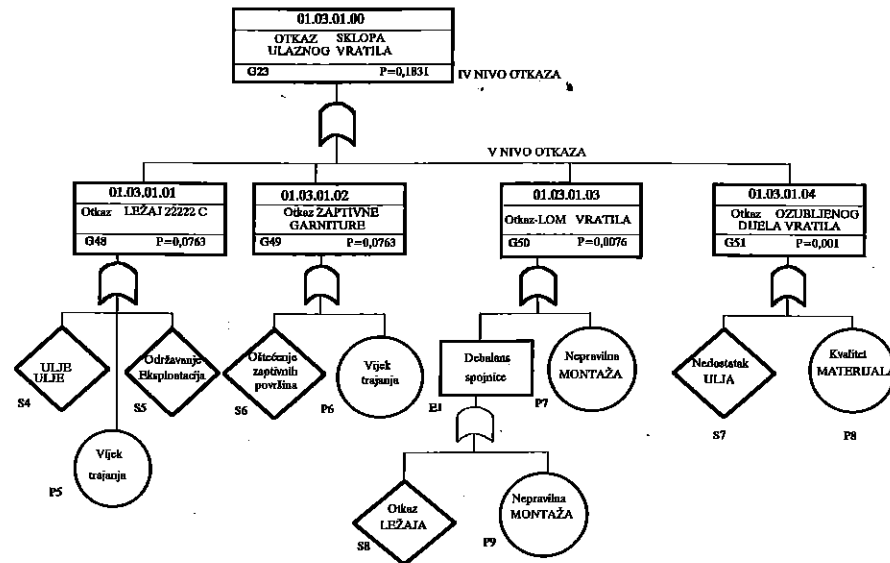
** Objekat istraživanja je mlin za mljevenje boksita Fabrike za proizvodnju glinice, Kombinat aluminijuma u Podgorici.

Vrste i veličine dijagnostičkih parametara

Polazni uslovi za izgradnju produkcionih pravila, su definisani dijagnostički parametri, čije promjene registruje i obrađuje ekspertni sistem:

Buka - udarni impulsi u ležajevima :

Granične vrijednosti usvojene su na bazi preporuka proizvođača mjerne opreme: udarni impuls < 20 dB, mala vjerovatnoća otkaza, udarni impulsi 20 dB < 35 dB, srednja vjerovatnoća otkaza, udarni impulsi > 35 dB, velika vjerovatnoća otkaza.



Sl.4 Uzroci otkaza sklopa ulaznog vratila reduktora

Temperatura dijelova :

Granične vrijednosti su određene na osnovu preporuka proizvođača opreme i iskustvenih saznanja eksperata, zavisno od vrste elementa, mjesta ugradnje i funkcije.

Nivo ulja u kućištima:

Mjeri se nivometrom, čiji signali se mogu konvertovati za računarsku obradu.

Granične vrijednosti su određeni minimalnim i maksimalnim nivoom ulja.

Čistoća ulja - sadržaj opiljaka u ulju:

Uzorak ulja ispituje se laboratorijski. Zavisno od pojave opiljaka, sadržaja, krupnoće i vrste materijala, ustanovljava se stanje unutrašnjih elemenata sklopa odnosno vjerovatnoća otkaza.

Curenje ulja na zaptivnim sklopovima:

Curenje se ustanovljava vizuelnim preventivnim pregledom.

Opterećenje, koje se mjeri odstupanjima od nominalnog napona.

Produkciona pravila za prototip ekspertnog sistema

Pravila ispisuju eksperti ili grupa eksperata na osnovu sopstvenog znanja i iskustva, na osnovu raspoložive istorije podataka i na osnovu podataka iz kompetentne literature. Primjer ispisivanja prevail *if...them* za vršni događaj-otkaz mlina:

I NIVO OTKAZA (vršni događaj)

00.00.00.00.- MLIN ZA MLJEVENJE BOKSITA

- AKO:** su udarni impulsi kotrljajnih ležajeva < 20 dB, i temperatura elemenata < 80° i nivo ulja ≥ min i ≤ max, i opterećenje djelova ≤ nom. (nominalno),

ONDA: nema indikacija za otkaz, vjerovatnoća otkaza P=0,05.

AKCIJA: sprovesti preventivno održavanje po uputstvima.

- AKO:** su udarni impulsi kotrljajnih ležajeva ≥ 20 dB i < 35 dB, ili temperatura kliznih ležajeva mlina ≥ 80° i < 100°, ili opterećenje > nom., ili u ulju ima opiljaka,

ONDA: određeni dijelovi mlina su djelimično oštećeni, P=0,5,

UZROK: - pogon mlina (01.00.00.00) u 70% slučajeva,

- doboš mlina (02.00.00.00) u 10% slučajeva,

- prateća instalacija sa podmazivanjem (03.00.00.00) u 20% slučajeva.

AKCIJA: Otkloniti oštećenja i uzroke oštećenja, intenzivirati preventivno održavanje i praćenje stanja elemenata.

- AKO:** su udarni impulsi kotrljajnih ležajeva ≥ 35 dB, ili temperatura kliznih ležajeva ≥ 100°, ili temperatura ostalih elemenata > 80°

ONDA: određeni dijelovi mlina su oštećeni, P=0,95,

UZROK: - pogon mlina (01.00.00.00) u 80% slučajeva,

- doboš mlina (02.00.00.00) u 5% slučajeva,

- prateća instalacija sa podmazivanjem (03.00.00.00) u 15% slučajeva.

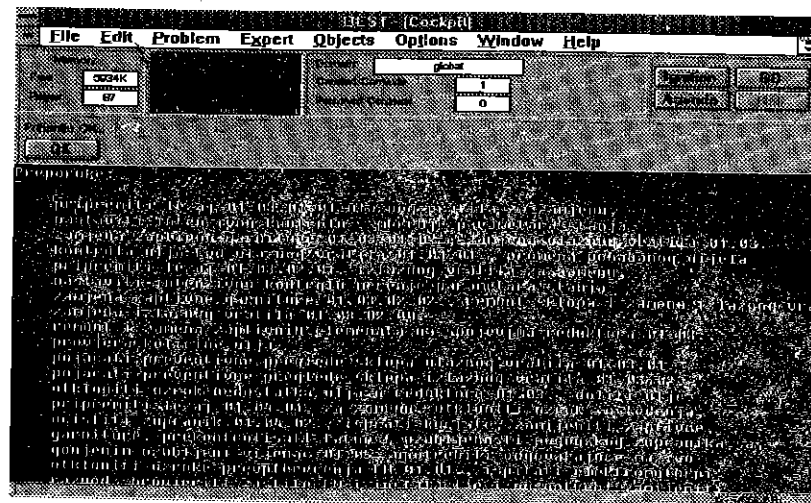
AKCIJA: Zaustaviti uređaj, otkloniti uzroke oštećenja, zamijeniti oštećene elemente i podsklopove.

REZULTATI TESTIRANJA PROTOTIPA EKSPERTNOG SISTEMA

Aktiviranje prototipa ekspertnog sistema vrši se određenom procedurom, korišćenjem File Manager-a ili ikone u Windows-u na PC.

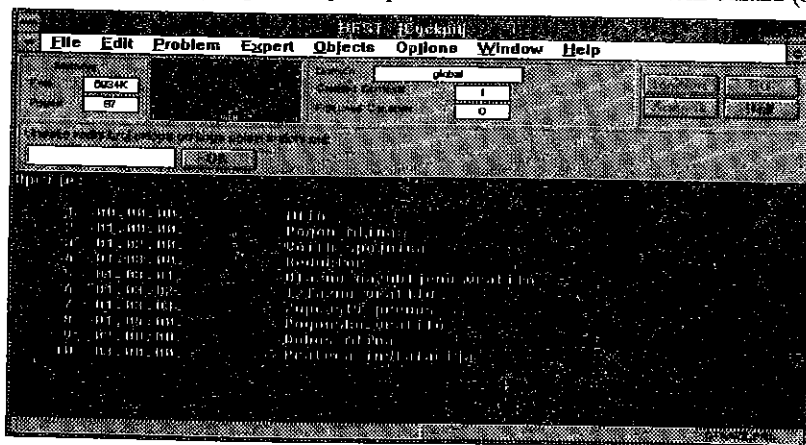
Podaci o vrijednosti parametara unose se po meniju pitanja kojima su definisani vrsta parametra, jedinica mjere, naziv i oznaka lokacije parametra i mjesto za unos podatka.

Poslije unošenja podataka o stanju parametara na monitoru se pojavljuje spisak preporuka (sl.5) potrebnih aktivnosti održavanja za sprječavanje daljih oštećenja dijelova sistema i otkaza za sve metode održavanja: preventivne preglede, preventivne intervencije, tekuće održavanje, srednje i velike popravke.



Sl.5 Preporuke za aktivnosti održavanja u funkciji stanja parametara

Korisnik ima mogućnost da izabere nivo sa koga želi da vrši pretraživanje stanja parametara i vjerovatnoću po dubini. Na monitoru se pojavljuje spisak čvorova sa nazivom i oznakom sklopa i podsklopova po nivoima definisam stablom otkaza (sl.6).

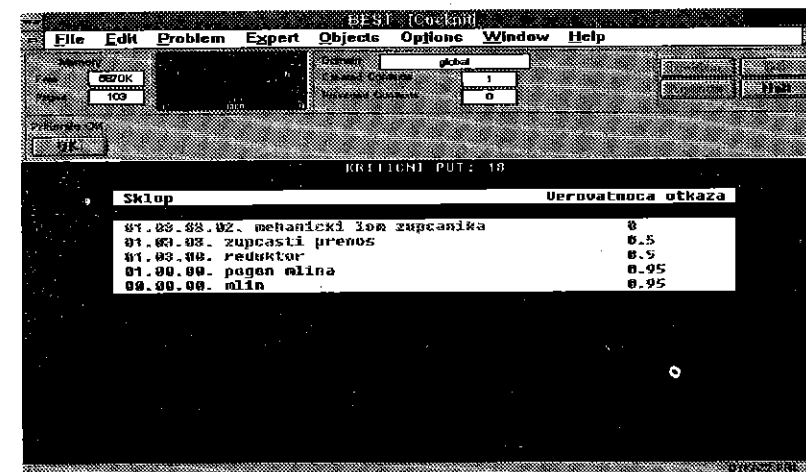


Sl.6 Meni za izbor nivoa za pretraživanje po dubini

Poslije izbora sklopa za koji se traži vjerovatnoća otkaza na osnovu vrijednosti parametara kojima se definiše njihovo stanje, korisnik bira da li želi informaciju o osnovnom kritičnom putu ili o vjerovatnoći otkaza svih čvorova sa stabla otkaza. Ukoliko želi da ima uvid u stanje svih čvorova stabla otkaza oni se pokazuju po nivou kritičnosti od veće ka manjoj. Na monitoru se pokazuje grana otkaza od vršnog događaja do elementa sa bazičnim uzrokom otkaza (sl.7).

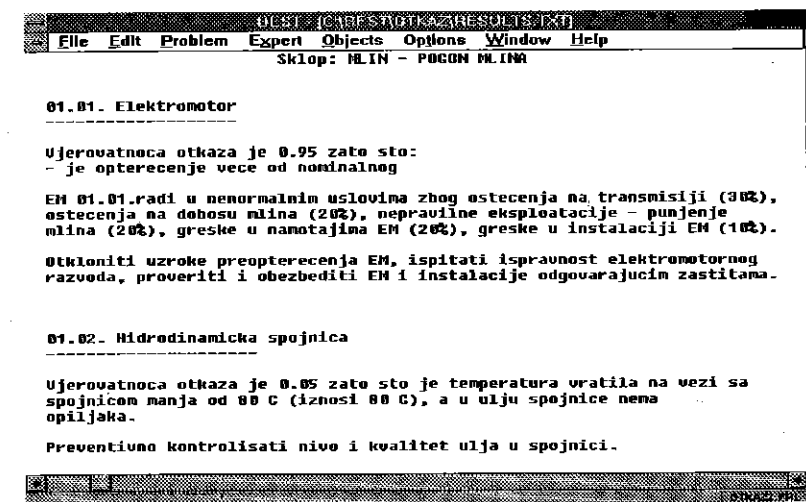
Na primjeru puta otkaza (sl.7) uočava se da je, na osnovu izmjerenih vrijednosti stanja parametara, velika vjerovatnoća da dođe do otkaza mlina.

Uočava se, zatim, da je uzrok otkazu mlina u pogonu mlina koji je, takođe, sa velikom vjerovatnoćom otkaza. Međutim vidi se da reduktor nije uzrok otkaza zato što on ima srednju vjerovatnoću otkaza.



Sl.7 Primjer kritičnog puta otkaza

Pretraživanjem puteva otkaza dobija se informacija da je uzrok otkaza mlina preopterećenje elektromotora.



Sl.8 Obrazloženje vjerovatnoće otkaza i aktivnosti održavanja

objasni uzrok pokazane vjerovatnoće otkaza pretpostavke koje imaju značajnu ulogu u donošenju odluka i akcije koje treba izvesti u cilju sprečavanja dalje negativne promjene stanja parametara, odnosno otkaza.

ZAKLJUČCI

•Prototip ekspertnog sistema pokazao je da se nedostaci primjene vjerovatnoće u procesima eksploatacije i održavanja mašina, mogu efikasno prevazići primjenom vještačke inteligencije.

•Prikazani prototip je nastao kao rezultat ekspertskih znanja sublimiranih u produkcionim pravilima, čiju implementaciju i konceptualizaciju u inferentnu mašinu je izvršio inženjer znanja, koristeći odgovarajuću ljusku ekspertnog sistema.

•Stanje sistema može se konstatovati u željenim vremenskim intervalima zavisno od vrste tehničkog sistema, učestalosti otkaza i kompleksa posljedica koje izaziva otkaz.

•Na osnovu podataka iz prikazanog prototipa ekspertnog sistema korisnik sa lakoćom donosi operativne odluke u cilju sprečavanja otkaza, kao i strategijske odluke o konceptu i metodama održavanja sistema.

LITERATURA

[1]Bulatović, M.,Krivokapić, Z.: Izrada ekspertnog sistema za tehničku dijagnostiku korišćenjem ljuske BEST, 22 JUPITER Konferencija, Beograd, 1996.

[2]Bulatović, M.: Ekspertni sistem održavanja kao kompozit dijagnostike i vjerovatnoće otkaza, 22 JUPITER Konferencija, Beograd, 1996.

[3]Bulatović, M., Vukasojević, R.: Expert System in Function of Diagnostics and Probability of System's failure, International AMSE Conference, Symposium on Fuzzy Systems, Neural Networks, Artificial Intelligence, Leone, Spain, 1996. (rad prijavljen).

EXPERT SYSTEM IN FUNCTION OF PREDICATION AND PREVENTION OF MACHINE'S FAILURE

SUMMARY

Disturbance in porches of using and maintenance of system and in parts of system cause to retreat from expected conduct, which is based on theory of probability and statistics and theory of regeneration.

Numerous of factors, which influence on change parameters of system's condition, can't be mathematical defined.

In that condition, new procedure of prediction of failure is revealed.

New procedure of making operative decisions is based on using expert system, like form of artificial intelligence.

Procedure of production and results of using expert system prototype for diagnostics is presented in his paper.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M. Bulatović*
Đ. Kovačević

ISTRAŽIVANJE EFEKTIVNOSTI SISTEMA U PROCESNOJ INDUSTRIJI

REZIME

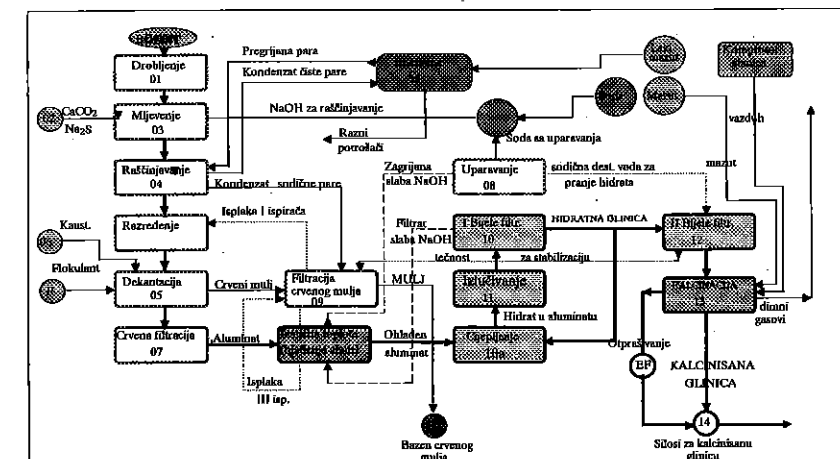
Efektivnost sistema zavisi od kvaliteta projektovanja, konstrukcije i izgradnje sistema (strukture sistema), a u fazi eksploatacije i od načina korišćenja i održavanja.

Za analizu ponašanja sistema i donošenje odluka u funkciji upravljanja održavanjem u cilju povišenja efektivnosti, primjenom Teorije vjerovatnoće i statistike i Teorije obnavljanja, koriste se podaci o vremenu u radu i otkazu sistema.

Cilj ovog rada je da prikaže metodologiju istraživanja sa primjerom povišenja efektivnosti, koristeći za objekat istraživanja postrojenja Fabrike glinice iz Podgorice.

UVOD

Objekat istraživanja je Fabrika za proizvodnju glinice (280.000 tona godišnje), kao dio sistema za proizvodnju i preradu aluminijuma (100.000 tona godišnje) u Kombinat aluminijuma u Podgorici.



Sl.1 Šema proizvodnje glinice po Bayerovom postupku

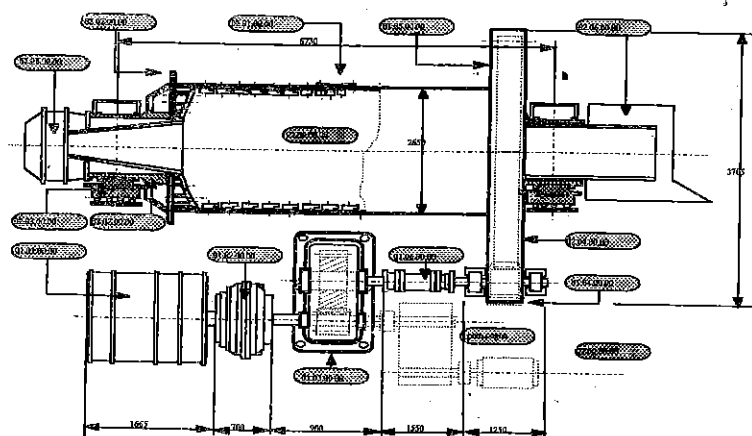
* mr Miodrag Bulatović dipl.ing., Prof. dr Đordije Kovačević dipl.ing., Mašinski fakultet - Podgorica

Proizvodnja glinice (Al_2O_3), predstavlja tipičnu procesnu industriju neprekidnog toka proizvodnje. Neprekidan tok proizvodnje je u funkciji sistema visokog stepena efektivnosti, odnosno, minimalnog vremena i učestalosti stanja u otkazu.

U složenom sistemu, kao što je Fabrika za proizvodnju glinice, visok stepen efektivnosti postiže se optimizacijom sume faktora koja proističe iz tehničko-tehnoloških uslova proizvodnje i okruženja pri čemu se izdvajaju:

- struktura sistema, kao unutrašnji (konstruktivni) faktor i
- održavanje sistema, kao osnova logističke podrške.

Hidratna glinica, namijenjena za komercijalno-industrijsko korišćenje dobija se iz rude boksita po Bayer-ovom postupku (sl.1), pri čemu raščinjavanje boksita nastaje na temperaturi 240-280°C i pritisku do 4 MPa, uz visok utrošak energije. *Kalcinisana glinica* se dobija u peći za kalcinaciju pri temperaturi oko 1000°C.



Sl.2 Strukturna šema mlina za mljevenje boksita

ABC metodom, utvrđeno je da dva pogona (03-mljevenje i 04-raščinjavanje) učestvuju sa 68,5% otkaza Fabrike. Za uži objekat istraživanja u cilju povišenja efektivnosti Fabrike izabrana je oprema pogona 03-mljevenje - mlin za mljevenje boksita, proizvođača FIVES LILLES - Francuska. (sl.2).

EFEKTIVNOST - MJERA I CILJ USPJEŠNOSTI ODRŽAVANJA

Za ostvarivanje funkcije kriterijuma u određenom vremenu i određenim uslovima okoline sistem mora imati sposobnost:

- da stupi u dejstvo i ostvari očekivane izlazna veličine u minimalnom vremnu trajanja i datim uslovima okoline- *gotovost sistema* $G(t)$,
- da obavi rad u granicama dozvoljenih odstupanja u očekivanom vremenu trajanja i datim uslovima okoline- *pouzdanost sistema* $R(t)$,
- da se prilagođava poremećajima u procesu rada- *funkcionalna podobnost* FP.

Sinteza pomenutih karakteristika je *efektivnost*, kao vjerovatnoća da će sistem po stupanju u dejstvo uspješno vršiti funkciju kriterijuma i prilagoditi se uslovima (korišćenje i održavanje) u predviđenom vremenu rada, odnosno:

$$E(t) = G(t) \cdot R(t) \cdot FP, \quad 0 < E < 1 \quad (1)$$

Gotovost - spremnost sistema da stupi u rad

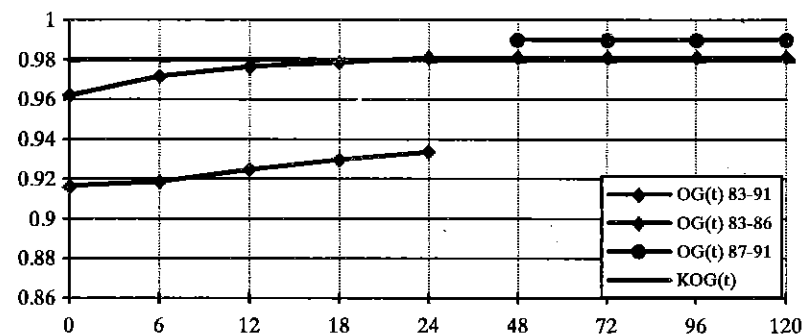
Gotovost je, prema datoj definiciji, vjerovatnoća da će sistem uspješno stupiti u dejstvo u određenom trenutku vremena i uslovima okoline.

Pod uslovima okoline smatra se pripremljenost sistema za rad u toku projektovanja i izrade, transporta i montaže, probnog rada, ljudskih i materijalnih resursa, eksploatacije, pripremljenih i izvršnih aktivnosti održavanja, sve do izdvajanja iz procesa.

U radu se proučava *operativna gotovost* kao funkcija vremena kada je sistem u radu T_r i otkazu T_o :

$$OG(t) = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri}}{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{j=1}^m t_{oj}} = \frac{T_r}{T_r + T_o} \quad (2)$$

Primjenom izraza (2) dobijene su vrijednosti operativne gotovosti $OG(t)$ u intervalima od šest mjeseci (1983, 1984, 1984, 1985, 1986 god.) i dvanaest mjeseci (1987, 1988, 1989, 1990 i 1991 god.). Dobijeni rezultati prikazani su na dijagramima (sl.3):



Sl.3 Stanje operativne gotovosti u periodu istraživanja

Koeficijent operativne gotovosti za period 1983-91 god.;

$$K_{OG} = \frac{\bar{t}_r}{\bar{t}_r + \bar{t}_o} = \frac{683,345}{683,345 + 696,595} = 0,98097 \quad (3)$$

Na osnovu tog koeficijenta vidi se da je karakter funkcije operativne gotovosti za period istraživanja 1983-86. nestacionaran tj. kriva gotovosti je konkavna i približava se asimptotski konstanti K_{OG} sa donje strane. U periodu 1987-91 dobiven je normalan (konveksan) oblik krive tj. približava se asimptotski sa gornje strane konstanti K_{OG} (sl.3). Kada funkcija gotovosti ima konkavan oblik znači da je sistem ušao u fazu velikog intenziteta otkaza, što je posledica nepravilnog korišćenja i neadekvatnog održavanja.

Pouzdanost sistema - vjerovatnoća uspjeha

Pouzdanost je vjerovatnoća kojom sistem zadržava potrebne radne karakteristike tokom vremena eksploatacije sa svim ograničenjima koja se tom prilikom javljaju.

Pouzdanost predstavlja aposteriornu veličinu koju možemo da odredimo tek poslije pojave stanja u otkazu. Značajno je, međutim, da tu vrijednost treba znati prije početka rada sistema, tj. da se predvidi vjerovatnoća nastanka otkaza, kao događaja u bilo kom vremenu eksploatacije.

Analizom pouzdanosti postrojenja Fabrike glinice u periodu istraživanja (1983.-1991.) utvrđuje se ponašanje tog sistema u funkciji održavanja kao i preduzimanje aktivnosti u skladu sa ponašanjem sistema.

Najčešće korišćeni zakoni raspodjele pouzdanosti su Normalni, Eksponecijalni i Weibull-ov zakon raspodjele

Analizom raspodjele vremena u otkazu za period 1983-1991, korišćenjem testa Kolmogorov - Smirnova dobijeni su rezultati (Tabela 1):

Tabela 1

Period istraživanja	Raspodjela	Parametri raspodjele	Kolmogorov-Smirnovljev test D _{max}	Napomena
1983-1991	Normalna	SV=10,4935 SD=11,9540	0.1505	Hipoteza nije prihvatljiva
1983-1991	Eksponeenc.	SV=10,4935 λ=0,0953	0,0390	Hipoteza prihvatljiva

Prihvata se hipoteza da se pouzdanost Fabrike za proizvodnju glinice, ponaša po *eksponecijalnom zakonu raspodjele* čija je:

-funkcije gustine vjerovatnoće pojave stanja u otkazu:

$$f(t) = 0,0953 \cdot e^{-0,0953 \cdot t} \quad (4)$$

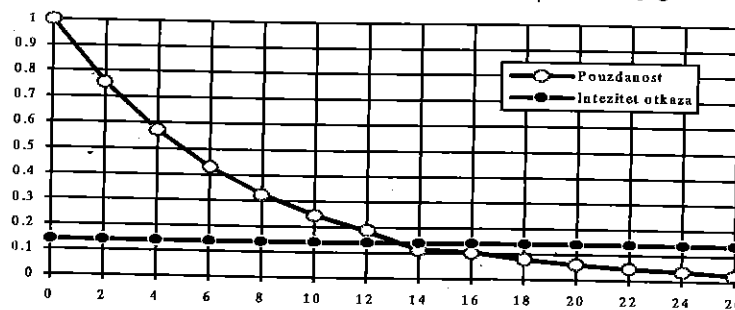
-kumulativna funkcija gustine pojave stanja u radu- funkcija pouzdanosti:

$$R(t) = e^{-0,0953 \cdot t} \quad (5)$$

-intenzitet otkaza:

$$\lambda = 0,0953 \quad (6)$$

Grafički prikaz ekspanencijalne funkcije raspodjele i intenzitet otkaza u funkciji intervala vremena u otkazu, za period 1983.-91. godina dati su na dijagramu (sl.4):



Sl 4 Pouzdanost i intenzitet otkaza Fabrike glinice u periodu 1983-91 god

Pouzdanost sistema po ekspanencijalnoj raspodjeli ukazuje da je Fabrika glinice u fazi slučajnih otkaza, tj. u II periodu krive "kade". Ovakav rezultat ukazuje na aktivnu ulogu održavanja i pretpostavlja zadovoljavajuće ostvarenje njegove funkcije.

ABC-analiza vjerovatnoće otkaza podsklopova mlina za mljevenje boksita pokazuje, da su osnovni uzroci otkaza mlina reduktor glavnog kretanja mlina (01.03.00.00) 35,22%, hidrodinamička spojnica (01.02.00.00) 12,71% i sklop pogonskih zupčanika (01.04.00.00) 17,30%.

Analizom ponašanja vremena u radu i otkazu reduktora glavnog kretanja mlina za mljevenje boksita, potvrđena je hipoteza o normalnoj raspodjeli pouzdanosti.

Dobijeni zakon raspodjele pouzdanosti koristi se u modelima povišenja efektivnosti preventivnim zamjenama sklopova i djelova sklopova.

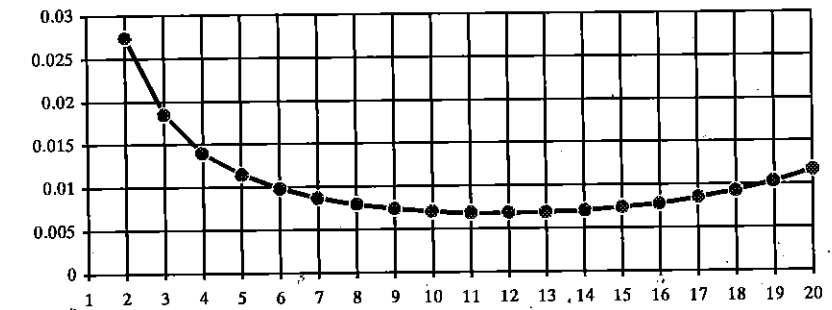
Model optimalnog perioda zamjene

Cilj ovog modela je da se odredi optimalna starost t_p , kada treba izvršiti preventivnu zamjenu, tako da ukupno jedinično vrijeme u otkazu bude minimalno.

Ukupno vrijeme zastoja $D(tp)$ izračunava se kao:

$$D(tp) = \frac{\text{ukupno} \cdot \text{ocekivano} \cdot \text{vrijeme} \cdot \text{zastoja} \cdot \text{u} \cdot \text{ciklusu}}{\text{ocekivana} \cdot \text{duzina} \cdot \text{ciklusa}}$$

$$D(tp) = \frac{T_p \cdot R(t) + T_f [1 - R(tp)]}{(tp + T_p) + [M(tp) + T_f][1 - R(tp)]}$$



Sl.5 Dijagram vremena zastoja $D(tp)$

$R(t)$ - pouzdanost

$[M(tp) + T_f]$ -vrijeme u otkazu u ciklusa naknadnih zamjena,

$M(tp) = \frac{\int_0^{tp} t \cdot f(t) dt}{1 - R(t)}$, očekivano trajanje ciklusa u otkazu, $[1 - R(t)]$ -vjerovatnoća (trajanja) ciklusa naknadnog intervenisanja (poslije nastanka otkaza).

$$D(tp) = \frac{0,057 \cdot R(tp) + 0,1[1 - R(tp)]}{(tp + 0,057) + [M(tp) + 0,057][1 - R(tp)]}$$

Varirajući jednačinu za različite vrijednosti t_p (od 1 do 20) dobijaju se vrijednosti $D(t_p)$ prikazane u dijagramu (sl.5). Kako je uslov optimizacije minimalna vrijednost ukupnog vremena zastoja u jedinici vremena, vidi se da je to period od $t_p=11$ nedjelja.

ZAKLJUČAK

Nestacionarni karakter krive operativne gotovosti Fabrike glinice pokazuje da je u jednom periodu eksploatacije postrojenja došlo do prekomjerne pojave otkaza.

Istraživanjem je potvrđena hipoteza da se pouzdanost Fabrike za proizvodnju glinice, u određenom periodu vremena, ponašala po eksponencijalnom zakonu raspodjele, što znači da je intenzitet otkaza imao tada konstantnu vrijednost.

Reduktor glavnog kretanja mlina boksita identifikovan je kao osnovni uzrok zastoja mlina (ABC-metoda), a testom je potvrđena hipoteza o pouzdanosti reduktora po normalnom zakonu raspodjele.

Primjenom modela optimalnog perioda preventivne zamjene a na osnovu zakona raspodjele pouzdanosti, utvrđen je optimalni interval zamjene reduktora.

Dobijeni rezultati u punoj mjeri opravdavaju praćenje efektivnosti, odnosno njenih činilaca, u cilju utvrđivanja i predviđanja stanja postrojenja i preduzimanja potrebnih aktivnosti u procesu korišćenja i održavanja.

LITERATURA

- [1] M.Bulatović i dr.: Primjena vještačke inteligencije u predikciji i sprječavanju otkaza, Naučno istraživački projekat, Ministarstvo za nauku i prosvjetu Crne Gore (Sektor za nauku), Podgorica, 1995-97.
- [2] Todorović, J., Zelenović, D.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna Knjiga, Beograd, 1990.
- [3] Ivanović G., Stanivuković D.: Pouzdanost tehničkih sistema, Zbirka zadatak, Novi Sad, 1987.

INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS OF SYSTEMS IN THE PROCESSING INDUSTRY

Effectiveness system depends on projecting, construction, exploitation and maintenance of system.

Information about operating time and down time of system is used for analysis of condition of system and making decisions in maintenance management in function of increasing the effectiveness of system. It's based on Theory of probability and statistics and Theory of regeneration.

Aim of this paper is to present method of increasing the effectiveness, using Factory for producing alumina as object of investigation.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

mr D. Čatić, dr S. Jovičić, dr S. Arsovski

PROGRAMSKO ODREĐIVANJE PARAMETARA VEJBULOVE TROPARAMETARSKE APROKSIMATIVNE RASPODELE

Rezime: U zavisnosti od broja parametara postoje dva modela Vejbulove raspodele: dvoparametarski i troparametarski. Ukoliko vreme rada do prvog otkaza objekata u razmatranom uzorku nije malo u odnosu na ukupno vreme rada u tom slučaju treba uzeti parametar položaja γ , tj. radi se o troparametarskom modelu. Osim sistematskog prikaza do sada korišćenih postupaka za određivanje parametra položaja γ Vejbulove troparametarske raspodele, u radu je dat originalan način analitičkog programskog određivanja ovog parametra koji sa velikom tačnošću omogućava određivanje parametara Vejbulove troparametarske raspodele. Korišćenjem navedenog postupka izvršeno je određivanje parametara Vejbulove aproksimativne raspodele pouzdanosti servo-uređaja sistema za kočenje lakih privrednih vozila.

1. UVOD

Kod postupka određivanja teorijskog zakona raspodele pouzdanosti veliki značaj ima Vejbulova raspodela. Pre svega, na osnovu rasporeda tačaka u Vejbulovom verovatnosnom papiru (koordinatni sistem sa logaritamskom podelom na apscisnoj osi i dvostrukom logaritamskom podelom na ordinatnoj osi) može se zaključiti da li je u pitanju složena raspodela. Zatim, na osnovu vrednosti parametra oblika ove raspodele, bliže se određuje model hipotetičke raspodele. Vejbulova raspodela je i razvijena za statističku obradu rezultata ispitivanja u tehnici, konkretno, rezultata ispitivanja elemenata na zamor [1].

2. VEJBULOVA RASPODELA

Izraz za verovatnoću ispravnog rada Vejbulove troparametarske raspodele glasi:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, \quad (1)$$

gde je:

- t - nezavisno promenljiva veličina (vreme),
- γ - parametar položaja,
- η - parametar razmere i
- β - parametar oblika.

mr Dobrivoje Čatić, asist., dr Svetislav Jovičić, red. prof., dr S. Arsovski vanr. prof.,
Mašinski fakultet u Kragujevcu, 34.000 Kragujevac, Sestre Janjić 6, tel. 034/67-502

Ukoliko je parametar $\gamma=0$, dobija se Vejbulova dvoparameterska raspodela. Za potrebe aproksimacije skupa tačaka Vejbulovom dvo ili troparameterskom raspodelom, neophodno je izvršiti linearizaciju ovih modela. Kod troparameterskog modela elementarnim matematičkim transformacijama izraz (1) se može prevesti u oblik:

$$\ln \ln \frac{1}{R(t)} = \beta \cdot \ln(t - \gamma) - \beta \cdot \ln \eta. \quad (2)$$

Ako se uvedu smene:

$$y = \ln \ln \frac{1}{R(t)}, \quad a_1 = \beta, \quad x = \ln(t - \gamma) \quad i \quad a_0 = -\beta \cdot \ln \eta \quad (3)$$

izraz (1) se svodi na jednačinu prave linije oblika $y = a_0 + a_1 \cdot x$. Na sličan način se vrši transformacija koordinata i kod Vejbulove dvoparameterske raspodele.

3. NAČINI ODREĐIVANJA PARAMETRA POLOŽAJA γ

Ukoliko minimalno vreme rada do otkaza objekata u razmatranom uzorku nije malo u odnosu na ukupno vreme rada ili se pri unošenju tačaka na verovatnosni papir dobija takav raspored tačaka koji se može aproksimirati kvadratnom parabolom konveksnom na gore, u tom slučaju treba uzeti parametar položaja γ . Vrednost ovog parametra se nalazi u intervalu $0 < \gamma < t_1$, gde je t_1 vreme rada do prvog otkaza objekata.

Vrednost parametra položaja γ može se odrediti grafičkim, grafoanalitičkim ili analitičkim putem.

Postupak grafičkog određivanja parametra položaja γ je dugotrajan i podložan greškama usled nepreciznog unošenja tačaka na verovatnosni papir, subjektivnosti prilikom procene o povlačenju pravih ili krivih linija za aproksimaciju i nemogućnosti tačnog očitavanja vrednosti parametara.

U cilju bržeg određivanja parametra položaja γ razvijen je grafoanalitički postupak. Nakon unošenja tačaka na verovatnosni papir i subjektivne aproksimacije krivom linijom, parametar položaja se može odrediti iz izraza [1]:

$$\gamma = t_2 - \frac{(t_3 - t_2) \cdot (t_2 - t_1)}{(t_3 - t_2) - (t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

gde je:

t_1 - vrednost apscise u prvoj tački krive (t_{min}),

t_2 - vrednost apscise tačke na krivoj čija je ordinata aritmetička sredina ordinata tačaka sa apscisama t_1 i t_3 (određuje se grafičkim putem),

t_3 - vrednost apscise u poslednjoj tački krive (t_{max}).

Jedna od mogućnosti analitičkog određivanja parametra γ je da se skup tačaka za različite vrednosti γ aproksimira pravom linijom. Zbir odstupanja empirijskih tačaka od aproksimativne prave biće veći ili manji, u zavisnosti od toga da li su tačke raspoređene po krivoj ili približno pravoj liniji. Izračunavanjem vrednosti koeficijenta determinacije za različite vrednosti parametra γ i njihovim upoređivanjem, može se doći do vrednosti γ za koju je raspored tačaka na verovatnosnom papiru najpribližniji pravoj liniji [2].

Druga mogućnost analitičkog programskog određivanja parametra γ je da se skup tačaka aproksimira metodom najmanjih kvadrata polinomom drugog reda [3]:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (5)$$

tj. kvadratnom parabolom. Od svih krivih oblika (5), najbolja aproksimativna kriva skupa tačaka sa koordinatama (x_i, y_i) je ona za koju je zbir kvadrata odstupanja ordinata najmanji. Određivanje koeficijenata a_0, a_1 i a_2 u jednačini (5), metodom najmanjih kvadrata, vrši se tako što se najpre odredi izraz za zbir kvadrata odstupanja:

$$S(a_0, a_1, a_2) = (a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_1^2 - y_1)^2 + (a_0 + a_1 x_2 + a_2 x_2^2 - y_2)^2 + \dots + (a_0 + a_1 x_n + a_2 x_n^2 - y_n)^2 = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 - y_i)^2. \quad (6)$$

Parcijalnim diferenciranjem izraza (6) po koeficijentima a_0, a_1 i a_2 dobija se sistem linearnih algebarskih jednačina za određivanje koeficijenata a_0, a_1 i a_2 :

$$a_0 n + a_1 \sum_{i=1}^n x_i + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i,$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad (7)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i.$$

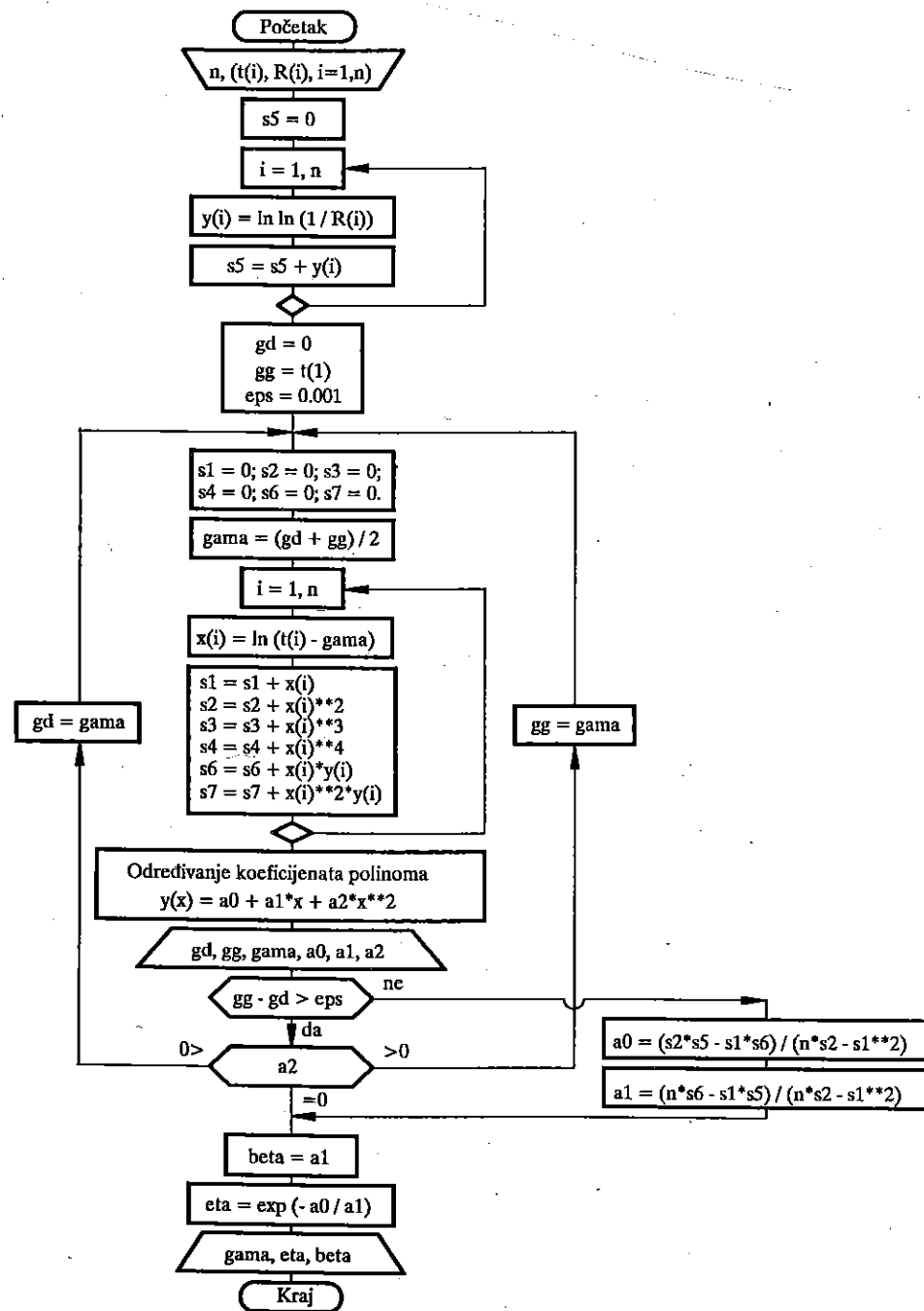
Određivanjem determinanti sistema jednačina (7):

$$D = \begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{vmatrix}, \quad D_0 = \begin{vmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 y_i & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{vmatrix}, \quad (8)$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 y_i & \sum x_i^4 \end{vmatrix}, \quad D_2 = \begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 y_i \end{vmatrix},$$

dobijaju se vrednosti traženih koeficijenata: $a_0 = \frac{D_0}{D}$, $a_1 = \frac{D_1}{D}$ i $a_2 = \frac{D_2}{D}$.

Na osnovu znaka koeficijenta a_2 , može se zaključiti da li je aproksimativna kriva konveksna ili konkavna. Na taj način, slično kao i kod grafičkog postupka, dobija se povratna informacija za dalji tok postupka. Pretraživanjem intervala $0-t_1$, dobija se vrednost γ za koju je raspored tačaka najpribližniji pravoj liniji. Za analitičko određivanje parametara Vejbulove troparameterske raspodele koristi se postupak prikazan algoritamski na slici 1., prema kojem je formiran program u Fortranu 77.



Slika 1. Algoritam programa za određivanje parametara Weibulove troparametarske raspodele.

Pretraživanje intervala mogućih vrednosti γ može se vršiti na različite načine. U programu je to rešeno tako što se interval $0-t_1$ polovi i ispituje se krivina krive za $\gamma=t_1/2$. Na osnovu znaka drugog izvoda aproksimativnog polinoma, odnosno koeficijenta a_2 , može se zaključiti da li je vrednost γ manja ili veća od korišćene vrednosti. Ukoliko se dobije a_2 jednako nuli, tj. najbolja aproksimativna kriva je prava linija, vrednost γ je određena. Za vrednost $a_2 < 0$, za γ se uzima sredina desnog intervala tj. $\gamma = 0,75 \cdot t_1$, a za vrednost $a_2 > 0$, za γ se uzima sredina levog intervala tj. $\gamma = 0,25 \cdot t_1$. Postupak se nastavlja sve dok širina intervala u kome se nalazi vrednost γ ne bude manja od neke unapred zadate vrednosti ($\epsilon = 0,001$) ili dok drugi izvod aproksimativne krive ne bude jednak nuli.

Ukoliko je izlazak iz ciklusa posledica smanjenja širine intervala, u tom slučaju skup tačaka se aproksimira pravom linijom u cilju određivanja koeficijenata regresione prave skupa tačaka.

U drugom slučaju kada je drugi izvod jednak nuli, odnosno $a_2 = 0$, nema potrebe za ponovnom aproksimacijom skupa tačaka pravom linijom, pošto je u prethodnom postupku već dobijena prava linija. Parametri β i η , na osnovu izraza (3), jednaki su:

$$\beta = a_1 \quad \eta = e^{-\frac{a_0}{a_1}} \quad (9)$$

Određivanje parametara Weibulove troparametarske raspodele programskim putem biće ilustrovano na primeru određivanja raspodele pouzdanosti servo-uređaja sistema za kočenje lakih privrednih vozila.

Servo-uređaj je jedna od osnovnih komponenti hidrauličkih instalacija sistema za kočenje motornih vozila. Ima ulogu da pojača impuls dobijen od komande radne kočnice. U okviru rada [3] izvršena su eksploataciona ispitivanja za ocenu pouzdanosti kritičnih celina sistema za kočenje lakih privrednih vozila. Dobijeni skup podataka o vremenu rada do otkaza servo-uređaja prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Vremena rada do otkaza servo-uređaja sistema za kočenje lakih privrednih vozila

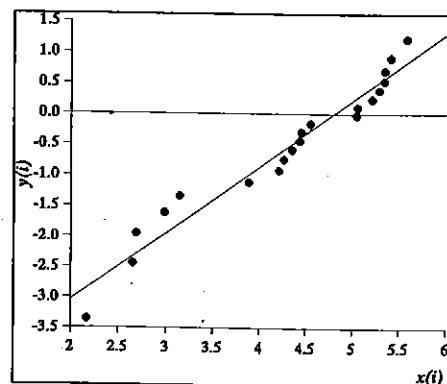
Redni broj otkaza	Pred. put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pred. put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pred. put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pred. put do otkaza [km]	Redni broj otkaza	Pred. put do otkaza [km]
1	57.570	5	72.047	9	126.170	13	203.861	17	256.850
2	63.000	6	97.350	10	132.833	14	205.405	18	258.285
3	63.521	7	116.138	11	134.162	15	231.542	19	272.125
4	68.635	8	119.706	12	143.434	16	245.709	20	314.515

Programskom obradom podataka, korišćenjem postupka za mali uzorak ($n < 30$), dobijene su procenjene vrednosti funkcionalnih pokazatelja pouzdanosti. Aproksimacijom empirijske raspodele vremena rada do otkaza servo-uređaja Weibulovom troparametarskom raspodelom, prema postupku datom algoritamski na slici 1., određeni su parametri ove raspodele: $\gamma = 48.792 \text{ km}$, $\eta = 122.027 \text{ km}$ i $\beta = 1,084$. Na osnovu toga, izraz za verovatnoću ispravnog rada servo-uređaja glasi:

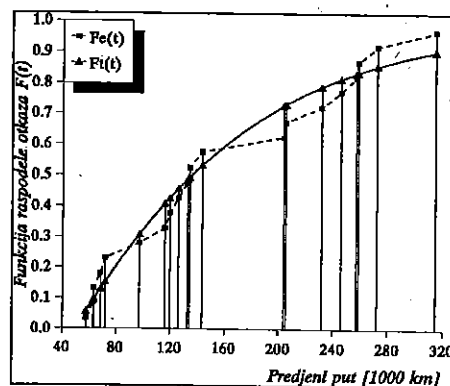
$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} = e^{-\left(\frac{t-48.792}{122.027}\right)^{1,084}} \quad (10)$$

U cilju određivanja valjanosti aproksimacije izvršeno je grafičko testiranje preko verovatnosnog papira za Weibulovu raspodelu (Slika 2.) i neparametarsko testiranje

korišćenjem testova: Kolmogorov-Smirnova, Pirsona i Mizesa. Na slici 3. dat je grafički prikaz odstupanja teorijskog aproksimativnog modela od empirijske raspodele.



Slika 2.



Slika 3.

Dobijena aproksimativna raspodela zadovoljava sve neparametarske testove sa nivoom značajnosti $\alpha = 0,20$.

4. ZAKLJUČAK

Programsko određivanje parametara Weibulove troparametarske raspodele, za razliku od grafičkog i grafoanalitičkog postupka, omogućava da se velikom brzinom dobije zadovoljavajuća tačnost rezultata. Zahvaljujući tome i poznatim osobinama ove raspodele u pogledu mogućnosti interpretacije različitih zakona slučajno promenljivih veličina, u velikom broju slučajeva u odnosu na ostale teorijske modele Weibulova aproksimativna raspodela se javlja kao optimalno rešenje.

LITERATURA

- [1] Todorović, J. Zelenović, D.: *Efektivnost sistema u mašinstvu*, Naučna knjiga, Beograd, 1990., 315 s.
- [2] Knežević, J.: *Upravljanje procesima održavanja i obnavljanja tehničkih sistema na osnovu teorije pouzdanosti*, OMO, Beograd, 1988., 263 s.
- [3] Čatić, D.: *Razvoj postupaka ubrzanih eksperimentalnih ispitivanja za ocenu pouzdanosti sistema u mašinstvu*, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1995., 208 s.

Abstract: Depending on number of parameters there are two models of Weibull's distribution: two-parametric and three-parametric distribution. If working time until the first object failure in considered sample, isn't short, in regard to entire working time, than in that case position parameter γ should be taken; i.e. it is three parametric model. Beside systematic review of procedures used in determination of position parameter γ of Weibull's three-parametric distribution, in this paper, an original way of analytical program determination of this parameter which with big accuracy makes possible determination of Weibull's three-parametric distribution parameters is given. Using the mentioned procedure determination of Weibull's approximate distribution parameters of braking system servomechanism of light industrial vehicles, is performed.

SPM 96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

ZNAČAJ POSTUPKA OTVRDNJAVANJA SPARENIH POVRŠINA KRETNIH SKLOPOVA NA NJIHOVU POUZDANOST U RADU

Gligorijević, R.*

Rezime

Jedan od glavnih uzroka pada pouzdanosti kretnih komponenta, osobito para podizač - breg bregastog vratila je habanje i zaribavanje sparenih površina u eksploataciji. Najvažniji faktori koji utiču na intenzitet habanja su uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt, hemijski sastav i mikrogeometrija kontaktnih površina i tvrdoća odnosno struktura kontaktnih - sparenih površina. Na otpornost na habanje i zaribavanje kao i kontaktni zamor veliki uticaj ima postupak otvrdnjavanja sparenih površina. Sa aspekta pouzdanosti nije svejedno kojim postupkom je postignuta propisana tvrdoća sparenih površina, jer samo pravilnim izborom termičke ili hemijsko-termičke obrade osigurava se pouzdan i dugotrajan rad bez habanja i zaribavanja. U tom cilju vršena su ispitivanja otpornosti na habanje određenih kombinacija sparenih materijala brega i podizača kao i vrste nitriranog sloja na podizaču. Podizači tj. pločice podizača ventila su nitrirane u amonijaku i u plazmi (jonsko) gasne smeše, a bregovi otvrdnuti hladjenjem sa hladilicama pri livenju. Pokazano je da nitrirani slojevi dobijeni plazma nitriranjem imaju bolju otpornost na habanje i zaribavanje od slojeva dobijenih gasnim (klasičnim) nitriranjem u amonijaku. Kombinacija plazma nitriranih pločica podizača sparenih sa bregastim vratilom čiji su bregovi otvrdnuti hladilicama pokazala se u eksploataciji veoma dobra i pouzdana.

Uvod

Intenzifikacija radnih procesa mašina i motora usmerena je pre svega ka povećanju brzine i opterećenja i smanjenju mase. Posledica toga je povećanje nivoa mehaničkih, toplotnih, termodinamičkih i aerodinamičkih napreznja sparenih delova, čime se povećava verovatnoća oštećenja usled habanja i zamora. Habanje može imati znatno veći uticaj na zamor materijala nego koncentracija napona /1,2/. Kao posledica povećanog habanja npr. delova motora javlja se povećan utrošak maziva i goriva, povećanje vibracija i buke kao i povećanje emisija u izduvnim gasovima /3/. Tako npr., povećana pohabanost cilindarsko-klipne grupe motora povećava za 25% zagadjenost vazduha izduvnim gasovima. Smanjenje trenja u benzinskim motorima za 10% donosi uštedu u gorivu za 5% a u dizel motorima uštedu za oko 7% /3/.

*Dr Radinko Gligorijević, Dipl.inž., Industrija motora Rakovica

Ako u procesu habanja na površini metalnih delova dodje do lokalnog sjedinjavanja čestica metala u kontaktu nastaje proces zaribavanja. Najčešće vrste habanja "adhezivno" i "kontaktni" zamor obično se tretiraju kao zaribavanje i drobljenje.

Zaribavanje se obično javlja tamo gde su veliki kontaktni naponi kao što je slučaj kod sparivanja podizač - breg bregastog vratila u motoru sa unutrašnjim sagorevanjem. Zato se pri izboru materijala za bregastu i podizače mora obratiti pažnja na sparivanje istih jer od toga zavisi pouzdanost i izdržljivost sklopa /4,5,6/.

Kontaktni zamor se manifestuje u obrazovanju jamica ili odvajanju tankih slojeva na površini posle velikog broja ponovljenih opterećenja, a često se naziva piting. Dakle, piting je zamor metala usled velikih Hertzovih pritisaka na dodirnim tačkama sparenih materijala. Na njega utiču veličina kontaktnih (smičućih) napona, osobine i mikrostruktura dodirnih površina i vrsta podmazujućeg sredstva. Kod čistog kotrljanja maksimalni napon na smicanje pojavljuje se ispod površine, a ako je prisutno i klizanje, maksimalni napon na smicanje pojavljuje se na površini. Jamice su najčešće trouglastog oblika. Povezivanje jamica dovodi do ljušpanja, uglavnom otvrdnutih slojeva /1,6/.

Na otpornost na habanje i zaribavanje kao i kontaktni zamor veliki uticaj ima postupak otvrdnjavanja sparenih površina. Sa aspekta pouzdanosti nije svejedno kojim postupkom je postignuta tražena tvrdoća sparenih površina, jer samo pravilnim izborom termičke ili hemijsko-termičke obrade osigurava se pouzdan i dugotrajan rad bez habanja i zaribavanja. U tom cilju vršena su ispitivanja otpornosti na habanje odredjenih kombinacija sparenih materijala brega i podizača kao i vrste nitriranja sloja na podizaču.

Materijali podizača i bregastih vratila

Za izradu bregastih vratila i podizača mogu se koristiti sivi liv, temper liv, nodularni liv, čelici za cementaciju i čelici za poboljšanje /7,8/. Najbolji rezultati u eksploataciji pokazale su bregaste i podizači od sivog liva /8/. U tabelama 1 i 2 su date karakteristike nekih vrsta sivih livova koji se najčešće koriste za izradu bregastih i podizača.

Tabela 1. Vrste sivih livova za bregasta vratila

Hemijski sastav (%)									Mehaničke osobine daN/mm ²			
Br.	Cu	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Rm	ugib	HB stab.	HRC breg
1.	3,1/3,6	1,95/2,4	0,6/0,9	0,1 max.	0,15 max.	0,85/1,25	0,4/0,6	0,2/0,45	28 min.	6,9 min.	240/320	45/50
2.	3,1/3,4	2,0/2,4	0,5/0,8	0,2 max.	0,1 max.	0,8/1,0	0,15/0,25	0,15/0,25	30		240/280	45/55
3.	3,3/3,5	2,3/2,5	0,6/0,8	0,2 max.	0,1 max.	0,3/0,5		0,3/0,5				40/45
4.	3,1/3,5	1,8/2,5	0,5/0,8	0,2 max.	0,15 max.	0,5/0,9	0,15/0,25	0,15/0,25			200/285	50 min.
5.	3,0/3,4	1,9/2,4	0,6/0,9	0,2 max.	0,12 max.						200/285	50 min.
6.	3,4/3,8	1,5/2,2	0,6/0,9	0,2 max.	0,05 max.	0,7/1,0	0,15/0,25	0,4/0,7			200/285	50 min.

Tabela 2. Vrste sivih livova za podizače ventila

B.r	Hemijski sastav %								Tvrdoća HRC
	Cu	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
1.	3,3-3,7	1,9-2,4	0,4-0,8	0,3 max.	0,1 max.	0,3			>55
2.	3,0-3,4	2,0-2,4	0,7-0,9	0,2 max.	0,15 max.	0,9-1,25	0,4-0,7	0,4-0,7	>55
3.	3,1-3,5	1,0-2,5	0,5-0,8	0,2 max.	0,15 max.	0,5-0,8	0,25 max.	0,25 max.	>55
4.	3,4-3,6	1,8-2,4	0,8-1,1	0,2 max.	0,15 max.	0,9-1,15	0,4-0,45	0,4 max.	>55
5.	3,2-3,6	1,7-2,2	0,6-1,1	0,1 max.	0,1 max.		0,2-0,35		>55
6.	3,15-3,4	2,0-2,4	0,6-1,2	0,3 max.	0,1 max.	0,3 max.	0,4-0,8	0,3 max.	>55

U tabelama 1 i 2 može se zapaziti da su livovi uglavnom legirani mada se, dosta redje, mogu koristiti i nelegirani odnosno bolje rečeno malo legirani livovi. Interesantno je zapaziti da je za pouzdano funkcionisanje kretnog sklopa breg-podizač potrebno da tvrdoća podizača bude veća od tvrdoće brega. Za pouzdan rad dozvoljeni maksimalni Hertzov pritisak na bregu/podizač ne treba da predje 85 daN/mm². Zbog visokih Hertzovih pritisaka kvalitet obrade brega i podizača je veoma bitan za izdržljivost istih. Za podizače se propisuje obrada od 0,1-0,15 μm a za bregove vrednost od 0,6 μm je prihvatljiva.

Metode povećanja otpornosti na habanje i zaribavanje

Otpornost na habanje se povećava poboljšanjem kvaliteta obrade dodirnih površina, smanjenjem koeficijenta trenja i ojačavanjem površina materijala koje se kreću jedna preko druge. U slučaju kretnog para breg-podizač najčešće metode ojačavanja površina su indukciono kaljenje, lokalno elektro lučno stapanje, otvrdnjavanje hladilicama, cementacija i nitriranje. Sa aspekta izdržljivosti nije svejedno koje će se od ovih metoda koristiti. Samo pravilnim izborom materijala brega tj. bregastog vratila i podizača odnosno njihove termičke ili hemijsko-termičke obrade osiguraće se pouzdan rad bez habanja i zaribavanja.

Indukciono kaljenje (redje plameno) kao metod otvrdnjavanja bregova ili podizača se dosta primenjuje za motore malih snaga, pre svega benzinskih. Prednost ove metode je što je jeftina i relativno lako izvodljiva. Dobijena martenzitna struktura se nešto sekundarnog cementita pokazuje zadovoljavajuće eksploatacione karakteristike kod većine motora male snage. Kod motora veće snage a osobitno dizel motora indukciono kaljenje nedaje zadovoljavajuće rezultate.

Odlična svojstva protiv habanja i zaribavanja bregova i podizača kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem obezbeđuje ledeburitna struktura dobijena livenjem bregova i podizača otvrdnuti hladilicama.

S obzirom da je ovaj proces prilično skup kao alternativa uvedeno je takozvano pretapajuće lokalno kaljenje odnosno lokalno stapanje bregova i /ili podizača. Metoda je slična zavarivanju a sastoji se u lokalnom topljenju materijala po celom (360°) obimu ili delu (180°) obima brega. Zagrevanje - topljenje se može izvoditi pomoću plazme, elektronskog snopa, laserom ili električnim lukom. Električni luk je najjeftiniji a luk može pri postepenom obrtanju brega poprečno oscilovati ili deo može rotirati ispod električnog luka sa laganim aksijalnim pomeranjem. Zavisno od sadržaja Cevk temperatura topljenja se kreće nešto iznad ili znatno više od 1153°C.

Kao pogodan za pretapajuće kaljenje pokazao se liv koji ima oko 3% C, 1,7 % Si i 0,7 Mn, sa grafitom oblika DiE veličine 5 i 6. Da bi se sprečilo obrazovanje naprslina obično se bregovi predhodno zagrevaju na 400°C pri hladjenju obrazuje se ledeburitna

struktura koja ima dobru otpornost na habanje i zaribavanje. Obično se traži dubina ledeburitne zone min. 5 mm i tvrdoća 50 HRC min.

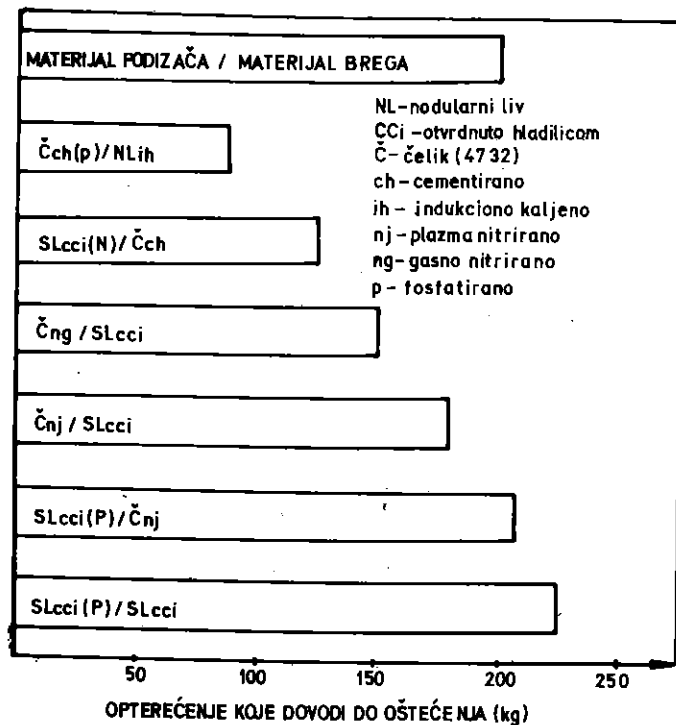
Cementacijom se postiže martenzitna struktura koja ima nešto bolju otpornost na habanje i zaribavanje od martenzitne strukture dobijene indukcionim kaljenjem a lošiju od strukture dobijene nitriranjem.

Ispitivanje i rezultati ispitivanja

Da bi se sagledao uticaj različitih postupaka otvrdnjavanja na habanje i zaribavanje kretnog sklopa podizač-breg izvršena su motorna i van motorna ispitivanja. Van motorna ispitivanja su izvodjena na sklopu podizač-breg bregastog vratila pri čemu je menjan kako materijal podizača tako i bregastog vratila. Zbog raspoloživih tehnoloških mogućnosti za proizvodnju, ispitivana je na posebnim uzorcima otpornost na habanje nitriranih slojeva dobijenih različitim postupcima nitriranja /9/.

Motorna ispitivanja sklopa podizač-breg bregastog vratila izvodjena su na probnom stolu i u eksploataciji. Pri tome bregovi su bili otvrdnuti hladilicama pri livenju a pločice podizača nitrirane u amonijaku i plazmi gasne smeše N₂+H₂.

Na sl. 1. prikazani su rezultati ispitivanja otpornosti na habanje i zaribavanje različitih kombinacija sparenih materijala breg-podizač.



Sl. 1. Uporedne otpornosti na habanje i zaribavanje različitih kombinacija podizač-breg

Vidi se da najbolje eksploatacione karakteristike tj. najmanje habanje a najbolju otpornost na zaribavanje pod najvećim opterećenjem imaju sparni podizači od sivog liva otvrdnuti hladilicama + fosfatirani i bregovi od sivog liva otvrdnuti hladilicama.

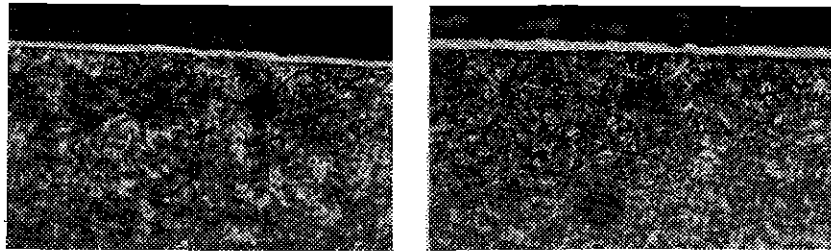
Otvrdnjavanje sa hladilicama dobijena je površinska tvrdoća od 540-570 HV. U ekstremno teškim eksploatacionim uslovima rada kod ovako sparnih kombinacija dolazi prvo do pitinga bregova. Nešto slabije rezultate daje kombinacija podizač od sivog liva otvrdnut hladilicama + fosfatiran i jonski nitrirani bregovi (HV1 = 610-650) bregastog vratila od srednje ugljeničnih čelika. Eventualne greške u eksploataciji su piting podizača. Malo slabije rezultate pokazuju sparni jonski nitrirani podizači od čelika sa bregovima od sivog liva otvrdnuti hladilicama. Sparivanje gasno nitriranih pločica podizača (HV1 680-730) od čelika sa bregovima bregastog vratila otvrdnutih hladilicama pokazuje još slabiju otpornost na zaribavanje jer pod većim opterećenjem dolazi do ljušpanja krstog nitriranog sloja a time i do brzog zaribavanja. Kombinacija podizača otvrdnuti hladilicama + nitrirani sa cementiranim bregovima od čelika pokazuje još lošiju otpornost na habanje i zaribavanje od predhodne kombinacije. Daleko najlošije rezultate daje cementirani podizači od čelika (HV1 610-730) sparni sa indukciono kaljenim bregovima (HV1 = 525-590) od nodularnog liva. Ovakvo sparivanje dovodi do intenzivnog habanja bregova i čestog zaribavanja pri umerenim opterećenjima. Dakle, može se konstatovati da na otpornost na habanje i zaribavanje veliki uticaj ima postupak otvrdnjavanja odnosno sparivanja materijala. Jer, bez obzira što su različitim postupcima postignute približno iste površinske tvrdoće otpornost na habanje i zaribavanje se znatno razlikuju, a time se razlikuju i njihove izdržljivosti u radu. Za brzohodi dizel motora izabrana je kombinacija plazma nitriranih pločica podizača od Č.4732 sa bregastim vratilom od sivog liva čiji su bregovi otvrdnuti hladilicama. Motorna ispitivanja su pokazala da ovakvo sparivanje daje dobre rezultate, te u eksploataciji nije bilo habanja ni zaribavanja. Ista ova kombinacija samo sa gasno nitriranim pločicama nije dala zadovoljavajuće rezultate pri motornim ispitivanjima jer je posle rada motora oko 100h došlo do ljušpanja tvrde nitrirane zone na pločicama (sl. 2.), obrazovane pri gasnom nitriranju.



Sl. 2. Izgled gasno nitriranih pločica posle rada u motoru

To znači da nitrirani sloj tj. njegova vezivna zona obrazovana pri gasnom nitriranju u radu pri velikim Hertz-ovim pritiscima je podložna habanju i pucanju što vodi ka zaribavanju.

Van motorna ispitivanja /9/ koja se izvodjena na uzorcima nitriranim u amonijaku i plazmi pokazala su da uzorci nitrirani u plazmi, pod uslovima obrazovanja γ' - faze imaju znatno bolju otpornost na habanje i zaribavanje nego uzorci nitrirani u amonijaku. Ove razlike su posledica pre svega osobina nitriranih slojeva. Pri plazma nitriranju obrazuje se monofazna zona jedinjenja (sl. 3a) tipa γ' koja ima znatno manji koeficijent trenja od dvofazne zone jedinjenja ($\gamma'+\epsilon$) koja se obrazuje pri gasnom nitriranju (sl. 3b).



Sl. 3. Mikrostruktura pločice podizača ventila nitrirana u plazmi (a) i amonijaku (b)

Zaključak

Na osnovu dobijenih rezultata može se konstatovati:

1. Sparivanj materijala za kretni sklop podizač-breg bregastog vratila je veoma bitno sa aspekta habanja i zaribavanja a time i izdržljivost. Bez obzira na približno istu tvrdoću postignutu različitim postupcima otvrdnjavanja otpornost na habanje i zaribavanje kao i konačna izdržljivost se znatno razlikuju.
2. Najbolje eksploatacione karakteristike imaju sparni podizači od sivog liva otvrdnuti hladilicama + fosfatirani i bregovi otvrdnuti hladilicama, a najlošije sparni cementirani podizači od čelika sa indukciono kaljenim bregovima.
3. Podizači ventila nitrirani u plazmi i sparni sa bregovima otvrdnuti hladilicama imaju bolju otpornost na habanje i zaribavanje nego podizači nitrirani u amonijaku.

Abstrakt:

One of the main causes that affect the reliability of moving components, the pair tappet-cam, in particular, appears to be the wear and seizure of mated faces in service. The most important factors that affect the intensity of wear are the conditions under which the contact of faces is realised, then the chemical composition and microgeometry of contact faces and finally the hardness; i.e. the structure of mated faces. The resistance to wear and seizure as well as to contact fatigue is considerably influenced by the procedure of hardening mated faces. From the aspect of reliability it is not irrelevant which procedure is applied to achieve the specified hardness of mated faces, meaning that only the proper choice of thermal or chemical heat treatment ensures the reliable and long service free from wear and seizure. In view of that the author has performed the tests of resistance to wear on certain combination of mated materials if cam and tappet as well as on the type of nitrided layer on the tappet. Tappets, i.e. valve tappet plates are nitrided in ammonia and in plasma (ion) gas mixture, while cams are chilled at the process of casting. It has been found that plasma nitrided layers show higher resistance to wear and seizure than those obtained by gas (conventional), nitriding in ammonia. The combination of plasma nitrided tappets mated with chilled cams proved in service to be very good and reliable.

Literatura:

1. Failure Analysis and Prevention, ASM, V 10, 1975.
2. Garkunov, D., Tribotekhnika, Mašinstvoenie, Moskva 1985.
3. Monahan, M., Engine Friction a Change in Emphasis, IME BP Tribology Lecture 1987.
4. Day, R., Materials for I-C engine cylinder components, Inst. of Mech. Eng. for CME, Mart 1976.
5. Tošić, M., Gligorijević, R., Wear properties improvements of Plasma nitrided components of 42CrMo4 Stee, PSE 1988, Garmish-Partenkirchen, 1988.
6. Neale, M. Tribology Handbook, London, 1975.
7. Angus, H., Cast Iron: Physical and Engineering Properties, 1976.
8. British Technical Council of the motor and Petroleum Industries: Cams and Tappets; a Survey of Information/Dec. 1972.
9. Gligorijević, R., Uticaj nitriranja i sparivanja materijala na smanjenje habanja nekih delova dizel motora, YUTRIB 1995, Herceg Novi 1995.



S. Jovičić, S. Stojković, D. Čatić, N. Marjanović

PRORAČUN POUZDANOSTI TORZIONIH VRATILA SA ASPEKTA KVALITETA IZRADE

U radu se ukazuje na prednosti verovatnosnog pristupa proračunu pouzdanosti i sigurnosti u odnosu na klasični deterministički proračun odgovornih proizvoda mašinogradnje. Verovatnosni proračun konkretno je primenjen na proračun torzionih vratila. Dati su analitički i dijagramski prikazi odnosa pouzdanosti i stepena sigurnosti u zavisnosti od statističkih karakteristika najvažnijih proračunskih parametara. Pri tome, posebna pažnja posvećena je uticaju kvaliteta izrade na pouzdanost i sigurnost.

UVOD

Verovatnosni proračun pouzdanosti i sigurnosti bazira se na primeni teorije verovatnoće i statistike jer realno skoro sve konstrukcione i druge veličine koje ulaze u proračun imaju slučajno promenljiv karakter. Za razliku od klasičnog proračuna koji se zasniva na determinističkim veličinama u proračunu stepena sigurnosti, verovatnosni proračun pored stepena sigurnosti omogućava izračunavanje verovatnoće otkaza, odnosno pouzdanosti.

Proračun odgovornih mašinskih delova i konstrukcija najčešće se izvodi u odnosu na zadovoljenje čvrstoće. Zahteva se da čvrstoća odnosno kritični napon pri kome dolazi do razaranja materijala sa određenom sigurnošću bude veća od stvarnih napona koji deluju u radu. Pri ovome treba uzeti u obzir da čvrstoća i napon predstavljaju slučajno promenljive veličine sa određenim verovatnosnim karakteristikama srednjih vrednosti i standardnih odstupanja [1,2,3]. Ako su slučajne veličine čvrstoće i napona raspoređene po normalnom zakonu raspodele onda se pouzdanost, odnosno verovatnoća ispravnog rada bez razaranja može izračunati kao [3]:

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_0}^{\infty} e^{-z^2/2} dz \dots \dots \dots (1)$$

gde je donja granica određenog integrala definisana kao:

$$z_0 = \frac{c_s - s_s}{\sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_s^2}} \dots \dots \dots (2)$$

pri čemu je c_s, s_s -srednja vrednost čvrstoće, odnosno napona a σ_c, σ_s - standardno odstupanje čvrstoće, odnosno napona.

dr Svetislav Jovičić, red. prof., dr Svetislav Stojković, red. prof.,
mr Dobrivoje Čatić, asistent, mr Nenad Marjanović, asistent,
Mašinski fakultet Kragujevac, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić 6.

VEROVATNOSNI PRORAČUN TORZIONIH VRATILA

U mobilnim mašinama torziona vratilo služi za prenos snage i obrtnog momenta od motora ka radnoj mašini pa je u zavisnosti od karaktera i vrste pogonskog motora i potrošača snage gotovo uvek podvrgnuto dinamičkim opterećenjima i naprezanjima. Klasičan proračun dinamičkog stepena sigurnosti bazira se na upoređenju redukovane dinamičke izdržljivosti sa stvarnim naponima u kritičnom preseku koji se javljaju usled uvijanja vratila [4,5]. Pri tome torziona vratila su najčešće punog kružnog poprečnog preseka i bez prelaza koji bi mogli izazvati koncentraciju napona a dimamički stepen sigurnosti [5] se izračunava prema:

$$S_D = \frac{k_p k_m k_o \tau_{D0}}{\tau_g} \dots (3)$$

gde je k_p - faktor stanja spoljne površine, k_m - faktor mera, k_o - faktor ostalih uslova, τ_{D0} - dinamička uvojna izdržljivost pri čisto jednoserno promenljivom naponu i τ_g -stvarni gornji napon pri čisto jednosmerno promenljivom uvijanju.

Na dinamičku izdržljivost najveći uticaj ima faktor stanja spoljne površine i faktor mera dok se faktor ostalih uslova obično ne uzima u obzir osim ako postoji delovanje i nekih drugih uticaja. Stoga se redukovana dinamička izdržljivost, odnosno dinamička čvrstoća izražava kao:

$$C = k_p k_m \tau_{D0} \dots (4)$$

Najveći stvarni napon usled uvijanja vratila, prema postavkama otpornosti materijala je odnos efektivnog torzionog momenta [6] i aksijalnog otpornog momenta poprečnog preseka:

$$S = \tau_g = \frac{16k_A T}{\pi d^3} \dots (5)$$

gde je k_A -faktor radnih uslova, T -nazivna vrednost torzionog momenta i d -prečnik kružnog poprečnog preseka vratila.

U verovatnosnom proračunu smatra se da su parametri koji ulaze u proračun slučajne veličine i da kao takve imaju karakteristike kao što je srednja vrednost i standardno odstupanje. Tako je srednja vrednost dinamičke čvrstoće:

$$c_s = k_{ps} k_{ms} \tau_{D0s} \dots (6)$$

gde se ideksom s označavaju srednje vrednosti pojedinih veličina.

Slično je srednja vrednost najvećeg stvarnog napona:

$$s_s = \frac{16k_{As} T}{\pi d_s^3} \dots (7)$$

Kvadrat standardnog odstupanje dinamičke čvrstoće može se prema [3] izraziti kao:

$$\sigma_c^2 = k_{ps}^2 k_{ms}^2 \sigma_{\tau_{D0}}^2 + k_{ps}^2 \tau_{D0s}^2 \sigma_{k_m}^2 + k_{ms}^2 \tau_{D0s}^2 \sigma_{k_p}^2 \dots (8)$$

gde je sa oznakom σ označeno standardno odstupanje odgovarajuće veličine.

Slično se za kvadrat standardnog odstupanja najvećeg stvarnog napona može dobiti:

$$\sigma_s^2 = \left(\frac{16T}{\pi d_s^3} \right)^2 \sigma_{k_A}^2 + \left(\frac{-48k_{As} T}{\pi d_s^4} \right)^2 \sigma_d^2 \dots (9)$$

Standardno odstupanje prečnika zavisi od propisane tolerancije prečnika. Ako su stvarne mere prečnika u okviru tolerantnog polja raspoređene po normalnom zakonu [3] onda se uzima da tolerancija t obuhvata šestostruku vrednost standardnog odstupanja pa se kvadrat standardnog odstupanja najvećeg stvarnog napona može konačno izraziti kao:

$$\sigma_s^2 = \left(\frac{16T}{\pi d_s^3} \right)^2 \left[\sigma_{k_A}^2 + k_{As}^2 \left(\frac{t}{2d_s} \right)^2 \right] \dots (10)$$

Da bi se verovatnosni proračun mogao sprovesti potrebno je odrediti karakteristike slučajnih veličina koji ulaze u proračun napona i čvrstoće. U literaturi mnogi autori svesni toga da se radi o veličinama slučajnog karaktera daju samo raspon u kojima se kreću dotične veličine dok se u teoriji pouzdanosti pak najčešće koristi pretpostavka da se vrednosti slučajne promenljive koncentrišu oko neke srednje vrednosti koja je jednaka sredini raspona a da se gustina rapodele vrednosti veličine slučajno promenljive podvrgava normalnoj Gausovoj raspodeli i da je tada raspon vrednosti jednak šestostrukom standardnom odstupanju [3]. Uz ove pretpostavke prema teoriji verovatnoće 99,63% vrednosti neke slučajne veličine nalazi se u rasponu što se smatra dovoljnim za tačnost proračuna čvrstoće. Držeći se ovih pretpostavki mogu se dati podaci o karakteristikama i vrednostima slučajnih veličina koje ulaze u proračun.

Faktor mera

Sa povećanjem mere prečnika vratila smanjuje se njegova dinamička izdržljivost pri čemu se kao referentni prečnik obično uzima prečnik epruvete od 10 mm.

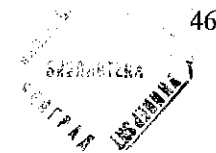
d mm	k_m	k_{ms}	σ_{k_m}	d mm	k_m	k_{ms}	σ_{k_m}
10	1	1	0	100	0,71...0,80	0,755	0,0150
20	0,86...0,94	0,900	0,0133	120	0,69...0,79	0,740	0,0167
30	0,83...0,90	0,865	0,0117	140	0,68...0,78	0,730	0,0167
40	0,80...0,88	0,840	0,0133	160	0,67...0,78	0,725	0,0183
50	0,78...0,87	0,825	0,0150	180	0,66...0,77	0,715	0,0183
60	0,76...0,85	0,805	0,0150	200	0,66...0,76	0,710	0,0167
70	0,74...0,83	0,785	0,0150	220	0,66...0,76	0,710	0,0167
80	0,73...0,82	0,775	0,0150	240	0,65...0,76	0,705	0,0183

Tabela 1 Faktor mera

Na bazi literature [4] u tabeli 1 date su rasponi vrednosti faktora mera a u istu tabelu takođe su unete i izračunate srednje vrednosti i standardna odstupanja istog faktora.

Faktor radnih uslova

Faktor radnih uslova prema [6] uzima u obzir radne uslove pogonske i radne mašine i njihov uticaj na torzioni moment. Za karaktere promene obrtnog momenta radne mašine od ravnomernog pa preko onog sa malim i srednjim udarima do onog sa jakim udarima raspon vrednosti ovog faktora dat je u tabeli 2 u zavisnosti od vrste pogonskog motora. U istoj tabeli date su i izračunate srednje vrednosti i standardna odstupanja ovog faktora.



Pogonska mašina	Elektro-motor	Turbo motor	Višecilindrični klipni motor	Jednocilindrični klipni motor
k_A	1,0...1,5	1,25...1,75	1,5...2,0	1,75...2,25
k_{As}	1,25	1,50	1,75	2,00
σ_{k_A}	0,0833	0,0833	0,0833	0,0833

Tabela 2 Faktor radnih uslova

Faktor stanja spoljne površine

Faktor stanja spoljne površine zavisi u prvom redu od tačnosti izrade, odnosno vrste obrade površine vratila kao i od zatezne čvrstoće materijala za vratilo a na osnovu podataka [4]

Vrsta obrade	R_m MPa	k_p	k_{ps}	σ_{k_p}
Polirano	400	1	1	0
	600	0,96...0,99	0,975	0,0050
	800	0,94...0,98	0,960	0,0067
	1000	0,93...0,98	0,955	0,0083
	1200	0,92...0,98	0,950	0,0100
	1600	0,91...0,98	0,945	0,0133
Brušeno	400	0,96...0,99	0,975	0,0050
	600	0,92...0,96	0,940	0,0067
	800	0,89...0,94	0,915	0,0083
	1000	0,87...0,93	0,900	0,0100
	1200	0,86...0,92	0,890	0,0100
	1600	0,84...0,91	0,875	0,0133
Fino strugano	400	0,92...0,96	0,940	0,0067
	600	0,87...0,92	0,895	0,0083
	800	0,82...0,89	0,875	0,0133
	1000	0,78...0,87	0,825	0,0150
	1200	0,74...0,86	0,800	0,200
	1600	0,72...0,84	0,760	0,0200
Grubo strugano	400	0,86...0,92	0,890	0,0100
	600	0,78...0,87	0,825	0,0150
	800	0,72...0,82	0,770	0,0183
	1000	0,66...0,78	0,720	0,0200
	1200	0,61...0,74	0,675	0,0233
	1600	0,58...0,72	0,650	0,0267
Valjano (Neobrađeno)	400	0,74...0,86	0,800	0,0200
	600	0,63...0,78	0,705	0,0250
	800	0,54...0,72	0,630	0,0300
	1000	0,47...0,66	0,565	0,0333
	1200	0,39...0,61	0,500	0,0367
	1600	0,35...0,58	0,465	0,0383

Tabela 3 Faktor stanja spoljne površine

o rasponu vrednosti faktora stanja spoljne površine formirana je tabela 3 u kojoj su dati i izračunati podaci o srednjim vrednostima i standardnim odstupanjima pomenutog faktora.

Jednosmernu uvojnizdržljivost

Podaci o jednosmernoj uvojnizdržljivosti mogu se naći u literaturi, npr. [7]. U tabeli 4 za neke vrste čelika data je odgovarajuća srednja vrednost zatezne čvrstoće R_{ms} a zatim i odgovarajući raspon, srednja vrednost i standardno odstupanje jenosmerne uvojne izdržljivosti.

R. br	Vrsta čelika	Oznaka čelika po JUS-u	R_{ms} MPa	τ_{D0} MPa	τ_{D0s} MPa	$\sigma_{\tau_{D0}}$ MPa
1	Opšti konstrukcioni	Č 0270	380	120...150	135	5,00
2		Č 0370	410	140...180	160	6,67
3		Č 0460	460	150...180	165	5,00
4		Č 0545	550	170...240	205	11,83
5		Č 0645	650	200...230	215	5,00
6		Č 0745	775	200...270	235	11,83
7	Poboljšani	Č1430; Č1431; Č1480	705	220...280	240	10,00
8		Č1530; Č1531; Č1580	785	230...310	270	13,33
9		Č1730; Č1731; Č1780	925	280...370	325	15,00
10		Č4130; Č4180	1000	250...450	350	33,33
11		Č4732; Č4782	1200	340...550	445	35,00
12		Č4734; Č5432; Č4738	1350	430...640	535	35,00
13	Cementirani	Č1220; Č1221; Č1281	825	220...280	240	10,00
14		Č4320; Č4381	1050	300...400	350	16,67
15		Č4721; Č4781	1300	410...560	485	25,00
16		Č7420; Č7481	1050	410...550	480	23,50
17		Č5420	1140	340...450	395	18,33
18		Č5421	1375	430...550	490	20,00

Tabela 4 Jednosmernu uvojnizdržljivost

Numerički primer proračuna torzionog vratila

Torziono vratilo od čelika oznake Č4130, opšte namene, prečnika $O50 \pm 0,05$ prenosi snagu $P = 50$ kW od višecilindričnog klipnog motora pri ugaonoj brzini $\omega = 20$ s⁻¹. Proveriti uticaj kvaliteta izrade na srednji stepen sigurnosti i pouzdanost vratila.

Nazivni torzioni moment koje vratilo prenosi je $T = P / \omega = 2500$ Nm.

Faktor radnih uslova prema tabeli 2 ima srednju vrednost i standardno odstupanje:

$$k_{As} = 1,75 \text{ i } \sigma_{k_A} = 0,0833.$$

Srednja vrednost i standardno odstupanje napona prema izrazima (7) i (10) je $s_s = 178,25$ MPa i $\sigma_s = 8,49$ MPa. Faktor mera prema tabeli 1 ima srednju vrednost i standardno odstupanje $k_{ms} = 0,825$ i $\sigma_{k_m} = 0,015$. Jednosmernu uvojnizdržljivost prema tabeli 4 ima srednju vrednost $\tau_{D0s} = 350$ MPa i standardno odstupanje $\sigma_{\tau_{D0}} = 33,3$ MPa.

Na osnovu tabele 3 mogu se naći odgovarajuće srednje vrednosti faktora spoljne površine k_{ps} kao i standardna odstupanja σ_{k_p} u zavisnosti od vrste izrade. Pošto je u pitanju čelik Č4130 sa zateznom čvrstoćom oko 1000 MPa u tabeli 5 najpre se daju karakteristike faktora spoljne površine za taj čelik. U istoj tabeli date su i odgovarajuće srednje vrednosti čvrstoće

c_s dobijene prema izrazu (6), vrednosti standardnog odstupanja čvrstoće σ_c prema izrazu (8) i odgovarajuće vrednosti donje granice integrala z_0 prema izrazu (2).

R. br.	Vrsta izrade	k_{ps}	σ_{k_p}	c_s MPa	σ_c MPa	z_0	S_{D_s}	R
1	Polirano	0,955	0,0083	275,8	27,76	3,36	1,55	0,9996
2	Brušeno	0,900	0,0100	259,9	25,34	3,055	1,46	0,9989
3	Fino strugano	0,825	0,0150	238,2	23,48	2,40	1,34	0,9918
4	Grubo strugano	0,720	0,0200	207,9	20,95	1,31	1,17	0,9032
5	Valjano	0,565	0,0333	163,2	18,50	-0,74	0,91	0,2358

Tabela 5. Pouzdanost i stepen sigurnosti vratila

U tabeli 5 date su takođe i vrednosti za srednji stepen sigurnosti S_{D_s} prema izrazu:

$$S_{D_s} = c_s / s_s \dots \dots \dots (11).$$

Na kraju se izračunava pouzdanost R prema izrazu (1) pri čemu se koriste tablice za vrednosti standardizovane normalne raspodele [3].

ZAKLJUČAK

Korišćenjem verovatnosnih proračuna moguće je još u toku projektovanja proračunati vrednosti pouzdanosti, odnosno verovatnoće ispravnog rada bez razaranja materijala. Kada su u pitanju torziona vratila za proračun je bitna dinamička čvrstoća koja zavisi od više parametara slučajnog karaktera. Jedan od bitnih uticaja je i faktor stanja spoljne površine koji pokazuje uticaj kvaliteta izrade. Na osnovu proračunskih vrednosti dobijenih u tabeli 5 za jedan konkretan primer može se zaključiti da je neophodno bar fino struganje površine vratila da bi ono u eksploataciji pri datim uslovima bilo visokopouzdanost tj. da bi mu pouzdanost bila veća od 0,99. Za obradu grubim struganjem pouzdanost pada na oko 0,9 a ako bi površina ostala neobrađena posle valjanja pouzdanost i stepen sigurnosti bi bili nedopustivo mali.

LITERATURA

1. Kapur K., Lamberson L. Reliability in Engineering Design, John Weley and Son, New York, 1977, strana 73 - 101.
2. Vujanović N., Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački i novinski centar, Beograd, 1987, strana 295 - 384.
3. Jovičić S., Osnovi pouzdanosti mašinskih konstrukcija, Naučna knjiga, Beograd, 1990, strana 72 - 101.
4. Orlov P.I., Osnovi konstruiranja, knjiga I, Mašinstvoenije, Moskva, 1977, strana 304 i 305.
5. Jovičić S., Osnovi mašinskog konstruisanja, Naučna knjiga, Beograd, 1992, strana 157.
6. Nikolić V., Mašinski elementi, teorija i primeri, Kragujevac, 1995, strana 144.
7. Savić Z., Kritični naponi u osnovnim delovima mašinskih sistema, Inžinjerstvo mašinski priručnik, knjiga II, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1987, strana 44.

Calculation of Torsional shafts reliability from the Aspect of Manufacturing quality

In this paper is pointed to advantage of the probabilistic approach to calculation of reliability and safety, in the comparison with the classical deterministic calculation of responsible products in machine production industry. The probabilistic calculation is concretely applied to calculation of torsional shafts. The analytical and graphical presentations are given of the dependencies of probability and safety ratio as functions of statistical characteristics of the most important calculation parameters. In that, the special attention was devoted to influence of the manufacturing quality on reliability and safety.



Mr Slobodan Keckojević^{*)},
Mr Ivan Beker^{*)},
Dr Dragutin Stanivuković^{*)},
Miodrag Šilobad^{**)}

PRIKAZ I KRITIČKA ANALIZA STANJA I RAZVOJA FUNKCIJE ODRŽAVANJA U JUGOSLAVIJI^{***)}

A b s t r a k t

Održavanje, kao jedna od bitnih funkcija preduzeća, koja tek u poslednje vreme dobija tretman koji zaslužuje, je analizirano pomoću pripremljenog upitnika u nizu preduzeća u Jugoslaviji.

Rad sadrži pregled stanja funkcije održavanja, kao i njegovu kritičku analizu. Takođe su obuhvaćeni pravci unapređenja funkcije održavanja.

Razmatrana područja su: organizacija održavanja, program obuke održavanja, radni nalozi u održavanju, planiranje i terminiranje održavanja, preventivno održavanje, nabavka i skladištenje rezervnih delova i materijala, izveštaji održavanja i automatizacija obrade podataka održavanja.

1.0 UVOD

Sa razvojem industrijskog društva i u novije vreme pojavom "informatičkog društva", razvijala se i teorija i praksa održavanja sredstava za rad.

Održavanje je prošlo sledeće faze:

1945 - 1959.: Preventivno održavanje

1960 - 1969.: Primena studije rada u održavanju, održavanje usmenereno na pouzdanost, primena pogodnosti održavanja

^{*)} Mr Slobodan Keckojević, Mr Ivan Beker, Dr Dragutin Stanivuković, Institut za INDUSTRIJSKE SISTEME, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6

^{**)} Miodrag Šilobad, IIS - Istraživački i tehnološki centar, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7

^{***)} Rad je nastao kao rezultat istraživanja u okviru naučnoistraživačkog projekta: Razvoj sistema kvaliteta - put ka TQM, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije

1969. do danas: Održavanje po stanju, Terotehnologija, Integralna logistička podrška, Totalno produktivno održavanje i Održavanje u CIM okruženju.

Modeli, odnosno koncepcije održavanja, nisu pratili razvoj sredstava za rad.

S obzirom na moguće tendencije razvoja sredstava za rad, kao što su: dalja automatizacija, robotizacija, primena veštačke inteligencije i ekspertskih sistema itd., za očekivati je da će se teorija i praksa održavanja ubrzano razvijati.

S tim u vezi se sve češće govori o održavanja na "svetskom nivou" ili o "svetskoj klasi" održavanja.

U ovom radu je dat prikaz i pritička analiza stanja i razvoja funkcije održavanja u Jugoslaviji, upoređujući je sa "svetskom klasom" održavanja.

2.0 OSNOVE ANKETE

Upitnik, koji je korišćen prilikom sprovođenja ankete, je preuzet, uz manje izmene koje su bile nužne usled različitih mogućnosti korišćenja servisnih usluga, iz strane literature <TW>. Razlog za ovo je bila želja da se merilima koja koriste preduzeća razvijene ekonomije, proceni kvalitet funkcije održavanja u našoj zemlji.

Upitnik obuhvata osam oblasti: organizacija održavanja, program obuke održavanja, radni nalozi održavanja, planiranje i terminiranje održavanja, preventivno održavanje, nabavka i skladištenje rezervnih delova i materijala, izveštaji održavanja i automatizacija obrade podataka održavanja.

Svaka oblast sadrži deset pitanja, a svako pitanje se vrednuje sa 0 do 4 poena, što u ukupnom zbiru daje maksimalno 320 poena. Na osnovu osvojenog broja poena se ocenjuje kvalitet funkcije održavanja na sledeći način:

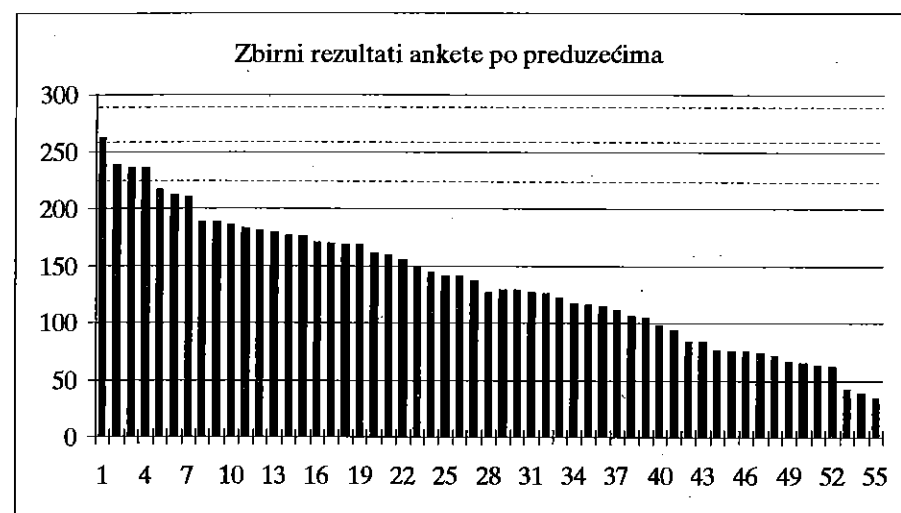
Broj osvojenih poena (od - do)		Oцена
288	320	"Svetski vrh" održavanja
256	287	Veoma blizu svetskog vrha. Potrebno je ispitati oblasti gde su izgubljeni poeni
224	255	Nužno je podešavanje u nekoliko oblasti. Potrebno je ispitati rezultate po oblastima, pronaći slabe tačke i odrediti rangove prioriteta.
0	223	Neophodno je ispitati ciljeve održavanja i razmotriti prioritete korektivnog delovanja na celokupnu funkciju održavanja

3.0 REZULTATI ANKETE

Anketa je sprovedena na uzorku od 55 preduzeća, koja pripadaju oblasti mašinstva, i bila je anonimna, kako bi se obezbedilo što vernije snimanje stvarne situacije. Problem koji se javio prilikom anketiranja je činjenica da su mnoge firme, usled poznatih razloga, funkcionisale sa izuzetno niskom uposlenošću kapaciteta, suočavale se sa zabrinjavajućom fluktuacijom kadrova i bile sprečene da nabavljaju potrebne rezervne delove iz inostranstva, tako da su aktivnosti održavanja bile svedene na minimum. Pod ovakvim okolnostima, u mnogim preduzećima se javilo nazadovanje u kvalitetu rada funkcije održavanja.

Ovakvo stanje funkcije održavanja je uslovalo da se, kao rezultat ankete, dobije šarolikost, koja je nastala jer su neki ispitanici upitnik popunjavali prema stanju funkcije održavanja koje je vladalo pre uvođenja ekonomskih sankcija, pošto, po njihovim rečima, funkcija održavanja u trenutku popunjavanja upitnika "nije postojala".

Ukupni rezultati ankete su prikazani na dijagramu na slici 1. Sa dijagrama je moguće uočiti da nijedno od anketiranih preduzeća nema funkciju održavanja koja se po kvalitetu nalazi u svetskom vrhu, što je i bilo za očekivati, ali unekoliko predstavlja iznenađenje jedno preduzeće koje se nalazi iznad granice od 256 bodova. U narednoj kategoriji se nalaze tri preduzeća, dok se preostalo 51 anketirano preduzeće nalazi u grupi gde se mora uložiti puno napora radi dostizanja prihvatljivog nivoa rada funkcije održavanja.

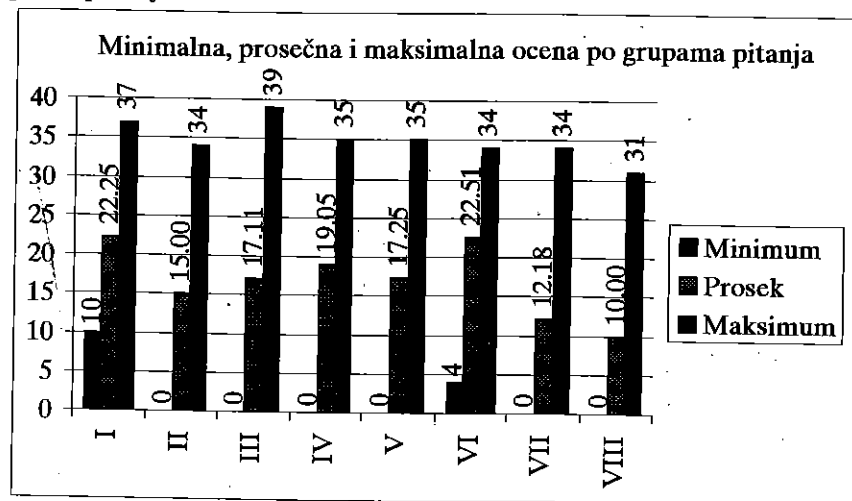


Slika 1

Na slici 2 se nalazi dijagram koji obuhvata minimalne, prosečne i maksimalne vrednosti po grupama pitanja.

Sa prikazanog dijagrama je moguće ustanoviti da samo dve oblasti nemaju minimalnu ocenu jednaku nuli, što je poražavajući podatak.

U nastavku će biti data analiza rezultata ankete po oblastima, odnosno grupama pitanja.



Slika 2.

Organizacija održavanja je oblast ankete koja je uz Nabavku i skladištenje rezervnih delova dobila najviše poena. Ovakav podatak je bio očekivan, mada se dobijeni neki iznenađujući podaci (npr. detaljan opis poslova i radnih zadataka je urađen za sve poslove održavanja - 34 pozitivna odgovora). Jedan od zabrinjavajućih podataka iz ove oblasti je da u 50 % slučajeva ne postoji planer održavanja, odnosno, ako postoji, on planira poslove za preko 30 radnika, što znatno smanjuje mogućnosti izrade kvalitetnog plana. Takođe zabrinjavajući podatak je da u 35 od 55 preduzeća ne postoji novčani stimulans za izlazne rezultate funkcije održavanja.

Anketa za oblast Program obuke u održavanju je dala, na žalost, očekivane rezultate: obuka se ne planira niti sprovodi za svako radno mesto, nego samo za kritična, sa aspekta sigurnosti i bezbednosti i kada to zakon propisuje. Obuka uglavnom nije obavezna, osim u ranije navedenim slučajevima. U velikom broju slučajeva obuka se svodi na učenje od iskusnijeg radnika, tokom rada. No, i pored ovako lošeg stanja na planu obuke, između 80 i 90% ispitanika smatra da je nivo obučenosti radnika i rukovodilaca održavanja dobar ili osrednji, što se može protumačiti nedovoljnim poznavanjem potrebnih znanja i veština od strane ispitanika, za pojedino radno mesto.

Svrha Radnog naloga je omogućavanje praćenja troškova po pojedinim poslovima, sa ciljem stvaranja osnove za kasnije analize i unapređenja rada funkcije održavanja. Anketa je pokazala da u 20 preduzeća Radni nalog održavanja praktično (ili uopšte) ne postoji, a samim tim se ne prate utrošeni materijal i rezervni delovi, utrošeni rad izvršilaca, energija itd.

Imajući u vidu rezultate ankete u prethodnim oblastima, zbunjuje visok broj poena koji su ostvareni u oblasti Planiranje i terminiranje

održavanja, koje je nemoguće dobro sprovesti bez kvalitetnih podloga, pre svega dobro osmišljenog Radnog naloga. Jedno od mogućih objašnjenja za ove se krije u činjenici da su upitnik popunjavali rukovodioci održavanja, koji se ujedno i brinu o planiranju i terminiranju (38 od 55 preduzeća). Međutim, i pored očiglednog razloga za subjektivnost, anketa je pokazala da se u 29 preduzeća terminiranje poslova održavanja vrši dnevno (stihijski, odnosno po prijavi otkaza) ili se uopšte ne vrši. Posebne instrukcije ili plan za izvršenje intervencije se javljaju u samo 8 preduzeća, dok se usklađivanje intervencija održavanja sa potrebama proizvodnje uopšte ne sprovodi u 17 preduzeća.

Preventivno održavanje je izuzetno bitan segment uspešne funkcije održavanja. Za ovu oblast je anketa pokazala da postoje preduzeća koja prate svetske trendove u razvoju funkcije održavanja i sprovode preventivne intervencije zasnovane na stanju elemenata (održavanje po stanju), postoje posebne organizacione celine unutar održavanja koje sprovode isključivo preventivne intervencije, poseduju opremu za preventivnu dijagnostiku (analiza vibracija, analiza uzoraka maziva, infracrvena dijagnostika itd.). Nasuprot ovim preduzećima postoji neuporedivo veći broj preduzeća kod kojih se preventivne intervencije sprovode samo u slučaju da to propisuje zakon ili proizvođač.

Nabavka i skladištenje rezervnih delova i materijala u održavanju je problem koji je uglavnom rešavan kao sastavni deo istog problema celog preduzeća, te je i najbolje rešen, odnosno na anketi je osvojeno najviše poena u ovoj oblasti.

Izveštaji održavanja predstavljaju jednu od najslabijih oblasti u preduzećima. Opšta ocena je da u preko 30 preduzeća ne postoji redovno praćenje (i izveštavanje) uspešnosti rada funkcije održavanja, kao celine ili nekog njenog sastavnog dela.

Automatizacija obrade podataka održavanja je najslabija karika u lancu funkcije održavanja. Uzrok za takvo stanje je moguće potražiti u relativno niskom nivou primene računara u celokupnoj privredi Jugoslavije, a ako se uzme u obzir da je funkcija održavanja, po pravilu, na dnu liste prioriteta, tada je ovakvo stanje i očekivano. Kao ilustracija ovakvog stanja moguće je navesti da 46 anketiranih preduzeća nemaju uveden računar u svom poslovanju.

4.0 MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA RADA FUNKCIJE ODRŽAVANJA

Rezultati ankete osvetljavaju mnoge probleme koji se javljaju u funkciji održavanja i ukazuju na oblasti u kojima je potrebno uložiti mnogo truda da bi se rad funkcije održavanja podigao na zadovoljavajući nivo. Postoji 3 osnovne oblasti u kojima bi trebalo delovati: podizanje nivoa obučenosti svih radnika u održavanju, uvođenje preventivnog održavanja i uvođenje računara u sve elemente rada funkcije održavanja.

U oblasti obučenosti je neophodno rukovodeće kadrove upoznati sa najnovijim trendovima u svetu o pitanjima organizacije održavanja, kao i prednostima preventivnog održavanja, a posebno održavanja po stanju.

Takođe je potrebno da osobe koje su na bilo koji način uključene u planiranje i terminiranje, savladaju tehnike planiranja, kao i korišćenje računara i odgovarajućih programa. Tehnologe održavanja je potrebno upoznati sa novim tehnologijama koje se primenjuju u održavanju. Obuka direktnih izvršilaca održavanja bi morala sadržati informativni deo koji se odnosi na uticaj kvaliteta održavanja na kvalitet krajnjeg proizvoda, kao i značaj preventivnih intervencija na životni vek opreme, odn. sa zahtevima serije standarda JUS ISO 9000. Direktni izvršioци bi, takođe, morali biti obučeni za korišćenje uređaja koje je neophodno primenjivati tokom sprovođenja intervencija dijagnostike.

Razlog za uvođenje preventivnog održavanja je povišenje nivoa operativne gotovosti proizvodne opreme, kao i održavanje tačnosti tehnološkog sistema u zahtevanim granicama. Koliko ove dve veličine utiču na izlazne rezultate proizvodnje, nije potrebno govoriti. Međutim, da bi se uvele preventivne intervencije, pored neophodnog znanja, potrebno je raspolagati obiljem informacija o ponašanju tehnoloških sistema, ali je potrebno i uložiti mnogo truda i iskustva, što je nemoguće postići bez određene motivisanosti, odnosno, stimulansa kadrova koji to treba da sprovedu.

Poslednje područje unapređenja je uvođenje računara u održavanje. Pod "uvođenjem" se ne podrazumeva samo kupovina računara, nego i uređenje celokupnog poslovanja održavanja (uređenje svih evidencija održavanja, uređenje tokova i nosilaca informacija, definisanje postupaka analize uspešnosti održavanja itd.), razvoj (ili nabavka) softvera koji će podržati rad održavanja i što je možda i najvažnije, obuka kadrova u korišćenju računara i stvaranje klime koja će obezbediti prihvatanje računara od strane radnika održavanja.

5.0 LITERATURA

- <TW> Terry Wireman: World Class Maintenance, Industrial Press Inc., New York, 1990.
- <SDKS> Dragutin Stanivuković, Slobodan Kecojević: Održavanje - prilaz projektovanju i upravljanju, FTN - Institut za industrijske sisteme i IIS - Istraživački i tehnološki centar, Novi Sad, 1995.

A b s t r a c t

Maintenance, as one of very important function in the firm, which only in recent time get deserved treatment, has been analyzed by prepared questioner in number of Yugoslav firms.

The article comprehend an overview of maintenance function and it's analysis. Also, the ways for improvement of maintenance function are given.

Considered domains are: maintenance organization, maintenance training program, maintenance work orders, maintenance planning and scheduling, preventive maintenance, spare parts supply and storage, maintenance reporting and automatization of maintenance data processing.



МЕТОДОЛОГИЈА КОНТРОЛЕ И ИСПИТИВАЊА РАДНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРО-ХИДРАУЛИЧНИХ ПРЕСА

Мр Милан Коларевић
Проф. др Тихомир Пантелић¹

РЕЗИМЕ

У жељи да се на нивоу произвођача дефинишу и унифицирају услови и процедуре пријема електро-хидрауличних једностубних и двостубних преса једноструког дејства, у раду је дат предлог процедуре контроле и испитивања радних карактеристика машине.

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Кључно питање у данашњој индустријској клими развијених земаља је како да се оствари захтевани ниво квалитета производа и како утицати на његово перманентно побољшање. Искуства нам кажу да је увођење система квалитета сложен процес који траје дуго и мора му се прићи одговорно и систематски. Циљ система квалитета је да стандардизује процедуре и поступке, користећи најбоља искуства и развијена знања, али не ограничавајући тиме креативност и разноврсност решења, како би се задовољили захтеви кушца[3]. При том је потребно остварити минималне трошкове уз максимално коришћење свих расположивих потенцијала.

За фамилију једностубних и двостубних електро-хидрауличних преса једноструког дејства и силе притиска од 100 до 1600 kN које се производе у оквиру Холдинг корпорације "Лола" као приоритетан задатак се поставља детаљна разрада процедуре контроле и испитивања радних карактеристика у оквиру завршне контроле и испитивања ових машина. У жељи да се на нивоу произвођача дефинишу и унифицирају услови и процедуре пријема електро-хидрауличних преса, у овом раду се даје предлог ове процедуре.

Завршно испитивање електро-хидрауличних преса има за циљ да утврди укупан ниво квалитета производа било да је то прототип, серијски произведена или пак ремонтвана машина. Поступак испитивања обухвата следеће фазе:

¹ Машински факултет Краљево

a/ Провера геометријске тачности машине у неоптерећеном стању по процедури која је слична процедури за испитивање тачности једностубних и двостубних ексцентар преса дефинисаној стандардом JUS.M.GO.220 и JUS M.GO.221. Овај поступак садржи:

- мерење паралелности површине стола са површином притискивача
- мерење паралелности рупе притискивача са кретањем притискивача
- мерење управности кретања притискивача на површину стола
- мерење одступања центра рупе притискивача од центра обрађене рупе стола или центра обрађене рупе радне плоче²
- контрола равности радног стола и др.

b/ Контрола статичке крутости машине која се своди на мерење угиба у оси притискивача под дејством силе и конструкцију дијаграма крутости.

v/ Контрола и испитивање радних карактеристика и функције машине у раду. Ова фаза обухвата:

- Контролу и испитивање флуидне инсталације
- Контролу и испитивање електро-управљачког система пресе
- контролу осталих параметара.

г/ Контрола квалитета изгледа машине. Ова контрола обухвата:

- контролу општег изгледа машине
- контролу заварених спојева носеће структуре
- контролу изгледа флуидне инсталације
- контролу изгледа електро инсталације
- контролу површинске заштите

д/ Контрола комплетности машине која обухвата:

- контролу комплетности стандардног прибора, резервних делова, алата и пратеће документације који се испоручују уз машину
- контрола комплетности елемената који су дефинисани посебним захтевом купца (заштитне направе, специјални алати и др.) и сл.

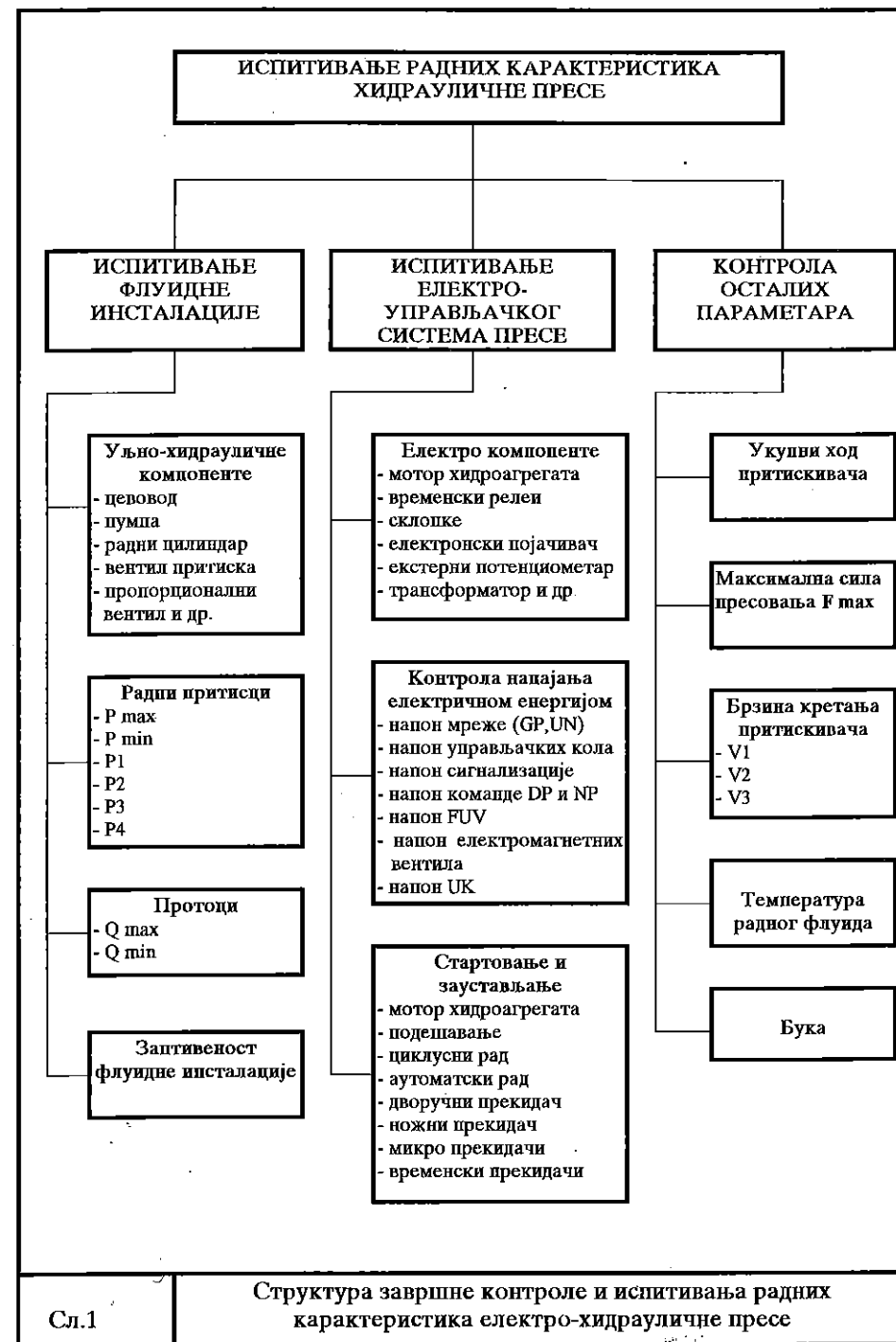
2. ФОРМАЛИЗАЦИЈА ПРОЦЕДУРЕ ИСПИТИВАЊА РАДНИХ КАРАКТЕРИСТИКА ПРЕСЕ

Циљ овог рада је био да се дефинишу основне фазе процеса испитивања и развију методе које се у наредној фази формализују у облику препоруке, односно, интерног стандарда за испитивање радних карактеристика електро-хидрауличних преса. Овај процес је подељен у три основне фазе:

- испитивање флуидне инсталације,
- испитивање електро-управљачког система пресе, и
- контрола осталих параметара пресе.

За сваку од ових фаза је развијен посебан садржај и метод испитивања. За електро-хидрауличне, једностубне (тип РНА) и двостубне пресе (тип РНС) садржај ове три групе је дат на сл.1.

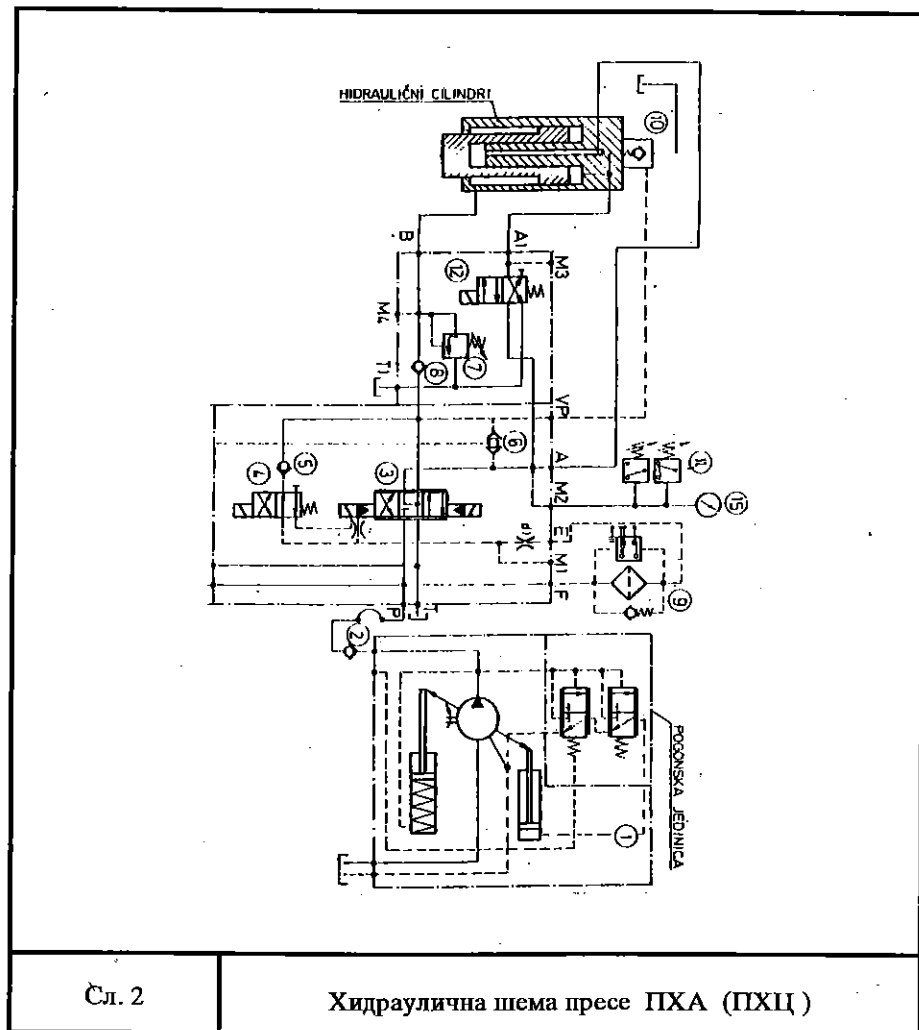
² Сва четири мерења се изводе у равни симетрије машине и у равни управној на равани симетрије машине



Сл.1

Структура завршне контроле и испитивања радних карактеристика електро-хидрауличне пресе

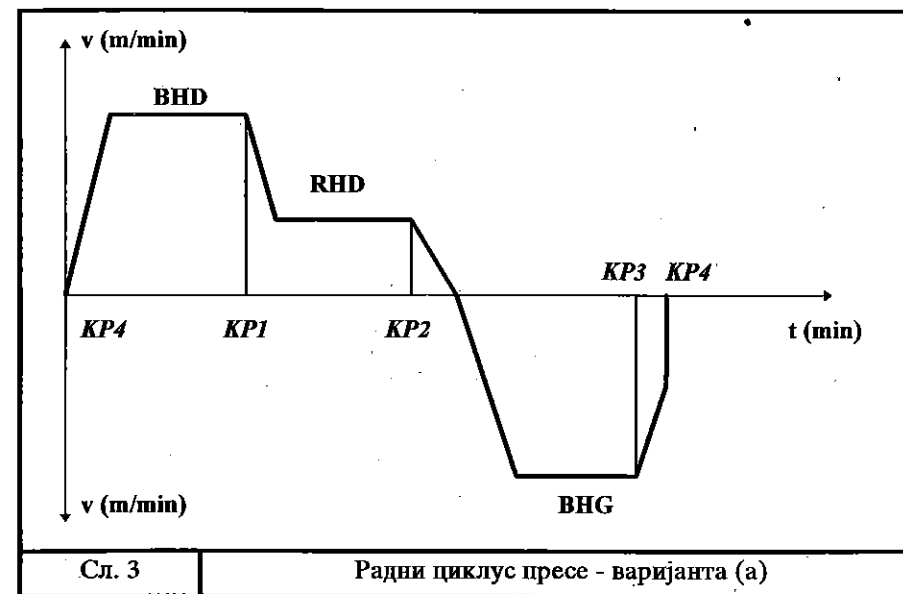
Ради разумевања приказаног садржаја за испитивање флуидне инсталације на сл.2 је дата хидраулична шема која је заједничка за ове типове преса, док је за разумевање садржаја фазе испитивања електро-управљачког система пресе потребно објаснити радни дијаграм пресе.



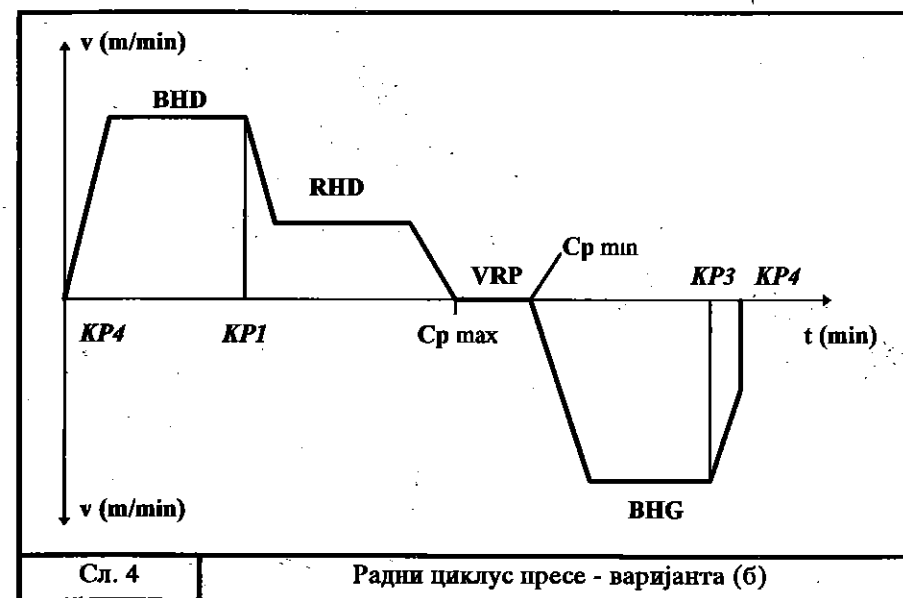
Сл. 2 Хидраулична шема пресе ПХА (ПХЦ)

Радни циклус пресе се може одвијати на два начина:

а/ Након стартовања, притискивач из горњег граничног положаја (КР4) креће брзим ходом (ВНД) до крајњег прекидача КР1 а одатле радним ходом до КР2 након чега се притискивач враћа брзим ходом горе (ВНГ) до крајњег прекидача КР3 и успорава до КР4 у горњем граничном положају где се тренутно зауставља. (сл.3)



б/ У случају да се у процесу обраде у радном ходу притисак флуида повећа изнад одређене вредности због могућег већег отпора обратка (није могуће да буде нагажен крајњи прекидач КР2) делује притисни прекидач Срmax и након времена подешеног на временском релеу VRP (време пресовања) које се креће од 1 до 15 s искључује се притисак у притисном воду. Враћање горе притискивач ће започети тек након пада притиска у главној цеви притисног вода, испод вредности Ср min. Даље кретање до КР4 је исто као под а/. (сл.4)



У циклусном раду је омогућено подешавање задршке у крајњем горњем положају до старта следећег циклуса у интервалу од 0 до 15 s. За оба дијаграма је карактеристично следеће:

- могуће је подешавање све три брзине кретања притискивача у жељеним вредностима ($V_{внд}, V_{внд}, V_{внг}$).
- подешавање времена прелаза за сваку величину посебно је омогућено у интервалу од 0,1 до 4 s. (нагиб криве) од тренутка нагажаја одговарајућег крајњег прекидача.

За све типове ових преса, као и за свих девет геометријских величина³ ове препоруке садрже: опште дефиниције, услове испитивања, поступак испитивања са детаљно разрађеним алгоритмом, средства која се користе за испитивање као и заједнички записник о испитивању. Због обимности рада, није могуће упуштати се у детаљисање ових садржаја.

3. ЗАКЉУЧАК

Стални захтеви за повећањем квалитета намећу и потребу за увођењем нових, квалитетнијих и сигурнијих поступака за проверу оствареног нивоа квалитета. Прихватањем предложене процедуре испитивања радних карактеристика електро-хидрауличних преса и формирањем информационог система за пређење оствареног нивоа квалитета, обезбедили би се услови за објективно оцењивање постигнутог нивоа квалитета, смањило време контролисања и омогућило перманентно утицање на побољшање нивоа квалитета ових производа.

4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Станковић П., Машине алатке и индустријска производња машина 2, Научна књига, Београд, 1975.
- [2] Милачић В., Машине алатке 2, Машински факултет, Београд, 1988.
- [3] Митровић Ж., Менаџери и систем квалитета, Југословенска организација за стандардизацију и квалитет, Београд, 1994.
- [4] Стандарди: JUS M.GO.100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 301, 302, 303, 220, 221, 620 и 621.
- [5] ИЈР, Упуства за руковање и одржавање хидрауличних преса.

SUMMARY

METHODOLOGY FOR INSPECTION AND TESTING OF THE WORKING FUNCTIONS OF ELECTRO-HIDRAULIC PRESSES

In order to define and unify the acceptance conditions and procedures of electro-hydraulic single-column and double column presses with single action at the manufacturer's level, the procedures suggestion for inspection and testing of working function is presented in the paper.

³ Наведени типови преса се израђују у девет геометријских величина чија је ознака усвојена у односу на максималну силу. Тако тип РНА има следеће величине: РНА-10, РНА-16, РНА-25, РНА-40, РНА-63, РНА-80, РНА-100, РНА-125 и РНА-160.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

S. Marković

NEKE UPOREDNE KARAKTERISTIKE ZUPČANIKА SA POLOMLJENIM ZUPCIMA REGENERISANIH RAZLIČITIM METODIMA

U radu su prikazana dva različita metoda regeneracije zupčanika koji su izašli iz pogona zbog loma jednog zupca. Regenerisani zupčanici su podvrgnuti kontroli i ispitivanju geometrijske tačnosti, mehaničkih i metalurških karakteristika, kao i dinamičkim ispitivanjima. Pored toga, izvršena je komparacija troškova izrade novog i troškova regeneracije odbačenog zupčanika za oba metoda. Pokazalo se da je regeneracija zupčanika u oba slučaja, tehnički i ekonomski opravdana.

1. UVOD

Na zupčanicima u toku eksploatacije nastaju raznovrsna oštećenja venca i tela, kao što su: pohabanost radnih površina, mehanička oštećenja, deformacije oblika i dimenzija, prsline, lomovi i druga. Većina zupčanika izašlih iz eksploatacije može se uspešno i pouzdano regenerisati.

Osnovni vidovi razaranja i oštećenja venca zupčanika, u zavisnosti od uslova u kojima rade zupčanici, njihovih konstruktivnih i tehnoloških parametara, mogu biti: lom zubaca, zamorno krunjenje radnih površina zubaca, abrazivno habanje, zadiranje ili zajedanje, plastično deformisanje površinskih slojeva materijala, oštećenja čela zubaca.

Lom zubaca izaziva iznenadno narušavanje radne sposobnosti mehanizma i cele mašine. On najčešće nastaje usled stvaranja zamornih prsline u korenu zupca pri radu prenosnika. Ovi lomovi mogu biti izazvani: višestruko ponavljajućim (cikličnim) opterećenjima na savijanje i malobrojnim, ali značajnim po veličini, preopterećenjima udarnog ili statičkog karaktera. Lom se javlja u korenu zupca zbog malog radijusa zaobljenja noge zupca i riseva od reznog alata, što stvara povećanu koncentraciju napona. Pri tome nastale zamorne prsline u početku se razvijaju upravno na zaobljenje, a zatim rasprostiru po dubini i duž zupca. Lom zubaca u korenu nastaje i usled dejstva zaostalih napona zatezanja u zoni međuzublja, koji nastaju pri termičkoj i termo-hemijskoj obradi. Često se lom zubaca u korenu objašnjava dubokim kaljenjem i, samim tim, slabom otpornošću na udar. Posmatranja pokazuju da kod dužih zubaca često ne nastaje lom celog zupca, već samo njegovog dela. Ako na zupčaniku sa takvim oštećenjem nisu oštećeni ostali zupci, on se može koristiti za ponovnu eksploataciju. Lom zubaca nastaje usled konstruktivnih, tehnoloških, eksploatacionih i poremećajnih uzroka.

Regeneracija zupčanika obuhvata otkrivanje njihovih oštećenja, uzroka i karaktera istih, primenu najracionalnijeg i najpouzdanijeg metoda regeneracije i metoda ojačanja radnih površina zubaca. Pod regeneracijom oštećenih zupčanika podrazumeva se takav redosled tehnoloških operacija, koji ima za cilj povratak njihovih izgubljenih radnih karakteristika. Regeneracijom se moraju obezbediti nazivne mere i zahtevani kvalitet obrade površina, kao i pravilan geometrijski oblik i očuvanje (ili čak poboljšanje) osnovnih mehaničkih karakteristika materijala regenerisanog zupčanika. Da bi se sve ovo uspešno ostvarilo neophodno je dobro poznavanje: uzroka koji izazivaju oštećenja, karakteristika nastalih oštećenja i njihovih dimenzija, metoda za utvrđivanje oštećenja, opreme za regeneraciju, osnovnih tehnoloških i fizičko-mehaničkih karakteristika metalnih slojeva koji se nanose na oštećene površine i drugih parametara. Regeneracija zupčanika se, u zavisnosti od vrste i položaja njihovih oštećenja, može podeliti na:

- regeneraciju tela i glavčine zupčanika, koja se svodi na zavarivanje prsline, navarivanje žljebova i umetanje dodatnih čaura,
- regeneraciju zupčastog venca, koja se može izvesti uvrtanjem šipova, postavljanjem šipa u "lastih rep", pomoću dodatka, pomoću umetaka, navarivanjem, navarivanjem pomoću šablona, postavljanjem novog zupčastog venca, dopunskim korigovanjem zubaca i drugim metodima.

/ Svetislav Lj. Marković, dipl. ing. maš, TRZ Čačak

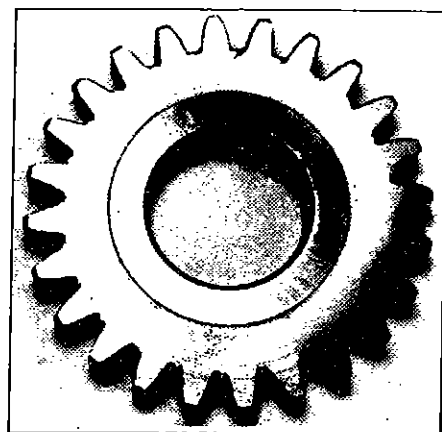
2. PRIMERI REGENERACIJE ZUPČANIKA SA POLOMLJENIM ZUPCIMA

Retki su primeri zupčanika kod kojih uvek dolazi do loma zubaca. Jedan od najkarakterističnijih primera je pogonski zupčanik prenosnika glavnog pogona električnih transportnih kolica. Kod ovog zupčanika gotovo uvek pre dođe do loma jednog zupca nego do prekomernog habanja svih zubaca. Ovdje se radi o poremećajnim oštećenjima izazvanim nestručnim ili nepažljivim rukovanjem - udar kolica o čvrstu prepreku. Naravno, treba pomenuti i konstruktivne uzroke, jer bi se efikasnijim načinom kočenja i prenosom pomoću frikcione, ili neke druge spojnice mogla izbeći ovakva oštećenja. Radi određivanja karakteristika parametara tačnosti regenerisanih zupčanika uzeta su dva ovakva, istovetna uzorka sa sledećim geometrijskim karakteristikama: materijal izrade Č.4720, modul $m = 3$, broj zubaca $z = 24$, ugao osnovnog profila $\alpha_0 = 20^\circ$, ugao nagiba zupca $\beta = 0^\circ$, podeoni prečnik $d_0 = 72$ mm, faktor korekcije $x_m = 0$, podnožni prečnik $d_f = 64,8_{-0,5}$ mm, korak na podeonom krugu $t_0 = 9,42$ mm.

Izgled zupčanika prenosnika glavnog pogona na električnim kolicima izbačenog iz eksploatacije usled loma jednog zupca prikazan je na slici 1, dok je na slici 2 prikazan isti zupčanik regenerisan primenom dva različita metoda.



Slika 1. Izgled zupčanika izbačenog iz eksploatacije zbog loma jednog zupca



Slika 2. Izgled regenerisanog zupčanika glavnog pogona električnih kolica

• Radi određivanja karakteristika zupčanika dobijenih posle regeneracije pristupilo se regeneraciji pomoću dva različita metoda:

1. Oštećeni zupčanik je regenerisan ručnim elektro-lučnim navarivanjem polomljenog zupca, sloj po sloj, elektrodom CASTOLIN 2. Postupak regeneracije ovim metodom je veoma jednostavan i sastoji se od sledećih operacija: odmašćivanja, defektacije, navarivanja zupca (1,0 norma čas - NČ), bravarskih radova - dovođenja bočnih površina zupca ručnom električnom brusilicom na približan oblik (0,5 NČ) i završnog brušenja - obimnog, čeonog i bočnih površina regenerisanog zupca (1,5 NČ).





2. Drugi metod je malo složeniji i sastoji se od uvrtnja šipova istog materijala kao i zupčanik i ručnog elektro-lučnog navarivanja elektrodom CASTOLIN 2. Postupak regeneracije zupčanika ovim metodom je sledeći: glodačkim radovima (1,0 NČ) se obradi mesto slomljenog zupca na ravno, izbuše dva otvora $\phi 3,2$ mm i urežu navoji M4 dubine 6 mm. Zatim strugar (0,8 NČ) izradi dva šipa $\phi 4,5 \times 12$ mm sa navojem M4 dugim 5,5 mm. Bravar (0,2 NČ) uvrne izrađene šipove u pripremljene navojne otvore, pa se vrši navarivanje (0,5 NČ) elektrodom CASTOLIN 2. Bravarskim radom (0,5 NČ), ručnom električnom brusilicom dovede se zubac na približan oblik i mere, a završnim brušenjem (1,5 NČ) - čeonim, obimnim i bočnih površina zupca, dobije standardan profil regenerisanog zupca sa zahtevanim merama.

Kod oba metoda mora se voditi računa o zaštiti susednih bočnih površina zubaca bakarnim limom.

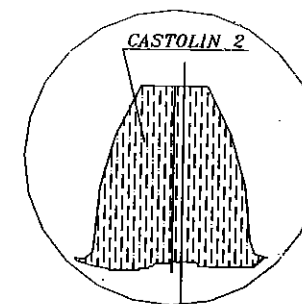
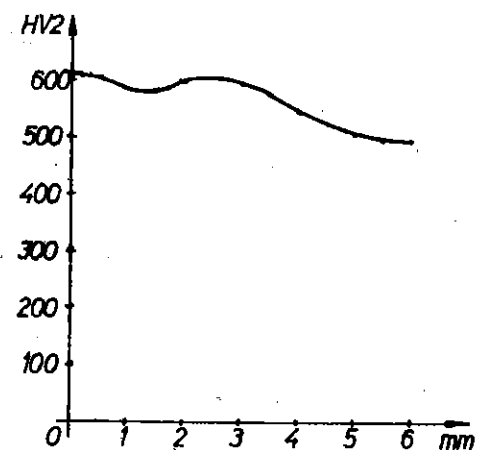
3. KONTROLA I ISPITIVANJE REGENERISANIH ZUPČANIKA

Kontrola geometrijskih mera, profila, pravca bočnih linija i radijalnog bacanja zubaca regenerisanog zupčanika vršena je na evolventomeru tipa "KLINGELNBERG". Dobijeni rezultati prikazani su u tabeli 1.

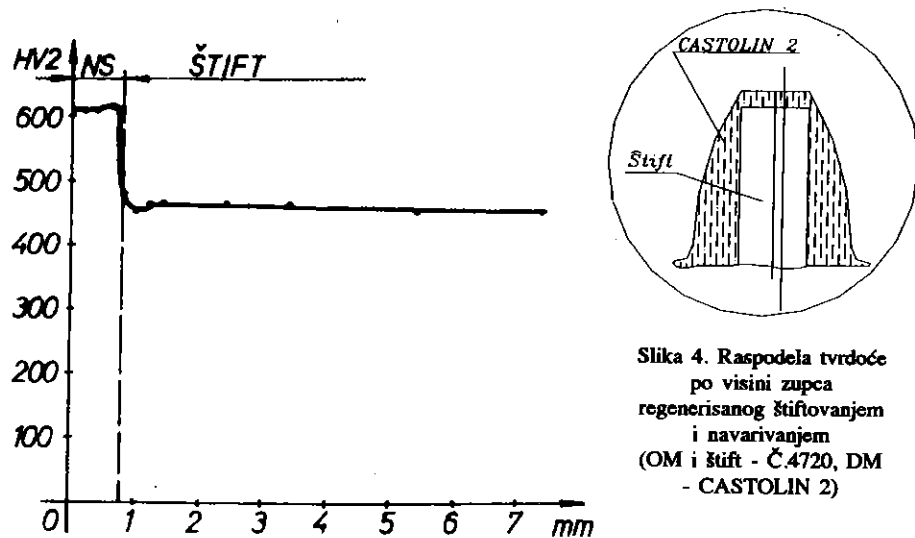
Tabela 1. Parametri kvaliteta regenerisanih zupčanika električnih kolica

R. br.	Kontrolisani i ispitivani parametri	Zahtevane vrednosti	Vrednosti dobijene na prvom uzorku	Vrednosti dobijene na drugom uzorku
1.	Temeni prečnik	$d_t = 78_{-0,2}$ mm	$d_t = 78$ mm	$d_t = 78$ mm
2.	Mera preko 3 zupca	$W_3 = 23,1493$ mm $A_{w0} = -141 \mu\text{m}$, $A_{wB} = -94 \mu\text{m}$ JUS M.C1.034	$W_3 = 23,05$ mm	$W_3 = 23,04$ mm
3.	Širina zupčastog venca	$b = 10_{-0,1}$ mm	$b = 10$ mm	$b = 10$ mm
4.	Tolerancija profila zubaca T_{ev}	$T_{ev} = 12 \mu\text{m}$ JUS M.C1.035	 $T_{ev} = 8 \mu\text{m}$	 $T_{ev} = 5 \mu\text{m}$
5.	Tolerancija bočne linije zubaca T_p	$T_p = 11 \mu\text{m}$ JUS M.C1.033	 $T_p = 2 \mu\text{m}$	 $T_p = 1 \mu\text{m}$
6.	Radijalno bacanje zubaca T_r	$T_r = 56 \mu\text{m}$ JUS M.C1.035	$T_r = 50 \mu\text{m}$	$T_r = 28 \mu\text{m}$
7.	Kvalitet obrade regenerisanih površ.	N7	N7 $R_a = 1,60 \mu\text{m}$ JUS M.A1.020	N7 $R_a = 1,60 \mu\text{m}$ JUS M.A1.020
8.	Površinska tvrdoća	HRC ≥ 55	HRC = 55,1	HRC = 56,2

• Tvrdoća po preseku zubaca merena je na uređaju za merenje mikrotvrdoće "LEITZ WETZLAR" metodom Vikers (HV2) sa silom opterećenja od 19,61 N. Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 3 i 4.



Slika 3. Raspodela tvrdoće po visini navarenog zupca (OM - Č.4720, DM - CASTOLIN 2)

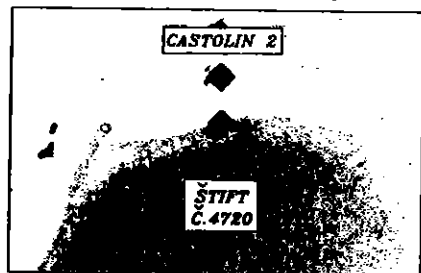


Slika 4. Raspodela tvrdoće po visini zupca regenerisanog štiftovanjem i navarivanjem (OM i štift - Č.4720, DM - CASTOLIN 2)

Tvrdoća po preseku zubaca je dosta visoka što je posledica izbora dodatnog materijala. Ovakva tvrdoća povećava otpornost na habanje i smanjuje otpornost na krti lom.

• Defektoskopskom metodom "fero-fluks" vršena je kontrola kvaliteta navarenog sloja. Pošto nisu otkrivene prsline, šupljine i druge neispravnosti procenjeno je da je kvalitet navara dobar.

• Metalografskim ispitivanjima određivana je mikrostruktura, priroda i oblik navarenog sloja.



Slika 5. Mikrostruktura u zoni spoja navara i uvrnutog štifta od Č.4730 (nagrizanje: 4 % HNO₃, povećanje: 50x)

Uzorci su pripremljeni i obrušeni, a zatim nagrizeni i posmatrani pod mikroskopom "METALLOPLAN - LEITZ WETZLAR". Na slici 5 prikazana je mikrostruktura glave zupca regenerisanog štiftovanjem i navarivanjem. Slojevi navareni elektrodom CASTOLIN 2 imaju usmerenu dendritnu strukturu sa ledeburitnim eutektikumom između dendrita. Na osnovu udela karbidne faze zaključuje se da se radi o dodatnom materijalu koji poseduje više legirajućih elemenata i karbidne faze od osnovnog materijala, a time i veću otpornost na habanje.

4. DINAMIČKO ISPITIVANJE REGENERISANIH ZUPČANIKA

Da bi se izvršilo poređenje izdržljivosti kako regenerisanih, tako i neregnerisanih zubaca obavljena su dinamička ispitivanja na savijanje po utvrđenom programu. Cilj je bio da se svi ispitivani zupci opterećuju određenim, približno jednakim silama u odgovarajućem broju ciklusa opterećenja. Predviđen je stepenast porast sile posle određenog broja ciklusa opterećenja. Ispitivanja su vršena na regenerisanim zupcima, njima susednim i naspramnim zupcima na oba uzorka. Zupci su opterećivani do loma. Ova ispitivanja su vršena na pulzatoru tipa "SCHENCK".

Pošto je trajna dinamička čvrstoća ovih zubaca 2700 N pošlo se sa silom od oko 3500 N na 100.000 ciklusa opterećenja, da bi se potom prešlo na silu od oko 5200 N na 50.000 ciklusa. Zupci koji su izdržali ovo opterećenje opterećivani su zatim silom od oko 6000 N - do loma. Ispitivanje je vršeno

dovođenjem jednosmerno promenljivog pritisnog opterećenja sa sinusnom pobudom. Rezultati dobijeni pri ovim ispitivanjima prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja zubaca zupčanika na savijanje

Ispitivani zubac	I faza ispitivanja		II faza ispitivanja		III faza ispitivanja	
	Sila (N)	Broj ciklusa	Sila (N)	Broj ciklusa	Sila (N)	Broj ciklusa
Zubac regenerisan navarivanjem	3530	100.000	5250	25.500	-	-
Susedni zubac navarenom	3580	100.000	5190	50.000	5920	20.600
Naspramni zubac od navarenog	3570	100.000	5140	50.000	5980	27.200
Zubac regenerisan štiftovanjem i nav.	3590	100.000	5120	46.800	-	-
Susedni zubac regenerisanom	3590	100.000	5120	50.000	5980	22.100
Naspramni zubac od regenerisanog	3660	100.000	5170	48.400	-	-

Broj uzoraka je mali da bi se primenila statistička obrada podataka i na osnovu nje izvodili generalni zaključci. Ipak, na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata i izvršenih odgovarajućih komparacija došlo se do sledećih zaključaka:

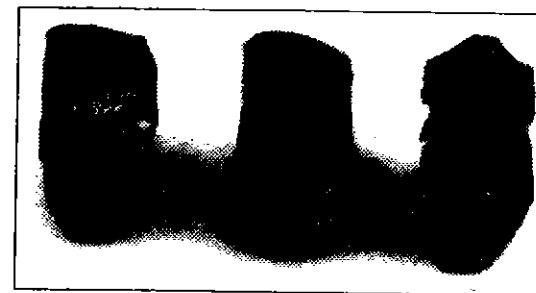
1. Dolazi do rasipanja rezultata ispitivanja kod neregnerisanih zubaca, pa se ne može govoriti o termičkom uticaju navarivanja na neregnerisane zupce. Naspramni zupci (kaljeni i cementirani) koji trpe najmanji termički uticaj pri navarivanju imaju dosta različite izdržljivosti na savijanje.

2. Regenerisani zupci (metodom navarivanja, kao i metodom štiftovanja pa zatim navarivanja) imaju manju savojnu čvrstoću od neregnerisanih.

3. Prethodni zaključak važi za navarivanje bez predgrevanja i naknadne termičke obrade. Izbor dodatnog materijala (vrste elektrode) vršen je tako da se postigne zahtevana tvrdoća navarenih površina zubaca. Zamorna izdržljivost zubaca pri dinamičkim savojnim opterećenjima nije uzimana u obzir pri izboru režima navarivanja, dodatnog materijala, pripreme za navarivanje i termičke obrade. Zato ove postupke sa aspekta zamorne izdržljivosti treba smatrati najnepovoljnijim - graničnim. Posvećujući veću pažnju navedenim elementima nesumnjivo bi se dobili rezultati približniji pokazateljima zamorne izdržljivosti neregnerisanih zubaca.

4. Kaljeni i cementirani zupci imaju krt-zamoran lom sa inicijalnom prslinom u zaobljenju noge zupca, dok je kod regenerisanih zubaca lom nepravilnog oblika, koji počinje u zaobljenju noge zupca i delimično se prostire u zupčasti venac (slika 6).

5. Zubac regenerisan štiftovanjem pa navarivanjem ima veću savojnu čvrstoću od zupca regenerisanog metodom navarivanja. Ovo se može objasniti time da štiftovi zadržavaju koliki-toliki viskozitet i žilavost jezgra zupca, što povećava izdržljivost na savijanje. Time eksperimentalno dobijeni rezultati potvrđuju zaključke iz literature.



Slika 6. Izgled polomljenih zubaca: levo - navaren, u sredini - neregnerisan i desno - štiftovan i navaren zubac

5. EKONOMSKA EFEKTIVNOST REGENERACIJE

Ekonomski efektivnost, data kroz procentualnu uštedu, za oba metoda regeneracije zupčanika glavnog pogona električnih kolica prikazana je u tabeli 3. Ušteda je računata po obrascu:

$$U = \frac{C_{ni} - C_r}{C_{ni}} \cdot 100 (\%)$$

gde je: C_{ni} (DEM) - cena nove izrade, a C_r (DEM) - cena regeneracije.

Tabela 3. Pokazatelji ekonomske efektivnosti regeneracije

Pokazatelji ekonomičnosti	Regeneracija prvim metodom	Regeneracija drugim metodom
Vreme regeneracije	3,0 NČ (30 DEM)	4,5 NČ (45 DEM)
Materijal potreban za regeneraciju	CASTOLIN 2, $\phi 3,2$ mm, 70 gr (18 DEM)	Č.4720, $\phi 5 \times 12$ mm, 2 kom, 4 gr, CASTOLIN 2, $\phi 2,5$ mm, 30 gr (10 DEM)
Ukupna cena regeneracije	48 DEM	55 DEM
Postupak nove izrade	Strugarski radovi (1,5 NČ), glodački radovi (3,5 NČ), termička obrada (1,0 NČ) i brusarčki radovi (4,0 NČ)	
Vreme nove izrade	10,0 NČ (100 DEM)	
Materijal potreban za novu izradu	Č.4720, $\phi 80 \times 10$ mm, 0,4 kg (1 DEM)	
Ukupna cena nove izrade	101 DEM	
Ušteda	32,5 %	45,5 %

6. ZAKLJUČAK

Analizom rezultata dobijenih ispitivanjem navedenih primera regenerisanih zupčanika moguće je izvesti sledeće zaključke:

1. Geometrijske karakteristike, zahtevane tolerancije i odstupanja, kao i kvalitet obrade površina regenerisanih zupčanika potpuno odgovaraju propisanim i standardizovanim vrednostima.

2. Zahtevana površinska tvrdoća bokova zubaca lako se postiže primenom odgovarajućih materijala za navarivanje. Poboljšanje svih mehaničkih karakteristika regenerisanih zupčanika moguće je ostvariti pažljivom i dobro organizovanom pripremom za navarivanje, izborom adekvatnih dodatnih materijala i režima navarivanja, striktnim pridržavanjem propisanih režima rada, kao i tačno definisanim i pažljivo izvedenim postupkom ojačanja radnih površina zubaca.

3. S obzirom da je navarivanje vršeno elektrodama koje se odlikuju malim unošenjem toplote u zonu pod uticajem toplote metalografski je potvrđeno da je oblik navarene strukture dosta povoljan. Takođe, nije uočeno prisustvo makroskopskih grešaka tipa naprsina, pora, uključaka, neprovara i dr.

4. Ekonomski efektivnost regeneracije ovih zupčanika je očigledna i kreće se oko 50 %. Kao uzorci su uzeti cilindrični evolventni zupčanci sa pravim zupcima, izuzetno jednostavne konstrukcije i malih gabarita. Što su zupčanci veći i složenijeg oblika i ušteda izvođenja regeneracije u odnosu na novu izradu je veća.

5. Za regeneraciju se koristi standardna oprema koju poseduju gotovo sva metaloprerađivačka preduzeća (aparati za ručno elektrolučno zavarivanje, glodalice i brusilice za izradu zupčanika, univerzalne glodalice, rendisaljke, brusilice i strugovi, kao i ručni bravarski uređaji). Investicioni troškovi su minimalni.

LITERATURA

1. Marković S., Josifović D.: Uštede u materijalu i troškovima obrade pohabanih zupčanika metodom regeneracije, "Tribologija u industriji", XVII/4, Kragujevac, 1995.
2. Marković S.: Karakteristike parametara tačnosti regenerisanih zupčanika, magistarski rad, Kragujevac, 1996.
3. Marković S.: Regeneracija zupčastih i ožljebljenih sprega, "Vojnotehnički glasnik", Beograd, 2/1994.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

N. Milić, B. Jeremić, M. Babić *

DOMINANTNI OTKAZI OBRADNIH CENTARA U PROCESU EKSPLOATACIJE

REZIME

U radu su prikazani rezultati praćenja otkaza obradnih centara u toku prve godine njihove eksploatacije, s ciljem identifikacije elemenata ili funkcionalnih celina koji su kritični sa aspekta otkaza.

Ispitivanje je sprovedeno na uzorku od sedam istih obradnih centara, koji rade u uslovima serijske proizvodnje i visokog vremenskog stepena iskorišćenja u fabrici namenske proizvodnje. Praćenje otkaza je vršeno za svaki obradni centar posebno, pri čemu su registrovani otkazi različite vrste, kako po svom uzroku, tako i po načinu izmene stanja i intenzitetu pojavljivanja. Takođe, praćeno je i zaustavljanje rada svake mašine usled pojavljivanja različitih grešaka, koje identifikuje ugrađeni sistem za autodijagnostiku.

1. UVOD

Zbog mogućnosti uspešnog zamenjivanja više mašina jednom, odnosno koncentracije operacija (bušenja, glodanja, proširivanja, razvrtanja, urezivanja) i njihovog izvođenja u jednom stezanju, danas se u uslovima serijske proizvodnje sve uspešnije koriste obradni centri. Po svojoj strukturi, obradni centri, predstavljaju složene tehničke sisteme, sastavljene od velikog broja raznorodnih komponenti - mehaničkih, hidrauličnih, pneumatskih, električnih i elektronskih, koje grade pojedine funkcionalne celine vezane za pogon, prenos, upravljanje alatne mašine, ili za meri i transportni podsistem.

Ovakva kompleksnost ovih tehničkih sistema uslovljava uvođenje preventivnog održavanja prema stanju, kao najadekvatnijeg postupka njihovog održavanja, kojim se obezbeđuje bolja povezanost procesa promene stanja i procesa eksploatacije obradnih centara, odnosno maksimiziranje raspoloživosti proizvodne opreme u procesu proizvodnje.

U opštem slučaju, osnovni zahtevi koji se postavljaju pred proizvodnu opremu, odnose se na povećanje njene pouzdanosti preko smanjenja broja otkaza i vremena njihovog trajanja, uz istovremena ograničenja u pogledu kvaliteta i tačnosti obrade u što dužem vremenskom intervalu. Za ostvarenje ovih zahteva neophodna je primena preventivnog održavanja prema stanju, pri čemu je uvođenje aktivnosti tehničke dijagnostike, koje se sprovode u cilju ocene trenutnog stanja sistema i preduzimanja planiranih aktivnosti održavanja, jedna od prvih faza njegove realizacije.

2. EKSPLOATACIJSKA ISTRAŽIVANJA OTKAZA OBRADNIH CENTARA

Da bi se razvio i formirao odgovarajući sistem tehničke dijagnostike i monitoringa stanja jednog tehničkog sistema, neophodno je poznavati sve vrste mogućih otkaza, njihove

* Mr ing. Nenad Milić, asistent; Dr ing. Branislav Jeremić, vanr. prof.; Dr ing. Miroslav Babić, vanr. prof., Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6., 34000 Kragujevac, Jugoslavija

uzroke i moguće posledice. Takođe, sa aspekta povećanja produktivnosti, posebnu pažnju treba posvetiti otkazima (i njihovim uzrocima) koji imaju najveći uticaj na gubitke u proizvodnji i visoke posledične troškove.

U cilju utvrđivanja značaja tehničke dijagnostike alatnih mašina vršena su mnogobrojna istraživanja intenziteta otkaza pojedinih strukturnih komponenti, čiji se rezultati mogu naći u literaturi. Tako npr. ispitivanja vršena za grupu složenih tehničkih sistema, kao što su četvorovretni automati /1/ ukazuju na dominaciju otkaza na mehaničkim komponentama (78,5%). Daljom analizom utvrđeno je da su kod mehaničkih komponenti u preko 80% slučajeva prisutni postepeni otkazi, koji su uglavnom posledica procesa habanja, tako da je kod složene proizvodne opreme više od 50% otkaza prouzrokovano tribološkim procesima, koji se mogu preduprediti odgovarajućim metodama tehničke dijagnostike.

Istraživanja vršena za potrebe četiri nemačka proizvođača alatnih mašina i njihovih korisnika /2/ ukazuju da se približno 40% zaustavljanja mašina i prekida procesa obrade dešava usled više međusobno povezanih (zavisnih) otkaza, koji ukazuju na probleme kod sistema za zamenu alata i predmeta obrade i odgovarajućih manipulatora, što izaziva visoke troškove održavanja. Takođe, veliki broj otkaza (27%) javlja se na sistemima za upravljanje, kao i na mehaničkim (15%). Isto istraživanje ukazuje da u preko 80% slučajeva otkazuju mehaničke i električne i elektronske komponente. Svi ovi rezultati se odnose na visoko automatizovane alatne mašine i bazirani su na izveštajima održavalaca opreme, a opisi otkaza su dobijeni od korisnika opreme.

Svi ovi rezultati ukazuju na potrebu da se velika pažnja mora posvetiti monitoringu i dijagnostici stanja alatnih mašina u savremenoj metaloprerađivačkoj industriji, s obzirom da se sa porastom stepena njihove automatizacije povećavaju i mogućnosti pojave otkaza i zastoja istih.

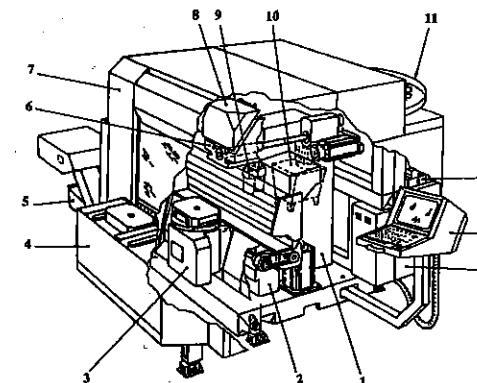
2.1. Program i uslovi istraživanja

U cilju razvoja dijagnostičkog sistema za preventivno održavanje prema stanju grupe istih obradnih centara, koji rade u uslovima serijske proizvodnje i visokog vremenskog stepena iskorišćenja u fabrici namenskih proizvoda, vršeno je praćenje njihovih otkaza u dužem vremenskom intervalu.

Na taj način identifikovani su elementi i funkcionalne celine koji su kritični sa aspekta otkaza na uzorku od sedam istih obradnih centara koji rade neprekidno 24 sata na liniji za izradu vitalnih delova proizvoda namenjenog prvenstveno inostranom tržištu, pri čemu se na njima vrši obrada radnih komada od aluminijuma ili čelika. Smatra se da, pri projektovanim režimima obrade, pomenuti obradni centri rade sa 20 do 30% od projektovanih raspoloživih performansi. Praćenje pojava otkaza vršeno je u toku prve godine rada svih obradnih centara u uslovima realne eksploatacije. U ovom periodu registrovani su, za svaki obradni centar pojedinačno, otkazi različite vrste, kako po svom uzroku, tako i po načinu izmene stanja i intenzitetu pojavljivanja. Takođe, praćeno je i zaustavljanje rada svake mašine usled pojavljivanja različitih grešaka, koje je identifikovao već ugrađeni sistem za autodijagnostiku u upravljačkoj jedinici, odnosno, indikator greške u upravljačkom ormanu svakog obradnog centra.

S obzirom da su obradni centri kupljeni sredstvima stranog ulagača i da se na njima proizvode delovi sa veoma strogim zahtevima u pogledu kvaliteta i tačnosti obrade, težilo je da se praćenjem promene stanja dođe do informacija koje su neophodne za donošenje odgovarajućih odluka o intenzitetu održavanja u cilju obezbeđenja zahtevane eksploatacione pouzdanosti. Razvojem dijagnostičkog sistema za preventivno održavanje prema stanju obradnih centara (kao nadgradnje već postojećeg sistema za autodijagnostiku) treba izbeći pojavu dugotrajnih zastoja i omogućiti visok vremenski stepen iskorišćenja opreme, što je i predstavljalo jedan od osnovnih zahteva stranog partnera kod ulazanja u zajednički program sa našom renomiranom fabricom namenskih proizvoda.

Na slici 1. predstavljen je ispitivani obradni centar sa osnovnim funkcionalnim celinama.



- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1) Stub mašine sa prenosnikom za osnovno kretanje i kretanje u pravcu Y-ose | 7) Potpuno zatvorena kabina |
| 2) Klizni nosač sa prenosnikom za kretanje u pravcu X-ose | 8) Izmenjivač alata |
| 3) Radni sto | 9) Pneumatski sistem |
| 4) Izmenjivač paleta | 10) Hidraulični sistem |
| 5) Sistem za SHP sa konvejerom za odstranjivanje strugotine | 11) Magacin alata |
| 6) Glavno vreteno sa prenosnikom za osnovno kretanje i kretanje u pravcu Z-ose | 12) Centralni sistem za podmazivanje |
| | 13) Upravljačka konzola |
| | 14) Upravljački orman |

Slika 1. Ispitivani obradni centar.

Ispitivani obradni centri predstavljaju horizontalne obradne centre sa automatskom izmenom alata i paleta sa radnim komadima, sa mogućnošću kretanja radnog stola u dve međusobno upravne ose (X i Y) i zakretanja (B-osa), kao i istovremenog kretanja glavnog vretena po Z-osi, koja je upravna na ose X i Y. Za potrebe izvođenja svih predviđenih operacija obrade glodanjem i bušenjem, obradni centri su snabdeveni velikim brojem reznih alata, koji su smešteni u magacinu alata, koji je u obliku diska smešten na posebnom nosaču iznad glavnog vretena, kapaciteta 48 alata.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U prvoj godini eksploatacije ispitivanih obradnih centara javili su se sledeći karakteristični otkazi i oštećenja, koji su prouzrokovali duže zastoje u radu ovih tehničkih sistema, pri čemu su neki od njih u kasnijem periodu eksploatacije (druga i treća godina rada) dobili sistematski (višestruko ponavljajući) karakter:

- kidanje kaiša na kaišnom prenosniku za glavno kretanje,
- lom čivije u mehanizmu za bravljenje paleta,
- lom nosača ležišta vođica izmenjivača paleta,
- lom limenih rebara na zaštitniku kliznih vođica,
- prekomerna pohabanost zadnjeg ležaja ožlebljenog spojničkog vratila,
- pojava fretting korozije na ožlebljenom delu glavnog vretena,
- otkaz prekidača pritiska u hidrauličnom bloku za kontrolu izmene paleta,
- lom poluge za podizanje zaštitnog poklopca pri izmeni alata,

- lom podložne pločice u mehanizmu za bravljenje palete i
- samoodvijanje i zakretanje navrtke i osovinica u zadnjem delu glavnog vretena.

Osim gore navedenih otkaza, u toku eksploatacije obradnih centara pojavili su se i drugi otkazi, koji su u manjoj ili većoj meri imali sistematski karakter:

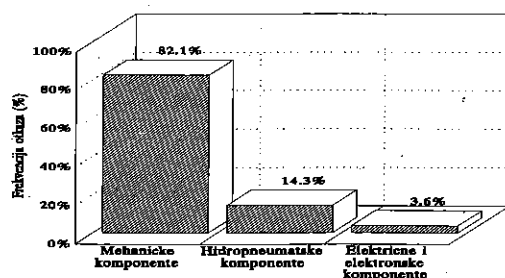
- lom teflonskih zupčanika koji služe za pomeranje pokretnih snopova zupčanika u prenosniku za glavno kretanje i
- prekomerno habanje zatezača kaiša za prenos glavnog kretanja i njegovog ležišta.

Može se reći da neki od ovih otkaza pripadaju svakako grupi nedopustivih otkaza, kao na primer otkaz u sklopu glavnog vretena usled samoodvijanja i zakretanja navrtke i osovinica u njegovom zadnjem delu, ili usled potpunog razaranja kontaktnog sloja zadnjeg ležaja ožlebljenog spojničkog vratila zbog pojave pitting-a.

Osim otkaza zabeležen je i veoma veliki broj zaustavljanja rada mašina u toku prve godine njihove eksploatacije usled identifikacije različitih grešaka koje su registrovane na displeju indikatora grešaka (šifra greške se sastoji iz slovnice oznake E i odgovarajuće brojne oznake), ili na ekranima upravljačkih jedinica obradnih centara, a koje se takođe sistematski ponavljaju, kao što su:

- nepodešeni bezkontaktni prekidači za nivo SHP (E 10),
- poluga za merenja pohabanosti alata je van mernog opsega (E 13),
- nema zaokretanja po B-osi (E 70),
- nekorektna izmena alata (E 176),
- nedostatak informacije o zaokretanju magacina alata (E 180),
- nekorektno zaokretanje magacina alata (E 181) i
- izmenjivač alata nije u pravilnom položaju (E 207).

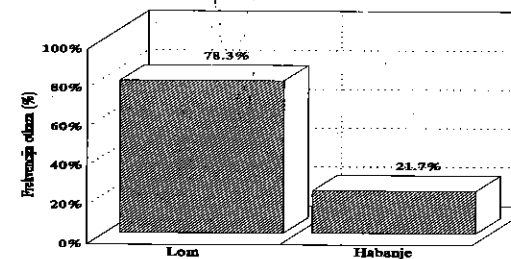
Analizom rezultata praćenja otkaza i grešaka, koji su sistematizovani po broju radnih sati do njihovog nastanka, po elementu ili funkcionalnoj celini kod kojih je došlo do pojave otkaza po uzroku nastajanja otkaza ili po vrsti greške, za svaki obradni centar, došlo se do rezultata, sa aspekta frekvencije pojave otkaza pojedinih strukturnih komponenti, prikazanih na slici 2.



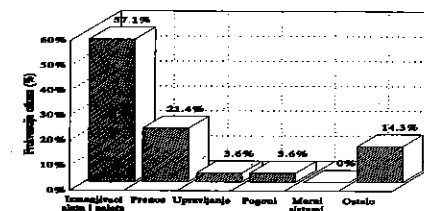
Slika 2. Frekvencija otkaza strukturnih komponenti ispitivane grupe obradnih centara u toku prve godine eksploatacije.

Ako se analiziraju uzroci ovih otkaza (slika 3.), može se zaključiti da se u većini slučajeva (78,3%) javljaju trenutni otkazi, usled loma pojedinih mehaničkih komponenti i elemenata, a da se u manjem broju (21,7%) javljaju postepeni otkazi (zbog habanja).

Analiza frekvencije nastajanja otkaza na pojedinim funkcionalnim celinama ispitivanih obradnih centara data je na slici 4. Prisutna je relativno velika saglasnost između ovih rezultata i literaturnih podataka (poglavlje 2.), naročito kada su pitanju funkcionalne celine vezane za zamenu alata i predmeta obrade (odgovarajući izmenjivači). Takođe registrovano je i dosta otkaza na sistemima za prenos snage i kretanja (21,4%), dok se za merni sistem može reći da je radio veoma pouzdano, jer nije bilo registrovanih otkaza.

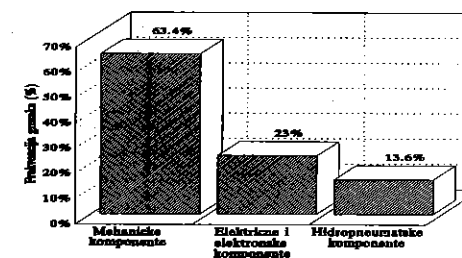


Slika 3. Uzroci otkaza mehaničkih komponenti ispitivane grupe obradnih centara u toku prve godine eksploatacije.

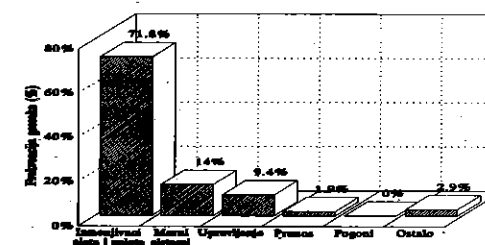


Slika 4. Frekvencija otkaza pojedinih funkcionalnih celina ispitivane grupe obradnih centara u toku prve godine eksploatacije.

Slična analiza može se sprovesti i za rezultate praćenja pojave grešaka usled kojih je dolazilo do prekida rada obradnih centara, a koji su dati na slikama 5. i 6.



Slika 5. Frekvencija grešaka identifikovanih na različitim komponentama ispitivane grupe obradnih centara u toku prve godine eksploatacije.



Slika 6. Frekvencija grešaka identifikovanih na različitim funkcionalnim celinama ispitivane grupe obradnih centara u toku prve godine eksploatacije.



Dr Ratko Mitrović, Dr Dragoljub Radonjić, Mr Aleksandar Davinić, Slobodan Mitrović

IDENTIFIKACIJA STANJA MAŠINSKIH SISTEMA ANALIZOM SIGNALA VIBRACIJA

REZIME

U održavanju mašina i uređaja poseban problem predstavlja objektivno utvrđivanje stanja vitalnih komponenta i definisanje perioda njihove zamene, odnosno, revitalizacije. Jedna od pouzdanijih metoda dijagnostike je, svakako, analiza signala vibracija posmatranog mašinskog sistema.

U radu su date teorijske osnove ove metode, a njenim korišćenjem je izvršena analiza stanja mlina cementa u fabrici cementa "Novi Popovac", nakon revitalizacije pogonskog zupčastog para.

Snimanjem nivoa vibracija na ležištima pogonskih zupčanika utvrđeno je viši nivo od dozvoljenog, što je zahtevalo dalju analizu u cilju utvrđivanja uzroka ovakve pojave. Spektralnom analizom signala ubrzanja kućišta ležišta uočen je značajan uticaj ozubljenja revitalizovanog zupčastog para, što je zahtevalo detaljnu analizu oblika profila zuba, me usnog rastojanja, ekscentričnosti i saosnosti zupčanika i pogonskih vratila. Na bazi ovakvih analiza bilo je moguće predložiti konkretne mere za dovođenje vibracija ležišta na zahtevani nivo.

1. UVOD

Utvrđivanje realnog stanja mašina i uređaja predstavlja osnovni preduslov njihovog pravilnog održavanja, a samim tim i postizanja projektovanog veka. U toku eksploatacije, pod dejstvom radnih opterećenja i procesa trenja, dolazi do pojava habanja, trošenja, deformisanja ili loma vitalnih delova što dovodi do nepravilnog rada ili potpunog prekida funkcije. Pokretni delovi mašinskih sistema izazivaju u toku rada određeni nivo vibracija koji se za datu vrstu i namenu uređaja nalaze u propisanim granicama. Promene zazora, oblika i dimenzija ovih delova, koje nastaju usled gore navedenih uzroka, povećavaju nivo vibracija na osnovu kojeg se može formirati kriterijum za pristupanje određenom vidu održavanja.

Signal vibracija karakterističnog dela mašinskog sistema može se dvojako iskoristiti u procesu dijagnosticiranja njegovog stanja:

- analizom vremenskog zapisa vršnih ili efektivnih vrednosti puta, brzine ili ubrzanja vibracija, i njihovim poređenjem sa dozvoljenim vrednostima, može se oceniti stanje sistema i neophodnost primene određenih mera održavanja,
- spektralnom analizom signala vibracija, na osnovu njegovog frekventnog sadržaja, moguće je lokalizovati neispravnost koja dovodi do višeg nivoa vibracija.

Primeri korišćenja navedenih postupaka dati su na sl. 1. i 2. respektivno.

*Dr Ratko Mitrović, Dr Dragoljub Radonjić, Mr Aleksandar Davinić - Mašinski fakultet Kragujevac
*Slobodan Mitrović, "Multicomp" Kragujevac

I u ovom slučaju najveći broj grešaka se javljao na mehaničkim komponentama (63,4%). U odnosu na otkaze, ovde je znatno veći broj grešaka registrovan na električnim i elektronskim komponentama (23%), koje su se javljale usled isključivanja određenih "interfejsa" u memnom sistemu i gubitka električnih signala vezanih za informacije o kretanju magacina alata. Kada se analiziraju greške po odgovarajućim funkcionalnim celinama (slika 6.), ponovo su najbrojnije greške vezane za sisteme za izmenu alata i predmeta obrade. Takođe, relativno su brojne (14%) greške na memnim sistemima, koje su bile vezane za zaprljanost memnih letvi, odnosno za njihove neblagovremeno čišćenje.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Dobijeni rezultati su u najvećem delu saglasni sa podacima prethodnih istraživanja i njihov značaj se ogleda, pre svega, u činjenici da su eksploatacijska istraživanja ove vrste do sada relativno malobrojna, tako da se do sada uglavnom operisalo sa komercijalnim podacima, koji se lansiraju od strane pojedinih proizvođača opreme, pri čemu su kriterijumi ocenjivanja u velikoj meri subjektivni.

Velika prisutnost loma kao uzroka trenutnih otkaza u toku prve godine eksploatacije obradnih centara je posledica nestručnog rukovanja, neznanja i nedovoljne obučenosti operatera, kao i mnogobrojnih podešavanja mašina. U daljoj eksploataciji ovih obradnih centara, u toku druge i treće godine njihove eksploatacije, sve više su bili izraženi postepeni otkazi mehaničkih komponenti, do kojih je dolazilo usled sve izraženijih triboloških procesa.

Takođe, treba reći, da veliki broj grešaka na električnim i elektronskim komponentama nije dovodio do gubitka funkcije ili fizičkih oštećenja tih elemenata niti do oštećenja pojedinih funkcionalnih celina, kao i samih obradnih centara. Međutim, ove greške svakako ukazuju na nedovoljnu pouzdanost rada električnih i elektronskih sklopova, koji prate rad magacina alata.

Složena struktura izmenjivača alata i paleta u velikoj meri dovodi do velikog broja otkaza ili grešaka ovih celina, što ukazuje na neophodnost poboljšanja rada pojedinih njihovih komponenti i elemenata i povišenje njihove pouzdanosti.

5. LITERATURA

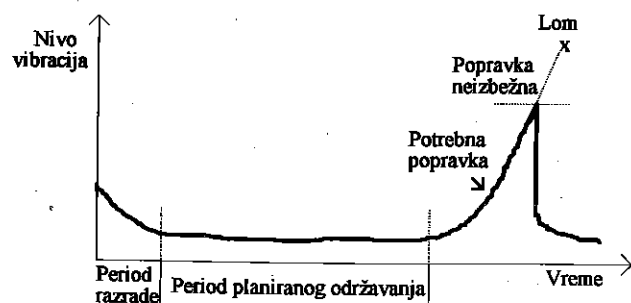
- 1/ Jeremić B., Arsovski S., *Intenzitet pojave otkaza kod alatnih mašina u funkciji stepena automatizacije*, XVII Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Titograd, 1983.
- 2/ Weck M., *Handbook of Machine Tools*, Vol. 3., Automation and Controls, A Wiley Heyden publication, New York, 1974.
- 3/ Milić N., *Razvoj dijagnostičkog sistema za održavanje obradnih centara*, magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Kragujevcu, Kragujevac, 1994.

DOMINANT FAILURES OF THE MACHINING CENTERS IN THE EXPLOITATION PROCESS

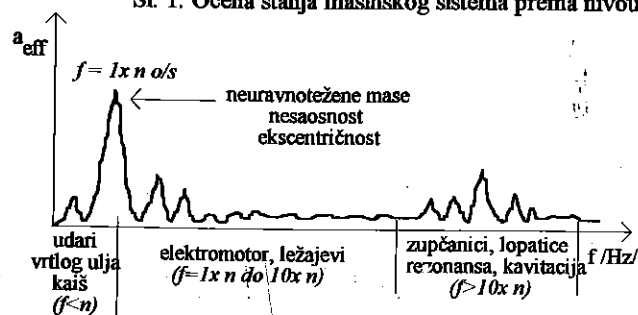
SUMMARY

In the paper are presented results of the machining centers failures observing in their first year of the exploitation, with the aim of the identification of the elements and functional complexes, which are critical from the failure aspect.

The investigation are conducted on the sample of the seven identical machining centers, which are working in batch production conditions and high time efficiency ratio in the military factory. The observing of the failures was executed for each machining center separately, with registration of different kinds of failures, having different causes, way of state alternation and appearance intensity. Termination of the operation of each machine caused by different errors was observed and identified by built-in self-diagnostic system also.



Sl. 1. Ocena stanja mašinskog sistema prema nivou vibracija /2/.

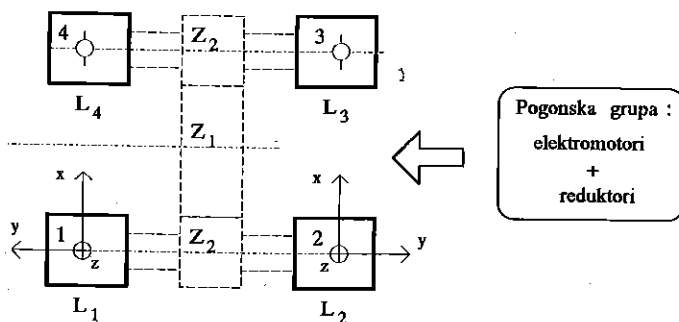


Sl. 2. Frekventna područja vibracija karakterističnih komponenti mašinskih sistema /3/.

Opisana metodologija je upravo korišćena pri utvrđivanju uzroka povišenog nivoa vibracija ležišta pogonskih zupčanika mlina cementa nakon revitalizacije pogonskog para zupčanika.

2. MERENJE I ANALIZA VIBRACIJA KUĆIŠTA LEŽAJEVA MLINA

Nakon reparacije zupčastog para mlina cementa pojavio se viši nivo vibracija kućišta ležajeva od dozvoljenih, što je pored navedenih analiza zahtevalo i kompleksnije merenje vibracija na ovim mestima. Uprošćena šema pogona mlina sa oznakama mernih mesta data je na sl. 3.



Sl. 3. Šema pogona mlina i oznake mernih mesta: L₁, ... L₄ -ležajevi, Z₁, Z₂ -zupčanci, 1, ... 4 -merna mesta.

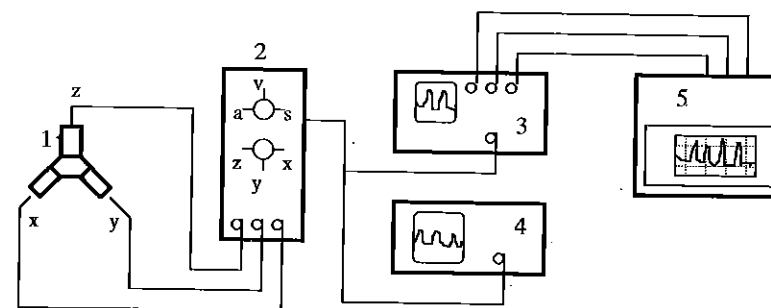
Prema kontrolnim merenjima, izvršenim nakon remonta mlina, dobijene su sledeće efektivne vrednosti vibracija na mernom mestu 1, izražene u mm/s:

- u pravcu h -ose: 45 mm/s, dozvoljeno: 19
- u pravcu u -ose: 15 " dozvoljeno: 15
- u pravcu z -ose: 37 " dozvoljeno: 16.

2.1. Metod merenja i merni lanac

U cilju istraživanja uzroka povećanog nivoa vibracija bilo je potrebno izvršiti spektralnu analizu signala ubrzanja ili brzine vibracija kako bi se iz njihovog frekventnog sadržaja identifikovao i glavni uzročnik.

Shodno prednjem zahtevu, formiran je merni lanac čija je uprošćena šema data na sl. 4:



Sl. 4. Šema mernog lanca za merenje vibracija i spektralnu analizu.

Legenda:

1. Piezoelektrični troosni davač ubrzanja BRUEL & KJAER TYP 4340
2. Predpojačavač za piezoelektrične davače ubrzanja BRUEL & KJAER TYP 2625
3. Spektralni analizator HEWLETT - PACKARD TYP 3582 A
4. Osciloskop
5. Merni sistem sa ploterom HEWLETT - PACKARD TYP 7090 A

Pre povezivanja mernog lanca izvršeno je baždarenje davača ubrzanja 1 na kalibratoru BRUEL & KJAER TYP 4291, kako bi se podesilo pojačanje predpojačavača 2 i na taj način dobile podesne razmere za ubrzanje (a), brzinu (v), odnosno, put (s).

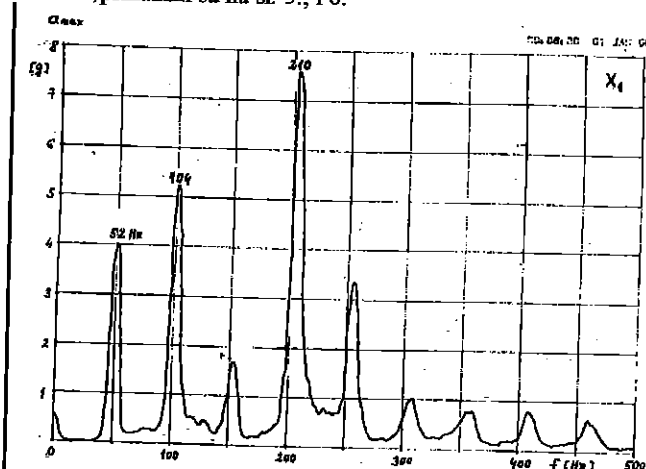
Davač ubrzanja 1, daje na svom izlazu naponske signale proporcionalne trenutnim vrednostima ubrzanja vibracija u pravcima tri upravne ose (x, y, z). Zbog niskog naponskog nivoa ovih signala vrši se njihovo pojačanje u predpojačavaču 2, koji pomoću odgovarajućih preklopnika omogućava praćenje ubrzanja, brzine ili puta u pravcu svake od tri ose. Uvođenjem signala ovih veličina u spektralni analizator 3, mogu se dobiti njihovi spektri, koji se po potrebi mogu zapisati na ploteru 5.

Osciloskop 4, u mernom lancu ima ulogu kontrole signala na izlazu iz predpojačavača 2. Opisani merni lanac omogućava praćenje i zapisivanje trenutnih vrednosti ubrzanja, brzine i puta vibracija, njihovih srednjih i efektivnih vrednosti, kao i njihovih spektara. U konkretnom

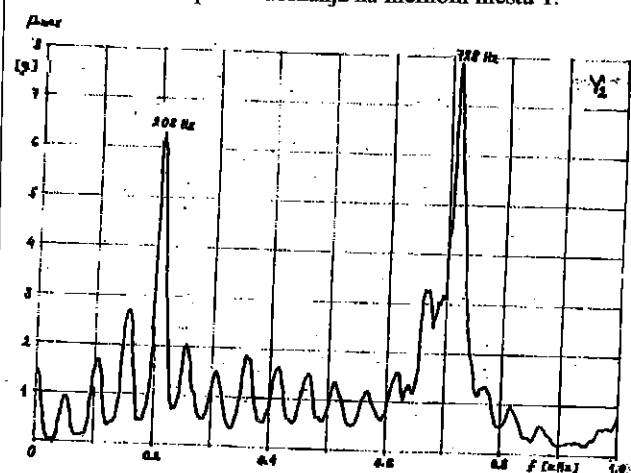
slučaju, zbog zahteva iznetih na početku ovog poglavlja, snimani su i analizirani samo spektri vršnih (maksimalnih) vrednosti ubrzanja vibracija na određenom mernom mestu.

2.2. Postupak i rezultati merenja

Snimanje spektara vršnih vrednosti ubrzanja vibracija obavljeno je na mernim mestima 1 i 2 (sl. 3.) uz korišćenje napred opisanog mernog lanca i metoda merenja. Mlin je bio u radnom stanju sa otprilike 1/3 punjenja. U toku merenja zapisani su spektri ubrzanja vibracija na oba merna mesta i po pravcima osa koje su označene na sl. 3. Rezultati merenja po pravcu ose x , za oba merna mesta, prikazani su na sl. 5., i 6.



Sl. 5. Spektar ubrzanja na mernom mestu 1.



Sl. 6. Spektar ubrzanja na mernom mestu 2.

Kao što se na navedenim slikama vidi, spektri su dati u koordinatnom sistemu maksimalno ubrzanje, a_{max} , /g/ i učestanost vibracija f [Hz], pri čemu su dominantne učestanosti označene brojnim vrednostima na samom dijagramu. Na svakom dijagramu je

takođe označeno na koje merno mesto i na koju osu se odnosi dobijeni spektar. Naprimera, X_1 - spektar ubrzanja na mernom mestu 1 i u pravcu ose x itd.

2.3. Analiza rezultata merenja

S obzirom da su dominantne učestanosti vibracija kućišta ležajeva koje izazivaju različiti izvori gotovo uvek proporcionalne broju obrtaja vratila (celi ili razlomljeni umnožci broja obrtaja), to je prethodno potrebno poznavati ovu veličinu. U konkretnom slučaju je broj obrtaja pogonskog motora $n_M = 750$ o/min, prenosni odnos reduktora, $i_{red} = 6.19$, pa broj obrtaja pogonskog vratila iznosi:

$$n = 750 / 6.19 = 121.16 \text{ o/min} \approx 2 \text{ o/s.}$$

Pošto zupčasti par, kao mogući uzrok vibracija, izaziva vibracije na ležaju čija je učestanost jednaka proizvodu broja obrtaja vratila i broja zuba zupčanika, to će u ovom slučaju biti:

$$f = n \cdot z_2 = 2 \cdot 26 = 52 \text{ Hz.}$$

Dijagram na sl. 5., koji se odnosi na merno mesto 1, upravo daje prve harmonike spektra koji su pri ovoj učestanosti, ali i viši nivo vibracija kod viših harmonika. Najviši nivo vibracija ima 2 i 4 harmonik. Razlog ovoj pojavi treba tražiti u koncepciji dvostrukog pogona i nesinhronizovanosti obrtanja oba pogonska vratila.

Rezultati merenja na mernom mestu 2, (dijagram na sl. 6.) ukazuju na uticaj ozubljenja pri učestanosti 208 Hz (4-ti harmonik), ali i na znatan nivo vibracija pri višim učestanostima (728 Hz), koje su posledica neodgovarajućih zazora u kliznom ležištu L_2 . Ova vrednost učestanosti istovremeno predstavlja i 14-ti harmonik pobude od ozubljenja što govori o superponiranju ove dve vrste vibracija. Slični zaključci se mogu izvesti analizom spektara dobijenih za ostale dve ose (y i z) na mernim mestima 1 i 2.

3. ZAKLJUČCI

Analizom signala vibracija ležajeva pogonskih zupčanika mlina cementa utvrđeno je sledeće:

- nakon revitalizacije pogonskog zupčastog para i remonta mlina registrovan je viši nivo vibracija od dozvoljenog, što je ukazivalo na nekorektnost obavljenih radova,
- spektri ubrzanja dobijeni na mernim mestima 1 i 2 pokazali su najveći uticaj ozubljenja i neodgovarajućeg zazora u ležištu L_2 ,
- podsecanjem bokova zubaca pogonskih zupčanika i korekcijom međuosnog rastojanja, kao i zamenu ležišta L_2 , mlin je ponovo doveden u ispravno pogonsko stanje.

4. LITERATURA

- 1/ Mitrović, R., i dr.: Mogućnosti ocene kvaliteta revitalizacije pogonskog zupčastog para mlina cementa, II međunarodni skup "Teška mašingradnja", Kraljevo 1996.
- 2/ Bruel & Kjaer: Merimo vibracije, Priručnik.
- 3/ Wowk, W.: Machinery Vibration, Measurement and Analysis, McGraw-Hill, Inc., 1991.

IDENTIFICATION OF THE STATE OF MACHINE SYSTEMS BY THE ANALYSIS OF VIBRATION SIGNALS

SUMMARY

The special problem in the maintenance of machines is the objective identification of the state of vital components and definition of their replacement period or revitalization. One of most confident diagnostic methods is the analysis of the vibration signals at the observed machine system.

This paper gives the theory basics of this method, and it is implemented for the analysis of the state of a cement mill in the cement factory "New Popovac", after the revitalization of the drive gear pair.

By the recording the vibration level at the bearings of the driving gears, the higher vibration level was established than permitted, which required the further analysis to establish the causes of this phenomenon. The spectral analysis of acceleration signals the significant influence of the gear tooth profile of the revitalized pair on the vibrations, which required the detail analysis of the tooth profile form, distance between the axles, eccentricity and the parallelity of the gears and axles.

Based on such examinations, proposing measures for the reduction of the vibrations to the required level was possible.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

G.Nastić, D.Andelković

PRAĆENJE TROŠKOVA ODRŽAVANJA NA RAČUNARU

REZIME

U radu je prikazan informacioni sistem održavanja koji je projektovan tako da omogućava praćenje svih troškova održavanja. Dat je prikaz održavanja kao dela integralnog informacionog sistema preduzeća. Prikazani su preduslovi za uvođenje održavanja kao zasebnog informacionog sistema. Cilj rada je da ostvari bolju organizaciju svih funkcija održavanja (ubrza otklanjanje zastoja) i dovede do smanjenja troškova. Ovaj informacioni sistem održavanja našao je praktičnu primenu u "TRAYAL" Korporaciji iz Kruševca.

1. UVOD

Osnovna uloga održavanja je da proizvodni sistem iz stanja u otkazu, dovede u radno stanje, u određenom vremenskom intervalu i uz određene troškove.

Organizacija sistema održavanja utiče na smanjenje troškova, a zato je neophodno stvoriti kontinuiran dotok informacija i kontrolu nad njima. Najadekvatnije rešenje za postizanje ovih ciljeva je izgradnja informacionog sistema.

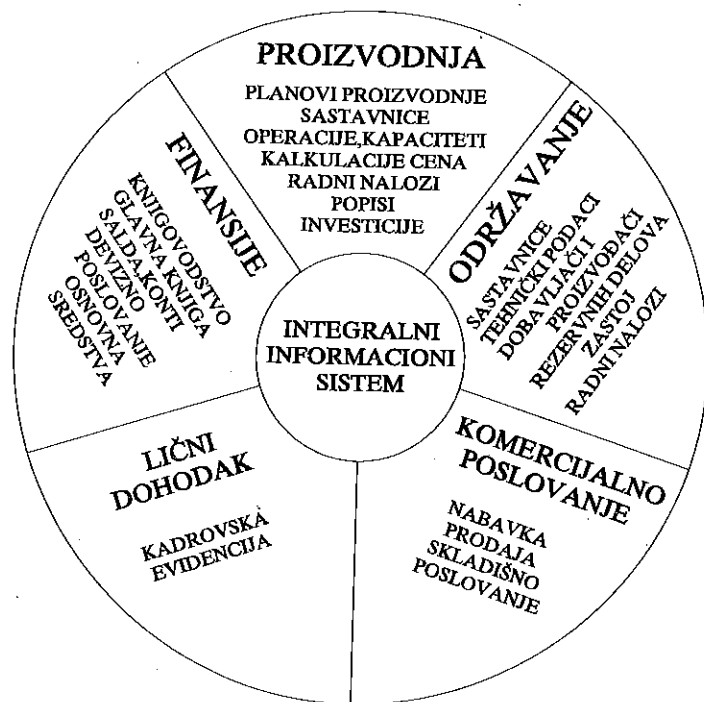
Svako preduzeće karakterišu specifični proizvodni procesi u čijoj neposrednoj funkciji se nalazi i održavanje. Ove specifičnosti uslovljavaju način projektovanja informacionog sistema preduzeća u celini, a samim tim i na projektovanje održavanja kao njegovog integralnog dela.

Gordana Nastić, dipl.ing.fiz., projektant informacionog sistema, "TRAYAL" Korporacija, Kruševac
Dragoslav Andelković, dipl.ing.mas., vodeći projektant informacionog sistema,

"TRAYAL" Korporacija, Kruševac

2. ODRŽAVANJE KAO SEGMENT INTEGRALNOG INFORMACIONOG SISTEMA

U "Traya" Korporaciji je 1991.god uveden informacijski sistem, koji je od tada usavršavan i proširivan shodno potrebama Korporacije. Informacijski sistem je integralnog tipa, što znači da su svi podsistemi koji ga sačinjavaju u međusobnoj interaktivnoj vezi iako svaki od njih ima svoju, osnovnu funkciju. Sve promene na matičnim podacima, koje se evidentiraju u jednom podsistemu trenutno su dostupne svim ostalim podsistemima. Ovim je postignuto to da se podaci unose samo jedanput, a samim tim je povećana efikasnost poslovanja i tačnost podataka. Velika cirkulacija podataka koja proizilazi iz visokog nivoa integrisanosti sistema, obezbeđuje bolju informisanost i donošenje kvalitetnijih rešenja na svim nivoima odlučivanja.



slika 1.

Na slici 1. je predstavljen globalni šematski prikaz integralnog informacijskog sistema "Traya" Korporacije.

2.1. Preduslovi za uvođenje informacijskog sistema održavanja

Da bi uopšte mogli da pristupimo radu na modulu praćenja troškova održavanja potrebno je obezbediti i definisati:

Jedinstveni sistem šifriranja:

Ovo je osnovni zahtev integralnog informacijskog sistema; paralelni sistem šifriranja je moguć samo kod sistema koji rade nezavisno.

Princip jedinstvenog šifriranja zaastupljen je u svim šifranicima koje koristi integralni informacijski sistem. Ovaj princip važi i za sledeće šifranike koji su napravljeni i dopunjeni za potrebe ovog projekta:

- Šifranik osnovnih sredstava (sva osnovna sredstva moraju imati inventarski broj i druge neophodne matične podatke).
- Šifranik rezervnih delova i alata (nalazi se u sklopu šifranika artikala).
- Šifranik mašina i uređaja (mašine koje imaju istu strukturu tj. identične su imaće i istu šifru mašine).
- Šifranik vrste radnih naloga (dopunjen je postojeći šifranik radnih naloga koji se koristi u proizvodnji i investicijama).
- Šifranici vrste zastoja i vrste kvara (ovi šifranici su napravljeni isključivo za potrebe održavanja).

Postojanje baze podataka

Baza podataka otklanja nedostatke klasične organizacije podataka (datoteka) i omogućava da se svi podaci informacijskog sistema sintetišu u jednu kompaktnu fizičku celinu. Prilikom uvođenja podsistema održavanja posebna pažnja je posvećena maksimalnom korišćenju već postojećih matičnih podataka da bi se na taj način izbegla redundantnost podataka.

Postojanje računarske opreme i terminalne mreže

Potrebno je da sve službe, koje su neophodne za rad na održavanju, imaju radne stanice.

3. PRAĆENJE TROŠKOVA ODRŽAVANJA

Informacijski sistem održavanja koji se zasniva na ovim preduslovima sastoji se od više međusobno povezanih celina i omogućava detaljno praćenje troškova održavanja. Pored praćenja troškova održavanja obuhvaćena je i tehnička strana održavanja.



slika 2.

Održavanje kao zaseban informacijski sistem

3.1 Sastavnica mašine

Sastavnica predstavlja celokupnu strukturu mašine. Matični podaci koji su potrebni za formiranje sastavnice su šifra (sklopa, podsklopa, rezervnog dela) i količina za ugradnju. Sastavnice istih mašina unose se samo jednom u bazu podataka, jer mašine sa istom strukturom imaju istu šifru u šifraniku mašina i uređaja. Svaka mašina pored ove šifre ima i inventarski broj koji je jednoznačno određuje. Na osnovu podataka koji se unose u bazu možemo dobiti sledeće preglede:

- Pregled strukture mašine (može se izlistati sastavnica mašine po nivoima ugradnje).
- Pregled ugradnje rezervnog dela
(Izlistaćemo sve mašine koje sadrže određeni rezervni deo).

3.2. Rezervni delovi

Matični podaci koji su neophodni za praćenje rezervnih delova zasnivaju se na osnovnim tehničkim karakteristikama, kao što su : dimenzije, materijal, standard i broj crteža. (Ako neki rezervni deo ima više crteža, možemo ih izlistati na terminalu). Omogućena je izmena, dopuna i čuvanje podataka koji su sadržani u tehničkoj dokumentaciji.

Dobavljači i proizvođači rezervnih delova

Da bi nabavka rezervnih delova mogla da zadovolji željene standarde kvaliteta (ISO 9000) potrebno je da dobije veliki broj informacija o dobavljačima i proizvođačima rezervnih delova. Podaci koji obezbeđuju ovaj uslov su : šifra, naziv, mesto dobavljača/proizvođača i kataloški broj rezervnog dela tog dobavljača/proizvođača. Kada u bazi postoje ovi podaci možemo dobiti sledeće preglede:

- Pregled asortimana dobavljača/proizvođača rezervnog dela (možemo videti sve rezervne delove koje dobijamo od jednog dobavljača/proizvođača sa planskim cenama).
- Pregled dobavljača/proizvođača rezervnog dela (omogućava da za jedan rezervni deo izlistamo sve dobavljače/proizvođače tog rezervnog dela).

3.3. Zastoji , kvarovi

Ovaj modul omogućava evidenciju zastoja u pogonu. Da bi numerički izrazili zastoj bilo je potrebno formirati šifranike vrste zastoja i vrste kvarova. Evidentiranje zastoja se ostvaruje pomoću inventarskog broja mašine. Pored napred pomenutih podataka, potrebni su i podaci o otklanjanju zastoja, tj ugrađenim rezervnim delovima, datumu i vremenu trajanja zastoja. Zahvaljujući unetim podacima imamo sledeće preglede :

- Pregled svih zastoja jedne mašine u određenom vremenskom periodu.
- Pregled dnevnika mašine tj. pregled svih rezervnih delova koji su zamenjeni na jednoj mašini sa količinom i datumom zamene.

3.4. Radni nalozi

Radni nalog predstavlja osnovnu troškovnu kategoriju. Radni nalog se otvara u operativnoj pripremi održavanja prilikom otklanjanja nekog zastoja. Podaci koji su potrebni za otvaranje radnog naloga su: tip radnog naloga, šifra službe održavanja koja obavlja intervenciju, šifre organizacione celine u kojoj se vrši intervencija, datum otvaranja radnog naloga, inventarski broj osnovnog sredstva koji se popravljaju, šifra referenta koji je otvorio radni nalog i status radnog naloga. Šifra radnog naloga dobija se sistemski, jer se na taj način otklanja mogućnost dupliranja

šifre. Prilikom zatvaranja radnog naloga unosi se datum zatvaranja i vrši se ažuriranje statusa radnog naloga.

Troškovi materijala

Materijal ili rezrvni deo koji je potreban za otklanjanje zastoja, trebue se dokumentom trebovanja po radnom nalogu (ovaj dokument pripada aplikaciji magacinskog poslovanja ali se koristi i u proizvodnji, investicijama i finansijama).

Troškovi radne snage

Da bi se evidentirali ovi troškovi potrebno je uneti šifru i naziv operacije, vreme trajanja operacije i cenu norma-sata.

Troškovi usluga

Troškovi usluga podrazumevaju usluge drugih organizacionih celina (drugih službi održavanja) bilo da je u pitanju materijal ili operacija.

Obračun radnih naloga (privremeni i konačni)

U obračunu se sumiraju svi gore navedeni troškovi, koji predstavljaju ukupne troškove popravke jedne mašine odnosno osnovnog sredstva. Privremeni obračun radnog naloga predstavlja mesečni pregled troškova za radni nalog koji traje više meseci. Radi se na kraju meseca. Konačni obračun se vrši prilikom zatvaranja radnog naloga, tj posle završene intervencije. I privremeni i konačni obračun se mogu dobiti u formi štampanog izveštaja (na štampačima korisnika održavanja). Model konačnog obračuna radnog naloga prikazan je na slici br.3.

TRAYAL KORPORACIJA KRUŠEVAC		STRANA : 1 DATUM : 08.02.96				
KONAČNI OBRAČUN RADNOG NALOGA						
DATUM LANSIJANJA RAD.NALOGA : 01.01.96						
DATUM POČETKA RAD.NALOGA : 01.01.96						
BROJ RADNOG NALOGA : 12 12112 96						
MESTO TROŠKA RADNOG NALOGA : 010403 SEKTOR ODRŽAVANJA						
NOSILAC TROŠKA RADNOG NALOGA : 010402 PROIZVODNJA AUTO GUMA						
ŠIFRA I NAZIV OSNOVNOG SREDSTVA : 0051786 MAŠINA ZA SEČENJE TEKSTILA						
REFERENT : 516 NEVENKA BOGDANOVIĆ						
R.	ŠIFRA BR. MATERIJALA	NAZIV MATERIJALA	JM	KOLIČINA	PLANSKA CENA	VREDNOST
1	171700014	LEZAJ KUGL. 20X42X8 07	2.00		16.50	33.00
2	171700004	LEZAJ KUGL. 45X75X16 07	1.00		66.00	66.00
UKUPNA VREDNOST MATERIJALA						99.00

TRAYAL KORPORACIJA KRUŠEVAC		STRANA : 2 DATUM : 08.02.96			
KONAČNI OBRAČUN RADNOG NALOGA					
DATUM LANSIJANJA RAD.NALOGA : 01.01.96					
DATUM POČETKA RAD.NALOGA : 01.01.96					
BROJ RADNOG NALOGA : 12 12112 96					
MESTO TROŠKA RADNOG NALOGA : 010403 SEKTOR ODRŽAVANJA					
NOSILAC TROŠKA RADNOG NALOGA : 010402 PROIZVODNJA AUTO GUMA					
ŠIFRA I NAZIV OSNOVNOG SREDSTVA : 0051786 MAŠINA ZA SEČENJE TEKSTILA					
REFERENT : 516 NEVENKA BOGDANOVIĆ					
R.	ŠIFRA BR. OPERACIJE	NAZIV OPERACIJE	VREME OPERACIJE	CENA NORMAČAS	VREDNOST
1	007	BRAVARSKI RAD	43.00	30.00	1290.00
UKUPNA VREDNOST OPERACIJA					1290.00
UKUPNA VREDNOST USLUGA					.00
UKUPNA VREDNOST ZA RADNI NALOG (MATERIJAL+OPERACIJE+USLUGE)=					1389.00
OBRAČUNAO		NADZORNI ORGAN			
ODBRIO		ODBRIO			
ODBRIO		ODBRIO			

slika br.3
Konačni obračun radnog naloga

3.5. Izveštaji o troškovima održavanja

Ovako postavljen model praćenja troškova održavanja daje nam sledeće vrste informacija:

Pregledi po nivoima nastajanja zastoja

- Pregled troškova održavanja po jednom osnovnom sredstvu (mašini ili uređaju).
- Pregled troškova održavanja za odgovarajuću liniju.
- Pregled troškova održavanja na nivou organizacione jedinice (pogona).
- Pregled troškova održavanja na nivou fabrike.

Pregledi po karakteru i vrsti troška održavanja

- Pregled troškova preventivnog održavanja.
- Pregled troškova tekućeg održavanja.
- Pregled troškova investicionog održavanja.

Ove preglede možemo dobiti uzimajući u obzir i gore navedenu podelu (po svim nivoima nastajanja zastoja).

Pored ovih gore navedenih pregleda možemo dati i druge potrebne informacije o rezervnim delovima koji su ugrađeni, vremenu otklanjanja zastoja, frekvenciji zastoja (zadnja informacija biće neophodna pri nabavci nove opreme). Korisnici mogu dobiti sve potrebne izveštaje čiji su elementi definisani u bazi podataka, tj u osnovnom idejnom projektu.

G.Nastić, D.Andelković

Supervising of the expenses of maintenance on a computer

Summary

The paper presents the maintenance information system which designed to enable the supervising of all expenses of maintenance. The review of maintenance as the part of integrated information system of an enterprise is given here. Also the preconditions for introducing of maintenance as a separate information system are shown. The aim of the work is to improve organisation of all functions of maintenance (to speed up the removing of stoppage) and to reduce the expenses. This maintenance information system was put into use in "Trayal" Corporation in Krusevac.



TRIBOLOŠKI ASPEKTI ODRŽAVANJA PROIZVODNE OPREME

A.Rac¹⁾

Između mnogih uzroka pojave otkaza kod mašina i opreme, tribološki procesi se javljaju kao osnovni. Zbog toga, strategija održavanja mora da obuhvati tehnike i metode kojima se ti procesi mogu kontrolisati i sa njima upravljati. Rad daje predlog jedne takve strategije.

1. UVOD

Savremene tehnologije održavanja proizvodne opreme i mašina obuhvataju niz složenih aktivnosti, kojima se upravlja procesom održavanja, što omogućuje njihovu visoku raspoloživost i pouzdanost. To je dinamički proces provere i analize stanja mašina uz jasno dokumentovane odluke.

Takav prilaz je posebno važan kod tribo-mašinskih komponenti, jer su otkazi ovih komponenti od visokog tehničkog i ekonomskog značaja. Kontrolom i upravljanjem tribološkim procesima povećava se efikasnost sistema uz niže troškove održavanja /1, 2,3/.

Aktuelne strategije održavanja zas¹ nivaju se na procedurama kojima se identifikuju osnovne aktivnosti u održavanju, mere i postupci, uključujući i dijagnostičke metode.

U tom pravcu se u ovom radu ukazuje na tribološke procese kao osnovne uzročnike otkaza, kao i strategiju održavanja koja omogućuje optimizaciju procesa, donošenjem odluka na osnovu tehnički verifikovanih procedura. Na taj način se predložena strategija može, u mnogim aspektima, dovesti u vezu sa obezbeđenjem kvaliteta.

2. TRIBOLOŠKI PROCESI I OTKAZI PROIZVODNE OPREME

Kao što je poznato termin tribologija je uveden zvanično u naučnu i stručnu praksu pre 30 godina, ali su značajni radovi iz ove oblasti postojali i mnogo ranije /4/. Ključne reči u tribologiji su trenje, habanje i podmazivanje, što ukazuje na oblasti koje ona obuhvata i njenu multidisciplinarnu prirodu.

¹ Prof. Aleksandar Rac, Mašinski Fakultet, Beograd.

Osnovni značaj tribologije u savremenom industrijskom društvu je njen doprinos konzervaciji energije i materijala, čiji su resursi sve manji a cene sve veće.

Kada se analizira proizvodna oprema jasno se može pokazati da su sa gledišta pouzdanosti, efikasnosti i veka trajanja najkritičniji sistemi sa pokretnim komponentama jer se pomoću njih prenosi snaga i kretanje. Ako ti sistemi adsorbuju veliku količinu energije, tokom rada dolazi do brzog narušavanja funkcionalnosti i disipacije korisne energije i materijala. Kao posledica nastaju oštećenja i otkazi vitalnih komponenti i gubitka sigurnosti i pouzdanosti rada.

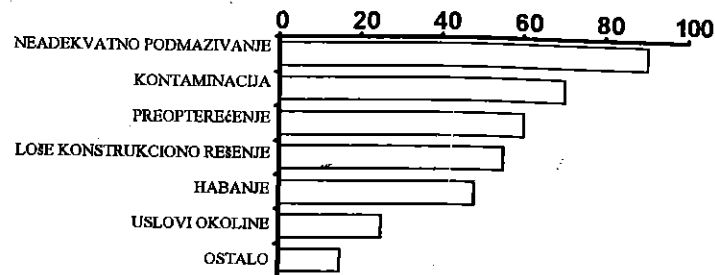
Učestanost otkaza (defekata) kod sistema sa pokretnim komponentama, poznati kao tribo-sistemi, je veoma visoka u poredjenju sa drugim komponentama, što ilustruju i podaci za klizne ležaje prikazani u tablici 1.

Distribucija otkaza kliznih ležaja kod različitih mašina

Tablica 1/5/

Vrsta mašine	Učestanost otkaza, %	Rang
Parne turbine	16,7	II
Vodne turbine	38,0	I
Turbokompresori i duvaljke	37,0	I
Centrifugalne pumpe	22,0	II
Stacionarni zup. prenosnici	19,0	II
Dizel motori	12,0	III

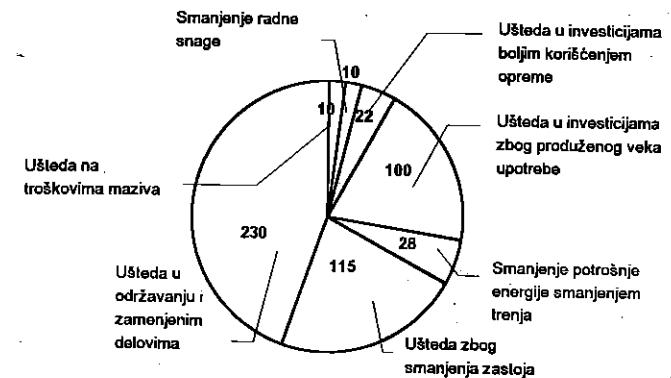
Takodje je poznato, da vek elemenata u relativnom kretanju, u najvećem broju slučajeva, zavisi od triboloških fenomena i procesa (sl.1). To je i razlog da se tribološkim



Slika 1. Uzroci otkaza kotrljajnih ležaja /6/

procesima mora posvetiti izuzetna pažnja. Nažalost, uticaj tribologije na održavanje mašinskih sistema je bio dugo zanemaren i veliki gubici su nastajali kao rezultat neprimenjivanja osnovnih triboloških znanja i principa tribologije.

Verovatno da je prva sveobuhvatna studija o mogućim uštedama primenom triboloških znanja uradjena sredinom šezdesetih godina u Vel. Britaniji /7/. Centralni rezultat studije prikazan je na slici 2.



Slika 2. Procena mogućih ušteda u Vel. Britaniji (1996 godine)

Iz datih podataka se može jasno zaključiti da se najveće uštede mogu ostvariti u oblasti održavanja i na troškovima rezervnih delova.

Analizom poslova održavanja može se utvrditi da je preko 30 % svih poslova vezano za tribologiju odnosno sisteme kod kojih su trenje, habanje i podmazivanje prisutni fenomeni /8/. Istraživanja takodje pokazuju da su materijalni gubici usled otkaza izazvanih tribološkim procesima za oko tri puta veći od netriboloških /9/.

Svi navedeni podaci i konstatacije ukazuju da savremena strategija održavanja mora da uključi i tribologiju kao disciplinu odnosno njen deo vezan za održavanje koji se naziva tribotehnika.

3. STRATEGIJA ODRŽAVANJA TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA

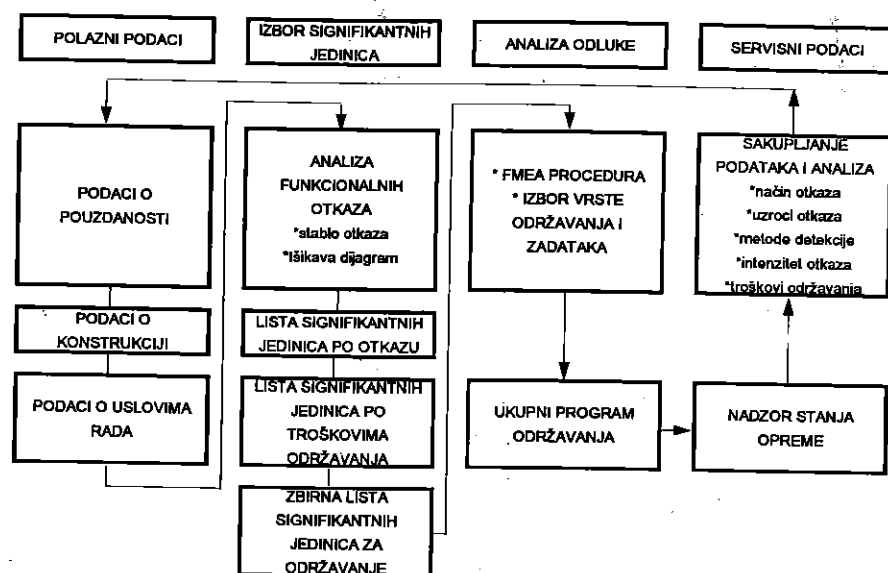
3.1 Faze i procedure analize procesa održavanja

Dobro strukturana i jasno iskazana strategija održavanja je esencijalna za proizvodnu organizaciju koja teži da ostvari visoku produktivnost i kvalitet saglasno standardu JUS ISO 9000. Strategija može biti tehnička i upravljačka.

Tehnička strategija daje odgovor koja tehnička znanja i iskustva i kako ih koristiti za identifikaciju i implementaciju najadekvatnije metode održavanja, načina servisiranja svih razmatranih jedinica održavanja, uključujući u ta razmatranja i zahteve za sigurnost, kvalitet i mali utrošak energije.

Upravljačka strategija objašnjava kako integrisati ljude, politiku, opremu i praksu da bi se postiglo kontinualno poboljšavanje svih aktivnosti.

Očigledno je da se razrada strategije zasniva na mešavini iskustva, prosudjivanja i tehničkih podataka. Pri tome tehnička strategija predstavlja relevantnu osnovu za definisanje optimalnih zadataka odnosno programa održavanja. U osnovi ona se sastoji iz nekoliko faza i procedura od kojih su najvažnije prikazane blok šemom na slici 3.



Slika 3. Osnovne faze i procedure odlučivanja /10/

Inicijalna faza je sakupljanje i analiza podataka. Ona obuhvata tehnički opis sistema, dekompoziciju na podsisteme i jedinice, definisanje glavnih funkcija, performansnih zahteva i sakupljanje iskustava i podataka o pouzdanosti. Za svaki sistem treba definisati najznačajnije jedinice i to je aktivnost druge faze. Izbor signifikantnih jedinica po otkazu (defektu) vrši se korišćenjem "stabla otkaza" ili "Išikava dijagrama". Svakako listi najznačajnijih jedinica koje će biti predmet održavanja treba dodati i one jedinice kod kojih su troškovi održavanja visoki, kod kojih je nabavka rezervnih delova složena itd.

Za odabrane jedinice u trećoj fazi donosi se odluka o zadacima i metodama održavanja. Ovi parametri se mogu uspešno definisati korišćenjem FMEA (Analiza načina i posledica otkaza) procedure /11,12/. Treba primetiti da pri odlučivanju o zadacima i tehnikama održavanja treba uzeti u obzir i mogućnosti aplikacije i troškove.

Četvrta faza je praćenje stanja opreme na osnovu izabranog programa. Pri tome se smatra veoma značajnim sakupljanje servisnih informacija i njihov "feed-back" u proces analize. Servisni podaci koji se sakupljaju moraju biti kompleksni i da sadrže sve odgovore

neophodne za donošenje odluka, jer praksa pokazuje da su sakupljeni podaci po pravilu uopšteni, bez opisa uzroka otkaza, načina nastajanja i efekata.

Ali, i pored toga predloženi koncept održavanja, koji u različitim modifikacijama egzistira u industriji razvijenih zemljama, omogućuje donošenje odluka na osnovu niza analitičkih koraka koji su dobro dokumentovani. To istovremeno pruža mogućnost primene kompjuterski integrisanih CIM sistema i na oblast održavanja /13/.

3.2 Uloga dijagnostike u održavanju proizvodne opreme

Dinamička procedura održavanja mašina i opreme podrazumeva uvođenje pogodnih postupaka nadgledanja stanja pokretnih komponenta odnosno korišćenje različitih dijagnostičkih tehnika za obezbeđenje neophodnih informacija. To omogućuje racionalizaciju procesa održavanja i istovremeno daje informacije o funkcionalnoj neispravnosti koje se javljaju kod mašinskih sistema u toku rada, pre nego što nastane ozbiljniji kvar ili otkaz.

Najveći efekat primene tehničke dijagnostike ostvaruje se ako se obezbedi predviđanje odnosno prognoziranje pojave otkaza. Dijagnostika tribo-mašinskih komponenti predstavlja deo ukupnog programa održavanja po stanju i s toga je ona uključena u svaku savremenu strategiju održavanja. Pokazatelji neophodni za praćenje pogonskog stanja tribo-mašinskih sistema treba da obezbede odgovarajuće informacije za donošenje odluka.

Izbor monitoring metoda i postupaka je svakako poseban zadatak i zahteva visokostručna znanja, jer je opšte pravilo da uštede koje se postižu moraju da prevazilaze cenu nabavke opreme i troškove rada /14,15/. Ocena prioriteta pojedinih sistema i jedinica koje će biti predmet dijagnostike donosi se korišćenjem već prikazanog modela: ocenom verovatnoće pojave otkaza, efekata koji izazivaju i vremena potrebnog za popravku odnosno vremena zastoja koji izaziva otkaz.

4. ZAKLJUČCI

1. Moderna strategija održavanja mašina i opreme obuhvata tehnike i procedure koje obezbeđuju donošenje dokumentovanih odluka o stanju opreme, kao i zadacima i merama koje treba preduzeti. Njihova primena zahteva visokostručna znanja.
2. Tradicionalne metode i tehnologije održavanja se moraju redefinisati da bi se udovoljilo savremenim uslovima poslovanja i zahtevima standarda JUS ISO 9000.
3. Sprečavanje otkaza izazvanih tribološkim procesima je od vitalnog značaja pošto su gubici koje oni izazivaju izuzetno visoki.

Literatura

1. Jost, H.P., Economic impact of tribology, Mech. Eng., avgust 1975, 26-33
2. Dowson, D., Monitoring - Introduction to Tribological Prognosis, Trib. Int., 3,3,1970
3. Rac, A., Dijagnostika mašinskih sistema na osnovu stanja maziva, XIII YUMO Konferencija, YUMO 86, Beograd, 1986
4. Tribology- Friction, Lubrication and Wear, Fifty Years On, Proc. IMechE, 1987-5, vol. II, London, 1987
5. - , Handbook of Loss Prevention, Springer-Verlag, 1978
6. Glantz, W., Contamination in Lubrication Systems for Bearings in Industrial Gearboxes, BBJ, 242, 1993, 20-26
7. Scott, W., Tribology Applied to Reliability, Maintainability and Safety (RMS), Lub. eng., 51, 11, 1995, 889-896
8. Gebauer, G., Tribotechnik in Instandhaltungsbereich, prevod: CDI 11107, Zagreb,
9. Car, M., Tribološki gubici u održavanju strojeva, Strojarsvo, 20, 5, 1978
10. Sandtorv, H., Rausand, M., RCM-Closing the Loop between Design Reliability and Operational Reliability, Maintenance, 6, 1, 1991, 13-21
11. Rac, A., Klarin, M., Nikčević, V., i dr., Obezbedjenje kvaliteta proizvoda aplikacijom metoda "FMECA", IRMES 95, Niš, 1995, Zbornik radova, Knjiga II, 210-214
12. Rac, A., Nikčević, V., Jeremić, Dj., Metode kvalifikacije i vrednovanja mašinskih projekata u skladu sa JUS ISO 9000, Simpozijum "Kako upravljati kvalitet- JUS ISO 9000", Beograd, 1995, Zbornik radova, 133-138
13. Spasić, Ž., Održavanje i tribološki opis tehničkih sistema u CIM ambijentu, Tribologija u industriji, XVII, 3, 1995, 77-82
14. Rac, A., Ivković, B., Dijagnostika habanja proizvodne opreme, 21. Jupiter Konferencija, Beograd, 1995, Zbornik radova, 1.35-1.40
15. Grupa autora, Uvodjenje dijagnostičkih metoda za sprovodnje održavanja po stanju u termoelektranama ZEP-a, I faza, IBK-ITE-764, Beograd, 1989

TRIBOLOGICAL ASPECTS OF MACHINE TOOLS AND EQUIPMENT MAINTENANCE

SUMMARY

Among many causes of failures in machine tools and equipment tribological processes are fundamental. For this reason maintenance strategy must include techniques and procedures by which these processes can be controlled and managed. The paper brings a proposal for such strategy.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Lazo Vujović *)

SPECIFIČNOSTI ODRŽAVANJA BRODA KAO TEHNIČKOG SISTEMA

REZIME

Brod je samostalan proizvodni sistem koji, prevozeći teret vodenim putem, pruža brodarske usluge. Da bi mogao obavljati brodarske operacije, brod mora biti održavan na onom nivou koji od njega traže takve operacije. Činjenica, da je brod veoma kompleksan tehnički sistem i da istovremeno obavlja specifične poslove (brodarske operacije), veoma utiče na način njegovog održavanja. Najveći problem u održavanju brodova je organizacija sistema održavanja. Ovo proizilazi iz činjenice da su oni stalno u pokretu i odvojeni od njihove matične organizacije kao i jedan od drugog.

1. UVOD

Brod se definiše kao plovno sredstvo, sposobno da plovi po svim vrstama voda, prenoseći teret ili putnike ili obavljajući neke druge, specijalne zadatke (ribarenje, tegljenje, naučna istraživanja, peljarenje i dr.). Pri tome se podrazumijeva da brod plovi sopstvenim pogonom.

Današnji brodovi po svojim mašinama i uređajima liče, u malom, na fabriku koja ima još to svojstvo da pliva na vodi i da se kreće u željenom pravcu. I ne samo to, nego i da stigne na određite za što kraće vrijeme, da prevoz što manje košta, da je siguran na vjetru i talasima i da se pri tome što manje ljulja i posrće, da je što lakši a ipak dovoljno otporan opterećenju i nevremenu.

Pojedina željena svojstva se nalaze u suprotnosti, jer se samo na račun opadanja kvaliteta jednog može poboljšati drugo. Npr. velika brzina broda smanjuje vrijeme putovanja ali povećava otpore kretanja a time i potrošnju goriva, što se odražava na smanjenje ekonomičnosti.

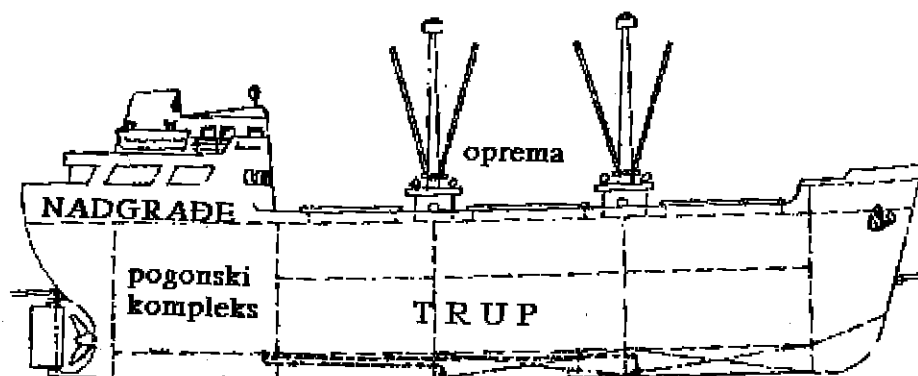
* Mr Lazo Vujović, dipl. ing., pomorski mašinstva I klase, predavač Više škole, Fakultet za pomorstvo, Kotor.

2. BROD KAO TEHNIČKI SISTEM

Brod se može definisati kao veoma složen tehnički sistem jer predstavlja skup tehničkih komponentata, međusobno spojenih u jednu cjelinu, sposobnu za obavljanje nekih poslova (prevoz tereta i putnika, ribarenje, spasavanje i dr.). Kako se svaki složen sistem sastoji od podsistema to se i brod može podijeliti na više podsistema. Ovdje će on biti podijeljen na četiri podsistema sl.1. i to :

- trup,
- pogonski kompleks,
- oprema i
- nadgrađe/5/.

Trup brodu daje oblik i osigurava mu potrebnu čvrstoću. Trup se sastoji od konstrukcije i oplata. Pod konstrukcijom broda podrazumijevaju se svi elementi iz kojih su izrađeni brodski trup i nadgrađe, njihov oblik dimenzije i način spajanja. Konstrukcija mora da obezbijedi nepropusnost broskog trupa i da bez lomova ili trajnih deformacija primi sve sile koje na brod mogu da djeluju tokom eksploatacije. Oplata predstavlja tanku spoljnu navlaku preko konstrukcije izvedenu od limenih ploča međusobno spojenih tako da obezbeđuju brodu nepropusnost. Oplata ujedno doprinosi i čvrstoći broda /3/.



sl.1

Pogonski kompleks broda čine mašine i uređaji koji obezbeđuju energiju, kako za pogon (propulziju) broda, tako i za obavljanje svih drugih poslova na brodu (manipulacija sa teretom, gorivom, mazivom, kormilarenje, proizvodnja električne energije, sidrenje, itd.).

Brodski pogonski kompleks se može podijeliti na:

- glavne brodske mašine i
- pomoćne brodske mašine i uređaje /4/.

Glavne brodske mašine služe za pogon broda tj. energija koja se u njima stvara, sagorijevanjem goriva, predaje se propulzoru koji okretanjem stvara silu poriva, koja gura brod da se kreće po vodi. Glavne brodske mašine mogu biti:

- motori SUS,

- parne mašine. (parne klipne mašine i parne turbine),
- gasne turbine i
- električne mašine.

Pomoćne brodske mašine i uređaji obuhvataju sve mašine i uređaje na brodu osim glavnih mašina. Prema tome ova grupa je mnogo složenija, kako po broju tako i po strukturi. Ova grupa se može podijeliti na :

- pomoćne mašine koje obezbeđuju rad glavnih brodskih mašina,
- palubne pomoćne mašine i uređaje i
- pomoćne mašine i uređaji opštebrodske namjene.

Opemu broda čine uređaji koji mu omogućavaju obavljanje operacija (što zavisi od tipa broda), kao i uređaji koji omogućavaju navigaciju broda kao što su:

- radar,
- kompas,
- satelitska navigacija, radio i signalni uređaji i dr.

Nadgrađe je dio broda iznad glavne, neprekinute, palube. U tom dijelu broda nalaze se :

- kabine za smještaj posade i putnika,
- prostorije za pripremanje hrane,
- društvene prostorije,
- prostorije za zabavu i razonodu,
- brodska bolnica,
- radio kabina
- komandni most i dr. /3/

3. ODRŽAVANJE BRODA

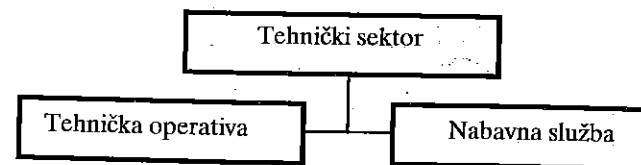
Brod, posmatran kao jedinstvena cjelina, specifične je strukture, što ga čini različitim od svih drugih tehničkih sistema. Njegova specifičnost se ogleda i u tome što je on pokretan tj. on se kreće po vodi, čija je površina često uzburkana, što dodatno otežava rad brodskih mašina i uređaja, a takođe dovodi konstrukciju broda u veoma složeno naponsko stanje kao nijedan drugi tehnički izum. Zbog toga konfiguracija njegovih podsistema, koja je već data, čini serijsku vezu elemenata broda kao sistema, što znači da otkaz bilo kojeg od podsistema uzrokuje zastoj broda u obavljanju njegovih operacija.

Takva svojstva pojedinih brodskih podsistema imaju dominantan uticaj na iskorišćavanje broda i na organizaciju sistema održavanja broda. Poslove održavanja treba planirati tako da oni ne ometaju iskorišćavanje broda kao prevoznog sredstva. Tako npr. poslove na održavanju brodskih pogonskih postrojenja treba planirati tako da se obavljaju u luci, za vrijeme prekrcanja robe, dok poslove na održavanju opreme treba obavljati u toku plovidbe /5/.

3.1. Organizacija održavanja broda

Organizacija održavanja u brodarskim preduzećima povjerena je tehničkom sektoru.

Tehnički sektor je organizovan u dvije cjeline sl.2.



sl.2.

Tehnička operativa se sastoji od osoblja koje radi "na kopnu" i osoblja koje radi na brodovima (posada). Osoblje na kopnu predstavlja logistiku održavanja. Osoblje na brodovima predstavlja izvršioce održavanja, jer se cjelokupno održavanje broda i njegovih uređaja gotovo isključivo obavlja na brodu, bez obzira ko ga vrši, brodsko osoblje, brodogradilište ili neka radionica u luci. U svakom slučaju posada učestvuje u procesu održavanja ili kao direktni izvršioци ili kao nadzornici izvođenja radova. Posada direktno prikuplja podatke o nađenom opštem stanju mašina i uređaja, obimu preduzetih radova, o zamjeni pojedinih komponenata itd.. Prikupljene podatke obrađuje u vidu informacija i šalje ih osoblju na kopnu. Takve se informacije sakupljaju u jedan centar a to je tehnički sektor. Na osnovu tako dobijenih informacija tehnički sektor donosi odluke, koje kao povratne informacije vraća posadi broda. Pod razmjenom informacija se podrazumijeva da su one brze i precizne. Međutim kako je brod od sjedišta svog preduzeća udaljen često i desetinama hiljada milja, to je taj prenos informacija otežan, što nije slučaj kod preduzeća na kopnu. No, pojavom satelitske komunikacije i taj je problem prevaziđen.

Međutim, neke radove održavanja broda ne može obavljati posada. To su tzv. podvodni radovi, na trupu broda, propeleru i kormilu, za koje je brod potrebno podići na dok.

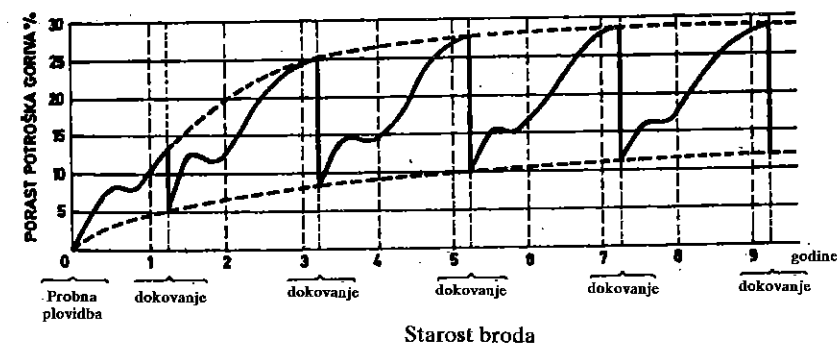
U ovom radu će biti posvećena pažnja održavanju trupa broda.

3.2. Dokovanje broda

Kako se brodski trup nalazi u morskoj vodi (kod pomorskih brodova) u kojoj se nalaze i morski organizmi, koji se hvataju za njega, stvarajući tako naslage. Te naslage povećavaju otpor broda, što s druge strane povećava potrošnju goriva, jer je potrebna veća snaga za savladavanje tih dodatnih otpora.

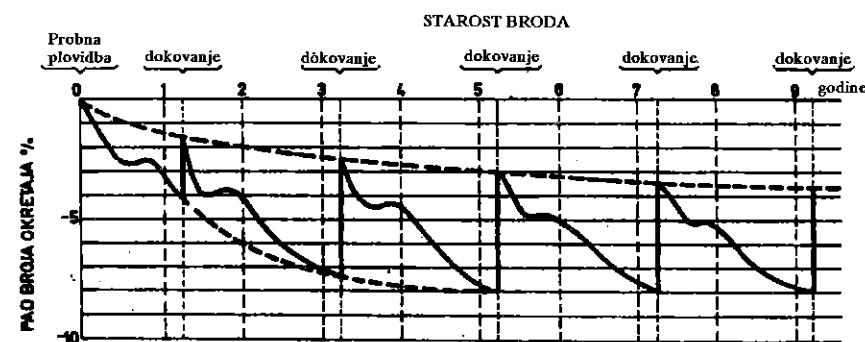
Na sl.3. dat je dijagram koji pokazuje porast potrošnje goriva u funkciji vremena i perioda dokovanja broda. Ovaj dijagram izveden je na osnovu obrade podataka o performansama 40 različitih brodova, zaštićenih konvencionalnim podvodnim prevlakama, koji su sistematski prikupljeni za period od 10 godina.

Sa dijagrama se vidi pad potrošnje goriva nakon svakog dokovanja. Taj pad je to veći što je brod stariji, naročito u prvih pet godina eksploatacije broda. Uočava se takođe da je uprkos dokovanju broda, porast potrošnje goriva u prvih 10 godina eksploatacije neizbježan, i to kako u pogledu njegovih maksimalnih vrijednosti, neposredno prije dokovanja, tako i u pogledu njegovih minimalnih vrijednosti, neposredno nakon dokovanja.



sl.3.

Na sl.4. prikazan je dijagram koji pokazuje pad broja okretaja pogonske mašine pri istom periodičnom dokovanju, uz pretpostavku konstantne razvijene snage koja se dobila pri probnoj vožnji, za period od prvih 10 godine plovidbe. I tu se vidi nagli porast broja okretaja nakon svakog dokovanja.



sl.4.

Posebno je zanimljiv tok krive minimalnih vrijednosti na oba razmatrana dijagrama. Te su vrijednosti postignute nakon dokovanja, tj. nakon zahvata održavanja kojemu je bio cilj da vrati brodu izgublenu efikasnost. Kako one stalno rastu tj. padaju,

djelimično. A to jasno pokazuje da se performanse postignute u probnoj vožnji ne mogu nikad više postići, u toku cijelog vijeka trajanja broda, već će one bivati postepeno sve lošije, stabilizujući se negdje poslije desete godine iskorišćavanja.

Porast zahtijevane snage pogonske mašine, pri konstantnoj brzini posledica je većeg broja pojava :

- povećanje otpora broda,
- pad srednje brzine priticanja vode propeleru zbog povećanog sustrujanja, čemu je uzrok povećana hrapavost podvodnog dijela trupa broda i promjene u graničnom sloju;
- povećanje hrapavosti krila propelera.

U osnovi svega leži povećanje hrapavosti podvodnog dijela broda tzv. eksploataciona hrapavost. Uzrok hrapavosti nije samo obrastanje trupa broda morskim organizmima, već tu imaju učešća i korozija i erozija kao i mehanička oštećenja (deformacije) podvodnog dijela broda.

Literatura :

1. Todorović, J. : Organizacija održavanja sredstava za rad, Beograd, 1984.
2. Lovrić, J. : Osnove brodske terotehnologije, Dubrovnik, 1989.
3. Grgić, A. , Živić, R. : Osnovi brodogradnje, Beograd, 1988.
4. Pažanin, A. : Brodski motori, Zagreb, 1983.
5. Vujović, L. : Održavanje i pouzdanost pogonskog sistema broda, Magistarski rad, Kotor, 1994.

SOME PARTICULARS OF SHIPS MAINTENANCE AS TECHNICAL SYSTEM

SUMMARY

The ship is an independent productive unit which carrying the cargo by water offers shipping services. In order to be able to offer carrying services by water i.e. to perform these shipping operations the ship must be maintained on a level which is directly needed for such services. Naturally enough, the facts that the ship is a very complex technical system performing at the same time very specific services- (shipping operations) heavily influence the ways of its maintenance. The biggest problem in maintaining the ships is to organize the maintenance system. This derives from the fact that they can be continuously on the move or widely separated from their home organization or even from each other.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Vukićević, D¹., Radović, D².

SIMULACIONI MODEL ZA ODREĐIVANJE OPREME ZA ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SREDSTAVA

Rezime

U radu je prikazan simulacioni model pogona za održavanje, na kojem je vršena simulacija, radi optimizacije strukture opreme za održavanje tehničkih sredstava. Model je realizovan korištenjem simulacionog jezika opšte namene GPSS. U obzir su uzeti raznovrsnost i brojnost tehničkih sredstava, tehnologija održavanja, zahtevi za održavanjem, gotovost sredstava i efikasnost pogona održavanja kao sistema, uz uvažavanje postavljenih kriterijuma i ograničenja. Na razvijenom modelu vršeno je eksperimentisanje primenom trofaktornog plana eksperimenta variranjem tri faktora na dva nivoa. Na osnovu rezultata eksperimentisanja i postavljenih kriterijuma, primenom višekriterijumske analize, i to familije metoda PROMETHEE, dobijena je optimalna alternativa strukture opreme za analizirani primer.

Ključne reči: Modeliranje, Oprema, Održavanje, Simulacija

1. UVOD

Istraživanje procesa i rešavanje problema u sistemu održavanja (SOd) zahteva primenu većeg broja naučnih metoda i tehnika, među kojima posebno mesto zauzima simulacija. Simulaciono modeliranje je vodeća metoda za opis i rešavanje složenih dinamičkih problema. Primena simulacije zahteva izgradnju modela i izvođenje eksperimenta na modelu na računaru.

Modeliranje predstavlja fazu istraživanja realnih sistema posredstvom modela. To je metodološki postupak u procesu otkrivanja istine o zbivanjima u realnom sistemu. Njime se oponašaju procesi u sistemu, otkrivaju se pojave i definišu zakoni po kojima se dešavaju te promene.

U članku je prikazan računarski model pogona za održavanje, u daljnjem tekstu radionice, na kojem je vršena simulacija, radi optimizacije strukture opreme radionice. Model je realizovan korištenjem simulacionog jezika opšte namene GPSS.

Modeliranje radionice izvršeno je s namerom da se željeno istraživanje izvrši na modelu za koji se pretpostavlja da se ponaša, bar što se tiče relevantnih aspekata, na isti način kao i realni sistem, a u cilju oblikovanja i određivanja radnih karakteristika radionice.

2. SIMULACIONI MODEL

Da bi pogon za održavanje tehničkih sredstava (realni sistem) mogli simulirati, neophodno je bilo napraviti model tog sistema i predstaviti ga u određenom simulacionom jeziku. Simulacija je tehnika konstruisanja i prevodjenja modela realnog sistema s namerom da se prouče dinamička ponašanja tog sistema kroz određeni period vremena. Modeliranjem se uspostavlja relacija između

¹ Dragoslav Vukićević, Tehnički remontni zavod, Dr Dragiše Mišovića 167, Čačak

² Danijela Radović, Tehnički fakultet, Svetog Save 15, Čačak, E-mail: daniicla@tfc.tfc.kg.ac.yu

našeg realnog sistema i modela dok se simulacijom uspostavlja odnos između modela i računara. Simulacioni model oponaša realni sistem dajući prikaz stanja pojedinih komponenti sistema u numeričkom, logičkom i grafičkom obliku.

GPSS (General Purpose Simulation System) je simulacioni jezik koji nam omogućava simulaciju realnog sistema putem računara. Velika prednost GPSS-a je u tome što se od programera ne zahteva poznavanje drugih programskih jezika niti tehnike programiranja, nego isključivo dobro poznavanje modela odnosno realnog sistema.

Poštujući faze simulacionog modeliranja, napravljen je simulacioni model radionice. Rad radionice na održavanju tehničkih sredstava (TS) posmatra se kao zatvoreni sistem masovnog opsluživanja sa čekanjem i neograničenim brojem mesta u redu za čekanje. Pri tome se radionica posmatra kao skup kanala opsluživanja, koga čine različite vrste opreme za održavanje, ispred kojih se obrazuju redovi čekanja i u kojima tehnička sredstva čekaju na opsluživanje. Tehnička sredstva različitih vrsta dolaze u radionicu po utvrđenim raspodelama dolazaka, a prilikom prijema se, po izvršenoj defektaciji, određuje daljnji put kroz radionicu, broj kanala na kojima će se opsluživati, redosled opsluživanja na svakom kanalu i prioritet pri opsluživanju.

U simulacionom modelu, za razliku od stvarnog stanja, pretpostavlja se da su tehnička sredstva prosečno isto stara, istog koeficijenta eksploatacije (u okviru iste vrste tehničkih sredstava), uz idealnu podršku sa rezervnim delovima. Isključuje se uticaj prostora za rad, vremena kao metrološke pojave i obučenosti kadra za rukovanje opremom.

2.1. Definisane ulaznih i izlaznih parametara u simulacioni model

Ulazni podaci u model su ugrađeni preko određenih varijabli, funkcija i konstanti, i to posebno za svaku vrstu tehničkog sredstva. Da bi računarski model mogao da radi potrebno je uneti sledeće ulazne podatke:

- broj tehničkih sredstava po vrsti koja se opslužuju u radionici
- intenzitet dolaska TS na korektivno i preventivno opsluživanje
- broj vrsta i količina opreme po vrstama na kanalima opsluživanja
- parametre raspodele korištenja pojedinih vrsta opreme od strane pojedinih vrsta TS
- redosled i verovatnoće opsluživanja TS kod pojedinih vrsta opreme
- disciplina opsluživanja kod opreme
- prioritet tehničkih sredstava

U Tabeli 1 dati su parametri eksponencijalne raspodele korištenja opreme za potrebe korektivnog održavanja TS. Na istovetan način se zadaju i parametri određene raspodele korištenja opreme za potrebe preventivnog održavanja TS.

Tabela 1

Oprema	TS-1	TS-2	TS-3	TS-4	TS-5
	parametar raspodele				
Oprema 1	1,5				
Oprema 2	2,0				
Oprema 3	1,0	10,0	14,0	16,0	12,0
Oprema 4			3,0	8,0	
Oprema 5		1,0	2,0	4,0	2,0
Oprema 6			3,0		
Oprema 7				5,0	
Oprema 8					4,0
Oprema 9		6,0	2,0	2,0	6,0

U Tabeli 2 date su verovatnoće i redosled korištenja pojedinih vrsta opreme za potrebe korektivnog održavanja TS. Na istovetan način zadaju se verovatnoće i redosled korištenja pojedinih vrsta opreme za potrebe preventivnog održavanja TS.

Izlazni rezultati predstavljaju rezultat simulacije i dati su u vidu standardnog izlaznog rezultata GPSS i u obliku posebno specifikiranih tabela i matrica. U simulacionom modelu specifikirano je sledećih pet kriterijuma za optimizaciju opreme radionice:

- operativna gotovost TS
- prosečna iskorištenost opreme u radionici
- efikasnost opsluživanja TS
- prosečan broj TS u redu čekanja i
- prosečno vreme zadržavanja TS

Tabela 2

Oprema i redosled korištenja	TS-1	TS-2	TS-3	TS-4	TS-5
	verovatnoća korištenja opreme				
Oprema 1	0,6				
Oprema 2	0,25				
Oprema 3	0,05	0,72	0,3	0,23	0,47
Oprema 4			0,15	0,18	
Oprema 5		0,03	0,08	0,1	0,03
Oprema 6			0,2		
Oprema 7				0,2	
Oprema 8					0,2
Oprema 9		0,1	0,02	0,04	0,1
Oprema 12	0,1				
Oprema 39		0,15			
Oprema 346			0,1		
Oprema 34			0,15	0,1	
Oprema 347				0,15	
Oprema 38					0,2

2.2. Vrednovanje simulacionog modela

Najveća poteškoća kod svake simulacije je vrednovanje simulacionog modela jer danas nema jedinstvene teorije koja bi osigurala pravilan put do uspeha simulacije. Vrednovanje simulacionog modela izvršeno je kroz ispitivanje valjanosti modela i proverom modela.

Najbolje vrednovanje modela je upoređenje rezultata dobijenih metodom simulacije sa rezultatima realnog sistema. Izvršeno je lično vrednovanje modela i mišljenje je da su rezultati u očekivanim granicama.

Provera modela izvršena je proverom generisanih raspodela dolazaka TS i raspodela vremena opsluživanja TS kod opreme, za slučaj eksponencijalnih raspodela dolazaka na korektivno održavanje i trajanje opsluživanja, kao i ravnomerne opterećenosti iste vrste opreme.

3. REZULTATI EKSPERIMENTISANJA NA MODELU

Eksperimentisanje na simulacionom modelu radionice ima za cilj da se odredi optimalna količina pojedinih vrsta opreme koja se koristi za održavanje tehničkih sredstava. Sa ovom količinom opreme u SOD ostvariće se maksimalna efektivnost sistema, maksimalna operativna gotovost TS, visoki koeficijent iskorištenja opreme uz minimalne finansijske troškove vezane uz opremu i nekorištenje TS za vreme dok se nalaze u radionici.

Strategijom eksperimentisanja određeni su uticajni faktori (nezavisne varijable) i način njihovog menjanja. To je urađeno primenom višefaktorskog eksperimentalnog dizajna. Kao uticajni faktori utvrđeni su OPREMA 1, OPREMA 2 i OPREMA 3.

Na osnovu plana eksperimenta izvršeno je eksperimentisanje na simulacionom modelu, ukupno devet eksperimenata. Rezultati simulacionog eksperimentisanja po optimizirajućim funkcijama (kriterijumima) prikazani su u Tabeli 4.

4. OPTIMIZACIJA STRUKTURE OPREME RADIONICE

Na osnovu rezultata simulacije na modelu i postavljenih kriterijuma određena je optimalna struktura opreme, tj. količina opreme koja obezbeđuje ispunjenje postavljenih zahteva.

Metoda PROMETHEE (Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluation) pripadaju metodama rangiranja koje se zasnivaju na poboljšanju (obogaćivanju) redosleda dominacije. Ova familija metoda je pogodna za korišćenje u zadacima poređenja više alternativa u smislu više kriterijuma, istovremeno, jer omogućuje da se:

- izabere "najbolja" ili "najlošija" alternativa u skupu E
- odredi potpuni poredak alternativa u skupu E

U skladu sa postavljenim ciljem da se izvrši optimizacija količine opreme koja se koristi za održavanje posmatranih TS u radionici, razradene su alternative količina pojedinih vrsta opreme. Pod alternativom se podrazumeva ono što se rangira, a u ovom primeru to su kombinacije količine opreme koja se koristi za održavanje TS, ukupno devet alternativa. Iz Tabele 3 se vidi da alternativa A-1 predstavlja strukturu opreme na kanalima po sledećem:

- na prvom kanalu opsluživanje TS se vrši sa tri kompleta OPREMA 1
- na drugom kanalu opsluživanje TS se vrši sa dva kompleta OPREMA 2
- na trećem kanalu opsluživanje TS se vrši sa dva kompleta OPREMA 3
- na svim ostalim kanalima opsluživanje TS se vrši sa po jednim kompletom OPREME

Tabela 3

Alternativa	Količina opreme po vrstama								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A-1	3	2	2	1	1	1	1	1	1
A-2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
A-3	4	1	1	1	1	1	1	1	1
A-4	2	3	1	1	1	1	1	1	1
A-5	4	3	1	1	1	1	1	1	1
A-6	2	1	3	1	1	1	1	1	1
A-7	4	1	3	1	1	1	1	1	1
A-8	2	3	3	1	1	1	1	1	1
A-9	4	3	3	1	1	1	1	1	1

Sa ovim alternativama vršen je simulacioni eksperiment radi dobijanja kriterijumskih funkcija. Za kriterijume po kojima će se vršiti rangiranje alternativa odabran je skup izlaznih rezultata dobijenih simulacionim eksperimentisanjem. Ti kriterijumi su sledeći:

- K_1 - operativna gotovost TS-1
- K_2 - operativna gotovost TS-2
- K_3 - operativna gotovost TS-3
- K_4 - operativna gotovost TS-4
- K_5 - operativna gotovost TS-5
- K_6 - iskorištenost opreme
- K_7 - prosečno vreme zadržavanja TS
- K_8 - prosečan broj TS u redu
- K_9 - efikasnost opsluživanja

Da bi se moglo izvršiti rangiranje alternativa metodom PROMETHEE potrebno je problem rangiranja formalizovano zapisati (Tabela 4). U njoj su pored alternativa, kriterijuma i njihovih vrednosti uneti i koeficijenti relativne važnosti svakog kriterijuma (W_k) i označeni uticaji kriterijumskih vrednosti (E_k) na odlučivanje u vidu maksimizacije (+1) i minimizacije (-1). Izbor

relativne važnosti kriterijuma je, ipak, subjektivna stvar donosioca odluke i predstavlja specifičan izraz interpretacije sistema vrednosti u svakom praktičnom slučaju.

Tabela 4

KRITERI- JUM	ALTERNATIVA									W_k	E_k
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
K_1	9,95	9,84	9,71	9,95	9,96	9,87	9,83	9,95	9,96	3	+1
K_2	9,85	5,31	5,61	1,96	8,43	9,91	9,93	9,91	9,91	3	+1
K_3	9,87	9,04	9,31	9,11	9,46	9,86	9,87	9,89	9,91	3	+1
K_4	9,77	9,48	9,55	9,51	9,62	9,79	9,78	9,77	9,78	3	+1
K_5	9,83	8,98	9,44	9,26	9,70	9,89	9,90	9,87	9,88	3	+1
K_6	2,36	3,94	3,58	3,14	2,75	3,15	2,74	2,39	2,01	2	+1
K_7	1,07	5,03	8,25	3,36	3,74	2,98	3,76	1,05	0,88	1	-1
K_8	8,21	110	150	101	115	24,5	31,2	8,18	6,86	2	-1
K_9	4,41	1,72	0,93	1,97	1,50	2,18	1,48	4,45	4,08	2	+1

Korišćenjem programa za višekriterijumsko rangiranje alternativa familijom metoda PROMETHEE dobijni su rezultati rangiranja. U Tabeli 5 dat je uporedni pregled ranga alternativa po familiji metoda PROMETHEE.

Tabela 5

Alternative	PRM I	PRM II	PRM III
A-1	1	1	1
A-2	7	8	8
A-3	8	9	9
A-4	8	7	7
A-5	6	6	6
A-6	2	2	2
A-7	5	5	5
A-8	3	3	3
A-9	3	4	4

Iz Tabele 5 vidimo da je najbolje rangirana alternativa A-1 pa zatim alternative A-6, A-8 i A-9. To znači da je optimalna struktura količine opreme za postavljene kriterijume i ograničenja data upravo u alternativu A-1. Ona obezbeđuje najvišu gotovost TS, najveću iskorištenost opreme, najmanje vreme zadržavanja TS u sistemu, najkaraći red čekanja TS i najmanje troškove s obzirom na dobijenu gotovost TS. Za njom je neznatno slabija alternativa A-6 i A-8. Najniže rangirana alternativa je alternativa A-3. Provedeni postupak optimizacije količine opreme, u smislu istovremenog zadovoljavanja više različitih kriterijuma, pokazuje da se može dobiti niz relevantnih informacija koje omogućuju da se pronade rešenje što bliže optimalnom.

5. ZAKLJUČAK

Savremenom izučavanju simulacije kao metode, kao i tehnike njenog izvođenja, poklanja se velika pažnja. Oslanjajući se na postojeći informacioni sistem, tehnologije održavanja i prikupljene podatke kao izvore ulaznih parametara i šemu funkcionisanja pogona za održavanje, razvijen je simulacioni model za određivanje opreme za održavanje tehničkih sredstava.

Na osnovu razvijenog simulacionog modela moguće je vršiti eksperimentisanje u cilju dobijanja parametara za optimizaciju količine potrebne opreme za održavanje posmatranih tehničkih sredstava.

Model se može primeniti i za rešavanje konkretnih zadataka, odnosno za utvrđivanje optimalne količine opreme za održavanje TS. Problemi koji se postavljaju pri primeni ovog modela nastaju zbog nedostatka svih potrebnih ulaznih parametara. Oni se mogu otkloniti razvojem baze

podataka informacionog sistema održavanja iz koje bi se dobijali parametri ulaznih zahteva za održavanjem, kao i raspodele verovatnoća otkaza TS, raspodele verovatnoća vremena opsluživanja kod opreme i ocena verovatnoća učešća pojedinih vrsta opreme u procesu održavanja.

6. Literatura

- [1] Čerić V.: Simulacijski modeli, Ekonomski fakultet Zagreb, veljača 1989,
- [2] Žiljak V.: Simulacija računalom, Školska knjiga, Zagreb, 1982,
- [3] Vukadinović S.: Elementi teorije masovnog opsluživanja, Naučna knjiga, Beograd, 1975,
- [4] Stojanović S.: Prilog metodama za višekriterijumsko rangiranje ekonomskih celina u knjizi Upravljanje sistemima, Naučna knjiga, Beograd, 1986,
- [5] Schriber T.Y.: Simulation usign GPSS, J, Wiley, New York, 1984,
- [6] Stanić J.: Metode inženjerskih merenja-uvod u matematičku teoriju eksperimenta, Boks Vilsonov metod, Mašinski fakultet, Beograd, 1975.

Vukićević D., Radović D.

SCHEDULING MAINTANANCE EQUIPMENT FOR MAJOR END ITEMS BY SIMULATION MODEL

Summary

The paper presents simulation model of maintenance department, in order to optimize equipment in technical services. The shown model is realized using general purpose simulation language named GPSS. The variety and numerous of technical means, its maintenance technology, requests and disposals, as well as, maintenance department efficiency are considered with allowed limitations and criterions. Some experiments are made upon shown model, changing three factors on two levels. An optimal equipment structure is obtained, using the experiment results, applied criterions and analyze performed by the family of methods PROMETHEE.

Key words: Modelling, Equipment, Maintenance, Simulation



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Ljubo Zirojević*

UPRAVLJANJE PROCESOM OBEZBJEĐENJA REZERVNIH DIJELOVA

Rezime:

Rezervni dijelovi neophodni za održavanje opreme, odnosno procesa proizvodnje imaju posebno mjesto u sistemu kvaliteta upravljanja procesima. Vezani su za sve vrste intervencija i za održanje sistema kao cjeline.

U radu je dat dijagram toka održavanja opreme, i dijagram toka upravljanja procesom obezbjeđenja rezervnih dijelova kupovinom ili izradom u svojoj ili tuđoj radionici, skladištenje i povratak u skladište.

Rezervni dijelovi neophodni za izvršenje intervencija održavanja imaju značajno mjesto u sistemu kvaliteta, a naročito u zahtjevima serije standarda ISO 9000. Upravljanje rezervnim dijelovima neposredno je vezano za planske (preventivne i naknadne) intervencije i za hitne - neplanske intervencije. Planiranjem preventivnih intervencija mi planiramo i rezervne dijelove sa velikom dozom sigurnosti u realizaciji za duži vremenski period a za dobre i efikasne naknadne intervencije mora da se obezbjeđi, u svakom trenutku rezervni dio na zalih. Za slučaj neplanskih intervencija se mora imati dobro organizovan sopstveni mašinski park za izradu dijelova. Bez obzira na način popunjavanja zaliha i bez obzira na vrstu intervencije (vidjeti dijagram toka slika 1.) neophodno je:

1. Propisati postupak planiranja potreba za rezervnim dijelovima i izdavanja naloga za nabavku ili izradu rezervnih dijelova.

2. Propisati prijem u skladište, izdavanje i vraćanje rezervnih dijelova skladištu.

Definisati načine praćenja stanja zaliha, analizu i izvještavanje o stanju.

Prijem rezervnih dijelova mora biti propisan naznakom odgovornog lica, načina kontrole i izvještavanja u slučaju oštećenja ili kad dio ne odgovara narudžbi po kvalitetu ili količini. Dokument mora da definiše prostor za skladištenje i naznaku izvršioca skladištenja. Kad i koju dokumentaciju prijemna služba predaje ulaznoj kontroli (otpremnice, zapisnici o prijemu i oštećenju, atesna dokumenta), neophodna dokumenta za kvalitativni prijem, označavanje statusa i evidentiranja i način rješavanja reklamacija na dijelove.

Za skladište rezervnih dijelova neophodno je dati detaljna upućstva o načinu skladištenja, o uslovima skladištenja, način i postupak označavanja, postupak rukovanja i

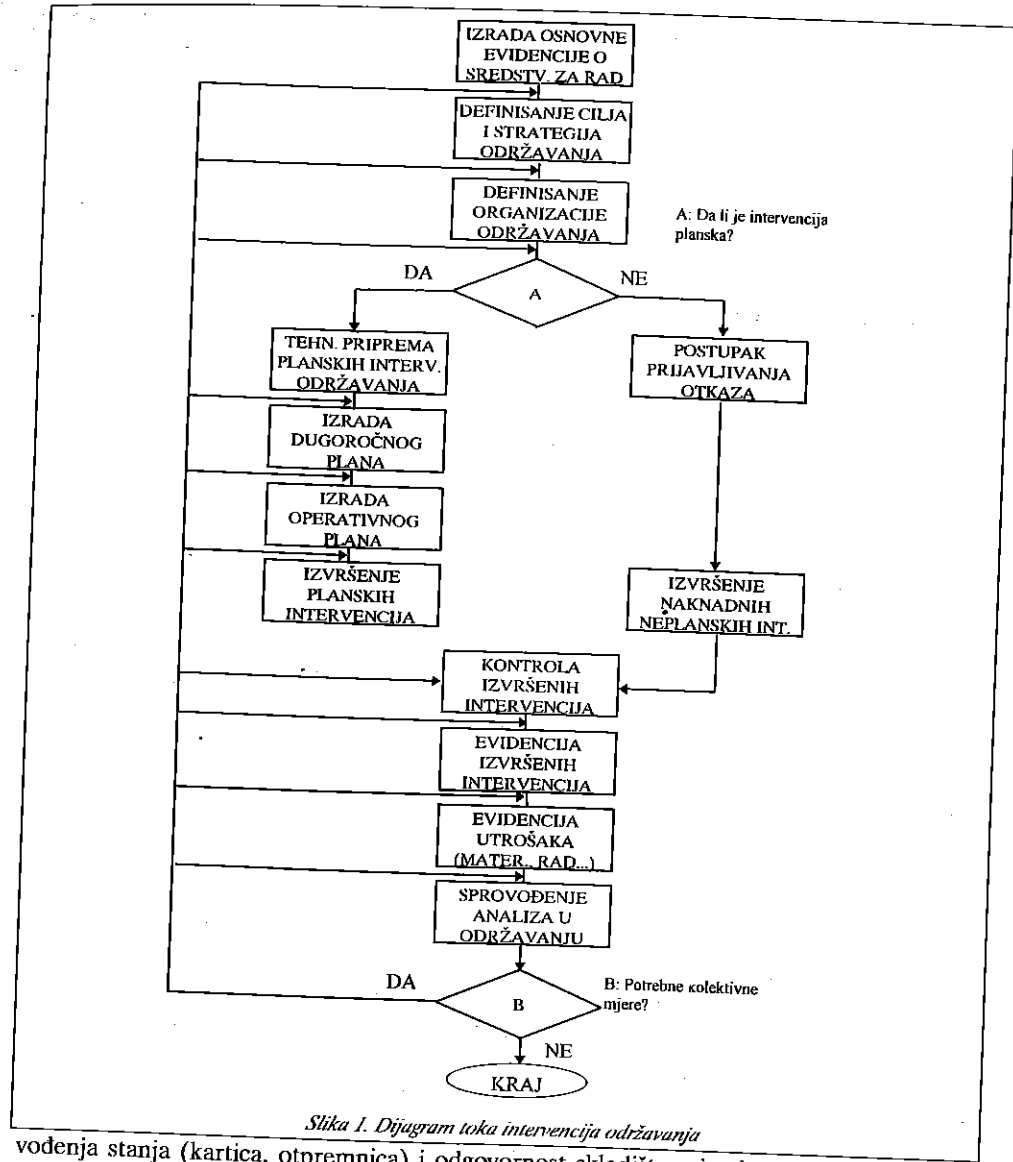
* Doc.dr Ljubo Zirojević, dipl.maš.ing.

INDUSTRIJA ALATA - TREBINJE

i FAKULTET ZA PROIZVODNJU I MENADŽMENT - TREBINJE

89 000 - TREBINJE, REPUBLIKA SRPSKA

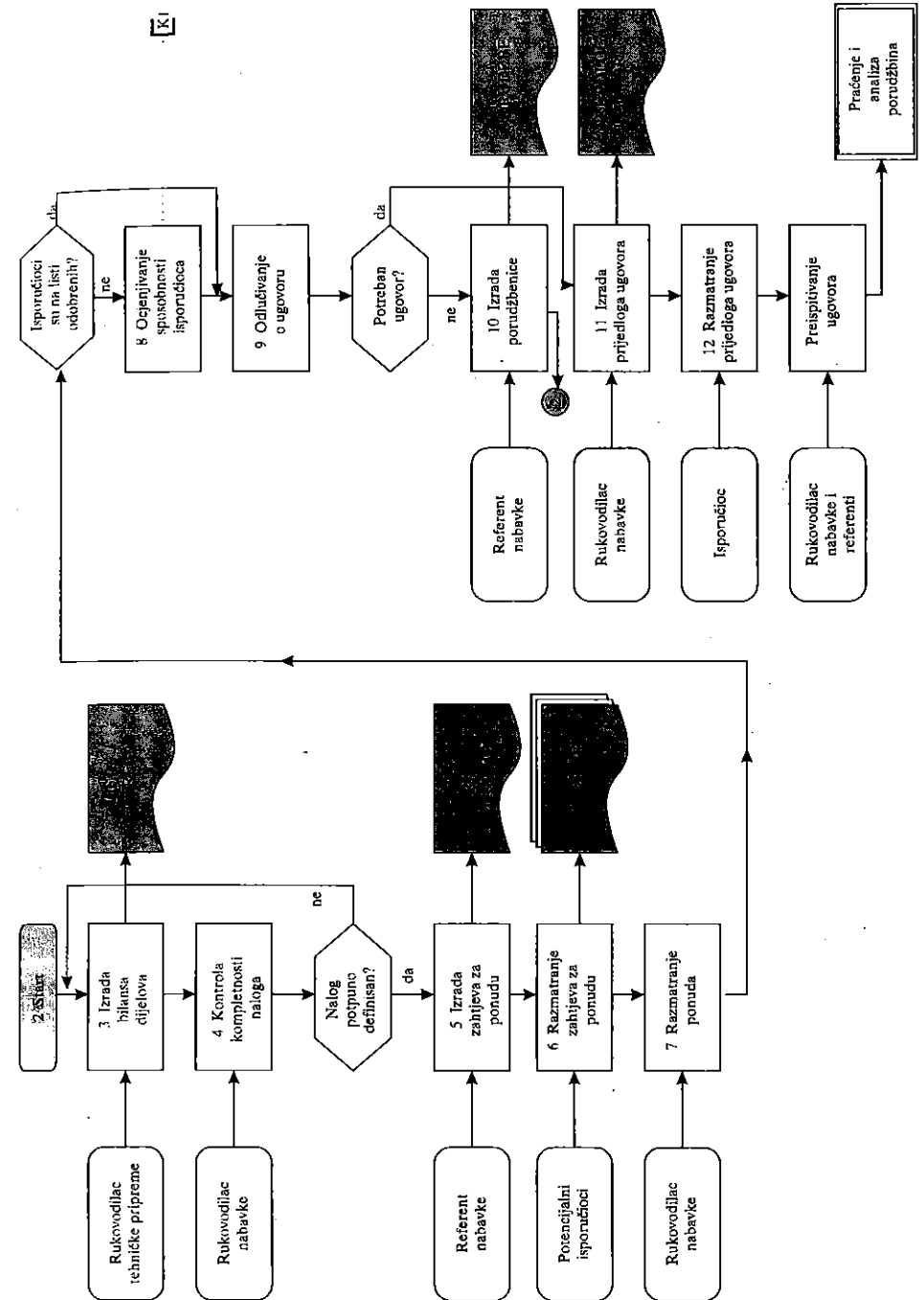
Slika 2. Dijagram toka nabavke rezervnog dijela

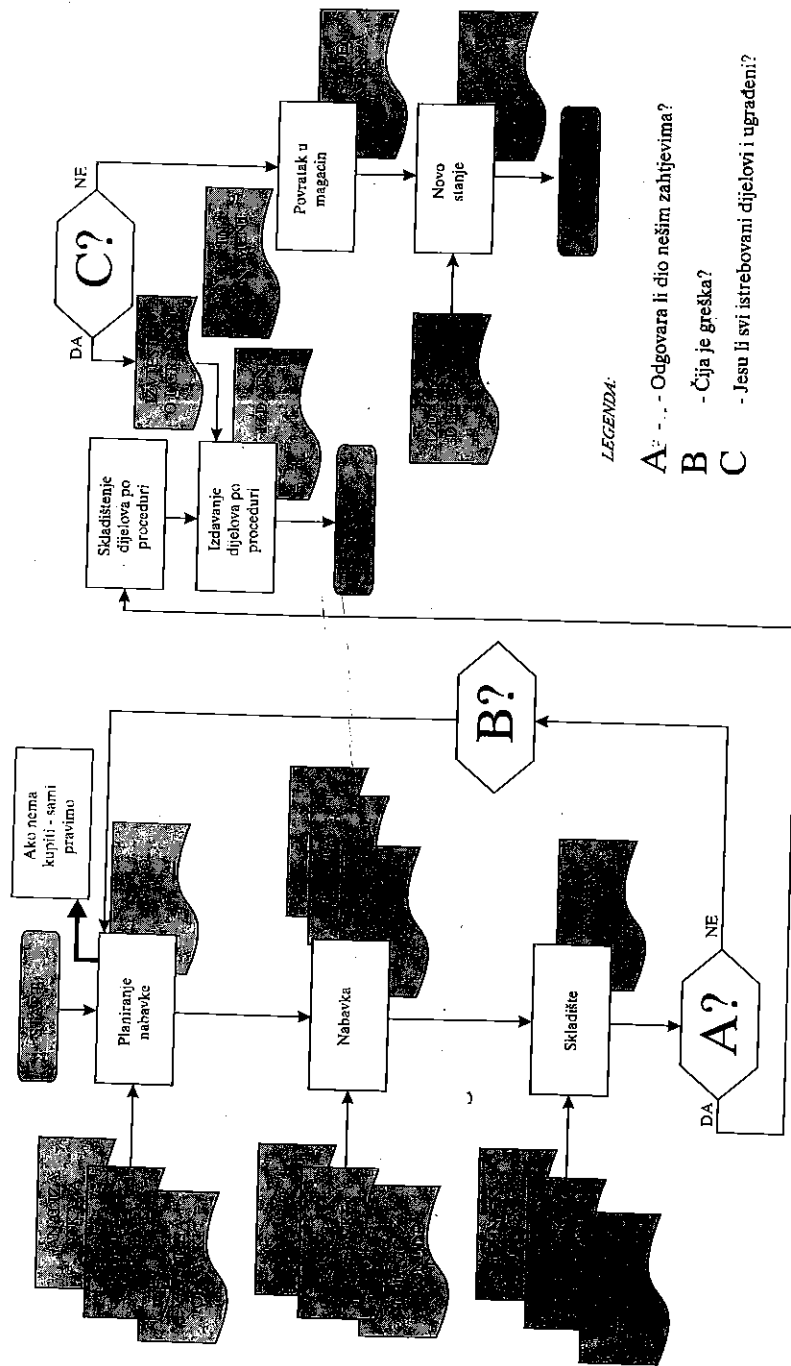


Slika 1. Dijagram toka intervencija održavanja

vođenja stanja (kartica, otpremnica) i odgovornost skladištara i rukovodioca. Potrebno je propisati načine izdavanja, pozajmica, ili prodaje rezervnih dijelova.

Neophodno je propisati način povraćaja rezervnih dijelova u skladište za upotrebu u narednim intervencijama, kad dijelovi nisu bili ugrađeni ili kad nisu u potpunosti izgubili svoju upotrebnu vrijednost pa se čuvaju. Za taj posao mora biti propisana dokumentacija na osnovu koje se povraćaj vrši, gdje se čuva i na koji način se izvještava da je prispio u skladište.





Slika 3. Dijagram toka upravljanja dijelovima dobijenim na razne načine

Dijagram toka nabavke rezervnog dijela je dat na slici 2., a dijagram toka upravljanja svim vrstama rezervnih dijelova, bez obzira na način njihovog snabdjevanja je dat na slici 3. Dijagram toka upravljanja svim vrstama rezervnih dijelova, slika 3., razjašnjava naša razmišljanja i odluke kad nemamo mogućnosti dio da nabavimo, kad je dio napravljen ili nabavljen sa greškom, kad su dijelovi poslije izuzimanja iz magacina povraćeni u skladište, kad svi nisu ugrađeni jer ne zadovoljavaju kvalitetom. Svi ti slučajevi su dati na jednom dijagramu toka. Cjeli ovaj posao zahtijeva studiozan pristup.

MANAGING IN THE SPARE PARTS SUPPLY PROCESS

Summary:

Spare parts necessary for maintenance of equipment, i.e., manufacturing process have particular roll in Quality System of Process Managing.

These are related to all kinds of interventions and overall system maintaining.

This research paper shows algorithms of equipment maintenance and managing the process of spare parts supply whether spare parts are being purchased or manufactured in an own or some outside shop, stocking and spare parts return to the storage.

Literatura:

(1) Zirojević, Lj: Projekat uvođenja preventivnog održavanja u Industriju alata - Trebinje, 1985.



**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**
**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**

UNAPREĐENJE DIJAGNOSTIKE ALATNIH MAŠINA

V. Zeljković¹, M. Đapić, I. Obradović

Rezime

Lola Institut i Lola Korporacija razvijaju i proizvode savremene mašine alatke. Kroz razvoj se teži permanentno ka poboljšanju tehničkih karakteristika, povećanju nivoa pouzdanosti i olakšavanju održavanja, odnosno ka povećanju efikasnosti i raspoloživosti mašina. Lakše i jednostavnije (korektivno) održavanje se realizuje kroz unapređenje sistema nadgledanja ispravnosti rada mašine i dijagnostike mesta neispravnosti. U ovom radu² se analiziraju pojedinačni moduli mašine i način dijagnostike određenih elemenata.

Ključne reči: Održavanje, nadgledanje, dijagnostika

AN IMPROVEMENT MACHINE TOOLS DIAGNOSTICS

Summary

Lola Institute and Lola Corporation develop and produce the modern machine tools. Better technical characteristics, higher level of reliability and easier maintenance are increasing permanently. To achieve better maintenance and higher availability the new system monitoring and diagnostic is introducing. In this paper, the machine modules are, and adequate system diagnostic architecture is proposed.

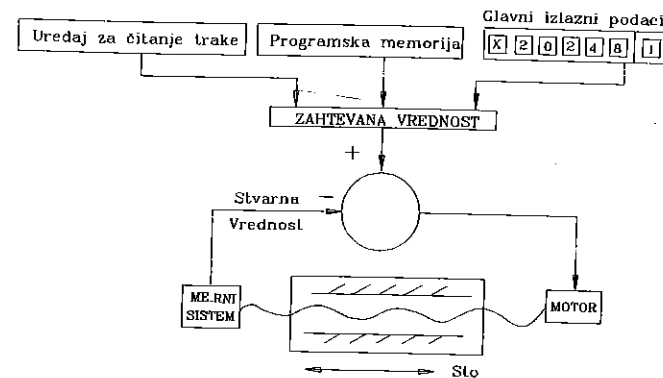
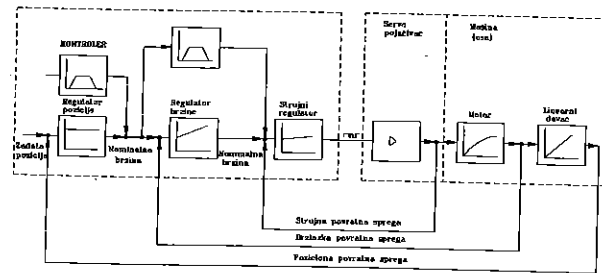
Key words: maintenance, monitoring, diagnostic

1. UVOD

Mašine alatke se permanentno razvijaju težeći ka što boljem prilagođenju zahtevima tržišta. Razvojem se, pre svega unapređuju tehničke mogućnosti (povećanje brzine radnih hodova, povećanje tačnosti obrade, veće brzine rezanja, ...). Radi postizanja boljih tehničkih karakteristika, u mašinu se ugrađuju pogodniji pogonski motori, precizniji senzori, bolje mehaničke, hidrauličke i električne komponente. Posebno unapređenje se postiže kroz primenu savremenih CNC upravljačkih jedinica. Na mašinu se dodaje modul za izmenu paleta, modul magacina i izmenjivača alata i drugi moduli. Sve ovo dovodi do povećanja kompleksnosti mašine, i CNC mašina alatka postaje obradni centar. Sa druge strane od mašine se zahteva što veći aktivan rad, što manje vreme održavanja, odnosno što viši nivo raspoloživosti. Da bi se mogao pratiti rad mašine, i da bi se olakšao način otkrivanja eventualne neispravnosti i smanjilo

¹ Dr Vladimir Zeljković, dipl.inž, Mr Mirko Đapić, dipl. maš. ing, Milenko Gemaljević, dipl.inž, Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

² Rad predstavlja deo istraživanja u okviru projekta S.5.03.66.234 "INTELIGENTNI TEHNOLOŠKI SISTEMI I FABRIKE BUDUĆNOSTI" koji finansira MNT Republike Srbije



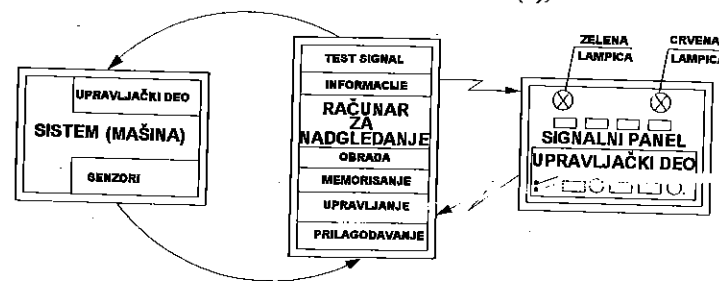
Slika 4. Blok šema pozicioniranja po osi x, y, z

3. SISTEM ZA NADGLEĐANJE I DIJAGNOSTIKU

Osnovni cilj je da se projektuje relativno jednostavan sistem koji će omogućiti

- proveru ispravnosti mašine pre početka rada, zatim
- nadgledanje ispravnosti/neispravnosti mašine u toku rada, i
- otkrivanje (lokalizaciju) mesta ili elementa neispravnosti.

Za ostvarenje ovih funkcija može se primeniti poseban sistem (1), sl 5.

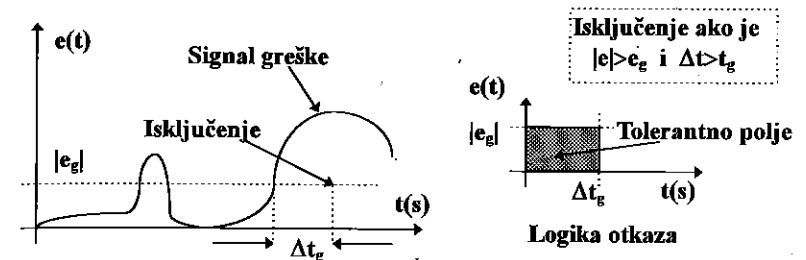


Slika 5. Sistem dijagnostike

Međutim moguće je sistem dijagnostike i nadgledanja integrisati u postojeće module mašine. Za upravljanje kretanjem po x, y, z osom postoji u računarskoj jedinici veličina zadate pozicije X_U i merena veličina stvarne pozicije ose X_S . Na bazi razlike ove dve veličine, odnosno signala greške

$$e = X_U - X_S$$

moguće je odrediti ispravnost ili neispravnost kretanja x-ose. Ako je veličina greške $|e|$ po amplitudi i vremenu van određenih vrednosti, sl 6, tada logika u računaru konstatuje neispravnost i, ako je to predviđeno, može da zaustavi kretanje, odnosno rad mašine.



Slika 6. Signal greške

Veličina tolerantnog polja greške mora biti pažljivo određena. Ako je tolerantno polje veliko sistem dijagnostike postaje neosetljiv i može da "propušta" određene neispravnosti, što može da dovede do havarije ili oštećenja dela mašine. I obrnuto, ako je tolerantno polje suviše usko, logika otkaza će veoma često (i kad to nije neophodno) isključivati rad mašine i praviti zastoje.

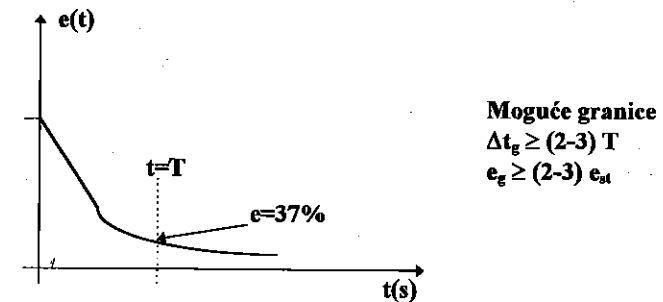
Pri praktičnom određivanju tolerantnog polja greške treba početi od dinamike sistema. Najčešće se dinamika zatvorene konture, pri analizi dijagnostike, može predstaviti sistemom prvog reda

$$W(s) = k \frac{1}{Ts+1}$$

pa je greška, na jedinični odskočni ulaz

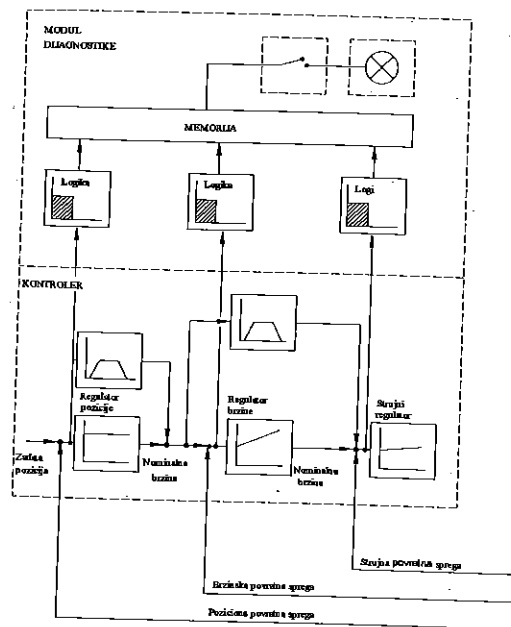
$$e(s) = 1 - W(s)$$

Vremenski prelazni proces greške, sl 7, je eksponencijalna funkcija. Greška padne na vrednost od 37% za period vremenske konstante T. Tolerantni vremenski prag se može uzeti kao dvostruka ili trostruka vrednost vremenske konstante.



Slika 7 Vremenski zapis greške

Tolerantni prag amplitude greške se može odrediti prema veličini stacionarne greške e_{st} i/ili prema proceni šuma (dva ili tri puta veća vrednost).
Logika detekcije neispravnosti za x-osu je prikazana na sl 8.



Slika 8 Logika za detekciju neispravnosti x-ose

Na sličan način se može realizovati i logika greške u brzinskoj konturi, ili u bilo kojoj drugoj osi i kretanju.

4. ZAKLJUČAK

U radu je razmatrana mašina MC3. Pokazani su osnovni moduli. Posebno je razmatran modul kretanja u pravcu x-ose, i za njega je predloženo formiranje logike nadgledanja i dijagnostike. Logika neispravnosti se realizuje pomoću signala greške zadate i stvarne pozicije alata (po x-osi). Kriterijum za određivanje tolerancijskog polja po vremenu, logike isključenja je postavljen zavisno od brzine kretanja, odnosno od vremenske kontante sistema. Prag neosetljivosti, po amplitudi je određen zavisno od veličine stacionarne greške i/ili šuma.

5. LITERATURA

1. V. Zeljković, M. Gemaljević, M. Đapić, Dijagnostika alatnih mašina, 22 JUPITER konferencija, februar 1996, str. 3.187-3.192.
2. Materijal : TNC Conturing Control, HEIDENHAIN
3. J. Todorović: INŽINJERSTVO ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA, Gorapres, Novi Beograd, 1993.

B. PROIZVODNE TEHNIKE

- Fleksibilni proizvodni sistemi B1÷B12
- Alati i pribori B13÷B16
- CAD/CAM/CAE sistemi B17÷B33
- Metrološki sistemi i senzori B34÷B38
- Industrijski roboti B39÷B40

B. MANUFACTURING TECHNIQUES

- Flexible Manufacturing Systems B1÷B12
- Tools and Equipments B13÷B16
- CAD/CAM/CAE B17÷B33
- Metrological Systems and Sensors B34÷B38
- Industrial Robots B39÷B40



**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**
**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**

Albijanić R., Kalajdžić M., Bošković V.

**MATEMATIČKO-EKSPERIMENTALNE METODE U ANALIZI DINAMIČKOG
PONAŠANJA ALATNIH MAŠINA**

Rezime

Samopobudne vibracije poznatije pod imenom chatter su glavni limitirajući faktor u povećanju produktivnosti, tačnosti i kvaliteta obrađene površine, koje se u velikoj meri mogu izbeći pogodnim izborom tehnoloških parametara. U radu su pokazane mogućnosti šireg praktičnog korišćenja računskih karti stabilnosti za operacije čeonog i obimnog glodanja. Napisan je poseban program za računsko definisanje karti stabilnosti baziranih, pre svega, na prethodno određenim orjentisanim prenosnim funkcijama, koje se odnose na ukupno relativno pomeranje vrha alata u odnosu na radni predmet. Svi ostali parametri vezani za geometriju alata i tehnološke parametre procesa rezanja su deo računске simulacije koja direktno ulazi u program za proračun računskih karti stabilnosti.

1.0 UVOD

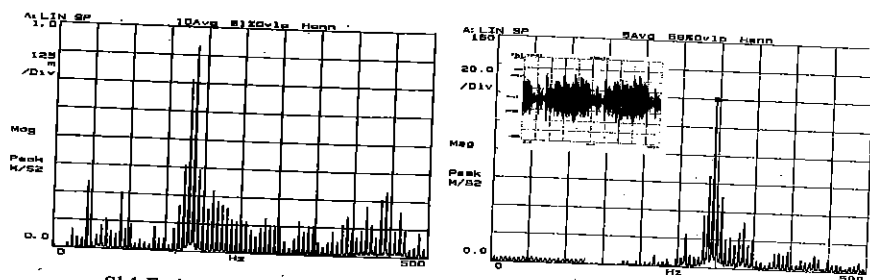
Današnji razvoj savremenih alatnih mašina sve više ide u pravcu povećanja njihove produktivnosti, tačnosti i kvaliteta obrađene površine. Pojava samopobudnih vibracija u procesu rezanja je glavni limitirajući faktor koji direktno ugrožava svaki od navedenih zahteva. Model generisanja samopobudnih vibracija je vrlo kompleksan i baziran je na interakcijskoj povezanosti parametara koji karakterišu mašinu, alat i tehnologiju obrade [1,2,4,6]. Prvi su okrenuti strukturalnoj dinamici noseće strukture, drugi geometriji alata, a treći obuhvataju niz tehnoloških parametara procesa rezanja. Karte stabilnosti su jedini pouzdani pokazatelj dinamičkog ponašanja alatne mašine u širokom dijapazonu potencijalnih režima njenog rada. Problem je što je u klasičnom pristupu, koji podrazumeva širi eksperimentalni test, njihovo definisanje skupo i odnosi se na ograničeni broj tehnoloških operacija sa invarijantnom promenom pravca sile rezanja. U radu je pokazana mogućnost korišćenja alternativnog metodološkog pristupa u kome je definisanje dinamičkih karti stabilnosti postavljeno na integralnom korišćenju matematičko-eksperimentalnih metoda bez izvođenja operacija rezanja. Radi se o indirektnom pristupu koji polazi od prethodno određenih prenosnih funkcija u kojima su sadržane strukturalne karakteristike mašine, pa se kroz primenu odgovarajućih matematičkih algoritama i računarsku simulaciju dolazi do relevantnih karti stabilnosti za proizvoljnu tehnološku operaciju.

Mr Radomir Albijanić, dipl.maš.inž. Lola Institut, Beograd
Dr Milisav Kalajdžić, dipl.inž., red.prof. Mašinskog fakulteta, Beograd
Vojkan Bošković, dipl.maš.inž. Lola Institut, Beograd

U radu su na konkretnom primeru obradnog centra i njegove tipske operacije čeonog glodanja, pokazane mogućnosti šireg praktičnog korišćenja ovog metodološkog pristupa, pri čemu je posebna pažnja usmerena prema metodologiji definisanja orjentisanih prenosnih funkcija, koje predstavljaju osnovu za utvrđivanje ukupnog dinamičkog ponašanja mašine [2].

2.0 VIBRACIJE U DINAMICI ALATNIH MAŠINA

Dinamičke karakteristike alatne mašine, ili šire obradnog sistema, su vezane za pojavu prinudnih i samopobudnih vibracija. Prve se javljaju kao posledica paralelnog delovanja više poremećajnih uzročnika, koji svoje izvorno poreklo imaju u prisutnim greškama koje prate izradu i montažu vitalnih elemenata mašine. Karakteriše ih jednoznačna prepoznatljivost i relativno se lako otklanjaju. Nasuprot njima, samopobudne vibracije nisu posledica delovanja spoljnih periodičnih poremećaja, već energiju za svoje održanje nalaze u samom procesu rezanja koristeći snagu pogonskog sistema. One nastaju u određenim uslovima simultanog delovanja više parametara, koje po pravilu karakteriše međusobna nelinearna veza. Regenerativno podrhtavanje u procesu rezanja predstavlja tipski primer samopobudnih vibracija, i uslovljeno je, pored ostalog, nelinearnom promenom preseka strugotine. Mehanizam nastanka, način prenošenja i održavanja generisanih samopobudnih vibracija je direktno povezan sa međusobnim delovanjem parametara koji karakterišu: strukturalnu dinamiku složenog sistema-mašina, alat, radni predmet, geometriju alata i tehnološke karakteristike procesa rezanja. Strukturalni parametri sopstvene frekvence, modalna prigušenja i glavni oblici oscilovanja, u potpunosti opisuju dinamičko ponašanje mašinskog sistema, ali nisu jedini pokazatelji dinamičkog ponašanja šireg obradnog sistema. Nekoliko najnižih sopstvenih frekvenci noseće strukture, mogu biti u potencijalnoj korelacijskoj vezi sa pojavom samopobudnih vibracija, pri čemu, samo jedna od njih, kojoj po pravilu odgovara najmanja dinamička krutost sistema, je u direktnoj vezi sa mehanizmom nastanka samopobudnih vibracija. Pri tome, frekvencija nastalih samopobudnih vibracija je bliska sopstvenoj frekvenciji dominantnog moda.

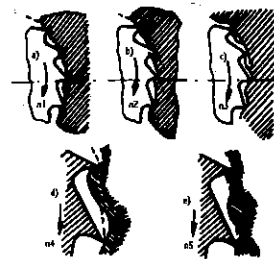


Sl. 1 Frekventni spektri vibracija u režimima stabilnog i nestabilnog rada

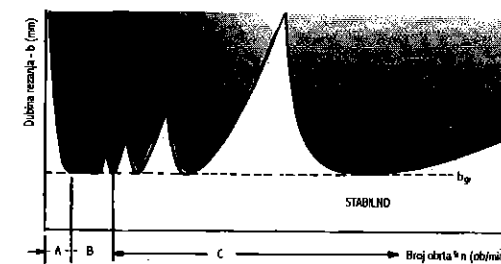
Na sl.1 u uporednoj formi su pokazani spektri vibracija snimljeni na strukturi obradnog centra, pri izvođenju operacija čeonog glodanja [7]. Oba zapisa su snimljena pri identičnom broju obrta, $n=370$ ob/min, s tim što prvi odgovara stabilnom režimu rada, $\delta=2$ mm, a drugi odgovara uslovima razvijenih samopobudnih vibracija, $\delta=5$ mm. U prvome slučaju dominantan uticaj imaju periodične komponente koje odgovaraju frekvenci broja zuba glodačke glave i njenim višim harmoničima. U drugom slučaju dominira komponenta sa frekvencom samopobudnih vibracija.

Drugi veoma važan aspekt je vezan za geometriju alata. Tu se pre svega misli na ukupni broj zuba odabranog alata, istovremeni broj zuba u zahvatu sa materijalom i širu geometriju alata. Ovi parametri definišu prostorni pravac sile rezanja, veoma važnu veličinu od koje u

velikoj meri zavisi ukupno dinamičko ponašanje celog obradnog sistema. Sa praktičnog stanovišta, relevantni značaj po pravilu ima mod, čija je dinamička krutost najmanja na prostornom pravcu sile rezanja. Promenljivost pravca sile rezanja pri jednom obrtu glodača je poseban problem koji dopunski komplikuje celu analizu.

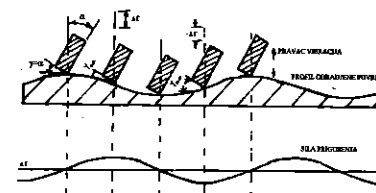


Sl. 2 Regenerativni efekat



Sl. 3 Šematski prikaz karte stabilnosti

I konačno, treći aspekt je vezan za tehnološke karakteristike obradnog sistema, pri čemu broj obrta ima dominantan uticaj. Model regenerativnog podrhtavanja je u direktnoj vezi sa odabranim brojem obrta. Regenerativni efekat se ispoljava pri obradi površine koja je u prethodnom prolazu već bila grubo obrađena. Usled fazne pomerivosti talasa, javlja se promenljiva dinamička sila koja za posledicu ima uspostavljanje mehanizma za formiranje samopobudnih vibracija. Na sl.2 je šematski pokazan efekat brzine rezanja, odnosno broja obrta, u modelu regenerativnog podrhtavanja. Alat vibrira sa frekvencom bliskoj sopstvenoj frekvenciji dominantnog moda ostavljajući talasaste tragove na obrađenoj površini. Karakter formiranih talasa direktno zavisi od brzine rezanja. Evidentno je da pri malim brojevima obrta, formirani talasi imaju malu talasnu dužinu, koja raste sa povećanjem broja obrta. Skice pokazane na sl.2 upravo to pokazuju. Granični slučajevi odgovaraju skicama (a) i (e), pri čemu se prva odnosi na mali, a druga na veliki broj obrta. Talasi na pokazanim skicama imaju različitu faznu pomerivost, od koje direktno zavisi amplituda nastale dinamičke sile. Pri tome, talasi na skicama (d) i (e) imaju potpuni antifazni karakter.



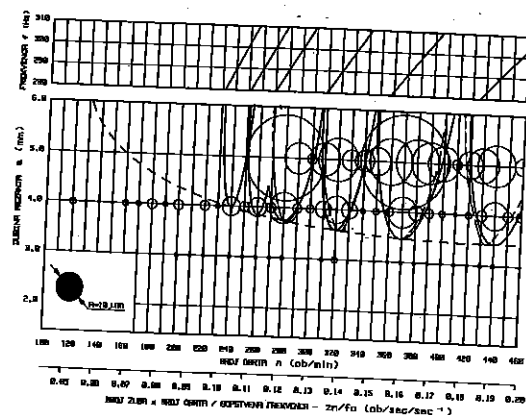
Sl. 4 Model generisanja sile prigušenja

Dinamička karta stabilnosti pokazana na sl.3 ima ilustrativan karakter i okrenuta je sagledavanju uticaja brzine rezanja u ukupnom dinamičkom ponašanju obradnog sistema. Na ordinati je postavljena dubina rezanja b (mm), a na apcisi broj obrta n (ob/min). Naznačena su tri područja, od kojih područje (A) odgovara malim brojevima obrta, u kome usled poznatog efekta trenja praktično ne postoji prisustvo samopobudnih vibracija. Srednje područje (B) odgovara graničnoj dubini rezanja, što praktično znači da usled koncentracije velikog broja lepezastih krivih, koje razdvajaju područja stabilnog i nestabilnog rada, prag dinamičke stabilnosti je spušten na najmanju meru, pa rad na ovim brojevima obrta treba maksimalno izbegavati. Treći dijapazon (C) odgovara području raširenih lepezastih krivih u kome se naizmenično smanjuju intervali povećane i smanjene stabilnosti.

Uticao trenja prisutnog između alata i materijala je bio predmet ozbiljnih istraživanja u periodu 1970-1980 god. [2]. Model alata koji vibrira u vertikalnom pravcu i koji se kreće konstantnom brzinom sa leva na desno je pokazan na sl.4 Talasna dužina generisanog reljefa $\lambda=v/f$ raste sa povećanjem brzine rezanja (v) i opada sa porastom sopstvene frekvence (f). Prisutno trenje prati sila prigušenja (ΔF), sl.4, koja je u direktnoj fazi sa brzinom vibracija, a amplituda joj je obrnuto proporcionalna sa veličinom ugla (γ). Očigledno je da malim brzinama rezanja odgovaraju male talasne dužine formiranog reljefa, manje vrednosti ugla (γ), što za posledicu ima povećanje sile prigušenja, i obrnuto, čime se objašnjava povećanje dinamičke stabilnosti u području (A), sl.3.

3.0 KARTE STABILNOSTI-EKSPERIMENTALNI PRISTUP

U fazi kompleksnog ispitivanja dinamičkih performansi obradnog centra HMC500 proizvodnje LOLA Kompanija, za operaciju čeonog glodanja snimljene su eksperimentalne karte stabilnosti paralelno za materijal Č.4734 i SL.25. Rezanje je izvedeno sa glodačkom glavom $\varnothing D=125$ mm, koja je imala $z=7$ zuba, sa ugrađenim pločicama od tvrdog metala. Na sl.5 je pokazana karta stabilnosti za čelik. Detaljan opis izvedenog eksperimenta sa svim relevantnim detaljima je dat u referenci [7].



Sl.5 Izgled računске i eksperimentalne karte stabilnosti za operaciju čeonog glodanja - OC HMC500

4.0 ORJENTISANE PRENOSNE FUNKCIJE

Alternativni pristup je postavljen na relevantnim prenosnim funkcijama koje odgovaraju odzivu sistema u pravcu upravnom na obrađenu površinu, pod dejstvom jedinične sile orjentisane u pravcu sile rezanja, pri čemu se podrazumeva relativno pomeranje između vrha alata i radnog predmeta. Ovako definisana prenosna funkcija u literaturi je poznata pod imenom orjentisana prenosna funkcija, [2,5]. Praktični problemi nastaju kod operacija glodanja, obzirom da se rezultujuća sila u okviru jednog obrta alata periodički menja po pravcu i intezitetu. U ovom slučaju su neophodne određene aproksimacije, koje mogu biti izvedene na različitim nivoima. U najgrubljoj aproksimaciji granica stabilnosti (b) može biti dobijena sledećim izrazom

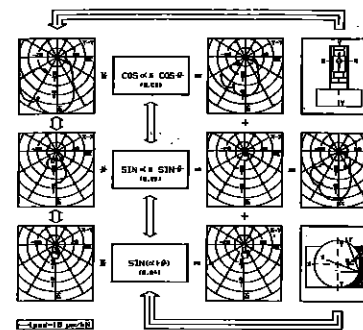
$$b = -1/(2K_s m Re[H]_{mv}) \quad (1)$$

gde je: $K_s(N/mm^2)$ -konstanta koja se odnosi na specifičnu krutost materijala [2,3], $Re[H]$ (mm/N) - negativni realni deo orjentisane prenosne funkcije, m - broj zuba u simultanom zahvatu sa materijalom.

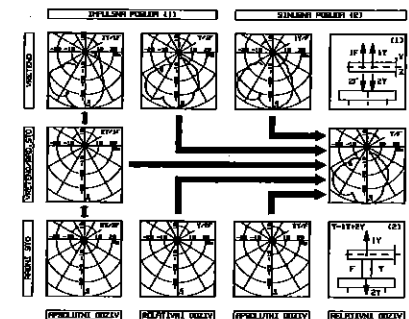
Gornja formula sa očekivanom tačnošću može biti primenjena na operaciju struganja gde se sila ne menja po pravcu i intezitetu. Kod operacija glodanja je mnogo veći problem i tu je moguće primeniti prvu grubu aproksimaciju tako da se koristi osrednjeni pravac na sredini luka koga u materijalu formiraju pojedinačni zubi glodača. U ovakvom pristupu mora se računati sa faktorom greške koji može biti reda 2 puta. Daleko bolja aproksimacija orjentisane prenosne funkcije se dobija korišćenjem sledeće formule

$$Re[H_{or}] = \mu_x Re[H_x] + \mu_y Re[H_y] \quad (2)$$

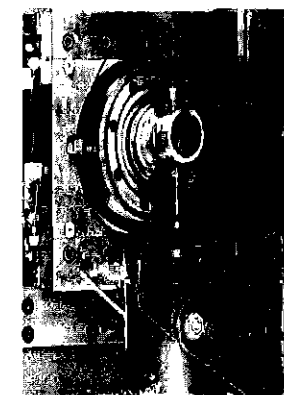
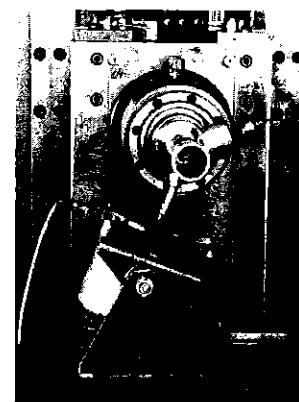
gde su: μ_x i μ_y - koeficijenti pravca, a $[H_x]$ i $[H_y]$ - prenosne funkcije u međusobno upravnim pravcima (x) i (y).



Sl. 6 Konceptualni postupak definisanja orijentisanih prenosnih funkcija



Sl. 7 Konceptualne mogućnosti definisanja prenosnih funkcija



Sl. 8 Organizacija eksperimentalnog određivanja orijentisanih prenosnih funkcija

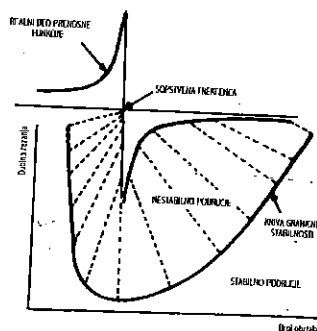
U ovom radu je pokazan originalni pristup definisanju orjentisanih prenosnih funkcija za širok dijapazon različitih operacija glodanja. Suština je u tome da se orjentisana prenosna funkcija za bilo koji položaj sile rezanja i bilo koji pravac obrađene površine može dobiti na osnovu prenosnih funkcija prethodno određenih eksperimentalnim putem za 2 međusobno

upravna pravca - H_{xx} , H_{yy} i H_{xy} . Konceptualni prikaz primenjenog algoritma je pokazan na sl.6. U donjem desnom uglu su ucrtani parametri koji karakterišu operaciju glodanja i koji direktno ulaze u postavljenu matematički algoritam. Na levoj strani slike su pokazane 3 prenosne funkcije - H_{xx} , H_{yy} , H_{xy} , koje se odnose na relativno pomeranje vrha alata u odnosu na radni predmet, koje u suštini sadrže dinamičke karakteristike mašinskog sistema-mašina/alat. Ove 3 prenosne funkcije predstavljaju osnovne karakteristike svake isporučene mašine. One se dobijaju eksperimentalnim putem, pri čemu mogu biti korišćeni različiti alternativni pristupi konceptualno prikazani na sl.7, u zavisnosti da li je primenjen koncept impulsne ili sinusne pobude, s jedne, i da li registrovane vibracije imaju apsolutni ili relativni karakter, s druge strane. Primer pokazan na sl.7 se odnosi na prenosnu funkciju H_{yy} i potpuna analogija važi i za druge 2 prenosne funkcije - H_{xx} i H_{xy} .

Na sl.8 su pokazane fotografije na kojima se vidi organizacija direktnog snimanja orjentisanih prenosnih funkcija. Fotografija je napravljena u fazi testiranja opisanog metodološkog pristupa.

5.0 KARTE STABILNOSTI - RAČUNSKI PRISTUP

Orijentisane prenosne funkcije, dobijene u prethodnom postupku, predstavljaju osnovu za definisanje računskih karti stabilnosti. Matematički algoritam koji povezuje parametre strukturalne dinamike i granična područja stabilnog i nestabilnog rada je poznat decenijama.



Sl. 9 Relacijska veza između prenosne funkcije i karte stabilnosti

Na sl.9 je pokazana grafička prezentacija jednoznačne veze između tačaka na negativnoj strani realnog dela prenosne funkcije i tačaka na krivoj koja razdvaja granična područja stabilnog i nestabilnog rada. Relacijsku vezu između frekvence samopobudnih vibracija (f) i frekvence po broju zuba glodača ($z n$) daje izraz

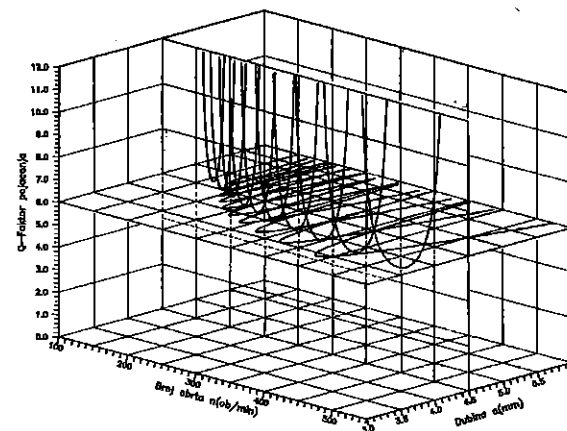
$$\text{ili} \quad f/zn = N + \epsilon/2\pi \quad (3)$$

$$n = f/z (N + \epsilon/2\pi) \quad (4)$$

gde je: z - broj zuba, $n(\text{ob/s})$ - broj obrta, ϵ - fazni ugao između 2 uzastopna prolaza alata na površini materijala, N - interdžer, tako da je $\epsilon/2\pi < 1$. Fazni ugao u jednačini (4) se može zameniti od ranije poznatim izrazom

$$\epsilon = 2\pi - 2 \operatorname{tg}^{-1} [\operatorname{Re}(H)/\operatorname{Im}(H)] \quad (5)$$

Jednačine (1) i (4) daju niz parova tačaka (b, n) koje određuju dinamičku kartu stabilnosti. Koristeći računarsku podršku napisan je posebni program na osnovama pokazane metodologije za brzo i precizno sračunavanje i grafičku prezentaciju računarskih karti stabilnosti za proizvoljnu operaciju čeonog i obimnog glodanja. Na sl.5 je u komparativnoj formi, pokazana karta dinamičke stabilnosti obradnog centra dobijena opisanim alternativnim putem. Evidentno je skoro potpuno poklapanje računске (isprekidana linija) i eksperimentalne karte stabilnosti (puna linija) što ukazuje na veliku mogućnost korišćenja računskih karti u izboru stabilnih režima rada.



Sl. 10 Trodimenzionalna prezentacija područja stabilnog i nestabilnog rada - OC HMC500

Na sl.10 su u 3-dimenzionalnom prostoru pokazana područja stabilnog i nestabilnog rada za konkretnu operaciju čeonog glodanja na OC HMC500. Ovde je u odnosu na klasičnu kartu stabilnosti uvedena 3-ća dimenzija kojom je predstavljena funkcija prigušenja u sistemu. Položaj horizontalne ravni sa ucrtanim krivama odgovara vrednosti prigušenja utvrđenoj eksperimentalnim putem.

6.0 ZAKLJUČAK

U radu su na konkretnom primeru obradnog centra pokazane mogućnosti definisanja računskih karti stabilnosti za proizvoljne operacije čeonog i obimnog glodanja. Tradicionalni pristup postavljen na eksperimentalnim kartama stabilnosti je ograničen sa aspekta šire praktične primene, budući da realizovani testovi podrazumevaju angažovanje skupe opreme uz relativno veliki utrošak materijala što ih čini skupim. Uz to definisana karta stabilnosti se isključivo odnosi na korišćeni alat i tehnološke parametre samo tog procesa rezanja. Alternativni računski pristup je baziran na strukturalnim parametrima mašinskog sistema koji se eksperimentalno određuju samo jednom i ne uključuju proces rezanja, uz računsku simulaciju svih ostalih elemenata vezanih za geometriju alata, i tehnološke parametre procesa rezanja. Razvijena je posebna metodologija za definisanje relevantnih prenosnih funkcija i napisan je posebni program za proračun i grafičku prezentaciju računskih karti stabilnosti.

7.0 LITERATURA

- [1] Tobias S.A., Machine-Tool Vibration, Blackie & Son, Glasgow, 1965
- [2] Tlustý J., Smith S., Evaluation of the Cutting Performance of Machining Centers, Annals of the CIRP, Vol.40/1/1991
- [3] Smith S., Tlustý J., Stabilizing Chatter by Automatic Spindle Speed Regulation, Annals of the CIRP, Vol.41/1/1992
- [4] Tlustý J., High Speed Machining, Annals of the CIRP, Vol.42/2/1993
- [5] Chang H.C., Sadek M.M., Tobias S.A., Relative Assessment of the Dynamic Behavior and Cutting Performance of a Bonded and a Cast-Iron Horizontal Milling Machine, Journal of Engineering for Industry, August 1983, Vol 105
- [6] Kalajdžić M., statika i dinamika alatnih mašina, Saopštenja IAMA, 16 (1972)
- [7] Albijanić R., Kalajdžić., Bošković V., Dinamika obradnih centara, 25 Savetovanje Proizvodnog mašinstva, Beograd 1994

MATHEMATICAL-EXPERIMENTAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF MACHINE TOOLS

Abstract

The paper shows the possibilities of wider practical use of computed stability charts for the end and face milling operations. A special program for computer aided definition of stability charts based on previously determined oriented transfer functions, related to the total relative displacement of the tool tip with respect to the workpiece, was written. All other parameters related to the tool geometry and technological parameters of the cutting process are a part of the computer simulation which is a component of the stability charts computing program. Self-excited vibrations, better known as chatter, are the principal limiting factor in enhancing the productivity, accuracy and surface quality of the workpiece. They can be avoided to a significant extent by making a wise choice of technological parameters.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M.Gemaljević, T. Danojlić, Z.Radosavljević¹

VISOKOFREKVENTNA VRETENA

REZIME

Obrada visokim brzinama metalnih i nemetalnih materijala danas u svetu dobija sve više na značaju. Ona se pozitiže pre svega visokofrekventnim motor vretenima čiji broj obrtaja prelazi 100 000 o/min. U radu se prezentira jedna tipična konfiguracija visokofrekventnog motor vretena sa svim perifernim uređajima za obradu visokim brzinama.

1.0 UVOD

Na današnjem tnom tržištu veliku popularnost stiču mašinske obrade u kojima radni parametri imaju vrednosti u širokim opsezima. Ta popularnost još više raste iz razloga smanjenja troškova i uštede vremena. U isto vreme postoje i zahtevi za bolji kvalitet proizvodnje (manje defekata, odbačenih komada, uža tolerancijska polja i odgovarajući kvalitet površine) kao i za dobijanje konstatnih izlaznih veličina i minimum raspada sistema. Obrada velikim brzinama ima zadatak da zadovolji sve nabrojane zahteve kroz mnoge prednosti koje ovaj proces obrade pruža.

Ovom obradom dobijamo smanjenje sile rezanja manje za oko 30% kao i smanjenje dejstva sile koje deluju normalno na pravac obrade (bočne sile), što sve utiče na povećanje kvaliteta pri obradi delova sa tankim zidovima. Niži naponi u reznim alatima, što je posledica smanjenja sile rezanja, dovode do dužeg veka trajanja alata kao i povećanja tačnosti obrađene površine. Takođe imamo i smanjenje toplote pri obradi, koja se uglavnom odvodi strugotinom iz zone rezanja, što povećava kvalitet obrađene površine.

Prednosti koje proističu iz primene većih brzina rezanja i odgovarajućih brzina linearnih pomeraja, su sledeće:

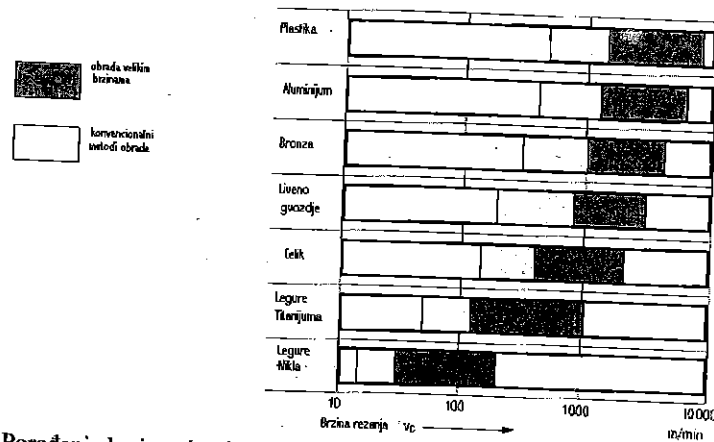
- povećanje veličine pomaka 5 do 10 puta;
- povećanje stepena odvođenja metalnog otpada 3 do 5 puta;
- smanjenje vremena obrade za 40 do 70%;
- smanjenje ukupnih troškova za 20 do 50%;

Danas je veoma prisutan trend definisanja novih materijala koji su u mogućnosti da zadovolje zahteve kupca u pogledu kvaliteta i performansi određenih proizvoda. Sve je to dovelo do razvoja raznih tehničkih aplikacija na materijalima kao što su keramika, neki kompoziti na bazi aluminijuma, ojačana plastika i sl.

¹ Gemaljević Milenko, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.
Danojlić Tomislav, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.
Radosavljević Zoran, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.

Zbog tehnike otvrdnjavanja koja je kod ovih materijala karakteristična, neophodno je da se obrada vrši uglavnom supertvrđim alatima pri brzinama od 1000 m/min, tako da primena visokofrekventnih vretena u ovom slučaju ima posebnu težinu. Naravno, njihovom primenom možemo obrađivati i konvencionalne materijale kao što su legure aluminijuma, čelici, liveno gvožđe, drvo, plastika, grafit...

Poređenje brzina rezanja konvencionalnim metodama obrade i primenom visokofrekventnih vretena prikazano je na slici 1.



Slika 1. Poređenje brzina obrade primenom konvencionalnih i visokobrzinskih metoda

2.0. MAŠINE ZA OBRADU VELIKIM BRZINAMA

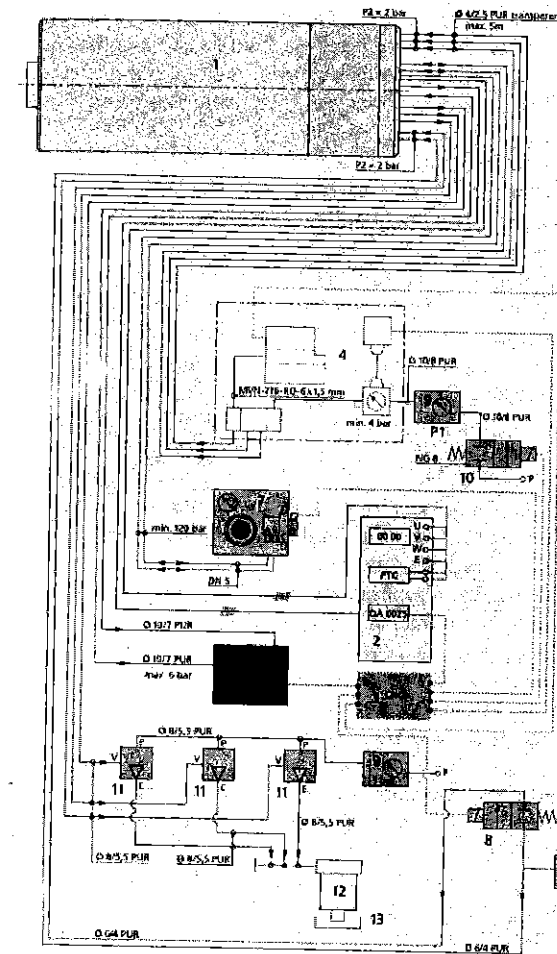
Razvoj materijala za proizvode i alate postavlja pred projektante mašina alatki zadatak da osmisle rešenja koja će objediniti veliku brzinu rezanja, veliku snagu, veliku nosivost i veliku krutost sistema alat-obradak. Do danas primena ovakvih mašina se uglavnom odnosila na avionsku i automobilsku industriju i to su bile mašine nastale modifikacijom postojećih konvencionalnih mašina.

Najveći proizvođači ovih mašina su Nemačka i Japan. Prema podacima Instituta za proizvodnu tehniku i mašine alatke u Dramstadtu već 1993 u Nemačkoj je bila 41 firma koja je proizvodila mašine za obradu visokim brzinama /1/. To su pre svega firme Mikron sa svojim HSM520 i HSM1000 mašinama, Otto Sühner sa Flexidrill centrom, Chiron sa FZ 12S obradnim centrom i čitav niz drugih.

Posebno, proizvođači u avionskoj industriji imaju modifikovane obradne centre sa vretenima velikih brzina, koje proizvode proizvođači kao što su Fischer i Brayant, Grindler, Ibag i GMN, koja rade na brzinama i do 100.000 o/min.

Vretena mašina alatki su dostigla sadašnji stepen razvoja zahvaljujući određenim prednostima tokom jednog dužeg perioda. Tokom dužeg perioda, vretena su u potpunosti odgovarala postojećoj tehnologiji, te stoga nisu uzrokovala nikakva ograničenja. Razvoj materijala kao i razvoj upravljačkih jedinica je doveo do stvaranja novih zahteva na koja postojeća rešenja nisu mogla odgovoriti. Pri bržim pomacima koji su potrebni za obradu velikim brzinama, klizni elementi mašina dobijaju na značaju, a pažnja je usmerena i na dobijanje lakih struktura.

Pogodnosti koje su donosile poboljšane strukture nisu u potpunosti bile zastupljene. Uz korišćenje tradicionalnih materijala, prošla dekada je pokazala značaj epoksilnih materijala i



Oznake na slici:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1. Visokofrekventno vreteno | 8. 2/2 ventil |
| 2. Regulator frekvencije | 9. Agregat za pripremu vazduha |
| 3. CNC upravljanje | 10. 2/2 ventil |
| 4. Agregat za podmazivanje | 11. Priprema vakuuma |
| 5. Agregat za hlađenje | 12. Priprema ulja |
| 6. Pojačivač | 13. Rezervoar |
| 7. Hidroagregat | |

Slika 3. Visokofrekventno vreteno sa perifernim uredajima

Velike brzine rotacije mogu uzrokovati određene probleme pri upotrebi konvencionalnih načina stezanja alata. Da bi se obezbedila neophodna simetrija i ravnoteža, razvijen je poseban sistem stezanja alata, poznat kao SKI i on obezbeđuje sve vrste vretena osim onih sa malim prečnikom.

SKI sistem sadrži jednu napregnutu Belleville oprugu, koja je pričvršćena za oba kraja osovine, obezbeđujući držaču alata da dođe u kontakt sa alatom. Na užem kraju konusa se nalazi antitorziona sigurnosna brava bez navrtki. Velika sila stezanja (2 tone za vreteno sa konusom 40) kao i veoma precizno brušenje i balansiranje vretena i držač alata osiguravaju da rotacija pri velikim brzinama prolazi bez vibracija.

Integralna hidropneumatska jedinica na suprotnom kraju vretena stvara vazdušni pritisak 5 do 6 bara koji zajedno sa pritiskom koje stvara ulje, oslobađa osovinu.

Elastični konusni držači alata su pogodni za vretenaste alate kao što su vretenasta glodalica sa ravnim ili zaobljenim vrhom.

Materijali koji su pogodni za obradu velikim brzinama su: keramika, CBN, polikristalni dijamanti i specijalni oblici sinterovanog karbida oni oblici koji imaju sposobnost da zadrže osobinu otpornosti protiv lomova i pri velikim brzinama. Uključci Borazona se dobro ponašaju pri velikim pomacima kao i velikim brzinama pri obradi alatnog čelika koji je termički obrađen na tvrdoću HRC45.

4.0. MOGUĆNOSTI PRIMENE

Jedan od prvih koraka za uvođenje vretena ove vrste kao i načina obrade, jeste obuka operatera kao i tehnologa. Ostali bitni zahtevi za obradu velikim brzinama su: moderna mašina alatka čvrste konstrukcije, pogoni na osama koji treba da budu numerički upravljani i da poseduju veliku radnu brzinu, snažan HF motor za pogon vretena i odgovarajući rezni alati. Ako želimo da postignemo optimalne uslove rezanja potrebno je i programirati proces obrade u cilju dobijanja brzih linijskih pomeraja kao i dobijanja strugotine približno konstantne debljine. Uz sve ovo treba dodati i stezanje alata.

Rezni alati od čvrstog karbida su pokazali dobre osobine pri obradi glodanjem sa velikim brzinama pri prečniku alata od 25 mm. Rezne glave sa prečnicima većim od 100 mm., obično imaju max. tri vrha, često i dva a ponekad i samo jedan. Veći broj vrhova alata zahteva veliku pomak kako bi se postigao optimum 5 do 6 m/min. po vrhu, a takođe su i žljebovi (spirale) veoma uske za nesmetan protok strugotine. Preporučuju se i specijalni alati za obradu plastike, ili nekih novih metala.

Vretena se najčešće primenjuju pri obradi struganjem, brušenjem i glodanjem. Pravilna montaža kao i testiranje performansi su ključ uspešne primene ovih vretena. Revizija vretena nakon 3000 do 5000 sati rada su takođe neophodne za pravilan rad. Takođe treba obratiti pažnju i na montažu dopunske opreme koja se izvodi uglavnom uz pomoć gotovih komponenti.

Vretena ove vrste se mogu automatski menjati (kao ugradbene grupe), a takođe je moguće obezbediti i izmenu alata na njima slika 4.

5.0. ZAKLJUČAK

Visokobrzinska vretena, slobodno se može reći, otvaraju novu oblast kada su u pitanju režimi obrade. Visok kvalitet obrađenih površina, kraće vreme obrade, samo su neki od razloga koji vretena ove vrste postavljaju na vrlo visoko mesto, kada je u pitanju zastupljenost u današnjim proizvodnim sistemima.

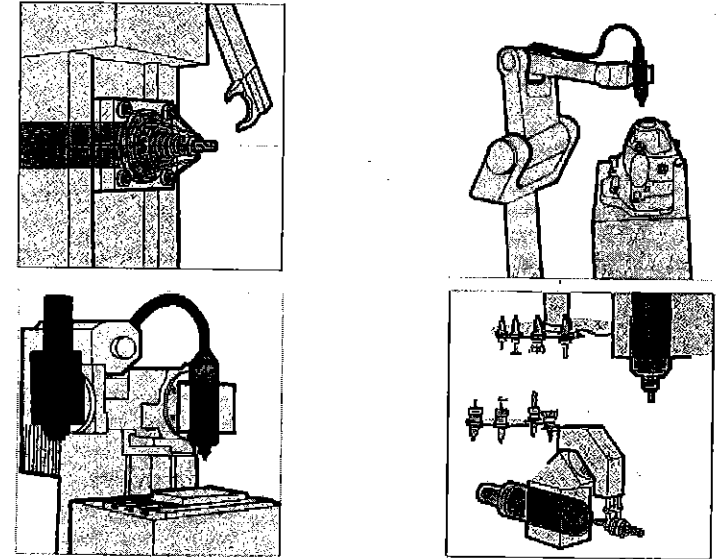
Lola Institut nije izuzetak kada je njihova primena u pitanju. Naime, visokofrekventna vretena su predviđena kao opcija za glavno kretanje univerzalne vertikalne glodalice-obradni centar LOLA MC3.

LITERATURA

/1/ Schulz H., Arnold W., Scherer J.: Hochgeschwindigkeits-Zerspanung: neue Technologie oder Schlagwort?, Werkstatt und Betriebe, 114/1991/8

/2/ Prospektivi materijali proizvođača IBAG, SETCO, GRINDER, FISCHER itd
/3/ Schulz H.: Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung Technologie mit Zukunft, Werkstatt und Betriebe, 127/1994/7-8

/4/ Klink M.: Konzept Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung Werkstatt und Betriebe, 127/1994/7-8



Slika 4. Primeri primene visokobrzinskih vretena

HIGH SPEED SPINDLE

SUMMARY

High speed machining is very popular today. It can be achieved with high speed spindles (HSS) which have maximum speed over 100 000 rpm.

This paper presents a configuration of high speed spindle with all peripheral units for machining.



**26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**
**26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING**

Gemaljević Milenko , dr Pilipović Ilija, Milanov Siniša

MAŠINE ZA OBRADU DRVETA -CNC ILI NE ?

REZIME

Lola korporacija u svojoj razvojnoj tržišnoj orijentaciji značajno mesto pridaje razvoju mašina za obradu drveta. Na našem tržištu su najčešće prisutne klasične mašine, koje u svetu sve više zamenjuju CNC mašine za obradu drveta, čime se postiže veća automatizovanost a time i veća produktivnost proizvodnog procesa. U radu su prikazane osnovne razlike između klasičnih i CNC mašina za obradu drveta, kao i razlozi za uvođenje CNC mašina za obradu drveta u proces proizvodnje, pre svega u industriji građevinske stolarije i industriji nameštaja..

1.UVOD

Razvoj drveno - prerađivačke industrije je realna potreba tržišta, kao odgovor na zahteve sniženja cena proizvodnje i proizvoda, zahteve modernizacije mašina, popunjavanja slobodnih tržišnih prostora... Pouzdan oslonac za rešavanje navedenih potreba je dostignuti nivo znanja u obradi metala, odnosno implementacija razvoja proizvodnih tehnika i tehnologija industrije prerade metala u drveno-prerađivačkoj industriji.

Proizvodni pogoni, pre svega, za izradu građevinske stolarije i nameštaja su sa zastarelim mašinama i proizvodnjom (pogotovu na našem tržištu) i ne mogu da opstanu iz više razloga. Tu se pre svega pojavljuju tipični problemi cena, kvaliteta i roka isporuke. Kada govorimo o malim pogonima, kojih ima najviše, navedeni problemi iziskuju preispitivanje ciljeva i metoda izrade, koji treba da ih usmeri na tržišnu proizvodnju i savremene metode proizvodnje. Na taj način oni ostaju u tržišnoj utakmici sa konkurentim cenama /1/.

Proizvođači mašina nude veliki broj različitih mašina za različite vrste obrade. Kako izabrati najbolje? Ponude idu od standardnih rešenja sa klasičnim -ručnim ili poluautomatskim upravljanjem do CNC mašina - obradnih centara sa čitavim nizom dodatnih pribora, kao elemenata NC nadgradnje. Moguće je naći optimalno rešenje. Pri tome se mora uzeti u obzir da se mašine brzo amortizuju i da brzo stižu nova rešenja.

Najvažniji aspekt izbora opreme po mišljenju mnogih autora je svakako upravljanje. Upravljanje obradnim sistemima za obradu drveta može se ostvariti ručno i sistemima automatskog upravljanja. Pri ručnom upravljanju proizvodni radnik transformiše informacije sa crteža u određene pokrete ruku, vršeći upravljanje određenim radnim ciklusima mašine. U grupu sa ručnim upravljanjem se ubraja relativno veliki broj klasičnih mašina kao što su: stolne i nadstolne glodalice, ravnalice, lančane glodalice i sl.

Do pojave sistema numeričkog upravljanja mašine za obradu delova nameštaja i gradevinske stolarije radile su sa ugrađenim odgovarajućim kinematičkim elementima u njihove kinematske strukture, koji su sposobni da izvršavaju određene programske zadatke. Memorije na mašinama su ugrađene u formi različitih oblika krivulja, mehanizama sa graničnicima i sl. U ovu grupu mašina se mogu ubrojiti: automati za struganje, mašine za izradu ovalnih čepova, veći broj krojača ploča, različite vrste bušilica.

Mašine sa numeričkim upravljanjem uvedene su u preradu drveta krajem sedamdesetih godina. Najpre su bile nadstolne glodalice, čije je upravljanje zasnovano na iskustvima postignutim na sličnim mašinama iz oblasti prerade metala. Prva mašina za obradu ivica (kantova) proizvedena je 1982 godine, da bi se danas koristile razne glodalice - obradni centar, krojači ploča, bušilice i sl.

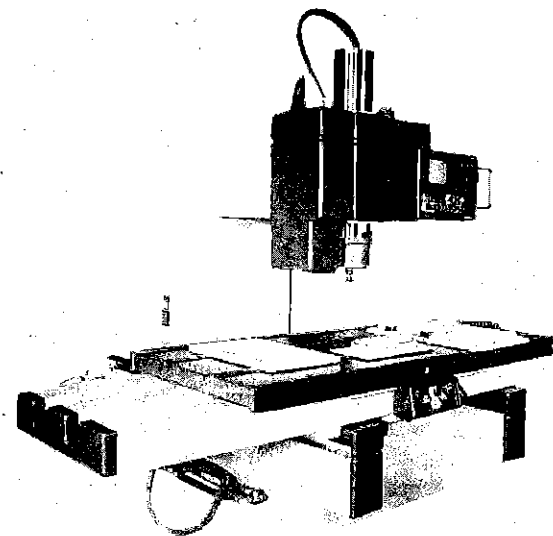
2. CNC MAŠINE ZA OBRADU DRVETA

U industriji za preradu drveta, širom sveta, u 1985 godini bilo je instalisano više od 200.000 numerički upravljanih mašina. Danas je taj broj značajno veći. U Evropi je firma Reichenbacher prva započela sa proizvodnjom numeričkih mašina. Danas se u Evropi proizvodnjom numerički upravljanih mašina za obradu drveta, bavi više stotina firmi. Polovinom osamdesetih godina npr. u proizvodnom programu firme Reichenbacher numeričke mašine su zauzimale svega 5% proizvodnje. Međutim, već 1989 godine to učešće se kretalo oko 80% /3/.

U proizvodnji nameštaja, najčešće se sreću sledeće numerički upravljane mašine CNC: nadstolne (gornje) glodalice (Sl.1), bušilice, mašine za obradu ivica (kantova) i postrojenja za krojenje ploča. Osnovne karakteristike nabrojanih CNC mašina date su u tabeli: T1.

Tabela T1: Neke od karakteristika CNC mašina za obradu drveta

Karakteristike	CNC Glodalice	CNC bušilice	CNC mašine za dimenzionisanje ploča i obrada ivica (kantova)	CNC mašine za krojenje ploča
način upravljanja	konturno	poziciono za bušenje) i konturno za glodanje;	poziciono i linijsko;	poziciono i linijsko u više osa
glavni postupci	bušenje i brušenje, izrada utora;	bušenje (vetrikalno i horizontalno);	obrada formata, lepljenje i obrada ivica	neoplemenjene i oplemenjene ploče
tipični obradci	različitog geometrijskog oblika;	pločastog oblika	ploče sa različitim oblicima ivica	različitog geometrijskog oblika;
redosled obrade	alat jedan za drugim, delimično isovremeno.	nosači agregata sa mnogo vretena mogu se pozivati pojedinačno ili u grupama.	istovremena obrada više obradaka sa kontinualnim protokom.	podužni i poprečni rezova jedan za drugim (linijsko postrojenje) ili povremeno istovremeno (ugaona postrojenja)..



Slika 1. CNC nadstolna (gornja) glodalica

U dosadašnjim iskustvima u prvom redu su isticane sledeće prednosti CNC mašina:

- ekonomičnost, koja raste sa komplikovanošću obratka,
- vrlo visoka tačnost obrade,
- kvalitet obrade, koja se postiže na CNC mašinama nemoguće je postići u obradi na konvencionalnim mašinama,
- velika produktivnost i pouzdanost,
- brzo i jednostavno upravljanje,
- laka izmena modela, otpada izrada mehaničkih šablona,
- kompletna spoljna i unutrašnja obrada u jednom postavljanju-stezanju,
- mogućnost rada u malim i velikim serijama,
- univerzalna upotreba, izrada velikog broja proizvoda koji se razlikuju po obliku i dimenzijama tj. fleksibilnija proizvodnja, proširenje palete proizvoda,
- raličitost materijala za obradu,
- visoka bezbednost pri radu,
- potreban mali prostor za izvođenje više operacija,
- smanjenje manipulacije i transporta,
- ukрупnjavanjem broja operacija na jednom mestu smanjuje se međufazni skladišni prostor, i
- lakši fizički rad, ali rad na CNC mašinama zahteva i višu kvalifikaciju operatera.

Polovinom osamdesetih godina u proizvodnju nameštaja uvode se centri za obradu, a potom fleksibilne tehnološke ćelije i fleksibilni tehnološki sistemi. Uvođenjem fleksibilnih proizvodnji u industriju nameštaja bitno se menja koncepcija razvoja nameštaja. Od ranije koncepcije, po kojoj je bila razvijena masovna i visokoserijska proizvodnja, finalne fabrike, naročito fabrike nameštaja, odustaju i orjentišu se na koncepciju po kojoj je moguća brza izmena asortimana proizvodnje, organizovanje proizvodnje u malim serijama, visok kvalitet proizvoda i dr. Ove zahteve moguće je ostvariti primenom koncepta fleksibilne automatizacije proizvodnje.

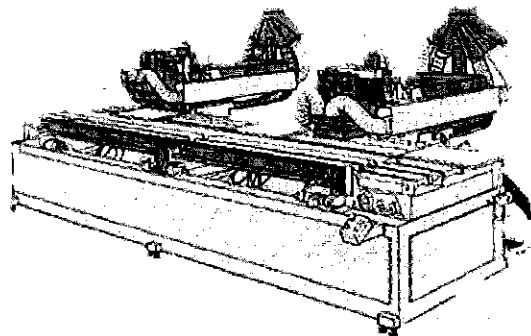
Na današnjem stepenu razvoja fleksibilnih tehnoloških procesa mogu da budu automatizovane sledeće funkcije: obrada; rukovanje sa obradcima i alatima; merenje geometrije obradaka i alata; upravljanje tokovima informacija; upravljanje tokovima materijala; kontrola proizvodnje.

Pojedini koncepti fleksibilne automatizovane proizvodnje razlikuju se prema stepenu automatizacije, tj, učešću automatizovanih funkcija u ukupnom broju funkcija koje treba izvršiti u jednom konceptu proizvodnje. Mogu se razlikovati četiri koncepta fleksibilne automatizovane proizvodnje: obradni centri; fleksibilne tehnološke ćelije; fleksibilni tehnološki sistemi; fleksibilne tehnološke linije.

Jezgro svakog koncepta fleksibilne proizvodnje čine CNC mašine za obradu. Za razliku od mašina opšte namene, koje su izvedene i predviđene za jedan osnovni metod obrade (struganje, glodanje, bušenje, brušenje i dr.), centri za obradu u opštem slučaju predstavljaju složen tehnološki kompleks glodalice, bušilice, brusilice i sl.

S druge strane, to su visoko automatizovani numerički upravljani sistemi sa automatskom izmenom alata, automatskom izmenom obradaka i automatskim odvijanjem proizvodnje. Bitno je napomenuti, da se pomoćnim kretanjima kod centra za obradu upravlja po više osa. Na slici 2 je prikazan centar za obradu ploča sa dve agregatne jedinice firme Biesse. Na takvom obradnom centru se obavljaju sledeće tehnološke operacije:

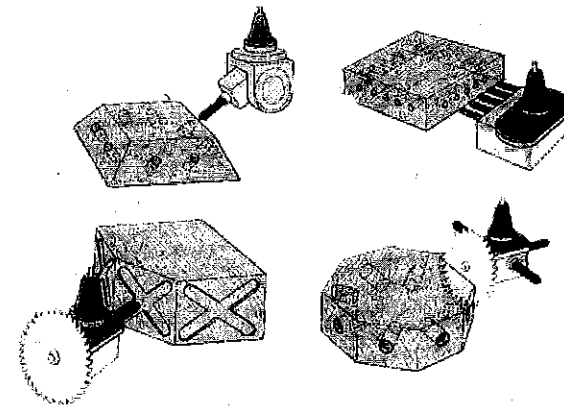
- Kompletna obrada fronta i bočnih strana vrata od panela i iverice i finog drveta
- Kompletna obrada masivnih profila i izvođenje svih žlebova na vratima
- Obrada u 4 zone
- Brušenje masivnog drveta i dr.



Sl.2 Centar za obradu

Osim osnovne mašine uvek se nude opcije koje povećavaju univerzalnost primene, kao i odgovarajući set alata, mogućnost biranja CNC-a od nekoliko renomiranih proizvođača i odgovarajući CAM - najčešće je to specijalni softver same firme proizvođača obradnog centra. Za navedeni obradni centar na sl.2 glavne opcije su:

- Opcija sa magacinom alata - max.10 alata i automatskom izmenom alata
- Opcija sa 3 specijalne glave max.prečnika 160 mm: ugaona glava, zakretna glava i glava za brušenje kontura masivnih profila (sl.3),
- Gladačka jedinica sa tanjirastim glodalom maks. prečnika 1800 mm za vađenje žlebova u X/Y pravcu,
- Uređaj za centriranje i merenje radnog komada



Sl.3 Specijalne glave

3.PARAMETRI ZA DEFINISANJE MAŠINA ZA OBRADU DRVETA

Parametri koji određuju tehničke karakteristike mašina za obradu drveta dele se na parametre koji definišu mogućnost obrade, proizvodnost modula i celih mašina, tačnost obrade, pouzdanost i vek trajanja, nivo pripremljenosti mašine za rad u automatskom režimu i parametre povezivanja ugradbenih jedinica. U daljem tekstu se navode neki od parametara.

1.MOGUĆNOST OBRADNE

- 1.1. Maksimalne dimenzije radnih komada, koje zavise od dimenzija i položaja baznih površina ili drugih elemenata za stezanje radnog komada;
- 1.2. Maksimalne dimenzije radnih komada, koje zavise od veličine pomeranja radnih kretanja mašine;
- 1.3. Maksimalna masa radnog komada;
- 1.4. Interval broja obrtaja vreteništa ili korak radnih kretanja;
- 1.5. Parametri alata za predviđene vrste obrade;
- 1.6. Broj upravljanih osa (u tom broju i broj istovremeno upravljanih osa) i organizacija veze između osa.

2.PROIZVODNOST

- 2.1. Snaga glavnog kretanja, dijapazon brojeva obrtaja radnog vretena, funkcionalna zavisnost snage i broja obrtaja (minimalan broj obrtaja radnog vretena kada imamo na raspolaganju maksimalnu snagu);
- 2.2. Interval obrtanja vretena i korak pomoćnih kretanja;
- 2.3. Maksimalna sila pomaka radnih kretanja;
- 2.4. Brzine pomeranja pomoćnih kretanja;
- 2.5. Automatizacija pomoćnih ciklusa (izmena alata, radnih komada...) i brzi hod odgovarajućih pomoćnih kretanja;
- 2.6. Krutost sistema "mašina -pribor-alat-radni komad" i njegov dinamički kvalitet.

3.TAČNOST OBRADNE

- 3.1. Geometrija mašine;
- 3.2. Tačnost i stabilnost pozicioniranja i trajektorije pomoćnih kretanja;
- 3.3. Statičke i dinamičke deformacije noseće strukture i drugih važnih elemenata (vretena...)

4.POUZDANOST I VEK TRAJANJA

- 4.1. Pouzdanost i vek trajanja mehaničkih ugradbenih grupa, koji se određuju racionalnošću konstrukcije, usaglašenošću izabranih materijala, karakterom opterećenja detalja i veza (spojeva) i njihovom čvrstoćom;

4.2. Pouzdanost i vek trajanja elektroupravljanja, hidro i pneumatskih sistema, koji se odredjuju pouzdanošću komponenata, koje ulaze u te sisteme i racionalnošću izrade, kao i funkcionalno matematičkom podrškom upravljačkih uređjaja;

4.3. Garantovano i optimalno po kvalitetu i periodičnosti-podmazivanje kontaktnih površina u celini sa pouzdanom zaštitom od prljanja;

4.4. Racionalni režim eksploatacije koji zavisi od organizacije opsluživanja modula.

5. NIVO PRIPREMLJENOSTI UGRADBENIH GRUPA ZA RAD U AUTOMATSKOM REŽIMU

5.1. Postojanje neophodnih uređjaja na obradnom centru i funkcionalnih mogućnosti u sistemu upravljanja;

5.2. Kapacitet magacina alata i bafera za obradke.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani neki od razloga za uvođenje i primenu CNC mašina za obradu drveta. Osim navedenih razloga, u prilogu preporuci za uvođenje ovih mašina sigurno treba navesti i razlog koji se odnosi na mogućnosti dalje automatizacije proizvodnih pogona, čime oni prerastaju u fleksibilne ćelije, linije i sisteme. Tako se postavljaju osnove za razvoj fleksibilne automatizovane proizvodnje. Ovi sistemi omogućavaju proizvodnju različitih, a po konstrukciji veoma složenih proizvoda, u malim serijama, a da pri tome zadrži visok nivo produktivnosti. Zbog toga se očekuje dalji razvoj CNC mašina za obradu drveta, a samim tim i kompletnih fleksibilnih tehnoloških sistema u drvenoj industriji, a posebno u proizvodnji nameštaja.

5. LITERATURA

/1/ dr Pilipović I., Gemaljević M.: Izbor opreme, mašina i postrojenja za industriju prerade drveta- Mogućnosti Lola korporacije, Studija izvodljivosti, Interni projekat Lola Instituta, Beograd, 1996

/2/ Skakić D.: Savremene tehnologije u proizvodnji nameštaja i građevinske stolarije, Drvarski glasnik 15-16, str. 46-50, Beograd, 1995

/3/ Materijali raznih proizvođača mašina za drvo.

CNC FOR WOOD WORKING MACHINES, YES OR NO?

ABSTRACT

Lola Corporation has in its market oriented development orientation has decided to develop wood working machines. Classic machines are usually found on the market, but on the world market CNC machines are popular more and more, because it is possible to automate the work process and obtain better productivity. The paper discusses basic differences between the classic and CNC machines, and reasons for the usage of CNC machines for wood working, with the accent on the civil engineering industry and furniture industry.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M. Glavonjić, D. Milutinović*

NOVI KINEMATIČKI PODSISTEM MAŠINE ALATKE

Rezime

Razmatran je kinematički podsistem mašine alatke na bazi Stjuartovog mehanizma. Pokazani su detalji kinematičke analize na primeru linearne interpolacije kao i obliku obratka koji se teorijski može obraditi mašinom zadate konfiguracije i gabarita.

Cljučne reči: Stjuartov mehanizam, kinematički podsistem mašine alatke, virtualnost osa

1. UVOD

Incubacija mašine alatke sa Stjuartovim mehanizmom trajala je oko trideset godina. U vreme Stjuartovog predlaganja da njegov paralelni mehanizam bude ugrađen u mašinu alatku bilo je pokušaja da se s tim mehanizmom sagradi i mašina za ispitivanje pneumatika [1]. Prve mašine su napravljene 1994. godine. Njima je uspostavljen sistem mašine alatke sa sledećim osobinama:

- kinematički podsistem bez tradicionalnog sklopa klizača i vodjice, pa tako i elemenata opterećenih na savijanje;
- virtualnost osa mašine u odnosu na geometriju obratka čak i u jednoosnoj, dvoosnoj i troosnoj obradi;
- mogućnost instalisanja bez temelja,
- izrazita brzohodnost u odnosu na tradicionalne pogone i prenosnike mašina alatki,
- neprekidnost izračunavanja i koordinacije po svih šest osa u toku rada mašine,
- visoka krutost,
- visoka tačnost,
- malo prigušenje,
- mogućnost obrade rezanjem raznim metodima,
- neophodnost simbioze mašine alatke i računara itd.

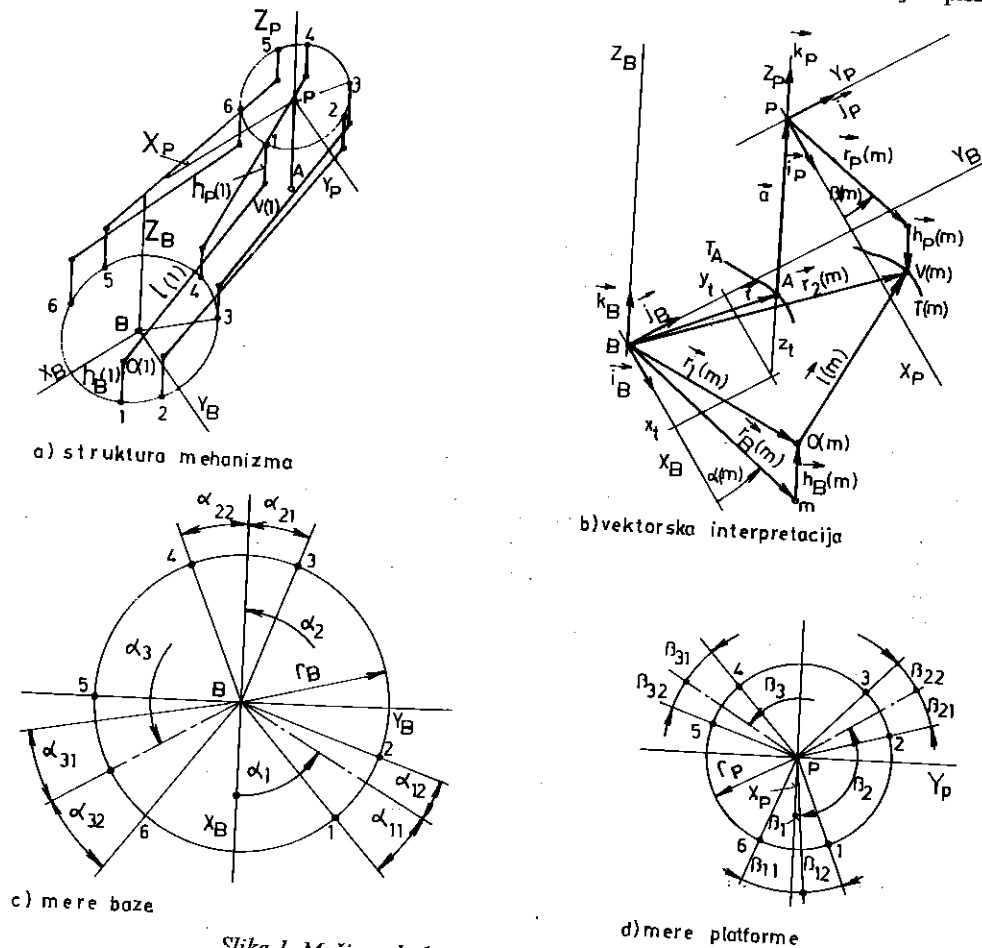
Ovde se razmatraju detalji o kinematici Stjuartovog mehanizma, ugrađenog u mašinu alatku i to na primeru linearne interpolacije između dve tačke radnog prostora kao i o obliku obratka koji se teorijski može obraditi mašinom zadate konfiguracije i gabarita.

2. VIRTUELNOST OSA MAŠINE ALATKE SA STJUARTOVIM MEHANIZMOM

Ovaj mehanizam je paralelni i ima šest osa kojima se menjaju dužine spojki I(1)-I(6), slika 1a. Te ose se ne iskazuju i na obratku u procesu obrade. Potrebno je njihovo slaganje da bi se

* Prof. dr Miloš Glavonjić, Prof. dr Dragan Milutinović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 27. marta 80, 11000 Beograd

alatom u odnosu na obradak dobilo neko kretanje kojim se prati geometrija obratka, obično u pravouglom koordinatnom sistemu. Otuda se i izvodi stav o virtuelnosti osa mašine alatke sa Stjuartovim mehanizmom: ta prividnost osa se odnosi na uporednost kinematike mehanizma i kinematike mašine u odnosu na obradak, kojom mu se formira geometrija. Time se geometrija obratka ne može iskoristiti za programiranje mašine za njegovu obradu bez naknadnog preračunavanja na skup šest osa van koordinatnog sistema u kom je opisan obradak i obratno.



Slika 1. Mašina alatka sa Stjuartovim mehanizmom

Za nepokretnu bazu mehanizma vezan je apsolutni koordinatni sistem $B(X_B, Y_B, Z_B)$. U njemu su podnožja šest baznih zglobova, svaki visine $h_B(m)$, $m=1,2,\dots,6$. Pokretna platforma ima koordinatni sistem $P(X_P, Y_P, Z_P)$, koji je paralelan apsolutnom u nultom položaju mehanizma. Na platformi je šest oslonaca gornjih zglobova, svaki dužine $h_P(m)$, $m=1,2,\dots,6$. Alat sa vretenom je duž AP . Mehanizam je aktivan kada mu se menjaju dužine spojki (nogu) $l(m)$, $m=1,2,\dots,6$. Raspored zglobova na bazi pokazan je na slici 1.c, a na platformi na slici 1.d. Izračunavanja su vršena za uobičajene položaje mehanizma tako da singulariteti ovde nisu razmatrani.

3. KINEMATIKA VRHOVA OSA MEHANIZMA

Osnove $O(m)$, $m=1,2,\dots,6$ su nepokretne tačke spojki, a vrhovi $V(m)$, $m=1,2,\dots,6$ se mogu smatrati materijalnim tačkama koje imaju svoje trajektorije $T(m)$, $m=1,2,\dots,6$, kao na slici 1.b. Pomoću tih trajektorija ostvaruje se i trajektorija alata A (T_A) obrnutim izračunavanjem: za zadatu trajektoriju T_A inverznom kinematikom se izračunavaju dužine spojki $l(m)$, a posledica su i trajektorije $T(m)$, uvažavajući i dopunske uslove za platformu P i alat A (ugao A prema normali na obradenu površ obratka, ili osu Z_B , ugao ose X_P prema osi X_B ili neki drugi uslov, koji ovaj mehanizam prilagođava troosnoj ili petoosnoj obradi glodanjem ili nekom drugom metodu). Rešavanje tog inverznog kinematičkog problema za ovaj mehanizam je lako [4] i ovde se ne razmatra. Umesto toga se analiziraju brzine i ubrzanja tačaka $V(m)$ i to samo na primeru linearne interpolacije od početne tačke $S(x_S, y_S, z_S)$ do krajnje $K(x_K, y_K, z_K)$, sve u odnosu na apsolutni koordinatni sistem. Hodovi po osama obratka su $\Delta x = x_K - x_S$; $\Delta y = y_K - y_S$; $\Delta z = z_K - z_S$. U toj interpolaciji ubrzanje vrhova $V(m)$ je nula pa se analiza odnosi na dužine spojki i brzine vrhova, slika 1.b. Trajektorije $T(m)$ su hodografi vektora $\vec{l}(m)$, kojima je početak u $O(m)$, a vrh u $V(m)$. On je razlika vektora $\vec{r}_2(m)$ i $\vec{r}_1(m)$, od čega je prvi promenljiv, a drugi konstantni, jer su počeci $O(m)$ nepokretni. Obrada je ovde troosna sa alatom paralelnim osi Z_B ($\vec{a} \parallel \vec{k}_B$) i paralelnim osama koordinatnih sistema u B i P ($\vec{i}_B \parallel \vec{i}_P$ itd.). Neki od polaznih podataka za izračunavanja, na primeru spojke 1 sa slike 1. su: $\alpha(1) = \alpha_1 - \alpha_{11}$; $\beta(1) = \beta_1 + \beta_{12}$; $\vec{r}_B(1) = r_B \cos \alpha(1) \vec{i}_B + r_B \sin \alpha(1) \vec{j}_B$; $\vec{h}_B(1) = h_B(1) \vec{k}_B$; $\vec{r} = (x_S + t\Delta x) \vec{i}_B + (y_S + t\Delta y) \vec{j}_B + (z_S + t\Delta z) \vec{k}_B$; gde je $t \in [0,1]$ parametar izračunavanja za linearnu interpolaciju od S do K , ekvivalentan vremenu; $\vec{a} = l_A \vec{k}_B$, gde je l_A dužina alata, pod čime se podrazumeva položaj vrha A u odnosu na P ; $\vec{r}_P(1) = r_P \cos \beta(1) \vec{i}_B + r_P \sin \beta(1) \vec{j}_B$; $\vec{h}_P(1) = -h_P(1) \vec{k}_B$. Tako je $\vec{r}_1(1) = \vec{r}_B(1) + \vec{h}_B(1)$ i $\vec{r}_2(1) = \vec{r} + \vec{a} + \vec{r}_P(1) + \vec{h}_P(1)$. Ukupna brzina vrha $V(m)$ po trajektoriji $T(m)$ je $\vec{v}(m) = \dot{x}(m) \vec{i}_B + \dot{y}(m) \vec{j}_B + \dot{z}(m) \vec{k}_B$, ali ima dve komponente (radijalnu \vec{v}_r i tangentsku \vec{v}_t) [5,6]. Radijalna brzina je radna brzina ose spojke $l(m)$, kojom joj se menja dužina i ona je važna za njen servosistem. Ovde su $x(m)$, $y(m)$, $z(m)$ koordinate vrha $V(m)$ u odnosu na početak $O(m)$ spojke $l(m)$ u apsolutnom koordinatnom sistemu. Tada je $\dot{x}(m)$ izvod po parametru t (i po vremenu) koordinate $x(m)$ itd. U ovom slučaju je:

$$x(m) = x_S + r_P \cos \beta(m) - r_B \cos \alpha(m) + \Delta x t$$

$$y(m) = y_S + r_P \sin \beta(m) - r_B \sin \alpha(m) + \Delta y t$$

$$z(m) = z_S + l_A - h_P(m) - h_B(m) + \Delta z t$$

$m=1,2,3,4,5,6$.

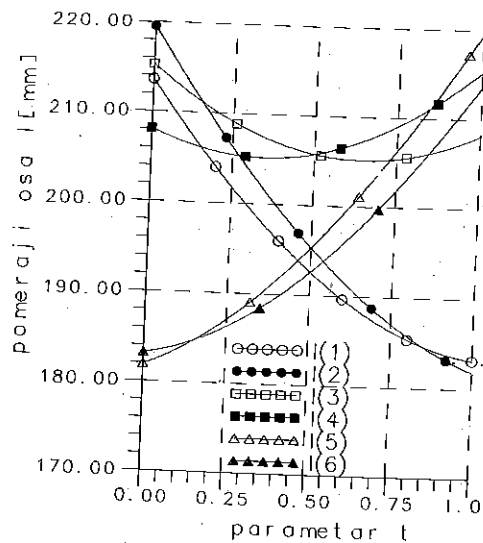
Radijalna brzina je $\vec{v}_r(m) = v_0(m)(x(m) \vec{i}_B + y(m) \vec{j}_B + z(m) \vec{k}_B)$, gde je

$$v_0(m) = \left[(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) / (x^2 + y^2 + z^2) \right](m). \text{ Ovde je posebno } \dot{x}(m) = \Delta x \text{ itd.}$$

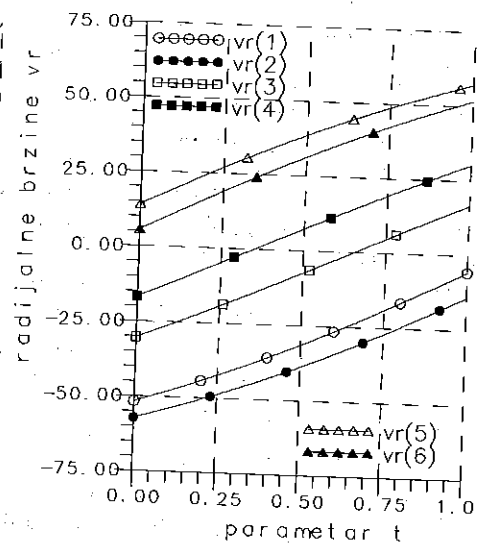
Tangentska brzina je $\vec{v}_t(m) = (\Delta x - v_0(m)x(m)) \vec{i}_B + (\Delta y - v_0(m)y(m)) \vec{j}_B + (\Delta z - v_0(m)z(m)) \vec{k}_B$. To je isto sa iskazom $\vec{v}_t(m) = \vec{v}(m) - \vec{v}_r(m)$. Primer za ilustraciju ovog računa: linearna interpolacija samo po osi Y_B između tačaka $S(20;-50;150)$ i $K(20;50;150)$; obrada je troosna, alat je paralelan osi Z_B ; koordinatni sistem u P se ne zakreće u odnosu na sistem u B ; $\alpha_1=60^\circ$; $\alpha_2=180^\circ$; $\alpha_3=300^\circ$; $\alpha_{11}=\alpha_{12}=\alpha_{21}=\alpha_{22}=\alpha_{31}=\alpha_{32}=25^\circ$; $\beta_1=0^\circ$; $\beta_2=120^\circ$; $\beta_3=240^\circ$; $\beta_{11}=\beta_{12}=\beta_{21}=\beta_{22}=\beta_{31}=\beta_{32}=20^\circ$; $r_B=150\text{mm}$; $r_P=75\text{mm}$; $h_B(m)=10\text{mm}$, $h_P(m)=10\text{mm}$, $m=1,2,\dots,6$; $l_A=50\text{mm}$. Na troosnoj mašini za ovaj slučaj bi bilo potrebno kretanje samo njene ose Y za potrebnih $\Delta y=100\text{mm}$. Ovde se to postiže kretanjem svih šest osa mehanizma po zakonima pokazanim na slici 2. Po tim osama interpolacija očigledno nije linearna, ali je sačuvana

izvesna simetrija kakve ima i u geometriji mehanizma i potrebnoj putanji T_A na obratku u odnosu na mehanizam:

- par osa 1 i 2 simetričan je paru osa 5 i 6 (kako jedan par počinje interpolaciju tako je drugi završava),
- ose 3 i 4 su simetrične same medju sobom.



Slika 2. Pomeraji osa mehanizma za brojni primer linearne interpolacije

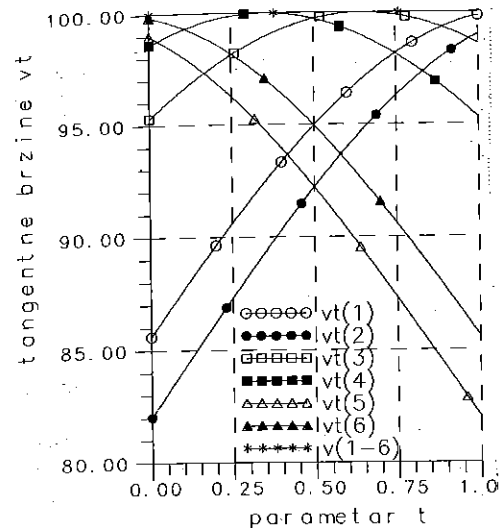


Slika 3. Brzina osa mehanizma za brojni primer linearne interpolacije

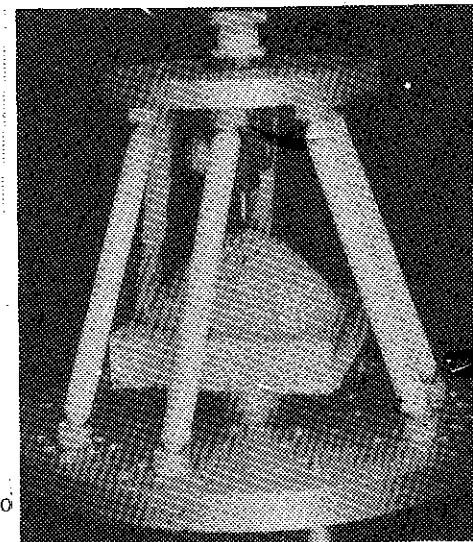
Na pola puta izmedju S i K (za $t=0,5$; $x_f=x_s=20\text{mm}$; $y_f=0$; $z_f=z_s=150\text{mm}$, odnosno, za dostignutu tačku (20;0;150) na T_A pomeraji po simetričnim osama su jednaki ($l(1)=l(6)$; $l(2)=l(5)$; $l(3)=l(4)$).

Brzine svih šest osa mehanizma su radijalne brzine $v_r(m)$ vrhova $V(m)$, $m=1,2,\dots,6$. Za ovaj slučaj se sa parametrom t menjaju kako je pokazano na slici 3. Na osama 3 i 4 mehanizma, radijalne brzine menjaju znak. Ostale ose imaju ili samo pozitivne radijalne brzine (5 i 6), ili samo negativne (1 i 2). To znači da su prve dve prošle deo svoje putanje na kome se izdužuju. Ta dva para imaju i vidnu simetriju dijagrama brzine v_r (kako par(1,2) počinje interpolaciju, tako je par (5,6) završava) itd.

Tangentne brzine su upravne na pravce spojki i posledice su kretanja i ostalih osa. Za ovu interpolaciju tangentne brzine se sa parametrom t menjaju kao na slici 4. Tu je pokazan i dijagram ukupne brzine vrha $V(m)$, $m=1,2,\dots,6$ svake od spojki zato što oni imaju istovetno kretanje kao i vrh A alata u odnosu na obradak od S do K. Ta ukupna brzina je jednaka potrebnom hodu alata u odnosu na obradak (100), jer se t povećava od 0 do 1. I tu se mogu uočiti izvesne simetrije tih dijagrama (para (1,2) u odnosu na par osa(5,6), na primer), ali i provera računa ($v_t=v$ kada je $v_r=0$, što se dešava na osama 3 i 4). Pokazuje se i da je $v = (v_r^2 + v_t^2)^{0,5}$ za sve ose mehanizma, bilo da je v_r pozitivno ili negativno itd. Kretanje vrhova V po njihovim putanjama u ukupnom ima konstantnu brzinu, bez ubrzanja, iako bi se moglo zaključiti da nije tako posmatranjem pojedinih komponenta te brzine.



Slika 4. Tangentne brzine vrhova za brojni primer linearne interpolacije



Slika 5. Model mašine sa Stjuartovim mehanizmom

4. OBRADAK U RADNOM PROSTORU JEDNOG MODELA MAŠINE

Ne postavlja se problem radnog prostora Stjuartovog mehanizma, jer bi to značilo da uporedo treba računati više uslova: granične dužine spojki, granične uglove spojki u odnosu na bazu i platformu, kolizije spojki, platforme i nosača alata sa ostatkom omotača radnog prostora, granični položaji elemenata u zglobovima itd. Nerešivost direktnog kinematičkog problema ovakvog Stjuartovog mehanizma (slika 1.) uslovljava da se omotač radnog prostora određuje posredno: postupnim izračunavanjem i probanjem na osnovu rešavanja inverznog kinematičkog problema. U vezi s tim se pristupilo izradi modela mašine alatke sa Stjuartovim mehanizmom radi verifikacije raznih izračunavanja. Za mere mehanizma iz primera u tački 3. uzastopnim izračunavanjem su vršene probe dostupnosti tačaka u radnom prostoru modela vrhom A alata sa dopunskim uslovima u odnosu na dužine spojki i nagibe spojki prema osnovi i platformi.

Na slici 5. pokazan je model mašine sa sledećim detaljima:

- na platformi je postavljen i model dvoosne glave tako da model ima osam stepeni pokretljivosti, od čega se dva na glavi mogu koristiti za doseganje teže dostupnih delova radnog prostora,
- na bazi je postavljen model gornjeg dela jednog omotača obratka uparenog sa alatom bruto dužine od 100mm sa dvoosnom glavom u nultom položaju,
- zglobovi u O i V napravljeni su kao sferni za ovaj slučaj, a za model u celini biće moguće proizvoljno kombinovanje sfernog i Kardanovog na jednoj spojki,
- u bazi i platformi su napravljeni otvori za razne simetrične i nesimetrične rasporede osnova i vrhova spojki [4].

Oblikom omotača obratka inicira se zaključak da je na ovoj mašini obrada laka na delovima pločastog oblika, dakle i na alatima raznih namena.

5. ZAKLJUČAK

Šestoosnim Stjuartovim paralelnim mehanizmom i jednom dvoosnom glavom za nošenje alata u strukturi mašine alatke čini je upotrebljivom kada se u domenu tehnoloških sistema uspostavlja i ovi trendovi:

- gradnja mašina alatki kao procesora modela [7],
- redundantnost obradnog sistema u odnosu na potrebe izrade delova uključujući i kinenmatičku,
- brzohodnost pomoćnih kretanja,
- paralelnost i virtualnost osa mahanizma u odnosu na ose metoda obrade,
- simbioza mašine i računara za potrebna preračunavanja geometrije i kinematike obratka i mašine itd.

Ovde su inicirana dva pravca istraživanja: izračunavanja sa modeliranjem i sa eksperimentisanjem sa, za sada, fizičkim modelima mašina alatki sa paralelnim mehanizmom. Ovakva i slična istraživanja svakako su vršili i proizvođači prvih mašina alatki sa Stjuartovim mehanizmom [2,3], pa na osnovu njih i inovacione intuicije tržištu ponudili mašine alatke nove generacije sa podjednako velikim iskorakom i u upravljačkom podsistemu. Dalje kompletiranje analize može da se odnosi na celovitost kinematičkog podsistema (uključujući i ubrzanja) i dinamiku mašine.

6. LITERATURA

- [1] Stewart D., A Platform with six degrees of freedom, Proc. Instn. Mech. Engrs 180 (1965/66)15, pp 371-386
- [2] Kieckhafer L., Sheldon P., McGuire M., A Revolutionary New Machining Center, EPE 19(1995)1-2, pp 44-46
- [3] Walter H., Neue Werkzeugmaschinen für besondere Fertigungsaufgaben, Werkstatt und Betrieb 126(1993)9 pp 511-514
- [4] Glavonjić M., Milutinović D., Stjuartov mehanizam u novoj generaciji obradnih centara i robota, 22. JUPITER Konferencija, Zbornik radova, Mašinski fakultet, Beograd, (1996), strane 3.53-3.62
- [5] Andjelić T., Radosavljević Lj., Mehanika, Pojmovi, pravila, obrasci, Tehnička knjiga, Beograd (1964)
- [6] Đerasimović B., Elementi diferencijalne geometrije u prostoru, Mašinski fakultet, Beograd (1964)
- [7] Kalajdžić M., Glavonjić M., Fleksibilni tehnološki sistem u Institutu za proizvodno mašinstvo i kompjuterski integrisane tehnologije, 22. JUPITER Konferencija, Zbornik radova, Mašinski fakultet, Beograd (1996), strane 1-8

NEW MACHINE TOOL KINEMATICS

Summary

The kinematics subsystem of machine tool based on Stewart mechanism is considered. Some details of kinematic analysis using linear interpolation are given. Also theoretical workpiece shape that could be machined with given machine tool is considered.

Key Words: Stewart mechanism, Machine tool kinematics subsystem, Axes virtuality.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

L.J. Janković, Z. Jugović¹

UPOREDNA ANALIZA TOPLOTNOG OPTEREĆENJA DVA RAZLIČITA ULEŽIŠTENJA GLAVNOG VRETENA ALATNE MAŠINE

Rezime

Pouzdan i miran rad glavnog vretena u svim uslovima eksploatacije podrazumeva visoku dinamičku krutost i toplotnu stabilnost podsistema vratilo-ležajevi. Visoku tačnost obrade daje ona vretena koja poseduju ležajeve kod kojih je dodir kotrljajućih elemenata po liniji. Kod ovih ležajeva neutralizacija uvek mogućih za ora ostvaruje se prednapreženjem t.j. kontinualnim opterećenjem na spoljašnji prsten, na ovaj način postiže se ravnomerno raspodela naprezanja na sve kotrljajuće konične elemente. U uslovima eksploatacije kod ovakvog uležištenja generiše se znatna količina toplote koja se uspešno odvodi iz zone kontakta uz pomoć sredstava za hlađenje i podmazivanje.

U ovom radu se proračunava količina stvorene toplote kao i potrebna količina ulja za postizanje stacionarnog toplotnog režima eksploatacije i shodno tome pokazuje koje je uležištenje celishodnije i bolje.

1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SISTEMA ULEŽIŠTENJA

Radno vreteno je centralni deo kinematskog i dinamičkog sistema alatne mašine od kojeg bitno zavisi:

- realizacija osnovnog kretanja u operacijama obrade, bilo da ga izvodi predmet obrade ili alat.
- pouzdan prenos svih sila, momenata i brzina koje su prisutne u procesu eksploatacije.

Pri projektovanju i izradi radnih vretena navedene zahteve treba u najvećoj mogućoj meri ispuniti. Mnogobrojni faktori koji presudno utiču na kvalitet uležištenja obuhvataju:

- karakter (impulsivnost ili kontinualnost), intezitet i smer svih sila (otpora obrade i inercionih) koje deluju na vratilo,
- okruženje ili uslove u kojima se odvija proces eksploatacije a odnose se na prašinu, vibracije, agresivnu sredinu i sl. i
- vrstu (tip, oblik, dimenzije, statičku i dinamičku nosivost) odabranog (usvojenog) ležaja.

Između mnogih izlaznih karakteristika i veličina iz sistema uležištenja, treba izdvojiti pojavu stvaranja znatnih količina toplote koja, uvek, negativno utiče na tačnost i kvalitet obrade u celini.

Ljubiša Janković, dipl. inž. D.O.O. Zastava-mašine, Kragujevac
Prof. Dr Zvonimir Jugović, Tehnički fakultet, Čačak,

2. OSNOVNI UTICAJNI PARAMETRI NA PROCES GENERISANJA TOPLOTE U PODSISTEMU ULEŽIŠTENJA GLAVNOG VRETENA

Količina generisane toplote u ležajevima glavnog vretena u uslovima eksploatacije determinisana je:

- neravnomernom raspodelom opterećenja na kotrljajuće elemente i prstenove,
- geometrijom ležaja, koja se definiše veličinom "G", pri čisto aksijalnom opterećenju otpor pri kotrljanju proporcionalan je faktoru "G" geometrije ležaja. Od dva ležaja koja rade u istim radnim uslovima ležaj sa manjim "G" faktorom ima niži otpor pri kotrljanju,
- brojem obrtaja jednog od prstenova kao i brojem promena različitih brojeva obrtaja,
- veličinom prednapreznja i uskladenošću istog sa zonom opterećenja,
- tačnošću postavljanja pri montaži i mogućim iskošenjima usled preopterećenja i
- količinom, vistom i veličinom viskoziteta sredstva za podmazivanje.

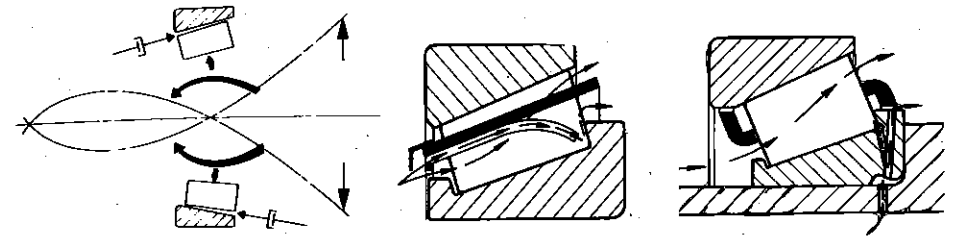
Kod većine *alatnih mašina* otpori obrade imaju *diskontinualan* karakter promene inteziteta. Razlozi ovome su mnogobrojni počev od: materijala predmeta obrade, prekidnog rezanja, ulazak i izlazak zuba iz materijala, različit broj zuba u zahvatu, vibracije sistema mašina-alat-predmet obrade, netačnost pribora i mnogi drugi. Zbog prisutnih zazora, koji su posledica habanja, između kotrljajućih tela i prstenova raspored opterećenja je *neravnomern*. *Zona opterećenja* ležaja je u funkciji broja valjaka koji nose opterećenje, a ovaj broj zavisi od načina postavljanja ležaja. Pod *radijalnim* opterećenjem ležaj sa *nultim* zazorom može imati *zonu opterećenja* od 180°.

Kotrljajući ležajevi kod kojih je kontakt kotrljajućih elemenata po *liniji*, imaju oko 7 puta veću krutost od ležajeva kod kojih je kontakt u tački.



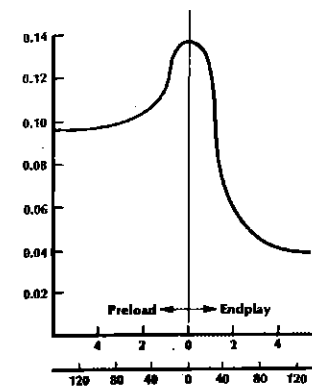
Slika 1. Primeri različitih zona opterećenja

Dobro prednapregnut ležaj aksijalno opterećen omogućuje maksimalnu krutost vratila, dakle, osnovni zadatak prednapreznja je umanjeње radijalnih zazora tako da ležaj u stvarnim uslovima eksploatacije pri punom opterećenju ima radni zazor ravan nuli (slika 1). Vibraciona kretanja (slika 2) u samom ležaju, ukoliko se poklope sa brojem promena spoljašnjeg opterećenja povećaće amplitudu oscilovanja ose vratila. Ukoliko na vratilu postoji još i prepust u odnosu na ležaj odstupanje ose će se znatno povećati. Oscilovanju valjaka unutar konusnih prstenova suprostavља se mazivo čija prigušna sposobnost (slika 2) stvara kontra moment koji se suprostavља pobudnom momentu. Razvoj toplote (slika 3), počinje usled trenja između dodirnih površina valjčića sa unutrašnjim i spoljašnjim prstenom i istovremenim čeonim dodirom valjčića sa unutrašnjim prstenom koji je najčešće pokretan. Kako u ovoj drugoj kontaktnoj zoni skoro da i nema ulja, prisutno je trenje klizanja. Da bi se ono ublažilo potrebna je dodatna količina ulja sa većim pritiskom. Zbirno povećana količina povećava sada hidraulički otpor trenja i otpor trenja kotrljanja u prvoj zoni (po izvodnicama konusa valjčića i prstenova).

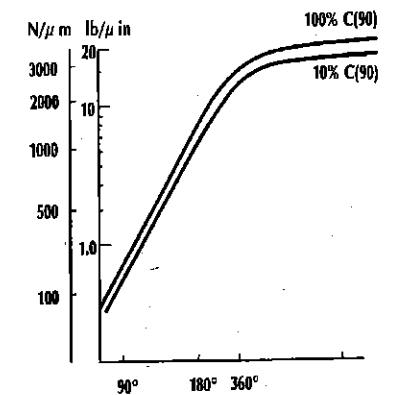


Slika 2. Vibraciono kretanje unutar ležaja Slika 3. Tok sredstva za podmazivanje u samom ležaju

Koeficijent trenja (slika 4) ima maksimalnu vrednost kada je prednapreznja nulta, tj. samo onda kada su zazoru poništeni. Kod ležaja sa zazorom vrednost krutosti opada sa smanjenjem zone opterećenja (slika 5).



Slika 4. Zavisnost koeficijenta trenja od stepena predopterećenja ležaja



Slika 5. Uticaj zone opterećenja ležaja na radijalnu krutost vratila

Povećanjem prednapreznja koeficijent trenja se blago smanjuje i dalje će imati skoro konstantnu vrednost. Kako ovo objasniti? Jednostavno. Povećanjem sile pritezanja poboljšava se ravnomernost raspodele opterećenja po valjčićima, povećava krutost vratila što sa adekvatnom temperaturom, količinom i protokom sredstva za podmazivanje omogućava skoro stacionaran dinamičko-toplotni režim rada.

3. REZULTATI ANALIZE I ISPITIVANJA

Prema [1] količina stvorene toplote u jednom ležaju može se izračunati empiriskom jednačinom:

$$Q = k G n^{1.5} \mu^{0.5} Fe^{0.33} \quad (1)$$

gde su: - Q (w) količina generisane toplote,

- k konverzionna konstanta, koja u SI sistemu jedinica ima vrednost $k = 1,71 \cdot 10^{-6}$
- n (o/min) broj obrtaja jednog od prstenova u ležaju,
- μ (CP) dinamička viskoznost ulja sa kojim se vrši podmazivanje ležaja,
- Fe (daN) ekvivalentno opterećenje ležaja i
- G faktor geometrije ležaja, veličina koja se menja za svaki ležaj ponaosob.

Za rad u stacionarnom ili približno stacionarnom režimu obrade veličine: G, n, k i Fe se ne menjaju tj. imaju konstantne vrednosti. Obzirom da analiziramo vreteno mašine za duboko bušenje koje je, zbog prirode procesa obrade dubokih otvora, šuplje jer samo kroz njega može da prođe SHP (sredstvo za hlađenje i podmazivanje) koje ponekad ima temperaturu i do 65°C , sasvim je jasno da će se menjati veličina μ tj. dinamička viskoznost sredstva za podmazivanje se menja sa promenom temperature. Porastom temperature smanjuje se viskoznost i obrnuto tj. smanjenjem temperature povećava se viskoznost. Na radno vreteno dvovretene dubinske bušilice ugrađen je ležaj HM803149 - HM803110 sa sledećim karakteristikama: $d=44,450\text{mm}$; $D=88,900\text{mm}$; $B=30,162\text{mm}$ i $G=30,6$. Režim obrade na mašini obuhvata:

$n_1 = 5000$ (o/min) i $n_2 = 2500$ (o/min) brojevi obrtaja glavnog vretena-alata,

$Fa_1 = 500$ (daN) i $Fa_2 = 1000$ (daN), sile prodiranja alata u materijal,

$Q = 60^{\circ}\text{C}$ temperatura ulja koje protiče kroz vratilo sa ležajevima i

$\mu = 4,5^{\circ}\text{E}$ na 50°C relativna viskoznost ulja sa kojim se vrši podmazivanje ležajeva.

Izračunate vrednosti za μ i Q unosimo u tabelu u kojoj su date u funkciji radne temperature i sile.

Tabela 1.

T ($^{\circ}\text{C}$)	$n_1 = 5000$ (o/min); $Fa_1 = 500$ (daN)						$n_2 = 2000$ (o/min); $Fa_2 = 2000$ (daN)					
	30	40	50	60	70	80	30	40	50	60	70	80
μ (CP)	76,5	45	31	20	14,5	11	76,5	45	31	20	14,5	11
Q (W)	1284	985	817	657	560	487	572	439	364	292,5	249	217

Analizirajući tabelu 1 bez veće greške možemo zaključiti da brzina obrade ima mnogo veći uticaj na stvaranje toplote od opterećenja. Unoseći vrednosti iz tabela 1 u koordinatni sistem (Q, T) dobija se dijagram (slika 6) generisane toplote u ležajevima u funkciji temperature sredstva za podmazivanje. Promenom režima obrade tj. režima eksploatacije menjaju se: broj obrtaja radnog vretena, pritisak i protok SHP u zoni obrade, sile rezanja i prodiranja kao i veličina toplotnog opterećenja vretena. Međutim, za ležaj sa istom "G" konstantom rad u drugim uslovima eksploatacije daju druge vrednosti generisane toplote (tabela 1 i slika 6) Pri svemu ovome kvalitet sredstva za podmazivanje ostaje nepromenjen.

4. ODVOĐENJE TOPLOTE IZ ULEŽIŠTENJA PUTEM PRINUDNE CIRKULACIJE SREDSTVA ZA PODMAZIVANJE

U velikom, skoro, ogromnom broju radna vretena velike većine alatnih mašina ne menjaju svoj položaj u toku eksploatacije u odnosu na kućište. Izuzeci se uglavnom odnose na planetarne prenosnike i transportna sredstva. Savremene alatne mašine se u celosti podmazuju sistemima za centralno podmazivanje. Na ovaj način tj. podmazivanjem gotovo svu generisanu toplotu možemo odvesti iz zone stvaranja (iz ležišta) uljem. Količina toplote koja se generiše u ležištu a koju primi i odnese sa sobom ulje za 60 min rada može se definisati jednačinom (2):

$$3600 Q = q c \Delta t \quad (2)$$

u ovoj jednačini su:

- $c = 2,09 \cdot 10^{-3}$ (J/Kg K) - specifična toplota ulja,
- $t = (t_f - t_u)$ ($^{\circ}\text{C}$) - temperaturna razlika između:
- t_f - temperatura ulja na izlasku iz ležišta i
- t_u - temperatura ulja na ulasku u ležište
- q (Kg/h) - protok ulja.

Iz jednačine (2) potreban protok ulja se može definisati:

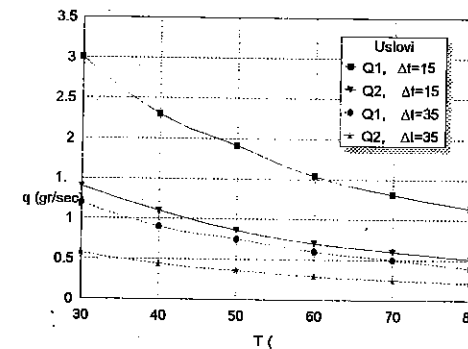
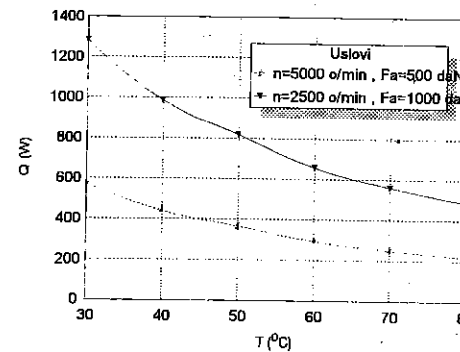
$$q = \frac{Q \cdot 3600}{2,09 \cdot 10^{-3} \Delta t} \cdot \frac{1000}{60} = \frac{Q}{28,7 \Delta t} \quad (\text{gr / sec}) \quad (2.1)$$

Promenom temperaturnog opsega Δt za svaku vrednost Q iz table 1 i formiranjem nove table 2. pregledno se pokazuju vrednosti traženog protoka. Ono što se odmah može zaključiti je neobhodnost primene hladnjaka za ulje, ili što se češće čini iz ekonomskih razloga, koriste se dvojni razervoari za ulje i to jedan u kućištu vretena a drugi na dovoljnoj udaljenosti od mesta generisanja toplote. Sredstvo za podmazivanje tj. ulje se u njima hladi prirodnim putem. Savremeni dozimi ventili u sistemima centralnog podmazivanja imaju mogućnost da u toku jednog radnih hoda klipa izbace 1 cm^3 ulja. Kombinacijom dva ili više dozatora rašava se problem protoka, tj. dovodenje potrebne količine ulja, ležaju, u jedinici vremena.

Tabela 2.

Količina toplote		Potreban protok q (gr/sec)							
Q_1 (W)	Q_2 (W)	$\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$		$\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$		$\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$		$\Delta t = 35^{\circ}\text{C}$	
		Q_1	Q_2	Q_1	Q_2	Q_1	Q_2	Q_1	Q_2
1284	572	3,003	1,338	2,252	1,003	1,802	0,802	1,287	0,573
985	439	2,314	1,026	1,728	0,770	1,382	0,616	0,987	0,440
817	364	1,911	0,851	1,433	0,638	1,146	0,510	0,819	0,364
657	292,5	1,536	0,684	1,152	0,513	0,922	0,410	0,658	0,293
560	249	1,3009	0,582	0,982	0,436	0,785	0,349	0,561	0,249
487	217	1,139	0,507	0,854	0,380	0,683	0,304	0,488	0,217

Vrednosti iz table 2 unesene u koordinatni sistem (q, T), (slika 7) pokazuju grafičku interpretaciju uticaja brojeva obrtaja i sile prodiranja na protok ulja. Jasno je sasvim, sa porastom brzine obrade i sile prodiranja za nepromenjen radnu temperaturu ulja za isti ležaj biće potreban veći protok što je i razumljivo.



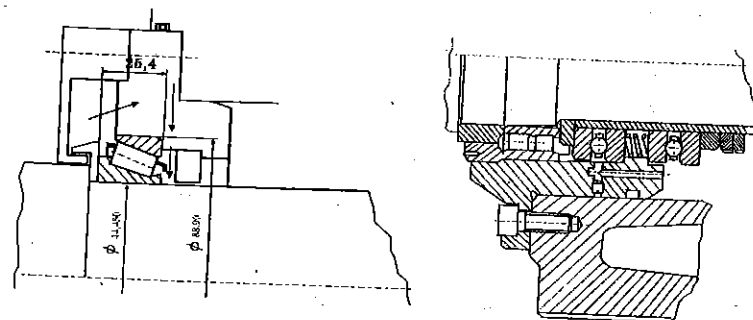
Slika 6. Zavisnost $Q = f(T)$

Slika 7. Zavisnost $q = f(T)$

5. ZAKLJUČAK

Upoređujući zapažanja i analize vršene u toku projektovanja, izrade i eksploatacije sa velikom sigurnošću možemo tvrditi sledeće:

- ugradnjom ležajeva sa dodirnom kotrljajućih elemenata po liniji, znatno se povećava krutost vretena a samim tim i tačnost obrade,
- troškovi izrade, montaže i održavanja vreteništa su sniženi za oko 30% u odnosu na uležištenja sa kuglicama,
- brže je i jednostavnije poništavanje zazora u ležajevima sa valjcima, ovo se jednostavno postiže kompezacionom navrtkom ili posebno pomerljivim prstenom i
- nije potreban dodatni sistem centralnog podmazivanja za ležajeve, sem novih većih dozatora i češćeg uključivanja sistema podmazivanja.



Slika 8. Uporedno uležištenje glavnog vratila alatne mašine sa tokom kretanja sredstava za podmazivanje.

LITERATURA

1. Katalozi TIMKEN, SKF, IKL, FAG, INA
2. Vitas, D., Trbojević, M., Mašinski elementi II, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
3. Krsmanović, V., Mitrović, R., Klizni i kotrljajni ležajevi, Građevinska knjiga, Beograd, 1974.
4. Stery, A. S. Tribology friction, Lubrication and wear,

PARALLEL ANALYSE OF TWO DIFFERENT BEARING HEAT LOADING OF TOOL MASHINE MAIN SPINDLE

Abstract

Safe and quite work of the main spindle within all exploitation conditions is caused by high dynamic stiffness and heat stability of sub-system shaft-bearing. The high treatment precision is reached by the spindles having the bearings with rolling elements contacted in line. Neutralization of possible clearances at these bearings is realised by initial tension, namely, by continuous loading on the outer ring. An uniform tension distribution on all rolling bevel element is reached in this way. Considerable quantity of heat is generated at these bearings within exploitation conditions; the heat is successfully outlet from the contact zone with the help of cooling and lubrication agents. In, this work the quantity of generated heat as well as the quantity of oil needed for realizing of stationary exploitation heat regime are calculated indicating the better and more suitable bearings

SPM'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Lj.Lukić, M.Milojević, R.Albijanić, T.Pijevac, N.Radovanović¹

INTERDISCIPLINARNI PRISTUP ISTRAŽIVANJU I RAZVOJU U OBLASTI FLEKSIBILNE AUTOMATIZACIJE

Rezime

Flexibilna automatizacija kao oblast integracije mašinskih sistema, opreme i tehnologija sa računarsko upravljačkim sistemima i CIM rešenjima, predstavlja model najvišeg nivoa simultane interdisciplinarnosti istraživanja i razvoja u proizvodnom mašinstvu. Takav model realizuje se u LOLA Institutu i u radu se prezentira osnovni koncept. Posebno se prikazuju moderne metode i tehnike projektovanja proizvoda i tehnologija CAE/CAD/CAPP/CAM sistemi, rezultati u oblasti razvoja obradnih centara primenom koncepta modularnog projektovanja, sistemski pristup u proračunima i ispitivanjima, rezultati u razvoju specijalnih računarskih sistema za primenu u oblasti fleksibilne automatizacije, PLC kontrolera i CNC računara. U radu se prikazuju i neka realizovana rešenja u oblasti fleksibilne automatizacije sa karakterističnim primerima iz industrijske prakse LOLA Instituta.

INTERDISCIPLINARY APPROACH TO THE RESEARCH AND DEVELOPMENT IN FLEXIBLE AUTOMATION

Abstract

Flexible automation, as the area of integration of machine systems, equipment and technology with computer control systems and CIM solutions, represents a model of the highest level of simultaneous interdisciplinarity of research and development in production engineering. Such a model is implemented in the LOLA Institute and this paper describes its basic concept. Especially are stressed modern methods and techniques of designing products and technologies, CAE/CAD/CAPP/CAM systems, results in the area of developing machining centers via the concept of modular design, systems approach to calculations and testing, results in the development of special computer system for application in the domain of flexible automation, PLC controllers and CNC computers. Also, the paper presents some of the implemented solutions from the domain of flexible automation with characteristic applications from the industrial practice of LOLA Institute.

1. UVOD

Primena visokog nivoa znanja u stvaranju proizvoda predstavlja najsloženiji zadatak, bilo da se radi o tehničkim i funkcionalnim rešenjima konstrukcije proizvoda ili o optimalnim tehnološkim operacijama u svim fazama njegovog stvaranja.

¹ dr Ljubomir Lukić, dipl.ing.maš., viši naučni saradnik i direktor LOLA Instituta.
Prof.dr Mihailo Milojević, dipl.ing.maš., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Kraljevu i predsednik Privredne komore Jugoslavije.
mr Radomir Albijanić, dipl.ing.maš., pomoćnik direktora LOLA Instituta za mašinske sisteme i tehnologije.
Tomislav Pijevac, dipl.ing.maš., pomoćnik direktora LOLA Instituta za CIM sisteme.
Nela Radovanović, dipl.ing.el., pomoćnik direktora LOLA Instituta za računarsko upravljačke sisteme.

To se posebno iskazuje u oblasti fleksibilne automatizacije, gde se proizvodne tehnologije realizuju na programabilnim mašinama alatkama i robotskim sistemima visokog stepena fleksibilnosti, sa takvim radnim performansama koje obezbeđuju i visoku produktivnost u realizaciji najsloženijih tehnoloških zadataka. Oblast fleksibilne automatizacije bazira na integrisanju mašinskih sistema, elektronike, računarsko upravljačkih sistema, računarskih mreža i komunikacija informacionih i proizvodnih tehnologija. Interdisciplinarni pristup istraživanju i razvoju u svim oblastima tehničko tehnoloških disciplina je osnovna strategija za uspešnu realizaciju najsloženijih projekata u oblasti fleksibilne automatizacije.

Postavljen je strateški cilj da se inženjerska znanja iz oblasti mašinskog projektovanja koja su neophodna za konceptualno definisanje samih tehničkih rešenja, znanja iz oblasti teorije proračuna mašinskih konstrukcija, veštine u modeliranju i trodimenzionalnom dizajnu, dostignuća u razvoju sistemskog i aplikacionog softvera i iskustva u realizaciji računarskih mreža i komunikacija, integrišu u jedinstven FPS sistem koji je instalisan i praktično verifikovan u LOLA Institutu. Izvršen je transfer ovakvog konceptijskog FPS modela LOLA Instituta u industrijsku praksu LOLA Korporacije (sl.1), sa realizacijom FPS sistema za IMT Knjaževac sa integrisanih pet obradnih sistema, zatim u laboratoriski FPS sistem na Mašinskom fakultetu u Beogradu, kao i sa projektnim rešenjem za Mašinski fakultet u Podgorici. Istraživački projekti, moderne metode projektovanja i razvoja proizvoda baziraju na platformi CAD grafičkih stanica Hewlett Packard, serije HP340, CAD grafičkih stanica IBM Risc system 6000, serije 540 i 320, PS sistema i računara AS/400, sa softverskim paketima za CAD/CAM mašinsko projektovanje ME10, IDEAS, CADAM, CAEDS, CATIA i MAPICS/DB. Čelijski kontroler za upravljanje FPS sistemima razvijen je za operativne sisteme UNIX i AIX i implementiran na računarskim sistemima Hewlett Packard i IBM Risc system 6000.



Sl.1. Jedna od prvih konfiguracija fleksibilnih proizvodnih sistema Lole Ribara (robotski sistem u integraciji sa dva obradna sistema)

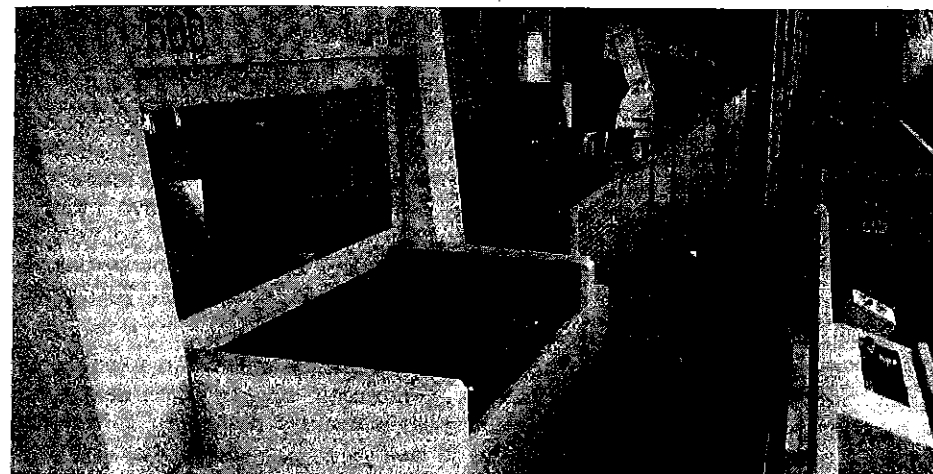
2. SISTEMI FLEKSIBILNE AUTOMATIZACIJE

Sistemi fleksibilne automatizacije za industriju prerade metala koji su predmet istraživanja u LOLA Institutu (sl.2), mogu se grupisati kao:

- fleksibilni proizvodni sistemi na bazi obradnih centara,
- fleksibilne transfer linije integrisane od fleksibilnih modula mašina alatki i
- robotski sistemi i robotske aplikacije u industriji uopšte i u automatizovanim proizvodnim linijama.

Kroz fleksibilnu automatizaciju ostvaruje se integracija mašinskih sistema, proizvodnih tehnologija i računarsko upravljačkih sistema. Računarsko upravljački sistemi pokrivaju dva nivoa upravljanja. Prvi nivo su

- PLC kontroleri koji ostvaruju upravljanje magacinima alata na obradnim centrima i upravljanje glavnim transportnim sistemom FPS-a,
- CNC upravljački sistemi sa DNC komunikacijom za upravljanje kretanjima po svim osama obradnih centara i upravljanje drugim funkcijama mašina alatki i
- robot kontroleri sa pratećim sistemskim softverom za upravljanje kretanjima robota i drugim funkcijama vezanim za simultani rad grupe robota u najsloženijim tehnološkim zahtevima.



Sl.2. Laboratorija za fleksibilnu automatizaciju LOLA Instituta

Drugi nivo predstavlja glavni upravljački sistem FPS-a, koji je nadređen po upravljačkim funkcijama PLC kontrolerima, CNC upravljačkim sistemima, robot kontrole rima i svim drugim upravljačkim sistemima na prvom nivou upravljanja. Glavni upravljački sistem (radno nazvan čelijski kontroler) je direktno povezan sa informacionim sistemom za upravljanje fabrikom kao poslovnim sistemom i svim njegovim segmentima. Posebno je značajan segment za nadzor i upravljanje realizacijom NC programa.

3. CAD/CAM SISTEMI U RAZVOJU ELEMENATA FLEKSIBILNE AUTOMATIZACIJE

Jedinstvena primena standarda u projektovanju, primena unificiranih sklopova, delova i internih preporuka u tehničkim rešenjima složenih mašinskih konstrukcija najefikasnije se ostvaruje primenom CAD sistema. Uvodjenje CAD/CAM-a u industrijsku primenu omogućuje implementaciju modernih metoda projektovanja i dizajna, sa ostvarenjem najvišeg stepena integracije modula, što garantuje maksimalnu pouzdanost tako projektovanih mašina alatki koje se integrišu u FPS i visoku tehnološku efikasnost u proizvodnji.

CAD/CAM softverski paketi (CATIA, CAEDS) omogućuju da se definišu geometrijski parametri još u fazi početnog projektovanja i dizajna, koji definišu površine delova za obradu u specijalnom formatu, i da oni posluže za generisanje NC koda kroz postprocesor generator za automatsku izradu CNC programa sa svim operacijama, zahvatima i putanjama alata za kompletnu obradu sa zadatima karakteristikama kvaliteta obradjene površine i ostvarenim tačnostima mera i oblika.

Obradni centri, specijalne mašine, mašine alatke i moduli mašina su proizvodi sa veoma složenim podsistemima (noseće strukture, podsistem glavnog i pomoćnih kretanja, obrtni stolovi, magacini alata sa izmenjivačima, paletni izmenjivači, merni sistemi, CNC upravljački sistemi, pneumatski i hidraulički sistemi sa sistemima za hlađenje i podmazivanje) za koje se u CAD/CAM projektovanju definišu interfunkcijske medjuzavisnosti i sprovodi optimizacija konstrukcije sa aspekta funkcionalnih performansi, mase, troškova, pouzdanosti, održavanja i kompatibilnosti u fleksibilne proizvodne sisteme ili automatske linije.

Proračuni čine jedinstvenu proširenu celinu sa CAD/CAM-om i mogu se nazvati CAE sistemima i predstavljaju baznu osnovu u razvoju novih proizvoda u referentnu podlogu za praktičnu verifikaciju u ispitivanjima realizovanih prototipova modula fleksibilne automatizacije. Metodama konačnih elemenata, primenom softverskih paketa CAEDS realizuju se najsloženiji proračuni vezani za najodgovornije delove robota, obradnih centara i mašina alatki, kao i module postrojenja fleksibilnih proizvodnih sistema.

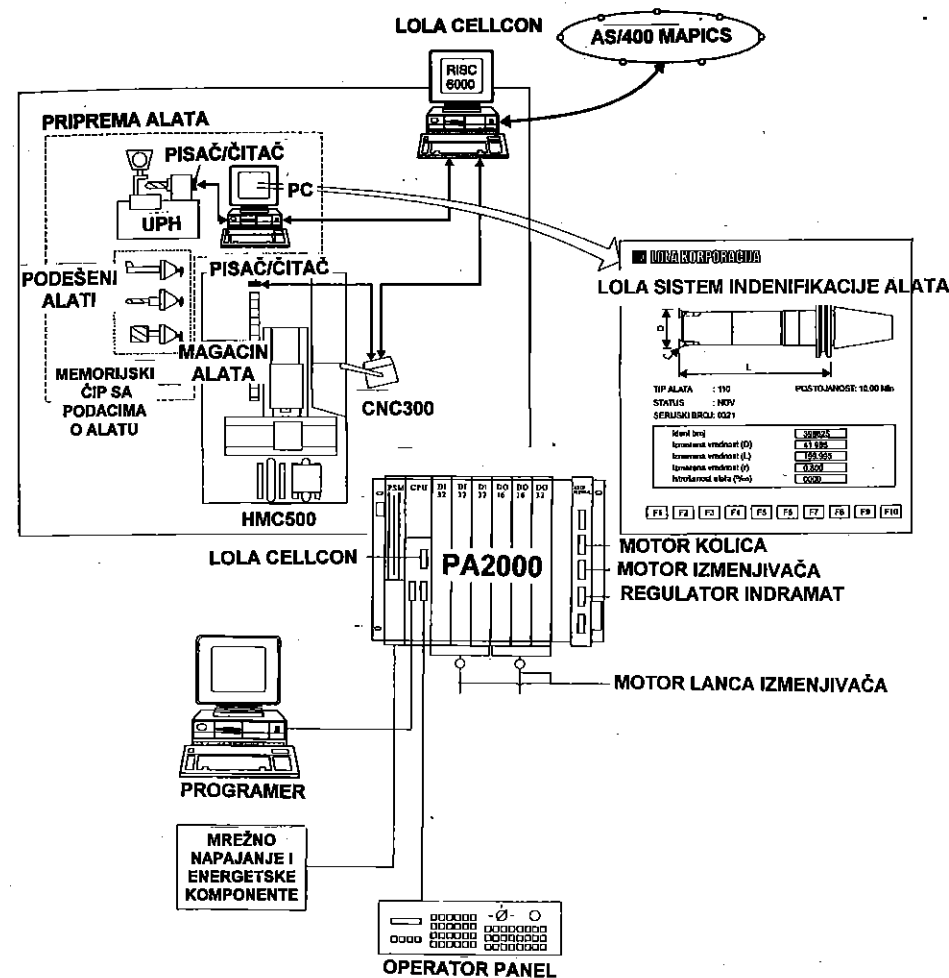
Definisanje optimalne tehnološke konfiguracije FPS-a sa analizom iskorišćenja mašina, alata i optimalnom tehnološkom dekompozicijom obrade grupe delova po NC programima ostvaruje se na CAD grafičkim stanicama primenom softverskih paketa za simulaciju. Za obradu asortimana delova u definisanim količinama u određenom vremenu kroz simulacione procedure optimizira se kapacitet, produktivnost i ekonomičnost proizvodnje u FPS-u.

4. RAČUNARSKO UPRAVLJAČKI SISTEMI U OBLASTI FLEKSIBILNE AUTOMATIZACIJE

Za upravljanje mašinskim sistemima koji zahtevaju kontrolu do 256 ulaza/izlaza, sa relativno komplikovanim korisničkim programima i komunikacionim interfejsima prema drugim upravljačkim sistemima LOLA Institut je razvio mini programabilni kontroler PA100a. Upravljanje relativno manjim objektima, distribuiranim sistemima daljinskog upravljanja, sa proširenim setom ladder instrukcija, korišćenjem funkcionalnih blokova i širokim izborom digitalnih i analognih U/I modula, sa

modularnim sistemom i radom u pojedinačnoj i mrežnoj konfiguraciji predstavlja značajan osnov za integraciju upravljačkih i mašinskih sistema u domenu fleksibilne automatizacije.

Za realizaciju složenijih zadataka upravljanja do 2000 U/I veličina, u oblasti mašinskih sistema može se koristiti programabilni kontroler PA2000, kao predstavnik nove generacije 32 bitnih industrijskih računara razvijenih u LOLA Institutu (sl.3). To je kontroler visokih performansi sa distribuiranom arhitekturom, širokim spektrom ulazno/izlaznih modula i velikom brzinom izvršavanja programa. Osnovni moduli ovog kontrolera su procesorski modul, modul napajanja i računarski rek.



Sl.3. Integracija PLC kontrolera u sistemu fleksibilne automatizacije

Standardna metodologija za programiranje PLC kontrolera bazira na softveru ISaGRAF, efikasnom generisanju aplikacija primenom jednog od pet jezika

definisanih po IEC 1131-3 standardu u Windows okruženju. Grafički editori omogućuju programiranje pomoću SFC dijagrama, FBD funkcionalnih blokova i LD ladder dijagrama.

Upravljanje obradnim centrima se realizuje savremenim CNC upravljačkim sistemima tipa LOLA 300CNC, a fleksibilnim modulima mašina alatki manjim upravljačkim sistemima LOLA 200CNC. LOLA 300CNC ostvaruje simultano upravljanje kretanjima sa servo modulima do 9 osa, sa grafičkim programiranjem i projektovanjem NC tehnologije po standardu ISO 6938 sa DNC komunikacionim modulom. LOLA 200CNC ostvaruje upravljanje fleksibilnim modulima mašina alatki do tri servo ose sa obradom 128 ulaznih digitalnih signala DNC komunikacijom za vezu sa nadređenim računarsko upravljačkim sistemom. Ovaj upravljački sistem ima osnovne režime rada i realizovan je na PC hardverskoj platformi.

Robot kontroleri upravljaju robotskim sistemima različitim konfiguracija. Omogućavaju kretanja alata robota po putanji koja se generiše na osnovu informacija sa senzora. Ova karakteristika je važna za robotske aplikacije u industriji prerade metala. Za programiranje robota razvijen je i L-IRL robotski jezik sa standardnim, geometrijskim i strukturnim tipovima podataka.

5. ZAKLJUČAK

Interdisciplinarnim pristupom istraživanju i razvoju u oblasti fleksibilne automatizacije, stvaraju se rezultati koji omogućuju realizaciju najsloženijih tehnoloških zadataka u industriji prerade metala. Isto tako stvaraju se podloge za razvoj mašinskih sistema i postrojenja na bazi integracije elektronike, mašinstva, hardvera, softvera, informacionih i proizvodnih tehnologija u širokoj industrijskoj i naučno istraživačkoj primeni. To su akceleratorne tehnologije, sistemi za primenu u vazduhoplovstvu, specijalni sistemi za potrebe namenske industrije i niz aplikacija u drugim oblastima.

6. LITERATURA

- [1] M.Milojević, Lj.Lukić, Modularno projektovanje, monografija, LOLA Institut, Beograd 1996.
- [2] Lukić,Lj.: Proizvodno mašinstvo - istraživačko razvojne aktivnosti u industrijskim uslovima, Uvodni referat 25. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije sa međunarodnim učešćem, Beograd (1994), str.39-67.
- [3] 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, Naučna konferencija sa međunarodnim učešćem "Mašinstvo za XXI vek", monografija, Novi Sad (1995),str.177-196.
- [4] Lukić,Lj.,Dragičević,P.,Pijevac,T.: Moderne metode i tehnike projektovanja proizvoda i tehnologija CAE/CAD/CAPP/CAM sistemi, Zbornik radova 22.JUPITER-konferencije, Beograd (1996), str. 6.13-6.21.



OPTIMIZACIJA OBRADE BAZNIH POVRŠINA SLOŽENIH NEROTACIONIH OBRADAKA

Mečanin V.,*
Slavković R.,
Savković M.,

REZIME

Obrada baznih površina obradaka a posebno složenih struktura, veoma je značajna za obradne procese koji se odvijaju na fleksibilnim obradnim sistemima. Od pravilnog izbora i obrade baznih površina zavise dimenzijska tačnost, principi međuoperacijskog i međumašinskog transporta, orijentacija obradaka pri obradi, otprema, skladištenje i slično. U radu se govori o mogućnosti razrešenju ovog problema.

1. UVODNE NAPOMENE

Pri obradi složenih struktura na fleksibilnim obradnim sistemima kao što su: obradni centri, fleksibilne tehnološke ćelije, transfer linije i slično, potrebno je razrešiti više problema. To su: izbor obradnog sistema, optimalna varijanta obradnog procesa, međumašinski i međuoperacijski transport obradaka, orijentacija obradaka u obradnom procesu, izbor baznih površina, obrada baznih površina, principi aktivne kontrole i slično.

Svaki od navedenih faktora, na određeni način utiče na rezultate obradnih procesa u pogledu tehnoloških i ekonomskih efekata i poželjno je da su locirani u prostor optimalnih rešenja. Jedan od važnijih faktora koji generišu obradne procese u osnovi su bazne površine obradaka. U našem slučaju radi se o složenim nerotacionim obradcima koji su karakteristični po visokom stepenu koncentracije postupaka obrade i operacijskih zahvata pri obradi.

To su: postolja mašina, kućišta prenosnika, blokovi motora, kućišta razvodnika i slične geometrijske i tehnološke složene strukture.

Pri razvoju fleksibilnih obradnih sistema, neophodna je analiza obradaka koji će se njima obradivati. Analiza treba da obuhvati:

- geometrijske karakteristike,
- tehnološke karakteristike,
- dimenzijsku tačnost i sl.

* Prof. dr Vučko Mečanin, Mašinski fakultet Kraljevo
Doc. dr Radomir Slavković, Tehnički fakultet Čačak
Mile Savković, dipl. inž., Mašinski fakultet Kraljevo.

** Rad je deo naučno istraživačkog projekta: Fleksibilni tehnološki sistemi i fleksibilna automatizacija u industriji prerade metala, koga finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

Ovakva analiza daje dovoljno informacija o obradcima, alatu i mašinama, na osnovu kojih će se izvršiti projektovanje i optimizacija obradnog procesa, izbor subjekta FOS-a i ostali podsistemi koji ga generišu.

U okviru ove analize izdvojicemo i razmotriti problem optimizacije obrade baznih površina složenih struktura kao što su armature, korpusni delovi, kućišta i slično. Do optimalnog razvoja FOS-a, prema [1] dolazi se:

- definisanjem spektara obradaka,
- optimizacijom subjekata sistema na računaru,
- projektovanjem tehnoloških procesa i
- definisajem nivoa upravljanja.

2. RAZREŠENJE PROBLEMA

Spektar obradaka koji će se obradivati na FOS-u ima izuzetan značaj sa stanovišta:

- veličine,
- stepena automatizacije,
- fleksibilnosti i slično.

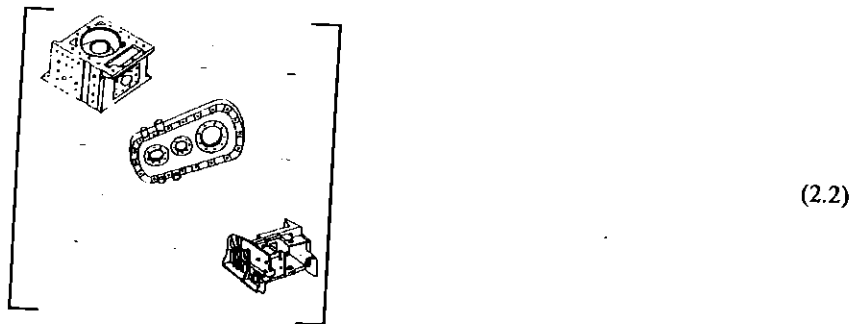
Karakteristike spektra obradaka ispoljavaju se kroz:

- konstruktivne osobine,
- tehnološke osobine,
- polazne oblike pripremljena i
- osobine materijala.

Ove karakteristike mogu se analizirati kroz matricu obradaka, koja prema [1], [2], [4], [5], ima oblik:

$$O = \begin{bmatrix} O_{11} & O_{12} & \dots & O_{1n} \\ O_{21} & O_{22} & \dots & O_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ O_{m1} & O_{m2} & \dots & O_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Matrica (2.1) predstavlja spektar karakterističnih obradaka koji će se na sistemu obradivati i treba da obezbedi sve potrebne podatke za analizu. Matrica prema [4], [5], za konkretan spektar obradaka imaće oblik:



(2.2)

Ona sadrži informacije karakterističnih obradaka, o graničnim veličinama, geometrijskim

i tehnološkim složenostima i baznim površinama. Matricu obradaka prate matrice baznih površina i matrice tehnoloških složenosti.

Za optimizaciju obrade baznih površina složenih struktura, matrica baznih površina definiše dimenzije i položaj baznih površina celog spektra obradaka, koje obradni sistem treba da formira na pripremlju. Zato je potrebno izvršiti analizu elemenata matrice obradaka kako bi se formirala matrica baznih površina.

Matrica baznih površina ima oblik:

$$B = [B_{kl}]_m^n = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1k} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2k} & \dots & B_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{l1} & B_{l2} & \dots & B_{lk} & \dots & B_{ln} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{m1} & B_{m2} & \dots & B_{mk} & \dots & B_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

gde je B_{11}, \dots, B_{mn} niz podmatrica a indeksi $l=1,2, \dots, m$ označavaju tipove obradaka, a $k=1,2, \dots, n$ označavaju vrstu obratka. Matrica B korespondira sa matricom obradaka. Podmatrice baznih površina sadrže:

$$B_{lk} = [b_{ji}^{lk}]_s^p = \begin{bmatrix} b_{11}^{lk} & b_{12}^{lk} & \dots & b_{1i}^{lk} & \dots & b_{1p}^{lk} \\ b_{21}^{lk} & b_{22}^{lk} & \dots & b_{2i}^{lk} & \dots & b_{2p}^{lk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{jl}^{lk} & b_{j2}^{lk} & \dots & b_{ji}^{lk} & \dots & b_{jn}^{lk} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{s1}^{lk} & b_{s2}^{lk} & \dots & b_{si}^{lk} & \dots & b_{sp}^{lk} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

gde je: b_{ji}^{lk} - ti parametar i -te bazne površine. Indeksi označavaju $i=1,2, \dots, p$ broj bazne površine a $j=1, 2, \dots, s$ parametar bazne površine (koordinate centra, prečnici baznih površina, dubine baznih površina).

Kod obrade složenih struktura problem definisanja mesta baznih površina je posebno izražen. To je u direktnoj funkciji stepena složenosti konture, dodataka za obradu, steznih pribora i slično. Zbog toga se isključuje obeležavanje centralnih osa, osa obradnih mesta i konture pripremljena, kao načina za definisanje baznih površina. U tom smislu se definiše pribor koji ima mogućnost finog podešavanja položaja obratka. Time se stvara mogućnost dovođenja pripremljena u položaj pravilne preraspodele dodataka za obradu po svim postupcima obrade i alatima u obradi. Postoji više načina baziranja obradaka. To su:

- postavljanje na tri uzajamno ortogonalne površine,
- postavljanje na dve uzajamno ortogonalne površine, i jedan otvor,
- na jednu površinu i dva otvora i
- na jednu površinu i tri otvora.

a funkcije ograničenja:

- Q₁: $V \cdot s^{0,4} \leq 18,99$
- Q₂: $V \cdot s^{0,8} \leq 155,47$
- Q₃: $s^{0,7} \leq 92,03$
- Q₄: $s^{2,0} \leq 7,76$
- Q₅: $V \leq 117$
- Q₆: $V \geq 13$
- Q₇: $s \leq 10$
- Q₈: $s \geq 0,00$

Ako želimo da vršimo razvoj pribora koji se koriste pri obradi baza na FOS-u potrebno je optimizirati obradni proces baznih površina. Model optimizacije formiraćemo prema [1], [2], [4], [5].

Za optimizaciju parametara obrade korišćen je metod kaznenih funkcija [1], [3], pri čemu su dobijene optimalne vrednosti režima rezanja pri obradi baznih površina i prikazane u tabeli 1.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu istraživanja u radu nameće se zaključak da bazne površine obradaka, a posebno složenih struktura imaju veoma veliki značaj i uticaj na: razvoj steznih pribora FOS-a, međumašinski i meduoperacijski transport, orijentaciju obradaka pri obradi, na tačnost i kvalitet obrade i na ekonomiku obradnih procesa. Radi toga, potrebna su dalja i opsežna istraživanja na ovom području.

4. LITERATURA

- [1] Mečanin V.: "Optimizacija obradnih procesa u mašogradnji", Mašinski fakultet, Kraljevo 1996.
- [2] Mečanin V.: "Alatne mašine sa numeričkim i kompjuterskim upravljanjem", Mašinski fakultet, Mostar, 1988.
- [3] Polak E.: "Computational methods in optimization", Academic Press, New York, London, 1971.
- [4] Mečanin V.: "Automatske proizvodne linije", Mašinski fakultet, Mostar, 1987.
- [5] Mečanin V., Milojević M.: "Iznalaženje optimalnog broja alata na FTS", Jupiter konferencija, Beograd, 1996.
- [6] Milojević S., Mečanin V., Dimitrijević S.: "Optimizacija obrade baznih površina složenih struktura", International scientific conference, HM '96, Kraljevo, 1996.
- [7] Stanić J., Nikolić D., Jovanović T., Gajović V.: "Mašinska obrada", Privredni pregled, Beograd, 1977.

SUMMARY

Machining of basic surfaces of working pieces especially of complex structures, is very important for machining which is performed at flexible machining systems. Dimensional accuracy, principle of intermediate operation as well as intermediate machine transport, orientation of working pieces at machining, shipment and storage depend on adequate shoise and machining of basic surfaces. This paper presents possibilities of solution of this problem.



Dr M. Mijanović

ANALIZA UPRAVLJAČKIH ZAHTJEVA KOD FPS-A

Rezime

Realizacija jednog fleksibilnog automatizovanog toka materijala, kao centralnog problema kod FPS-a, predstavlja korisniku i ponuđaču najveće probleme zbog velikog broja postojećih interface-a, kao i zbog velikog spektra radnih komada. Još uvijek nedostaju standardi za interface-e, veliki su troškovi za upravljački software i za radove na prilagođavanju kod izmjena i proširivanja sistema, ne postoje jednoobrazni interface-i čovjek-mašina itd. Često nije postignuto visoko iskorišćenje sistema zbog nedostajućih funkcija planiranja i strategija za slučaj smetnji, koje nisu dovoljno razrađene. Zbog svega ovoga neophodno je uraditi kvalitetnu analizu fleksibilnog proizvodnog sistema i zahtjeva koji se postavljaju pred upravljački sistem.

1 UVOD

Pri razvoju upravljačkog software-a široko primjenjivog za FPS, treba imati u vidu razvojne kriterijume koji proističu s jedne strane iz zahtjeva koji se sa strane jednog takvog software-a postavljaju pred programiranjem, a s druge strane iz analize upravljačkih zahtjeva nezavisno od različitih konfiguracija sistema.

2 ZAHTJEVI NADGLEDANJU PROCESA

Potreba za nadgledanjem automatizovanog procesa rezultira s jedne strane iz težnje da se preventivnim mjerama i predupredujućim staranjem izbjegn timer smetnje. Sa druge strane se pogodnim protiv-mjerama (strategijama izbjegavanja, djelovanjem opslužnog osoblja) mogu izbjeći posledične greške i veće štete na mašinama i radnim komadima. Dalje, redovno dobijanje podataka o smetnjama i njihova obrada, omogućava lokalizaciju i odstranjivanje uzroka grešaka.

2.1 Nadgledanje u toku procesa

Smetnje na sistemskim komponentama se u opštem slučaju najčešće dešavaju za vrijeme nekog radnog procesa (transportni ili obradni proces). Dobijanje radnih podataka i podataka sa mašina je korisno pomoćno sredstvo za povećanje iskorišćenja resursa i za upravljanje proizvodnjom uz pomoć analize stanja sistema. Smetnje, koje

*) Dr Marina Mijanović, docent, Mašinski fakultet u Podgorici

često nastaju u procesu proizvodnje i ne mogu se izbjeći, mogu ometi postavljeni proizvodni plan. Dobićanjem podataka koji se odnose na rad i na mašine se u proizvodnom upravljačkom računaru vodi uvijek aktuelna slika o stanju proizvodnje i stanju sistema.

Smetnje se mogu na osnovu njihovih uzroka i mogućnosti prepoznavanja podijeliti na sledeće smetnje:

a) Pogrešni početni uslovi:

Ispitivanjem početnih pretpostavki prije nekog radnog procesa može se izbjeći veliki dio grešaka koje se dešavaju tokom procesa i djelimično su posledica greške osoblja ili pogrešne funkcije na mašini tokom prethodne radne operacije. Ovdje spadaju npr. ispitivanje spremnosti mašine za rad ili identifikacija radnog komada prije operacije rukovanja. Posle odstranjenja greške zahvatom opslužnog osoblja ili - već prema greški - pomoću automatske strategije reagovanja u slučaju smetnji, najčešće se prekinuti proces može regularno nastaviti.

b) Ispad radnih stanica i mašinskih komponenti:

Tehnički otkaz elemenata je češće uzrok smetnji tokom nekog procesa kretanja. Otkaz se najčešće može prepoznati pomoću jednostavnih senzora. Mnoga upravljanja zato vode tokom radne operacije nadgledanje mašine, koje se brine za to da se isključe pogoni ako nastupe smetnje. Upravljanje na mašini, pored CNC, često uporedo ima i PA-upravljanje, koje je u stanju da isključi pogon u slučaju smetnji i o tome obavijesti upravljački računar, koji će dalje djelovati na odgovarajući način.

c) Smetnje u logičkom toku:

Ispitivanje logičkih uslova je neophodno, posebno kod transportnih operacija, koje zahtijevaju tokom procesa sinhronizaciju sa drugim komponentama. Uzroci logičkim smetnjama mogu biti pogrešno opsluživanje, greške u upravljačkom programu ili pogrešna funkcija neke periferne komponente.

d) Ispad sredstava rada:

Lom alata tokom obrade može za sobom povući naknadnu obradu radnog komada kao i znatne troškove popravke i nekorišćenja mašine i predstavlja poseban predmet istraživanja.

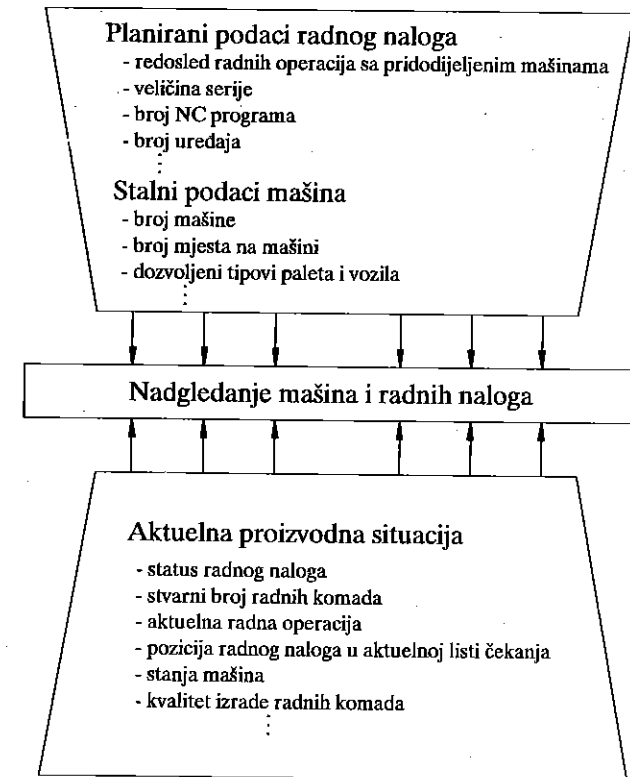
2.2 Nadgledanje i praćenje radnih naloga

Za ocjenu situacije radnih naloga tj. proizvodnje, treba da postoje saznanja o aktuelnoj proizvodnoj situaciji. Na sl.1. su prikazane informacije za praćenje i nadgledanje mašina i radnih naloga.

2.3 Obezbjedenje kvaliteta preko integracije uređaja za mjerenje radnih komada

Radi kontrole mjera, ali i radi ispitivanja hrapavosti površina (kontrola kvaliteta), radni komadi treba često da prođu posle obrade operaciju mjerenja. U sistem integrisano

nadgledanje radnih komada i alata se može odvijati kako unutar tako i izvan obradne mašine. Mjerenja unutar radnog prostora mašine idu na račun glavnog vremena obrade. Integracijom upravljanja mjerenjem u mašinsko upravljanje se ipak tok informacija djelimično pojednostavnjuje. Korekcionni podaci dobijeni iz mjerenja se mogu obraditi neposredno u mašinskom upravljanju, tako da ne moraju da prolaze kroz nadređeni računar. U naprednim fleksibilnim proizvodnim sistemima su za obezbjeđenje kvaliteta u tok procesa integrisane mjerne mašine sa višestrukim NC-upravljanjima. Pri tom je materijalno i informaciono-tehničko povezivanje mjernog uređaja predviđeno preko upravljačkog računara.



Sl.1 Podaci za praćenje radnih naloga

3 KOMUNIKACIJA SA PODREĐENOM RAVNI UPRAVLJANJA

3.1 Zahtjevi upravljanju uređajima

- Zahtjevi podređenim upravljanjima na uređajima se mogu formulirati kako slijedi:
1. Upravljanja moraju biti u stanju da samostalno izvode složene funkcije i cikluse.
 2. Upravljanja moraju imati interface-e preko kojih se funkcije mogu spolja (tj. od

strane upravljačkog računara) inicirati i programi u upravljanju pohraniti.

3. Preko interface-a treba biti omogućeno takođe i pozivanje informacija o toku procesa (npr. izvršenje neke funkcije), odnosno o stanju upravljanja i stanju komponente.

Ad 1.: Samostalnost upravljanja:

Za vrijeme odvijanja proizvodnje svaki proces se sastoji od više djelova, koji se izvode paralelno ili sekvencijalno, i koji se opet sastoje od manjih funkcija. Što su funkcije, koje neko upravljanje može samostalno da izvodi (tj. bez uticaja upravljačkog računara), složenije, to je manje opterećenje upravljačkog računara i sistema za prenos podataka. Za izvođenje jedne funkcije može, osim toga, biti aktivno više sistemskih komponenti, i u tom slučaju njihove akcije moraju biti međusobno usaglašene (primjer: snabdijevanje struga pomoću uređaja za rukovanje). Ako bi svim tim akcijama pojedinačno koordinirao upravljački računar, onda bi se teško moglo zamisliti manuelno izvođenje takvog procesa bez upravljačkog računara npr. u fazi testiranja. Direktnim međusobnim povezivanjem upravljanja u najnižoj ravni (CNC- ili PA-ravan) povećava se modularnost i bitno se skraćuje vrijeme reagovanja. Za samostalno izvođenje funkcija se stoga pretpostavlja komunikacija upravljanja na nekoj mašini i sa upravljanjima na perifernim uređajima.

Ad 2.: Udaljeno opsluživanje upravljanja:

Kod svih upravljanja integrisanih u neki proizvodni sistem treba da u automatskom radu programi mogu biti pohranjeni preko pogodnih interface-a (DNC-rad) i da se funkcije koje treba izvoditi mogu startovati. Kod upravljanja na mašinama i robotima se za ovo odomaćio naziv "DNC-interface". Informacija se strukturira blokovno na bazi znakovno-serijskog prenosa. Svaki blok (telegram) se sastoji iz više byte-ova i osiguran je preko protokola za prenos podataka od smetnji (šumova).

Ad 3.: Razmjena podataka preko DNC-interface-a:

Decentralizacija inteligencije, tj. samostalno izvođenje složenih funkcija od strane upravljanja na uređajima, donosi sobom osim prednosti:

- rasterećenje računara,
- izdvajanje vremenski kritičkih zadataka i
- - rasterećenje sistema za prenos podataka, i bitne mane. Naime, direktno nadgledanje stanja procesa je moguće samo sa znatnim opterećenjem sistema za prenos podataka i upravljačkog računara. Da bi se ovaj nedostatak umanjio, upravljanja moraju sama sebe nadgledati. Ona mogu pomoću interne dijagnoze u slučaju smetnji javiti upravljačkom računaru vrstu, uzrok i vrijeme dešavanja smetnje. Prijavu stanja izvršava ili samostalno upravljanje na uređaju na osnovu smetnji, ili ih upravljački računar tj. poslužitelj može u svako doba pozvati u okviru dobijanja podataka sa mašina (DPM ili MDE - Maschinendatenerfassung).

3.2 Uticaj različitih karakteristika upravljanja i sistema za prenos podataka

Kao što je upravo rečeno, do sada još nije postavljen nikakav standard kod DNC-karakteristika upravljanja na uređajima. Tako se upravljanja prije svega razlikuju u

funkcijama koje mogu izvoditi. Ovdje odlučujuću ulogu ima tip komponente (transportni uređaj, obradna mašina, skladište, itd.), ali takođe postoje velike razlike u opsegu funkcija i kod istovrsnih upravljanja različitih proizvođača, ili čak kod istog proizvođača.

Sledeću razliku kod istih funkcija predstavlja način pozivanja funkcija. Dalje se upravljanja razlikuju u oblikovanju telegrama podataka, u okviru znakova i u procedurama za prenos podataka. Okvir znakova i procedure za prenos podataka najvećim dijelom zavise i od sistema za prenos podataka za koji je upravljanje koncipirano.

Kao karika između upravljačkog računara i podređene upravljačke ravni, sistem za prenos podataka (PP-sistem) ima zadatak da informacije sprovodi dalje brzo i sigurno. Dok se upravljački sistem može izmjenama u upravljačkom software-u prilagoditi različitim funkcijama uređaja i telegramima podataka, prilagodavanje upravljačkog računara različitim PP-sistemima iziskuje i dodatne troškove za hardware. Mnogi proizvođači računara nude i hardware za PP-sisteme koji se danas najviše koriste, kao što su npr. V.24 i V.11 ili Ethernet. Ako na PP-sistem treba priključiti starija upravljanja ili upravljanja sa neodgovarajućim interface-om, postoji priključak preko jednog DNC-dodatka. Primjena jednog takvog dodatka preporučuje se:

- kod upravljanja koja nemaju mogućnost sigurnog prenosa podataka preko nekog normiranog interface-a i
- kod NC-upravljanja bez sopstvene programske memorije kao memorija za podataka pri mašini.

Unifikacijom interface-a i PP-procedura je moguće smanjiti troškove prilagodavanja upravljanja u upravljačkoj računarskoj ravni.

4 KOMUNIKACIJA SA OPSLUŽNIM OSOBLJEM

Pored komunikacije sa podređenom sistemskom ravni, kod automatizovanih proizvodnih postrojenja se vrši i razmjena informacija između upravljačkog računara i osoblja koje vrši opsluživanje i nadgledanje. Ova razmjena podataka, koja se odigrava na vodećem pultu i na mjestima za snabdijevanje i stezanje, je obuhvaćena nazivom opslužna komunikacija.

4.1 Zadaci opslužne komunikacije

Definisanje zadataka opslužne komunikacije zahtijeva ispitivanje različitih faza koje mogu nastupiti tokom rada nekog FPS-a. Osim faze puštanja u rad, principijelno se razlikuju još i stanja

- automatski rad, kao i
- test i staranje.

Finija podjela automatskog načina rada vodi ka sledećim fazama:

a) Faza puštanja u rad:

Prije prvog puštanja u rad i poslije svakog dužeg prekida sistem se nalazi u stanju nepoznatom upravljačkom računaru. Faza puštanja u rad je, što se tiče opslužne komunikacije, označena operacijom inicijalizacije, kojom se upravljačkom računaru saopštavaju stanja sistemskih komponenti, razmještaj radnih komada i paleta itd.

b) Faza rada:

Karakteristično za ovu fazu je automatski tok materijala i informacija. Za osoblje na vodećem pultu moraju biti na raspolaganju funkcije za izdavanje novih radnih naloga, upravljanje stanjem podataka, nadgledanje odvijanja procesa i za reakcije u slučaju smetnji (v. Tabelu 1). Na mjestima za stezanje i snabdijevanje će opslužno osoblje biti snabdjeveno pogodnim komunikacionim medijima (ekran, funkcijska tastatura) da bi moglo preduzeti određene akcije koje se po njihovom završetku moraju na odgovarajući način kvitirati (prijaviti upravljačkom računaru).

unos podataka za upravljanje proizvodnjom	<ul style="list-style-type: none">- zadavanje novih radnih naloga- zadavanje hitnih radnih naloga- prekidanje radnog naloga
informativno izdavanje podataka za nadgledanje sistema i dobijanje radnih podataka i podataka sa mašina	<ul style="list-style-type: none">- predstavljanje stanja komponenti- zauzetost skladišta- stanje transportnih sredstava- predstavljanje redosleda transportnih naloga- predstavljanje listi čekanja na mašini- protokolisanje aktivnosti i smetnji
zadavanje podataka pri smetnjama	<ul style="list-style-type: none">- potvrda odstranjenja smetnji- zadavanje najnovijeg stanja procesa posle manuelnog djelovanja u slučaju smetnji- isključivanje (odjavljivanje komponenti)
manuelno upravljanje tokom materijala	<ul style="list-style-type: none">- zadavanje i start transportnih naredbi
izmjena promjenljivih informacija stanja	<ul style="list-style-type: none">- izmjena sadržaja datoteka- zauzetost stanica i paleta- stanja komponenti i radnih komada

Poslužitelj mora da ima mogućnost prekida ili okončanja automatskog rada, da bi npr. pojedine mašine mogao ponovo snabdjeti ili da bi na kraju smjene mogao postići neko definisano stanje. Nasuprot fazi puštanja u rad, kod ponovnog starta nije potrebna nova inicijalizacija, sve dok se stanje sistema tokom prekida nije promijenilo.

c) Faza završavanja:

Prije početka nekog dužeg prekida (npr. odmor u pogonu) može se postići definisano izlazno stanje ciljanim završetkom faze obrade. Tekući radni nalozi će se završiti i sistem će se automatski isprazniti.

Rad u fazi testiranja i staranja je karakterističan zbog isključivo ili djelimično manuelnog upravljanja tokom informacija i tokom materijala. Posebno se u fazi izgradnje sistema mogu tako pojedine komponente i upravljački software zasebno testirati. Faza puštanja u rad će tako biti značajno skraćena.

4.2 Zahtjevi opslužnom sistemu

Da bi opslužno osoblje prihvatilo jedan visoko-automatizovani sistem, od velike je važnosti sagledivost funkcija i lako opsluživanje. Dijaloški sistemi bazirani na menijima olakšavaju unos i sa njima se zaobilazi korešćenje obimnih priručnika.

Od velike važnosti za funkcionalnu sigurnost postrojenja je sprečavanje pogrešnog opsluživanja npr. ispitivanjem prihvatljivosti tokom unosa. Ni pod kojim uslovima ne smije pogrešno opsluživanje voditi ka padu sistema. Upravljačke naredbe koje mogu voditi ka blokadama u toku materijala moraju prije predaje upravljanjima na uređajima biti prepoznate i prijavljene poslužitelju. Poslužitelj će na odgovarajući način reagovati.

4.3 Uticajni faktori na razvijanje opslužnog sistema

Pored obima funkcija koje treba realizovati, na software za opslužnu komunikaciju utiču prije svega mediji za unos i izdavanje. Osobine različitih uređaja sa ekranom (npr. upravljanje cursor-om, funkcijski tasteri, grafičke mogućnosti itd.) zahtijevaju izraženu modularnost kod izgradnje programa.

Modularna realizacija pojedinih funkcija je takođe pretpostavka za individualno postavljanje mogućnosti zahvata i nadgledanja, već prema želji korisnika. Različito oblikovanje maske na ekranu, ili promjena informacija koje treba izdati, zahtijeva ipak izmjene u programu.

ZAKLJUČAK

Kvalitetna analiza upravljačkih zahtjeva kod FPS-a, a pored toga i komponenti FPS-a, su pretpostavke za izgradnju upravljačkog sistema koji je pouzdan, jednostavan, modularan, a tako i prilagodljiv različitim zadacima upravljanja.

Usko grlo kod upravljanja predstavlja OP - (obrada podataka). OP-arhitektura se danas usmjerava prema tehničkim i radnim zahtjevima. Ipak, udio specifičnih komponenti i OP-sistema je još uvijek visok. Dugoročno će internacionalnim normiranjem interface-a (MAP, TOP itd.) biti postignuto bitno olakšanje u realizaciji pogodnih arhitektura.

LITERATURA:

- 1) Mijanović, M.: Standardizacija software-a za upravljanje fleksibilnim proizvodnim sistemima. 16. jug. simpozijum NU•roboti•FTS, JUPITER-konferencija, Beograd, septembar 1994.
- 2) Mijanović, M., Vukasojević, R.: Sinhronizacija toka materijala i toka informacija u modernom preduzeću. V Međunarodna naučno-stručna konferencija mma'94, Novi Sad, jun 1994.
- 3) Mijanović, M.: Prilog istraživanju decentralizovanog sistema upravljanja kod fleksibilnih proizvodnih sistema. Disertacija, 1995., Mašinski fakultet Podgorica.
- 3) Schaub, G.: Steuerung von Flexiblen Fertigungszellen und -systemen. Berichte aus dem Siemens AG, 1991.
- 4) Ed. White, J.A., Pence, I.W.: Progress in Materials Handling and Logistics. Springer-Verlag, Berlin etc., IFS (Publications) Ltd., UK, 1989

ANALYSE VON STEUERUNGSANFORDERUNGEN AN FFS

Kurzfassung

Realisierung einer flexiblen automatisierten Materialfluss ist wegen viele Schnittstellen und grosse Teilespektrum centraler Problem bei den FFS. Es gibt keine Schüttstellenstandarde, Aufwaende von Leit-software und Systemerneuerungen sind gross, Mensch-Maschine Schnittstellen sind nicht einartig, etc. Planungsfunktionen und Ausfallstrategien sind oft nicht realisiert. Deswegen ist eine gute Analyse von Flexible Fertigungssystem und Leitsystemaufgaben notwendig.

SPMJ'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

* Radosavljević Zoran, mr Albijanić Radomir, Stojković Suzana

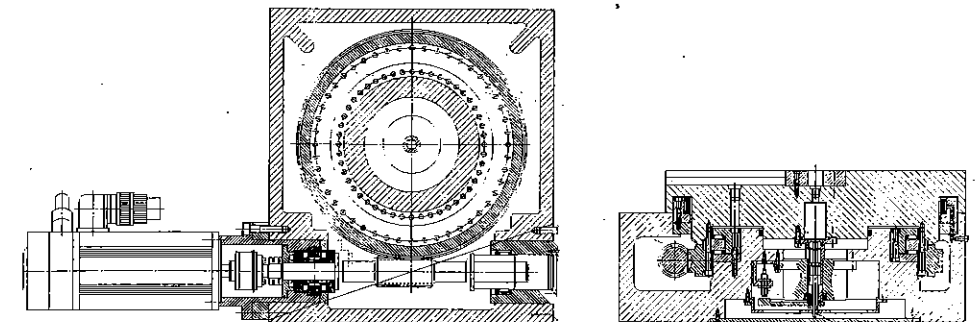
PRIMENA MKE U DEFINISANJU NUMERIČKI UPRAVLJANIH OBRJNIH STOLOVA

REZIME

Strukturalna analiza metodom konačnih elemenata spada u savremene metode dizajniranja i provera konstrukcija. Ovom metodom ostvaruje se uvid u bitne karakteristike konstrukcije, vrši se provera dobijenih konceptijskih rešenja kao i njihovo poboljšanje. U radu je prikazana konkretna primena MKE za koncipiranje numerički upravljanih obrtnih stolova LOLA NCT400HV.

UVOD

Familija NCT stolova uključuje horizontalne, vertikalne, horizontalne-vertikalne i zakretne stolove. Predstavnik familije horizontalnih-vertikalnih stolova je sto NCT400HV i prikazan je na slici 1.



Slika 1. Obrtni sto NCT400HV

* Radosavljević Zoran, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.
Mr Albijanić Radomir, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.
Stojković Suzana, dipl. inž., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.

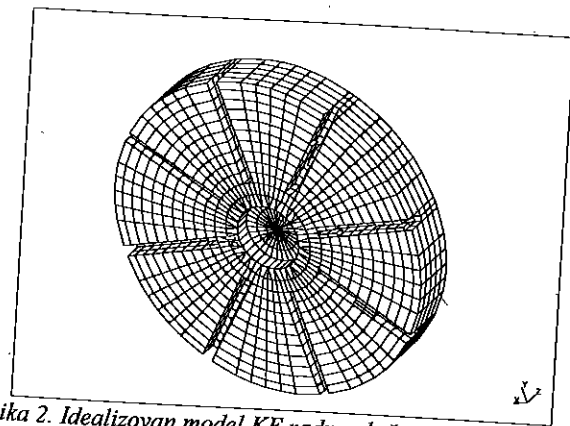
Stolovi ove vrste predstavljaju nezavisne pokretne module čijim se postavljanjem na određenu mašinu dobija još jedna upravljana osa što je vrlo bitno za povećanje univerzalnosti same mašine. Uz mogućnost horizontalnog i vertikalnog položaja stola na mašini, ovo polje primene se još više proširuje. Na ovaj način se uz mala finansijska ulaganja znatno poboljšavaju karakteristike čitave mašine.

1. PRIMENA MKE

Elementi konstrukcije izloženi su različitim radnim opterećenjima. Zbog toga je neophodno da konstrukciju prilagodimo nametnutim zahtevima oblikom, dimenzijama i pogodnim izborom materijala. Veličine koje nam pokazuju kvalitet izabranog oblika i dimenzija, a za usvojeni materijal, mogu se odrediti MKE. Za ovaj tip konstrukcije najbitnija karakteristika je krutost radne ploče i nju možemo analizirati prema dobijenim pomeranjima za uvedena radna opterećenja. Pored toga, analizom unutrašnjih sila po elementima određuje se i raspored sila na vezama sa drugim elementima konstrukcije.

1.1 Idealizacija strukture radnog stola KE

Da bi se pristupilo proračunu MKE neophodno je prvo definisati geometriju elementa i uraditi idealizaciju. Radni sto je idealizovan elementima tipa "linear solid" (slika 2). Usvojen je materijal sivi liv (SL 20).



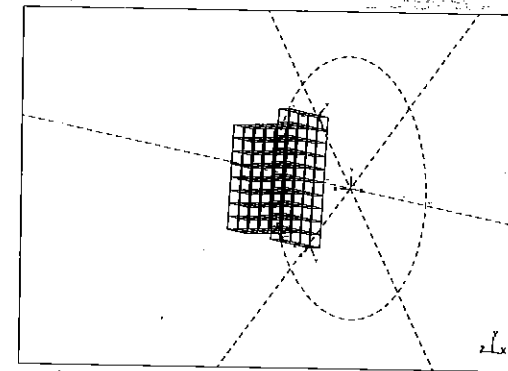
Slika 2. Idealizovan model KE radne ploče stola NCT400HV

1.2 Opterećenja radnog stola

Radna opterećenja se u radni sto uvode na mestima postavljanja steznih elemenata. Zbog toga je potrebno prvo odrediti raspodelu opterećenja u steznim elementima. Usvojeno je:

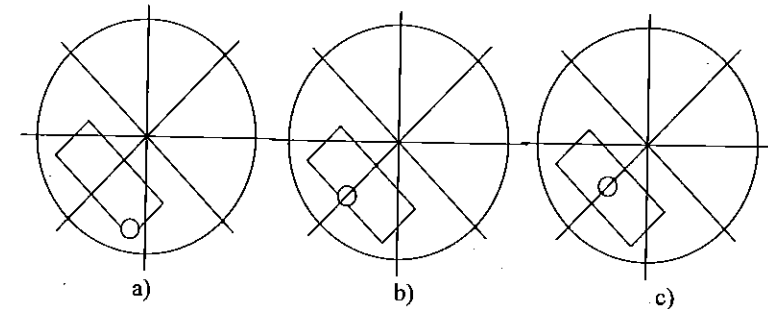
- obradak je prizmatičnog oblika dimenzija $a \times b \times h = 200 \times 100 \times 300$ mm i težine 50kg
- obradak je postavljen na radnu ploču uz pomoć steznog pribora koji je vezan za površinu u četiri tačke. (slika 3)
- pretpostavljena je obrada glodanjem čelone površine na visini 300 mm
- usvojene su sile rezanja $F_x = F_y = F_z = 1000$ daN.

- obradak je postavljen nesimetrično na radnu ploču kako bi ležaj bio neravnomerno opterećen
- sile u steznom alatu mogu se javiti samo u x,y - lokalnim pravcima (sl.3).



Slika 3. Postavljanje radnog komada na ploču

S obzirom da je analiza ograničena na obradu glodanjem, razmatrana su tri moguća kontakta glodala i površine obradka (slika 4). Na osnovu poređenja dobijenih reakcija oslonaca u steznim elementima utvrđeno je da su najveće sile reakcija u slučaju kada se glodalo nalazi u položaju kao na slici 4a.



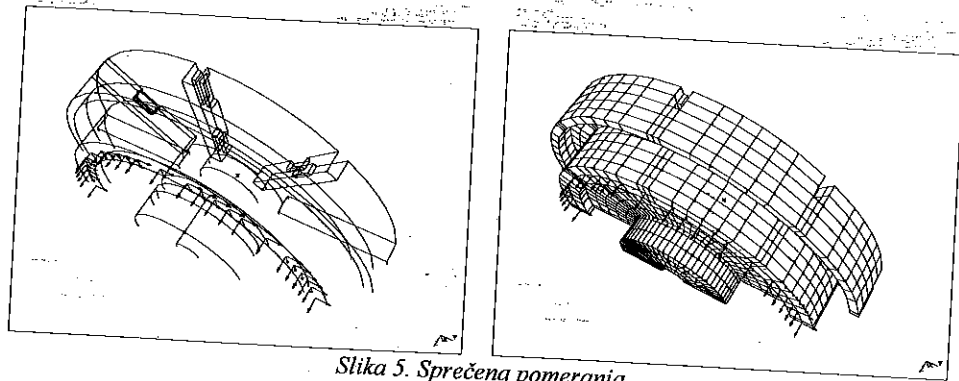
Slika 4. Položaj glodala pri obradi

Tokom ovog proračuna uočeno je da se rezanje ne može raditi na bilo kojoj geometriji obratka i da se pri definisanju postupaka rezanja mora voditi računa o postavljanju obratku i prilazu alata pri rezanju. Sile koje se javljaju na vezama sa steznim alatom koriste se za konstruisanje steznog alata.

Ovako određene sile reakcija uvedene su u radni sto kao "nodal forces" i "face pressures", već prema pravcima i smerovima delovanja u lokalno idealizovanim žljebovima.

1.3 Oslanjanje radnog stola

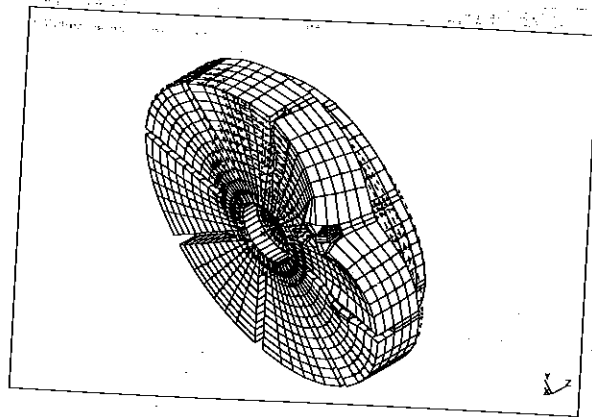
Da bi se pristupilo rešavanju ovako idealizovane i opterećene strukture potrebno je odrediti mesta oslanjanja i način oslanjanja. S obzirom da se radni sto vezuje direktno za ležaj i da su veze sa ovim elementom unapred poznate, oslonci su definisani kao na slici 5. Ležaj predstavlja ključni deo čitavog modula. Uz pomoć 48 vijaka on se vezuje za radnu ploču i te veze su u našem proračunu označene kao oslonci (slika 5).



Slika 5. Sprečena pomeranja

2.0 KOMENTAR DOBIJENIH REZULTATA

Za ovako definisan model pripremljen softverskim paketom CAEDS, pristupilo se rešavanju modela radnog stola. Proračun je izveden CAEDS - ovim solverom.



Slika 6. Pomeranja

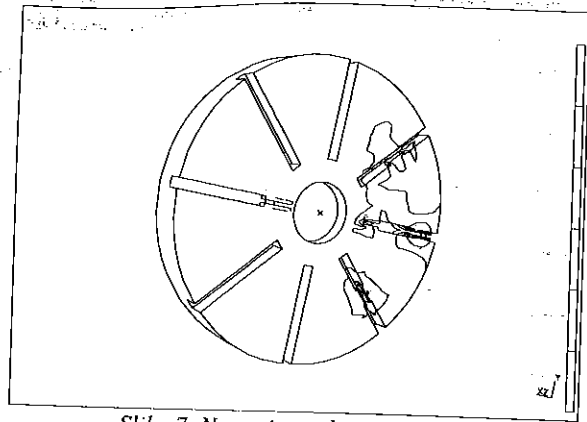
Na slici 6 su prikazana dobijena apsolutna pomeranja modela. Pomeranja su skalirana da bi se zone sa većim pomeranjima istakle. Najveće pomeranje iznosi $\Delta=0.05$ mm. Međutim, uočava se izvesna neravnomernost veličina pomeranja. S obzirom da se najveća pomeranja javljaju na mestu gde je znatno narušena debljina radne ploče, dobro je preispitati razloge koji su doveli do toga.

Reakcije u 48 oslonaca su dobijene kao "reaction forces", smeštene su u prikladnu datoteku i prikazane su u sledećoj tabeli.

Node	Force-X	Force-Y	Force-Z
372	6.449E+01	4.705E+01	-2.241E+02
382	1.383E+02	1.187E+02	-2.253E+02
388	1.309E+02	1.283E+02	-1.300E+02
392	1.333E+02	1.535E+02	-4.367E+01
399	1.393E+02	1.666E+02	4.712E+01
509	1.831E+02	1.881E+02	1.478E+02
923	1.451E+02	1.138E+02	2.104E+02
1553	1.504E+02	2.684E+01	3.017E+02
1648	9.041E+01	1.382E+01	2.324E+02
1727	6.796E+01	1.105E+01	1.957E+02
1814	6.152E+01	1.955E+01	1.701E+02
1917	6.506E+01	4.280E+01	1.708E+02
2547	5.470E+01	3.045E+01	9.382E+01
2892	5.777E+01	2.927E+01	8.051E+01
3021	3.751E+01	2.150E+01	4.552E+01
3109	2.964E+01	1.981E+01	2.260E+01
3224	2.337E+01	2.378E+01	4.144E+00
3534	1.723E+01	3.352E+01	-1.173E+01
3827	-8.576E-01	2.795E+01	-2.172E+01
4005	-1.603E+01	3.565E+01	-3.644E+01
4032	-1.663E+01	2.713E+01	-3.200E+01
4055	-1.741E+01	2.405E+01	-2.971E+01
4078	-1.845E+01	2.377E+01	-2.776E+01
4101	-2.137E+01	2.798E+01	-2.814E+01
Total	1.275E+03	1.215E+03	-2.359E+02
509	509	509	1553
Maximum	1.831E+02	1.881E+02	3.017E+02
4101	4475	4465	
Minimum	-2.137E+01	-4.184E+01	-2.904E+02
Average	3.321E+00	3.164E+00	-6.143E-01

Na osnovu dobijenih reakcija oslonaca ($n=48$) odredili smo vrednost sile u radijalnom i aksijalnom pravcu. Njihove vrednosti su: $F_r=262$ daN, $F_a=301$ daN. Kataloške vrednosti ovih veličina za ugrađeni ležaj iznose $F_r(k)=490$ daN i $F_a(k)=1354$ daN. Upoređujući ove vrednosti dolazimo do zaključka da izabrani ležaj može da izdrži pretpostavljena opterećenja. Ostaje da se razmotri postavljanje radnog stola u vertikalni položaj. Uočava se da nam karakteristike izabranog ležaja dozvoljavaju da se pristupi i takvoj analizi.

CAEDS ima i mogućnost prikaza naponskog stanja (slika 7). Jasno se može videti da su naponi u okolini steznih elemenata mnogo veći nego u ostalim delovima stola. Veličine glavnih maksimalnih napona se kreću u granicama $+2.8$ hbar do -1.6 hbar i ne ukazuju na neregularnosti u strukturi radnog stola.



Slika 7. Naponi u radnoj ploči stola

ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog možemo zaključiti sledeće:

- pretpostavljen je radni komad visine $h=300$ mm. čija se površina obrađuje glodanjem i koji je vezan za radnu ploču veznim elementima. Konstatovano je da se ovakav komad ne može obrađivati zbog pojave velikih pomeranja. Pomeranja u prihvatljivim granicama su dobijena za visinu obratka oko 100mm.
- radni komad je postavljen nesimetrično na radnu ploču zbog neravnomernog opterećenja i ovakvo opterećenje je usvojeno kao merodavno za proveru
- na osnovu dobijenih rezultata pomeranja, reakcija i napona može se konstatovati da su ostale mogućnosti za dalju analizu geometrije u smislu ujednačavanja najvećih pomeranja
- na osnovu dobijenih reakcija izvršen je izbor radiksijalnog ležaja. Konstatovano je da su karakteristike nosivosti zadovoljavajuće i da se otvaraju mogućnosti da se ovaj sto postavlja i vertikalno.

LITERATURA

- /1/ Radosavljević, Z., Metodologija CAD projektovanja familije obrtnih stolova, Magistarski rad u pripremi.
- /2/ CAEDS, Users Manual, 1990 g.

SUMMARY

Structure analysis belongs to modern methods of designing and calculation. In this way we are testing our solution and improve them too. This paper presents implementation of finite elements method (FEM) for designing NC rotary table LOLA NCT400HV.



S. Stojković, R. Radiša¹

RAČUNARSKI PODRŽANA METODA ZA AUTOMATSKU SINTEZU POMOĆNIH PRIBORA PALETNIH SISTEMA

Rezime

U članku su dati principi na kojima se zasniva razvijena metoda automatske sinteze pomoćnih pribora paletnih sistema.

Razmatraju se osnovne odrednice višestapnog informacionog procesa u kome se na osnovu analize podataka radnog predmeta i tehnološkog ambijenta formira- u rezultatu rešavanja niza računskih, logičkih, geometrijskih i eurističkih zadataka- globalno optimizirani numerički model hijerarhijske strukture pomoćnog pribora kao prostorno definisanog skupa funkcionalno spregnutih elemenata za oslanjanje, orijentaciju i stezanje.

UVOD

Polazeći od potrebe da se bliže definišu sve komponente tehnološkog ambijenta fleksibilnih tehnoloških sistema realizovanih na bazi aplikacije obradnih centara familije HMC pristupilo se razvoju metode za automatsku sintezu pomoćnih pribora paletnih sistema. U radu se daju osnovni principi na kojima bazira ova metoda.

1. PRETPOSTAVKE

U radu opisana razvijena računarski podržana metoda za automatsku sintezu pomoćnih pribora paletnih sistema bazira na sledećim teorijskim pretpostavkama:

1. Informacija koja opisuje konstrukciju pribora nastaje u rezultatu obrade podataka o radnom predmetu i tehnološkoj operaciji. Između tih podataka postoje funkcionalne veze koje se mogu algoritamski modelirati.
2. Za konstrukciju svakog pribora postoji mogućnost dekompozicije na konačan broj funkcionalnih komponenata odnosno konstruktivnih elemenata.
3. Presek skupa konstruktivnih elemenata, koji formiraju konstrukciju pribora, konačan je skup.
4. Konstrukcija svakog pribora može biti ostvarena od konačnog broja ranije određenih konstruktivnih elemenata.

¹ dr Slobodan Stojković, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd
Radomir Radiša, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd

5. Konstruktivni elementi razlikuju se karakteristikama koje je moguće predstaviti na računaru.
6. Između elemenata u konstrukciji postoji određena količina relacija modeliranja koje su zajedničke za sve pribore.
7. Za svaki konstruktivni element moguće je definisati desni Euklidov koordinatni sistem pomoću koga je moguće odrediti poziciju i orijentaciju svakog konstruktivnog elementa.
8. Na konstrukciju pomoćnog pribora značajno utiče tehnološki ambijent u kome on obavlja svoje funkcije.

2. ULAZNA INFORMACIJA SISTEMA

Sadrži uređeni skup numeričkih podataka o radnom predmetu i tehnološkom ambijentu. Ovaj skup podjeljen je na sledeće podskupove:

Ulazna informacija - opšti podaci

N - redni broj radnog predmeta	-	
ξ_0 - ugao orijentacije radnog predmeta	-	u stepenima
lo - istupanje radnog predmeta u negativnom smeru ose OZ koordinatnog sistema palete	-	
bo - istupanje radnog predmeta u negativnom smeru ose OY KSP	mm	
ho - istupanje radnog predmeta u negativnom smeru ose OX KSP	mm	
L_{RPR} - dužina radnog predmeta	mm	
B_{RPR} - širina radnog predmeta	mm	
H_{RPR} - visina radnog predmeta	mm	
G_{RPR} - masa radnog predmeta	mm	
MD - materijal radnog predmeta	kg	
HB - tvrdoća po Brinelu	-	
PR - proizvodnost obrade	-	
n - broj komada koji se istovremeno obrađuju	kom/h	
Px - maksimalna sila rezanja	kom	
Mu - maksimalni moment uvijanja	N	
TM - tip mašine	Nm	
TP - tip pribora	-	
MS - tip mehanizma sile	-	

Ulazna informacija - podaci o površinama radnog predmeta

NP - redni broj površine	
NST - šifra veze površine	
δ - oznaka tehnološke namene	
KP - kod površine	
L - dužina površine	mm
D, H, b - prečnik, visina, dimenzija b površine	mm
B, s - širina površine, korak navoja	mm
m - modul ozubljenja površine	mm
ω - ugaona dimenzija površine	mm
ΔL - tolerancija dužine detalja	u stepenima
	mkm

$\Delta D, \Delta H, \Delta b$ - tolerancija dimenzija površine	mkm
$\Delta B, \Delta s$ - tolerancija dimenzija površine	mkm
Ra - hrapavost površine	-
No - redni broj koordinatnog sistema	-
Mz - kod načina zadavanja koordinatnog sistema	-
X, Y, Z - linearne koordinate položaja površine	mm
ρ - radius vektor	mm
C - kod računanja polarnog ugla	-
$\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta q$ - tolerancije koordinata	mkm
$\alpha, \nu, \eta, \lambda$ - uglovi orijentacije površine	u stepenima

Ulazna informacija - tačke prilaganja sila i momenata

NOS - redni broj sile		
NOM - redni broj momenta		
F - intezitet sile	N	
M - intezitet momenta	Nm	
X_F, Y_F, Z_F - tačka prilaganja sile	mm	
X_M, Y_M, Z_M - tačka prilaganja momenta	mm	
α_F, α_M	- uglovi ojentacije vektora sile i momenta	u stepenima
ϑ_F, ϑ_M		
η_F, η_M		
λ_F, λ_M		

Ulazna informacija - zone delovanja reznog alata (zabranjene zone)

NOS -	
NOM -	
NP -	
NST -	
KP -	
L_F, L_M - dužina površine dejstva reznog alata	mm
D_F, H_F, b_F - dimenzije zone dejstva reznog alata	mm
D_M, H_M, b_M - dimenzije zone dejstva reznog alata	
B_F, B_M - širina površine dejstva reznog alata	mm

X_F, Y_F, Z_F -
X_M, Y_M, Z_M -
α_F, α_M -
ϑ_F, ϑ_M -
η_F, η_M -
λ_F, λ_M -

Oznaku tehnološke namene površine radnog predmeta definišemo pomoću tablice 1.

Tablica 1. Definisanje tehnološke namene površina radnog predmeta.

R/B	OPIS	KOD	δ
1.	Slobodna površina	00	
2.	Površina koja se obrađuje	01	
3.	Z - baza	20	
4.	X - baza	21	
5.	Y - baza	22	
6.	Pomoćna baza - podupiranje	23	
7.	Orijentacija	24	
8.	Centriranje	25	
9.	Centriranje osno	26	
10.	Osnovno stezanje	30	
11.	Pritezanje	31	
12.	Pomoćno stezanje	32	
13.	Tehnološko stezanje	33	
14.	Kombinovano stezanje	34	

A KP - kod površine pomoću tablice 2.

3. PROCES SINTEZE

Računarski podržanu sintezu pomoćnog pribora posmatramo kao proces diskretnog prikupljanja podataka u modelu koji prikazuje promene 3D konstrukcije u vremenu. Ovaj proces je rezultat etapne analize ulazne informacije, pri čemu se operiše kvantumima podataka koji odgovaraju konstruktivnim elementima a koje treba odgovarajućim redom uključiti u numerički model konstrukcije. Proces sinteze hijerarhijski formira funkcionalne grupe konstruktivnih elemenata: baziranja, orijentacije, stezanja, podele i fiksacije na standardnoj paleti obradnog centra. Ovaj proces možemo prikazati u vidu sprege dva grafa (sl. 1), pri čemu koreni graf $K(E, S)$ odražava hijerarhiju elemenata E_i u konstrukciji, a multigraf $G(EF, R)$ modelira mehanizam konstrukcije pribora na informacionom polju datoteke konstruktivnih elemenata.

Osnovne vektorske komponente tog modela:

- kodovi konstruktivnih elemenata \bar{E}_i
- vektori metričkih karakteristika konstruktivnih elemenata \bar{V}_i i
- vektori njihovog prostornog rasporeda $\bar{\Psi}_i$ određuje se pomoću funkcija:

$$\bar{E}_i = R_i^{(1)}(KP_i, \bar{r}_i, \Delta \bar{r}_i, \Delta \bar{L})$$

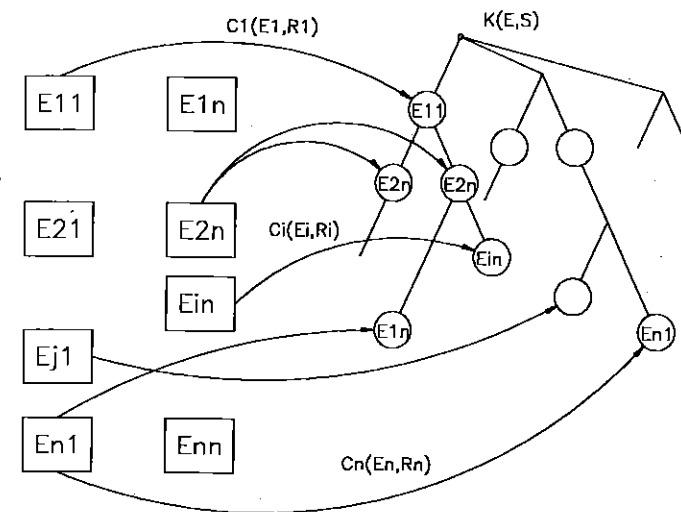
$$\bar{V}_i = R_i^{(2)}(\bar{r}_i, \Delta \bar{r}_i, \bar{E}_i)$$

$$\bar{\Psi}_i = R_i^{(3)}(KP_i, \bar{r}_i, \bar{r}_i, \bar{L}_i)$$

pri čemu su:

OBUCI POKRIVSKI	KARAKTERISTIKE								
CILINDRIČNE									
KOD POKRIVSKI	000/010	001	002	003/012/013/014	004/015/016/017	005	006	007	008
KONČNE									
KOD POKRIVSKI	100/110	101	102/112	103/113	104	105	106	107	108
RAVNI OGRANICENE PROSTOROM KONČNOM									
KOD POKRIVSKI	200	201	202	203	204	205	206	207	208
RAVNI OGRANICENE FAZONSKOM KONČNOM									
KOD POKRIVSKI	300/310	301/311	302/312	303	304	305	306	307	308
ZARUBLENE									
KOD POKRIVSKI	400/410	401	402	403	404	405	406	407	408
FAZONSKE									
KOD POKRIVSKI	500	501	502	503	504	505	506	507	508
NAVOLNE									
KOD POKRIVSKI	600	601	602	603	604	605	606	607	608
OZUBLENE									
KOD POKRIVSKI	700	701	702/712	703	704	705/715	706	707	708
OZUBLENE									
KOD POKRIVSKI	800/810	801	802	803	804	805	806	807	808

Tabela 2.



KP_j - kod forme površine objekta

$\bar{r}_j, \Delta r_j$ - vektor mera i odstupanja površine,

$\Delta \bar{L}$ - odstupanje mera koje koordiniraju položaj površine,

$\bar{\xi}_j$ - vektor ugaonih koordinata orijentacije površine

\bar{L}_j - vektor linearnih dekratovih koordinata pozicije površine,

pa se skup osobina konstrukcije pomoćnog pribora može prikazati u vidu relacije

$$\bar{K} = \left\{ \bar{E}_i, \bar{\psi}_i, \bar{V}_i \right\}_{i=1}^m$$

Geometrijska, funkcionalna, estetska, tehnička, ergonomska i druga svojstva konstrukcije, realizovana pomoću informacionog modela \bar{K} menjaju se etapno i čine fazne podprostore koji obuhvataju sva moguća rešenja u različitim preseccima procesa sinteze.

Možemo zaključiti da se o procesu automatske sinteze generiše struktura, formira okstrukcija i određuju funkcije projektovanog pribora.

Algoritamski se taj proces može prikazati u vidu sledećih aktivnosti:

1. Kontrola i dopuna ulazne informacije.
2. Algoritmi transformacije ulazne informacije i pretraživanje datoteke ulaznih informacija.
3. Definisane umficirane funkcionalne grupe elemenata.
4. Pretraživanje baze rešenja.
5. Definisane skupa dopustivih realizacija.
6. Algoritmi tačnosti, sigurnosti i raspoloživosti.
7. Nazivno definisanje funkcionalne grupe.
8. Izbor mera i oblika. Kontrola kolizije.
9. Konstruktivno definisanje funkcionalne grupe pribora.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja principe na kojima bazira računarski podržana metoda namenjena za automatsku sintezu pomoćnih pribora paletnih sistema u specifičnom ambijentu FTS-a, mada se ona može primeniti i na šire klase pribora.

LITERATURA

W. Eversheim: Rechnerunterstützte Konstruktion von Baukastenvorrichtungen, Industrie anzeiger nr.10, 1.2. 1985.

COMPUTER INTEGRATED METHOD FOR AUTOMATIC SYNTHESIS OF PALLET'S MODULAR FIXTURING SYSTEM

Abstract

This paper gives the basic principles of automatic synthesis of modular fixturing systems. It treats the basic components of multiphase information process. Global optimal numerical model of modular fixturing system is formed in this process. This study is analysing information about workpiece and technology environment. It is solving numerical, logical, geometric and experiences' problems. Result is spacious definite integration components for supporting, orientation and fixing.



СТРУКТУРНИЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГПС МЕХАНООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

В.А. ТАРАНЕНКО, О.П. ЧУБ *

(Севастопольский государственный технический университет)

Dr. Taranenko Viktor Anatoljević, Čub Oksana Petrovna.
STRUKTURNIJ I PARAMETRIČESKIJ SINTEZ GPS MEHANOBRABOTKI
DETALEJ TIPIA TEL URAŠĆENIJA.

1.0 ВВЕДЕНИЕ

Среди большого разнообразия деталей, используемых в судостроении и судоремонте, можно выделить группу деталей типа тел вращения (валы, штоки, оси, шпиндели, червяки, ходовые винты и т.д.), которые широко используются в различных палубных механизмах судов и плавучих кранов. Детали изготавливаются по индивидуальным технологическим процессам на разнообразном оборудовании с применением различной технологической оснастки и инструмента, что создает определенные трудности при синтезе оптимального автоматизированного технологического процесса обработки. Решение этой многовариантной технико-экономической задачи с применением моделирования работы ГПС сокращает сроки технологической подготовки производства, позволяет прогнозировать характеристики работы проектируемых ГПС, в том числе производительность, экономическую эффективность, точность и качество обработки деталей.

* Виктор Тараненко, Академик Украинской Академии Информатики, д.т.н., профессор Севастопольского государственного технического университета (республика Крым, Украина);

Оксана Чуб, инж., младший научный сотрудник Севастопольского государственного технического университета

2.0 СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МАРШРУТА ПРИ ВЫБОРЕ ВАРИАНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

В качестве объекта автоматизации рассматривается деталь типа ходовой винт из группы пяти деталей, имеющая достаточную степень унификации формы и размеров обрабатываемых элементов, что обеспечивает возможность их обработки минимальным числом инструментов с использованием типовых подпрограмм на оборудовании с ЧПУ и как следует из работы [1] может быть отнесена к ходовым винтам нормальной и пониженной точности.

Одним из начальных этапов автоматизации технологических процессов на основе концентрации операций является проектирование оптимальных технологических процессов. Этот этап в значительной мере определяет конечный результат по точности и качеству детали, ее станкоемкости и трудоемкости, производительности и экономической эффективности обработки. Многообразие факторов, влияющих на выбор варианта процесса (например, точность обработки, производительность, себестоимость обработки) и сложная взаимосвязь этих факторов не позволяют установить необходимые зависимости между деталью и оптимальным процессом ее обработки с помощью простых аналитических выражений, а сопоставление двух-трех вариантов процесса не всегда позволяет найти наиболее рациональное решение, так как оно может не оказаться в числе рассматриваемых.

Рассматривая гибкую автоматизированную линию как систему, необходимо установить причинно-следственные связи основных параметров этой системы и установить их влияние на конечный результат. Оптимальным решением является такое, которое обеспечивает заданный критерий при соответствующих ограничениях. В качестве последнего могут выступать: получение заданной программы выпуска деталей, соответствующих техническим условиям чертежа, при минимуме материальных затрат [2]:

$$Z = \left| N_r \sum_{i=1}^m C_i + E_H \cdot K \right| \rightarrow \min ,$$

где Z - материальные затраты; N_r - годовая программа выпуска деталей; m - число станочных операций; C_i - себестоимость обработки детали на i -м станке; E_H - нормативный коэффициент экономической эффективности; K - капитальные затраты. При этом возможно рассмотрение двух задач: прямой - минимум затрат при ограничении на программу выпуска и обратной - максимум выпуска

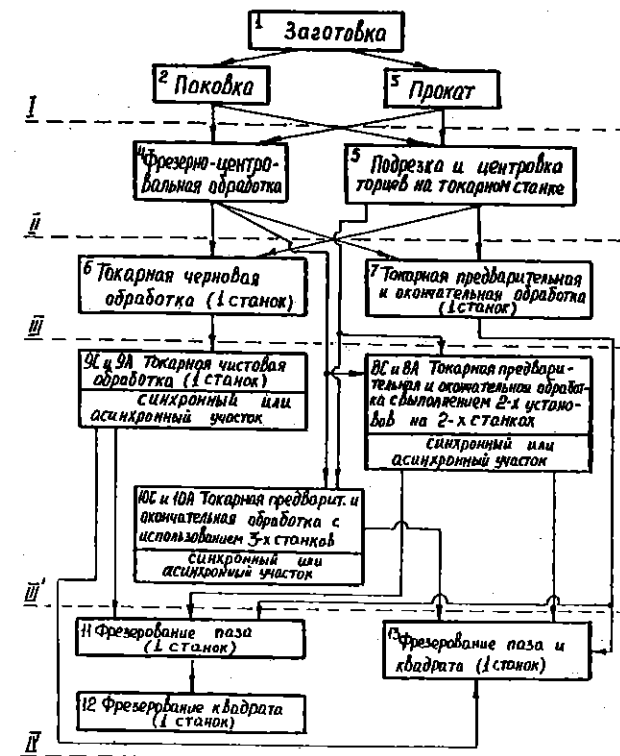


Рис.1. Схема возможных вариантов маршрутной технологии при ограничении на затраты. При обработке детали ходовой винт для синтеза возможных вариантов маршрутной технологии строится схема (рис.1), которая включает 56 вариантов маршрутной технологии. Последовательности технологических переходов на схеме показаны стрелками, каждому из этапов технологического процесса (ТП) присвоен номер, индексы "С" и "А" соответствуют вариантам синхронных или асинхронных участков ГПС [3].

Оптимальный вариант предполагает использование заготовки из поковки, из чего следует, что рассматриваемое число вариантов ТП сокращается до 28. Так как более целесообразным является введение в маршрут ТП фрезерно-центровальной операции рассматриваются оставшиеся 14 вариантов маршрута ТП:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1) 1,2,4,6,9 _С , 13; | 8) 1,2,4,7,11,12; |
| 2) 1,2,4,6,9 _С , 11,12; | 9) 1,2,4,6,9 _А , 11,12; |
| 3) 1,2,4,10 _С , 11,12; | 10) 1,2,4,6,9 _А , 13; |
| 4) 1,2,4,10 _С , 13; | 11) 1,2,4,10 _А , 11,12; |

- 5) I, 2, 4, 8_C, II, I2; I2) I, 2, 4, 10_A, I3;
 6) I, 2, 4, 8_C, I3; I3) I, 2, 4, 8_A, II, I2;
 7) I, 2, 4, 7, I3; I4) I, 2, 4, 8_A, I3.

В докладе рассматриваются варианты компоновки гибких производственных модулей различных участков ГПС, соответствующих различным вариантам маршрутных технологических процессов.

Для выбора оптимального маршрутного технологического процесса необходимо определить какие из рассматриваемых 14 вариантов удовлетворяют заданной производительности, а затем оценить затраты по каждому из удовлетворяющих этому условию вариантов, причем оптимальным будет вариант с наименьшими затратами.

3.0 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГПС

Предложенные варианты модулей и участков ГПС можно рассматривать как варианты однопоточных гибких автоматизированных линий (ГАЛ), состоящих из модулей обработки и накопителей при асинхронной работе модулей.

Введем допущение о простейшем характере случайных процессов, протекающих в системе. Тогда для описания работы ГПС необходимо знать интенсивности потоков отказов и восстановлений накопителей и обрабатываемых модулей, значения времени цикла обработки в различных модулях. В докладе приводятся схемы соединения структурных звеньев технологической системы, графы состояний при параллельном соединении модулей, получены выражения для определения интенсивности потока отказов и восстановлений "обобщенных" модулей при последовательном и параллельном соединении обрабатываемых модулей и накопителей. Получены структурные схемы ГПС для всех 14 вариантов маршрутных ТП.

Графическая интерпретация результатов моделирования производительности для всех 14 вариантов маршрутных ТП представлена в виде зависимости I на рис.2. Из анализа полученных данных следует, что заданной производительности удовлетворяет вариант маршрутного технологического процесса 4.

4.0. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СТРУКТУРНО-КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ ГПС МЕТОДОМ ИНТЕРАКТИВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

При выборе вариантов ГПС важной задачей является минимизация себестоимости выпускаемой продукции, которую можно обеспечить путем разработки возможных организационно-технических ме-

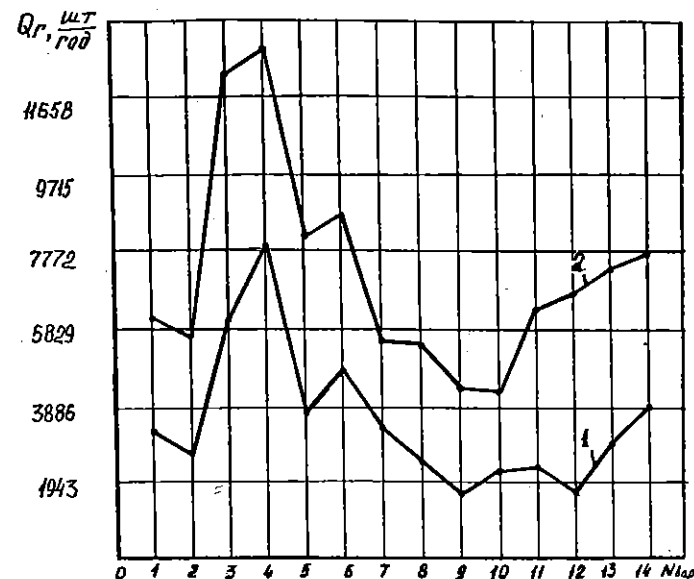


Рис.2. Изменение производительности ГПС в зависимости от структурно-компоновочного решения: кривая I - для вариантов структур до улучшения надежности; кривая 2 - для синтезированных вариантов структур после улучшения показателей надежности.

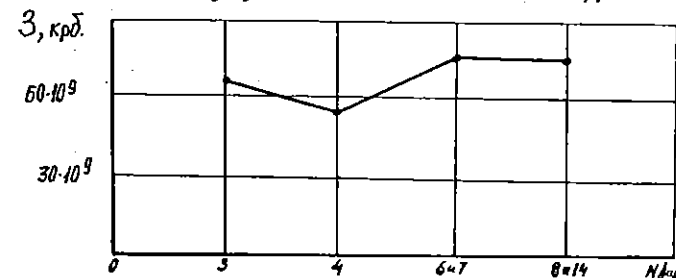


Рис.3. Изменение приведенных затрат для различных структурно-компоновочных решений ГПС.

роприятий по улучшению технико-экономических показателей каждого варианта ГПС, включающих повышение надежности и производительности, подбор модификаций оборудования с наименьшей стоимостью при сохранении требований технологии, расширение автоматизации вспомогательных операций, организацию наладки и обслуживания оборудования и т.п.. Составление и отработка на этапе проектирования технологии ГПС таких мероприятий позволяет достигнуть минимизации затрат при эксплуатации ГПС и комплексно решить все вопросы проектирования [4,5].

После разработки мероприятий по улучшению надежных характеристик оборудования входящего в ГПС, в результате моделирования на ЭВМ получены новые значения показателей работы вариантов ГПС, которые представлены в виде графика 2 на рис.2. Согласно графика, максимальную производительность ГПС обеспечивают варианты ТП 3 и 4. Аналогичную производительность можно получить, используя одновременно варианты ТП: II и I2; I2 и I3; II и I4; I и 5; 6 и 7; 8 и I4. Из этих вариантов при расчете экономических показателей рассмотрим варианты 3, 4, 6 и 7, 8 и I4, так как при минимальном количестве оборудования эти варианты ТП и соответственно компоновок обеспечивают максимальную годовую производительность. Графическая интерпретация результатов расчета приведенных затрат по вариантам ГПС 3, 4, варианту 6 + 7, варианту 8 + I4 представлена на рис.3. В докладе приводятся компоновки ГПС, соответствующие вышеуказанным вариантам ТП. Из проведенного анализа полученных результатов следует, что оптимальным структурно-компоновочным решением является вариант ГПС - 4, обеспечивающий максимальную производительность при минимальных затратах.

Путем расчета себестоимости продукции данного варианта ГПС и сравнения ее с уровнем общественно необходимых затрат на аналогичную продукцию определяем необходимость пересмотра организационно-технических мероприятий и последующих итераций по выбору оптимального варианта ГПС.

5.0 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многовариантная технико-экономическая задача проектирования ТП на основе концентрации операций базируется на генерации вариантов с последующим моделированием работы полученных структур ГПС, оптимизации маршрута и структур. Выбор наилучших вариантов с учетом себестоимости выпускаемой продукции производится методом интерактивной оптимизации. Предложенный подход позволяет автоматизировать проектирование технологических маршрутов обработки и выбор структуры ГПС в процессе подготовки производства, прогнозировать параметры работы проектируемых ГПС, что сокращает затраты на натурные испытания ГПС и эксплуатацию оборудования.

6.0 ЛИТЕРАТУРА

[1] Балакшин Б.С. Теория и практика технологии машиностроения.

Том I, Технология станкостроения. - М.: Машиностроение, 1982. - 239 с.

[2] Дашенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. - М.: Высшая школа, 1983. - 328 с.

[3] Автоматические линии в машиностроении: Справочник. Том 2. Станочные автоматические линии / Под ред. А.И. Дашенко. - М.: Машиностроение, 1984. - 408 с.

[4] Надежность машин (Д.Н. Решетов и др.) / Под ред. Д.Н. Решетова. - М.: Высшая школа, 1988. - 238 с.

[5] Черпаков Б.И., Долганов В.Г., Жукова Э.Л., Банцзеладзе Г.З. Оценка выходящего потока изделий с автоматических линий. // Механизация и автоматизация производства. - 1986, № 10. - С. 18-20.

АННОТАЦИЯ

СТРУКТУРНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ГПС МЕХАНООБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

В.А. ТАРАНЕНКО, О.П. ЧУБ

Многовариантная технико-экономическая задача проектирования технологических процессов на основе концентрации операций включает генерирование вариантов обработки с последующим моделированием работы гибких производственных систем (ГПС) полученных структур (варианты модулей и участков ГПС можно рассматривать как варианты однопоточных автоматизированных линий, состоящих из модулей обработки и накопителей при асинхронной работе модулей), отбор наилучших вариантов с учетом минимизации себестоимости выпускаемой продукции. Достаточность учтенных при выборе вариантов ГПС организационно-технических мероприятий определяется достижением расчетной стоимостью выпускаемой продукции уровня, меньшего или равного общественно необходимому уровню затрат, что определяет интерактивный характер выбора варианта ГПС с оптимизацией технико-экономических характеристик.



Shih-Ming Wang*, Kornel F. Ehmann*

AN OVERVIEW OF ACCURACY ANALYSIS AND ERROR COMPENSATION
FOR A STEWART PLATFORM

ABSTRACT

To achieve higher accuracy during the machining process, high rigidity and stability of the machine's structure are necessary. Recently, the Stewart Platform, based on a parallel architecture, has been implemented to design new machine tool structures aimed at high tolerance machining applications. In this paper, an overview of error analysis and compensation for a six degrees of freedom (DOF) Stewart Platform is presented. First, considering a number of inaccuracy factors, the first and second order error models for the Platform are addressed. Then, plausible methods for passive and active error compensation, in conjunction with adaptive feedback, are addressed.

I. INTRODUCTION

To achieve higher productivity and increased automation precision machines are essential. To this end many investigations have been performed on error analysis and compensation of machine tools. It is generally known that the machine's accuracy depends on both static and dynamic error sources, and that the quasi-static errors are the major contributors to inaccuracy (about 70% of the total error). Although compensation of quasi-static errors can provide very good accuracy, to achieve even higher machining performance dynamic errors must also be considered. In general, the operation of high precision machines is severely limited by dynamic effects. However, the majority of today's industrial multi-axis machines consist of serially connected axes, that is, mechanisms whose links and joints alternate with one another in a long chain which is inherently not rigid. Therefore, at the present increased attention is being directed towards the investigation of alternative machine tool designs based on closed kinematic chains to enhance rigidity, accuracy, and high force/torque capacity. The parallel-actuated structure is the preferred choice.

The Stewart Platform is an example of a parallel architecture which offers much better stability and higher stiffness. It was originally designed as an aircraft motion simulator base (Stewart, 1965). Hunt (1978) adopted the Stewart Platform as a mechanism for a robotic arm and addressed some of its advantages and disadvantages. Fichter and McDowell (1983) described a technique for determining the value of the joint variable for every joint of the mechanism. Also, Hunt (1983) discussed some alternative mechanical designs for the Stewart Platform. In addition, the kinematics, dynamics and practical design considerations have also been discussed by many researchers including Yang and Lee (1984), Mohamed and Duffy (1985), Sugimoto (1986), Fichter (1986), Shahinpoor (1992), and Stoughton and Arai (1993). Although many investigations have been done for the Stewart Platform, papers on error analysis are still very rare.

Due to the advantages of the Stewart Platform as compared to the conventional open kinematic chain machines, several machine tool builders developed prototype machine-tools based on the Stewart Platform. Hence, in this paper, considering a number of inaccuracy factors which cause position and orientation errors during the tool's motion, first and second order inverse kinematic error models for a six DOF Stewart Platform are addressed (Wang and Ehmann 1995) in Section 2. In section 3, passive and active error compensation methods (Lin, Wang, and Ehmann, 1995) which can be implemented to enhance the accuracy of the 6-DOF Stewart

*Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, Evanston, IL 60208-3111

Platform are reviewed. Finally, an illustrative example of an automated analysis system and both the passive and active error compensation algorithms are demonstrated in Section 4. Conclusions are given in Section 5.

II. GENERALIZED ERROR MODEL

In this section, by considering a number of error sources and applying a generalized error model formulated by Lin and Ehmann (1993) to each actuator along with sensitivity analysis, the inverse kinematics error model for a six DOF Stewart Platform is presented.

The First Order Error Model of the Stewart Platform

A schematic of a six degrees of freedom Stewart Platform is shown in Fig. 1. It consists of a base platform, six extensible links (actuators), and a moving platform which houses the spindle. Each of the six actuators has one of its end points fixed at the base and the other end point fixed at the platform with ball joint pairs, s_i and b_i . Since the machine tool is driven by adjusting the lengths of the actuators (i.e., the distance between s_i and b_i), any unintended small changes in the distances between s_i and b_i will result in position and orientation errors at the tool.

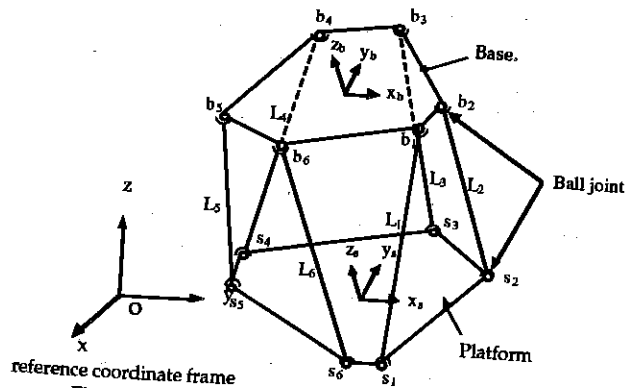


Fig. 1. The kinematic arrangement of a Stewart Platform

The deviations in position and orientation of the platform, are the result of errors which cause changes of the distances between s_i and b_i . The major error sources of the Stewart Platform can be divided into three main categories: (1) Location errors of ball joints. These errors are caused mainly by inaccuracies in manufacture and assembly. (2) Errors caused by imperfect motion of the actuators in six degrees-of-freedom. (3) Imperfect motion of ball joints. Due to the imperfect geometry and manufacturing, imperfect motion of ball joints (e.g., eccentric rotation) will cause deviations of the center of the sphere of the ball joint from its nominal position. Because of this, there will be differential changes in the distance between joints s_i and b_i . Referring to the paper published by Wang and Ehmann (1995), a generalized error model of the Stewart Platform which takes the above errors into account is given by:

$$[\Delta q] = \left[\frac{\partial L_i}{\partial q_j} \right]^{-1} [\Delta L_i] \quad (1)$$

where

L_i : is the nominal distance between the i th ball joint on the base and the i th ball joint on the platform

$\left[\frac{\partial L_i}{\partial q_j} \right]$: is the Jacobian matrix,

$[\Delta L_i]$: is the vector of the total differential distance between ball joint supports,

$[\Delta q] = [\Delta X \Delta Y \Delta Z \Delta \phi \Delta \psi \Delta \Gamma]^T$: is the vector of the position and orientation errors of the

platform with respect to the base coordinate frame, and

$q_j = X, Y, Z, \phi, \psi, \Gamma$: is the position and orientation of the platform in the base frame.

In Eq. (1), $[\Delta L_i]$ depends on the three major error sources. If the total differential changes in the distance of each joint pair at the desired position are known, the position and orientation deviations at this point can be determined by Eq. (1) (see for details Wang and Ehmann, 1995).

The Second Order Error Model of the Stewart Platform

Based on higher order Taylor's series expansion, the second order error model for differential length changes based on the first and second order errors can be written as:

$$[\Delta L_i] = \left[\frac{\partial L_i}{\partial q_j} \right] [\Delta q_j] + \frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 L_i}{\partial q_j \partial q_k} \right] [\Delta q_j \Delta q_k] \quad (2)$$

where

$\left[\frac{\partial L_i}{\partial q_j} \right]$: is the first order Jacobian matrix, the same as in Eq. (1), and

$\left[\frac{\partial^2 L_i}{\partial q_j \partial q_k} \right]$: is the second order Jacobian matrix, and

$q_j, q_k = X, Y, Z, \phi, \psi, \Gamma$: defines the position and orientation of the platform

Equation (2) shows the relationship between the total position/orientation error and the differential length changes of the actuators. Because this is a set of non-linear equations, no analytical solution exists and iterative numerical methods need to be used for its solution.

Sensitivity Analysis of the Error Sources

Based on Eq. (1), it is evident that the position and orientation errors of a Stewart Platform are dependent on the differential changes of the length of each joint pair, ΔL_i . Sensitivity analysis is used to evaluate the contribution of the three error sources to the accuracy of the Stewart Platform. The sensitivity parameters are defined as:

$$\left[\frac{\partial q_j}{\partial p_k} \right] = \left[\frac{\partial q_j}{\partial L_i} \right] \left[\frac{\partial L_i}{\partial p_k} \right] \quad (3)$$

where q_j represents the position or orientation variable of the Stewart Platform, i.e., X, Y, Z, ϕ, ψ , and Γ , and p_k represents the error components of the three major error sources.

III. PASSIVE AND ACTIVE ERROR COMPENSATION

To enhance a machine's ability to perform a precision task, passive and active compensation schemes are proposed to respectively eliminate quasi-static and dynamic errors of the machine.

Passive Error Compensation

In passive error compensation errors are measured either before or after the manufacturing process and assumes that the entire machine and measurement system is repeatable. The general concept of passive error compensation is shown in Fig. 2. If the quasi-static position and orientation error of the tool with respect to a reference coordinate frame can be measured and resolved into corresponding compensatory joint motions η_i then the input command h_i to each axis can be modified in such a way as to counteract the effects of errors, i.e.,

$$h_i = h_i - \eta_i \quad (4)$$

where h_i is the modified joint command.

For compensation of quasi-static errors, a new error prediction and compensation scheme which implicitly includes the non-rigid body condition, is developed for arbitrary multi-axis machines (Wang and Ehmann, 1994, and Wang, 1996). The approach is based on an efficient interpolation scheme that uses three dimensional shape functions to predict the errors of the tool. The method requires the knowledge of the static stiffness and of the position and/or orientation errors of the tool at a limited number of points, S_i , in the workspace which

subsequently forms the basis for predicting (interpolating) the errors anywhere in the workspace, R_j (Fig. 3). Two methods, element based and element free interpolation methods are considered.

For the element method, a limited number of points (sampled points) are selected to subdivide the overall workspace into smaller three dimensional elements. It is assumed that the position/orientation errors of the tool are known at certain characteristic points of these elements, and hence the errors at any point within the element and consequently the workspace itself can be accurately interpolated, i.e., predicted with a suitable shape functions. For the element free method, elements are not required for interpolation. The element free method therefore allows for more flexibility in the selection of the sampled points. Then, with the knowledge of position/orientation errors at the sampled points and based on the moving least squares algorithm, interpolation can be performed.

The predicted errors are used in a recursive software-compensation scheme. The underlying idea is very simple. Since the nominal tool path is given, the compensation software modifies the nominal machine commands to account for the predicted tool position/orientation errors. The modified commands are then issued to the machine's servo drives. It is clear that since it is not necessary to evaluate a complete error model for error prediction, less computing time is required, with the additional benefit of implicitly including all error sources into the compensation algorithm.

Active Error Compensation

In active error compensation the error is simultaneously monitored and used to alter the process. It is distinguished from passive error compensation by two characteristics. First, the measurement of error and compensation occur simultaneously as opposed to passive compensation where the measurement is usually done off-line and the error must be stored in some medium for compensation. Secondly, active error compensation can sense non-repeatable errors and act accordingly, while passive error compensation can not compensate for such errors.

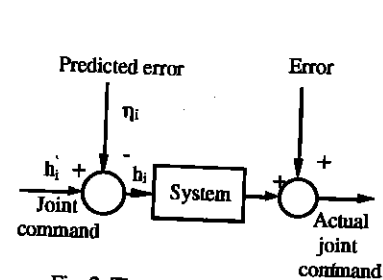


Fig. 2. The general concept of passive error compensation

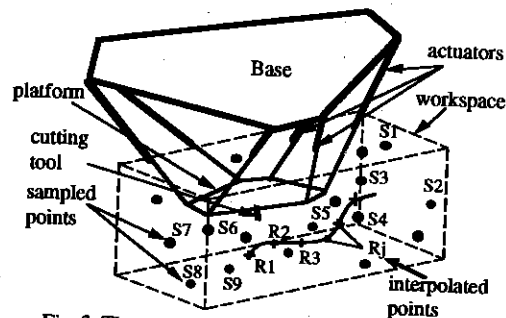


Fig. 3. The general concept of the interpolation scheme

In active error compensation each axis servo and compensator have the general structure shown in Fig. 4. The dynamic position and orientation errors (caused by friction, cutting forces, etc.) act outside of the feedback loop and cause the differential changes in the link variable of the axis. The objective of active compensation is directed toward reducing the effects of the measured or modeled dynamic position and orientation errors through suitable control algorithms.

The problem of minimizing the influence of disturbances on the accuracy of a machine can be approached from various standpoints. In the paper published by Lin, Wang, and Ehmman (1995), it was assumed that the machine's servos themselves represent systems with time varying parameters reflecting different load conditions, thermal states, etc. Therefore, an adaptive self tuner for maintaining a desired axis performance in conjunction with one of the proposed dynamic error compensation schemes for the cancellation of the geometric and kinematic errors was implemented. The dynamic error compensation schemes were based on the implementation of cancellation feedforward and minimum variance feedforward controllers.

IV. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

A six degrees-of-freedom Stewart Platform with a hexagonal base and platform which are connected by six one degree of freedom joints is used. For simplicity, location errors of ball joints, error components of actuators, and imperfect motions of ball joints are assumed in the simulations.

The error analysis is performed by fixing the orientation of the platform at $\phi=0^\circ$, $\psi=1.5^\circ$, and $\Gamma=1.5^\circ$, and limiting the workspace range to: x (-500, 500), y (-500, 150), and z (-2220.212, -3220.212). Figure 5 shows the regions where the position error is greater than the specified maximum error tolerance of 25 μm . Figure 6 shows the error distributions at the elevation of $z=-2720.21$ mm. Results of sensitivity analysis (influence of the z component of the length error of actuator #1 on the x position of the Stewart Platform) at an elevation of $z=-3220.212$ mm is shown in Fig. 7.

To demonstrate the performance and the potential improvement in accuracy of the Stewart Platform with the proposed error compensation schemes, simulations were performed by using 400 sampled points to simulate a counterclockwise circular cutting path in the xy plane with a center at (0, 0, -800) (mm) and a radius of 100 mm and elevation $z=-800$ mm. The cutting trajectory starts from the beginning point (0, 100, -800). During the cutting process, the orientation of the machine is maintained at a rotation angle of -3 degrees about the x -axis. Figures 8 and 9 show the result for no error compensation and passive error compensation, respectively. With both passive and active error compensation, Fig. 10 shows the trajectories with a cancellation feedforward controller.

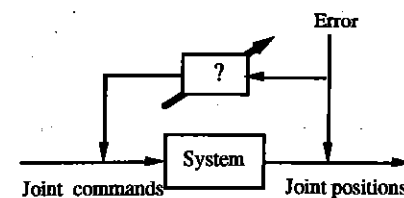


Fig. 4. The general concept of active error compensation

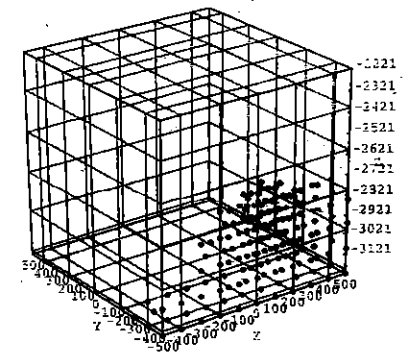


Fig. 5. Inaccuracy region in the workspace of the Stewart Platform, $R_{max}=25 \mu\text{m}$

max. =26.0018, min. =18.6359
max. min.

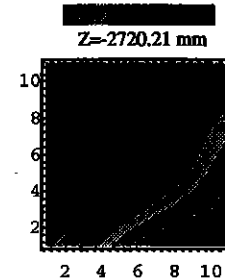


Fig. 6. Position error distribution of the Stewart Platform at $z=-2720.21$ mm

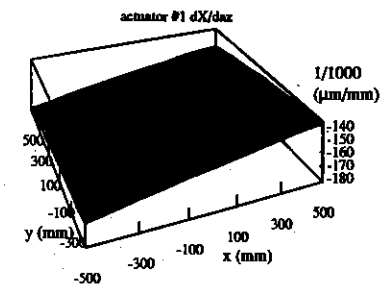


Fig. 7. Sensitivity analysis for machine's accuracy in x -dir. w.r.t. length error component in z -dir. of Actuator #1 at $z=-3220.212$ mm

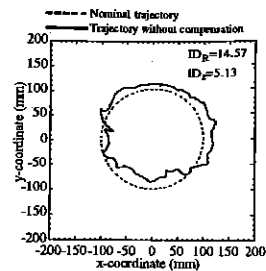


Fig. 8. Adaptive feedback for time variant system without error compensation

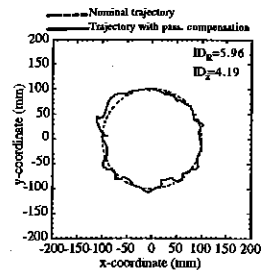


Fig. 9. Adaptive feedback for time variant system with passive error compensation

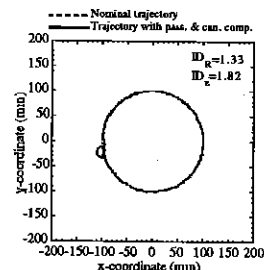


Fig. 10. Adaptive feedback for time variant system with passive and cancel. compensation

V. CONCLUSIONS

An overview of the accuracy analysis and error compensation schemes for a 6-DOF Stewart Platform has been given. First and second order error models have been introduced which consider three major error sources: (a) location errors of the ball joints, (b) errors originating in the actuators, and (c) imperfect motion of the ball joints. Second, passive and active error compensation schemes aimed at minimizing the effects of kinematic, geometric and dynamic errors were examined and simulated. Simulation results for a 6-DOF Stewart Platform with time varying parameters show that significant dimensional accuracy improvements can be obtained with both passive and active real-time error compensation schemes with adaptive control.

REFERENCES

- Fichter, E. F., and McDowell, E. D., "Determining the Motions of Joints on a Parallel Connection Manipulator", Proc. 6th World Congress on Theory of Machines and Mechanisms, New Delhi: Wiley Eastern Ltd., pp. 1003-1006, 1983.
- Fichter, E. F., "A Stewart Platform-Based Manipulator General Theory and Practical Construction", Int. J. Robot. Res., 5(2), pp. 165-190, 1986.
- Hunt, K. H., "Structural Kinematics of In-Parallel-Actuated Robot-Arms", Trans. ASME, J. of Mech. Transmiss. Auto. Design, Vol. 105, pp. 705-712, 1983.
- Hunt, K. H., "Kinematic Geometry of Mechanisms", Oxford, Great Britain: Oxford Univ. Press, 1965.
- Lin, P. D., and Ehmman, K. F., "Direct Volumetric Error Evaluation for Multi-Axis Machines", International Journal of Machine-Tools and Manufacture, Vol. 33, No. 5, pp. 675-694, 1993.
- Mohamed, M. G., and Duffy, J., "A Direct Determination of the Instantaneous Kinematics of Fully Parallel Robotic Manipulator", Trans. ASME J. Mech. Transmiss. Auto. Design, Vol. 107, pp. 226-229, 1985.
- Lin, P. D., Wang, S. M., and Ehmman, K. F., "Passive and Active Error Compensation of Multi-axis Machines", The First World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & System, Puerto-Rico, Vol. 2, pp. 1105-1116, 1995.
- Stewart, D., "A Platform with Six Degrees of Freedom", Proc. Inst. Mech. Engr., 180(1), pp. 371-386, 1965.
- Shahinpoor, M., "Kinematics of a Parallel-Serial (Hybrid) Manipulator", Journal of Robotic Systems, 9(1), pp. 17-36, 1992.
- Stoughton, R. S., and Arsi, T., "A Modified Stewart Platform Manipulator with Improved Dexterity", IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 9, No. 2, pp. 172, 1993.
- Sugimoto, K., "Kinematic and Dynamic Analysis of Parallel Manipulators by Means of Motor Algebra", Trans. ASME, J. Mech. Transmiss. Auto. Design, 86-DET-139, pp. 1-5, 1986.
- Yang, D. C. H., and Lee, T. W., "Feasibility Study of a Platform Type of Robotic Manipulator from a Kinematic Viewpoint", Trans. ASME J. Mech. Transmiss. Auto. Design, Vol. 106, pp. 191-198, 1984.
- Wang, S. M., and Ehmman, K. F., "Compensation of Geometric and Quasi-Static Deformation Errors of a Multi-axis Machine", Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Vol. 22, pp. 283-289, 1994.
- Wang, S. M., and Ehmman, K. F., "Error Model and Accuracy Analysis of a Six-DOF Stewart Platform", Manufacturing Science and Engineering, ASME, MED-Vol. 2-1/MH-Vol. 3-1, pp. 519-530, 1995.
- Wang, S. M., "Volumetric Error Compensation for Multi-axis Machines", Ph.D. Dissertation, Northwestern University, U.S.A., 1996.

SPM'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

Banjac D., Novović D., Pejić V.*

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ KONSTRUKCIJE KRUŽNOG SAMOBRITNOG NOŽA

Rezime

Specifična kinematika rezanja i povećana dinamička osetljivost obradnog sistema pri obradi alatima sa kružnim obrtnim reznim pločicama uslovljavaju da konstrukcija alata mora zadovoljiti niz složenih zahteva, naročito u pogledu njihove tačnosti i krutosti. Zbog toga je u istraživanjima ovog procesa bilo nužno razviti, ispitati i usavršavati više konstrukcija alata. Deo tih istraživanja i iznosi se u ovom radu.

1.0 UVOD

Istraživanje procesa obrade kružnim obrtnim reznim pločicama neophodno prati razvoj i primena odgovarajućih rešenja specijalnih konstrukcija alata. Veliki broj šema rezanja i njima odgovarajućih konstrukcija alata, prema literaturnim izvorima, odnosi se uglavnom na specifične uslove ispitivanja i primene i, za razliku od konvencionalnih standardnih alata, ne mogu se, kao opšta najpovoljnija rešenja, izabrati i primeniti bez posebnih istraživanja [4, 6, 7, 8]. Specifična kinematika i dinamika rezanja pri obradi sa kružnim obrtnim reznim pločicama pred konstrukciju alata postavljaju i niz dopunskih složenih zahteva.

Obrtno kretanje kružne rezne pločice zahteva da se u držaču alata nosač pločice (vreteno) postavi preko odgovarajućeg uležištenja. Time se u obradi bitno otežava postizanje tačnosti položaja sečiva alata i krutosti alata, odnosno dinamičke stabilnosti alata i obradnog sistema.

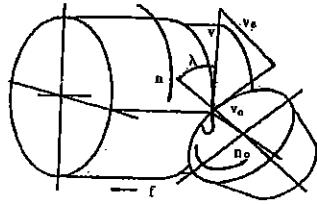
U toku dužih sopstvenih istraživanja procesa struganja kružnim samoobrotnim noževima (KSON) [1, 2, 3, 4], zbog svega navedenog, razvijeno je i ispitano više konstrukcija alata, sa odgovarajućim unapređenjima, prvenstveno u pogledu povećanja njihove tačnosti i krutosti. Zato se u ovom radu iznose osnovne podloge, koncepcije i deo rezultata ispitivanja razvijenih i primenjenih KSON.

2.0 OSNOVNE PODLOGE ZA RAZVOJ KONSTRUKCIJE KSON

U cilju da se u domaćoj industriji prerade metala povećaju proizvodni tehnološki efekti i putem obrade kružnim obrtnim reznim pločicama, prvenstveno pri obradi delova od teško obradljivih materijala i delova sa velikim kontinualnim površinama, u istraživanjima je usvojena i primenjena univerzalna šema rezanja, I šema istomeruog rezanja kružnim samoobrotnim nožem [1]. Naime, ova šema i odgovarajući KSON omogućava obradu delova širokog spektra dimenzija i materijala i najčešće se navodi u literaturi, sa većim obimom neophodnih informacija u odnosu na druge varijante obrade obrtnim kružnim reznim pločicama.

* Banjac mr Dragan, predavač, Novović mr Donka, asistent, Pejić Vlastimir, asistent pripravnik, FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića - Valtera 2.

Kružna rezna pločica, čija se čelona (ravna ili konična) površina koristi kao radna grudna površina, dobija stabilno obrtno kretanje brzine v_0 usled dejstva tangencijalnih sila trenja na kontaktnim površinama alata pri njegovom zaokretanju za potreban ugao nagiba sečiva rezne pločice - λ (Slika 1.). Vrednost brzine v_0 određena je prvenstveno uglom nagiba pločice (λ) i otporima uležištenja nosača pločice (vretena) u telo držača alata.



Slika 1. I Kinematska šema

Za datu brzinu rezanja (v) i brzinu obrtanja rezne pločice (v_0) dobija se značajno manja efektivna brzina rezanja (v_e), koja, uz povećanja aktivne dužine sečiva (obim pločice) i druge povoljne faktore, omogućava ostvarivanje bitno povoljnijih izlaznih rezultata procesa u odnosu na konvencionalna struganja prizmatičnim noževima [2, 4, 7].

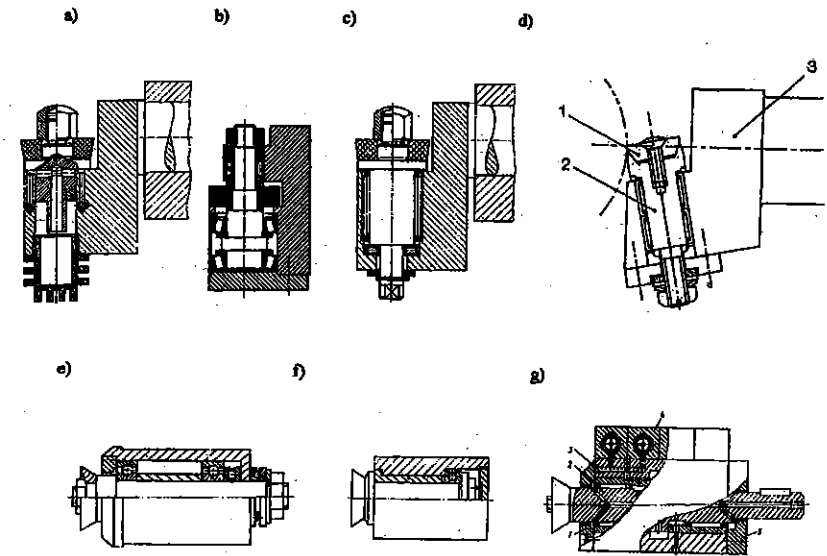
S druge strane, kao što će se prikazati kasnije, obrtno kretanje rezne pločice i naročito njeno uležištenje u držač alata, stvaraju i uslove za pojavu i nepovoljnih efekata u procesu obrade. Zbog netačnosti elemenata alata, posebno ležišta, i konstrukcijom alata određene dinamičke komponente sila rezanja i zbog toga i moguće povećana oscilatorna kretanja alata u odnosu na obradak. To znači da to omogućava pojavu dinamičke nestabilnosti procesa, povećanja hrapavosti obrađene površine i intenziteta habanja alata. Pri tome treba naglasiti nepovoljan presek strugotine i relativno veliki otpor prodiranja F_2 u odnosu na konvencionalno struganje.

Sve navedeno uslovi je potrebu da se u istraživanjima i primeni KSON posebna pažnja posveti merama za povećanje tačnosti i krutosti rešenja KSON, kao i tačnosti i krutosti drugih elemenata obradnog sistema (mašine, pribora, obratka). Pored toga, kako je već naglašeno, brzina obrtanja rezne pločice (v_0), odnosno ugao nagiba sečiva λ , u osnovi određuju sve povoljne efekte primene KSON. Međutim u procesu obrade sa KSON zavisno od ugla λ bitno se menja kinematska rezna geometrija [1], pa o tome, pri usvajanju konstrukcije kružne rezne pločice i rešenja koje će obezbediti promenu λ , treba voditi računa.

Na osnovu izloženog, kao osnovne podloge za analizu, proračun i konstruktivno rešenje alata (KSON), pored uobičajenih za konvencionalne noževe, dalje se, pored specifičnosti kinematike rezanja, naglašavaju: tipična izvedena konstruktivna rešenja KSON, primenjena uležištenja, rezne pločice, sile rezanja, merodavne uticajne greške na tačnost alata i krutost pojedinih rešenja alata.

Analizom širokog aspekta literarnih izvora može se zaključiti da postoji širok spektar konstruktivnih rešenja KSON i u okviru toga uležištenja i kružnih reznih pločica [5, 6, 7, 8]. Sva ta rešenja mogu se sistematizovati prema primenjenim šemama rezanja, rešenjima uležištenja i materijalima i geometriji kružnih reznih pločica. Tipična rešenja konstrukcije za I i II šemu rezanja [1], primenjena uležištenja u pogledu vrste (klizno, kotrljajno, kombinovano i hidrostatičko) i broja ležišta i rešenja za ostvarivanje ugla nagiba sečiva λ mogu se svesti na nekoliko osnovnih koncepcija (slika 2.).

S obzirom na postavljene zahteve tačnosti i krutosti uležištenja i, na osnovu literarnih izvora, očekivanih statičkih i dinamičkih komponenta otpora rezanja, posebno otpora prodiranja F_2 , pri izboru uležištenja, pored neophodne nosivosti i veka trajanja ležišta, treba posebno uzeti u obzir i njegovu tačnost i krutost, naročito kod radijalnih ležišta. Zbog toga se kao prioritetna rešenja nude ležišta veće tačnosti i krutosti, a čijom ugradnjom u držač alata je moguće odgovarajućim pritezanjem vršiti regulisanje - smanjivanje prvenstveno radijalnog zazoru ležišta i time i smanjenje bacanja sečiva alata. Takva rešenja omogućava prvenstveno primena konično-valjkastih (slika 2.b) [7, 8] i igličastih ležišta (slika 2. c, d) [5, 6, 7], sa odgovarajućom ugradnjom u konstrukcijama KSON. Pošto se radi o specijalnim konstrukcijama KSON, kvalitetno hidrostatičko uležištenje još uvek nije i ekonomski opravdano.



Slika 2. Osnovne koncepcije konstrukcije KSON:

- a - Nož sa kliznim uležištenjem (I šema)
- b - Nož sa konično-valjkastim i igličastim (I šema, 3 ležišta)
- c - Nož sa jednim i igličasto-valjkastim ležištem (I šema)
- d - Nož sa dva igličasto-kuglična ležišta (I šema)
- e - Nož sa 3 kuglična ležišta (II šema)
- f - Nož sa kombinovanim ležištima (II šema, klizno-kuglično)
- g - Nož sa hidrostatičkim uležištenjem (II šema).

Za obezbeđenje dinamičke stabilnosti obradnog procesa, a time i odgovarajuće visoke postojanosti alata i kvaliteta obrađene površine, u uslovima mogućih značajnih dinamičkih komponenti sila rezanja, značajno je takođe primeniti odgovarajuću vrlo tačnu reznu pločicu i njenu krutu i tačnu vezu sa vretenom - nosačem pločica (2, slika 2.d). Naime novija strana i sopstvena istraživanja [2, 5, 7] pokazuju da obrtno kružno sečivo u toku procesa rezanja ne sme da baca više od 0,01 mm, a to znači da u toj granici treba da bude zbir grešaka u uležištenju, grešaka nosača pločice (2) i držača (3) i grešaka razne pločice (1) (slika 2.d.).

Kada se radi o navedenim greškama kružne rezne pločice treba naglasiti da one obuhvataju zazor između otvora (cilindričkog ili koničnog) pločice i vretena-nosača, ekscentričnost kružnog sečiva i otvora, ovalnost sečiva i hrapavost sečiva (odnosno njegove ledne površine) [2]. Dimenzije rezne pločice, njen materijal i rezna geometrija se usvajaju kao i kod konvencionalne obrade, ali se pri tome mora voditi računa i o dimenzijama uležištenja i zadovoljavanju neophodne kinematske rezne geometrije. Pored navedenog, bacanje sečiva rezne pločice može se smanjiti i oštrenjem u sklopu, tj. kada je pločica postavljena u KSON na odgovarajuće vreteno.

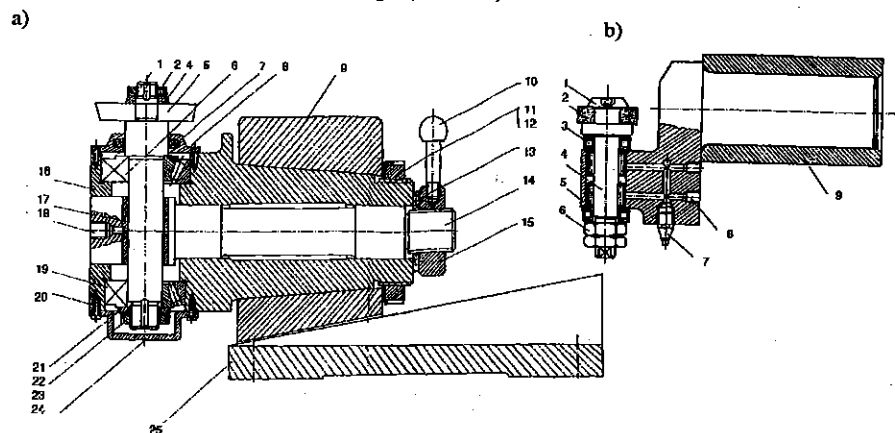
Iako se u literaturnim izvorima malo naglašava značaj napred navedenih konstruktivnih zahteva očigledno je da se samo njihovim zadovoljavanjem mogu očekivati povoljni efekti u primeni ovog procesa obrade.

3.0. RAZVOJ I ISPITIVANJE KONSTRUKCIJE KSON

3.1. Prikaz konstruktivnih rešenja

Za usvojenu i primenjenu I šemu istosmernog rezanja ($\lambda < 0$) u toku istraživanja procesa struganja sa KSON uzoraka od različitih standardnih konstruktivnih i teškoobradljivih materijala razvijeno je i primenjeno više konstruktivnih rešenja držača alata, koje se u osnovi svode na dve osnovne koncepcije.

Prva koncepcija alata [1] predviđena je i primenjena u obradi teško obradljivog lim paketa rotora elektromotora na univerzalnom strugu (slika 3.a.).

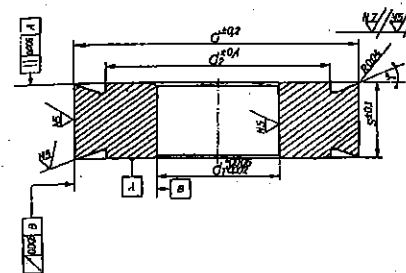


Slika 3. Koncepcija konstrukcije KSON

Konstrukciju karakteriše primena konično-valjkastih ležišta (6,19), dopunsko prigušivanje vibracija polugom 14 i postavljanje na poprečni klizač struga (zbog dimenzija držača). Primenjena ležišta karakteriše dovoljna nosivost i mogućnost poništavanja radijalnog zazora. Međutim veliki gabariti ležišta i držača usloveli su, za dati opseg prečnika limpaketa rotora, primenu reznih pločica (5) većih dimenzija (prečnika oko 60 mm) ili produženje gornjeg dela nosećeg vratena (1) i time smanjenje krutosti alata i povećanje njegove dinamičke osetljivosti. Izvršena ispitivanja su to i potvrdila, pa u daljim istraživanjima ta koncepcija alata nije primenjivana.

Druga šire istražena i primenjena koncepcija KSON je sa dva radi-aksijalna ležišta, igličasto radijalno i valjkasto aksijalno (slika 3.b) [2, 3, 4]. Zahvaljujući velikoj nosivosti i krutosti ovih ležišta i mogućnosti njihovog aksijalnog predopterećenja, dobijena je zbijenija konstrukcija držača (manje dimenzije ležišta), sa dovoljnom tačnošću i dinamičkom stabilnošću. Standardni rasečeni držač alata (9) omogućava postavljanje alata na sve strugove sa standardnim nosačima prizmatičnih noževa i, u istraživanju i primeni, menjanje i regulisanje potrebe vrednosti ugla nagiba sečiva ($\pm \lambda$). Elementi držača alata (vreteno 4 i telo 5) su vrlo tačno izrađeni pa tačnost alata-bacanje sečiva rezne pločice određuje tačnost i zazor ležišta i tačnost rezne pločice. Primenjena su standardna radi-aksijalna ležišta (INA) normalne tačnosti (P6, C6) što se pokazalo za istraživanu završnu obradu struganjem nedovoljnim za smanjenje bacanja sečiva u navedene uske granice [2, 7] i biće pokazano kasnije.

Kružne rezne pločice od odgovarajućih tvrdih metala za obradu pojedinih materijala obradka, zbog navedenog, moraju biti specijalne konstrukcija i vrlo tačne geometrije, pa zbog toga i relativna skupe.



Slika 4. Rezna pločica

Usvojeno je rešenje dvostrane rezne pločice, čime se broj oštrenja i vek njenog trajanja udvostručavaju. Za primenjeno igličasto uležištenje i datu konstrukciju držača (sl. 3.b) i realizaciju predviđenih istraživanja procesa, izabrani su manji prečnici pločica ($d = 25, 35$ i 50 mm), sa tačnom veznom površinom (d_1) i odgovarajućom statičkom reznom geometrijom ($\gamma = \gamma_N + \alpha_N, \alpha = 0$).

Statička rezna geometrija KSON (sl. 3.b) obezbeđena je postavljanjem rezne pločice ispod ose obradka za potrebnu vrednost koja obezbeđuje ledni ugao α_N , čime se koriguje i grudni ugao pločice na $\gamma_N = \gamma - \alpha_N$ [2, 3, 4].

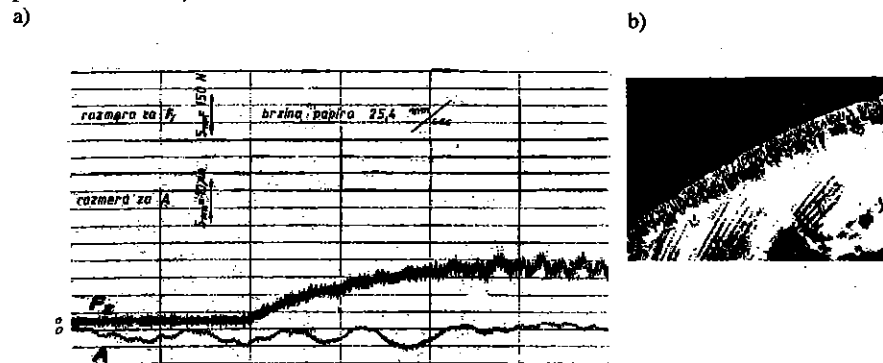
Izbor γ_N i α_N vrši se kao i kod konvencionalnih noževa, stim da se mora izvršiti proračun i provera kinematske rezne geometrije [1]

3.2. Neki rezultati eksperimentalnih ispitivanja i unapređenja konstrukcije

U toku širih istraživanja procesa obrade struganjem sa drugom koncepcijom KSON (slika 3.b), pored ostalog, ispitivane su i analizirane podloge i karakteristike alata [1, 2, 3, 4]. Navode se samo neki od dobijenih rezultata.

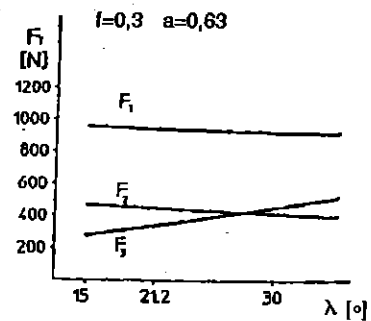
Pri ispitivanju sila rezanja, oscilatornih pojava, habanja alata i hrapavosti obrađene površine, dobijen je niz, i za konstrukciju alata, bitnih rezultata. Potvrđen je veliki značaj tačnosti izrade alata, posebno rezne pločice i uležištenja, kao i određena odstupanja u vrednostima, odnosima i karakteru sila rezanja u odnosu na informacije u literaturi.

Primenom prikazane konstrukcije rezne pločice i rešenja alata sa navedenim radi-aksijalnim uležištenjem (Sl. 3.b) normalne tačnosti i zazora (P6, C6) utvrđeno je stvarno bacanje sečiva rezne pločice od oko $0,04 \div 0,05$ mm. Pri obradi konstrukcionog čelika Č. 4732 to je izazvalo pojavu dinamičkih sila rezanja i njima odgovarajućih oscilatornih kretanja (slika 5), koje su imale uticaj na povećanje hrapavosti obrađene površine [1] i inteziteta habanja alata [4]. Kao ilustracija, navode se grafici glavnog otpora rezanja ($F_z = F_x$) i amplitude oscilovanja (A) (Slika 5.a) i odgovarajuće povećanje inteziteta habanja razaranjem sečiva (prikazano za grudnu površinu, slika 5.b)



Slika 5. Primer eksperimentalnih rezultata

Realizacijom trofaktornog plana eksperimenta zavisne obrade čelika Č. 4732, gde su ulazni promenljivi parametri bili ugao nagiba sečiva ($-\lambda$), dubina rezanja (a) i pomak (f), registrovanjem statičkih komponenti sila rezanja, potvrđena su ranije navedena odstupanja u odnosima sila rezanja i njihova zavisnost od ugla λ , ali znatno manje vrednosti inteziteta sila rezanja u odnosu na predpostavljene na osnovu literaturnih informacija [7, 8] (slika 6).



Slika 6. Sile u zavisnosti od λ

Dalje smanjenje radijalnog bacanja površina sečiva u sklopu alata (slika 3.), kao što je napred naglašeno.

U toku eksperimenata pri obradi čelika dobijena je neprekidna trakasta ili zavojna strugotina, što zahteva rešenje lomljenja strugotine prvenstveno izradom odgovarajućih žljebova na grudnoj ili leđnoj površini.

4.0. ZAKLJUČCI

1. Povoljni efekti primene struganja sa KSON mogu se obezbediti samo razvojem i ispitivanjem alata, pre svega u cilju postizanja njegove odgovarajuće tačnosti i krutosti.
2. Izbor i primena odgovarajućih uležištenja vretena - nosača rezne pločice i odgovarajućih mera za poništavanje zazora u njima predstavljaju i dalje osnovno ograničenje u neophodnoj široj primeni procesa obrade sa KSON.
3. Kružna rezna pločica je specijalne konstrukcije visoke geometrijske tačnosti i zbog toga još uvek skupa. Standardizacijom reznih pločica i elemenata držača alata može se ostvariti šira ekonomična primena u proizvodnji.

5.0 LITERATURA

- [1] Banjac D., Rodić M.: Kinematska geometrija kružnih samoobrtnih noževa, *Zbornik radova XIII Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Banja Luka, 1979.*
- [2] Banjac D.: Hrapavost obrađene površine pri struganju kružnim samoobrtnim noževima, *Zbornik radova IV naučno-stručnog skupa MMA'90-Fleksibilne tehnologije, Novi Sad, 1990.*
- [3] Banjac D., Todić V.: Eksperimentalno određivanje sila rezanja pri obradi čelika Č. 4732 kružnim samoobrtnim noževima, *Zbornik radova 24. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.*
- [4] Banjac D., Gojković D.: Habanje i postojanost kružnih samoobrtnih noževa, *Zbornik radova 25. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994.*
- [5] Chen P., Hoshi T.: Characteristics of Self-Propelled Rotary Tools in Machining High - Performance Materials, *Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 25, No4, 1991.*

- [6] Bekstein F., Fridrich G.: Entwicklung zwangs- und selbstlaufgetriebener Rotationsschneidwerkzeuge für die Zerspanung, *Werkstatt und Betrieb, 109, 1976.*
- [7] Jašćerica P. I., Borisenko A.V., Brivotin I.G., Lebedev V.J.: Rotacionnoje rezanije materialov, *"Nauka i tehnika", Minsk, 1987.*
- [8] Tüllner K.: Untersuchungen mit Drehwerkzeugen mit umlaufender Schneidschibe, *Dissertation, TH Aachen, Aachen, 1971.*

DESIGN DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF SELF-PROPELLED ROTARY TOOL

Abstract

The specific cutting kinematics and increased dynamics sensitivity of machining system during cutting by tools with rotary cutting inserts cause the tool construction has to meet a number of complex requirements, particularly concerning their accurately and stiffness. Because of that, in investigation of this process, it has been necessary to develop, examine and improve the different tool constructions. In this paper, the part of that investigation is presented.



ЛАЗЕРНАЯ ПРАВКА АЛМАЗНЫХ КРУГОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СВЯЗКАХ

Л.Г. Добровольская

Харьковский государственный политехнический университет, Украина

Введение

В современном машиностроении производительность и качество обработки определяются не только используемым оборудованием, но и эксплуатационными характеристиками инструмента. Таким примером, в частности, могут служить алмазные шлифовальные круги на металлических связках, которые весьма перспективно и целесообразно использовать в современных гибких производственных модулях (ГПМ) и обрабатывающих центрах в силу уникальных свойств и возможностей абразива и связки. Последнее, однако, предопределяет необходимость разработки принудительной правки, которая в перечисленных условиях должна обеспечивать: формирование режущих свойств инструмента, воспроизведение результатов, а также, возможность автоматизации и встраивание процесса в ГПМ. Ввиду того, что существующие способы правки в силу их технических и технологических особенностей не отвечают перечисленным требованиям в комплексе, разработан новый способ лазерной правки /1, 2, 3/ алмазных шлифовальных кругов на металлических связках. При этом, в качестве микроинструмента используется лазерное излучение, которое позволяет управлять параметрами и свойствами рабочей поверхности круга. Это является новым подходом как с научной так и с практической стороны решения актуальной проблемы расширения технологических возможностей шлифования.

В настоящее время лазеры высокой мощности находят широкое применение в гибких производственных системах для выполнения различных технологических операций, а в области шлифования существуют разработки по лазерному профилированию /4, 5/ и исследования процесса правки кругов /6/ на основе оксида алюминия с керамической связкой (AA60K5V8). Однако систематические исследования по лазерной правке шлифовальных кругов практически отсутствуют. Поэтому в работе изучено: воздействие лазерного излучения на многокомпонентный состав поверхностного слоя: алмазных шлифовальных кругов на бронзовых связках, технологические особенности процесса лазерной правки, а также влияние его на результаты шлифования.

Теоретическое описание процесса лазерной правки

Лазерная обработка основана на тепловом воздействии, приводящем к разрушению облучаемого материала. Практическую значимость при этом имеет задача определения глубины удаляемого слоя материала. Последнее связано с такими параметрами, как мощность лазерного луча и характеристики импульса, а также скорость и направление сканирования по заготовке.

Моделируя процесс лазерной правки рассматриваемых кругов следует учесть особенность разрушения бронзовых мишеней под действием лазерного излучения,

которая заключается в стимулировании им термохимических реакций, приводящих к росту окисной пленки на поверхности и изменению поглощательной способности материала.

В работе теоретические исследования выполнены с целью построения аналитической модели для описания процесса разрушения бронзовых поверхностей тел вращения конечных размеров и расчета глубины удаляемого слоя под действием импульсного и непрерывного лазерного излучения.

Предпосылкой для построения модели явилось предположение, что подводимая к элементарной площадке поверхности энергия лазерного излучения расходуется на испарение материала и кондуктивный перенос тепла. Причем, в силу достаточной прозрачности алмазов в инфракрасной области, полагалось, что лазерное излучение избирательно воздействует на многокомпонентный состав рабочей поверхности круга и поглощение происходит в основном связкой. Известно также, что разрушение алмазов происходит при более высоких интенсивностях лазерного излучения, чем у металлов.

В анализе принят ряд допущений: 1) тепловые процессы при разрушении поверхностного слоя связки не отличаются существенным образом от процессов, происходящих в изотропных материалах, так как теплопроводность алмазов сравнима с теплопроводностью меди; 2) теплофизические параметры металлов, входящих в состав связки, усредняются пропорционально их объемному содержанию; 3) испаряющийся материал не влияет на процесс взаимодействия луча с материалом мишени, так как полностью удаляется газовой струей, чему дополнительно способствует вращение круга; 4) кондуктивный перенос тепла в заготовку происходит только по нормали к поверхности; 5) интенсивность лазерного луча имеет плотность распределения Гаусса.

Используя подход [7] применительно к процессу лазерной правки и принятые допущения, считаем что выражение для определения глубины удаляемого слоя материала связки при непрерывном лазерном излучении имеет вид:

$$\Delta D = \frac{aP}{\pi^{1/2} \rho v R (c_p (T_s - T_0) + L)}$$

где; a - поглощающая способность, P - мощность лазера, R - радиус лазерного луча, ρ - плотность, v - скорость сканирования, c_p - удельная теплоемкость, L - скрытая теплота испарения, T_s - температура испарения, T_0 - начальная температура поверхности.

Выражение для расчета ΔD при импульсном лазерном излучении отличается учетом кумулятивной интенсивности в точке суммирования $\sum dx$ интенсивностей от каждого распределения Гаусса, заданного во всякой дискретной точке импульса, а также от некоторых дискретных точек соседних импульсов, число которых находится в пределах K .

В результате лазерного облучения поверхности бронзового круга величина поглощательной способности a становится функцией толщины окисной пленки x . Для толстых окисных пленок скорость их роста определяется диффузией, связанной по теории Вагнера с концентрационным градиентом, что приводит к параболической зависимости вида [8]:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d}{x} \exp\left(-\frac{T_d}{T}\right), \quad (1)$$

где x - толщина окисной пленки, d и T_d - константы, связанные с микроскопическими характеристиками вещества мишени, T - температура мишени.

Для многопроходного режима лазерной обработки величина поглощательной способности a и температура мишени T являются также функциями времени;

$$a(x, t) = a_0 + bx(t); \quad b = 4\pi^2(n^2 - 1)a_0 / \lambda \quad (2)$$

где a_0 - начальная поглощательная способность материала мишени; n - действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости оксида $\sqrt{\epsilon} = n + ik$, λ - длина волны излучения лазера.

Интегрированием дифференциального уравнения (1) при постоянной температуре $T = T_p$ получено его общее решение в виде;

$$0,5x^2 = d \exp\left(-\frac{T_d}{T_p}\right)t + C,$$

а после определения константы C из начального условия $x(0) = x_0$ и соответствующее частное решение, которое при $x_0 = 0$ имеет вид;

$$x = [2d \exp\left(-\frac{T_d}{T_p}\right)t]^{1/2} \quad (3)$$

На основании решения (3) уравнения (1) и зависимости (2) получено выражение для функциональной связи;

$$a(x, t) = a_0 + [4\pi^2(n^2 - 1)a_0 / \lambda] [2d \exp\left(-\frac{T_d}{T_p}\right)t]^{1/2}$$

Выражение для определения начальной температуры мишени перед очередным проходом луча получено интегрированием сеточным методом дифференциального уравнения

$$mc \frac{dT}{dt} = -P_{ном}(T),$$

описывающего процесс остывания мишени под действием конвективного и радиационного теплообмена с окружающей средой

По полученным формулам проведены численные расчеты и построены графические зависимости $x(t)$, $a(x, t)$, $T(t)$, $\Delta D(q)$, которые позволили установить приемлемый энергетический диапазон для правки и показали, что с учетом кумулятивной интенсивности и термохимических реакций расчетная величина глубины правки увеличивается в 1,5 - 2,0 раза.

Оборудование и методы исследований

Для исследований использованы промышленные лазерные установки типа "Квант" на стекле с неодимом, работающие в ближней области инфракрасного излучения с частотой следования импульсов до 20 Гц и лазер модели ЛТИ-502 на алюмо-иттриевом гранате с неодимом с частотой следования импульсов до 50 кГц. В качестве рабочей длины волны выбран $\lambda = 1,06$ мкм.

Экспериментальная установка на базе лазера ЛТИ-502, оснащенная трехкоординатным столом, приспособлением для вращения кругов и системой ЧПУ, управляемой от ЭВМ позволила в широких пределах изменять условия и режимы обработки за счет регулирования энергетических, пространственных и временных параметров лазерного излучения.

Шлифование после лазерной правки выполнено на модернизированном внутришлифовальном станке 3М 227 ВР Ф2, позволяющем для сравнения осуществлять абразивную и электроэрозионную правку.

Физико-технические исследования проведены комплексом взаимодополняющих методов: оптической и растровой электронной микроскопией, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией, рентгеновского флуоресцентного анализа, рентгеноструктурного анализа, рентгеновской тензометрии, профилографирования и прочими.

Экспериментальные исследования лазерной правки

Экспериментальная проверка теоретических результатов показала, что построены на основании оптических исследований графические зависимости геометрических параметров лунок от интенсивности лазерного воздействия совпадают с теоретическими в интервале плотности мощности $q = 10^5 \dots 5 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2$.

На основании выполненных комплексных исследований химсостава, структуры, топографии и результатов шлифования доказана возможность использования лазерного излучения для избирательного разрушения материала связки. Установлено, что механизм избирательного лазерного воздействия на связку реализуется в импульсном режиме излучения ($\lambda = 1,06 \text{ мкм}$, $\tau = 2 \times 10^{-7} \dots 4 \times 10^{-3} \text{ с}$, $q = 5 \times 10^6 \dots 5 \times 10^7 \text{ Вт/м}^2$). Причем, избирательность заключается в удалении либо только связки, либо вместе с этим происходящем микроскалывании зерен, без потери ими своих свойств. Непрерывное же лазерное излучение с увеличением q приводит к постепенной графитизации алмаза до полного его выгорания.

Результаты химических анализов показали, что с увеличением интенсивности лазерного воздействия на поверхность образцов валентное состояние основных металлических компонент изменяется, что свидетельствует о переходе их из свободного состояния в окисленное, т.е. разрушение поверхности бронзовых связок при непрерывном и импульсном облучении в условиях окружающей атмосферы обусловлено протеканием термохимических реакций окисления, стимулированных лазерным излучением, наряду с процессами плавления и испарения. Причем, импульсное лазерное излучение стимулирует образование SnO , SnO_2 , а непрерывное - CuO , Cu_2O .

Установлено, также, что лазерное излучение приводит к фазовым превращениям в поверхностном слое кругов. Появление кристаллов γ , δ , ϵ -фаз в структуре связки совместно с кристаллами основной α -фазы в виде мелкокристаллической смеси значительно снижает ее пластичность и вязкость. Следовательно, лазерное излучение приводит к закалке бронзовых связок.

Исследования качества поверхности кругов после лазерной правки методами профилографирования, оптическим и электронно-растровым микроскопированием показали, что на развитие ее рельефа и шероховатости влияют такие параметры лазерного излучения, как плотность мощности (q), частота (f), длительность (τ) и шаг смещения импульсов (S) по установленным зависимостям.

Шлифование после лазерной правки.

В процессе шлифования деталей из сплавов ВК-8 установлено, что способ лазерной правки позволяет целенаправленно влиять на качество и

производительность процесса обработки, путем создания необходимого микро-рельефа круга за счет изменения контролируемых параметров лазерного излучения (q, f, τ, S). Это даст возможность создавать шлифовальные ГПМ без автоматической смены кругов, которая до настоящего времени технически не решена.

Сравнительный анализ качества поверхности деталей в зависимости от длительности шлифования показал, что шероховатость детали после лазерной правки ниже, чем после электроэрозионной, т.к. первая позволяет сформировать меньшую разновысотность зерен. Кроме того, способ лазерной правки позволяет снизить удельный расход алмазов в сравнении с электроэрозионным и абразивным способами за счет повышения их прочности, создание меньшей разновысотности зерен и термоупрочнения связки.

Выводы

Лазерная правка алмазных шлифовальных кругов является новым перспективным способом, который позволяет повысить уровень подготовленности кругов к работе, гибко управлять свойствами и параметрами рабочей поверхности, способствует расширению спектра обрабатываемых материалов и концентрации операций, что в итоге расширяет технологические возможности алмазного шлифования. Для процесса лазерной правки требуется двух-трехкоординатная система относительного перемещения луча и круга, поэтому предпочтительно использовать метод в высокоавтоматизированных системах с ЧПУ.

Литература

1. Добровольская Л.Г., Добротворский С.С. Применение лазеров в процессе механообработки деталей шлифованием. // Применение лазеров в народном хозяйстве: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., г. Шатура, 1989г. - С.83.
2. Патент SU N 1777579 АЗ СССР В 24 В 53/06 Способ правки алмазных кругов. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г., Скорописов В.П.. Оpubл. 23.11.92, Бюл. N43. Приоритет 18.05.90.
3. Патент SU N 1787102 АЗ СССР В 24 В 53 /075 Способ абразивной обработки. Добротворский С.С., Добровольская Л.Г. Оpubл. 07.01.93, Бюл. N1. Приоритет 5.11.90.
4. Патент DE 3202697 A1, Deutsches Patentamt, В 24 В 53/06 В 23 F 23/11. Lorenz, Manfred, Verfahren und Vorrichtung zum Feinprofilieren un mit superharten werstoffen beschichteten Werkzeugen. Оpubл. 04.08.83.
5. А.с. 939175 СССР В 24 В 53/06 Способ профилирования алмазного круга. Сотов И.Н., Чмир Ю.Н. и др. Оpubл. 30.06.82. Бюл. N24. Приоритет 28.05.80.
6. Бабу, Радхакришна, Мурти. Исследование процесса лазерной правки шлифовальных кругов. // Современное машиностроение. Сер.Б. 1990, N3.-С.161-177.
7. Криссолурис, Шэн, Чой Трехмерная лазерная обработка резанием композитов // Современное машиностроение. Сер.Б. 1991. N3.С.99-106.
8. Краснов И.В., Шапарев Н.Я., Шкедов И.М. Оптимальные лазерные воздействия. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд. 1989. 93с.

Л.Г.Добровольская. Лазерная правка алмазных шлифовальных кругов на металлических связках.

Предложен новый способ лазерной правки алмазных шлифовальных кругов на металлических связках. Исследованы теоретические, физико-технические и технологические особенности процесса. Изучено влияние лазерной правки на результаты шлифования. Проведен сравнительный анализ работоспособности кругов, производительности и качества шлифования, удельного расхода алмазов с существующими методами правки.



Rodić, M.[†], Novaković, D., Todić, V., Stević, M.:*

AUTOMATIZACIJA RUKOVANJA PRIBORIMA I NJIHOVIM ELEMENTIMA NA FTs ZA ROTACIONE DELOVE

Rezime

U prvom delu rada ukratko se definišu potrebe za automatizacijom procesa rukovanja kako, predmetima rada, tako i priborima i ostalom opremom u okviru FTs. Akcenat se daje na zahteve vezane za obradu klase delova rotacionog geometrijskog oblika. Drugi deo rada obuhvata analizu i sistematizaciju rukovanja priborima i elementima pribora za datu klasu delova. U trećem delu rada se, na bazi analize i sistematizacije potreba rukovanja priborima i elementima pribora, daje prikaz rešenja koje zadovoljava zahteve fleksibilne automatizacije za obradu određene klase delova.

1.0 UVOD

Značajan deo vremena u proizvodnim procesima u Fleksibilnim Tehnološkim strukturama (FTs) otpada na pomoćna vremena. Njihovim skraćivanjem se povećava proizvodnost i skraćuje tehnološki ciklus. Znatnija skraćivanja pomoćnih vremena postižu se automatizacijom procesa rukovanja materijalom u okviru FTs.

Pod materijalom se podrazumevaju predmeti obrade, pribori, alati i oprema za rukovanje (radnim predmetima, alatima i drugim delovima) u proizvodnim procesima.

Razvojem FTs sve značajnije dolaze do izražaja zahtevi za automatizacijom rukovanja materijalom. Značajno mesto pripada i automatizaciji rukovanja priborima i njihovim elementima u FTs.

Sistematizacija zahteva rukovanja priborima i njihovim elementima je vezana za nivo složenosti FTs, a u okviru toga, i vrstu delova za koju pribori obavljaju svoje funkcionalne zadatke. Vezano za nivo složenosti može se reći da su FTs višenivovske strukturne forme koje se grade od obradnih, manipulacionih, transportno-skladišnih, merno-kontrolnih i upravljačko-informacionih sistema u kojima se postavljaju određeni zadaci rukovanja materijalom.

Prema nivou složenosti FTs razlikuju se Mašina Alatka (MA), Fleksibilni Tehnološki Modul (FTM), Fleksibilna tehnološka ćelija (FTĆ) i Fleksibilni Tehnološki Sistem (FTS) [2]. Prema nivou složenosti FTs se mogu klasifikovati i zadaci rukovanja materijalom a u okviru toga i zadaci rukovanja priborima.

2.0 ZADACI I FUNKCIJE RUKOVANJA PRIBORIMA U FTs

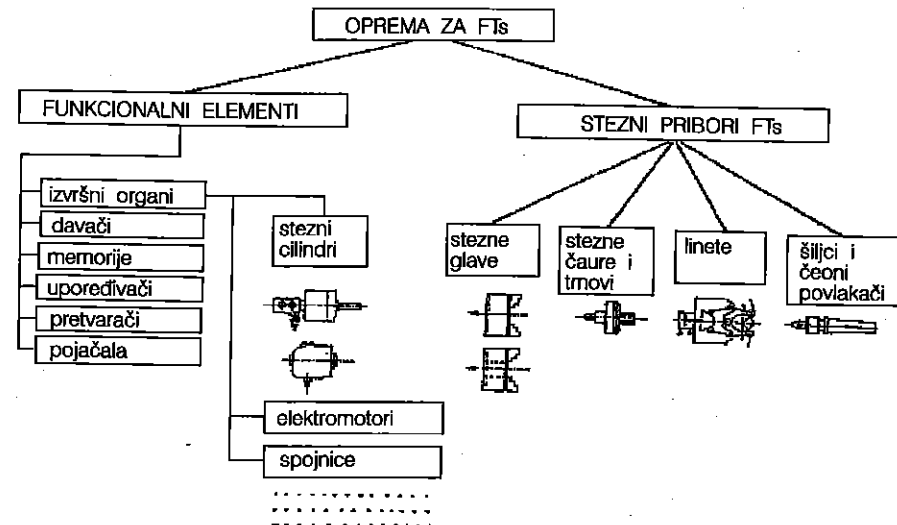
U zavisnosti od nivoa složenosti FTs definišu se i osnovni zadaci koje treba da realizuju pribori i njihovi elementi. Ovi zadaci su najčešće vezani za prihvatanje, pozicioniranje i stezanje radnih predmeta i oni treba da obezbede:

- stezanje u određenom dijapazonu dimenzija,

*[†]) Rodić dr Milorad[†], dipl. ing., docent, Novaković mr Dragoljub, dipl. ing., asistent, Todić dr Velimir, dipl. ing., vanredni profesor, Stević Miodrag, dipl. ing., stručni saradnik, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad

- automatsko programsko podešavanje steznih elemenata za novi dijapazon dimenzija,
- automatsku programsku zamenu steznih elemenata pri prelasku na novu vrstu obrade ili seriju proizvoda,
- sigurno i tačno stezanje i za slučaj poremećaja u procesu rada,
- eliminaciju zazora koji utiču na tačnost obrade,
- automatsko podešavanje sila stezanja koje neće deformisati radni predmet i uticati na tačnost obrade.

Pribori svoju funkciju u FTs realizuju zajedno sa odgovarajućom opremom čija je delimična sistematizacija prikazana na slici 1.



Slika 1. Delimična sistematizacija opreme u FTs

Oprema FTs je podeljena u dva segmenta, koje čine:

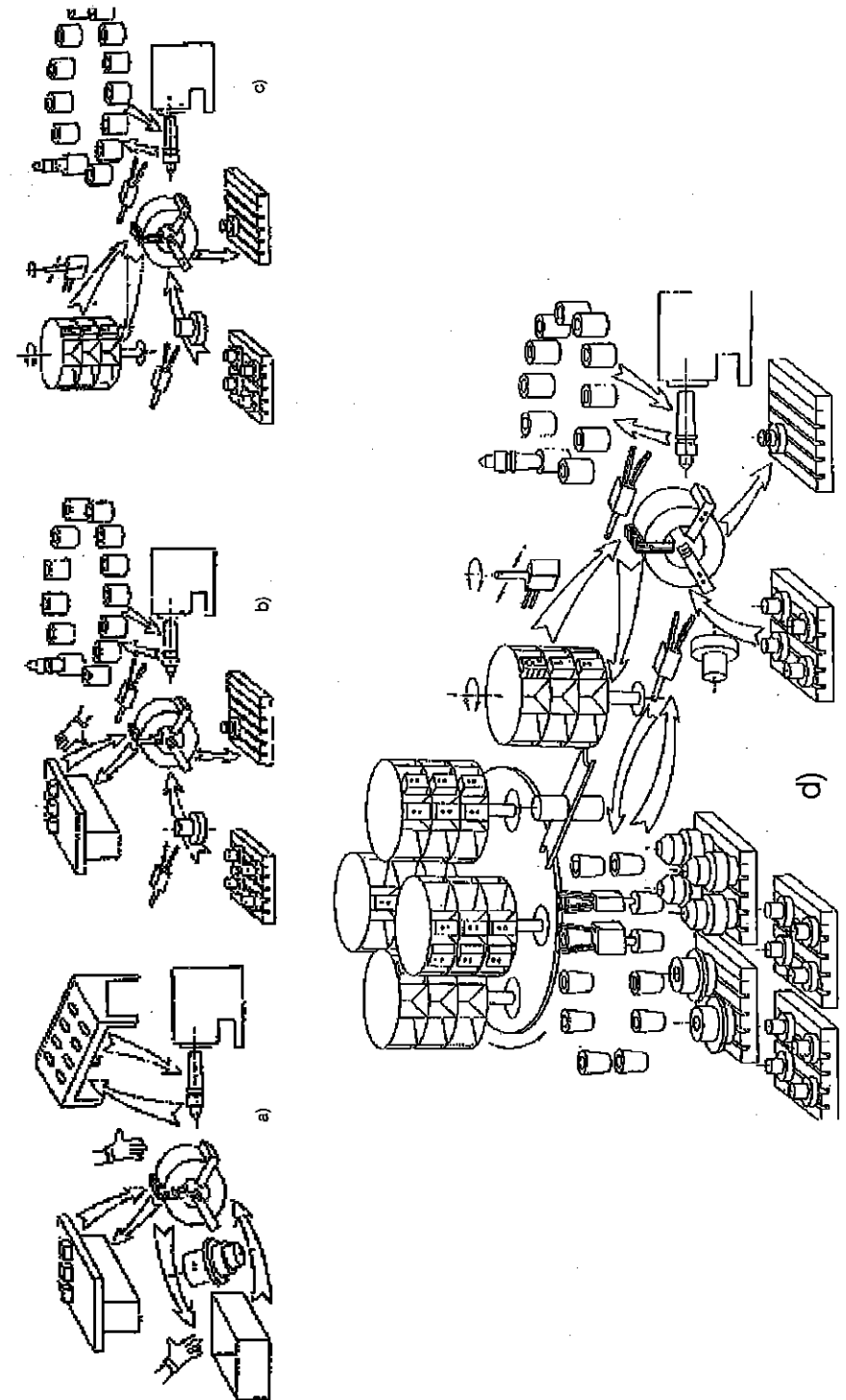
- Funkcionalne elemente
- Stezne elemente

Funkcionalni elementi su povezani u niz i čine upravljačko kolo. Jedan segment upravljačkog kola čine izvršni organi čiju jednu podgrupu čine stezni cilindri. Sklop cilindara uz pomoć odgovarajućih elemenata za vezu sa steznim elementima, kao što su stezne glave, stezne čaure i trnovi, čine sisteme za automatsko stezanje.

Zadaci rukovanja priborima i njihovim elementima vezani su za nivo složenosti FTs.

Na slici 2a je predstavljena principijelna šema rukovanja materijalom (priborima i delimično radnim predmetima) na nivou mašine alatke. U zavisnosti od mase i gabaritnih dimenzija radnog predmeta on se postavlja i vadi iz stezne glave ručno ili automatski. Odlaganje radnih predmeta se vrši na uređaje za odlaganje. Proces odlaganja -manipulacije se najčešće realizuje ručno. Zamena i podešavanje čeljusti najčešće se realizuje ručno, a stezanje radnih predmeta najčešće se realizuje automatski, a može i ručno. Zamena šiljaka i nosača alata najčešće se realizuje ručno.

Na slici 2b prikazana je principijelna šema rukovanja materijalom na nivou FTM. Obzirom da je FTM struktura koja objedinjuje funkcionalne zahteve obradnog procesa, mašinskog sistema, merno-kontrolnog sistema i autonomnog manipulacionog sistema za manipulaciju obratkom, priborom i alatom, to se u okviru tih funkcionalnih zahteva realizuju funkcije rukovanja materijalom. FTM u principu poseduje autonomni manipulacioni sistem za manipulaciju priborom, alatima i obracima. Manipulacija priborom, vezano za zamenu i podešavanje steznih elemenata, najčešće se obavlja ručno, dok je manipulacija radnim predmetima automatizovana.



Slika 2. Principijelna šema rukovanja priborima u okviru FTs

Na slici 2c prikazana je principijelna šema rukovanja materijalom na nivou FTC koja objedinjuje funkcionalne zahteve obradnih procesa (koji se obavlja na nekoliko mašina alatki ili FTM), mašinskih sistema, merno kontrolnih sistema, autonomnih manipulacionih sistema i transportno skladišnih sistema. Na nivou FTC u principu se podrazumeva da postoji integralna automatizacija procesa izrade delova tako da su funkcije rukovanja materijalom, odnosno priborima automatizovane. U okviru ovog nivoa FTs manipulacija postavljanja i skidanja stezne glave obavlja se automatski. Takođe je automatizovano postavljanje i skidanje šiljaka uz pomoć manipulatora. Ovakvi sistemi su snabdeveni autonomnim magacinom steznih pribora. Zamena i podešavanje steznih elemenata obavlja se automatski, pojedinačno ili u kompletu.

Rukovanje priborima u FTS, koji predstavlja zaokruženost tehnologije proizvodnje određene klase delova, obavlja se automatski. Najčešće se (slika 2d) rukovanje priborima obavlja od centralnih autonomnih magacina, pojedinačno ili u kompletu. U okviru ovog nivoa FTs vrši se rukovanje i paletama, zatim hvataljkama i određenim podešavanjem steznih i elemenata za prihvata. Nivo automatizacije rukovanja u FTS objedinjuje zahteve rukovanja priborima koji se postavljaju i pred FTs nižeg nivoa složenosti sa višim stepenom autonomnosti i automatizovanosti.

3.0 PRIBORI KOJI RELIZUJU FUNKCIJE RUKOVANJA U FTs

Za realizaciju funkcija rukovanja materijalom u FTs projektovana rešenja pribora moraju imati povišeni stepen fleksibilnosti. Oni izvršavaju određene funkcije rukovanja i sami su predmet rukovanja u FTs. Najznačajnije funkcije rukovanja koje realizuju pribori su funkcije prihvata, pozicioniranja, stezanja i otpuštanja. Za realizaciju funkcija rukovanja uz pribore se dodaju pogoni za njihovu mehanizaciju i automatizaciju. Njihov zadatak je da obezbede:

- brzo i jednostavno izvršavanje funkcija rukovanja,
- pouzdano i prilagođeno održavanje funkcija rukovanja (npr za funkciju stezanja regulisanje sile stezanja),
- nesmetano izvršavanje funkcija rukovanja (omogućavanje toka materijala kroz njihove elemente, pristup određenim zonama i sl.),

Realizovanje postavljenih zadataka za ove elemente može se ostvarivati uz pomoć hidro, pneumatske, elektro ili kombinovane pogonske energije.

Funkcije koje realizuju pribori su najčešće vezane za predmete obrade. Kao najčešće primenjeni elementi za realizaciju funkcija prihvata, pozicioniranja, stezanja i otpuštanja su sledeći pribori:

- linete,
- stezni šiljci,
- elastični trnovi,
- čeonni okretači i
- stezne glave.

Linete su standardni elementi, izvedeni kao pokretni i nepokretni, koji se koriste u FTs za prihvata i održavanje u potrebnom položaju predmeta rada preko spoljašnjih površina. Stezni šiljci izvršavaju funkcije prihvata, pozicioniranja i stezanja predmeta rada za vreme obradnog procesa preko tkz. središnjih gnezda.

Elastični trnovi obavljaju funkcije rukovanja bezzazornim prihvatom preko unutrašnjih ili spoljašnjih površina.

Čeonni povlakači su elementi koji omogućuju tačno pozicioniranje sa prenosom obrtnog momenta i brzo skidanje predmeta obrade.

Stezne glave obavljaju funkcije prihvata, pozicioniranja i stezanja predmeta obrade. Funkcije stezanja se mogu realizovati na različite načine. Mogu biti izvedene kao prolazne i neprolazne sa varijantom kao samocentrirajuće ili sa steznim čeljustima. Široko su u primeni pri rukovanju rotacionim delovima, a imaju za zadatak da obezbede:

- kratko vreme realizovanja funkcija stezanja i otpuštanja,
- kratko vreme zamene steznih elemenata,
- dobro pozicioniranje i prenos obrtnog momenta
- smanjenje ili eliminisanje uticaja centrifugalne sile na tačnost obrade
- širi dijapazon prihvata delova.

4.0 STEZNE GLAVE SA POVIŠENIM STEPENOM FLEKSIBILNOSTI ZA FTs

U cilju povećanja fleksibilnosti primene steznih glava, posebno u FTs potrebno je automatizovati određene funkcije rukovanja ovim priborima. Automatsko podešavanje steznih elemenata je značajan faktor feleksibilnosti. U konceptijskim varijantama su prisutna rešenja sa:

- automatskim regulisanjem položaja steznih elemenata
- automatskim podešavanjem steznih elemenata na potreban prečnik,
- automatskom pojedinačnom zamenom steznih elemenata i
- automatskom zamenom kompleta steznih elemenata.

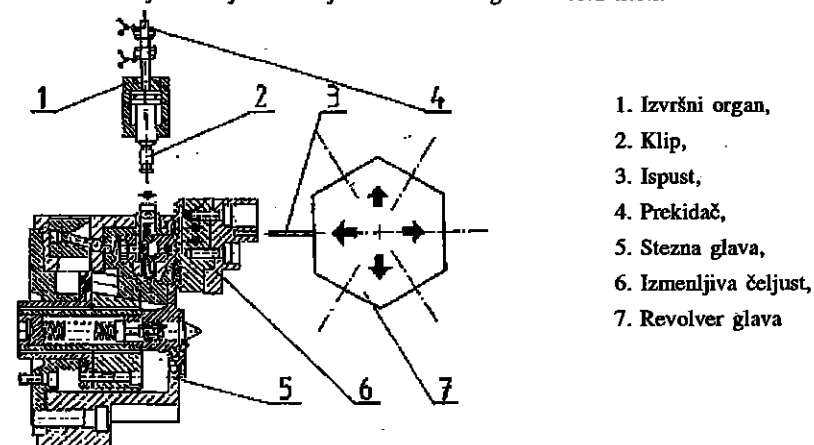
Automatsko regulisanje položaja steznih elemenata realizuje se numerički, a automatsko podšavanje steznih elemenata se najčešće realizuje manipulatorom.

Pojedinačna zamena steznih elemenata realizuje se manipulatorom iz magacina, a automatska zamena kompleta steznih elemenata se najčešće realizuje posebnim uređajem.

Stezne glave se mogu automatski menjati i to najčešće se realizuje manipulatorom.

Pri projektovanju steznih glava sa povišenim stepenom fleksibilnosti potrebno je detaljno analizirati mogućnosti izvedenih rešenja i zahteva u pogledu funkcija rukovanja koje novoprojektovana rešenja terba da zadovolje.

Na slici 3 je predstavljeno konstruktivno rešenje stezne glave povišenog nivoa fleksibilnosti, koja omogućava izvršavanje funkcija rukovanja u FTs različitog nivoa složenosti.



Slika 3. Konceptijsko rešenje stezne glave povišenog stepena fleksibilnosti

Funkcije stezanja i otpuštanja obavljaju se automatski. Podešavanje steznih elemenata može se realizovati ručno ili automatski. Stezna glava je izvedena sa kontrategom za kompezaciju centrifugalne sile u dinamičkom režimu i snadbevena je tkz. plivajućim šiljkom, koji omogućuje veći stepen iskorišćenja savremenih alata u okviru FTs.

5.0 ZAKLJUČCI

Rešavanje problema rukovanja materijalom u okviru toga i priborima, u FTs različitog nivoa složenosti je kompleksan i značajan zadatak. Razvoj novih rešenja FTs zahteva i razvoj novih pribora sa kojim se izvršavaju funkcije rukovanja predmetima rada.

Nova rešenja FTs moraju za određene nivoe složenosti imati i definisane funkcije rukovanja priborima u okviru FTs.

Projektovana rešenja pribora za FTs moraju imati povišeni stepen fleksibilnosti. Na osnovu velikog broja različitih u svetu razvijenih konstrukcijskih varijanti pribora može se izvući zaključak da je trenutni razvoj usmeren ka povećanju fleksibilnosti i broju funkcija rukovanja koji pribori obavljaju, kao i povećanju broja funkcija rukovanja samim priborima.

6.0 LITERATURA

- [1] Rodić, M.: Razvoj strukture integralnog sistema za automatizovano projektovanje pribora, doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1992.
- [2] Novaković, D.: Automatizacija modularnog projektovanja numerički upravljanih fleksibilnih tehnoloških struktura na bazi mašina za obradu struganjem, magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1996.
- [3] Rodić, M., Novaković, D., Stević, M.: Automatizacija projektovanja pribora, CAD Forum, 95, Zbornik radova, Novi Sad, 1995.
- [4] Ivanov, A.: Gibkie proizvodstvennie sistemi v priborostroenie, Mašinstroenie, Moskva, 1988.
- [5] Kuznjecov, I: Konstrukcii prisposoblenij dlja stankov s ČPU, spravočnik, Moskva, 1990.

Rodić, M.[†], Novaković, D., Todić, V., Stević, M.:

AUTOMATION OF HANDLING OF FIXTURES AND FIXTURE ELEMENTS IN FMs FOR ROTATIONAL PARTS

Abstract

Defined in the first part of the paper are the requirements for process automation for workpieces as well as fixtures and accessories within FMs. Emphasized are requirements regarding the category of parts with rotational geometry.

The second part includes analysis and systematization of handling processes for fixtures and fixture elements for the given category of parts.

Based on the previous analysis, the paper concludes with the review of the solution which is aimed at fulfilling requirements for flexible automation.

SPMJ'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

R. Slavković
S. Čurčić**

ISKUSTVA IZ OBRADE PLOČASTIH NOŽEVA ZA PAPIRNU INDUSTRIJU

Rezime

U radu su date teorijske osnove proizvodnje papira, karakteristike pločastih noževa, kao i uticaj metoda obrade na neke karakteristike u eksploataciji.

1. UVOD

Za proizvodnju papira koristi se celuloza, poluhemijska celuloza, različite vrste drvenjače i niz drugih vlaknastih sirovina uz dodatak punila (lepila, boja, hemijskih supstanci i sl). Kao sirovina za proizvodnju papira i kartona masovne proizvodnje sve više se koristi otpadni papir, koji čine čak 80% od ukupnog unosa sirovina. Osim vlaknastih sirovina biljnog porekla za proizvodnju nekih specijalnih papira, upotrebljavaju se posebna vlakna azbesta, a u novije vreme i sintetička vlakna. Predhodno pripremljena vlaknasta sirovina (raspuštanje i prečišćavanje) podvrgava se hidromehaničkom postupku, odnosno mlevenju u suspenziji vode. Mlevenje se sastoji od kontinualnog propuštanja mase za mlevenje (suspenzije celuloznih vlakana) kroz međuprostor posebno profilisanih noževa na rotoru i statoru. Mlevenjem se vlakna krata i uzdužno razdvajaju. Za mlevenje vlaknaste mase koriste se mlinovi i to, [1]:

- holenderi,
- konusni mlinovi i
- diskasti mlinovi.

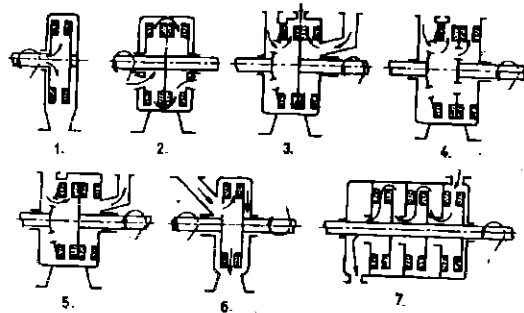
* dr Radomir Slavković, docent i

** Srećko Čurčić asistent pripravnik; Tehnički fakultet - Čačak, Svetog Save 65, 3200 Čačak

Diskasti mlinovi (disk - rifajneri) danas se sve više primenjuju za mlevenje i mogu biti:

- jednorotorni mlinovi (jedan rotor i jedan stator),
- udvojeni jednorotorni mlinovi (jedan rotor sa dva statora),
- dvostruki mlinovi (dva diska rotiraju u suprotnim smerovima) i
- višerotorni mlinovi.

Na slici 1 šematski su date navedene vrste disk - rifajnera, gde svaki ima specifične uslove primene.



Slika 1. Šematski prikaz rifajnera 1) jednostruki, 2) udvojeni jednostruki, 3 i 4) udvojeni jednostruki sa paralelnim mlevenjem, 5) udvojeni jednostruki sa rednim mlevenjem, 6) dvostruki rifajneri, 7) višestruki rifajneri

2. KARAKTERISTIKE PLOČASTIH NOŽEVA

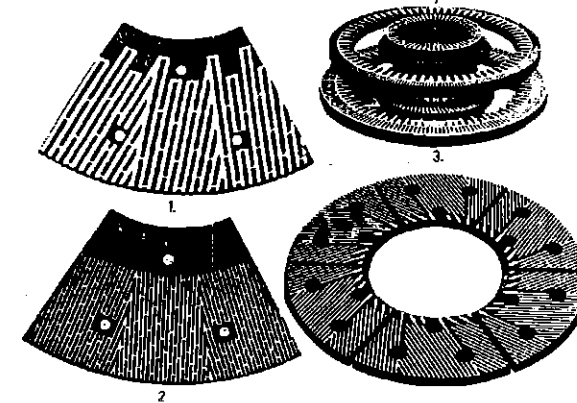
Konstruktivski oblik zuba na pločastim noževima značajno utiče na kvalitet mlevenja. Sa povećanjem broja zuba po jedinici površine noža, povećava se proizvodnost mlina, a specifični utrošak energije smanjuje. Ovaj efekat se postiže smanjenjem debljine zuba, kao i smanjenjem međuprostora između zuba na ploči. Za odgovarajuće tehnološke uslove mlevenja, broj zuba po jedinici površine i veličina međuzublja, predstavljaju tehnološke parametre koje treba birati u zavisnosti od vrste mase za mlevenje. Da bi se rešili praktični problemi mlevenja razvijen je čitav niz pločastih noževa, koje karakterišu oblik i dimenzije kako zuba tako i međuzublja. Osim konstruktivskog oblika pločastih noževa na kvalitet mlevenja utiče stepen vlažnosti mase za mlevenje, zazor između diskova (0.15 - 0.3) mm pritisak mase za mlevenje (≈ 2 bara), obimna brzina diskova i brzina kojom masa struji kroz međuzublja pločastih noževa. Segmenti pločastih noževa (statorski i rotorski) dobijaju se livenjem od:

Cr - Ni čelika (Ni - hard), sa tvrdoćom nakon livenja 58 - 60 HRC i

- legiranog čelika, namenjenog specifičnim uslovima eksploatacije, koji nakon livenja ima tvrdoću 30 - 32 HRC, a posle odgovarajućeg termičkog tretmana tvrdoća im je 58 - 60 HRC. Ova vrsta noževa namenjena je proizvodnji gde se u procesu eksploatacije javljaju značajni dinamički poremećaji, (imaju značajnu žilavost) kao i za eksploataciju u agresivnom sredinama. Na slici 2 dat je izgled pločastih noževa za prvi i drugi stepen mlevenja, noževi za ujednačavanje i razdvajanje mase radi lakšeg transporta ("enštiperi"), sa izgledom jednog diska.

Noževi sa debljinom zuba 3 - 5 mm upotrebljavaju se za kraćenje vlakana sa manjim stepenom njihovog uzdužnog razdvajanja ("posno mlevenje"), a noževi sa debljinom zuba 8 - 12 mm upotrebljavaju se za mlevenje sa većim stepenom uzdužnog razdvajanja ("masno mlevenje"). Kod dvostrukog mlevenja sa dva mlina, prvi mlin vrši odvodnjavanje i uzdužno razdvajanje vlakana (pločasti noževi sa širim zubom), a drugi mlin vrši skraćivanje vlakana (pločasti nož sa

uskim zubom). Značajan uticaj na kvalitet mlevenja ima i obimna brzina diskova. Obimne brzina diskova kreću se od 10 - 80 m/s. Noževi sa obimnom brzinom diska 10 - 15 m/s (konusni noževi - konusni diskovi) vrše skraćivanje vlakana, a noževi sa obimnom brzinom diska preko 20 m/s upotrebljavaju se uglavnom pri uzdužnom razdvajanju vlakana i odvodnjavanju mase



Slika 2. - Pločasti noževi za mlevenje: 1 - prvi stepen mlevenja, 2 - drugi stepen mlevenja, 3 - "enštiperi", 4 - disk sastavljen od segmenata pločastih noževa

Pored navedenih geometrijskih karakteristika noževa, značajan uticaj na kvalitet mlevenja pored nagiba zuba, ima i kvalitet obrade reznih površina noža.

3. OBRADA PLOČASTIH NOŽEVA

Pri obradi pločastih noževa razlikuje se:

- obrada radi definisanja geometrije i
- obrada ledne i rezne površine noževa

Definisanje geometrije segmenata. Nakon livenja segmenata (pločastih noževa) ledna i rezna površina noža čisti se od livačkih neravnina na brusilici sa horizontalnim lončastim točilom slika 3 (1). Zatim se noževi od Ni - horda bruse bočno na specijalnoj brusilici radi prilagođavanja geometrije segmenata za vezu na disk, slika 3 (2). Kod noževa koji se podvrgavaju termičkoj obradi, pre termičke obrade operacijom glodanja vrši se prilagođavanje geometrije segmenata.

Nakon postizanja geometrije segmenata i njihove termičke obrade, izvodi se obrada reznih delova noževa koji čine disk.

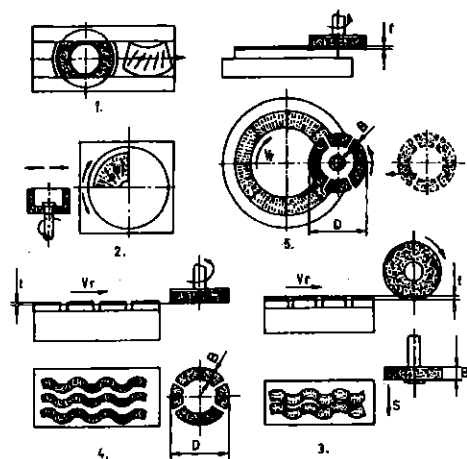
Obrada ledne i rezne površine noževa izvodi se ravnim brušenjem, koje može biti:

- obimno ravno brušenje slika 3 (3),
- čeno ravno brušenje lončastim točilom sa pravolinijskim kretanjem radnog stola slika

3(4) i

- čeno ravno brušenje lončastim točilom sa kružnim kretanjem radnog stola slika 3 (5).

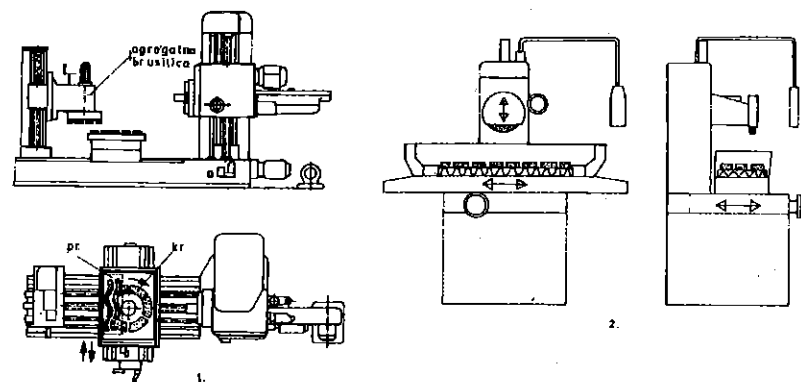
Na slici 3 date su šematski, navedene metode brušenja pločastih noževa ("rifajnerskih ploča").



Sl. 3. Metode brušenja pločastih noževa

Uslovi obrade. Ravno brušenje obimnim točilom izvedeno je na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom (URB - 1000, LŽT - Kikinda) slika 4 (2), točilom $D \times H \times B = 300 \times 127 \times 50$ u kvalitetu BB60 K6V. Ravno brušenje čelom točila izvedeno je sa segmentnim točilom (osam segmenata $L \times H \times B = M60 \times 80 \times 15$, kvaliteta BB60K6V) prečnika $D = 400$ mm.

Operacija čeonog brušenja izvedena je na horizontalnoj brusilici - glodalici (2620E, Stankoimport), pomoću specijalno izvedene agregatne jedinice za brušenje na slici 4 (1) vezane za pomoćni stub. Pločasti - noževi, segmenti vezuju se pomoću elektromagnetnog stezača koji je postavljen na obrtni sto. Navedeno brušenje izvedeno je uz intenzivno hlađenje sa rashladnom tečnošću (brusolin).



Sl. 4. Ravno brušenje pločastih noževa

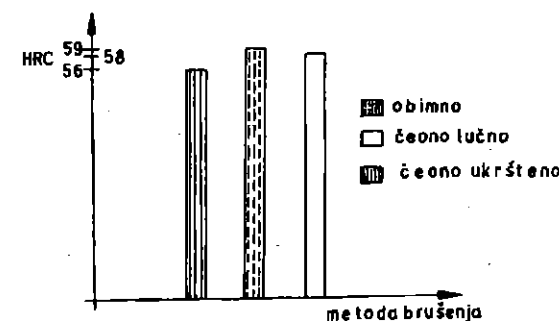
Režimi rezanja. Proračun režima rezanja za navedene metode brušenja, izveden je prema [2], gde su brzina radnog predmeta (V_r), kotak (s), kao i odgovarajuće konstante date u tabeli 1.

TABELA 1

Metoda brušenja	V_r (m/min)	S (mm/h)		C_v	m	x	y	z	C_s		V_t	T (min)		t (mm)		S (mm/h)		V_r (m/min)	
		preth.	završno						preth.	završ.		preth.	završ.	preth.	završ.	preth.	završ.		
		$\frac{C_v \cdot B^2}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}$	$\frac{C_s \cdot B}{T^{0.5} \cdot V_r \cdot t}$						$\frac{C_v}{V_r \cdot t}$	preth.		završ.	m/s	preth.	završ.	preth.	završ.	preth.	završ.
Obimno	$\frac{C_v \cdot B^2}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}$	$\frac{C_s \cdot B}{T^{0.5} \cdot V_r \cdot t}$	$\frac{C_v}{V_r \cdot t}$	0.6	0.5	1	1	/	0.7	2.0	15	15	80	0.04	0.015	2.0	1.0	1.0	2.0
Čeono pravoug.	$\frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot B^2}$	/	/	3.5	0.5	1	/	1	5.89	0.43	18	15	60	0.04	0.015	/	/	1.0	1.5
Čeono kružno	$\frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot B^2}$	/	/	1.0	0.5	1	/	1	5.89	0.43	18	15	60	0.04	0.015	/	/	1.0	1.5

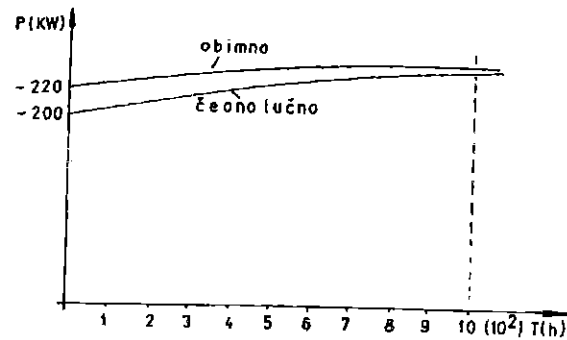
4. UTICAJ METODE OBRADNE NA RADNE KARAKTERISTIKE

Iz iskustva stečenog tokom dugogodišnje obrade počastih noževa i praćenja njihovog ponašanja u procesu eksploatacije, došlo se do saznanja da neke eksploatacijske karakteristike istih, značajno zavise od metode brušenja kao što je: tvrdoća zuba, kvalitet rezne površine kao i energija pogonskog motora utrošena u procesu mlevenja. Na slici 5 data je prosečna tvrdoća zuba pločastih noževa livenih od Ni - horda, zavisno od metode brušenja.



Sl. 5. Tvrdoća zuba pločastih noževa

Dugogodišnjom analizom primedbi na ponašanje noževa u eksploataciji (fabrika hartije Beograd) došlo se do zaključka da je pri lučnom brušenju čelom točila (glavno vreteno pod malim uglom da bi se izbeglo prekomerno zagrevanje rezne površine) manja utrošena energija pogonskog motora nego pri ravnom brušenju točila slika 6 za prvih ≈ 1000 h rada, od ukupno ≈ 2300 h efektivnog rada pločastih noževa.



Sl. 6. Snaga pogonskog motora pločastog rafajnera u zavisnosti od metode brušenja, i vremena rada

Pri posmatranju reznih ivica zuba, uočava se da su rezne ivice zuba pločastih noževa dobijenih lučnim brušenjem, nešto oštrije nego pri obimnom brušenju, iako je površina ploča nešto grublja. Čeonim brušenjem diska, rezni element (zub noža) napada se postepeno, dok se pri obimnom brušenju većina zuba napada celom širinom reza, gde usled čestog ulaska točila u zahvat dolazai do gnječanja zrnaca i odvaljivanja sitnih kristala, što utiče na krzanje rezne ivice zuba, a ujedno se smanjuje i rezna sposobnost točila.

5. ZAKLJUČAK

Pri obradi ledne i rezne površine pločastih noževa potrebno je obratiti posebnu pažnju na izbor režima rezanja pri brušenju obimnim točilom, a pri brušenju zuba sa malom debljinom, gde vrlo često dolazai do krzanja reznih ivica. Najekonomičnije je brušenje lednih površina čeonim segmentnim točilom sa pravougaonim kretanjem radnog stola, a oštrenje zuba noževa izvoditi čeonim segmentnim točilom sa kružnim kretanjem radnog stola. U slučajevima dobrog prethodnog čišćenja mase za mlevenje od čvrstih mehaničkih uključaka preporučuje se preoštravanje reznog diska oko polovine efektivnog rada.

6. LITERATURA

- [1]. Čorlukić, F., Tehnologija papira, Školska knjiga, Zagreb 1987.
 [2]. Stanić, J., Nikolić, D., Jovanović, T., Gajović, V., Mašinska obrada, Priručnik za proračun merodavnih režima rezanja mašinske obrade rezanjem. Privredni pregled, Beograd 1971.

THE EXPERIENCES OUT OF PROCESSING REFINER PLATES FOR PAPER INDUSTRY

Summary

The paper describes theoretical foundations to produce of paper, characteristics of refiner plates, as and influence of methods prosesing on some characteristics in the exploitation.



A. Babić¹, R. Rakanović², D. Petrović³

JEDAN PRISTUP U POVEZIVANJU PROCESA PROJEKTOVANJA PROIZVODA I TEHNOLOGIJE PREMA KONCEPTU SIMULTANOG INŽENJERSTVA

Rezime

U radu se daje pristup logičkog razmišljanja u povezivanju aktivnosti za više različitih namena u procesima projektovanja. Procesi se zasnivaju na konceptu projektovanja pomoću primitiva za delove iz lima uz simultano integrisanje šireg spektra konstrukcijskih, tehnoloških, komercijalnih i drugih zahteva.

1.0 OSNOVNE POSTAVKE SIMULTANOG PROJEKTOVANJA

Termin simultano, odnosno konkurentno inženjerstvo se odnosi na koncept u projektovanju proizvoda i projektovanju za proizvodnju kod kojeg se inženjerske aktivnosti izvode paralelno a ne sekvencijalno kao kod tradicionalnog pristupa. Uočljivo je takođe da se kod simultanog inženjerstva drugačije strukturiraju aktivnosti, što ukazuje na svestraniji pristup procesu projektovanja [1].

Zajednički imenitelj za navedeni koncept u projektovanju je integracija i kooperacija znanja. Pod integracijom znanja se podrazumeva dopunjavanje jednog izvora znanja znanjem drugog izvora, dok se pod kooperacijom podrazumeva rad više izvora znanja na istom problemu, pri čemu svaki izvor znanja taj problem razmatra sa svog specifičnog aspekta.

Simultani rad ne mora da znači i istovremeni rad više izvora, jer iako je poželjno, to nije uvek i moguće. Pri tome, svaki izvor znanja, najčešće asinhrono analizira proizvod iz svog ugla i unosi svoja ograničenja kojim se usmerava konačno projektno rešenje proizvoda. Međutim, cilj je da se aktivnosti više izvora što duže

¹ Dr Arandel Babić, docent, Mašinski fakultet Kraljevo.

² Dr Ranko Rakanović, red. prof., Mašinski fakultet Kraljevo.

³ Mr Dragan Petrović, asistent, Mašinski fakultet Kraljevo

vremenski preklapaju, jer se time skraćuje vreme razvoja i projektovanja proizvoda.

U okviru konkurentnog projektovanja proizvoda kao procedure za istovremenu integraciju i racionalno projektovanje, postoji više pristupa koji su sagledani sa više aspekata. Ovi pristupi naglašavaju važnost uključivanja svih aspekata u donošenju odluka vezanih za projektovanje, na nivoima i unutar nivoa trajanja ciklusa projektovanja. Aspekti koji se uzimaju u obzir pri projektovanju, najčešće se odnose na:

- modeliranje proizvoda,
- konkurentnost,
- životni vek proizvoda,
- kvalitet,
- projektovanje pomoću geometrijsko-tehnoloških primitiva.

Ukupan pristup konkurentnom inženjerstvu (concurrent engineering), prepoznatljiv u inženjerskom projektovanju (concurrent design), nije pitanje individualne kreativnosti i intelektualne snage. Pitanje individualne kreativnosti i intelektualne snage se naglašava u razvoju blokova modela procesa projektovanja, dok je integracija blokova modela neophodan uslov za rad sistema za simultano (konkurentno) projektovanje, odnosno, potrebno je da svi izvori znanja budu međusobno funkcionalno povezani, bez obzira na svoje lokacije.

Automatizacija projektovanja proizvoda se zasniva na formalizovanim znanjima tipiziranih i detaljno strukturisanih proizvoda. Aktivnosti projektovanja se odvijaju prema funkcionalnim zahtevima u odnosu na postavljena ograničenja. Najčešće, ograničenja su postavljena sa gledišta procesa projektovanja i proizvodnje proizvoda. Ustvari, opredeljenje u istraživanjima se odnosi na formiranje opštih modela proizvoda iz kojih je moguće generisati specifične modele sa namenom za podršku pojedinih modula konkurentnog projektovanja.

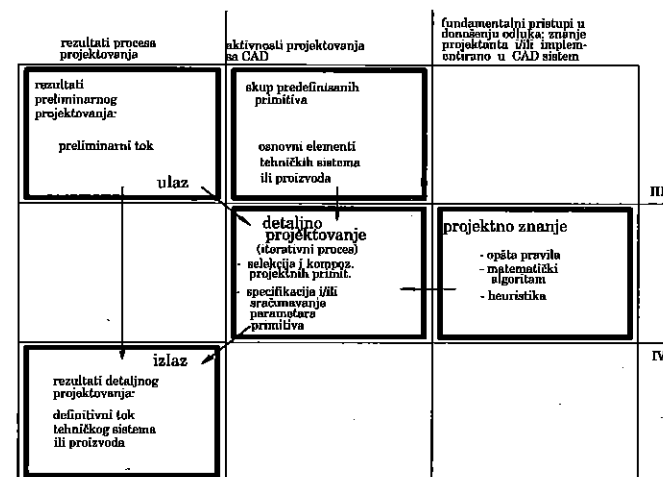
S obzirom na značaj teorijskih pristupa u formiranju ukupnog koncepta u simultanom projektovanju daje se sagledavanje konceptualnog projektovanja zasnovano na geometrijsko - tehnološkim primitivima [2].

2. KONCEPTUALNO PROJEKTOVANJE

Pojam konceptualno projektovanje se koristi u dva međusobno zavisna nivoa projektovanja. Prvi se odnosi na aspekte u projektovanju i javlja se kao drugi stupanj u procesu projektovanja iza specificirane liste funkcionalnih zahteva. Konceptualno projektovanje dovodi do konačnog niza mogućih rešenja iz kolekcije odluka koje opisuju konačnu funkciju i formu proizvoda.

Četvrta faza projektovanja, detaljno projektovanje, počinje posle preliminarnog projektovanja i dovodi do samog konstruisanja i izrade predmeta. Sve pojedinosti koje se odnose na projektovani objekt definisane su kao i uputstva za njegovu izradu.

Drugi slučaj se odnosi na konceptualni okvir za inteligentne CAD sisteme zasnovane na modeliranju primitivima (MZP) na nivou detaljnog projektovanja. Za opisivanje elemenata-komponenti proizvoda u cilju kompletne identifikacije geometrijskih i tehnoloških svojstava koriste se kreativna razmišljanja vezana za projektovanje. Nivo primenjene apstrakcije vezuje se za gradnju strukture proizvoda.

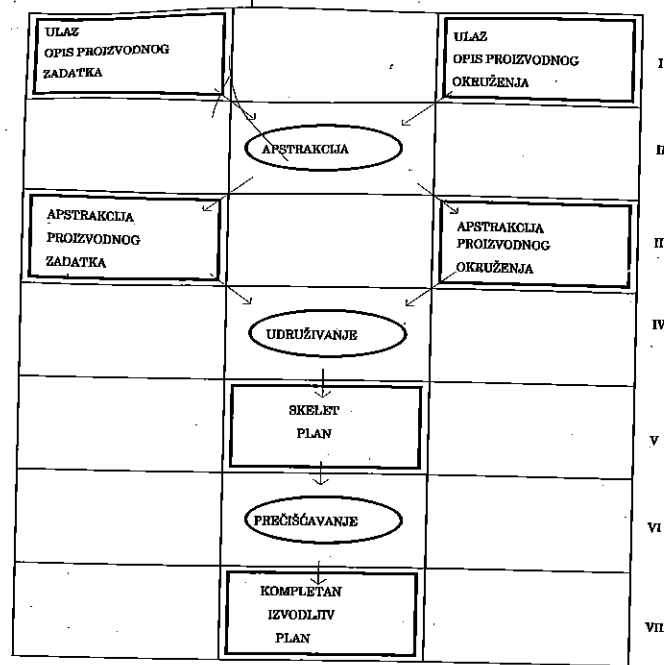


Slika1. Konceptualni model projektovanja pomoću primitiva

Objašnjenje primene konceptualnog okvira može se ilustrovati kao što je prikazano na slici1:

- Rezultat trećeg nivoa, odnosno preliminarnog projektovanja se uzima kao ulaz za detaljno projektovanje, pri čemu definitivni tok konceptualnog zaokruženja predstavlja izlaz,
- Aktivnosti MZP-a karakteristerišu dva koraka: selekcija/kompozicija i specifikacija/sračunavanje parametara procesa projektovanja, pri čemu se
- Sposobnost za donošenje odluka u procesu projektovanja, na nivou korisnika-projektanta- i/ili CAD sistema, postiže formiranjem specifičnih znanja.

Ako su izraženi kompleksni problemi u projektovanja proizvoda, lako se dolazi do opravdanja za implementiranjem projektnih pravila ili pak drugih sistema zasnovanih na znanju unutar CAD sistema.



Slika 2. Konceptualni model integracije projektovanja proizvoda i tehnologije

Pošto projektant u prirodi svog posla teži da koristi jedan izvestan broj projektnih primitiva, za specifične projektne probleme korisnije je obezbediti biblioteku specijalnih primitiva u okviru CAD sistema.

U zavisnosti od primenjenog nivoa projektovanja primitivima, pored geometrijskih karakteristika, materijala, stanja površina, dimenzija i tolerancija oblika, relacija između projektovanih primitiva, javlja se i potreba za opisivanjem paralelnosti i površina spajanja. Sa ovim se konceptualni nivo znatno obogaćuje korišćenjem i udruživanjem apstrakcije funkcionalnih zahteva i proizvodnog okruženja.

Projektant-ekspert daje opis proizvoda koji obuhvata sve geometrijske i tehnološke podatke koji su potrebni u generisanju primitiva u modeliranju proizvoda. U ovom opisivanju identifikuju se karakteristični delovi ili površine koje su u relaciji sa specijalnom informacijom o proizvodnom procesu. Ovi elementi se najčešće nazivaju primitivima za proizvodnju, pri čemu se sagledavaju kao apstraktan proizvodni zadatak u gradnji strukture proizvodnog problema.

Prema ovim primitivima ekspert bira iz svog okruženja generalizovani plan strukture tzv. skelet plan. Kombinovanjem ovih skelet planova sa primitivima strukture i njihovo adaptiranje u konkretan radni predmet, kreira se kompletan proizvodni plan. Ovaj konceptualni model ekspertskog puta u proces formiranja

tehnološkog postupka (planiranja) se simulira implementacijom nekog od jezika programiranja [3],[5].

3.0 MODELIRANJE PRIMITIVIMA ZA KOMPONENTNI NIVO

Primena modeliranja zasnovanog na primitivima omogućava generisanje najšireg spektra informacija vezanih za projektovne proizvoda i tehnologije, tako da se ovaj pristup uzima kao osnovni i u modeliranju komponenti.

U aktivnostima modeliranja javljaju se tri grupe problema vezanih za:

- prepoznavanje, "izvlačenje" i predstavljanje forme primitiva iz geometrijskog modela za korišćenje kao ulaz u neki od procesa za usvojeni sistem,
- modeliranje proizvoda i
- generisanje instrukcija višeg nivoa u planiranju procesa.

Da bi podržali zahteve koji se odnose na podatke o proizvodu, modeliranje proizvoda kao okruženje mora da je u mogućnosti da generiše u okviru modela:

- željenu komponentu,
- početni radni komad iz kojeg se izrađuje komponenta i
- međufazni radni komad.

Ovi modeli se definišu na dva odvojena nivoa apstrakcije i to: komponentnom nivou i nivou formi primitiva.

Komponentni nivo obuhvata ukupno, opšte znanje o delu (proizvodu) gde ulaze podaci o materijalu, konturne veličine i dr.

Na nivou formi primitiva se predstavlja, mnogo detaljnije, znanje o geometriji proizvoda i tehnološkim zahtevima. Posebna pažnja mora se posvetiti relacionom odnosima mera i tolerancijama. Generisanje ovih informacija je u direktnoj vezi sa misaonim modelom dela i odvija se prema postavljenim ograničenjima na crtežu. Na ovaj način se, pomoću navedenih karakteristika definiše deo, u tradicionalnim tehnologijama definisan tehničkim crtežom. Skup ovih karakteristika prepoznatljiv je kao primitiv dela.

U objektnom prikazivanju znanja usvaja se pojam šeme kao osnovne jedinice za predstavljanje znanja u okviru nekog od primenjenih programskih jezika. Na vrhu hijerarhije su KOMPONENTE kao najviši nivo ovog modeliranja [3],[5].

PRIZMATIČNI-DEO

JE: komponenta

DEO-NAZIV:

DEO-ID-BR:

DEO-MAX-DUŽINA:
DEO-MAX-ŠIRINA:
DEO-MAX-VISINA:
DEO-DEBLJINA-LIMA:
OSNOVNI-SPOLJŠNJI-PRIMITIV:
OSNOVNI-UNUTRAŠNJI-PRIMITIV:
SKELET:
SPAJANJE-PRI-MONTAŽI:
SPAJANJE-FUNKCIONALNIH-POVRŠINA:
FUNKCIONALNE-POVRŠINE:

4.0. ZAKLJUČAK

Modeliranje zasnovano na primitivima za komponentni nivo delova iz lima se odnosi na integraciju podataka u okviru formiranja odgovarajuće dokumentacije za osnovni logički model proizvoda, koji je objektno orjentisan. Istraživanja vezana za konceptualno projektovanje se prvenstveno odnose na postavljanje direktnih veza u procesima projektovanja proizvoda i tehnologije u kompjuterski podržanom okruženju prema konceptu konkurentnog projektovanja.

5.0. LITERATURA

- [1] Kalajdžić, M., Bojanić, P., Konkurentno inženjerstvo, 6. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Prohor Pčinjski, 1993., str. 7-12.
- [2] Bojanić, P., Babić, A., Jedan pristup konkurentnom projektovanju u oblasti teretnih vagona, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994., str. 693-700.
- [3] Babić, A., Istraživanje mogućnosti primene i razvoja Ca tehnologije u oblasti projektovanja, proizvodnje i ispitivanja teretnih vagona, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [4] Babić, A., Petrović, D., Rakanović, R., "Primena CAT/CAD/CAE tehnologija u projektovanju teretnih vagona", Prvi međunarodni naučni stručni skup Teška mašinogradnja TM93, Kruševac-Vrnjačka Banja, 1993, knjiga 2, str. 514-520.
- [5] Wierda, L., S., Linking Design, Process Planning and Cost Information by Feature-based Modeling, Journal of Engineering Design, Vol. 2, No. 1, 1991, str. 3-19.

A. Babić, R. Rakanović, D. Petrović

APROACH TO LINKING DESIGN AND PROCESS PLANING WITHIN SIMULTANEOUSLY ENGINEERING

Summary

Approach to logic reasoning in activities of linking for many difrent purposes in processes design are show in this paper. Starting from product modelling as a concept for presentation of all engineering information required for the design process and production of mechanical products, general and specific models for production of sheet-metal components have been analysed.



Mr Batljan Ranko, Prof dr Vukasojević Radomir, Mr Savićević Sreten *)

FORMIRANJE MODELA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE ROTACIONIH DJELOVA NA STRUGU NA OSNOVU CAD MODELA

Rezime:

U radu je opisan sistem za formiranje tehnološkog modela koji koristi model proizvoda dobijen pomoću komercijalnog CAD softvera (AutoCAD). Kontura 2D profila komada je nacrtana i memorisana u AutoCAD-u. Pomoću IGES i DXF standarda je takav model preveden u zapis kome je moguće pristupiti. Na osnovu takvog zapisa izvršeno je prepoznavanje oblika i površina koji čine 2D konturu profila gotovog komada. Prepoznavanje oblika je vršeno koristeći tehnike sintaksnog prepoznavanja. Nakon toga je izvršeno dodavanje neophodnih tehnoloških informacija. Da bi se prikazala uspešnost sistema za formiranje tehnološkog modela rad sistema je pokazan na konkretnom primjeru.

1. UVOD

Razvoj savremene ekonomije i tržišta nameće određene principe i zakonitosti kojima se svaki proizvođač mora prilagoditi. Efikasno prilagođavanje ovim zakonitostima je imperativ opstanka u uslovima rasta konkurencije, koja se javlja kao posledica otvaranja sve većeg broja zemalja uticajima savremene tehnologije. Jedan od ovih principa, možda i najvažniji, je da cijena proizvoda mora biti što manja. U današnjim uslovima, konkurentna cijena se dobija prije svega primjenom visoko serijske proizvodnje. Međutim, sve veći rast konkurencije donosi i pojavu sve većeg broja različitih proizvoda, tako da proizvođači moraju biti u stanju da u što kraćem vremenskom periodu izbace na tržište noviji, savremeniji proizvod.

Veliki problemi nastaju u domenu automatizacije projektovanja tehnologije izrade konkretnog proizvoda. To je aktivnost koju je teško matematički i algoritamski formalizovati i obuhvatiti sve činioce koji utiču na proces. Aktivnijom primjenom računara u ovoj oblasti učinjen je značajan napredak tako da su razvijeni CAPP (Computer Assisted Process Planning) sistemi koji modeliranjem logike rada tehnologa i računarskom simulacijom njegovog rada postižu značajne rezultate u ovoj oblasti. Naročito značaj za proces automatizacije svih aktivnosti u proizvodnom sistemu ima povezivanje ovih sistema sa sistemima za projektovanje proizvoda u cilju postizanja

*) Mr Batljan Ranko, Prof dr Vukasojević Radomir, Mr Savićević Sreten, "3D Centar", Mašinski fakultet Podgorica

koncepta računarom integrisane proizvodnje (CIM).

Osnovna pretpostavka rada je mogućnost korišćenja algoritamskih metoda, kao polazne osnove za razvoj CAPP sistema. Imajući u vidu problem integracije CAD i CAPP sistema moguće je razviti interfejs pomoću koga se, na osnovu računarskog modela proizvoda generisanog u CAD sistemu može formirati model koji bi mogao koristiti CAPP sistem.

Ograničenje rada je vezano za primjenu modela za izradu rotacionih djelova. Kada je riječ o rotacionim djelovima zna se da se kompletne geometrijske i topološke informacije potrebne za projektovanje tehnologije mogu predstaviti u 2D prostoru. To je znatno olakšanje, znajući da je 2D računarski model znatno jednostavniji od 3D modela. Prevodeći te informacije u neku neutralnu strukturu i dodajući im pripadajuće tehnološke informacije može se formirati model za projektovanje tehnologije. Takođe, kada postoje geometrijske informacije o 2D konturi radnog predmeta, moguće je na osnovu njih formirati upravljački program za izradu tog komada na NC (Numeric Contolled) alatnoj mašini.

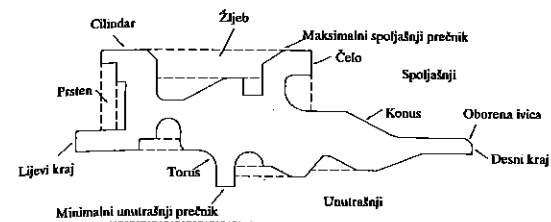
Prema tome, glavni cilj istraživanja u ovom radu je formiranje modela za projektovanje tehnologije izrade rotacionih djelova i, na osnovu tog modela, generisanje upravljačkog programa za NC mašinu.

2. KREIRANJE MODELA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZ INTERNOG CAD MODELA

Iako je prepoznavanje oblika bilo predmet proučavanja mnogih istraživača, ipak je postignut uspjeh ograničen na komade jednostavne geometrije. U ovom poglavlju je razvijen sistem za konverziju iz CAD jezika u CAM jezik. Djelovi kojima se bavilo su rotaciji bez devijacija koje se mogu obradivati operacijom struganja. Prepoznate informacije o komadu su zatim sačuvane u takvoj strukturi podataka kojoj mogu pristupiti mnoge proizvodne funkcije kao što su računarski potpomognuto projektovanje tehnologije, kodiranje za grupnu tehnologiju, generacija programa za numerički upravljane mašine, i računarski podržana inspekcija. Predstavljanje komada pomoću njegovog 2-D profila je uvijek osnova za projektovanje tehnologije kod obrade na strugu. 2-D informacija o profilu je jednostavni spojeni i orijentisani graf. Saglasno tome teorija grafova i tehnika sintaksnog prepoznavanja oblika može biti primijenjena za identifikaciju informacija o profilu komada koje su izvučene iz CAD sistema.

2.1. Struktura podataka

Da bi se podaci o komadu koji su prepoznati od strane sistema za prepoznavanje oblika sačuvali, oni moraju biti organizovani na neki način. Ta organizacija treba da bude nezavisna od pojedinačnih sistema za prepoznavanje oblika. U ovom radu su ti podaci grupisani u na sledeći način: Naziv komada, Strugarski oblici, Strugarske površine, Geometrija dijela, Koordinatne dimenzije i tolerancije i Podaci o pripremu. Slika 2.1. predstavlja rotacioni oblik složene geometrije koji definiše reprezentativne objekte (prikazana je samo jedna polovina rotacionog dijela zbog simetrije oko osne linije).

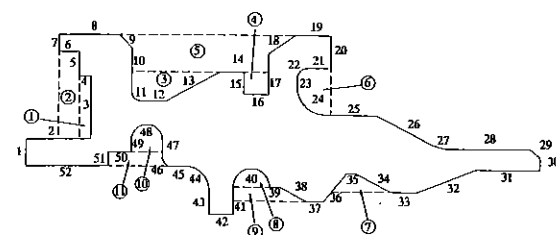


Slika 2.1. Struktura tipičnog rotacionog komada

koje formiraju oblik gotovog dijela, tim površinama treba dodijeliti jedinstvene identifikacione brojeve. Ovi brojevi se određuju obilaženjem gotovog komada u smjeru obrtanja kazaljke na satu i biloženjem površina. Pravila po kojima se površine numerišu su sledeća [1]:

1. Prva površina je lijevi kraj komada ako postoji prolazna rupa kroz komad, ili ako nema rupe (unutrašnje površine) sa lijevog kraja komada. U suprotnom, prva je unutrašnja površina koja je najudaljenija udesno od lijevog kraja komada.
2. Zadnja površina je unutrašnja površina koja je najudaljenija ulijevo od desnog kraja komada ako postoji prolazna rupa ili neprolazna unutrašnja površina (rupa) sa desne strane dijela. U suprotnom, zadnja površina je desni kraj komada.
3. Označavanje će početi sa površinom broj 1 i nastaviti u smjeru obrtanja kazaljke na časovniku oko dijela (to znači u smjeru s desna na lijevo za unutrašnje površine i u smjeru s lijeva na desno za spoljašnje površine).

Brojevi za označavanje za površine i oblike su nezavisni. Ovi jedinstveni brojevi pomažu da se izgrade hijerarhijski odnosi između oblika i površina.



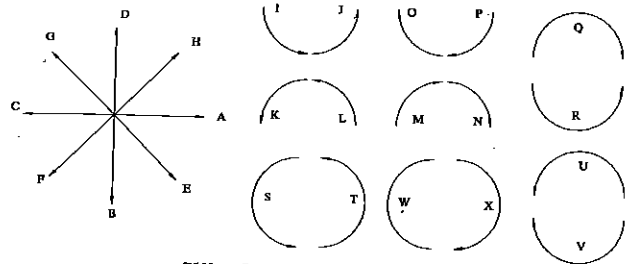
Slika 2.2. Primjer numerisanja rotacionih površina i oblika

U ovom primjeru je uključeno 52 površine. Prva površina je površina koja predstavlja lijevi kraj zato što dio ima prolaznu unutrašnju površinu. Strugarski oblik se može sastojati od jedne ili više površina. On mora imati najmanje roditeljsku površinu (površina ulaska alata). Strugarska površina je dalje klasifikovana u primarnu ili sekundarnu površinu. Primarna površina formira oblik dijela. Ona može postati roditeljska površina ako je strugarski oblik izvađen (izrađen) iz nje. Sekundarne površine formiraju strugarski oblik. One mogu biti roditeljske površine za drugi oblik nižeg nivoa. Strugarska površina takođe ima jedan ili više zapisa koordinatnih dimenzija i tolerancija i podataka o kvalitetu obrade površine pridružene sa sobom.

2.2. Primitivi oblika

Sistem za prepoznavanje karakteristika komada se zasniva na tehnikama sintaktičkog prepoznavanja. U sintaktičkom prepoznavanju oblika, kompleksni komad koji treba prepoznati je predstavljen pomoću jednostavnih, osnovnih, primitiva oblika. Radi formalizacije procesa prepoznavanja oblika, definisana su 24 primitiva oblika kako je prikazano na slici 2.3. Oni su jasno različiti oblici segmenata linije i luka sa startnom

tačkom, završnom tačkom, tačkom centra (vrijednost je nula za linijski segment), i smjerom. Svakom primitivu oblika pridružen je jedan karakter (slovo). U odnosu na Dekartov koordinatni sistem može se jednoznačno identifikovati svaki primitiv.



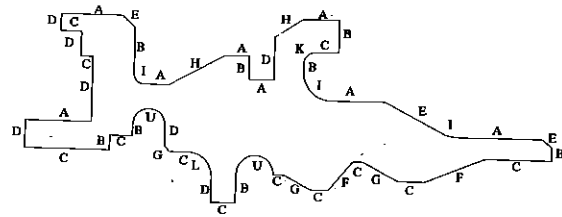
Slika 2.3. Primitivi oblika

Uz pomoć primitiva oblika strugarske površine kao što su "prečnik", "konusna površina", "cilindrična površina", "radijus", "oborena ivica" mogu biti definisane određenim primitivom oblika. Na primjer prečnik može predstavljati

primitivom oblika "A" ili "C". Iako nije razmatrana dužina svakog primitiva oblika, da bi razlikovali oborenu ivicu od "konusne površine" treba unaprijed postaviti neku graničnu vrijednost (obično do 5 mm).

2.3. Prikaz rotacionog dijela

Geometrija rotacionog (simetričnog) dijela može biti definisana dajući samo informaciju o gornjoj polovini oblika. Gornja polovina oblika je 2-D profil koji je niz linijskih i lučnih segmenata. Koristeći primitive oblika, prethodno definisane, komad koji je predstavljen pomoću informacije o 2-D profilu je predstavljen kao niz slova "DADC ... BCBC", kao što je prikazano na slici 2.4.



DADCDCDAEBIAHABADHABCKBIAEIAEBFCGFCGUCUBCDLGGDUBCB

Slika 2.4. Niz koji predstavlja oblik

Pravila za formiranje niza slova koji predstavlja oblik su ista kao ona za numerisanje površina koja su opisana u prethodnom poglavlju. Iako u informaciji o profilu nije naznačen smjer površina on je u smjeru kazaljke na satu (sa lijeva na desno za spoljašnje površine i sa desna na lijevo

za unutrašnje površine). Na osnovu toga, saglasno pravilima za identifikovanje pojedinih primitiva koji čine oblik, prva površina, usmjerena odozdo naviše, je predstavljena primitivom oblika "D", koji se pojavljuje kao prvo slovo u nizu slova koji predstavlja oblik komada, kao što se vidi sa slike 2.4. Druga površina je cilindrična površina, usmjerena s lijeva na desno, koja je predstavljena primitivom oblika "A". Formiranje niza koji predstavlja oblik komada je nastavljeno u smjeru kazaljke na satu oko dijela. Pošto je unutrašnja površina, najudaljenija od desnog kraja komada u pravcu s desna nalijevo, predstavljena primitivom oblika "C", to je to slovo zadnje u nizu koji predstavlja oblik.

Pošto je niz koji predstavlja oblik niz slova to se može koristiti računar u pretraživanju tog niza i identifikovanju strugarskih oblika i primarnih površina. Strugarski oblici kao što su prsteni i žljebovi mogu biti opisani odgovarajućom kombinacijom strugarskih površina u nizu koji predstavlja oblik. Na primjer,

pravougaoni žljeb može biti predstavljen kao kombinacija jednog cilindra (A ili C) i dvije površine (D ili B). Strugarski oblik može biti napravljen od jedne ili više strugarskih površina zavisno od složenosti strugarskog oblika.

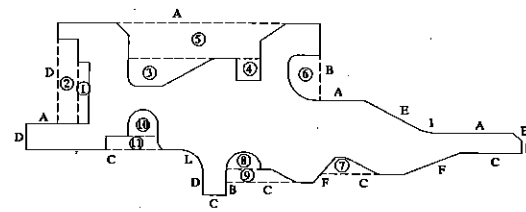
Koristeći pojam predefinisano strugarskog oblika koji je u ovom radu definisan kao primarna granična površina strugarskih oblika svaki strugarski oblik može biti predstavljen ili samo predefinisanim strugarskim oblikom ili predefinisanim oblikom + primitivi oblika. U radu su korišćene četiri grupe predefinisanih strugarskih oblika (A, B, C, D), koje se identifikuju po položaju roditeljske površine. Da bi se odlučilo da li u strugarski oblik, osim predefinisano oblika ulazi još i neki primitiv razvijen je algoritam za prepoznavanje [1] koji se sastoji od pet koraka. Algoritam se inicijalizuje kada se nađe na predefinisani oblik i zaustavlja se kada su prepoznate roditeljska površina i površine koje pripadaju obliku.

Pomoću sintaksnog pristupa, svaki dio se može opisati koristeći niz primitiva oblika (slova) kao što je "DADC ...", prethodno predstavljen na slici 2.4. [1]. Pošto svaki predefinisani oblik ima jedinstven niz slova, računar može jednostavno izvršiti prepoznavanje oblika zasnovano na upoređivanju nizova slova. Upoređivanje nizova se izvršava tako što se prvo provjeri da li niz koji predstavlja oblik sadrži u sebi koji od nizova koji predstavljaju osnovne predefinisane oblike. Nizovi koji odgovaraju osnovnim predefinisanim oblicima su prethodno unijeti u program. Redosled pretraživanja grupa osnovnih predefinisanih oblika je D, A, B, C. Nije bitno da li se (sa nizom koji predstavlja oblik) prvo upoređuju članovi grupe sa jednom, dvije ili tri površine zbog toga što nijedan predefinisani oblik od tri površine ne uključuje neki od predefinisanih oblika sa dvije ili jednom površinom, tj. oblici su nezavisni.

Ako računar u pretraživanju niza oblika nađe neki takav skup slova koji je identičan nizu iz neke od grupa (A, B, C ili D) tada se pretraživanje zaustavlja. Zatim se provjeri da li u strugarski oblik treba biti uključena još koja strugarska površina osim nadenog (predefinisano) strugarskog oblika i nađe roditeljska površina. Nakon toga se radi sledeće:

- Formira se nova geometrija komada koja odgovara komadu bez pronađenog strugarskog oblika.
- Ažurira se niz slova tako da odgovara trenutnom stanju geometrije komada (nađeni skup slova se izbaci iz niza koji predstavlja oblik).

Pretraživanje oblika se završava kada se izvrši upoređivanje niza oblika sa nizovima iz sve četiri grupe predefinisanih oblika.



DADABAEIAEBBCFCPCBCDLC

Slika 2.5. Rezultati prepoznavanja

ima površinu 7 (v. sliku 2.2.) za roditeljsku površinu i napravljen je od sekundarnih površina 2, 5 i 6.

Na slici 2.5. su prikazani rezultati prepoznavanja koji pokazuju da su prepoznata tri spoljašnja prstena, tri spoljašnja žljeba i pet unutrašnjih žljebova i da je preostala 21 primarna površina. Svaki strugarski oblik ima jednu roditeljsku površinu i napravljen je od jedne ili više površina. Na primjer strugarski oblik broj 2

2.4. Formiranje tehnološkog modela

Struktura podataka koji definišu komad koja je prethodno opisana je neutralni fajl u kom se memorišu podaci koji definišu komad, dok je algoritam za prepoznavanje prevodilac iz CAD jezika u CAM jezik.

Sistem za prepoznavanje tehnoloških karakteristika dijela treba da posjeduje sledeće module:

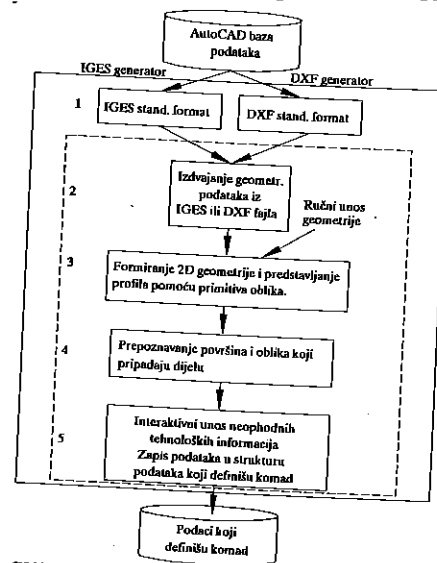
- 1) Transformacija CAD podataka u standardne formate za razmjenu podataka između CAD sistema.
- 2) Ekstrakcija podataka o 2-D geometriji iz IGES i DXF fajlova
- 3) Formiranje 2-D profila i predstavljanje profila pomoću primitiva oblika
- 4) Prepoznavanje površina i oblika koji pripadaju komadu
- 5) Interaktivni unos podataka i zapis podataka u strukturu definišućih podataka

Nije moguće izvršiti u potpunosti automatsku ekstrakciju svih relevantnih podataka za obradu nekog komada sa crteža 2 - D profila komada koji je napravljen u CAD sistemu. Zbog toga preprocesor treba da ima funkcije za procjenu podataka koji definišu komad i za manuelni unos podataka koji nijesu automatski podržani.

Prednost ovog modula je da on prevazilazi nedostatak CAD sistema gdje su podaci sačuvani i korisnik ne može sa njima manipulirati tako da su oni beznačajni za njega. Završni korak sistema za prepoznavanje oblika je zapis podataka koji definišu komad u fajl.

2.5. Prototip sistema

Da bi se testirao čitav koncept sistema za prepoznavanje tehnoloških karakteristika radnog komada razvijen je prototip sistema koji koristi AutoCAD i njegove i IGES i DXF procesore. Prototip sistema je implementiran na PC 486 računaru u C jeziku. Sistem koristi AutoCAD IGES i DXF procesore za transformaciju AutoCAD-ovih unutrašnjih podataka u IGES i DXF standardni format.



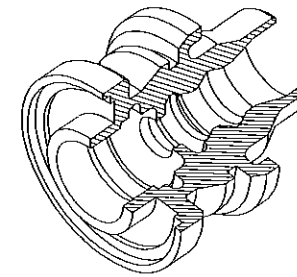
Slika 2.6. Tok informacija u sistemu

Slika 2.6. prikazuje tok informacija u sistemu. Moduli koji su obuhvaćeni isprekidanim pravougaonikom zahtijevaju korisnički program dok je transformacija iz AutoCAD internih podataka u IGES ili DXF format posao koji obavlja IGES ili DXF procesor. Moduli u pravougaoniku su implementirani razvojem četiri glavna programa. Program jedan uzima podatke iz DXF fajla i zapisuje ih u neutralni fajl. Program dva uzima podatke iz IGES fajla i zapisuje ih u neutralni fajl. Program tri (moduli 3 i 4) formira 2-D geometriju konture, formira niz koji predstavlja oblik i vrši prepoznavanje oblika i površina koji pripadaju dijelu. Takođe smješta rezultate u prethodno opisane fajlove. Pošto podaci koji se nalaze u fajlovima koje je kreirao program tri nijesu dovoljni da opišu

komad sa tehnološkog aspekta, razvijen je program četiri (modul 5) koji vrši interaktivnu procjenu rezultata koji su sačuvani u pomenutim fajlovima i omogućava unos nedostajućih podataka. Konačno se kompletni rezultati zapisuju u fajl kojem mogu pristupiti razne tehnološke funkcije.

2.6. Primjer

U namjeri da se sistem demonstrira predstavljen je primjer. Komad (slika 2.7.) je kreiran pomoću AutoCAD-a i memorisan u AutoCAD - ovoj bazi podataka. Interni CAD podaci su zatim transformisani u DXF standardni format izvršavanjem DXF procesora. Program jedan prototip sistema čita podatke iz DXF fajla, i zapisuje ih u neutralni fajl.



Slika 2.7. Rotacioni oblik

Zatim se aktivira program tri koji vrši povezivanje konture i prepoznavanje oblika. Nakon izvršene obrade konture program vrši grafički prikaz rezultata prepoznavanja. Zavisno od izbora korisnika, kontura se može prikazati sa površinama označenim brojevima, slovima ili bez označavanja. Ovaj program takođe automatski generiše i oblik priprema bilo da je to prethodno obrađeni pripremak, bilo pripremak u obliku šipke. Svi podaci o pripremu se automatski generišu na osnovu algoritma za identifikaciju oblika priprema. Nema potrebe za ručnim unosom informacija. Da bi se formirao kompletan model sa svim potrebnim tehnološkim informacijama potrebno je startovati program četiri. Nakon startovanja programa četiri korisnik na sredini ekrana vidi prikazanu konturu radnog predmeta sa brojevima radi lakšeg snalaženja. Zahvaljujući grafičkom interfejsu korisnik može izabrati bilo koju površinu za interaktivnu procjenu i unos dodatnih informacija. Izabrana površina je zatim označena drugačijom bojom od drugih površina i odgovarajući podaci su prikazani na dnu ekrana. Za dati primjer je u prilogu ovog rada dat fajl koji u kom se nalaze sve relevantne informacije o komadu.

3. ZAKLJUČAK

U skladu sa postavljenim ciljem, problem formiranja tehnološkog modela je u ovom radu riješen metodom ekstrakovanja podataka direktnim pristupom CAD bazi podataka i sintaksnim prepoznavanjem oblika. Razvijen je i opisan algoritam za identifikaciju geometrijsko tehnoloških karakteristika komada koji se rade na strugu (rotacioni). On služi kao inteligentna osnova sistema za tehnološko prepoznavanje komada koji uzima geometrijske podatke o komadu iz CAD sistema preko IGES ili DXF standardnog formata i dodaje im tehnološke karakteristike formirajući na taj način kompletan tehnološki model. Rezultati su smješteni u strukturu podataka koji definišu dio kojoj mogu pristupiti mnoge proizvodne funkcije. Efikasnost sistema zavisi od broja predefinisanih oblika koji su uključeni u njega. Moć sistema se može u potpunosti procijeniti kada se on koristi za veliki broj predefinisanih oblika. Prototip sistema koji koristi AutoCAD - ove IGES i DXF standarde je razvijen i ilustrovan primjerom radi demonstriranja uspjeha sistema.

4. LITERATURA

- [1] Batljan Ranko, Istraživanje mogućnosti automatskog projektovanja tehnologije izrade rotacionih djelova primjenom razvijenih softverskih paketa za CAD/CAM, Mašinski fakultet, Podgorica, 1996. godine.
- [2] Rong-Kwei-Li, A part-feature recognition sistem for rotational parts, Int. J. Prod. Res., 1988, Vol. 26, No. 9, 1451 - 1475.
- [3] S. M. Staley, ..., Using syntactic pattern recognition to extract feature information from a solid geometric data base, Computers in Mechanical Engineering, pp 61 - 66, Sept 1983.
- [4] R. Srinivasan, ..., Extraction of manufacturing details from geometric models, Comput. & Indus. Engng Vol. 9, No. 2, pp. 125 - 133, 1985.

5. PRILOG

magist

STRUGARSKI OBLICI

Strug.obl.	Br.	Rod.	Brp.	Povrsine koje cine oblik			
prsten	1	5	3	2	3	4	
prsten	2	7	3	2	5	6	
zljeb	3	14	4	10	11	12	13

STRUGARSKJE POVRŠINE

l. kraj	1	N7	1	1
cilindar	2	N7	2	1
celo	3	N7	2	0
cilindar	4	N7	1	0

DIMENZIJE I TOLERANCIJE

1	0.0000	0.1000	-0.1000	1
2	119.7464	0.1000	-0.1000	precnik
3	31.8817	0.1000	-0.1000	1

MATERIJAL

C0545

Summary:

In this paper system which use product model obtained with a help of commercial CAD software for technology model developing is described. Contour of 2D part profile is drawn and memorized in AutoCAD. With the help of IGES and DXF standards this model is translated in such format that can be reached. According to this format recognition of the faces and shapes of 2D contour of the final part is performed. For the recognition of the shape and surface of the part, the syntactic pattern recognition technique is used. After surfaces and shapes recognition, model is supplied by with the necessary technologic information.

The example is evaluated to demonstrate the success of the system.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

P. Bojanić*

MODELIRANJE PROIZVODA - OSNOVA INTEGRACIJE CAD/CAPP/CAM SISTEMA

Rezime

U radu se daje osvrt na problem izgradnje internog, kompjuterskog modela proizvoda kao osnove za izgradnju integrisanih CAD/CAPP/CAM sistema.

Ključne reči: Model proizvoda, integracija, modeliranje

1. UVOD

Integracija CAD/CAPP/CAM sistema predstavlja ključni faktor daljeg razvoja i proizvoda i tehnoloških sistema. Uspehi komercijalnih CAD/CAM sistema, koji se u suštini baziraju na samo na geometriji i topologiji radnog predmeta, usporili su razvoj primene kompjutera u široj oblasti inženjerskog projektovanja. Postavljajući za cilj stvaranje sistema za podršku celokupnim inženjerskim aktivnostima, mora se postaviti pitanje internog, kompjuterskog modela proizvoda, koji treba da obuhvati sve informacije potrebne za uspešno inženjersko projektovanje složenih mašinskih sistema, tehnologije izrade, tehnologije montaže, tehnologije kontrole i td. Ova problematika predstavlja značajan naučni izazov predmet izučavanja mnogih istraživača [1,2,9].

2. TEHNOLOŠKI ZAHTEVI PRI MODELIRANJU PROIZVODA

Svaki model pa i model proizvoda je određen strukturom podataka i samim podacima. Struktura podataka zavisi od prirode proizvoda i softverskog alata za povezivanje informacionih sadržaja u bazi podataka. Podaci zavise od samog proizvoda. Model proizvoda se može rasčlaniti na submodele, slika 1. S obzirom na oblast primene, submodeli jednog proizvoda mogli bi se grupisati u tri grupe. Prvu grupu čine tkz. projektantski submodeli a to su: model dela, montažni model, funkcionalni model i

* Prof. dr Ravle Bojanić, redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd

model tehnoloških oblika. Drugu grupu čine tehnološki submodeli: model materijala, model tehnoloških zahteva i tolerancijsko-dimenzioni mode. Konačno, treću grupu čine planski submodeli: plan montaže, plan izrade i plan inspekcije. Očigledno je da je za model proizvoda potrebna vrlo velika baza podataka. Doda li se ovome da model proizvoda treba posmatrati u CIM okruženju, jasno je da se postavljaju vrlo složeni zahtevi pred DBMS (Database Management System). Model integracije podataka mora da se zasniva na prenosu i transferu istih bez ograničenja za korišćenje novog DBMS. U tom cilju neophodno je da se u svakom CIM modulu nalazi DMI (Data Manager Interface) koji će preko DM (Data Manager) komunicirati sa odgovarajim DBMS sistemima, slika 2. U cilju obezbeđenja transparentnosti modela proizvoda kroz STEP (Standard for the Exchange of Product Model Data) razvijen je referentni koncept memorisanja podataka o proizvodu, koji se može opisati EXPRESS jezikom /2/. Glavna namena referentnog koncepta je da se obezbedi integracija niza modula neophodnih da se obuhvati celokupna inženjerska aktivnost u procesu projektovanja proizvoda i projektovanja za proizvodnju. Referentni koncept je memorisan u tkz. CDD (Common Data Dictionary), koji sadrži podatke i formira konceptualne sheme za različite operacije u bazi podataka. On predstavlja u suštini vezu logičkog i fizičkog modela podataka. Pri manipulaciji podacima od strane DM (Data Manager) koristi se koncept memorisan u CDD. Korišćenje ovih podataka inicira svaki poseban modul preko DMI koji je proceduralni interfejs za DM, baziran na STEP-u. DM se zbog toga može posmatrati kao generalni DBMS koji memoriše potrebne semantičke sadržaje referentnog koncepta i ima pristup komercijalnim sistemima za upravljanje bazama podataka.

3. TIPOVI MODELA PROIZVODA

Praktična primena CAD/CAM sistema je vrlo brzo pokazala da je pored geometrijskih i topoloških podataka, koje uglavnom sadrže geometrijski modeli, potrebno u modelu imati još i druge informacije potrebne za uspešan inženjerski rad. S druge strane, primena kompjutera u oblasti složenih proizvoda, pokazala je da na komercijalnim modelima nije moguće uspešno integrisanje svih potrebnih podataka o proizvodu. Istraživanja u ovoj oblasti su dovela do nekoliko različitih tipova modela proizvoda.

3.1 Strukturni model proizvoda

Jedan od razvijenih integrisanih CAD/CAPP/CAM sistema, koji je kao pionirski poduhvat, dao značajan doprinos u razvoju modela proizvoda jeste sistem AUTOKON /3/. Ovaj sistem se zasniva na strukturnom modelu proizvoda, zasnovanom na modelu baze podataka koja je u to vreme imala značajnu primenu u predstavljanju proizvoda za potrebe planiranja i upravljanja proizvodnjom. On je pokazao mogućnosti korišćenja strukturnog modela proizvoda, i ako je imao niz ograničenja u pogledu kompleksnog predstavljanja proizvoda. Ovaj model dozvoljava uspostavljanje strukture različitih aplikativnih, funkcionalnih podsistema, koji u principu mogu imati svoje specifične baze podataka. U memorisanoj strukturi proizvoda čuvaju se podaci o redosledu procesiranja, specifični podaci i njihovi formati, funkcije pristupa i adrese uspostavljenih veza.

3.2 Geometrijski model proizvoda

Geometrijski model proizvoda, koji u suštini može biti linijski, površinski, zapreminski i hibridni, služi uglavnom za predstavljanje oblika proizvoda. Ovaj model je osnova svih CAD sistema, a obezbeđuje osnovu za aplikacije kao što su MKE i NC programiranje. Svaki novi zahtev za širenje oblasti primene, dovodi do potrebe širenja baze podataka novim negeometrijskim podacima. Kako je baza podataka ovog modela pravljena isključivo za potrebe geometrijskog predstavljanja, njeno širenje negeometrijskim podacima je vrlo ograničeno. I ako geometrijski modeli sadrže samo geometriju konačnog oblika radnog predmeta, potrebno je u procesu inženjerskog rada imati i druge geometrijske oblike kao npr. geometriju priprema, geometrijske promene po fazama transformacije od priprema do konačnog oblika. Pored podataka geometrijske prirode, potrebno je u modelu imati i simbolične opise drugih atributa i relacija značajnih za inženjersku analizu proizvoda.

Uvidevši ograničene mogućnosti primene geometrijskog modela, mnogi korisnici su pokušavali širiti ovaj način predstavljanja proizvoda. Jedan od uspešnijih rezultata imali su istraživači Tojote koji su nazvali Toyota Style Design System /4/. U ovom sistemu su primenjene nove tehnike za interaktivnu manipulaciju složenim površinama koje se primenjuju pri modeliranju školjke automobila. Geometrijski model je prilagođen realnoj strukturi školjke automobila i zasniva se na logičkoj osnovi strukture podataka. Ovaj model se pokušava danas proširiti na integrisani model automobila kao proizvoda, koji će sadržavati sve inženjerske podatke o istom.

3.3 Model proizvoda baziran na oblicima

Pri projektovanju proizvoda, projektant ima u vidu konstruktivne oblike, pre nego čisto geometrijske elemente, dok projektant tehnologije prepoznaje u proizvodu tehnološke oblike. I konstruktivni i tehnološki oblici, tkz. "feature"-i, mogu da predstavljaju osnovu za uspostavljanje internog modela proizvoda. Svi oblici, pored svoje geometrije imaju i semantičko značenje usko povezano sa aktivnostima u procesu projektovanja proizvoda i procesu projektovanja za proizvodnju.

Kao primer navodi se sistem FEAMOS (Feature Modeling System) /5/, koji koristi konstruktivne i tehnološke oblike u aplikaciji projektovanja proizvoda i projektovanja za proizvodnju, slika 3. Ovim sistemom je obuhvaćeno projektovanje proizvoda, projektovanje pribora, projektovanje tehnološkog procesa, planiranje NC obrade, NC simulacija i planiranje inspekcije. Modeliranje proizvoda se izvodi pomoću tkz. "feature"-a, a sistem uspostavlja istoriju odnosno strukturu nastanka proizvoda. Ovakva struktura podržava prethodno navedene inženjerske aktivnosti.

Jedan drugi pristup, takođe zasnovan na modeliranju pomoću oblika, može se uspostaviti kroz tkz. funkcionalne oblike. U ovom pristupu koristi se višenivojski funkcionalni oblici za modeliranje proizvoda /6/. Funkcionalni oblici se definišu u veštačkom jeziku PDL (Part Definition Language) i mogu se lako prilagoditi različitim inženjerskim zahtevima.

3.4 Model proizvoda zasnovan na znanju

Model proizvoda zasnovan na znanju podrazumeva primenu tehnika veštačke inteligencije. Razvoj veštačke inteligencije uslovio je i pojavu ekspertnih CAD, CAPP i CAM sistema. U modelu proizvoda ovih sistema, pored geometrije prisutna je i baza znanja i inferentna mašina. Imajući u vidu proces projektovanja proizvoda i proces projektovanja za proizvodnju, metode za predstavljanje znanja treba da ispune sledeće zahteve:

- jednostavno iskazivanje znanja (expressive power)
- laku razumljivost (understandability) i
- brzo i efikasno pretraživanje (accessibility).

Jedna jednostavna metoda za predstavljanje znanja, a koja bi ispunila sve pobrojane zahteve nepostoji. Zbog toga se danas u razvijenim ekspertnim sistemima mogu sresti različiti oblici predstavljanja znanja /7/: semantičke mreže, objekt-atribut-vrednost trojke, produkciona pravila, frejmovi i logički iskazi.

Znanje kao karakteristika ekspertnog sistema može se podeliti u dve osnovne kategorije: dubinsko i površinsko. Dubinsko znanje je ono koje je utemeljeno na naučnim principima, dok površinsko znanje ima heuristički karakter. Dosadašnji razvoj ekspertnih CAD/CAM sistema zasniva se uglavnom na površinskom znanju.

Jedna druga klasifikacija znanja deli na deklarativno i proceduralno znanje. Forma predstavljanja znanja ne prejudicira način upotrebe istog za rešavanje konkretnog problema. Kao moguće strategije za obradu znanja do danas su razvijene :

- olančavanje unapred (forward chaining),
- olančavanje unazad (backward chaining) i
- specijalne strategije za frejmove.

Kao primer sistema sa modelom zasnovanom na bazi znanja, navodi se sistem IDEEA (Intelligent Design Environment for Engineering Applications) /8/, slika 4.

3.5 Integralni model proizvoda

Integralni model proizvoda obuhvata elemente geometrijskog modela , strukturnog modela, modela baziranog na oblicima i modela baziranog na znanju. On predstavlja ne samo inteligentni alat već integrišući prostor za odvijanje inženjerskih aktivnosti , slika 5. Očigledno je da integrisani prostor na osnovama modela proizvoda predstavlja sistem otvorene arhitekture. Da bi se integrišuća komponenta ostvarila uz koncept otvorene arhitekture neophodna je standardizacija svih elemenata sistema.

4. ZAKLJUČAK

Istraživanja u oblasti CAD, CAPP i CAM sistema bila su u poslednje vreme usmeravana konceptom konkurentnog inženjersva i dovela su do integracije baza podataka i nekih inženjerskih znanja i obezbedila fleksibilne tokove informacija. Ključni element u razvoju integrisanih CAD/CAPP/CAM sistema predstavlja model proizvoda. Pokazalo se, da danas nemamo međunarodne standarde u mnogim oblastima na koje se oslanja razvoj integrisanih CAD/CAPP/CAM sistema, ali je ohrabrujuće to što postiže

sve više međunarodna saglasnost oko niza ovih pitanja. STEP kao standard za razmenu podataka je samo jedna stepenica na tom putu.

5. LITERATURA

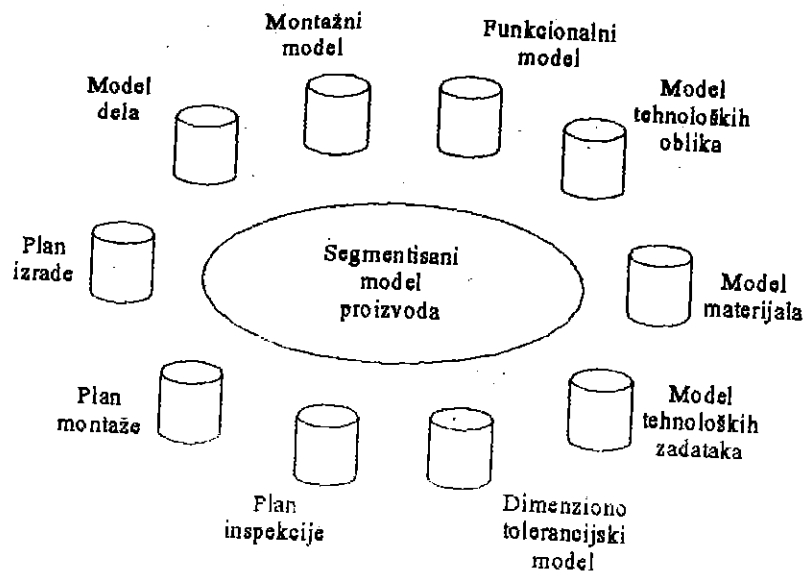
- /1/. F.-L. Krause, F. Kimura, T. Kjellberg, S. C.-Y. Lu: *Product Modelling*, Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993, pp. 695-706.
- /2/. J. Peters, F.-L. Krause, E. Agerman: *Design - an Integrated Approach*, Annals of the CIRP Vol. 39/2/1990
- /3/. F. Lillenhagen, J. Orian, J. Mack: *Focusing on the Integrated Model in CAD and CIM Systems*, Information Processing 77, North Holland, 1977, pp. 273-278.
- /4/. M. Higashi, I. Kohzen, J. Nagasaka: *An Interactive CAD System for Construction of Shapes with High-Quality Surface*, CAPE 83, North Holland, 1983, pp. 371-390.
- /5/. F.-L. Krause, S. Kramer, E. Rieger: *Feature Based Approach for the Integration of Design and Process Planning System*, Product Modelling for Computer Aided Design and Manufacturing, North Holland, 1991, pp. 285-299.
- /6/. H. A. El Maraghy: *Intelligent Product Design and Manufacture, Artificial Intelligence in Design*, Springer Verlag, 1993, pp. 147-168
- /7/. P. Bojanić: *CAD/CAM sistemi - aktuelno stanje i pravci budućeg razvoja*, 8. simpozijum CAD/CAM, Beograd, 1995, str. 21-26.
- /8/. A. Herman, M. Lawly, S.C.-Y. Lu, D. Mattox: *An Opportunistic Approach to Process Planning within a Concurrent Engineering Environment*, Annals of the CIRP Vol.42/1, 1993 pp. 545-549.
- /9/. A. Fischer, K. K. Wang: *An Interaction Mechanism for #D Object-Oriented Feature Based Models in Interactive Design and Simulation*, Annals of the CIRP Vol. 44/1/1995, pp. 101-104.
- /10/. P. Bojanić, M. Kalajdžić: *Technological Pattern Recognition as the Basis for Integration of CAD/CAPP/CAM Systems*, The first World Congress on Intelligent Manufacturing Processes and Systems, Puerto Rico, 1995.

PRODUCT MODELLING - THE BASE OF INTEGRATION OF CAD/CAPP/CAM SYSTEMS

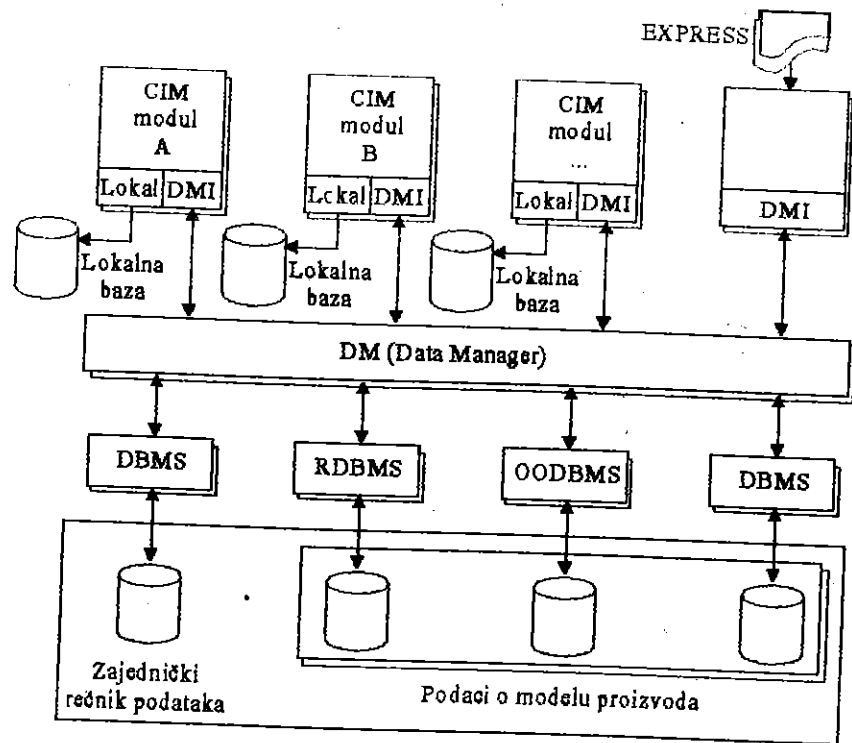
Summary

In this Paper is given Approach to Product Modelling as a Basis of Integration of CAD/CAPP/CAM Systems.

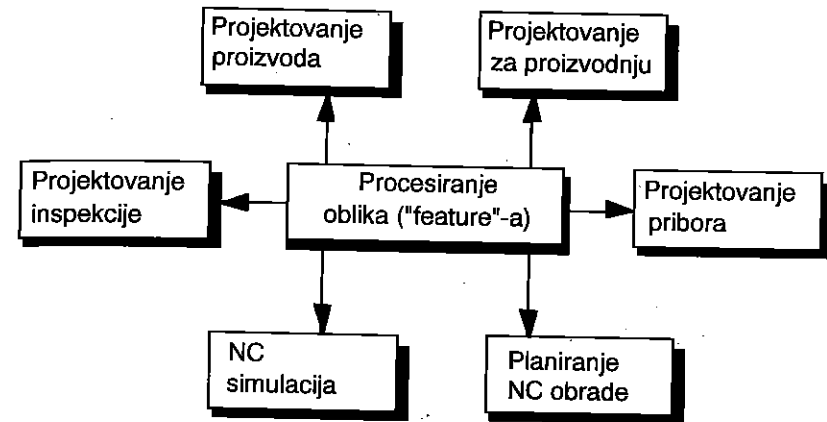
Key Words: Product Model, Integration, Modelling



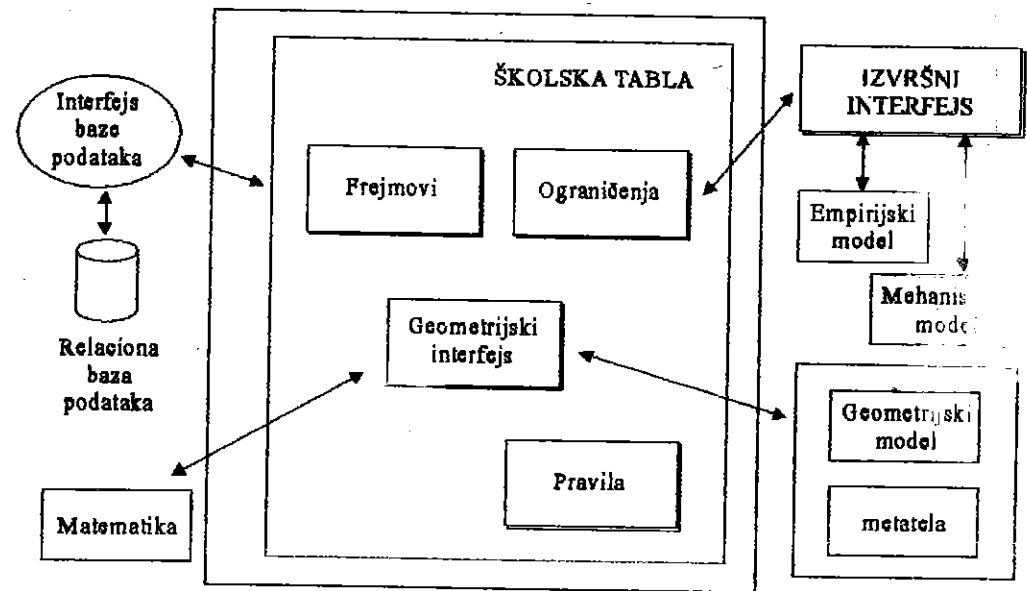
Slika 1. Segmentisani model proizvoda



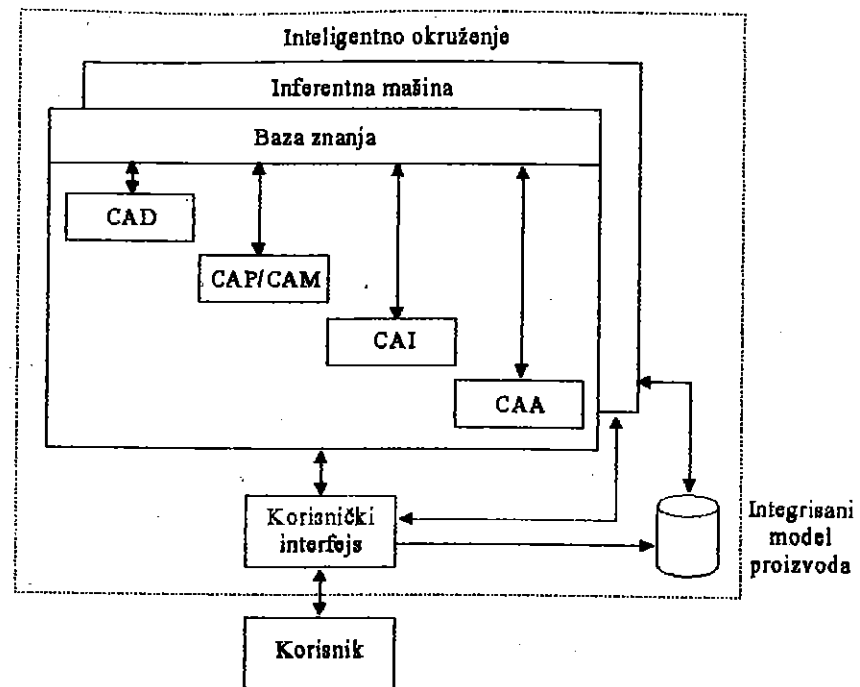
Slika 2. Primer arhitekture sistema za modeliranje proizvoda



Slika 3. Oblast primene konstruktivnih i tehnoloških oblika



Slika 4. Primer modela proizvoda zasnovanog na znanju



Slika 5. Okruženje integrisanog modela proizvoda

SPMJ'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

PRIMENA CAD TEHNOLOGIJE U PROJEKTOVANJU TANJIRASTIH OPRUGA
FRIKCIONIH SPOJNICA ZA MOTORNA VOZILA

dipl. inž. Mirko Danilović*

dr Živan Arsenić*

dr Jovan Todorović*

Ključne reči: projektovanje, CAD, MKE

Rezime: Zna se da je, radi ostvarenja automatizovane-serijske izrade proizvoda određenog mašinskog elementa, neophodno izvršiti pre svega odgovarajuće proračune radi njegovog dimenzionisanja, a zatim dobijene podatke iz proračuna obraditi odgovarajućim CAD programima. Imajući u vidu tu činjenicu neophodno je primeniti postojeće programske aplikacije i za proračun i za konstruisanje primenjujući CAD tehnologiju proizvodeći dobar model koji je prepoznatljiv numeričkim mašinama. U radu je prikazan detaljan opis programskih aplikacija "PRO_SPOJ" i "CAD_SPOJ", koristeći trodimenzioni model tanjiraste opruge.

1. UVOD

Primena računarske tehnologije na projektovanje mašinskih elemenata je inicirala da se projektovanju komponenti pristupa sa gledišta analitičke geometrije koja tokom razvoja konstrukcije zahteva od projektanta matematičku tačnost tokom primene već poznatih i razvijenih algoritama. Algoritam, koji je razvijen u nameri da se egzaktno definiše oblik mašinskog elementa i kao takav primeni na razvojnu konstrukciju ili element, vodi konstruktora do najpovoljnijeg rešenja. Ovakav pristup konstruisanju omogućava automatizaciju procesa konstruisanja. Primenom razvijenih programskih aplikacija za proračun i dimenzionisanje mašinskih komponenti dobijaju se potrebne veličine za konstruisanje elemenata. Dalji razvoj konstrukcije se odvija na taj način što se proračunate vrednosti prenose u CAD aplikaciju specijalno dizajniranu za projektovanje određenog elementa konstrukcije po prethodno definisanom konstrukcionom rešenju. Kompletan posao oko razvoja navedenih programskih paketa omogućava razvoj serije proizvoda, jer se obezbeđuju izlazne veličine koje omogućavaju parametarsko oblikovanje komponenti.

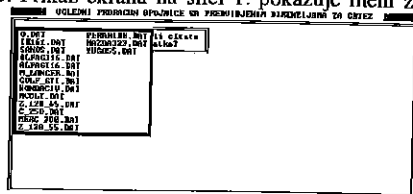
* Mirko Danilović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 27. Marta 80
* Živan Arsenić, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 27. Marta 80
* Jovan Todorović, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu 27. Marta 80

2. PRIKAZ PRORAČUNA PRIMENOM PROGRAMSKOG PAKETA PRO_SPOJ

U daljem delu ovoga rada će biti prikazan kratak opis mogućnosti programskog paketa "PRO_SPOJ", na primeru proračuna frikcijske spojnice jednog putničkog vozila.

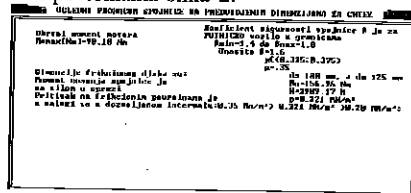
Za razvoj programskog paketa za proračun frikcijske spojnice za motorna vozila, primenjen je proračunski algoritam [1]. Programski paket PRO_SPOJ se koristi za određivanje dimenzija elemenata frikcijske spojnice.

Program omogućava da se se iz prethodno formiranih datoteka o vozilima pročitaju podaci i daljim izvršenjem programa obrade. Prikaz ekrana na slici 1. pokazuje meni za izbor proračunskog vozila.

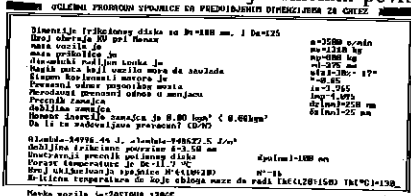


Slika 1. Meni za izbor proračunskog vozila.

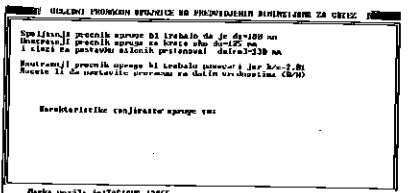
Po izboru vozila za koje se radi proračun spojnice potrebno je definisati željeni koeficijent sigurnosti nošenja spojnice i koeficijent trenja. Pa za definisanje navedenih veličina, program iterativnim postupkom određuje zadovoljavajuće dimenzije frikcionih obloga na bazi dozvoljnog specifičnog pritiska na dodirnim površinama slika 2.



Slika 2. Proračunate dimenzije frikcionih površina.



Slika 3. Definisanje dimenzija spojnice po kriterijumu kritičnog specifičnog rada trenja. Pre proračuna opruge je potrebno definisati režim rada spojnice, ispitati da li dimenzije spojnice zadovoljavaju kriterijum dozvoljenog rada trenja, maksimalne kritične temperature i dopuštenog porasta temperature slika 3.

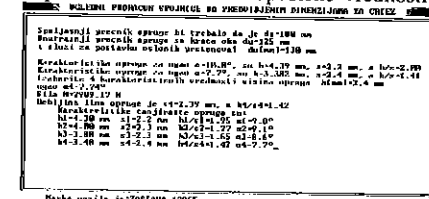


Slika 4. Definisanje dimenzija tanjiraste opruge.

Prilikom dimenzionisanja tanjiraste opruge potrebno je uneti dimenzije spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika opruge. Programsko ograničenje preporučenih vrednosti ne dozvoljava unos dimenzija koje ne zadovoljavaju kriterijum odnosa spoljašnjeg i unutrašnjeg prečnika, ograničenje dozvoljenih

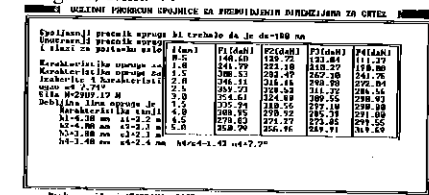
uglova konusa opruge i odnosa visine i debljine lima opruge. Ukoliko se za unete vrednosti može pronaći neko rešenje program će postaviti upit da li da nastavi i počne iteraciju kako bi otkrio dozvoljeni opseg mogućih visina opruge.

Posle izvršene iteracije na ekranu se pojavljuju granične vrednosti za visinu tanjiraste opruge. Nakon toga je potrebno uneti potrebno uneti četiri dopuštene vrednosti visine slika 5.

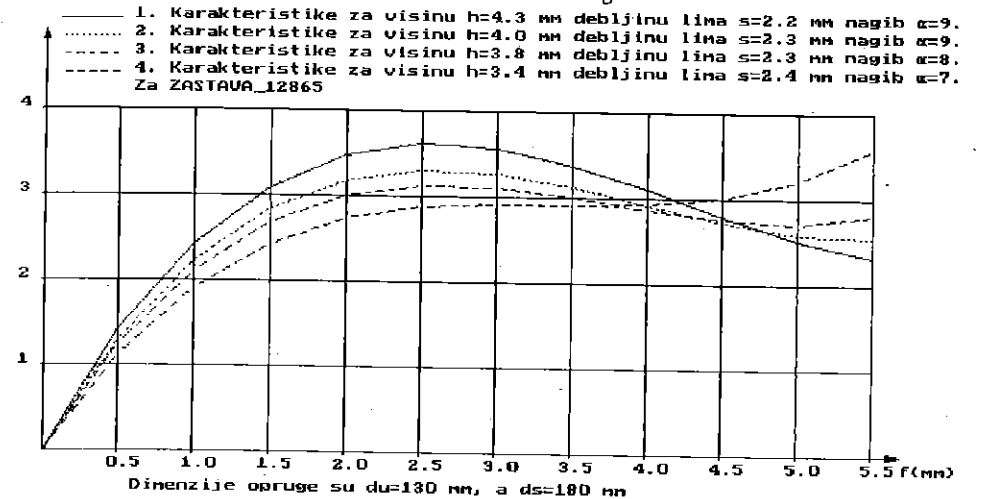


Slika 5. Visine varijantnih opruga.

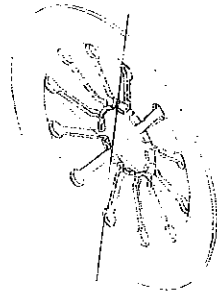
Za zahtevane opruge za frikcionu spojnicu, program prvo prikazuje tabelarno, slika 6. a zatim i dijagramski zavisnosti sile od ugiba, slika 7.



Slika 6. Zavisnost sile od ugiba



Slika 7. Uporedni dijagram predloženih rešenja opruga. Koristeći rezultate iz dijagrama, slika 7. određuje se najpovoljnije rešenje opruge, slika 8. Zatim se daljim proračunom određuje materijal za oprugu, slika 9. i prikazuje radni opseg tanjiraste opruge za frikcijske spojnice, slika 10. Kako je proračun karakteristika tanjiraste opruge ovim završen pristupa se konstruisanju mašinskog elementa, primenom CAD aplikacija.



Slika 13. Prikaz trodimenzionog modela tanjiraste opruge.

4. ZAKLJUČAK

Prikazom ovog rada je analiziran proces konstruisanja primenom CAD tehnologije i razrade serije proizvoda određenih mašinskih komponenti. Težište je bačeno na diskusiju razrade trodimenzionalnog modela koji je pogodan za ubrzan proces izrade mašinskih elemenata. Izložen materijal u radu se može primeniti na sve mašinske komponente. Za proračun frikcione spojnice i razvoj modela tanjiraste opruge, pokazan je jedan od načina za minimizaciju vremena pri procesu konstruisanja, a bez negativnog uticaja na kvalitet razvijene konstrukcije.

5. LITERATURA

- /1/ Proračun spojnice motornih vozila, Diplomski rad M. Danilović.
- /2/ J. P. Diux, Computer Aided Design for Steering Wheel, FISITA '94/945038
- /3/ AUTODESK, AutoCad Reference manual rel. 12

APPLYING CAD TECHNOLOGY TO DESIGN PLATE SPRING OF AUTOMOTIVE CLUTCH

Abstract: It is well known that to achieve automatic-serial producing specific mechanical compounds, we need at first to apply program calculations and process the results using CAD programs. According to that fact it is necessary to apply existing program applications for calculation and for design using CAD technology to make a model which is good to proceed with numerical machine. In this paper it is tried to solve this problem on automotive clutch. The detailed describe of program application "PRO_SPOJ" and "CAD_SPOJ" is shown in this paper, by using tree dimensional model of clutch plate spring.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

M-r V. Gečevska, Prof. D-r V. Pavlovski
**MODELIRANJE MAŠINSKOG PROIZVODA U FUNKCIJI
AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA
TEHNOLOŠKOG POSTUPKA**

REZIME: U referatu su prezentovana istraživanja iz oblasti projektovanja tehnoloških procesa i razvoja CAPP sistema. Prikazan je kreirani softver o prezentovanju modela proizvoda, gde su integrisani geometrijske, topološke i tehnološke informacije. Prikazan je osvrt kreiranoj metodologiji projektovanja tehnoloških postupaka na osnovi podataka iz modela proizvoda, pri čemu se koriste kreirana pravila odlučivanja i pravila korištenja sortirano znanja iz tehnološke baze.

1. UVOD

Model mašinskog proizvoda, kao interno kompjutersko prezentovanje proizvoda, je baza formiranja CIM koncepta, zbog toga što informacije koje sadrži model su ulaz bilo kog modula CIM sistema, a samim tim i za nas interesantnog CAPP-modula. Tako modul mašinskog proizvoda, kao osnovan element integracije svih modula sistema, neophodno je da sadrži više vida podataka: geometrijskih, tehnoloških, topoloških i opštih podataka.

Geometrijski podatci definišu osnovnu geometriju dela, pri čemu nosioci geometrijskih informacija su tačke, prave, laci, ravnine i tela. Fakt trodimenzionalnosti mašinskih delova, nameće saznanje da za njihovo potpuno prostorno prikazivanje, najbolje je korišćenje 3D domena (solid modelling) ili prikaz tri projekcije u 2D domenu. Izuzetak su rotacioni simetrični delovi za čije prikazivanje najčešće je dovoljna jedna projekcija, dopunjena neophodnih preseka.

Tehnološke informacije koje treba da sadrži model proizvoda, odnose se na tolerancije dimenzija, oblika i položaja i površinske ravnosti.

Topološke informacije odnose se na morfologiju obradivanih delova.

Opšte podatke sadržane u modelu proizvoda odnose se na ime, oznake dela, materijal iz koga je izrađen deo itd.

2. PROGRAMSKI MODUL MODELIRANJA MAŠINSKOG PROIZVODA

Za potrebe našeg istraživanja, izrađen je originalan programski modul modeliranja geometrije mašinskih delova primenom primitiva. Primitivi su specijalno kreirani tehnološki orijentisani, geometrijski elementi povezani u određenom obliku, koji obezbeđuju informacije višeg nivoa, a samim tim i osnova za automatizovanog projektovanja tehnoloških procesa.

Kod ovog pristupa kreiranja modela proizvoda, primitivi su nosioci svih geometrijskih-topoloških-tehnoloških karakteristika pretstavljeni u obliku logičkih struktura i podataka, za čije strukturisanje koriste se numeričke metode i specijalno kreirani algoritmi i procedure.

Kreiranje programskog modula ostvareno je kompjuterom Borland C++, pri čemu je radeno na PC platformi, a kod je pisan na način koji omogućuje njegovu primenljivost u

Ass. M-r Valentina Gečevska, Mašinski fakultet, Karpoš II, Skopje, RMakedonija
Prof. D-r Vladimir Pavlovski, - Mašinski fakultet, Karpoš II, Skopje, RMakedonija

različitim opkruženjima: svaki put kada postoji alternativan izbor izabira se ona funkcija koja je kompatibilna u više okolina, a ne funkcija koja obezbeđuje najveću brzinu u PC opkruženju.

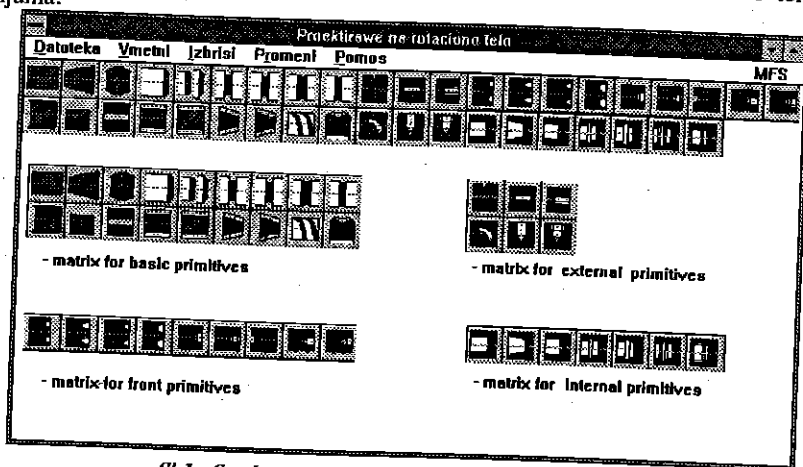
Programski modul omogućava modeliranje mašinskih rotacionih delova sa nerotacioniskih odstupanja oblika. Program obezbeđuje mogućnost prezentiranja konstrukcije izrađenog modela proizvoda u dve ramninske projekcije. Uzimajući u obzir grafički rezultat koji daje program, proizlazi konstatacija da komunikacija sa korisnikom najbolje je izvesti u grafičkim modu. Zbog celosne grafičke prirode WINDOWS programskog opkruženja, izabrano je rešenje korisnička aplikacija da bude kreirana u WINDOWS opkruženju i primenom Object Windows Laybrery kompajlera Borland C++ v.4.0 kreiran je korisnički interfejs. Pritom izrađena je matrica ikona primitiva kao najpogodnija varijanta za izbor sa aspekta vektorizacije svakog grafičkog ekrana.

Metodologija na koju bazira kreirani modeler je parametarsko projektovanje. Parametarsko projektovanje omogućava kreiranje tipova specifičnih elemenata koji se opisuju parametarski. Uspostavljanjem veze između kreiranih tipova omogućeno je projektovanje modela. U istraživanju parametarsko projektovanje ostvareno je do sledećeg nivoa:

- kreiran je određen broj tipova (primitiva)
 - svaki tip je opisan određenim parametrima
 - uspostavljene su veze između tipova
- čime je omogućeno projektovanje modela proizvoda.

3. INFORMACIJSKA STRUKTURA PRIMITIVA - ALATKA MODELERA

Primitivi kreirani u funkciji modeliranja rotacionih delova sa nerotacioniskih odstupanja oblika, grupirani su u zavisnosti od mesta ugrađenja u mašinskom delu i tehnoloških kriterijuma.



Sl.1. Strukturiranje ikona primitiva u obliku matrica

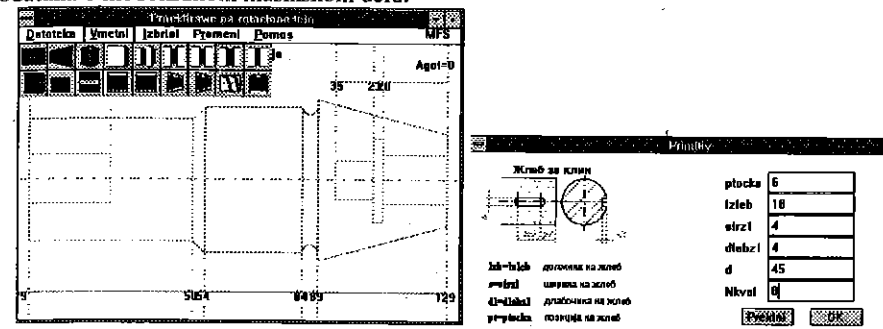
U istraživanju definirane su dve osnovne grupe primitiva:

1. Osnovni primitivi koji se lociraju po dužiri i rotacione ose i ugrađuju se dodavanjem jedan do drugog (rotacioni elementi konture).
2. Dopunski primitivi koji se lociraju na primitiva prve grupe i ugrađuju se na njega (nerotacioni elementi konture).

U kreiranom modeleru, primitivi su pretstavljeni ikonama. Ikone koje predstavljaju simboličan prikaz svakog primitiva, grupirane su u nekoliko matrica koje formiraju meni (toolbar) (Sl.1.). Pri modeliranju dela kursorom se izvodi izbor ikone iz menija, čime se automatski poziva makro i na ekranu se pojavljuje komunikacijski prozor (Sl.2.) u kome se unose vrednosti parametara i atributa primitiva. Makroi obezbeđuju direktno smeštanje

izabranih vrednosti podataka u DLL bazi, podatci koji se odnose na grupi i vidu primitiva i koje određuju geometriske i tehnološke karakteristike primitiva.

U softveru je kreirana struktura primitiva koja omogućuje organizaciju baze podatci mašinskog dela, koji se modelira. Na ovaj način izborom ikona, na ekranu se modelira crtež mašinskog dela, a na hard disk-u upisuju se podatci o delu pri čemu se strukturira baza podataka o modeliranom mašinskom delu.



Sl.2. Komunikacijski prozori prilikom unošenja novih primitiva

Postupak izbora ikona primitiva izvodi se do kompletnog modeliranja dela (Sl.5.). Pri tome pozicija svakog unesenog primitiva na grafičkom ekranu, definira se izborom lokacije u koordinatnom sistemu ekrana, o čemu je razvijena posebna procedura kompletnog editiranja. Pozicioniranjem kursora i dvojnim klikanjem mause-a, određuje se pozicija umetanja selektiranih primitiva u polju crtanja.

4. MATEMATIČKA METODOLOGIJA MODELIRANJA MAŠINSKOG DELA POMOĆU PRIMITIVA

Pri istraživanju, izgrađena je metodologija povezivanja primitiva u jednoj celini pri modeliranju mašinskih delova. Metodologija zasnivana je na matematičkim metodama sa prioritetom teorije grafova.

Za opisivanje strukture mašinskog dela sastavljenog od elemenata (primitiva), najpogodnije je korišćenje nekoliko orijentisanih multigrafova $G=(x,y)$, karakteristično povezanih.

Ispravno skladiiranje svih podataka celokupnog modela mašinskog dela, neophodno je zbog pravilnog implementiranja tih podataka pri grafičkom prikazu mašinskog dela i izbora tehnološkog postupka za izradu dela.

Kreirani softver obezbeđuje skladiiranje podataka formiranog modela mašinskog dela, primenom izgrađene dinamičke baze podataka. Dinamička baza podataka je reprezent mašinskog dela, gde su informacije podređene na specifičan način:

baza --> slog --> polje

Baza predstavlja model mašinskog dela koji je projektovan posredstvom primitiva.

Slog je svaki pojedinačni primitiv u sastav baze, a podređenje slogova je izvršeno prema funkciji -find- (podređenje primitiva).

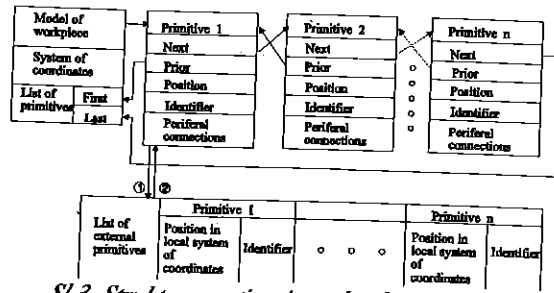
Polje je vrednost svakog pojedinačnog parametara koji učestvuje u definiranju primitiva.

U dinamičkoj bazi svakom primitivu je pridružena struktura, formirana iz geometrijskih parametara i tehnoloških karakteristika izraženi preko tolerancije dimenzija i površinske rapavosti.

Skladiiranje i sortiranje podataka u celokupnom modelu proizvoda, odnosno formiranje dinamičke baze podataka omogućeno je kreiranjem dva orientisana multigrafa povezanih u obliku dvojno povezane liste (Duble Linked List).

U DLL podatci su smešteni u čvorove, a veza između njih je omogućena pomoću različito nasloženih rebara (Sl.3.). Na početku i kraju nalaze se nulti čvorovi (NULL), a između

njih nalaze se čvorovi podataka. Od svakog čvora polaze dva pointera, od kojih jedan je NEXT i obezbeđuje vezu sa sledećim čvorom, a drugi je PRIOR i obezbeđuje vezu sa prethodnim čvorom.



Sl.3. Struktura sortiranja podataka primitiva

U našem istraživanju, ovaj tip DLL-a, kreiran je za osnovne primitive locirane duž rotacione ose, pri čemu se primitivi ugrađuju jedan do drugog. Kao čvorovi DLL-a, javljaju se primitivi grupe OSNOVNI i pri tome u jedan čvor smeštaju se podatci o vednostima parametara i atributa svakog primitiva.

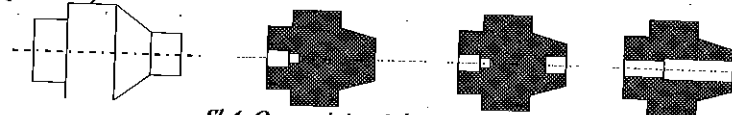
Primitivi druge grupe sistematizovani su u jedan nasočeni vektor DATA(x1,...), koji sa dva pointera, -prema i -iz, povezan je sa DLL-om. Dvojno povezana lista, kreirana u istraživanju, je specifičan tip zbog toga što su umetnuti još dva dopunska pointera od kojih jedan polazi, a drugi pristizhe na jedan čvor u DLL-u, na Sl.3. označenih sa (1) i (2). Dopunski pointeri obezbeđuju između sortiranih podataka u DLL-u, na prvom mestu umetnuti podatke o izabranim primitivima grupe VANJSKI i ČEONI.

Ovakvom specifičnom tipu DLL-strukturiranoj bazi podataka, pridružena je još jedna DLL-struktura koja nosi podatke unutrašnjoj konturi modela, gde su strukturirani primitivi grupe UNUTRAŠNJI.

Dve osnovne DLL za nadvorešnu i unutrašnju konturu između sebe su vezani NEXT i PRIOR pointerima u čvoru, koje je nosilac podataka o onom primitivu, na koji je probijena unutrašnja kontura.

Model proizvoda u bazi modelera može biti predstavljen na nekoliko načina, u zavisnosti konture (Sl.4.):

1. Jedna DLL povezana orijentiranim vektorima (vanjska kontura)
2. Dve DLL, povezane orijentiranim vektorima (vanjska i unutrašnja kontura koja može biti prohodni ili slepi otvor)
3. Tri DLL vezane orijentiranim vektorima (vanjska i dve unutrašnje konture kao slepi otvori).



Sl.4. Osnovni tipovi kontura

5. OSNOVNI ALGORITMI STRUKTURIRANJA PODATAKA U DLL-U

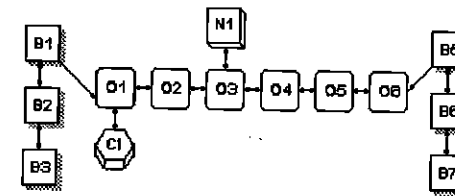
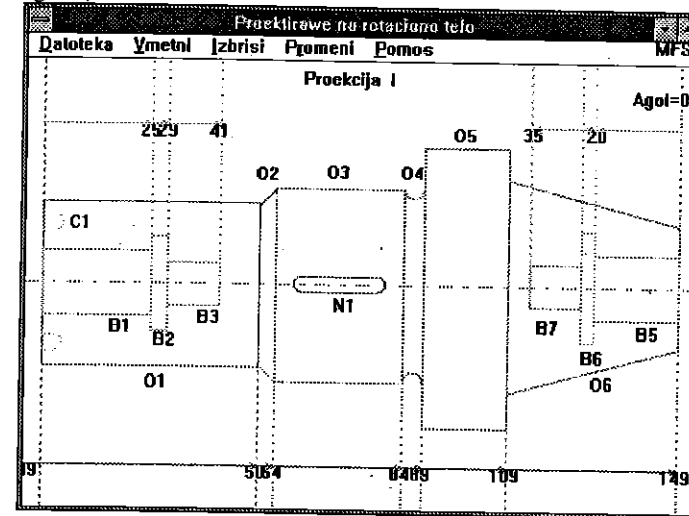
Pri modeliranju mašinskog dela, biraju se primitivi, pri čemu se puni dinamička baza podataka o mašinskom delu, ali pri tome potrebno je obezbediti korektnu poziciju svakom unesenom primitivu u DLL-u, odnosno obezbediti korektno sastavljanje među izabranim primitivima. U tom cilju, kreirane su procedure i algoritme za pretraživanje DLL-a i podređenje primitiva po grupi i tipa, odnosno obezbeđenje korektno strukture mašinskog rotacionog dela sa nerotacionim odstuljenja oblika.

Pri modeliranju izborom primitiva, druga važna aktivnost je ostvariti tačno sastavljanje između primitiva u DLL-u. Za ostvarenje ove mogućnosti kreiran je algoritam sastavljanja

primitiva prema strukturnih pravilima topologije rotacionih delova. Osnovni primitivi sastavljaju se međusobno, čeon i vanjski primitivi sastavljaju se sa osnovnim primitivima, a unutrašnji primitivi sastavljaju se međusobno i ugrađuju se na početni ili krajni osnovni primitiv u DLL-u.

Pomoću ovog algoritma, pri svaki novi unos primitiva u model, vrši se njegovo podređenje prema tipu i pretražuje se cela DLL, zbog njegovog unosa na korektnoj poziciji i prisojedinjenje sa pravim susednim primitivom.

Ova metodologija formiranja modela mašinskog dela, može biti predstavljena grafički pomoću grafa, kao na Sl.5.



Sl.5. Graf modela mašinskog dela

6. PROGRAMSKI MODUL PROJEKTOVANJA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA IZRADE ROTACIONIH DELOVA

Programski modul razrađen u istraživanju, odnosi se na projektovanje tehnološkog procesa izrade rotacionih delova sa nerotacionim odstupa oblika, bazira na generativni metod pri čemu modeliranje je omogućeno primenom algoritamskih metoda. Modul koji je razrađen, je na nivou projektovanja operacija i zahvata obrade, a omogućava:

- pripremu tehnološke liste, izborom i redosledom operacija
- određivanje načina stezanja radnog komada
- projektovanje operacije određivanjem redosleda zahvata i karakterističnih parametara svakog zahvata.

Kao ulaz u modul projektovanja tehnoloških procesa, koriste se:

- model mašinskog dela, preko dinamičke baze podataka
- tehnološka baza znanja i baza podataka o modelu tehnološkog procesa.

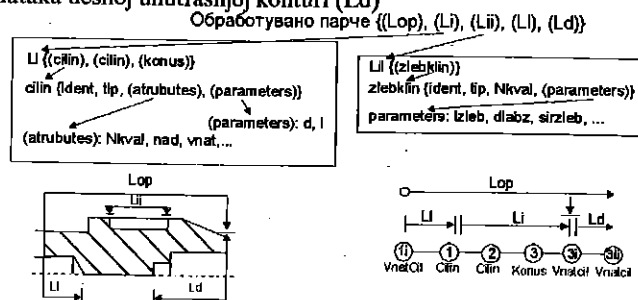
Model mašinskog dela je ulaz u modul i omogućava tehnološko prepoznavanje proizvoda zbog činjenice da su u njemu sadržane sve tehnološke i konstruktivne karakteristike dela.

Tehnološko znanje, kao osnova za projektovanje tehnoloških procesa, sastavljeno je od podataka koji su spektar raznovidnih znanja klasificiranih kao: tehnološka pravila i iskustvenog specifičnog tehnološkog znanja. U cilju sistematizovanja tehnološkog znanja zbog formiranja baze znanja, neophodno je sistematizovati znanje dobijeno od eksperata u oblasti projektovanja tehnoloških procesa.

U istraživanju urađene su bazične postavke o formiranju baze formalizovanih tehnoloških znanja, pri čemu su kreirane i postavene modularna produkciona pravila. Ova baza nije kompletna, ali izgradnjom njene osnove preostaje njeno punjenje novim znanjem koje će omogućiti potpunije projektovanje tehnoloških postupaka.

Kreirani programski modul omogućava transformaciju dinamičkog model obrađivanog dela u tehnološki model obrađivanog dela, primenom kreiranih produkcionih pravila tehnološke baze znanja. Predstavljanje tehnološkog modela rotacionog obrađivanog dela, šematski je prikazano na Sl.6, pri čemu tehnološki model je prikazan pomoću nekoliko zasebnih lista podataka:

- lista podataka o celokupnim obrađivanim delom (LOP)
- lista podataka o osnovne vanjske površine koje pripadaju primitivima prve grupe (Li)
- lista podataka o površinama koje pripadaju primitivima druge grupe, za koje su potrebne specijalne obrade (Lii)
- lista podataka levoj unutrašnjoj konturi (Ll)
- lista podataka desnoj unutrašnjoj konturi (Ld)



Sl.6. Tehnološki model namenjen projektovanju operacija i zafata

6. CONCLUSIONS

In the research is analysed the creating on the mechanical part, with the purpose - forming the system for automatically projecting in the process planing for rotational parts. The model is presented geometrically in two projections; by using product model information, it is made a methodology for the process planing, rules of the logic decisions and rules for using technological knowledge base.

REFERENCES:

1. V. Gecevska, V.Pavlovski: Developing procedure for modeling rotationaly mechanical parts with unrotationaling retreat of the form, The 13th ICPR, Jerusalem, Izrael, 1995, 47-50
2. V. Gecevska: Contribution to development of a automatical process planing systems for rotational parts, theses, Faculty of Mechanical Engenering, University "St Kiril i Metodij" jan.1995, Skopje, 119
3. Chang: Expert Process Planning for Manufacturing, AWPComp., 1992, 231

ABSTRACT: This paper present research in process planing and developing of CAPP-systems. The metod ia analysed and the softwre is made for presenting the model of mechanical part, where are integrated informations about geometry, topology and technology. By using product model information, it is making a methodology for the process planing, rules of logic decisions and rules for using technological knowlege base.



S. Jokanović

ALGORITAM ZA PRESLIKAVANJE IZ 2D PROSTORA PROJEKCIJE U 3D PROSTOR OBJEKTA

Rezime: Uređaji za izlaz-prikaz grafičkih informacija su 2D prirode. Slično je i sa ulaznim uređajima poput miša i grafičke table. Oni vraćaju x/y koordinate svoga položaja preslikanog u koordinatni sistem ekrana. U slučaju 3D grafike potrebni su nam i 3D ulazni podaci. Kako 2D podatke s ulaza prevesti u 3D prostor objekta? Jedno rješenje je dato u ovom radu. Obzirom da projekcijska transformacija nema svoju inverznu transformaciju pribjegli se fiksiranju z-koordinate tačaka objekta. U kombinaciji sa različitim koordinatnim sistemima omogućen je pristup svim tačkam modela.

1. UVOD

Problemom prikaza 3D objekata na 2D mediju bavi se nauka o projekcijama. U kompjuterskoj grafici baratamo sa istim problemom jer su i tu uređaji za prikaz ravanske prirode.

Projekcije dobijamo primjenjujući projektivne transformacije čiji je matematički model poznat i u literaturi dobro opisan. U slučaju matricne notacije definiše se relacijama poput:

$$P' = P \cdot T, \quad \text{gdje je:}$$

P i P' tačka i njena projekcija respektivno, a

T matrica transformacije.

U slučaju aksonometrijske projekcije na xy ravan matrica transformacije ima oblik:

$$T = \begin{bmatrix} a & d & 0 \\ b & e & 0 \\ c & f & 0 \end{bmatrix}$$

Očigledno je matrica T singularna odakle slijedi da projekciono preslikavanje nema jedinstvenu inverziju (tj. nije 1-1 preslikavanje). To je i intuitivno sasvim jasno jer se bezbroj tačaka objekta preslikava u jednu tačku projekcije. Šta uraditi?

Fiksiranje tačaka objekta je rješenje koje se nameće samo po sebi. Najpraktičnijim se pokazuje odabrati tačke iz XY ravni prostora objekta (fiksirati Z koordinatu na vrijednost 0). U tom slučaju svakoj tački objekta odgovara različita tačka projekcije i obratno. Drugim riječima, projekciono preslikavanje ima svoje inverzno.

Kada bi razmišljali samo o globalnom koordinatnom sistemu objekta (onom u kojem se opisuje interni geometrijski model) matrica projektivne transformacije bi se svela na jednostavan oblik:

$$P' = P \cdot T$$

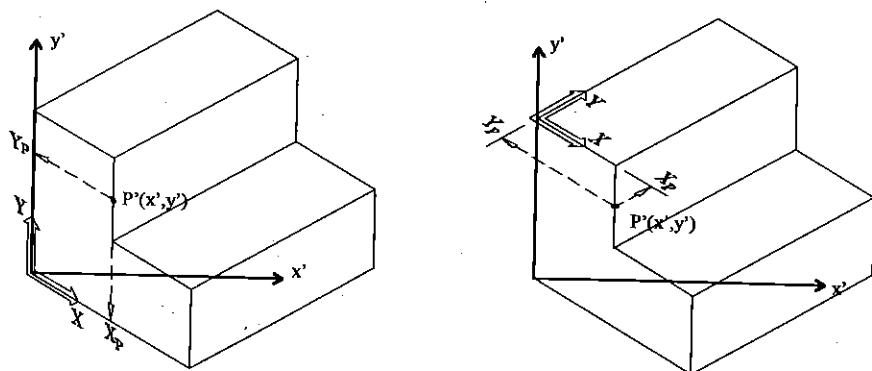
$$\begin{bmatrix} x' & y' & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a & d & 0 \\ b & e & 0 \\ c & f & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a & d \\ b & e \end{bmatrix},$$

pa bi smo tačku objekta dobili sa:

$$\begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a & d \\ b & e \end{bmatrix}^{-1}, \text{ i } z=0.$$

No poželjnije i praktičnije je obezbediti mogućnost da korisnik grafičkog paketa barata sa tačkama tekućeg, po volji odabranog, koordinatnog sistema. U ovom slučaju problem se komplikuje jer nemožemo fiksirati ni jednu koordinatu modela. Kada bi lokalni koo. sistem bio uravnat sa globalnim mogli bi smo odabrati tačke fiksiranjem jedne od koordinata (npr. $Y = \text{const.}$ na sl. 1.). Ali, tekući koo. sistem je često u opštem položaju prema globalnom pa takav postupak nije moguć. Sve u svemu problem je dosta složen, ali je u postojećim CAD/CAM sistemima, naravno, riješen. U narednom poglavlju dajemo jedno potpuno samostalno rješenje sa prevashodnim ciljem da se doprinese popunjavanju znanja iz ove atraktivne discipline.

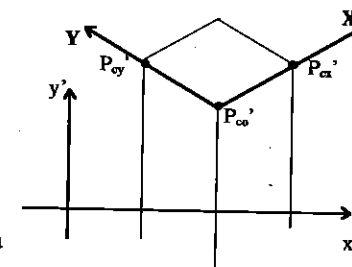


Slika 1: Ista tačka projekcije u različitim koordinatnim sistemima ima različito značenje
a) globalni i
b) lokalni koo. sistem

2. ALGORITAM

1. U tekućem koordinatnom sistemu odaberemo sledeće diskretne tačke (slika 2.):

$$\begin{aligned} P_{cx}(1,0,0), \\ P_{cy}(0,1,0) \text{ i} \\ P_{co}(0,0,0). \end{aligned}$$



Slika 2: Projekcije diskretnih tačaka tekućeg koo. sistema

2. Transformišemo ove tačke u globalni koo. sist:

$$\begin{aligned} P_{gx} &= P_{cx} \cdot (*CURCOOSYS \rightarrow xform); \\ P_{gy} &= P_{cy} \cdot (*CURCOOSYS \rightarrow xform); \\ P_{go} &= P_{co} \cdot (*CURCOOSYS \rightarrow xform); \end{aligned}^1$$

3. Izvedemo projektovanje dobijenih tačaka modela u prostor tekuće projekcije:

$$\begin{aligned} P'_{gx} &= P_{gx} \cdot (*CURVIEW \rightarrow xform); \\ P'_{gy} &= P_{gy} \cdot (*CURVIEW \rightarrow xform); \\ P'_{go} &= P_{go} \cdot (*CURVIEW \rightarrow xform); \end{aligned}^2$$

Koristeći ove tri tačke možemo otkriti kako se u ravni projekcije prikazuje tekući koordinatni sistem odnosno njegovi jedinični vektori: i i j (i_c' i j_c' na slici 3):

$$\begin{aligned} i_c' &= P'_{cx} - P'_{co} \\ j_c' &= P'_{cy} - P'_{co} \end{aligned}^3$$

Ovi vektori, pod uslovom da su nekolinearni obrazuju novi bazis vektorskog prostora u ravni projekcije⁴. Ključ algoritma je transformacija tačaka projekcije u ovaj novi bazis. Sa (i_{cx}' , i_{cy}') i (j_{cx}' , j_{cy}') obilježićemo komponente vektora novog bazisa u starom (polaznom) bazisu: (i_p , j_p). Te su vrijednosti poznate, izračunate prema (1). Matrica:

$$A = \begin{bmatrix} i_{cx}' & i_{cy}' \\ j_{cx}' & j_{cy}' \end{bmatrix}$$

¹ CURCOOSYS \rightarrow xform je u programu matrica transformacije tekućeg koo. sistema. Koordinatni sistem se opisuje transformacijom koja ga prevodi u globalni (vidi [7]).

² CURVIEW \rightarrow xform je u programu matrica transformacije tekuće projekcije (vidi [7]).

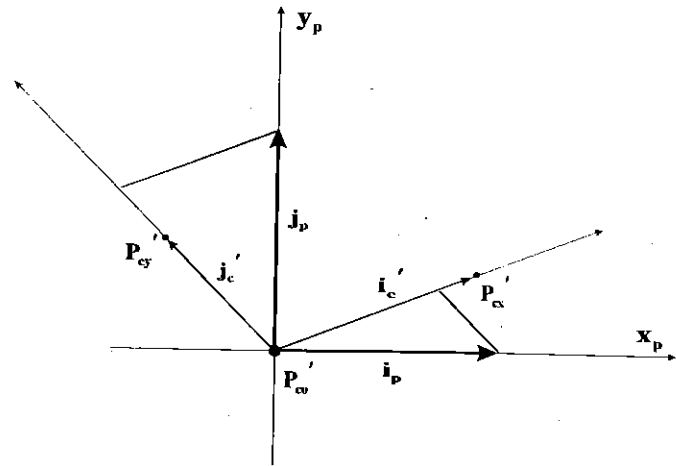
³ Masna slova označavaju vektorske i matrice veličine.

⁴ Svaki se vektor iz ravni projekcije može izraziti kao linearna kombinacija ova dva. Prema tome ta dva vektora čine bazu.

se prema [1], str. 232, naziva matricom prelaska sa starog na novi bazis. I nove koordinate vektora (tačka) izražavaju se preko starih relacijom:

$$\mathbf{X}' = \mathbf{X} \cdot \mathbf{A}^{-1}$$

Time bi algoritam bio završen, no radi lakšeg razumijevanja, daćemo ga koristeći se elementarnim vektorskim računom.



Slika 3: Projekcija tekućeg koordinatnog sistema

Formirajmo, prema slici 3, sledeće vektorske jednačine:

$$(1) \quad \begin{aligned} \mathbf{i}_p &= \alpha_1 \cdot \mathbf{i}_c + \beta_1 \cdot \mathbf{j}_c \\ \mathbf{j}_p &= \alpha_2 \cdot \mathbf{i}_c + \beta_2 \cdot \mathbf{j}_c \end{aligned}$$

$$\mathbf{i}_p = \alpha_1 \cdot (\mathbf{i}_c \mathbf{i}_p + \mathbf{i}_{cy} \mathbf{j}_p) + \beta_1 \cdot (\mathbf{j}_c \mathbf{i}_p + \mathbf{j}_{cy} \mathbf{j}_c)$$

$$\mathbf{j}_p = \alpha_2 \cdot (\mathbf{i}_c \mathbf{i}_p + \mathbf{i}_{cy} \mathbf{j}_p) + \beta_2 \cdot (\mathbf{j}_c \mathbf{i}_p + \mathbf{j}_{cy} \mathbf{j}_c)$$

Is svake vektorske dobijamo po dvije algebarske jednačine:

$$\begin{aligned} 1 &= \alpha_1 \cdot \mathbf{i}_{cx} + \beta_1 \cdot \mathbf{j}_{cx} & 0 &= \alpha_2 \cdot \mathbf{i}_{cx} + \beta_2 \cdot \mathbf{j}_{cx} \\ 0 &= \alpha_1 \cdot \mathbf{i}_{cy} + \beta_1 \cdot \mathbf{j}_{cy} & 1 &= \alpha_2 \cdot \mathbf{i}_{cy} + \beta_2 \cdot \mathbf{j}_{cy} \end{aligned} \quad \text{i}$$

Rješavanjem gornjeg sistema jednačina dobijamo:

$$\alpha_1 = \frac{j_{cy}}{D}, \quad \beta_1 = \frac{-i_{cy}}{D}, \quad \alpha_2 = \frac{-j_{cx}}{D}, \quad \alpha_1 = \frac{i_{cx}}{D}, \quad \text{gdje je: } \mathbf{D} = \begin{vmatrix} i_{cx} & j_{cx} \\ i_{cy} & j_{cy} \end{vmatrix}$$

Faktori $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2$ i β_2 predstavljaju elemente matrice transformacije koordinata pri promjeni bazisa. Ta matrica prevodi tačku projekcione ravni (x_p, y_p) u tačku xy ravni tekućeg koordinatnog sistema (x_c, y_c) . Do njenog oblika dolazimo na jednostavan način, posmatrajući transformaciju jediničnih vektora polaznog bazisa $(\mathbf{i}_p, \mathbf{j}_p)$:
Prema (1) možemo pisati:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{i}_p \\ \mathbf{j}_p \end{bmatrix} \cdot \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{bmatrix}, \quad \text{razvijemo li vektore } \mathbf{i}_p \text{ i } \mathbf{j}_p \text{ u komponente dobijamo:}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{bmatrix}, \quad \text{odnosno: } \mathbf{E} \cdot \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{bmatrix}, \quad \text{i na kraju } \mathbf{T} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 \end{bmatrix}.$$

Lako se pokazuje da je: $\mathbf{T} = \mathbf{A}^{-1}$

3. PROGRAMSKI KOD

Slijedi fragment originalnog programskog koda razvijenog pri implementaciji algoritma. Procedura `SetView_CurXYMap()` kreira matricu \mathbf{T} , koja je u programu dobila naziv `MAPVIEWCURXY`. Ona se poziva kad god se izmijeni tekući koordinatni sistem ili tekuća projekcija. Čuva se kao globalna promjenjiva kako bi bila dostupna ostalim rutinama i funkcijama programa. Dodatna objašnjenja nisu potrebna jer su imena varijabli u programu skoro identična korespondentnim imenima u algoritmu pa ih je lako povezati.

```
int SetView_CurXYMap(void)
{
    vektor Po, Px, Py;
    Po[3]=Px[0]=Px[3]=Py[1]=Py[3]=1;
    matrica map = (*CURCOOSYS->xform) * (*CURVIEW->xform);
    Po=Po*map;
    Px=Px*map;
    Py=Py*map;
    double icx=Px[0]-Po[0];
    double icy=Px[1]-Po[1];
    double jcx=Py[0]-Po[0];
    double jcy=Py[1]-Po[1];
    double ds = ix*jy - iy*jx;
    if (ds==0) { MessageBox(hwnd2, "Konstr. ravan okomita na
        projekcionu.", "Greska", IDOK);
        return 0;
    }
    double a1 = jcy/ds;
    double b1 = -icy/ds;
    double a2 = -jcx/ds;
    double b2 = icx/ds;
    MAPVIEWCURXY[0][0] = a1;
    MAPVIEWCURXY[0][1] = b1;
```

```

MAPVIEWCURXY[1][0] = a2;
MAPVIEWCURXY[1][1] = b2;
MAPVIEWCURXY[2][2] = 1;
MAPVIEWCURXY[3][3] = 1;
return 1;
}

```

Funkcija `GetMousePointXY`(`POINT p`) za dati položaj miša (`POINT p`) vraća tačku u `XY` ravni tekućeg koo. sistema. U prvih 5 linija računava se položaj tekuće projekcije na ekranu (jer miš vraća koordinate ekrana), mjerilo projekcije i faktor skaliranja između prostora objekta i normalizovanog prostora prikaza (`sd_n`). Suština rutine je linija: $P = P * MAPVIEWCURXY$; kroz koju se izvodi preslikavanje.

vektor `GetMousePointXY`(`POINT p`)

```

{
vektor P;
P[0] = (p.x - CURVIEW->vieworg.x);
P[1] = (p.y - CURVIEW->vieworg.y);
P[2] = 0;
P[3] = 1;
P = P*(1/( *CURVIEW->scale));
P = P*MAPVIEWCURXY;
return P;
}

```

Funkcija `GetMousePointMDL`(`POINT p`, vektor& `P`) jednostavno dobijenu vrijednost prevodi u globalni koordinatni sistem modela.

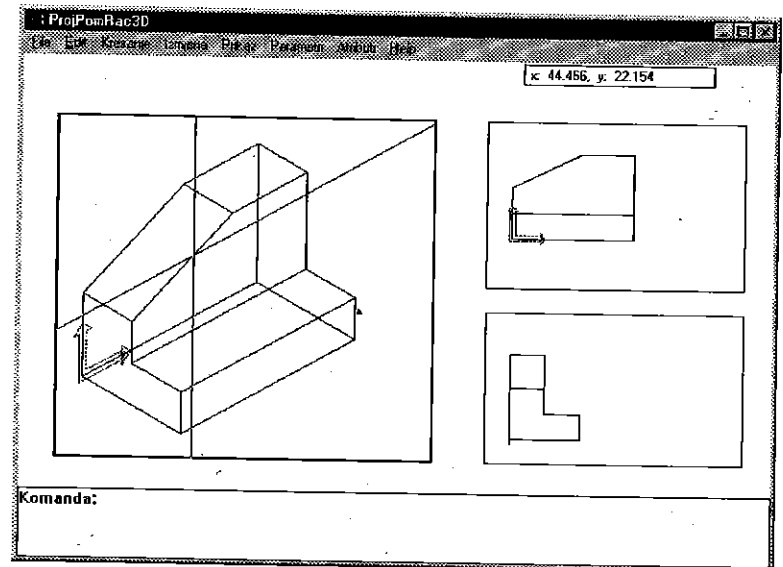
`int GetMousePointMDL`(`POINT p`, vektor& `P`)

```

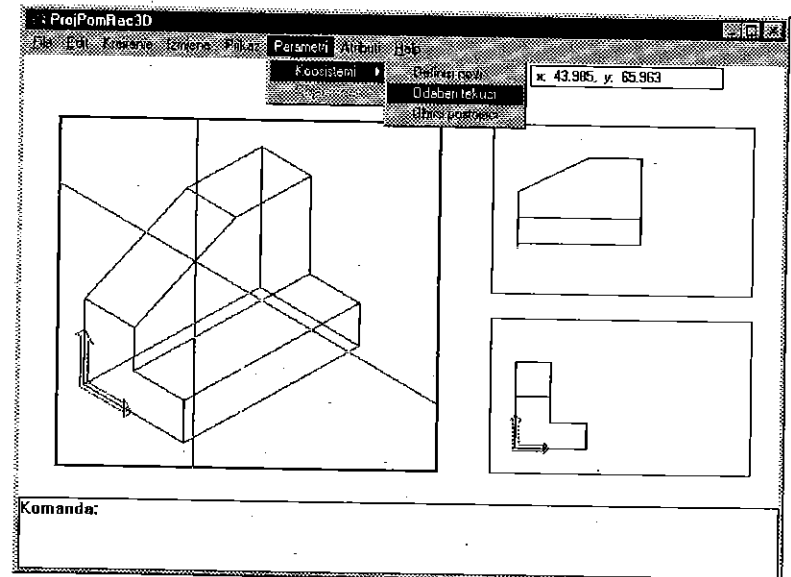
{
P = GetMousePointXY(p);
P = P*( *CURCOOSYS->xform);
return 1;
}

```

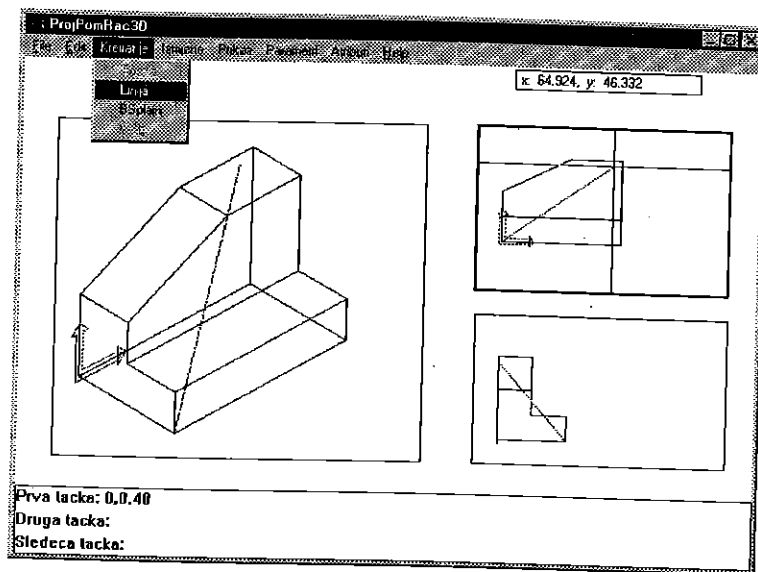
Na kraju, u cilju ilustracije rezultata dajemo par originalnih slika snimljenih u toku rada sa paketom. Slika 4 pokazuje kako se u različitim koordinatnim sistemima pri istom položaju lokator (miša) dobija različita tačka 3D modela. A pri kreiranju linije na slici 5 prva tačka je unesena sa tastature, a druga mišem. Vidi se kako miš vraća tačku u `XY` ravan.



Slika 4a:
Jedan položaj
miša-jedan
koord. sistem.



Slika 4b: Isti
položaj
lokatora (miša)
- drugi koo.
sistem.



Slika 5:
Kombinovanje
tastature i miša
na ulazu.

4. ZAKLJUČAK

Razvijeni algoritam omogućuje ulaz 3D podataka pomoću 2D uređaja poput miša ili elektronske grafičke table. Doduše, postoji ograničenje u smislu da se u jednom trenutku mogu birati samo tačke iz, na neki način fiksiranog, podskupa 3D tačaka. Međutim, kombinujući pojedinu projekciju sa različitim koordinatnim sistemima omogućen je pristup kompletnom 3D modelu. Algoritam se intenzivno koristi u interaktivnoj kompjuterskoj grafici, specijalno u aplikacijama trodimenzionalnog geometrijskog modeliranja.

5. LITERATURA

1. Ušćumlić, M. P., Milčić, P. M., *Uvod u višu matematiku*, PFV, Beograd, 1980.
2. Harrington, S., *Computer Graphics*, McGrawHill, 1987.
3. Domazet, D., *Programiranje računarske grafike pomoću GKS sistema*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
4. Plastock, R. A., Kalley, G., *Theory and Problems of Computer Graphics*, McGrawHill, 1986.
5. Murray, W. H., Pappas, C. H., *Windows Programming*, McGrawHill, 1990.
6. *Kompjuterska grafika u inženjstvu*, JUPITER SYSTEM, Mašinski fakultet Beograd, 1980.
7. Jokanović, S., *Koncept 3D grafičkog paketa za PC WINDOWS*, JUPITER SYSTEM, Mašinski fakultet Beograd, 1996.

Abstract: Similar to graphics output devices, graphics input devices are devices with 2D features too. They return x/y coordinates of their position mapped to screen space. While working with 3D computer graphics we need 3D data on input also. How to convert 2D data from these input devices into 3D object space? A solution is given in this work paper. Since projective transformations haven't got their own inverse one we decided to fix z-coordinate of object points. Combining that idea with different coordinate systems it is possible to reach any object point.

mr Vid Jovišević

PRIKAZ AUTOMATIZOVANOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA NUMERIČKE MAŠINE UZ PODRŠKU PC RAČUNARA

Rezime

U radu je prikazan osnovni koncept jednog automatizovanog sistema za projektovanje tehnoloških procesa u proizvodnji alatnih mašina za obradu metala deformacijom. Uvođenjem u primjenu ovog sistema došlo je do povećanja produktivnosti i sigurnosti kod programiranja numeričkih mašina.

Ključne riječi: tehnološki proces, projektovanje, numeričke mašine, PC računari

1. UVOD

Uvođenje numerički upravljanih alatnih mašina u proizvodni pogon zahtjeva velike promjene u pogledu projektovanja tehnoloških procesa.

U tom smislu postignuti su odgovarajući rezultati u razvoju tehnike, metoda i postupaka koji su doprinjeli efikasnijem korišćenju ovih mašina u proizvodnji. Od posebnog značaja su razvijene metode programiranja numeričkih mašina.

Obzirom na visoku cijenu ovih mašina posebno se nameće potreba većeg stepena korišćenja i što bržeg dobijanja optimalnog rješenja obrade što je doprinjelo da se pored ručnog razvije i automatizovano (kompjutersko - mašinsko) programiranje ovakvih mašina. Zahvaljujući razvoju upravljačkih jedinica numeričkih mašina došlo je do značajnog pojednostavljenja ručnog programiranja kao i usavršavanja automatizovanog programiranja.

Kod ručnog programiranja cjelokupnu aktivnost u realizaciji pojedinih faza projektovanja tehnoloških procesa vrši čovjek - tehnolog ili kvalifikovani izvršilac za mašinom.

Na ovaj način projektovani tehnološki postupak i odgovarajući upravljački program za mašinu predstavlja subjektivno rješenje do kojeg se dolazi kroz dosta dug i spor proces.

Razvojem upravljačkih jedinica numeričkih mašina došlo je do primjene pogonskog programiranja koji uslovljava povećano učešće kvalifikovanog osoblja u pogonu.

Ručno projektovanje tehnološkog procesa je prihvatljivo u uslovima postojanja jedne ili nekoliko numeričkih mašina u pogonu [1]. Postojanje većeg broja numeričkih mašina zahtjeva efikasnije i bolje postupke i metode projektovanja tehnoloških procesa za ovakve mašine.

Razvojem metoda automatizovanog projektovanja tehnoloških procesa odnosno metoda projektovanja primjenom elektronskog računara stvoreni su uslovi za brže i ekonomičnije projektovanje tehnoloških procesa i upravljačkih programa za numeričke mašine.

U konkretnim uslovima proizvodnog sistema nakon višegodišnje primjene ručnog programiranja izvršen je izbor automatizovanog sistema za projektovanje tehnoloških procesa čime je omogućena izrada upravljačkog programa za numeričke mašine uz podršku računara.

Sistem se nalazi u radnoj primjeni. Po mišljenju autora ovog rada, predstavlja veoma interesantno i jedinstveno sistemsko rješenje ove namjene na personalnim računarima.

2. IZBOR AUTOMATIZOVANOG SISTEMA

Nakon višegodišnje primjene ručnog programiranja u konkretnim uslovima proizvodnog sistema izvršena je tehnološka sistem analiza u cilju podizanja nivoa projektovanja tehnoloških procesa [2].

Istraživanje je zasnovano na:

- analizi projektovanja tehnoloških procesa u konkretnim uslovima proizvodnje mašina za obradu metala deformacijom,
- analizi obradnih sistema instaliranih u proizvodnji,
- analizi proizvodnog programa sa stanovišta učesća pojedinih klasa dijelova u operacija obrade u proizvodnom asortimanu i
- dostignutom stepenu razvoja projektovanja tehnoloških procesa kod nas i u svijetu.

Na osnovu navedenih istraživanja formirani su zahtjevi za razvoj projektovanja tehnoloških procesa gdje se između ostalog posebno ističe potreba za uvođenje automatizacije u proces projektovanja tehnoloških procesa za konvencionalne i numeričke mašine.

Projektovani programski zadaci koji su iskazani preko konkretnih zahtjeva za razvoj uglavnom nisu ostvareni zbog nedostatka materijalnih sredstava i neusklađenosti drugih razvojnih pravaca u sistemu.

U traženju mogućnosti za automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa za numeričke mašine gdje su zahtjevi bili veoma izraženi zbog povećanja broja numeričkih mašina u pogonu opredjelili smo se za korišćenje personalnih računara zbog sledećih razloga:

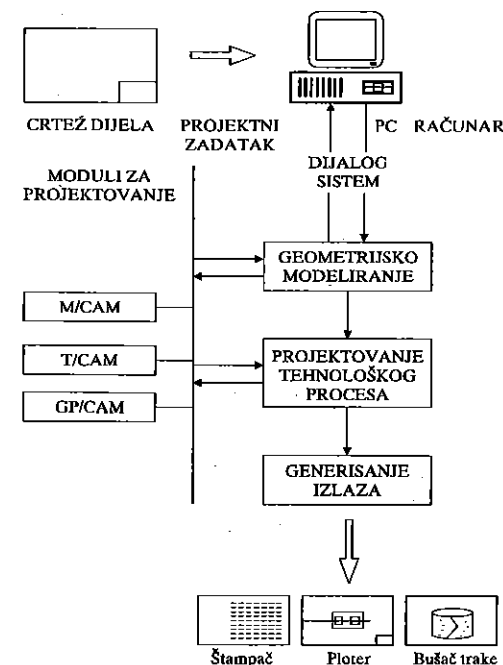
- niska cijena koštanja
- jednostavnost korišćenja
- mali broj otkaza
- jednostavno i jeftino održavanje

Poseban razlog za opredjeljenje može se istaći postojanje u to vrijeme razvijenih modula za projektovanje, prilagođenih personalnim računarima koji će detaljnije biti prikazani u ovom radu.

3. PRIKAZ SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

Strukturu ovog programskog sistema (slika 1.) čine tri segmenta:

- geometrijsko modeliranje
- projektovanje tehnoloških procesa i
- generisanje izlaza



Slika 1. Struktura sistema za projektovanje tehnoloških procesa

Segment za geometrijsko modeliranje dijelova u kome se nalaze funkcije za crtanje tačaka, linija i lukova omogućuje generisanje geometrijskih modela dijelova, koji predstavljaju osnovu za rad segmenta za projektovanje tehnoloških procesa. Sa crteža projektant unosi u sistem u interaktivnom radu pomoću funkcija za crtanje elementarne oblike dijela, površine i konture za obradu, koje su potrebne pri projektovanju tehnoloških procesa.

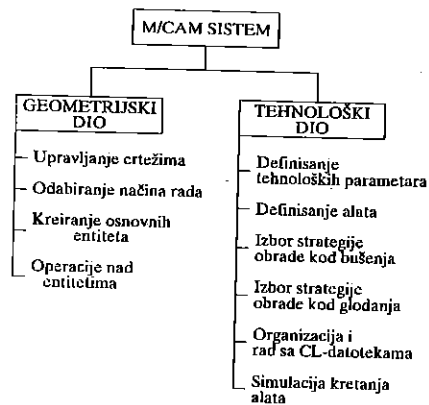
Segment za projektovanje tehnoloških procesa sadrži funkcije za definisanje tehnološkog procesa i to:

- obrade na glodalicama, obradnim centrima i koordinatnim bušilicama -M/CAM
- obrade na strugovima - T/CAM
- definisanje potrebnih alata
- definisanje tehnoloških parametara obrade i
- funkcije za simulaciju kretanja alata

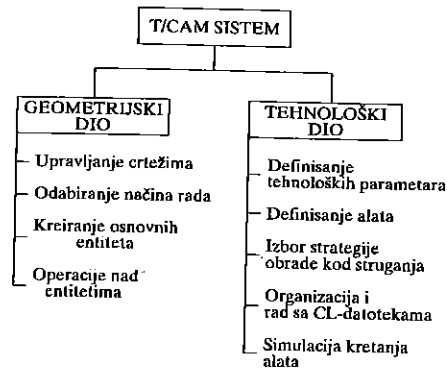
Na zahtjev projektanta segment za generisanje izlaza aktivira odgovarajuće postprocesore za numeričke mašine i generiše NC program obrade.

Da bi sistem bio prihvatljiv na PC računarima i dostupan korisnicima prema specifičnoj namjeni razvijen je prema vrstama obrada na mašinama i to:

- M/CAM sistem namenjen za automatizovano projektovanje tehnologije za numeričke glodalice, koordinatne bušilice i obradne centre (slika 2.) i
- T/CAM sistem namenjen za automatizovano projektovanje tehnologije za numeričke strugove (slika 3.).

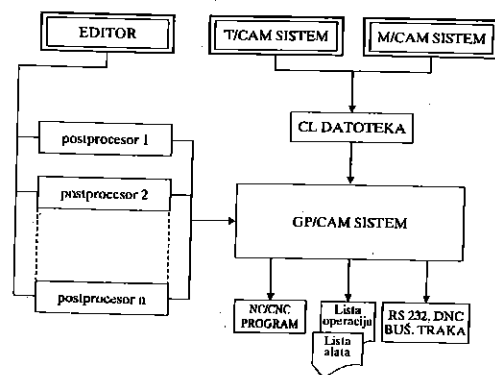


Slika 2. Struktura funkcija M/CAM sistema



Slika 3. Struktura funkcija T/CAM sistema

Za poveziavanje sistema M/T/CAM i numeričkih mašina razvijen je opšti postprocesorski sistem GP/CAM (slika 4.). Ovaj sistem omogućuje korisnicima da jednostavno i brzo mogu izgraditi postprocesor za konkretnu numeričku mašinu na bazi opisa numeričke mašine i upravljačke jedinice koristeći opšte programske funkcije GP/CAM.



Slika 4. Okruženje GP/CAM sistema

Opis u GP/CAM jeziku numeričke mašine i upravljačke jedinice (postprocesor) odvija se van sistema u bilo kojem editorskom programu koji ima mogućnost pohranjivanja podataka u ASCII formatu.

Osnovna namjena GP/CAM sistema je da omogući efikasno prevođenje CL datoteke na jezik upravljačke jedinice numeričke mašine i tako prilagodi opšte rješenje obrade na određenu numeričku mašinu.

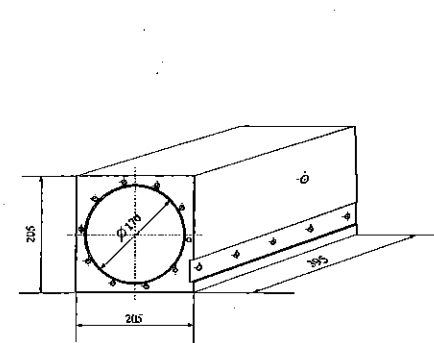
4. PRIMJENA SISTEMA U PRAKSI

Prikazani programski sistemi nalaze se u primjeni preko osam godina. Instalirani su na personalnom računaru baziranom na INTEL 80 386 mikroprocesoru i MS DOS operativnom sistemu. Programi su izrađeni u TURBO PASCAL V5.0 programskom jeziku.

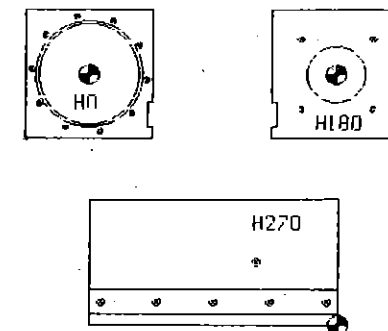
Primjenom navedenih programskih sistema znatno je povećana produktivnost i sigurnost kod projektovanja tehnoloških procesa za numeričke mašine.

4.1. Primjer primjene

Opis procesa rada automatizovanih sistema na PC računaru prikazaće se na primjeru projektovanja tehnološkog procesa za hidraulični cilindar prese - ident 721 505 (slika 5.).



Slika 5. Hidraulični cilindar - 721505



Slika 6. Prikaz konture hidrauličnog cilindra u I stezanju korišćenjem geometrijskih funkcija M/CAM sistema

Izabrana je operacija koja obuhvata zahvate: zabušivanje, bušenje i urezivanje navoja a izvodi se na jendopaletnom horizontalnom obradnom centru - OC90HR sa upravljačkom jedinicom SINUMERIK -3M.

Operacija zahtjeva primjene M/CAM sistema koji je razvijen za obrade na glodalicama, obradnim centrima i koordinatnim bušilicama. Aktiviranjem grafičkog dijela M/CAM sistema gdje se nalaze funkcije za crtanje tačaka linija i lukova kreira se crtež obradka sa osnovnim konturama za obradu (slika 6.)

Rad sa programom je potpuno interaktivan. Korišćenjem posebne funkcije moguće je u svakom trenutku provjeriti koordinate bilo kojeg nacrtanog elementa.

Nakon nacrtanog crteža izradka pristupa se pripremanju i samoj izradi programa za numeričku mašinu. Aktivira se tehnološki dio sistema gdje se nalaze funkcije za definisanje tehnološkog procesa.

Na samom početku definišu se parametri obrade i alati a zatim se prelazi na generisanje putanje alata i simulaciju obrade. Primjer liste alata (slika 7.) može se izlistati na zahtjev.

Jelsingrad Banja Luka		PLAN ALATA I2		Obradni centar OC 90HR	
Proizvod	Naziv pozicije	Ident	Ime	Datum	
PFT 135	CILINDAR	721505	Sandic V.	17:05:1990	
Alat	Naziv alata		Dozina (D)	Polupr. (P)	
T1	Zabrusivac 4				
T2	Spiralna burgija 6,8 (1min = 30mm)				
T3	Spiralna burgija 10,2 (1min = 40mm)				
T4	Spiralna burgija 12 (1min = 100mm)				
T5	Spiralna burgija 8,5 (1min = 30mm)				
T6	Ureznik M6				
T7	Ureznik M12				
T8	Ureznik M10				
T9	Spiralna burgija 13,75 (1min = 40mm)				
T10	Spiralna burgija 18,6 (1min = 90mm)				
T11	Spiralna burgija 2R (1min = 90mm)				
T12	Konusni upustac d > 20				
T13	Ureznik R1/2"				
T14	Ureznik M16				

Slika 7. Lista alata

Nakon provjere putanje alata formira se CL datoteka na kojoj se nalaze put alata i tehnološki podaci za zadanu obradu u obliku numerički kodiranih podataka.

Ukoliko izračunato vrijeme ne odgovara (vrijeme se pojavljuje na ekranu) a neki od parametara prema tehnološkim kriterijumima dozvoljavaju izmjene, da bi se skratilo vrijeme zahvata i cijele obrade, može se izvršiti ponovno definisanje obrade a predhodno definisani zahvat naknadno izbrisati.

Postupak postprocesiranja CL datoteke za određenu numeričku mašinu u GP/CAM sistemu je sledeći:

- aktiviranje GP/CAM sistema
- poziv datoteke sa opisom upravljačke jedinice i numeričke mašine
- poziv CL datoteke na kojoj se nalaze put alata i tehnološki podaci za zadanu obradu
- unošenje tehnoloških podataka za operacionu listu
- aktiviranjem određene funkcije sistem vrši postprocesiranje
- pomoću funkcija se dalje prevedni NC program memoriše radi čuvanja, šalje na vanjske medije ili se vrši ispis preko štampača (slika 8.)
- štampanje operacione liste (slika 9.)

Simmerik 3M POSTPROCESSOR
for machining center OC 90 HR

OPERATION AND TOOL LIST

Company :		"JESLINGRAD" BANJA LUKA									
Programmer :	Sandic V.	Date :	30. (Saturday) 3. 1990.								
Machine :	OC 90HR	Control :	SINUMERIK 3 d								
Part name :	Hidraulični cilindar	Material :	C. 044								
Part ident :	721505	Prog. no. :	1-1								
Chuck :		Universalni pilonon									
TECHNOLOGY DATA											
NO	OPERATION	X	Z	D	T	TOOL	DATA	Di	Length	Gage	G
1.	Zabrusivanje	30	680	0,2	1,5	2	T1	251 300	#14		
2.	Bucenje	25	1100	0,12	3,5	2	T2	251 317	#6,7		
3.	Ureznisanje nastavka	12	100	1	2,0	2	T3	251 450	M8		
4.	Zabrusivanje	30	600	0,2	0,5	2	T4	251 305	#16		
5.	Bucenje	25	950	0,1	1,9	2	T5	251 319	#8,4		
6.	Ureznisanje nastavka	10	500	0,125	1	2	T6	251 456	M10		
TIME		Turn time:		10,40		Prepar. time:		TOTAL:			

Slika 8. Operaciona lista

I21 (721505 CILINDAR LIJEVI I DESNI PRVO STEZANJE)
N5 L906 T1
M11 H0
N10 G54 G0 X37.62 Y-84.5 M03 S1500 F200 T2
D1 Z2
M7
G82 R02.2 R03.4
X80.107 Y-46.25
X91.99 Y9.668
X68.74 Y61.894
X19.23 Y90.478
X-37.62 Y84.5
X-80.107 Y46.25
X-91.99 Y-9.668
X-68.74 Y-61.89
X-19.23 Y-90.47
G80 Z100
M11 H180
G56 G0 X56.568 Y-56.568
Z2
G81 R02.2 R03.4
Y56.568
Y-56.568
Y-56.568
G80 Z100
G0 X300
L906 T2
N20 G56 G0 X56.568 Y-56.568 M03 S875 F130 T3

Slika 9. Program za NU mašinu

5. ZAKLJUČAK

U odnosu na ručno programiranje znatno je povećana brzina, jednostavnost i sigurnost u radu. Programi ne zahtevaju znanje programiranja a namjenjeni su tehnološima iz područja obrade metala rezanjem. U koncepciji sistem podržava CAD/CAM pristup koji je uglavnom više prisutan na velikim računarima, međutim ova verzija na malim računarima je veoma jednostavna za primjenu a omogućuje automatizovano projektovanje programa za numeričke mašine.

6. LITERATURA:

- [1] Jovišević, V., Janić, P.: Razvoj primjen NU - sistema i NU - tehnologije u konkretnim uslovima, I Simpozijum NU - tehnike i tehnologije, Podgorica, 1983.
- [2] Jovišević, V., Janić, P.: Koncept razvoja projektovanja tehnoloških procesa u proizvodnji alatnih mašina XIII Simpozijum upravljanje proizvodnjom u industriji metala, Beograd, 1983.
- [3] Edicija ROR, Uputstvo za rad TRY ME verzije M/CAM, T/CAM i GP/CAM sistema Naprijed - Zagreb, 1989.

SUREVEY OF THE PC COMPUTER AIDED AUTOMATED SYSTEM FOR DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR NUMERICAL MACHINES

Summary:

This paper treated the main concept of one automated system for designing of technological processes in manufacturing of machine tools for deformation working of material. Application of this system is followed by increase of productivity and security in programming of numerical machines.



Jovišević, V. Stanić, J., Todić, V., *

INTEGRACIJA EKSPERTNOG SISTEMA I MODELA OPTIMIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADE

Rezime

U radu je prikazana struktura modela optimizacije tehnoloških procesa obrade koja je zasnovana na integraciji postojećih razvijenih sistema tehnoeekonomske optimizacije tehnoloških procesa obrade i ekspertnih sistema. Struktura modela podrazumjeva da tehnolog već rješava zadatke u nekom formalnom sistemu koji se mogu predstaviti poznatim algoritamskim rješenjima a postoji potreba rješavanja teško formalizovanih faza projektovanja. Model optimizacije projektovanja tehnoloških procesa obrade koji je predstavljen u ovom radu ukazuje da je ekspertni sistem veoma interesantna alternativa koja dopunjuje postojeći sistem optimizacije i pomaže tehnologu rješanje problema automatizacije i optimizacije faza koje se teško mogu formalizovati.

Ključne riječi: ekspertni sistemi, optimizacija, tehnološki procesi.

1. UVOD

Projektovanje najpovoljnijeg tehnološkog procesa obrade u opštem slučaju je vrlo složen zadatak jer se tehnološki procesi obrade karakterišu mnogostrukom varijantnošću rješenja u svim ili pojedinim fazama [1].

U procesu svoga rada tehnolog rješava zadatke koji se mogu u nekom formalnom sistemu predstaviti algoritamskim rješenjima i zadatke koji se ne mogu predstaviti nijednim algoritamskim formalnim sistemom.

Za rješavanje prvog tipa zadataka razvijene su metode optimizacije tehnoloških procesa obrade [1,2] koje baziraju na određivanju vrijednosti funkcija troškova obrade za pojedine operacije. Određivanje optimalnih vrijednosti ovih funkcija u oblasti mogućih rješenja određuju se primjenom neke od metoda numeričke matematike [3].

Drugi tip zadataka tehnologa nije moguće algoritamski predstaviti pa se rješavaju metodom obuhvata procedura koje odgovaraju dejstvu tehnologa, imitirajući njegov rad. Rješenja ovog tipa zadataka zasnivaju se na mogućnostima ekspert sistema.

* Jovišević mr Vid, predavač, Mašinski fakultet, Vojvode Stepe 75, 78000 Banja Luka
Stanić dr Joko, redovni profesor, Mašinski fakultet, 27. marta 80, 11000 Beograd

Todić dr Velimir, vanredni profesor, Institut za proizvodno mašinstvo, Velimira Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad

Razvijen je veliki broj analitičkih modela optimizacije tehnoloških procesa obrade koji se nalaze u primjeni. U osnovi strukturu ovih modela čine funkcije stanja i ograničenja procesa, kriterijumi optimizacije i funkcije optimizacije.

Kao rezultat optimizacije na osnovu navedenih analitičkih modela određuju se optimalne vrijednosti troškova i vremena za pojedine operacije. Izbor optimalnog tehnološkog procesa tehnolog vrši na osnovu uporedne analize troškova i vremena obrade alternativnih operacija.

Stepen efikasnosti ovih sistema može se povećati integracijom sa nekim od sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa ili sa ekspertnim sistemom.

Obzirom da se od svih definisanih faza projektovanja tehnoloških procesa samo četiri mogu potpuno formalizovati [4], hibridna arhitektura sistema optimizacije tehnoloških procesa i ekspertnih sistema čini se opravdanom. Na ovaj način u projektovanju i optimizaciji tehnoloških procesa koristili bi mogućnost analitičkih sistema optimizacije i ekspertni sistem na bazi ugrađene ekspertnosti za faze projektovanja koje nije moguće formalizovati.

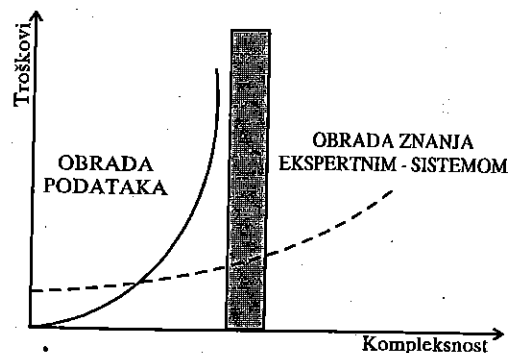
2. EKSPERTNI SISTEMI

Ekspertni sistem se može definisati kao sistem računara koji može rješavati probleme korišćenjem ljudske vještine i znanja okruženja sistema [5]. Ostale definicije ekspertnog sistema mogu se naći u [4] i [6].

Upotreba ekspertnog sistema je neophodna tamo gdje u jednom ograničenom dijelu oblasti ne postoje algoritamska rješenja i ne postoje potpuno definisana teoretska rješenja.

Za rješavanje ovih problema sa stanovišta primjene računara razvijene su tehnike u okviru vještačke inteligencije odnosno ekspertnih sistema.

Razlog pojave ovih sistema (slika 1.) je uvođenje pojma obrade znanja što predstavlja osnovu za funkcionisanje ekspertnih sistema [7].



Slika 1. Prevažilaženje barijere u obradi podataka

Arhitekturu ekspertnog sistema sačinjavaju sledeće komponente:

- baza znanja
- jezgro sistema (ljuska) i
- korisnički interfejs

2.1. Baze znanja

Da bi rešili problem uz korišćenje ekspertnog sistema potrebno je prikazati i pripremiti znanje o problemu. To se radi u podsistemu baze znanja. U literaturi su prikazani različiti načini predstavljanja znanja. Najprostiji način predstavljanja znanja je pomoću produkcionih pravila koja mogu biti specifična i meta pravila [5]. Opisivanje znanja se vrši u obliku:

ako < uslov > onda < zaključak > | < odluka >

Specifična pravila se primenjuju za primer:

ako deo 1 i deo 2 koriste pribor p, onda bi oni trebali biti raspoređeni u različitim vremenskim periodima. Meta pravila sadrže informacije o tome kako treba problem biti rešen. Na desnoj strani ovih pravila su izvršne odredbe za druga pravila na primer:

ako je vrijeme T ažurirano onda aktivirati pravilo X

Alternativni načini predstavljanja znanja su: ramovi (frejmovi), semantičke mreže, prva/druga odredba logike. Svaki od njih su veoma predstavljeni u literaturi [10].

2.2. Jezgro sistema (ljuska)

U ovom modulu ugrađen je jezik ekspertnog sistema dizajniran za pisanje aplikacija putem produkcionih pravila koja mogu da se prestave u obliku: IF (uslov) THEN (akcija).

Osnovni elementi nekog od jezika ekspertnog sistema su: baza fakta (uopštena baza podataka), baza znanja (pravila) i mehanizam za zaključivanje koji "vrši zaključivanje" na osnovu ugrađenih pravila i fakta.

Na ovaj način korišćenjem osobina ekspertnog sistema u okviru određenog programa omogućeno je da se procesi projektovanja postave na jedan sasvim novi i nealgoritamski način.

2.3. Korisnički interfejs

Korisnik djeluje interaktivno sa sistemom putem međuveze čovjek-mašina. Ova veza ima dvostruku funkciju u ekspertnom sistemu. Prva se odnosi na vezu korisnika radi rješavanja problema a druga je način na koji je znanje predato ekspertnom sistemu od strane eksperta. Mogu postojati i druge međuveze sa sistemom koje omogućuju onima koji nisu eksperti direktan pristup znanju, tako da mogu učiti od sistema i možda čak postati eksperti.

2.4. Mogućnosti rada ekspertnog sistema

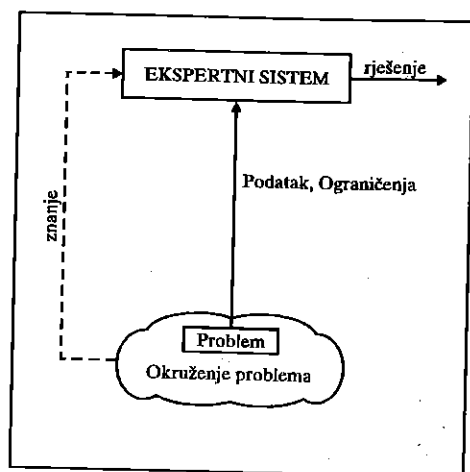
Ekspertni sistemi mogu raditi na dva načina [8]:

- samostalno (slika 2.) i
- u integraciji sa drugim sistemima (slika 3.).

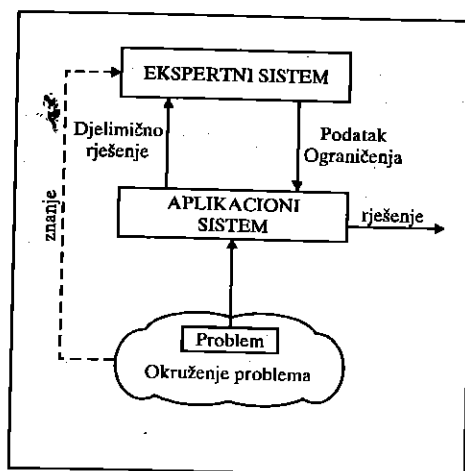
Većina ekspertnih sistema su razvijeni da rade samostalno gdje koriste podatke i ograničenja iz okruženja problema i proizvode rješenja za dati problem.

Moguće je da ekspertni sistem radi u integraciji sa aplikacionim sistemima koji su zasnovani na algoritmima. U ovom slučaju konfiguracije svako rješenje koje je

dobiveno algoritamskim sistemom može biti procijenjeno ili dopunjeno ekspertnim sistemom.



Slika 2. Samostalni rad ekspertnog sistema



Slika 3. Ekspertni sistem u integraciji sa sa drugim sistemima

3. EKSPERTNI SISTEM I PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADNE

Za formalizovanje projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa obrade u skladu sa tipom zadatka koji se rješava koriste se dvije metode:

- metoda matematičkog modeliranja i
- heuristička metoda

Metodom matematičkog modeliranja uspostavljaju se matematičke zavisnosti procesa, međutim zbog skrivenih zakonitosti izvođenja dijelova procesa primjena ove metode je ograničena.

Heuristička metoda obuhvata procedure koji odgovaraju dejstvu tehnologa, imitirajući njegov rad.

Sa stanovišta navedenih metoda može se konstatovati da u fazama projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa obrade ima faza projektovanja koje pripadaju klasi neformalizovanih ili teško formalizovanih zadataka a to su:

- analiza radnog predmeta
- definisanje redosleda operacija
- definisanje redosleda stezanja i
- definisanje redosleda zahvata

Problemi automatizacije ovih faza projektovanja rješavaju se primjenom ekspertnih sistema.

Razvijen je veliki broj sistema za projektovanje i optimizaciju tehnoloških procesa koji baziraju na matematičkim modelima onih faza procesa koje je moguće matematizirati. Matematički modeli obradnih procesa obuhvataju osim funkcija optimizacije i odgovarajućih kriterijuma, funkcije stanja i funkcije tehničkih ograničenja obradnih procesa [1].

Uspostavljanjem funkcionalnih zavisnosti između funkcije optimizacije i funkcija tehničkih ograničenja sa skupom ulaznih kontrolisanih veličina obradnog procesa dobija se analitički model unutrašnje optimizacije obradnog procesa.

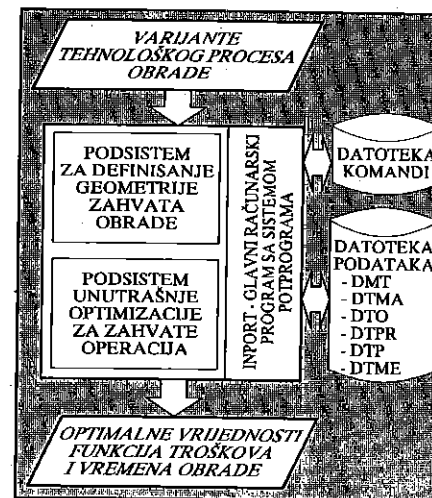
Primjenom odgovarajućih automatizovanih sistema za rješavanje analitičkih modela obradnih procesa dobijaju se optimalna rješenja za troškove obrade što predstavlja osnovu za izbor varijante tehnološkog procesa obrade.

Da bi se postigao veći stepen automatizacije razvijenih sistema u primjeni moguće je vršiti intergaciju ovih sistema sa ekspertnim sistemima. Na taj način ekspertni sistemi koristeći baze znanja izgrađene posrestvom produkcionih pravila omogućavaju veći stepen automatskog projektovanja i optimizacije tehnoloških procesa.

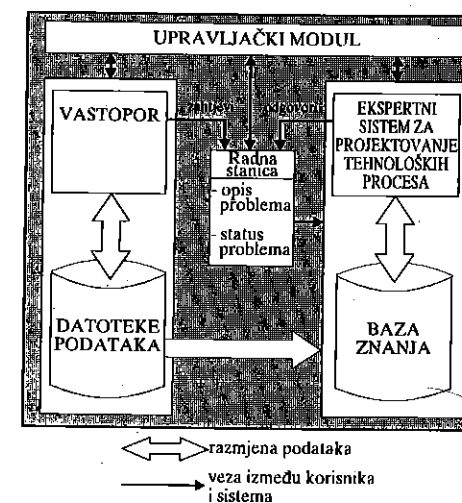
4. STRUKTURA MODELA OPTIMIZACIJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADNE

Model varijantnog sistema optimizacije tehnoloških procesa (slika 4) omogućuje izbor optimalne varijante od prethodno projektovanih varijanti tehnoloških procesa obrade na bazi formiranja matematičkih modela procesa i određivanja optimalnih vrednosti funkcija u oblasti mogućih rešenja za određeni obradni sistem [2].

Na osnovu dobijenih optimalnih vrijednosti troškova i vremena za alternativne zahvate tehnolog određuje optimalni tehnološki proces obrade.



Slika 4. Struktura varijantnog sistema optimizacije tehnoloških procesa obrade



Slika 5. Struktura integrisanog modela za optimizaciju tehnoloških procesa obrade

Određene faze u toku određivanja optimalnog tehnološkog procesa obrade nisu automatizovane pa se kao rješenja za automatizaciju projektovanja predlaže povezivanje ovog sistema sa ekspertnim sistemom (slika 5).

Struktura integrisanog modela sastoji se od sledećih cjelina:

- Varijantni automatizovani sistem tehnoekonomske optimizacije tehnoloških procesa obrade (VASTOPOR)

- Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa
- Radna stanica i
- Upravljački modul koji omogućuje integrisani rad.

Ekspertni sistem međusobno djeluje sa sistemom "VASTOPOR" putem upravljačkog modula preko zahtjeva koji se šalju radnoj stanici da bi ih ekspertni sistem koristio. Na sve zahtjeve ekspertni sistem će na osnovu prethodno modeliranog znanja dati odgovore i na taj način omogućiti tehnologu cjelovitu optimizaciju tehnoloških procesa obrade.

Glavna prednost ove strategije povezivanja je da ekspertni sistem može biti jednostavniji jer obuhvata modele znanja samo teško formalizovanih zadataka projektovanja a može koristiti baze podataka iz sistema "VASTOPOR".

5. MOGUĆNOSTI PRIMJENE MODELA

Primjena sistema "VASTOPOR" polazi od pretpostavke da su strukture operacija pojedinih varijanti tehnološkog procesa obrade predhodno projektovane. Ove aktivnosti pripadaju klasi teško formalizovanih zadataka koji se mogu automatizovati modeliranjem znanja eksperta.

Integracijom baza podataka sa ekspertnim sistemima što je u ovom slučaju moguće [9] dodaje se klasičnim sistemima inteligencija tako što se pored standardnih operacija nad podacima koje ovi sistemi omogućuju može obezbijediti da se ti podaci i analiziraju.

Sistem "VASTOPOR" u okviru izlaznih informacija daje optimalne vrijednosti funkcija troškova i vremena obrade kao i parametara obrade uz dominantna ograničenja. Ove informacije o alternativama procesa omogućuju da se korišćenjem baze znanja ekspertnog sistema izvrši ocjena varijantnosti rješenja u okviru pojedinih operacija i tako formalizuje traženje najpovoljnijeg tehnološkog rješenja.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je model integracije postojećih sistema za optimizaciju tehnoloških procesa i ekspertnog sistema koji bi omogućio tehnologu veći stepen automatizacije u određivanju najpovoljnijeg tehnološkog rješenja.

Upotrebom ovog modela ostvaruje se integracija potrebnog znanja o problemima, daje se mogućnost zaključivanja i mogućnost da se procijeni bolje rešenje u postojećim alternativama.

Integracija sistema "VASTOPOR" sa ekspertnim sistemom nalazi se u eksperimentalnoj fazi na laboratoriskom nivou a u bliskoj budućnosti očekujemo realnu primjenjivost ove strategije.

7. LITERATURA

- [1] Jackobs, H.J., Jacob, E., Kochan, D.: Spanunqsoptimierund, Veb Verlag Technik, Berlin 1977.
- [2] Todić, V.: Varijantni automatizovani sistem tehnoeconomске optimizacije tehnoloških procesa obrade, Novi Sad, 1988.
- [3] Stanić, J.: Uvod u teoriju tehnoeconomске optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd 1988.

- [4] Krivokapić, Z.: Prilog automatskom projektovanju tehnološkog postupka obrade rezanjem posredstvom ekspert sistema, Doktorska disertacija Mašinski fakultet, Podgorica 1993.
- [5] Kusiak, A., Chen, M.: "Expert Systems for Planning and Scheduling Manufacturing Systems", European Journal of Operational Research, No. 34, 1988, 113-130
- [6] Veljović, A.: Elementi ekspertnog sistema za projektovanje tehnološkog postupka, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [7] Nebendahl, D.: Expertensysteme, Siemens - Akienges, Berlin, 1987.
- [8] Kusiak, A.: Artificial Intelligence and Operations Research in Flexible Manufacturing Systems" INFOR V. 25, No. 1, 1987, 2-11
- [9] Lučin, M., Stevanović, V., Vraneš, S.: Integracija ekspertnih sistema i baza podataka, 21. JUPITER Konferencija, Beograd, 1995.
- [10] Rich, E., "Artificial Intelligence", McGraw - Hill Book Company, 1983, 436 pages.

EXPERT SYSTEM INTEGRATING WITH MODEL FOR OPTIMAL TEHNOLOGICAL MACHINING PROCESSES

Summary

In this paper is presented the structure optimisation model of technological machining process which is based on an integration of the existing systems of technoeconomical optimization of technological machining processes and expert systems. The structure of the model means that technologist already resolves the tasks in some formal system that can be represented by a known algorithmic solutions and there is a necessity to resolve hardly formalized project stages. The model of optimization projecting technological machining process that is presented in this paper indicates that the expert system is very interesting alternative that is adding the existing system of the optimization and helps to technologist in resolution of the problem of automatization and optimization of the stages that may hardly be formalized.



dipl. ing. N. Kablar, dipl. ing. B. Potežica, dipl. ing. D. Radojević¹

PRIMENLJIVOST PC RAČUNARA U IZRADI NC PROGRAMA

Rezime rada

Izbor metodologije izrade NC programa za obradu prostorno zakrivljenih površi je prvi korak u izradi NC programa za naručioca. Dat je prikaz jednog od mogućih rešenja baziranog na PC računarima čija primenljivost je ocenjena i kroz izradu modela dela oplate aviona. Prezentirani su korišćeni postupci u prilagođavanju IGES datoteke, njenoj konverziji u format programa SmartCAM i korišćenje tog paketa za definisanje procesa obrade i generisanja NC programa. Analizirani su uočeni problemi i pogodnosti da bi se realno procenile mogućnosti trenda primene PC računara u projektovanju i pripremi proizvodnje.

UVOD

Pri dobijanju radnog zadatka za izradu NC programa nekog dela projektant, programer i tehnolog, a u savremenoj terminologiji jedan - *part programer*, susreću se najpre sa izborom metodologije izrade NC programa. To podrazumeva iznalaženje najoptimalnijeg rešenja u zavisnosti od definisanog zadatka u smislu izbora tehnologije obrade, pristupa (programski ili grafički), softvera i platforme, a prema raspoloživim resursima, uz uvažavanje ekonomskih pokazatelja, kao nezaobilaznog faktora danas, a u cilju izvršenja zadataka vezanih za projektovanje, postprocesiranje i prenos koda.

Zbog niske cene i rasprostranjenosti PC platforma je postala interesantna i u oblasti projektovanja i pripreme proizvodnje. Stoga mnoge softverske kuće idu na razvoj CAD (*Computer Aided Design*) i CAM (*Computer Aided Manufacturing*) programa na ovoj - najnižoj platformi. Postavlja se pitanje o mogućnostima takvih programskih paketa, njihovim ograničenjima, primenljivosti i kvalitetu. Za ispravnu ocenu jednog takvog paketa treba osim teoretskih mogućnosti koje on pruža izabrati i adekvatan zadatak, određene težine i složenosti, koji će u praksi istestirati što više njegovih mogućnosti, a istovremeno ukazati i na nedostatke, kao putokaz u daljem usavršavanju istog i kao smernica - sa jedne strane onim softverskim kućama i pojedincima koji se bave razvojem ove vrste softvera, a sa druge strane kao prikaz

¹ *dipl. ing. Nataša Kablar, dipl. ing. Branko Potežica, dipl. ing. Dragan Radojević,*
Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd

nekih krajnjih mogućnosti koje se pružaju korisniku.

Programski paket koji će ovde biti prezentiran i ocenjen u smislu primenljivosti za izradu NC programa je SmartCAM. U svrhu što realnije ocene za model koji će biti testiran izabran je deo oplata aviona koga čini više prostorno zakrivljenih površi.

IZBOR METODOLOGIJE

U izradi NC koda, tj. NC programiranju, razlikuju se dva pristupa: *programski i grafički*. Svaki od njih ima svoje prednosti i mane. Programskim pristupom dobija se znatno kraći kod, ali zbog jednostavnije primene i mogućnosti vizuelizacije, tj. simulacije procesa obrade rezanjem, budućnost NC programiranja je svakako okrenuta grafičkom pristupu. Po izboru pristupa u zavisnosti od definisanog zadatka, a s obzirom na resurse kojima se raspolaze i u cilju njihovog što efikasnijeg iskorišćenja, opredeljujemo se za odgovarajući programski paket i platformu. Opšte je poznato da je za rešavanje grafičkih problema potrebno imati jaku radnu stanicu, koja poseduje dobar matematički koprocesor i dobru grafičku karticu.

U ovom radu će biti istestiran programski paket SmartCAM koji radi na PC platformi, u cilju analize njegove primenljivosti u izradi NC programa. Pregled osnovnih mogućnosti i uporedna analiza jakih grafičkih paketa CATIA, CAEDS koji rade na RISC radnim stanicama u poređenju sa programskim paketom SmartCAM, koji rad na PC platformi i DOS operativnom sistemu dat je u [3].

ŠTA SVE MOŽE SMARTCAM?

SmartCAM je interaktivni, grafički orijentisani programski paket koji se sastoji iz niza modula i opcija: CAD modul koji služi za projektovanje geometrije, CAM modul koji služi za generisanje putanje alata i postprocesiranje, modul za komunikaciju sa CNC kontrolerom, čitačem/bušačem trake, kasetofonom, modul za uvoz/izvoz fajlova iz/u AutoCAD, MicroCADAM i fajlova u IGES formatu, modul za interpretaciju koda u geometrijski fajl (interpretator koda), modula za generisanje koda na osnovu geometrijskog fajla (generator koda). Velika otvorenost ovog programskog paketa je svakako vrlo značajna i važna karakteristika, naročito za probleme ove prirode, gde se zna da je nedostatak standardnog formata za prenos geometrije značajan problem i velika smetnja.

Sve navedene funkcije SmartCAM izvršava razmenom informacija između fajlova: *Job Plan*, *Shape file*, *Machine file*, *Template file*, *NC file*. Detaljniji opis ovih fajlova dat je u [1] i [4].

Biće istestirane i ocenjene sledeće mogućnosti programskog paketa SmartCAM: **uvoz IGES datoteke, generisanje putanje alata, simulacija, generisanje NC koda, prenos koda i verifikacija ispravnosti generisanog NC koda kroz sam proces proizvodnje.**

UVOZ IGES DATOTEKE

Ulaz u programski paket SmartCAM je IGES datoteka sa geometrijom dela oplata aviona (Slika 1) koja je prethodno skalirana na dimenzije priprema 100x200x300 mm. Pre uvoza iste najpre je iskorišćena mogućnost generisanja izveštaja o IGES fajlu koji nam daje informacije o njegovom sadržaju i prenosivosti (oni geometrijski elementi i površi koji se ne mogu preneti označeni su *). Prikaz ovog izveštaja dat je u Prilogu 1.

Informacije generisane u ovom izveštaju nam služe prilikom definisanja translatora, tj. izbora opcija za prenos.

Prilikom prenosa imamo mogućnost izbora više opcija, od kojih su najznačajnije - faktor interpolacije (podešen je na 0,001), detalji o prenosu geometrije (broj polilinija koje će predstavljati prenesenu površ i njihova usmerenost), sortiranju geometrije itd. Prilikom translacije možemo se opredeliti samo za prenos geometrije, a možemo odmah dodeliti odgovarajućim CAD slojevima (*layer*) odgovarajući CAM nivo (*level*) - 1-1 preslikavanje, čime bismo definisane polilinije koje čine površ, odmah preslikali u polilinije koje predstavljaju putanje kretanja alata. Veza koja se uspostavlja između CAD i CAM nivoa definiše se u datoteci *Job Plan*.

U primeru koji mi razmatramo, opredelili smo se za prenos geometrije. Na taj način prenesena je geometrija na pet različitih nivoa. Geometrijska baza podataka dobijena ovim prenosom bila je na par mesta nesređena, kao posledica translacije (misli se na redosled polilinija koje definišu površ). Tako preneseni IGES fajl je sreden, geometrija je razvrstana u sedam različitih nivoa prema različitosti površi.

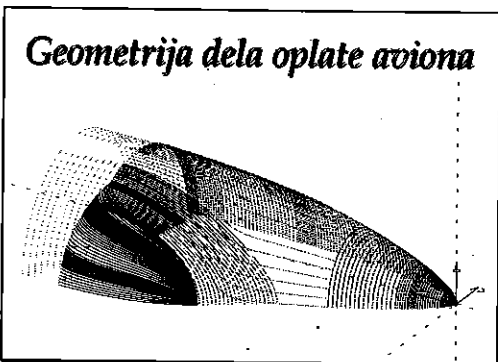
GENERISANJE PUTANJE ALATA. SIMULACIJA.

Sledeći korak je pregrupisanja elemenata prema logici obrade i nadovezanosti površina. Zatim je za svaku površ generisana putanja alata i izvršeno trimovanje (skraćenje) tako dobijenih površi. Prilikom trimovanja pojavila su se dva tipična problema: **polilinije generisanih putanja alata kod površi koje se trimuju imaju po dva preseka ili se mimoilaze**. U SmartCAM-u se ta korekcija morala izvršiti ručno. Od preciznosti ručno urađenog trimovanja zavisi i dobijeni prelaz između dve površi. Ovaj momenat je **nedostatak i problem SmartCAM-a**.

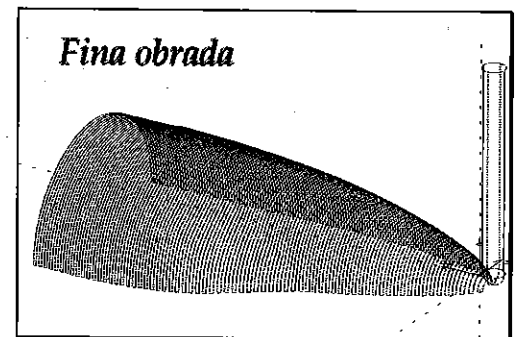
Za rezultat se dobija *fina obrada* obradka (Slika 2).

Zatim je u CAD modulu ovog paketa iscertana geometrija priprema, kao neophodna za kasnije definisanje putanje alata za grubu obradu. Generisana je putanja alata za **grubu obradu** - od priprema do putanje alata za finu obradu, Slika 3.

Na osnovu tako definisane putanje alata i informacija iz *Job Plan*-a vezanih za tip, veličinu i oblik alata, moguće je izvršiti i



Slika 1



Slika 2

simulaciju procesa obrade rezanjem. Simulacijom možemo videti šta treba učiniti u cilju optimizacije putanje alata i u cilju izbegavanja eventualnih oštećenja radnog komada pri probnoj proizvodnji. Grafička simulacija i primena koncepta "šta ako" omogućava eksperimente nad modelom i na taj način smanjuje potrebno vreme testiranja u realnim uslovima.

Ovde treba istaći dobru osobinu ovog programskog paketa - a to je da pruža mogućnost **simulacije pre generisanja koda**. Proces generisanja koda je samo jedan korak više u odnosu na simulaciju, tj. njena nadogradnja informaciono formatirajućim procesom podataka koji se nalaze u *Machine file*-u (koji sadrži specifikaciju CNC-a) i njihovo uređenje po definisanom šablonu (*Template file*). Mali broj CAD/CAM paketa, a naročito onih koji rade na PC platformi, poseduje ovu mogućnost. Korak simulacije se kod njih obavlja tek nakon postprocesiranja, u tzv. *Simulatorima*, što u slučaju grešaka zahteva ponovno postprocesiranje.

GENERISANJE KODA

Kako je već rečeno, generator koda je jedan informaciono-formatirajući proces koji informacije iz *Shape file*-a, *Job Plan*-a i *Machine file*-a uređuje po unapred definisanom šablonu (*Template file*) i na taj način **generiše NC kod** (deo ovog koda dat je u Prilogu 2). Ovde treba napomenuti još jednu interesantnu specifičnost programskog paketa SmartCAM, a to je da se **NC kod direktno generiše na osnovu geometrijskog fajla**, tj. nema tzv. CL (*Cutter Location*) fajlova na osnovu kojih mnogi jaki grafički paketi generišu kod. Kompletna analiza načina na koji se generiše NC kod dat je u [1].

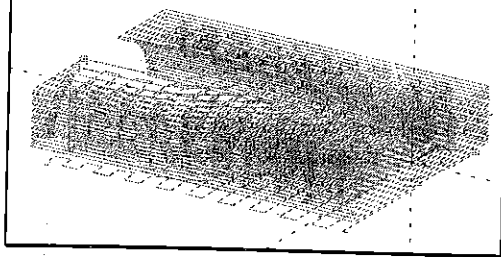
PRENOS KODA

Značajna funkcija ovog programskog paketa je i mogućnost prenosa podataka, u našem slučaju na mini kasetofon. Ovo danas jeste zastareo način prenosa, s obzirom da znamo da bi se prenos znatno olakšao korišćenjem Laptop-a ili DNC-a, ali u domaćoj proizvodnji prenos ovim putem još uvek ima ključnu ulogu.

Parametri prenosa su:

Baud rate 1200Mbs
parity Even,
Data bits 7,
Handshake On, DTR/DTS

Gruba obrada



Slika 3

PROIZVODNJA - VERIFIKACIJA ISPRAVNOSTI GENERISANOG NC KODA I - KVALITETA DOBIJENIH POVRŠI

Proces proizvodnje izvršen je u okruženju koga čini:

Mašina: *RAPID 1*
CNC kontroler: *BOSCH300*
Prenosni uređaj: *BOSCH -MiniCass*
Alati: *Cilindrično glodalo 32mm*
Loptasto glodalo 16mm
Loptasto glodalo 4mm

Izgledom, kvalitetom i tačnošću izrađenog proizvoda može se oceniti korektnost primenjenog postupka i primenljivost PC računara. Opšti zaključak - **kvalitet dobijenog dela odgovara definisanom, generisani kod je korektan i PC računar sa programskim paketom SmartCAM je primenljiv u izradi delova srednje i velike složenosti.**

Na ovaj način dobijen je alat za izradu delova oplata aviona izvlačenjem lima.

ZAKLJUČAK

Pristup dat u ovom radu predstavlja tekući trend pri projektovanju i proizvodnji delova. Primenljivost PC računara za izradu NC koda ocenjena je kroz izradu modela dela oplata aviona. Prikazom pozitivnih i negativnih strana izabranog programskog paketa u rešavanju izabranog zadatka, a njihovim poređenjem sa programima koji rade na jačim platformama i analizom nekih uočenih problema, može se steći predstava o mogućoj primeni personalnih računara, kao jeftinije i ekonomičnije varijante, u procesu projektovanja i proizvodnje.

LITERATURA

- [1] N. Kablar, "Simulacija procesa obrade rezanjem". Sinfon, Zlatibor, Oktobar 1994.
- [2] N. Kablar, B. Potežica, D. Radojević, "Simulacija obrade rezanjem modela aviona", YUInfo, Brezovica, April 1996.
- [3] N. Kablar, D. Radojević, M. Zdravković, "Simulacija pomoću profesionalnih grafičkih paketa SmartCAM, CATIA, CAEDS", Sinfon, Zlatibor, Novembar 1995.
- [4] *SmartCAM Reference Manual*, Point Control Company, OR-USA, 1991.

Abstract

Making a decision in choosing the methodology in generating NC program for machining space complex surfaces is first step in generating NC program at all. In this paper is shown one possible solution based on PC platform, which appliance is tested in machining on one part of aeroplane (fuselage) model. We present the way of importing IGES files, its conversion in format of SmartCAM program and using this program for definition machining process and generating NC program. We analysed some problems and advantages of this program in aim to give a real mark and availability of using PC in projecting and manufacturing.

PRILOG 1

Izveštaj o IGES fajlu:

File name: GAL_SCAL.IGS
This file was produced by MicroStation Version 5.0

Total Number of Geometric Elements: Total Number of Fields:

* Ruled Surface: 1 Views: 1
Rational B-Spline Curve: 2 Levels: 3
Rational B-Spline Surface: 8 Colors: 2

View: 0 Level: 1 Color: 3

* Ruled Surface: 1
Rational B-Spline Curve: 2

Color: 5
Rational B-Spline Surface: 2

Level: 2 Color: 3
Rational B-Spline Surface: 3

Color: 5
Rational B-Spline Surface: 2

Level: 3 Color: 3
Rational B-Spline Surface: 1

PRILOG 2

S obzirom na dužinu generisanog koda, a s obzirom na prostorno ograničenje, ovde će biti prikazan samo jedan deo NC koda za finu obradu. Sve što je bitno za podešavanje mašine, sadržano je u tom fajlu, dobar deo koda koji označavaju samo poziciju, skinuti su.

PROGRAM 5 FINA1	M RWED 4	N28 X5.572 Z-4.655
(START PROGRAMA)		N29 X5.493 Z-4.519
N1 G90 G40 G80 G17		N30 X5.414 Z-4.383
N2 G53 T01		N31 X5.335 Z-4.247
N3 T01 M6		
N4 G54 B0.0		
N5 M3 S1000 F300.0		
N6 G0 X6.465 Y-6.0 H01 Z80.0 M08		
N7 W0		
N8(START PROFILE)		
N9(ZCHKMV)		
N10 Z72.0		N1362 X17.222 Z-3.089
N11(ZDPHVMV)		N1363 X17.316 Z-3.579
N12 G1 Z-7.708 F150.0		N1364 XX17.41 Z-4.07
N13 X6.456 Z-7.601 F300.0		N1365 X17.504 Z-4.561
N14 X6.447 Z-7.495		N1366 X17.564 Z-5.056
N15 X6.438 Z-7.388		N1367 X17.597 Z-5.555
N16 X6.43 Z-7.282		N1368 X17.629 Z-6.053
N17 X6.421 Z-7.176		N1369 X17.662 Z-6.552
N18 X6.412 Z-7.069		N1370 X17.695 Z-7.05
N19 X6.321 Z-6.636		N1371 X17.728 Z-7.549
N20 X6.214 Z-6.134		N1372 (END PROFILE)
N21 X6.131 Z-5.888		N1373 G0 Z80.0
N22 X6.05 Z-5.677		N1374(END)
N23 X5.97 Z-5.467		N1375 G53 M09
N24 X5.89 Z-5.256		N1376 G0 X17.728 Y12.0 Z80.0
N25 X5.81 Z-5.062		N1377 T0 M6
N26 X5.731 Z-4.926		N1378 T0
N27 X5.651 Z-4.79		N1379 M30



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Z.Marković¹, M.Manić², D. Mišić³, G. Janevski⁴

KONCEPT SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE NAVRTKI U FABRICI VIJAKA

Rezime

U radu je dat prikaz koncepta sistema za automatizovano konstruisanje navrtke i projektovanja tehnologije njene izrade u fabrici vijaka MIN u Svrlijgu u okviru tehničkog informacionog sistema. Sam proces projektovanja započinje izradom konstruktivne dokumentacije navrtke primenom AutoCAD sistema, gde je razvijen poseban modul za parametarsko konstruisanje navrtke. U fazi projektovanja u modelu proizvoda unose se svi neophodni tehnološki i ostali podaci o proizvodu. U sistemu za automatizovano projektovanje tehnološkog postupka izrade navrtki definišu se svi neophodni podaci kao i dokumentacija potrebna za izradu navrtke. Takođe se definišu normativi rada, materijala, utroška energije i vrši se određivanje cene proizvodnje. Za projektovanje tehnologije usvojen je varijantni način projektovanja. Svi relevantni podaci za projektovanje smešteni su u relacionoj bazi podataka koja predstavlja deo tehničkog informacionog sistema.

1. UVOD

Proizvodni sistem je deo poslovnog sistema u kome nastaje proizvod. Osnovni elementi proizvodnog sistema su prikazani na slici 1. Osnovni elementi koji učestvuju u realizaciji proizvoda u proizvodnim sistemima su materijal, energija i informacije. Informacioni sistem možemo definisati kao uređeni skup metoda, procesa i operacija za prikupljanje, čuvanje, obradu, prenošenje, i distribuciju podataka u okviru jedne organizacije, uključujući i opremu koja se u te svrhe koristi kao i ljude koji se tim aktivnostima bave. U okviru proizvodnih sistema postoje više vrsta informacija koje se prenose. Može se reći da svaka delatnost u PS ima svoje specifične informacije i informacione tokove, mada postoje informacije koje su zajedničke za veći broj korisnika raznih struka Rad u proizvodnom preduzeću vezan je za svakodnevnu upotrebu dokumenta koji se izrađuju, ažuriraju, čuvaju, pregledavaju tj. generišu i koriste na razne načine. Tok informacija se obavlja od mesta njihovog nastanka do mesta njihovog korišćenja. U informacije spadaju konstruktivni crteži,

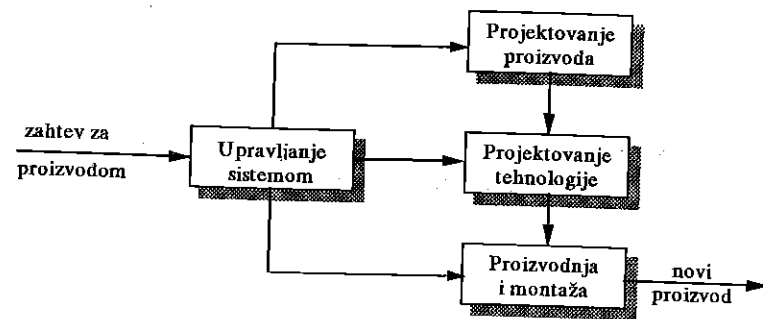
¹ Zoran Marković, dipl. maš. inž., MIN Fabrika vijaka i delova za šinska vozila, 18360 Svrlijg, Dušana Trivunca 31

² dr Mićodrag Manić, docent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, Niš, e-mail: mmanic@ban.junis.ni.ac.yu

³ Dragan Mišić, dipl. maš. inž., asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, Niš

⁴ Goran Janevski, dipl. maš. inž., asistent Mašinskog Fakulteta u Nišu, Beogradska 14, Niš

tehnološka dokumentacija, radni nalozi, trebovanja, zapisnici o kontroli, podaci o tačnosti mašina, podaci o cenama i sl. U savremenim proizvodnim sistemima se za generisanje, obradu i transfer podataka, sa ciljem da se proizvede neka informacija, koriste sve više računari.



Slika 1 Elementi proizvodnog sistema

Sa porastom količine dokumenata rastu i problemi njihovog skladištenja, održavanja, brze i precizne izrade, raspodele, umnožavanja itd. Sistem koji treba da omogući generisanje i upravljanje tehničkom dokumentacijom naziva se tehnički informacioni sistem (TIS). TIS podržan kompjuterima pruža nesagledive prednosti ubrzo posle početka implementacije. Dokumenti svih vrsta postaju brzo dostupni, sadrže mnoštvo informacija koje je ranije bilo nemoguće prikazati, smanjuje se prostor potreban za njihovo čuvanje, moguće su razne vrste pretraživanja itd.

Prilikom realizacije TIS nekog proizvodnog preduzeća potrebno je predvideti čitav niz posebnih tehnoloških rešenja, imajući u vidu složenost sistema i poslova koje je potrebno automatizovati. Preporučuje se da primenjena rešenja ispunjavaju sledeće osnovne zadatke:

- Da se u što većoj meri baziraju na primeni standardnih komercijalnih softvera različitih proizvođača. Time se obezbeđuje kontinuiran napredak ukupnog informacionog sistema, prostim prelaskom na korišćenje novijih verzija programa posle njihove pojave na tržištu.
- Da odabrani softveri u informacionom sistemu predstavljaju jedinstvenu celinu koja omogućava nesmetan protok potrebnih podataka između njih.
- Da se integracija softvera, u što većoj meri obavi njihovim alatima za prilagođavanje, a posebne aplikacije izrađuju samo kada je to zaista neophodno za uspešnu implementaciju tehničkog informacionog sistema.
- Da se obezbedi efikasnost sistema, odgovarajuća podela rada i mogućnost praćenja posla u svim njegovim delovima.

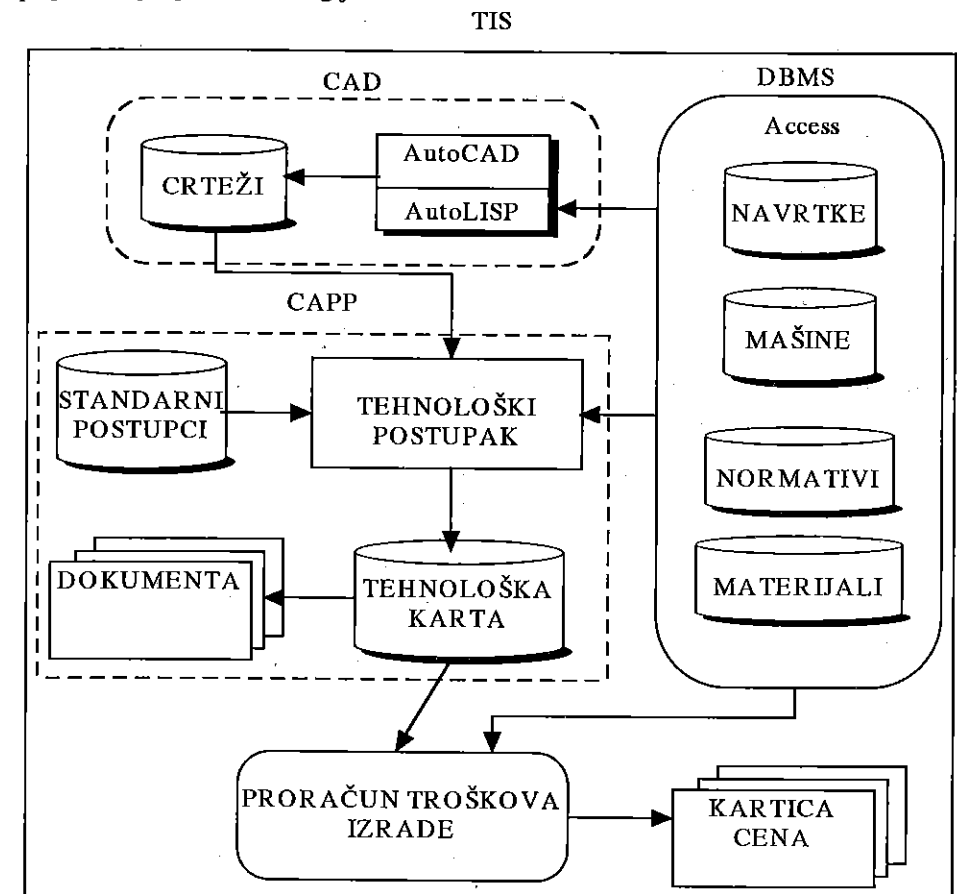
2. KONCEPT SISTEMA U FABRICI VIJAKA MIN SVRLJIG

Prilikom koncipiranja sistema za automatizovano konstruisanje navrtke i projektovanja tehnologije njene izrade u fabrici vijaka MIN u Svrlljigu, u okviru tehničkog informacionog sistema, krenulo se od osnovnih karakteristike proizvodnog sistema fabrike vijaka u proizvodnji navrtki, a to su:

- velikoserijska proizvodnja,
- proizvode se standardne navrtke i po posebnim zahtevima,
- uzak asortiman proizvoda,
- tipski tehnološki postupci,
- automatizovane linije za izradu,
- obrada deformisanjem na toplo tela navrtki i obrada rezanjem
- zatvorena radna mesta,
- dugogodišnja tradicija u proizvodnji navrtki.

Cilj razvoja aplikacije je bio da se automatizuje postojeći način konstruisanja navrtki i projektovanja tehnološkog postupka njihove izrade. To je iz razloga jer se dugi niz godina navrtke rade po određenoj tehnologiji i postale su na neki način rutinerski posao za osoblje koje radi u pripremi proizvodnje. Sistem treba da im pomogne u rutinerskim operacijama i da ih oslobodi zamornih i standardnih poslova.

Na slici 2 prikazan je koncept sistema za automatizovano konstruisanje navrtki i projektovanja njihove tehnologije izrade.



Slika 2

4. LITERATURA

- [1] Geddam A., Kaldor S., Process-Driven Engineering - A Key Element in Integrating Design and Manufacture, Annals of CIRP, Vol. 42/1/1993. pp. 155-158.
- [2] Gijssels W., De Vries W. R., Design and Application of a Prototype System for Concurrent Engineering in a Small Firm, Annals of CIRP, Vol. 42/1/1993, pp. 127-130.
- [3] Lazarević D., Objekto orijentisani transformacioni razvoj informacionih sistema, FON Beograd, 1993.
- [4] Manić M., Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa pri rezanju u obradi rotacionih delova, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Niš, 1995.
- [5] Meyer W., Expert Systems in Factory Management Knowledge-Based CIM, Ellis Horwood, 1990

Summary

The paper describes an automatic design and manufacturing process planning of nuts in MIN-Screw Factory in Svrlijig. The design documentation of nuts is produced by using a module for parametric design developed on top of AutoCAD system. The product model contains all relevant technological and other data (e.g., bill-of-material data, power consumption, manufacturing costs) specified during the planning of the manufacturing process. The developed process planning module is based on the variant process planning approach and uses a relational database for data storage.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Novović D., Vukasojević R., Banjac D., Todić V.*

IZBOR REDOSLEDA ZAHVATA PRIMENOM EKSPERTNIH SISTEMA PRI PROJEKTOVANJU PROCESA OBRADNE NA OBRADNIM CENTRIMA

Rezime

U radu je predstavljen koncept izbora redosleda zahvata pri projektovanju procesa obrade rezanjem prizmatičnih delova na obradnim centrima, uz primenu ekspertnih sistema. Koncept se karakteriše opštošću i fleksibilnošću, te se može primenjivati i za slučaj ostalih fleksibilnih tehnoloških struktura i drugih delova.

1.0 UVOD

Proces projektovanja tehnologije u industriji prerade metala predstavlja veoma složen i odgovoran zadatak, čije uspešno rešavanje ima presudni uticaj na efikasnost i kvalitet proizvodnje. Stoga nije začuđujuće što se toliko pažnje posvećuje automatizaciji procesa projektovanja tehnologije, prvenstveno baziranoj na, sada već tradicionalno primenjivanim, tehnikama ekspertnih sistema.

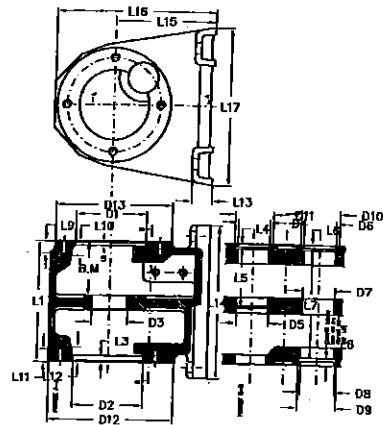
Međutim, postupak akvizicije znanja, odnosno, prikupljanja, transformacije i transfera znanja od eksperta u ekspertni sistem i dalje predstavlja teško rešiv problem, posebno ako se uzme u obzir mnogovarijantnost tehnoloških rešenja, koja se odnosi prvenstveno na veliki broj mogućih načina transformacija radnog predmeta od polaznog do konačnog stanja (vrste obrada, zahvati, rezni alati, mašine itd).

S obzirom na navedeno, u radu se daje jedan pristup rešavanju problema izbora redosleda zahvata pri obradi kutijastih delova na obradnim centrima, zasnovan na primeni veštačke inteligencije, odnosno ekspertnih sistema. U slučaju kutijastih delova sistem projektovanja grupnih tehnoloških rešenja koristi se prvenstveno pri projektovanju tehnoloških procesa na osnovu definisanja tipskih elementarnih i složenih oblika obrađenih površina, i njima odgovarajućih tipskih elementarnih i složenih zahvata, uz značajan nivo automatizacije projektovanja.

Koncept je verifikovan za slučaj kućišta prenosnika, slika 1. Pri realizaciji predloženog pristupa korišćena je ljuška ekspertnog sistema Personal Consultant-Plus (PC-Plus), u koju je sistemom frejmova i produkcionih pravila ugrađena neophodna baza znanja i baza podataka. Usvojeni koncept je testiran na primeru konkretnog kućišta.

*) Novović mr Donka, asistent, Banjac mr Dragan, predavač, Todić dr Velimir, vanr. prof., FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, V. Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad
Vukasojević dr Radomir, red. prof., Mašinski Fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica

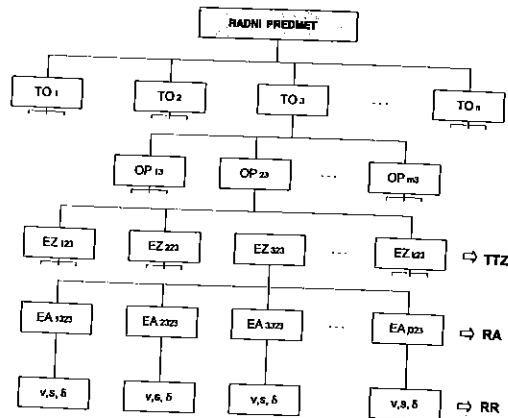
Rad predstavlja deo rezultata istraživanja realizovanih u okviru projekta "Novi prilazi razrade tehnoloških procesa složenih struktura" finansiran od strane Ministarstva prosvete Crne Gore, realizovan od strane 3D CAE Mašinskog fakulteta u Podgorici



Slika 1. Kućište dvo i trostepenih zupčastih prenosnika sa stopalima

2.0 RAZVOJ EKSPERTNOG SISTEMA ZA IZBOR REDOSLEDA ZAHVATA

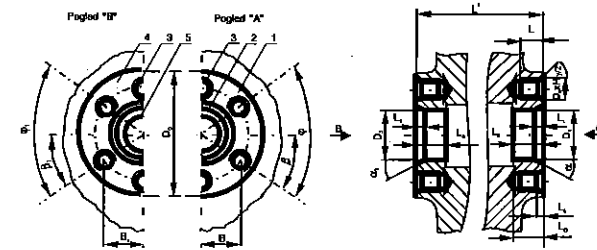
Koncept izbora redosleda zahvata na bazi ekspertnog sistema, a koji se odnosi na geometrijsko i tehnološko prepoznavanje radnih predmeta, odnosno tipskih oblika, slika 2, zasnovan je na sistematski razrađenoj klasifikaciji delova i obradenih površina, odnosno na geometrijskoj dekompoziciji radnih predmeta do nivoa elementarnih geometrijskih primitiva [5,6,8,10,11]. Na slici 3 daje se primer složenog tipskog oblika (TO705) utvrđenog na kućištu prenosnika, sa osnovnim konstrukciono-tehnološkim karakteristikama [5].



Slika 2. Graf geometrijskog i tehnološkog prepoznavanja

Geometrijsko prepoznavanje tipskih oblika (TO) vrši se formalizovanim pravilom oblika:

IF TO="_"
THEN GEOMETRIJSKA KLASA="_"



TO705	D	Ra ₁	T ₁	L ^T	t ₁	D ₁	L ₂	L ₁	α	P	IT ₂	Ra ₂	T ₂	t ₂	N	D _N
	H	L	L ₀	L ₃	γ	S	IT ₃	Ra ₃	T ₃	B	β	φ	m	D ₀	Ra ₄	T ₄
	t ₄	D ₂	L ₃	L ₄	α ₁	P	IT ₅	Ra ₅	T ₅	t ₅	B ₁	β ₁	φ ₁	n	MA	

Slika 3. Primer složenog tipskog oblika (TO705) sa glavnim karakteristikama

Tehnološko prepoznavanje TO obuhvata uspostavljanje veze između radnog predmeta i tehnološkog procesa obrade, odnosno tipskog oblika i tipskog tehnološkog zahvata (TTZ). Deo kataloga TTZ za TO705 prikazan je u tabeli 1, a oblik formalizovanih pravila za uspostavljanje veze TO-TTZ (tehnološko prepoznavanje) u tabeli 2 [5].

Tabela 1. Deo kataloga TTZ za TO705

<ul style="list-style-type: none"> - Ravno glodanje grubo (A,B) - Ravno glodanje poluzavršno (A,B) - Zabušivanje sa ob. ivice n(B)+m(A) puta - Bušenje m(A)+n(B) puta - Urezivanje navoja n(B)+m(A) puta - Konturna unutrašnja gruba obrada (A,B) - Konturna unutrašnja poluzavršna obrada (B) - Obaranje ivice (B,A) - Konturna unutrašnja poluzavršna obrada (A) - Ravno glodanje završno (B,A) 	TTZ78	<ul style="list-style-type: none"> - Ravno glodanje grubo (A,B) - Zabušivanje sa ob. ivice n(B)+m(A) puta - Bušenje m(A)+n(B) puta - Urezivanje navoja n(B)+m(A) puta - Konturna unutrašnja gruba obrada (A,B) - Konturna unutrašnja poluzavršna obrada (B) - Obaranje ivice (B,A) - Konturna unutrašnja poluzavršna obrada (A) - Ravno glodanje poluzavršno (A,B) 	TTZ81
---	-------	---	-------

Tabela 2. Deo kataloga formalizovanih pravila za tehnološko prepoznavanje TO705

TO705	(Ra ₁ =Ra ₄ <1.6) OR (T ₁ =T ₄ =T1) AND (D ₁ ≥20) AND (D ₂ ≥20) AND (OD) AND (IT7≤IT ₂ =IT ₅ ≤IT9) OR (1.6≤Ra ₂ =Ra ₅ ≤6.4) OR (T ₂ =T ₅ =T2) OR (T ₂ =T ₅ =T3) AND (D _N ≤20) AND (PM) AND (IT ₃ ≥IT11) OR (Ra ₃ ≥3.2) OR (T ₃ =T3) OR (T ₃ =T4)	TTZ78
TO705	(1.6≤Ra ₁ =Ra ₄ ≤25) OR (T ₁ =T ₄ =T2) OR (T ₁ =T ₄ =T3) AND (D ₁ ≥20) AND (D ₂ ≥20) AND (OD) (IT7≤IT ₂ =IT ₅ ≤IT9) OR (1.6≤Ra ₂ =Ra ₅ ≤6.4) OR (T ₂ =T ₅ =T2) OR (T ₂ =T ₅ =T3) AND (D _N ≤20) AND (PM) AND (IT ₃ ≥IT11) OR (Ra ₃ ≥3.2) OR (T ₃ =T3) OR (T ₃ =T4)	TTZ81

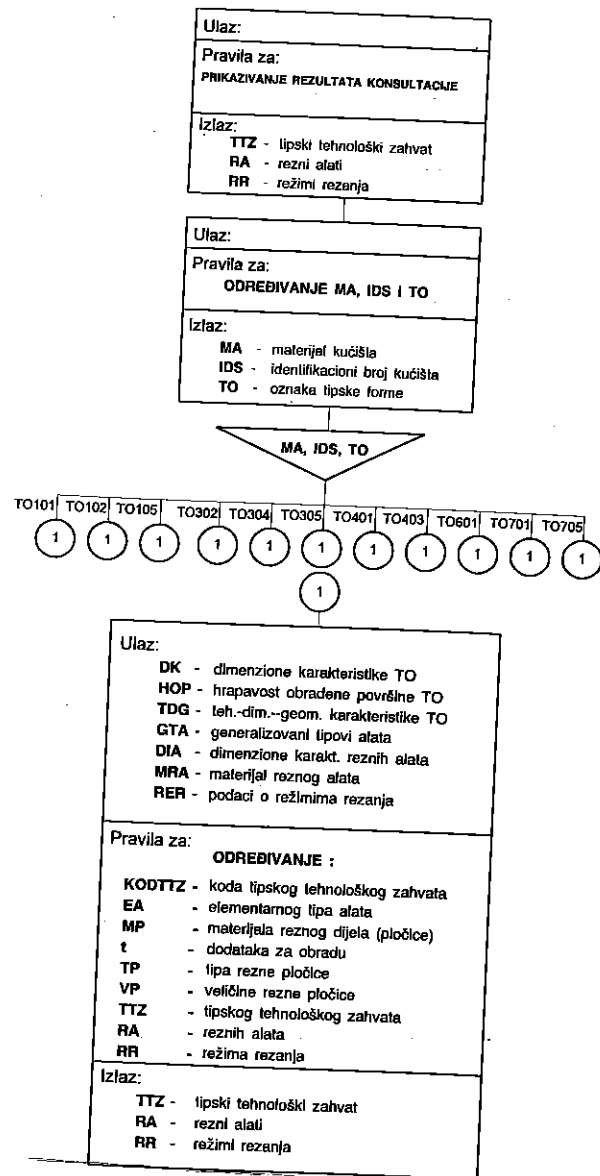
Za verifikaciju razvijenog koncepta automatizovanog sistema izbora redosleda zahvata za obradu kućišta prenosnika, korišćena je ekspertska ljuska PC-Plus, u kojoj je baza znanja, u cilju organizacije i upravljanja znanjem, predstavljena preko tri strukture: frejmova, parametara i pravila [9].

U okviru frejmova su organizovane informacije deklarativne prirode. Frejmovi su organizovani u hijerarhijsku strukturu-stablo frejmova, koje omogućava razdvajanje velikog broja informacija ili znanja na logičke cjeline, pri čemu se koristi osobina naslednosti.

Parametri se u PC-Plus-u koriste za čuvanje informacija ili činjenica, i čine bazu podataka.

Ekspertska ljuska PC-Plus podržava opšti oblik IF - THEN pravila. U radu sa PC-Plus-om se koriste četiri vrste pravila: konsekventna (consequent), antecedentna (antecedent), samo-odnosna (self-referencing) i meta pravila (meta-rules).

Struktura stabla frejmova PC-Plus-a za projektovanje TTZ data je na slici 4. U okviru razvijenog sistema, kao jedan od izlaza dobija se redosled zahvata (TTZ) za generisanje posmatranog tipskog oblika, a na osnovu razvijene baze znanja, kao izlani rezultati, dobijaju se i rezni moduli alata i režimi obrade za TTZ [5].



Za slučaj reprezentnog kućišta prenosnika 140S-3 stablo frejmova sadrži dva frejma opšteg (zajedničkog) karaktera i jedanaest subfrejmova koji se odnose na uočene tipске oblike.

U korenskom frejmu PRIKAZ definisani su ciljni parametri:

- TTZ (tipski tehnološki zahvat)
- RA (rezni alati)
- RR (režimi rezanja).

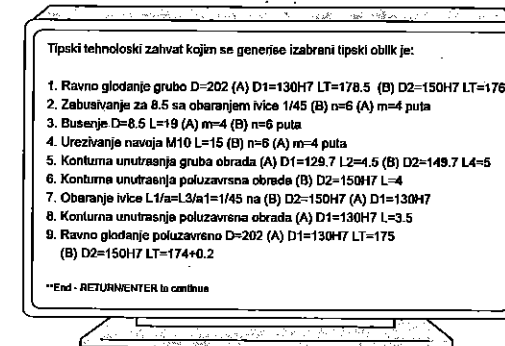
kao i tri antecedentna i samo-odnosna pravila za određivanje ciljnih parametara, oblika:

- IF: TTZ = (value TTZ)
- THEN: SHOW TTZ "Tipski tehnološki zahvat kojim se generiše izabrani tipski oblik je oblika:"
- ANTECEDENT: YES

Na osnovu ovih pravila sistem nije u mogućnosti da potpuno odredi rešenje problema, pa inicira subfrejm TIPSKI_OBLICI. U ovom subfrejmu se nalaze opšte karakteristike, odnosno parametri i pravila za određivanje materijala kućišta (MA), identifikacionog broja kućišta (IDS) i oznake tipskog oblika (TO). Subfrejmovi koji se odnose na tipске oblike iniciraju se parametrima: dimenzionim karakteristikama (DK), hrapavošću obradene površine (HOP) i tehnološko-dimenziono-geometrijskim karakteristikama (TDG) tipskog oblika, kao i parametrima koji se odnose na prepoznavanje reznih modula alata i režima rezanja (GTA, DIA, MRA, RER). Ciljni parametri su kodovi tipskih tehnoloških zahvata, odnosno redosled zahvata pri obradi tipskog oblika.

Mehanizam za zaključivanje upravlja procesom izbora redosleda zahvata i vrši pretraživanje kroz strukturu. Pri tome se u procesu pretraživanja za geometrijsko prepoznavanje koristi metod olančavanja pravila unazad, a za tehnološko prepoznavanje metod olančavanja pravila unapred.

Deo izlaznih rezultata (tipski tehnološki zahvat) za uočeni TO705 za kućište prenosnika 140S-3 prikazan je na slici 5.



Slika 5. Izgled ekrana dela izlaznih rezultata (tipskog tehnološkog zahvata)

3.0 ZAKLJUČCI

Predložena metodologija projektovanja, bazirana na primeni inženjerstva znanja, uslovljena je veoma velikim brojem različitih varijanti rešenja, koja su često čisto empirijskog karaktera, i ne mogu se matematički formalizovati na prihvatljiv način.

Realizovani proces automatizovanog interaktivnog projektovanja je jednostavan i efikasan. Realizuje se brzo i ne zahteva posebno tehnološko znanje korisnika, osim za utvrđivanje redosleda izvođenja obrada navedenih tipskih oblika (u cilju formiranja neophodne tehnološke dokumentacije).

Određene korekcije nepreciznosti pravila odlučivanja, kao i korekcije u bazi podataka pokazuju da se u toku eksploatacije razvijenog sistema relativno lako može vršiti njegova dalja nadgradnja.

Izlazni rezultati sistema su zadovoljavajući, pouzdani, dovoljno opšti i praktično primenljivi, prvenstveno jer su zasnovani na široko analiziranim i vrednovanim merodavnim informacijama i znanjima iz oblasti tehnologije obrade rezanjem (kako literaturnim tako i proizvodnim).

Na osnovu dobijenih rezultata automatizovanog projektovanja procesa obrade moguće je efikasno oformiti svu neophodnu tehnološku dokumentaciju za obradne centre.

4.0 LITERATURA

- [1] Altling L., Zhang H.: Computer Aided Process Planing: the state-of-the art survey, *International Journal Production Researching*, Vol.27, No.4, 1989.
- [2] Banjac D., Đukanov R., Todić V.: Prilog izgradnji tehnološke banke podataka za obradne centre u RO "Sever", Subotica, XIV Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1984.
- [3] Chang T.C.: Expert Process Planning for Manufacturing, *Addison-Wesley*, 1991.
- [4] Eskicioglu H., Davies B.J.: An Interactive Process Planning System for Prismatic Parts, *Annals of the CIRP*, Vol.32, No.1, 1983.
- [5] Novović D.: Prilog izgradnji sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa obrade rezanjem kućišta prenosnika na obradnim centrima primjenom ekspertnih sistema, magistarski rad, *Mašinski fakultet*, Podgorica, 1996.
- [6] Milačić V.: Teorija projektovanja tehnoloških sistema - Proizvodni sistemi III, *Mašinski fakultet*, JUPITER - zajednica, Beograd, 1987.
- [7] Mutel B.: Computer-Aided Group Technology Integrated System Manufacturing Technology, *Annals of the CIRP*, Vol.37, No.1, 1988.
- [8] Putnik G.: Prilog za izgradnju ekspertnog sistema za izbor alata za obradni centar, magistarski rad, *Mašinski fakultet*, Beograd, 1988.
- [9] Reference Guide for Personal Consultant Plus, *Texas Instruments Incorporated*, Texas, 1986.
- [10] Štampfer M.: Radak S.: Ekspertni sistemi za integralno projektovanje tehnologije za obradne centre, *Zbornik radova V simpozijuma o elektromehaničkim prenosnicima*, Subotica, 1995.
- [11] Veljović A.: Elementi ekspert sistema za projektovanje tehnoloških procesa, *Mašinski fakultet*, JUPITER - zajednica, Beograd, 1990.

SELECTION OF SEQUENCE BY USE OF EXPERT SYSTEMS IN PROCESS PLANNING FOR MACHINING CENTRES

Abstract

Presented in this paper is the concept for expert system - based selection of cut sequence in process planing for machining of prismatic parts on machining centres. Due to its generality and flexibility, the concept is equally applicable for other Flexible Manufacturing structures in cases of rotational and other parts.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

R. Puzović, M. Kalajdžić¹

SISTEM ZA INTERAKTIVNO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA OPERACIJE PROSTRUGIVANJA NA OBRADNOM CENTRU²

Rezime:

U radu se daje struktura sistema za interaktivno projektovanje tehnoloških procesa na obradnim centrima za operacije prostrugivanja. Posebna pažnja u ovom radu posvećena je opisu metodologije koja je korišćena za formiranje ovog sistema. Na primerima obrade otvora prostrugivanjem na delu koji je predviđen za obradu na OC HBG80, dati su neki od izlaznih rezultata.

1.0 UVOD

Potreba za novim proizvodima nameće za cilj projektovanje proizvoda i projektovanje tehnoloških procesa za njegovu izradu. Obe aktivnosti su po pravilu veoma složene i zahtevaju znanje i veštinu većeg broja ljudi različitih kvalifikacija. Broj ljudi i nivo njihovog znanja za ovladavanje tehnološkim procesom respektivno rastu sa složnošću proizvoda. Prilikom projektovanja tehnoloških procesa treba voditi računa o svim međujezama u transformaciji polaznog materijala u gotov deo ili proizvod. Mera ovih međujeza je stepen iskorišćenja raspoloživih resursa u: energiji, obradnom sistemu i radnoj snazi. To neminovno nameće potrebu za nizom dokumenata radi razmene podataka i informacija između pojedinih subjekata angažovanih u realizaciji tehnološkog procesa. Za manje složene proizvode manualna izrada tehnološke dokumentacije i njeno praćenje u realnom vremenu je moguće, dok je za složene i vrlo složene proizvode kao što su: avioni, motorna vozila, alatne mašine i slično veoma teško ili nemoguće. Zbog toga je primena računara za projektovanje tehnoloških procesa nužna. Ova nužnost se nameće i zbog brzine reagovanja u cilju razrešavanja zastoja u proizvodnom procesu, otkaza podsistema u obradnom sistemu, poremećaja na tržištu, zamene tehnologije itd. Takodje zahvaljujući velikoj brzini obrade podataka mogu se ispitati razna alternativna rešenja i izvršiti proces optimizacije. U cilju poboljšanja projektovanja (planiranja) tehnoloških procesa razvijen je sistem za interaktivno projektovanje tehnoloških procesa u daljem tekstu SIPTP-a sa posebnim osvrtom na opis modula za izbor alata.

¹ Mr Puzović Radovan, asistent, dr Kalajdžić Milisav, redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd, 27 marta br. 80.

² Radjeno u okviru strateškog projekta S.5.03.65.293 pod nazivom: Fleksibilni tehnološki sistemi i fleksibilna automatizacija u industriji prerade metala u čijem je finansiranju učestvuje republički Fond za tehnološki razvoj.

2.0 SRUKTURA SIPTP-a ZA OPERACIJE PROSTRUGIVANJA NA OC

Automatizacija tehnološke pripreme proizvodnje je jedan od osnovnih pravaca ka povećanju efikasnosti proizvodnje uopšte. Sa razvojem računarskih tehnologija ovaj proces dobija sve savršeniju tehnološku bazu tako da se sve više automatizuju svi procesi koji se ponavljaju i koji traže duže vreme za pripremu. Automatizacija ovih procesa je išla u pravcu razvoja sistema, koji su zatvoreni za tehnologa i omogućavaju mu kvalitetno izvršenje zadataka sa manjim iskustvom i nižim nivoom obrazovanja. Dok sistemi za interaktivan rad, zahtevaju viši nivo obrazovanja i veće iskustvo tehnologa. U cilju pružanja doprinosa automatizaciji projektovanja tehnoloških procesa razvijen je SIPTP-a za operacije prostrugivanja na OC (slika 1). SIPTP-a (struktura prikazana na slici 3) je koncipiran na modularnom principu i predviđen je za rad na personalnim računarima. On omogućava tehnologu da u dijalogu sa računarom preko menija izvrši izbor svih potrebnih podataka za projektovanje tehnološkog procesa (za izabrani deo) iz baze podataka. Modularna struktura celog sistema SIPTP-a je takva da se može proširivati bez bitnijih poremećaja strukture sistema u celini.

2.1 Modul za izbor alata

Sobzirom da su OC visokoautomatizovane mašine one zahtevaju i alate koji će biti prilagodjeni za efikasnu realizaciju niza posebnih funkcija u okviru realizacije obradnih procesa u uslovima pojedinačne proizvodnje. Zadovoljenje tih posebnih zahteva može se ostvariti korišćenjem modularnih alata (seta alata). U literaturi postoji veliki broj različitih pravila i procedura za izbor alata u zavisnosti od: obratka (konstrukcija, materijal itd), mašine (mere i oblika otvora glavnog vretena za prihvat alata), režima rezanja, položaja površine za obradu na stolu mašine itd. Razvijeni modul za izbor alata zasnovan je na na pravilima koja su data u [5] i odnosi se na izbor: držača rezne pločice, rezne pločice od tvrdog metala, medjuelemenata i osnovnih nosača. Prema tim pravilima uspostavljene su veze izmedju pojedinih entiteta preko njihovih atributa, tako da korisnik (tehnolog) u interaktivnom dijalogu sam donosi odluku o izboru pojedinih entiteta. tok interaktivnog dijaloga prikazan je na slici 4 za primer obrade otvora "A" ($\phi 80 \times 90$) na kućištu (slika 2). Dok je izgled izlaznog dokumenta dat na slici 5.

3.0 ZAKLJUČAK

Prikazani sistem predstavlja relativno jeftino rešenje koje ne zahteva dodatna sredstva za nabavku specijalnog hardware. Kvalitet projektovanog tehnološkog procesa zavisi od znanja kojim raspolaže korisnik, kao i od kvaliteta podataka u bazi podataka. Sistem je pogodan za primenu u malim preduzećima u industriji prerade metala. Dalji pravci razvoja su: proširivanje baze podataka, uvođenje grafičkih menija za komunikaciju sa računarom i poboljšanje korisničkih interfejsa (posebno interfejsa za CAD).

4.0 LITERATURA

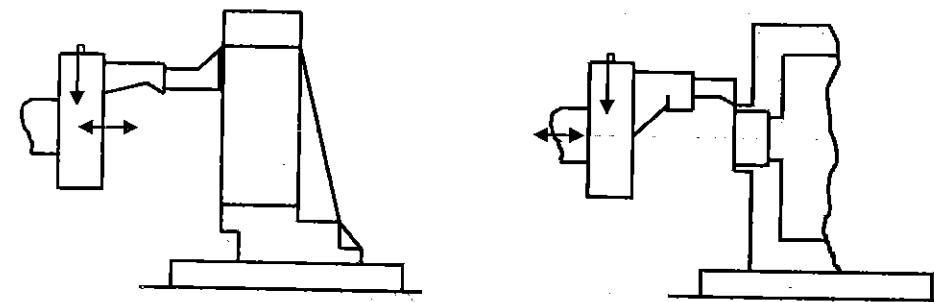
- [1]Bojanić, P., Kalajdžić, M.; Technological Pattern REcognition as the Basis for Integration of CAD/CAPP/CAM System, The first World Congress on Intelligent Manufacturing Processes and Systems, Puerto Rico, 1995.
- [2]Rho,H.,M., Geelink,R., Kals,H.J.J.; An Integrated Cutting Tool Selection and Operation Sequencing Method, Annals of the CIRPP Vol 41/1/1992, pp.517-520.
- [3]Puzović, R.; Prilog projektovanju tehnoloških procesa obrade za obradne centre, Magistarski rad, Beograd, 1993.
- [4]N.N.; COROPLAN Planovi obrade na NUMA, Sandvik tehnologije, materijal za seminar, LOLA institut, Beograd,1987.
- [5]N.N.; COROMANT katalogi, UNICOR, Beograd, 1995.

R. Puzović, M. Kalajžić

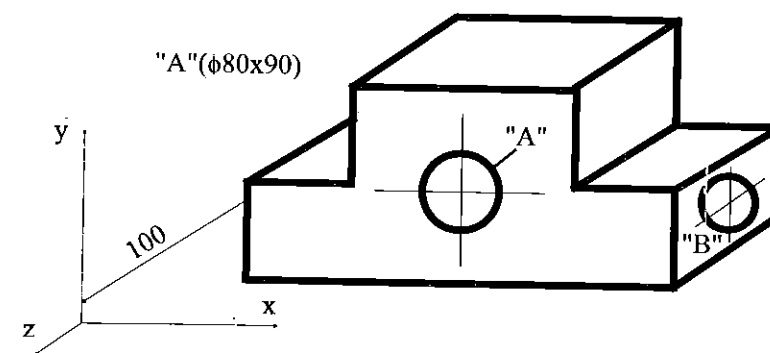
SYSTEM FOR INTERACTIVE DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR INTERNAL TURNING ON TEA MACHINING CENTER

Summary:

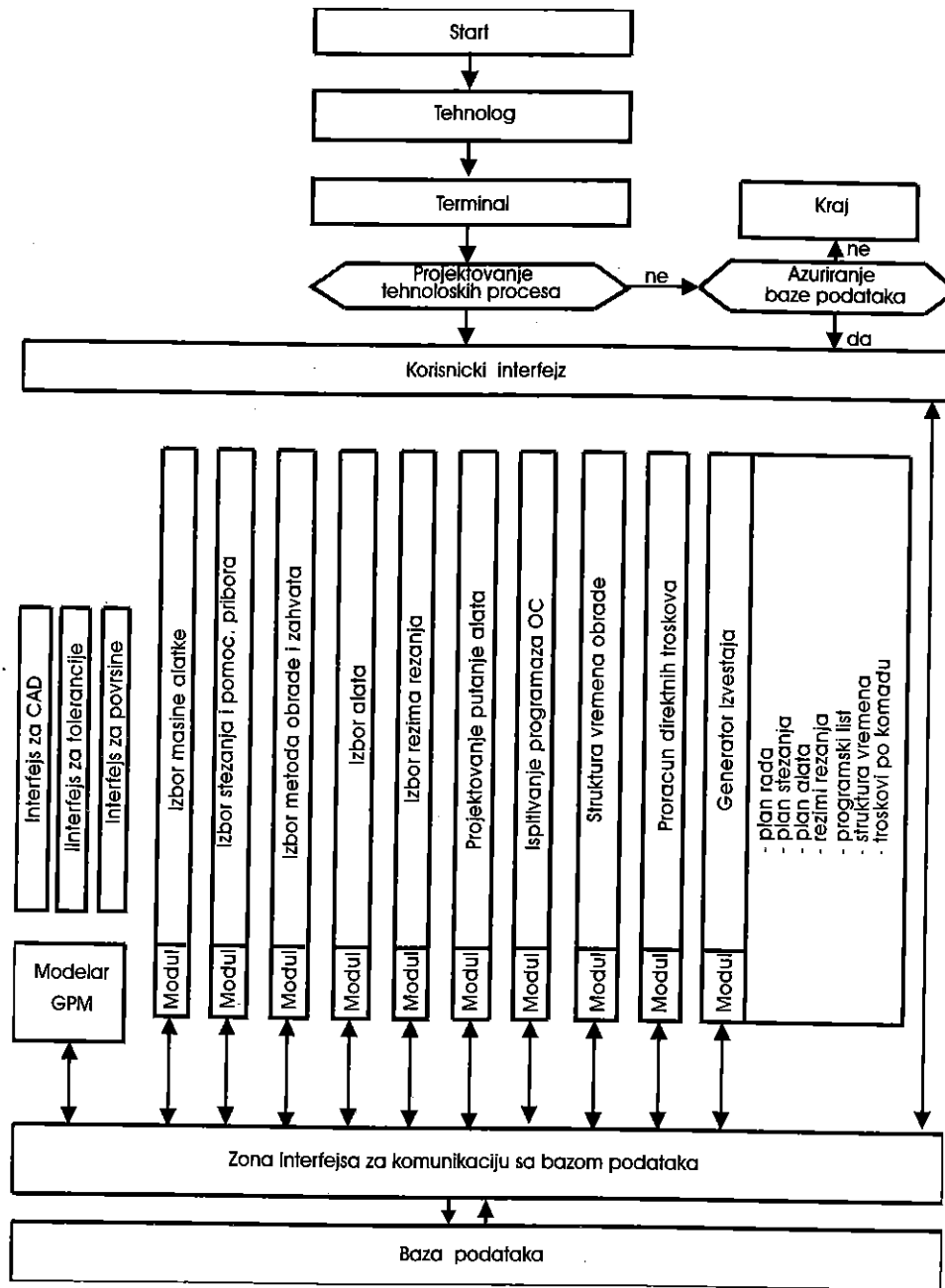
The structure of system for interactive design of technological processes on machining centers for internal turning is given in this paper. Special attention in this paper is shown to the description of methodology which is used for forming this system. Some results are shown on examples of hole machining by internal turning on the workpiece predicated for machining on OC HBG80.



Slika 1. Prikaz elementarnih operacija prostrugivanja na OC



Slika 2. Prikaz dela na kome je vršena obrada



Slika 3 Prikaz strukture SIPTP-a za operacije prostrugivanja na OC

Izbor zahvata etapne obrade		
Ident br.	Naziv zahvata	Etapa obrade
250000	Uzdužno struganje	Gruba
250001	Uzdužno struganje	Gruba završna
250002	Uzdužno struganje	Fina

Izbor tipa držača rezne pločice		
Ident br.	Oznaka tipa držača	Namena
600000	T-MAX P	Spoljašnja gruba
600001	T-MAX S	Unutrašnja fina

Izbor držača rezne pločice prema napadnom uglu		
Ident br.	Oznaka grupe držača	Napadni ugao
600030	CTP	60.00
600050	CTGP	90.00

Izbor držača rezne pločice (kompletno)					
Ident broj	Oznaka držača pločice	Veza za nosač		Ključ za pločicu	Dužina sečiva
		Tip	Mera		
600061	CTGPL 16CA-16	200	21x20x63	TPMR-16	16.00
600062	CTGPL 12CA-16	200	20x15x55	TPGR-16	16.00

Izbor rezne pločice (kompletno)				
Ident broj	Oznaka pločice	Materijal pločice	ISO oznaka namene	Dužina rezne ivice
700080	TPMR 16 03 04	PGP 415	P15	16.00
700086	TPMR 16 03 08	P6	P40	16.00

Izbor medjuelemenata završen: DA NE

Izbor medjuelemenata						
Preostala duž. do kraj. tač: 190.00		Veza za nosač		Veza za alat		Programska dužina
Ident br.	Oznaka medjuelementa	Tip	Mera	Tip	Mera	
400001	R470 S-63 63 45-16	100	63	200	21x20	63
400020	R470 S-80 90 72-20	100	80	200	21x20	90

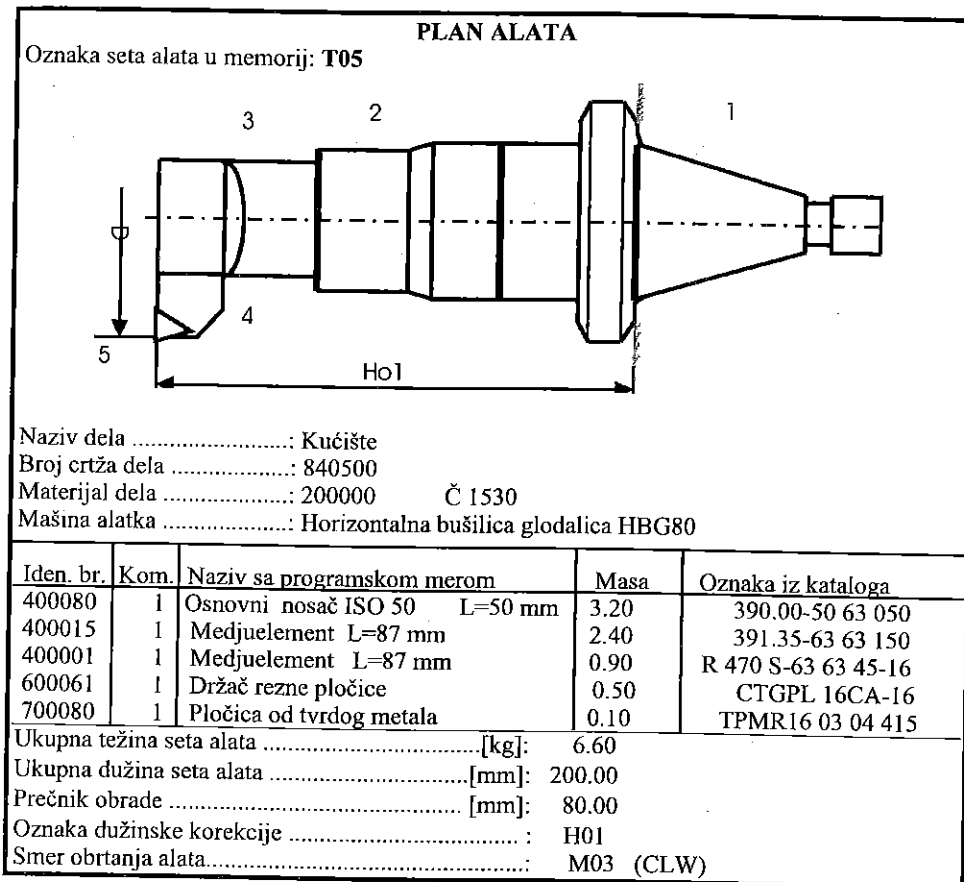
Izbor medjuelemenata završen: DA NE

Izbor medjuelemenata						
Preostala duž. do kraj. tač: 127.00		Veza za nosač		Veza za alat		Programska dužina
Ident br.	Oznaka medjuelementa	Tip	Mera	Tip	Mera	
400011	391.35-63 80 150	700	80	100	63.00	87.00
400015	391.35-63 63 150	700	63	100	63.00	87.00

Izbor medjuelemenata završen: DA NE

Izbor osnovnog nosača						
Preostala duž. do kraj. tač: 40.00		Veza za mašinu		Veza za alat		Programska dužina
Ident br.	Oznaka osn. nosača	Tip	Mera	Tip	Mera	
400080	390.00-50 63 050	700	ISO 50	100	63.00	50.00
400082	390.00-50 80 050	700	ISO 50	100	63.00	50.00

Slika 4 Prikaz interaktivnog dijaloga u modulu za izbor alata



Slika 5 Prikaz dokumenta plan alata



Mr Savićević Sreten, Prof. dr Vukasojević Radomir, Mr Batljan Ranko*)

**ANALIZA NAPONA I DEFORMACIJA U KONSTRUKCIJSKIM
 ELEMENTIMA OBLIKA ZAVOJNE LJUSKE**

Rezime:

U radu su date metode proračuna i njihova primjena na konstrukcijske elemente oblika zavojne ljuske, koji se koriste na mašinama i uređajima specijalne namjene. Za statičku analizu naprezanja i deformacija konstrukcija ovog oblika ljuske, korišten je analitički i numerički pristup. Polazeći od osnovnih pretpostavki i jednačina teorije ploča i ljuski, a na osnovu definisanih graničnih uslova, data su rješenja diferencijalnih jednačina za specijalne slučajeve zavojne ljuske. Izložen je postupak numeričkog proračuna metodom konačnih elemenata. Primjena ovog razvijenog numeričkog metoda, korištenjem tročvorovnog i četvorčvorovnog elementa ljuske sa petnaest odnosno dvadeset stepeni slobode omogućila je proračun zavojne ljuske oblika konoidnog helikoida u opštem slučaju. Analiza analitičkog i numeričkog pristupa u proračunu specijalnih slučajeva ove ljuske je pokazala visoku tačnost rezultata, ispravnost uvedenih pretpostavki i izbora oblika i mreže konačnih elemenata. Sproveden je metod proračuna radnog elementa čistača snijega RS - 2.

1. UVOD

Zavojna ljuska kao konstrukcijski element se u mašinskim konstrukcijama susreće kod uređaja neprekidnog transporta - zavojnih transportera, kod građevinskih mašina naročito specijalnih mašina za čišćenje snijega, kod mašina specijalne namjene za eksploataciju rudnih nalazišta i drugih. U oblasti primijenjene mehanike deformabilnog tijela poznate su analitičke metode proračuna ploča i ljuski i za specijalne slučajeve su data rješenja graničnih zadataka u zatvorenom obliku. Diferencijalne jednačine pomoću kojih se opisuje stanje napona i deformacija ljuski osim nekih izuzetaka nemaju rješenje u zatvorenom obliku. Rješenja ovih jednačina pomoću klasičnih numeričkih metoda, kao što su diferencna metoda i metode numeričke integracije, takođe nemaju opšti karakter, već obično važe za određeni oblik ljuske, posebne uslove oslanjanja ili posebnu vrstu opterećenja. Zbog toga proračun elemenata oblika zavojne ljuske razvijenim numeričkim metodama u novije vrijeme otvara nove mogućnosti analize međusobnih uticaja karakteristika ove ljuske na stanja napona i deformacija. Međutim to ne znači da je primjena metoda konačnih elemenata (MKE) u analizi i proračunu ljuski jednostavna. Naprotiv modeli za proračun ljuski po MKE znatno su složeniji od odgovarajućih modela za proračun drugih konstrukcijskih oblika. Eksperimentalna ispitivanja na modelu ili originalnoj konstrukciji su naročito

*) Mr Savićević Sreten, Prof. dr Vukasojević Radomir, Mr Batljan Ranko, "3D Centar", Mašinski fakultet Podgorica

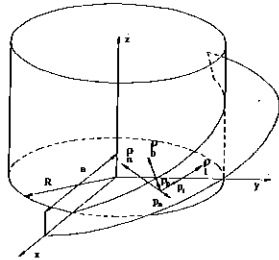
kod ovakvih konstrukcija izuzetno skupa i složena.

Predmet ovoga rada je analiza i razvoj metoda proračuna i njihova primjena na konstrukcijske elemente oblika zavojne ljuske. Za statičku analizu naponskog i stanja deformacija konstrukcija zavojne ljuske korišten je analitički i numerički pristup. Nakon primjene numeričkih metoda u analizi međusobnih uticaja karakteristika zavojne ljuske i opterećenja na stanje napona i deformacija izvršena je uporedba sa analitičkim metodama proračuna specijalnih slučajeva zavojne ljuske i urađen proračun konstrukcije mašine specijalne namjene.

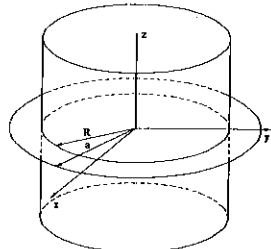
2. MODELIRANJE SPECIJALNIH OBLIKA ZAVOJNE POVRŠINE U POLJU MOGUĆIH OBLIKA

U opštem slučaju zavojna ljuska je dio površine konoidnog helikoida koji je po zavojnoj liniji postavljen na cilindričnu ljusku kao na slici 1. Opterećenje koje na ljusku djeluje može biti koncentrisano, kontinualno ili kombinovano, proizvoljnog smjera. Može se razložiti na komponente u pravcu tangente, normale i binormale.

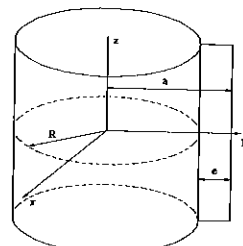
U specijalnom slučaju, kada je visina hoda zavojne linije $H=0$, zavojnica je kružnica a konoidni helikoid je ravan Oxy . Ako posmatramo dio te ravni kao prsten unutrašnjeg prečnika R i spoljašnjeg a na cilindričnoj ljusci poluprečnika R dobićemo specijalni slučaj prstenaste ploče na cilindričnoj ljusci prikazan na slici 2. Opterećenje može biti u ravni prstenaste ljuske ili normalno na nju.



Slika 1 Zavojna ljuska na cilindričnoj ljusci



Slika 2 Prstenasta ploča na cilindričnoj ljusci



Slika 3 Pravougaona ploča na cilindričnoj ljusci

Ako je visina hoda beskonačna odnosno vrijednost konstante $b=\infty$, tada je zavojnica prava linija paralelna Oz osi. Tada imamo specijalni slučaj pravougaone ploče visine e , koja je postavljena na cilindričnu ljusku poluprečnika R i normalna je na ravan xOy , kao na slici 3. U daljim razmatranjima se analizira model koji ima n pravougaonih ploča na cilindričnoj ljusci. Opterećenje u opštem slučaju može biti proizvoljno, a može se posmatrati dio opterećenja koji leži u ravni ploče ili je normalan na nju.

3. ANALITIČKA ANALIZA SPECIJALNIH SLUČAJEVA ZAVOJNE LJUSKE

3.1. Kružna ploča na cilindričnoj ljusci. Opterećenje pritiskom normalnim na ravan ploče

Ovdje je urađen analitički postupak rješavanja problema kružne ploče, opterećene normalnim pritiskom p , koja je postavljena na cilindričnoj ljusci kao na slici

2. Debljina ploče je δ a debljina ljuske je h . Koristeći poznatu teoriju savijanja kružnih ploča i cilindričnih ljuski izvode se rješenja diferencijalnih jednačina za granične uslove u ovom konkretnom slučaju.

Rješavamo diferencijalnu jednačinu

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right) = \frac{Q}{D_p}$$

Veličina transverzalne sile Q na rastojanju r od središta ploče u ovom specijalnom slučaju određena je jednačinom

$$Q = \frac{p\pi(a^2 - r^2)}{2\pi r} = \frac{p}{2} \left(\frac{a^2}{r} - r \right)$$

Kada uvrstimo ovu vrijednost u diferencijalnu jednačinu imamo

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dw}{dr} \right) = \frac{p}{2D_p} \left(\frac{a^2}{r} - r \right)$$

čije je rješenje:

$$w = \frac{p}{2D_p} \left(\frac{a^2 r^2 \ln r}{4} - \frac{a^2 r^2}{4} - \frac{r^4}{32} \right) + C_1 \frac{r^2}{4} + C_2 \ln r + C_3$$

Sada se mogu napisati izrazi za napadne momente M_r i M_t :

$$M_r = -C_1 D_p \frac{1+\nu}{2} + C_2 D_p \frac{1-\nu}{r^2} - \frac{p}{2} \left[\frac{a^2 \ln r}{2} (1+\nu) + \frac{a^2}{4} (1-\nu) - \frac{r^2}{8} (3+\nu) \right]$$

$$M_t = -C_1 D_p \frac{1+\nu}{2} + C_2 D_p \frac{\nu-1}{r^2} - \frac{p}{2} \left[\frac{a^2 \ln r}{2} (\nu+1) + \frac{a^2}{4} (\nu-1) - \frac{r^2}{8} (3\nu+1) \right]$$

Razmatrajmo okruglu cilindričnu ljusku poluprečnika R i debljine h . Ako pretpostavimo da u ovom specijalnom slučaju nema pritiska Z na površinu ljuske tada diferencijalna jednačina ima oblik

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{\nu N_x}{RD}$$

Normalna sila po jedinici dužine presjeka ljuske upravno na x pravac N_x je konstantna za svako x i u ovom slučaju je određena izrazom

$$N_x = \frac{p\pi(a^2 - R^2)}{2\pi R} = \frac{p(a^2 - R^2)}{2R}$$

Rješenje diferencijalne jednačine ima oblik

$$w = e^{-\beta x} (C_4 \cos \beta x + C_5 \sin \beta x) + \frac{\nu p (a^2 - R^2)}{2Eh}$$

Sada se mogu napisati izrazi za M_x i M_ϕ

$$M_x = -D\beta^2 e^{-\beta x} (2C_4 \sin \beta x - 2C_5 \cos \beta x)$$

$$M_\phi = -D\nu\beta^2 e^{-\beta x} (2C_4 \sin \beta x - 2C_5 \cos \beta x)$$

Integracione konstante C_1, C_2, \dots, C_5 ćemo odrediti iz graničnih uslova koji se za ovakav model mogu postaviti na sledeći način

$$w_{(r=R)} = 0 \quad \frac{dw}{dr} \Big|_{(r=R)} = \frac{dw}{dx} \Big|_{(x=0)} \quad M_{r(r=R)} = 2M_{x(x=0)} \quad M_{r(r=a)} = 0 \quad w_{(x=0)} = 0$$

Prva i četvrta jednačina definišu granične uslove na ploči oblika kružnog prstena. Druga i treća jednačina definišu granične uslove na spoju kružno prstenaste ploče i

cilindrične ljske (izjednačavanje nagiba i napadnih momenata u zajedničkom presjeku). Peta jednačina predpostavlja da se pomijeranja zajedničkih tačaka ploče i ljske u radialnom pravcu mogu zanemariti.

Ovaj sistem graničnih uslova zamjenom odgovarajućih izraza za pomijeranja i momente koje smo predhodno odredili ima oblik.

$$C_1 \frac{R}{2} + C_2 \frac{1}{R} - C_4 \beta + C_3 \beta = -\frac{p}{2D_p} \left[\frac{a^2 R}{2} \left(\ln R - \frac{1}{2} \right) - \frac{R^3}{8} \right]$$

$$C_1 \frac{R^2}{4} + C_2 \ln R + C_3 = -\frac{p}{2D_p} \left[\frac{a^2 R^2}{4} (\ln R - 1) - \frac{R^4}{32} \right]$$

$$C_1 D_p \frac{1+\nu}{2} - C_2 D_p \frac{1-\nu}{R^2} + C_3 4\beta^2 D = -\frac{p}{2} \left[\frac{a^2 \ln R}{2} (1+\nu) + \frac{a^2}{4} (1-\nu) - \frac{R^2}{8} (3+\nu) \right]$$

$$C_1 D_p \frac{1+\nu}{2} - C_2 D_p \frac{1-\nu}{a^2} = -\frac{p}{2} \left[\frac{a^2 \ln a}{2} (1+\nu) + \frac{a^2}{4} (1-\nu) - \frac{a^2}{8} (3+\nu) \right]$$

$$C_4 = -\frac{vp(a^2 - R^2)}{2Eh}$$

Na konkretnom primjeru [6] je primijenjena izložena analitička metoda proračuna kružne ploče na cilindričnoj ljski.

3.2. Pravougaone ploče na cilindričnoj ljski. Opterećenje normalno na ravan ploče

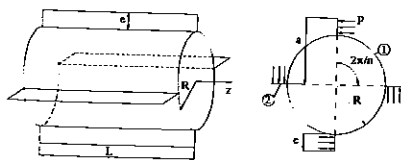
Ovdje je razmatran model konstrukcije koju u opštem slučaju čini n pravougaonih ploča širine e i debljine δ postavljenih simetrično na cilindričnoj ljski poluprečnika R i debljine h kao na slici 4. Ploče su opterećene ravnomjerno normalnim pritiskom p . Moment uvijanja u poprečnom presjeku je funkcija koordinate z i određen je izrazom

$$M_1 = n \int_R^a p \cdot z \cdot r dr \quad M_1 = \frac{n \cdot p \cdot z (a^2 - R^2)}{2}$$

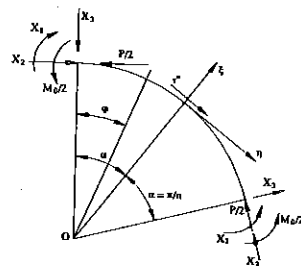
Ova vrijednost momenta uvijanja se može izraziti kao zbir momenata koji se odnose na uvijanje tankozidnog zatvorenog dijela poprečnog presjeka M_{t_1} i uvijanje tankozidnog otvorenog dijela poprečnog presjeka M_{t_2} .

$$M_t = M_{t_1} + M_{t_2}$$

Na osnovu teorije torzije tankozidnih poprečnih presjeka dobijamo izraze za momente torzije



Slika 4 Pravougaone ploče na cilindričnoj ljski



Slika 5 Element ljske jedinične širine između dvije pravoug. ploče

$$M_{t_1} = \frac{2G\theta}{z} I_{0_1}^* = \frac{M_1}{1 + \frac{ne\delta^3}{6R^3\pi h}} \quad M_{t_2} = \frac{2G\theta}{z} I_{0_2}^* = \frac{M_1 ne\delta^3}{3 \left(2R^3\pi h + \frac{ne\delta^3}{3} \right)}$$

i izraze za smičuće napone

$$\tau_1 = \frac{M_{t_1}}{2R^2\pi h} = M_1 \frac{R}{2R^3\pi h + \frac{ne\delta^3}{3}} \quad \tau_2 = \frac{M_{t_2}}{\frac{ne\delta^2}{3}} = M_1 \frac{\delta}{2R^3\pi h + \frac{ne\delta^3}{3}}$$

Očigledno je da je odnos smičućih napona

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{R}{\delta} \quad \tau_1 \gg \tau_2$$

Dakle smičući napon na zatvorenom dijelu presjeka je znatno veći od smičućeg napona na otvorenom dijelu konture kod ovakvih modela konstrukcije.

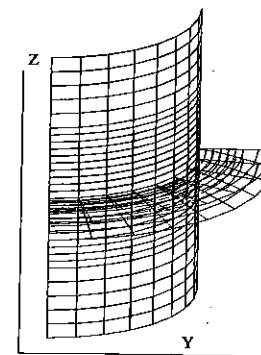
Razmatrajmo ravnotežu dijela ljske jedinične širine - trake na dijelu između dvije pravougaone ploče prikazane na slici 5. Iz uslova ravnoteže dobijamo presječnu silu X_3 i izraz za moment savijanja $M_t(\varphi)$

$$X_3 = \frac{p(a-R)}{2} \left(\frac{\cos \frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}} - \frac{a+R}{2R \frac{\pi}{n}} \right) \quad M_t(\varphi) = \frac{p(a-R)R}{2} \cos \varphi \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} \right) + \frac{p(a^2 - R^2)}{4} \left(\frac{\varphi}{\alpha} - 1 \right)$$

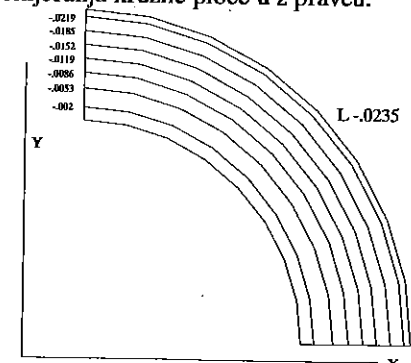
4. NUMERIČKE METODE PRORAČUNA

4.1 Proračun kružne ploče na cilindričnoj ljski. Opterećenje normalno na ravan ploče

Ovdje je analiziran numeričkim pristupom isti problem iz paragrafa 3.1. za koji je sprovedena analitička metodologija statičke analize. Korišćen je tročvorovni i četvorčvorovni element ljske iz programskog paketa ALGOR. Zbog simetričnosti geometrije modela i opterećenja razmatrana je jedna četvrtina modela što je bilo moguće uraditi sa ovim programskim paketom i što omogućava efikasnije rješavanje problema sa mnogo manjim brojem konačnih elemenata a istovremeno izgled modela u deformisanom stanju. Na slici 7 su data pomjerenja kružne ploče u z pravcu.



Sl. 6

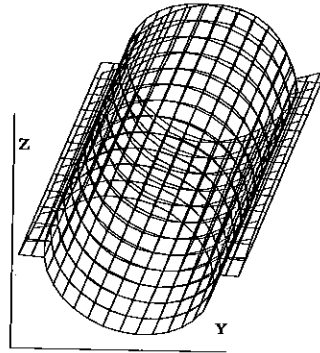


Sl. 7

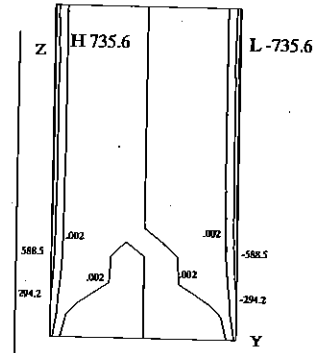
4.2. Proračun modela pravougaonih ploča na cilindričnoj ljusci

Urađen je proračun modela koji je tretiran u tački 3.2.

Na slici 8 je prikazana mreža konačnih elemenata i izgled modela u deformisanom stanju. Na slici 9 su date vrijednosti momenta savijanja po jedinici dužine u x pravcu za ljusku.



Sl. 8



Sl. 9

5. PRORAČUN RADNOG ELEMENTA ČISTAČA SNIJEGA RS - 2

U ovom radu je metodom konačnih elemenata izvršena analiza napona i deformacija radnog elementa rotacionog čistača snijega RS - 2, novog proizvoda Holding kompanije "Radoje Dakić" iz Podgorice. Rotacioni čistač snijega RS - 2 namijenjen je za raščišćavanje puteva i aerodroma od sniježnih padavina u svim uslovima rada. Konstrukcijsko rješenje radnog organa i izvanredne manevarske karakteristike nosećeg vozila čistača snijega omogućavaju njegovu efikasnost pri raščišćavanju snijega u najtežim uslovima rada.

Radni organ čistača snijega je kompaktna zavarena konstrukcija. Sastoji se iz dva dijela sa zajedničkom osom. Radni elementi su cilindrične ljuske, na koje su na spoljašnjoj površini zavarene lopatice za rezanje i sitnjenje snijega. Lopatice su izrađene u obliku zavojnih ljuski na jednoj polovini cilindra sa lijevim, a na drugoj polovini sa desnim usmjerenjem. Zavojne ljuske su spojene konusnim elementom koji je sa spoljašnje strane ukrućen cilindričnim ukrućenjem. Ovakva konstrukcija omogućava zahvatanje, usmjeravanje i izbacivanje snijega kroz dva usmjerivača koji se mogu kontinualno obrtati u željenom pravcu.

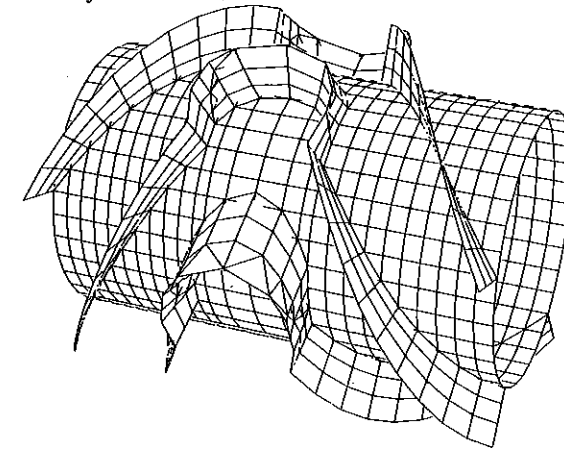
5.1. Modeliranje strukture radnog elementa. Statički proračun

Modeliranje strukture radnog elementa snjegočistača je izvršeno korišćenjem predprocesora programskog paketa ALGOR za generaciju mreže. Korišćen je konačni element ploče - ljuske, identifikovan u ovom programu brojem 6.

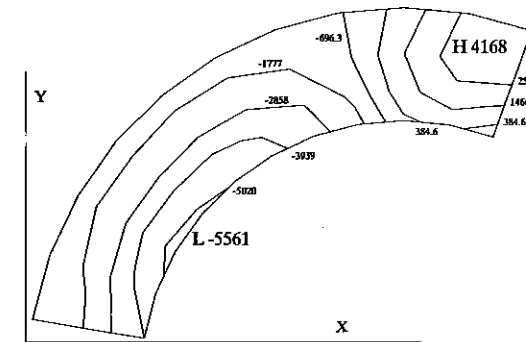
Modeliranje mreže konusne ljuske i cilindričnog ukrućenja je urađeno na osnovu predhodne analitičke analize i dobijanja linija prodora ovih geometrijskih oblika. Analitički dobijene linije prodora konusne ljuske sa dvije cilindrične ljuske su omogućile preciznu generaciju mreže ovog dijela konstrukcije.

Na slici 10 je prikazana mreža konačnih elemenata za ovu konstrukciju. Na slikama 11 i 12 su prikazane vrijednosti glavnog napona S_1 za zavojnu ljusku sa desnim

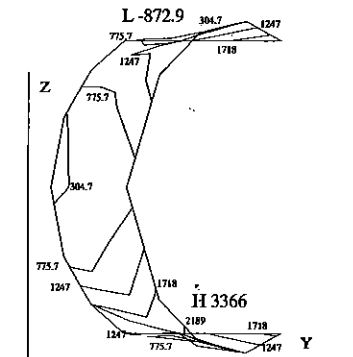
usmjerenjem i konusnu ljusku.



Sl. 10



Sl. 11



Sl. 12

6. ZAKLJUČAK

Analiza zavojne ljuske kao elementa koji se susreće u konstrukcijama mašina i uređaja specijalne namjene u ovom radu je urađena primjenom metoda konačnih elemenata i za konkretne modele su dobijeni rezultati u polju napona i deformacija. Potvrda efikasnosti MKE kao numeričke metode u statičkoj analizi ovog složenog konstrukcijskog elementa je u visokoj podudarnosti dobijenih sa rezultatima analitičkih proračuna specijalnih slučajeva zavojne ljuske koji su urađeni u prvom dijelu ovog rada.

Predpostavka u analitičkom postupku u tački 3.1. da je u zajedničkim tačkama ploče i ljuske pomjeranje $W_{(x=0)} = 0$ omogućila je efikasno rješavanje sistema jednačina i pokazala svoju punu opravdanost za ovakve mehaničke modele.

Metodom konačnih elemenata sprovedene analize na sistemu kružne ploče na cilindričnoj ljusci sa opterećenjem normalnim pritiskom na površinu ploče u tački 4.1. su dale rezultate koji se na segmentu kružne ploče podudaraju 98%, a na segmentu cilindrične ljuske 92%, sa rezultatima analitičkih analiza koje polaze od poznatih predpostavki teorije ljuski i ploča za tanke ploče sa malim ugibima.

Generacija mreže konačnih elemenata zavojne ljsuske oblika konoidnog helikoida je složen posao koji je urađen korišćenjem polarno - cilindričnih koordinata za definisanje koordinata tačaka - čvorova na zavojnim linijama iste visine hoda i upotrebom četvoročvorovnog i tročvorovnog elementa ljsuske. Na ovom planu, za razliku od cilindričnih, sfernih, konusnih i sličnih modela za koje u mnogim programskim softverima postoje razvijeni programi za generaciju mreže KE u istraživanjima različitih oblika zavojnih površina bi bilo od značaja razvijati programe za njihovu automatsku generaciju.

Sprovedeni metod proračuna radnog elementa rotacionog čistača snijega RS - 2 u tački 5.1 je i ovdje potvrdio značaj i efikasnost MKE u proračunu složenih struktura mašinskih konstrukcija, a urađene analize doprinose daljem uspješnom razvijanju ovog uređaja i moguće ga je koristiti na drugim sličnim elementima oblika zavojne ljsuske kod mašina i uređaja specijalne namjene.

U daljim istraživanjima zavojnih ljsuski je moguće raditi sa konačnim elementima različitog oblika, interpolacijskih funkcija, broja stepeni slobode i slično i vršiti uporedne analize tačnosti rezultata a u cilju razvijanja metodologije dobijanja najoptimalnijih parametara konstrukcije ove ljsuske za zahtijevane konkretne uslove.

7. LITERATURA

- [1] ALGOR Interactive Systems, Users Manual, Pittsburgh 1987. g.
- [2] Bathe K. J., Wilson E, Numerical Methods in Finite Elements Analysis, Prentice - Hall 1976. g.
- [3] Zienkiewicz O., The Finite Elements Method in Engineering Science, McGraw - Hill, London 1971. g., Metod konačnih elementov v tehnike, prevod s englijskogo, Moskva 1975. g.
- [4] Kalajdžić M., Metod konačnih elemenata, Institut za alatne mašine i alate, Beograd 1978. g.
- [5] Tehnička dokumentacija rotacionog čistača snijega RS - 2, Holding kompanija "Radoje Dakić", Podgorica 1992. g.
- [6] Savićević Sreten, Analiza napona i deformacija u konstrukcijskim elementima oblika zavojne ljsuske, Magistarski rad, Beograd, 1995. godine.

Summary:

In these calculations methods and their applications to the constructive elements of the helical shell shape, used in the machines and devices for special application are given. Analytical and numerical methods in static analyses of strain and deformation of structures having this shape, are given. Based on the fundamental assumption and on the equations of the plate and shell theory, according to the boundary conditions, solution of differential equations for particular helical shells are given. In numerical calculation finite element method is used. With the help of derived numerical method where three node and four node shell elements having 15 i. e. 20 degrees of freedom are used, helical shells of any conic shape could be calculated. Applications of the derived analytical and numerical approach to the special cases of these shells, resulted in high precision of solutions, approving that introduced assumptions and choice of shapes and finite element nets are correct. Calculation of the rotation segment of snow cleaner RS - 2 is given.



Sarvan M.* , Dudeski Lj.** , Dukovski V.** , Vrtanoski G.**

UTICAJ KRUTOSTI OSLONACA NA STATIČKO PONAŠANJE NOSEĆE STRUKTURE MAŠINA ALATKI

Rezime

U radu je prikazan uticaj jednog od brojnih faktora na statičko ponašanje noseće strukture mašine alatke u toku eksploatacije, pri čemu je dat jedan postupak za teoretsku identifikaciju ponašanja iste, koji je potom potvrđen eksperimentalnim putem. Za teoretska razmatranja, prilikom definisanja matematičkog modela, korišćena je metoda konačnih elemenata (MKE) preko komercijalnog programa ALGOR FEA. U ovom slučaju, analiza uticaja pojedinih faktora se odnosila na noseću strukturu univerzalnog struga. Eksperimentalna ispitivanja su potvrdila ispravnost postavljenog matematičkog modela, čiji su rezultati sistematizovani i u kondenzovanom obliku ovde predstavljeni.

1. UVOD

Noseća struktura kod alatnih mašina predstavlja jednu od najuticajnijih struktura za ocenu eksploatacionih karakteristika mašine. Otuda proizilazi važnost određivanja njihovog statičkog i dinamičkog ponašanja u procesu eksploatacije. Kod velikog broja alatnih mašina od posebnog je značenja određivanje statičkog ponašanja nosećih struktura koje direktno utiče na tačnost obrade.

Dosadašnja istraživanja vezana za analizu statičkog ponašanja, uglavnom su se odnosila na analizu elemenata radnog prostora (glavno vreteno, nosač alata, stezanje radnog predmeta i alata, itd), dok su noseće strukture, tretirane kao masivne i krute, uglavnom zanemarivane. Medjutim, preliminarne istraživanja, koja su u tom smeru izvršena na Mašinskom fakultetu u Skoplju i preporuke pojedinih autora [6,8] ukazala su na prisustvo značajnih deformacija noseće strukture zbog nepravilnog fundiranja ili nivelisanja mašine. Uticaj postavljanja mašine na tačnost obrade i kvalitet obradene površine ocenjuje se veličinom statičkih pomeranja i vibracija alata i dela, koja se menja pri različitim načinima postavljanja. Ovaj uticaj se dalje, prenosi i na proizvodnost i vek trajanja mašine. S toga, krutost oslonaca ima dominantan uticaj na stabilnost rezanja. Izbor metoda postavljanja mašine je neposredno vezan za klasu tačnosti

* Sarvan Muhamed, Prof. m-r - Viša tehnička škola Uroševac

** Dudeski Ljuban, Prof. d-r - Mašinski fakultet Skopje

** Dukovski Vladimir, Prof. d-r - Mašinski fakultet Skopje

** Vrtanoski Gligorče, m-r asistent - Mašinski fakultet Skopje

mašine, njezine dimenzije i konstruktivne karakteristike. Iz tog razloga, izvršena je šira analiza o uticaju krutosti oslonaca na statičko ponašanje noseće strukture u toku eksploatacije.

2. DEFINISANJE MODELA ZA STATIČKU ANALIZU

Imajući u vidu prisutnu raznovrsnost i složenost oblika struktura, razvijen je znatan broj različitih postupaka za analizu statičkog ponašanja noseće strukture, počev od "klasičnog puta"-preko jednostavnih empirijskih jednačina [1] zasnovanih na iskustvenim i eksperimentalnim saznanjima, do savremenih metoda podržanih kompjuterskom tehnikom.

Razvijene savremene metode i tehnike analize i proračuna struktura odnose se najviše na primenu metoda konačnih elemenata (MKE), tako da je u primeni veliki broj programskih paketa, među njima i sopstveni program [1], ali je za ovu priliku korišćen komercijalni program ALGOR FEA.

Kao osnovni zadatak pri analizi i proračunu, javlja se izbor modela posmatrane noseće strukture, koji treba što bolje da aproksimira stvarno stanje noseće strukture. Postupku modeliranja prethodi detaljno analiziranje sklopnih i radioničkih crteža radi uklanjanja elemenata koji nemaju uticaja, kao i elemenata čiji se uticaj ne želi uzeti u obzir. Zato su izvršene odgovarajuće aproksimacije, a samo modeliranje i stvaranje matematičkog modela je realizovano u više faza i to : diskretizacija strukture sa mrežom konačnih elemenata, definisanje graničnih uslova i definisanje opterećenja.

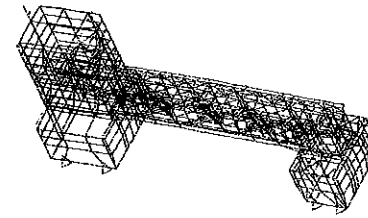
Pri diskretizaciji noseće strukture moguće je formirati neograničeni broj diskretizovanih modela, iz razloga ne postojanja određenih kriterijuma koji bi obezbedili izbor najboljeg od njih; to se ovaj izbor vrši na osnovu inženjerske intuicije. Zbog toga je postupak modeliranja najosetljiviji deo proračuna i analize, a tačnost proračuna zavisi od usvojenog matematičkog modela, izbora tipa i broja konačnih elemenata.

Za potrebe analize i proračuna u ovom radu, uzeta je noseća struktura univerzalnog struga struga PA-30 proizvođača "POTISJE - MORANDO".

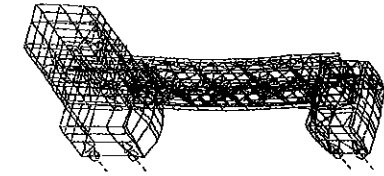
Da bi matematički model bio što verniji fizičkom modelu, pri diskretizaciji pored postolja sa dve nogare, prednje i zadnje, modelirano je i vretenište sa glavnim vretenom i obratkom. Analizirajući datu strukturu, diskretizacija je izvršena sa četiri tipa konačnih elemenata, uzetih iz biblioteke konačnih elemenata programa ALGOR FEA. To su dva elementa u vidu ploča (sa tri i četiri čvorne tačke, i debljine t) sa kojima su diskretizovane sve strane noseće strukture, ukrućenja, rebra i sl., zatim, konačni element grede (definisane sa dve tačke i poprečnim presekom) kojim su diskretizovane vodjice i konačni element štap (definisani sa dve tačke) kojim je diskretizovano glavno vreteno i obradak.

Na osnovu analize fizičkog modela i izabranih konačnih elemenata, izvršena je diskretizacija noseće strukture koja obuhvata 1189 konačnih elemenata, od kojih 1139 konačnih elemenata u obliku ploče, 42 konačna elementa u obliku grede i 8 konačnih elemenata u obliku štapa. Ukupan broj čvornih tačaka tako diskretizovane strukture iznosi 823. Na slici 1 prikazan je matematički model - mreža konačnih elemenata noseće strukture univerzalnog struga.

Usvajanjem konačnih elemenata, definisane su i čvorne tačke, odnosno koordinate čvornih tačaka. Koordinate čvornih tačaka mreže konačnih elemenata noseće strukture tj. modela određene su u odnosu na globalni koordinatni sistem, koji je prikazan na istoj slici (1), a postavljen je tako, da je priprema podataka što jednostavnija, a rezultati što pregledniji.



sl.1. Mreža konačnih elemenata noseće strukture struga - model



sl.2. Pomeranje čvornih tačaka - deformisani model

Nakon diskretizacije, definisani su granični uslovi. Granični uslovi se definišu uvodjenjem oslonaca za noseću strukturu. Za usvojeni model prema slici 1 postavljeno je 8 oslonaca sa ograničenjima u X, Y i Z pravcu i u smeru rotacije Θ_x , Θ_y , Θ_z . Posle postavljanja oslonaca u izabrane čvorne tačke, potrebno je dati podatke o stepenima slobode za svaku čvornu tačku mreže modela, tako da usvojeni model ima 823 čvora u mreži i 4890 stepeni slobode.

U okviru daljih aktivnosti koje su neophodne za statički proračun noseće strukture, potrebno je definisati opterećenje. Za kompleksno istraživanje statičkog ponašanja noseće strukture [2], izradjena je potpuna analiza realnog opterećenja noseće strukture struga; pri ovim analizama radilo se sa uprošćenim opterećenjima. Usvojeno je da opterećenje deluje u pravcu Z ose preko suportne grupe na kontaktnoj površini prednje vodjice. Proračun se vrši varijantnim opterećenjem, odnosno u slučaju kada je suport u sredini, krajnjem levom položaju (do vreteništa) i krajnjem desnom (do konjića). Intezitet opterećenja kreće se od 200 N do 2000 N. Na osnovu tako definisanog matematičkog modela pomoću paketa ALGOR FEA izvršen je statički proračun noseće strukture.

Za dalju analizu i upoređivanje sa eksperimentalnim podacima razmatrane su 3 karakteristične tačke (šematski prikazane u uglovima dijagrama, slike 3, 4, 5 i 6) i to :

- tačka 1 na prednjoj vodjici (čvorna tačka 651) na rastojanju 800 mm od vreteništa;
- tačka 2 na zadnjoj vodjici (čvorna tačka 681) na rastojanju od 800 mm od vreteništa i
- tačka 3 na kraju obratka (čvorna tačka 822) na rastojanju od 700 mm od vreteništa.

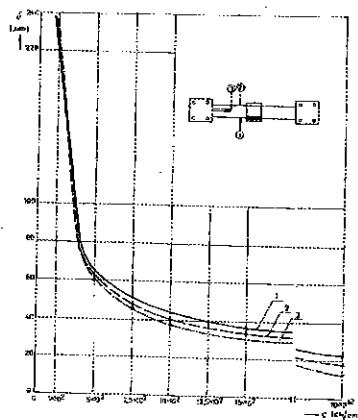
Na osnovu zadatih ulaznih parametara za usvojeni matematički model, dobijene su veličine pomeranja za napred navedene tačke (deformisani model noseće strukture struga dat je na slici 2) za različita varijantna rešenja, u zavisnosti od uticajnih faktora. Konkretno, ovde će se razmatrati uticaj krutosti oslonaca, zatim položaj suporta kao i intezitet opterećenja na veličine pomeranja strukture.

3. ANALIZA UTICAJA KRUTOSTI OSLONACA NA STATIČKO PONAŠANJE NOSEĆE STRUKTURE

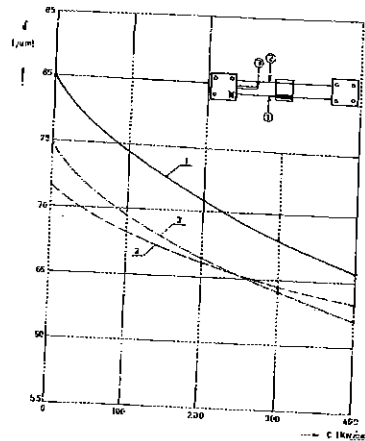
Analiza uticaja krutosti oslonaca na statičko ponašanje noseće strukture omogućuje između ostalog i rešenje za izbor oslonaca. Promena deformacija karakterističnih tačaka (651, 681 i 822) rezultat je i promene karakteristika oslonaca, odnosno različitih krutosti.

Na slici 3 data je dijagramska zavisnost promene veličine pomeranja strukture pri opterećenju $F=2000$ N za slučaj da su svi oslonci iste krutosti i da se ta krutost menja od $C=1 \times 10^2$ do 10×10^{10} KN/cm za položaj suporta na sredini, odakle se može videti, da se sa povećanjem krutosti smanjuju veličine pomeranja. Treba naglasiti da se za krutost oslonaca ispod 500 KN/cm dobijaju nerealni rezultati jer je krutost oslonaca toliko mala, da nema deformacija na strukturi, već se pomera cela struktura, tako da se ista ponaša kao da "pliva".

Druga pojava koja je interesantna za analizu, je ponašanje strukture pri različitom oslanjanju, od čega zavisi i nivelisanje mašine. Kao primer za analizu u ovom slučaju tretirano je oslanjanje strukture u čvornoj tački 7 modela (prednji desni oslonac leve nogare), pri čemu je njegova krutost varirana od 0 (kada nema oslonca) do 400 KN/cm. Ostali oslonci su uzeti sa konstantnom krutošću od 500 KN/cm, a opterećenje inteziteta $F=2000$ N. Veličine pomeranja date su na dijagramu, slika 4. Na ovom dijagramu analizirani oslonac je označen oznakom ⊗.



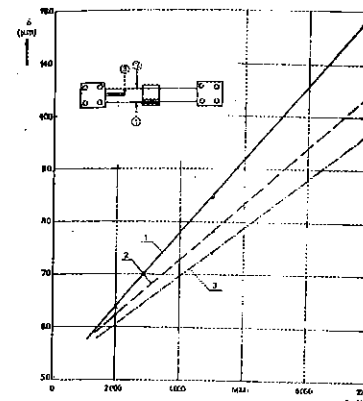
sl.3. Zavisnost promene veličine pomeranja noseće strukture pri opterećenju od 2000N za iste krutosti pri oslonaca (suport je u sredini)



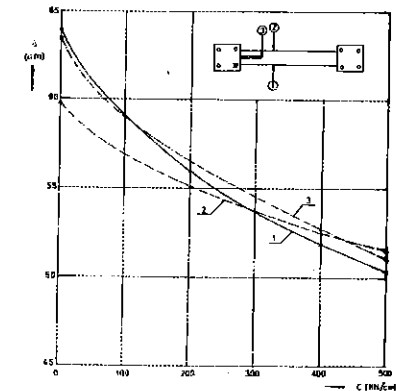
sl.4. Zavisnost promene veličine pomeranja noseće strukture pri promeni krutosti jednog oslonca opterećenju od 2000N (suport je u sredini)

Sa dijagrama se može videti uticaj oslanjanja na pomeranje strukture, odnosno time je simulirano nivelisanje mašine. U ovom slučaju se pretpostavlja da je pri istoj krutosti oslonaca, mašina nivelisana, a sa promenom krutosti jednog od oslonaca poremećeno je nivelisano stanje mašine. Ovim se može konstatovati da se denivelisanjem, razlika vrednosti pomeranja analiziranih čvornih tačaka kreće do skoro 20 μ m, što nije mala vrednost za postizanje određene tačnosti pri radu alatne mašine.

I spoljašnje opterećenje utiče na pomeranja strukture. Ponašanje strukture pod dejstvom različitih inteziteta opterećenja $F=2000$ N, 5000 N i 10 000 N i za istu krutost svih oslonaca od 500 KN/cm prikazno je dijagramom na slici 5, a na slici 6 data je dijagramska zavisnost promene veličine pomeranja za slučaj opterećenja od sopstvene težine, pri promeni krutosti jednog od oslonaca (čvorna tačka 7) i konstantnoj krutosti drugih oslonaca od 500 KN/cm.



sl.5. Zavisnost promene veličine pomeranja noseće strukture pri promenljivoj opterećenju i istoj krutosti oslonaca (suport je u sredini)



sl.6. Zavisnost promene veličine pomeranja noseće strukture od sopstvene težine pri promeni krutosti jednog oslonca (suport je u sredini)

Na veličinu pomeranja strukture utiče i položaj suporta. Za iste ostale uslove, a za različite položaj suporta, dobijaju se različite veličine pomeranja za sve analizirane tačke i za različite vrednosti krutosti oslonaca.

Pri razradi metode za ispitivanje krutosti (ovde je bila izabrana statička metoda) bilo je potrebno da se izabere pravac i veličina statičke sile, koordinate njezine napadne tačke, položaj elemenata noseće strukture, a isto tako i broj karakteristika koje ocenjuju krutost. Postupno opterećivanje i rasterećivanje mašine je vršeno u nivelisanom i denivelisanom stanju za različite položaje suporta i merene su veličine pomeranja u tačkama 651, 681 i 822. Takodje su merene veličine pomeranja u neopterećenom stanju (usled sopstvene težine) za različite položaje suporta. Pri svim ovim merenjima, mašina je bila oslonjena na gumeno metalne oslonce, a denivelacija je vršena oslobadjanjem prednjeg desnog oslonca leve nogare, koji je na dijagramima označen sa ⊗.

4. Zaključak

Analiza statičke krutosti nosećih struktura daje smernice prilikom projektovanja i izrade novih mašina, omogućujući pravilno dimenzionisanje, dok se kod mašina koje su već u radu mogu oceniti uticaji pojedinih faktora koji smanjuju tačnost mašine u procesu njene eksploatacije. To je omogućeno stvaranjem matematičkog modela, postupkom koji je objašnjen u ovom radu, a koji se potvrdio kasnijim eksperimentalnim ispitivanjima, podudaranjem rezultata sa računski dobijenim vrednostima. Pri tome, obavljena su široka istraživanja i izvršena analiza uticaja krutosti oslonaca na statičko ponašanje noseće strukture masina alatki.

5. Literatura

- [1] Dukovski V., Dudeski Lj.,: Konstrukcija na metalorezačkite mašini. Univerzitet "Kiril i Metodij", Skopje, 1989
- [2] Sarvan M.,: Teoretski i eksperimentalni istraživanja na statičkata krutost na osnovite kaj metalorezačkite mašini, Magisterska rabota, Mašinski fakultet, Skopje, 1993.
- [3] Maneski T.,: Prilog razvoju sistema projektovanja primenom računara nosećih struktura mašina alatki, Doktorska disertacija, Beograd, 1991.
- [4] Rao S. S.,: The finite element Method in Engineering, Pergamon Press, Oxford, 1989.
- [5] Dukovski V.,: Održavanje i ispitivanje na metalorezačkite mašini. Univerzitet "Kiril i Metodij", Skopje, 1980
- [6] Kaminskaja V. V.,: Fundamenti i ustanovka metallorėžušćih stankov. Mašinostroenie, Moskva, 1975.
- [7] Dudeski Lj., Dukovski V., Sarvan M., Vrtanoski G.,: Teoretska i eksperimentalna identifikacija statičkog ponašanja noseće strukture kod mašina alatki. V međunarodna naučno-stručna konferencija MMA 94, Novi Sad, 1994.
- [8] Programski paket ALGOR FEA

S U M M A R Y

Sarvan M., Dudeski Lj., Dukovski V., Vrtanoski G.

THE INFLUENCE OF THE SUPPORT'S STIFFENESS UPON THE STATIC BEHAVIOR OF BEARING STRUCTURE OF MACHINE TOOLS

In this paper has been performed the influence of the one, of numerous factors upon the static behavior of the bearing structure in the course of exploitation, whereby it has been given one treatment for the theoretical identification of the behavior itself, which has been attested by experimental way.

For the theoretical speculations, on occasion of mathematical model's definition, there has been used the finite element's method, through the commercial programme ALGOR FEA. In this case, the analysis of the single factors has referred to the bearing structure of the universal lathe. The experimental investigations had attested the accuracy of the placed mathematical model, which results, systematized and in condensed shape, have been here performed.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

d-r Mirjana Stefanova, d-r Ljuben Dudeski, Gligorče Vrtanoski

KOMPJUTERSKA PODRŠKA GRAFIČKOJ VIZUELIZACIJI 3-D MODELA PRIBORA I ANALIZI NAPONA I DEFORMACIJE OBRATKA

REZIME: U radu se na osnovu postojeće konstruktivne dokumentacije jednog pribora za bušenje prirubnica prezentira grafička vizuelizacija 3-D modela pribora i obratka, pojedinačno i u sklopu, korišćenjem softverskog paketa PE/SOLID DESIGNER-a. Isto tako, pomoću softverskog paketa ALGOR-FEA, (FEA-analiza metodom konačnih elemenata) analizirani su naponi i deformacije koji mogu nastati na obratku pod dejstvom sila stezanja i rezanja. Dobijeni rezultati su prezentirani grafički vizuelno u boji i sa numeričkim podacima. Isti pokazuju da je obradak izložen izvesnim naprezanjima i pomeranjima, no u dozvoljenim granicama. Na osnovu ovoga je zaključeno da će projektirani pribor izvršiti svoj zadatak, odnosno ograničice deformacije obratka u procesu njegovog stezanja i izrade.

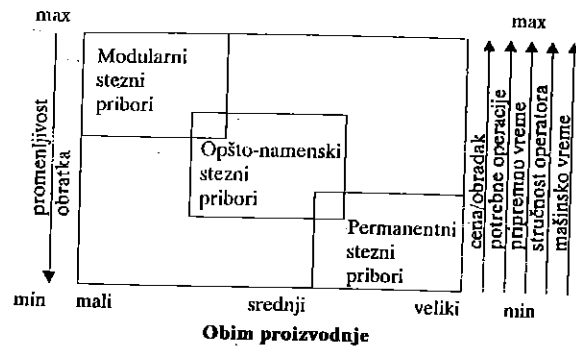
1. UVOD

U toku ovoga veka, proizvodnja je učinila značajan progres. Nove mašine alatljike, visoke performanse reznih alata i modernizirani proizvodni procesi omogućili su današnjoj industriji da proizvodi delove brže i bolje nego ikada pre. Međutim, iako su načini stezanja obradaka značajno naprednuli, osnovni principi stezanja i lociranja su još uvek ostali isti. Istraživanja u ovoj oblasti počinju u 1940 godini. Zadatak pribora (steznog sistema) je da steže obradak čvrsto na poziciji radnog položaja za vreme njegove izrade. Pribori se najčešće sreću tamo gde je proizvodnja delova u velikim količinama.

Slika 1. prikazuje primer alternativnih stezanja i karakteristike triju tipa steznih pribora. Opšto-namenski stezni pribori i alati su univerzalni pribori kao što su stezne glave, elastične čaure i mengela, mašinska mengela i univerzalni stezni sistemi. Oni uobičajeno stežu obratke pravilne i simetrične forme kao što su kvadratne, pravougaone, cilindrične i njima slične.

Modularni stezni pribori se koriste pri manjem obimu proizvodnje, a permanentni stezni pribori pri proizvodnji velikih razmera ili serijskoj proizvodnji. Ovi permanentni steznipribori su tipično sastavljeni od standardnih komponenata kao i od specijalno izrađenih komponenata od strane korisnika.

*Doc. d-r Mirjana Stefanova, Mašinski fakultet, Karpoš II bb, 91000 Skopje, R. Makedonija
Prof. d-r Ljuben Dudeski, Mašinski fakultet, Karpoš II bb, 91000 Skopje, R. Makedonija
Asst. Gligorče Vrtanoski, Mašinski fakultet, Karpoš II bb, 91000 Skopje, R. Makedonija*



Sl.1. Vrste steznih pribora i njihove karakteristike

2. PROCES DIZAJNIRANJA STEZNOG PRIBORA

Proces dizajniranja steznog pribora je visoko intuitivan proces koji se bazira na heurističkom znanju i iskustvu konstruktora pribora. Proces dizajniranja steznog pribora suštinski se sastoji iz tri faza: planiranje, dizajniranje i montaža.

Za vreme faze planiranja, inicijalna konfiguracija steznog pribora se determinira. Donošenje odluke ovdje je uslovljeno od raspoloživih resursa mašina i opreme, obrađivanog materijala i specifikacije kvaliteta.

U fazi dizajniranja, detaljnija analiza se pravi za lociranje, stezanje i pozicioniranje obratka. Zatim se selektiraju pojedinačni elementi pribora da bi se videle potrebe dizajna.

Finalna faza montaže se fokusira na sklapanju steznog pribora.

3. KOMPJUTERSKA PODRŠKA PRI DIZAJNIRANJU STEZNOG PRIBORA

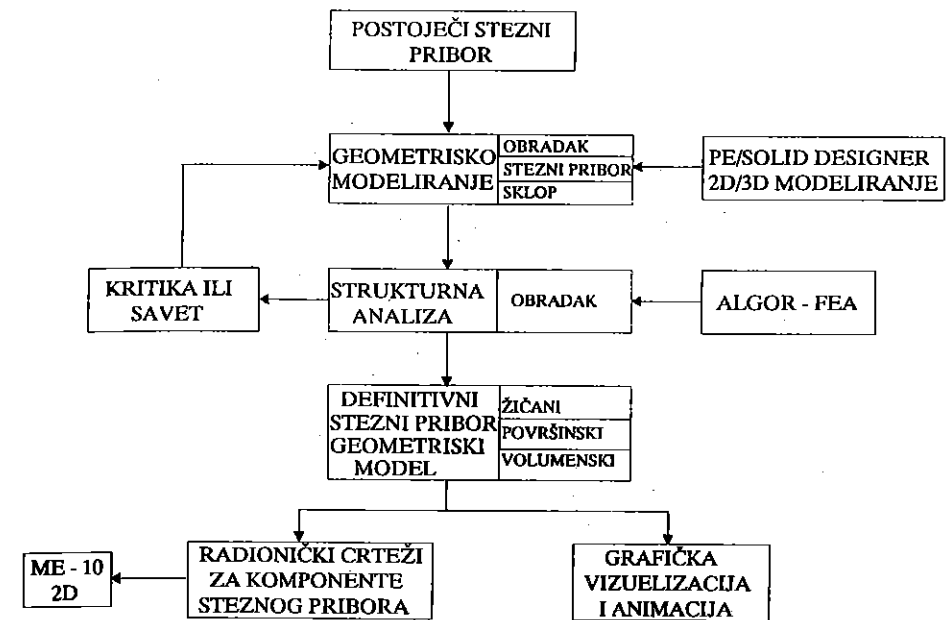
U toku prošle decenije, istraživanja u proizvodnom procesu bila su fokusirana na razvijanju i unapređenju tehnologija kao što su kompjuterska podrška pri dizajniranju i unapređenju i proizvodnji (CAD/CAM), kompjuterska podrška pri planiranju procesa (CAPP) i fleksibilni proizvodni sistemi (FMS). Tako, naprimer, u fazi dizajniranja steznog pribora, dizajner prolazi kroz nekoliko etapa:

1. Identifikacija problema
2. Razvoj opitnog rešenja ili dizajna
3. Prihvatanje najboljeg dizajna
4. Izrada modela ili prototipova za testiranje
5. Izrada radioničkih crteža

Primenom CAD-a, isti će delovati u svim etapama procesa dizajniranja.

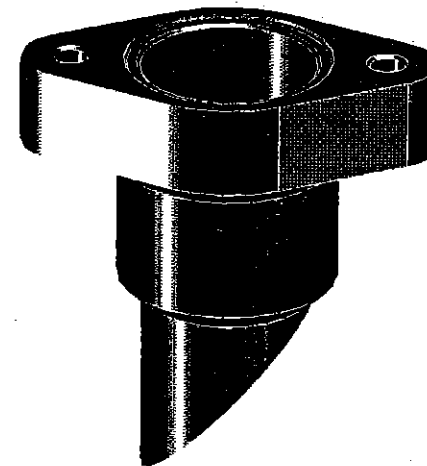
4. GEOMETRIJSKO MODELIRANJE I STRUKTURNA ANALIZA PERMANENTNOG STEZNOG PRIBORA ZA BUŠENJE

U ovom radu uzet je za istraživanje već dizajniran i proizveden stezni pribor za bušenje prirubnica, koji egzistira u praksi. Za ovaj stezni pribor su na osnovu postojeće tehničke dokumentacije urađene sledeće analize (sl.2):

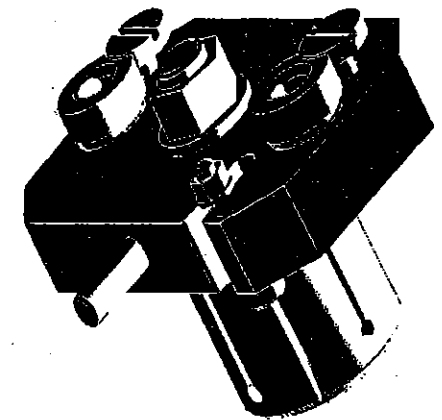


Sl.2. Geometrijsko modeliranje i strukturalna analiza pomoću kompjutera

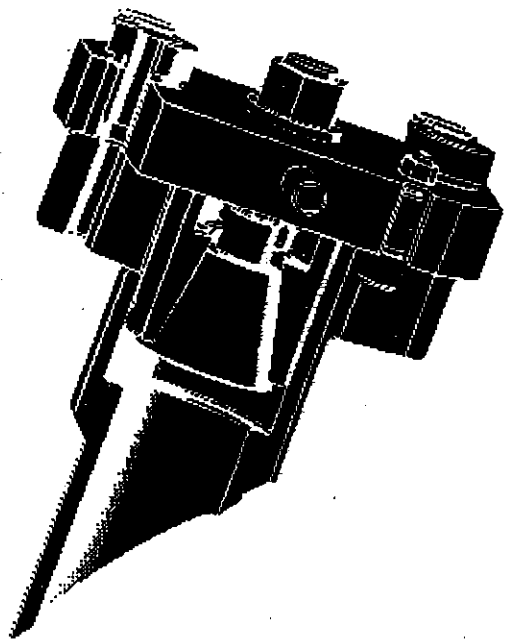
Na osnovu konstruktivne dokumentacije postojećeg steznog pribora napravljeno je geometrijsko modeliranje obratka (sl.3), steznog pribora (sl.4) i sklopa obratka i pribora (sl.5) pomoću softverskog paketa PE/SOLID DESIGNER-a.



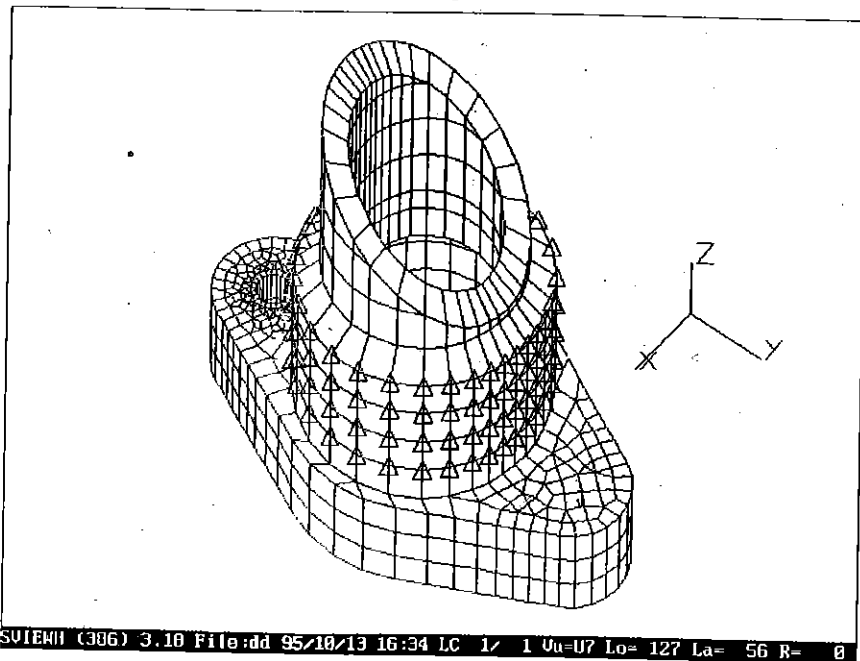
Sl.3. Obradak - prirubnica



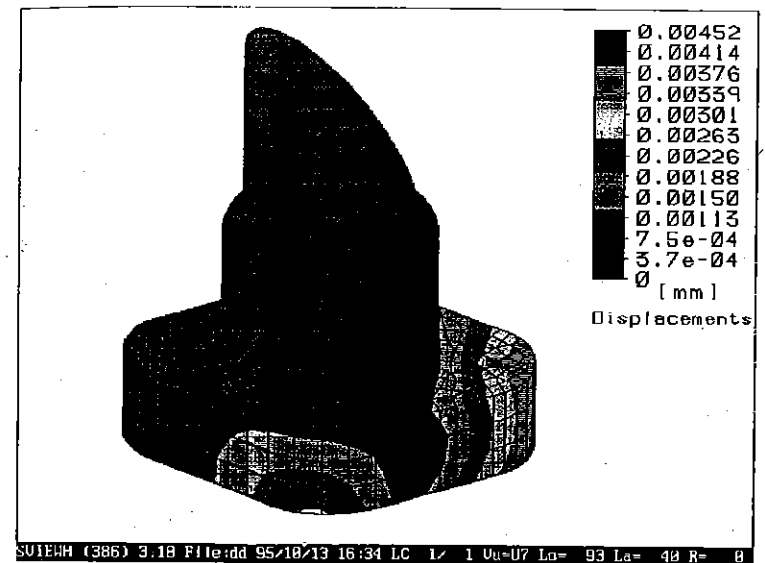
Sl.4. Stezni pribor



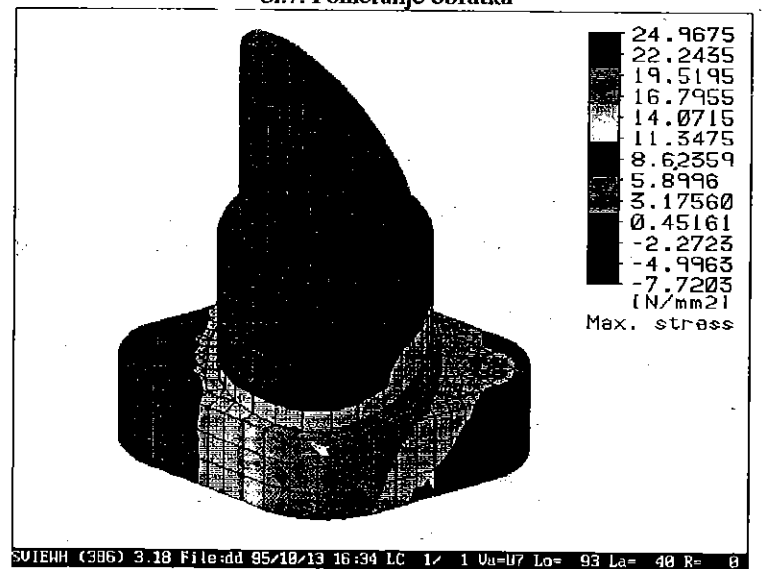
Sl.5. Sklop steznog pribora i obratka



Sl.6. FEA model obratku



Sl.7. Pomeranje obratka



Sl.8. Maksimalna napreznja na obratku

Pošto dizajnirani stezni pribor ima zadatak da ograniči deformacije obratka u procesu njegove izrade, pod dejstvom stezne sile i sile rezanja, pristupilo se definisanju modela obratka - prirubnice za analizu metodom konačnih elemenata (FEA) (Sl.6.). Pri tome su uzete sila stezanja i sila rezanja u obliku aksijalne sile i torzionog momenta bušenja koje dejstvuju na obradku. U nameri da se izvrši ova analiza korišćen je ALGOR-FEA komercijalni softverski paket. Od izvršene analize mogu se videti pomeranje (Sl.7.) i maksimalna napreznja (Sl.8.) na prirubnici kao obratka stegnutog u steznom priboru (Sl.4.).

5. ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Dobijeni rezultati od izvršene analize su zadovoljavajući, odnosno u dopuštenim granicama. Ovo je bio prvi pokušaj da se počne sa istraživanjem na polju steznih pribora i kao što se može videti iz dobijenih analiza to nije bilo uzalud. No, u sledećim istraživanjima, treba početi od početka procesa dizajniranja steznog pribora: identifikacija problema, njegovo kreiranje, analiziranje i predlog za definitivni izgled steznog pribora, a sve podržano kompjuterom. U tom pravcu treba imati dobro opremljen kompjuterski centar, kao i kreirane softverske programe za kompjutersko dizajniranje /5/ i /6/. Ovim bi se skratio vremenski proces dizajniranja i dobilo bi se najbolje rešenje steznog pribora u pogledu njegove konfiguracije i izvršenja postavljenog zadatka.

LITERATURA

- /1/ Hargove S.K., Kusiak A., Computer-aided fixture design: a review, International Journal of Production Research, 32 (4), 733-753, 1994.
- /2/ Fundamentals of Tool Design, Third Edition, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, Michigan, USA, 1991.
- /3/ Jig and Fixture Handbook, First Edition, Carr Lane Mfg.Co, St Louis, Missouri, USA, 1992.
- /4/ PE/SOLID DESIGNER, Reference Manual, 1992.
- /5/ Jin-Sheng Kang., Ying-Jin Feng., Xiao-Fan Zhang., Pei-Ling Ma., Jigs and Fixture Design Expert System on PC, ICPR'13 - 1995, Jerusalem, Israel, August 6-10.1995, p.453-455.
- /6/ B.K.A.Ngoi., G.L.Leow., Modular Fixture Design: a designer's assistance, International Journal of Production Research, 32 (9), 2083-2104, 1994.
- /7/ M.Stefanova., Lj.Dudeski., G.Vrtanoski., Computer-Aided Design of Permanent Jig and Fixture, II Konferencija Naukova, Komputerowe Wspomaganie Prac Inżynierskich, Szklarska Poreba'95, Politechniki Wrocławskiej, Polska, december 7-8.1995, p.317-325.

SUMMARY

d-r Mirjana Stefanova, d-r Ljuben Dudeski, Gligorče Vrtanoski

COMPUTER AIDED OF THE GRAPHICAL VISUALIZATION OF 3-D MODEL OF THE WORKHOLDER AND THE ANALYSIS OF STRESS AND DISPLACEMENTS OF THE WORKPIECE

This paper presents graphical visualization of 3-D model of the workholder and workpiece, single and in assembly, by software's program PE/SOLID DESIGNER. This is getting on base of the existing technical data from one workholder for drilling of the flange. As well, the stress and displacement that can exist on the workpiece under the action of the clamping and the cutting forces are analyzing by software's program ALGOR-FEA (FEA-finite element analysis). The results obtained are presenting graphic visually in color and by numerical dates. They indicate that the workpiece will be under the action of the certain stresses and displacements, but in to tolerance limits. On base of that was concluded that designate workholder will do his duty, with reference to limited deformation of the workpiece in the process of his holding and producing.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

FORMIRANJE REDUKOVANOG KONAČNOELEMENTNOG MODELA ZA TANKE PLOČE

N. Trišović¹⁾, T.Maneski¹⁾, D. Ostrić¹⁾

REZIME

Osnovni smisao ovog rada je analiza ploča i primena novih ravnih elemenata u modeliranju struktura. Izvedena je matrica krutosti trougaonog konačnog elementa, koji je nazvan "redukovana ploča", zato što ima tri globalna stepena slobode. Taj konačni element daje odlične rezultate pri primeni na ploče, tanke ploče i veoma tanke ploče kod kojih su naponi savijanja nižeg reda od napona u ravni ploče.

Ključne reči: konačni elementi, strukturalna analiza, stepeni slobode

1. UVOD

Kada se razmatra ploča opterećena poprečnim i opterećenjem u ravni ploče bilo koja tačka unutar ploče ima tri komponente pomeranja u, v i w koje su paralelne osama x, y i z. Matrice krutosti za pomeranja u, v i w se mogu računati nezavisno. Ako je ploča izložena dejstvu samo sila u sopstvenoj ravni, kaže se da je ploča pod dejstvom "membranskih" sila (sl. 1). Slično ako je ploča podvrgnuta transversalnim silama (i/ili momentima savijanja) onda je značajno prisutno bočno pomeranje w. U tom slučaju se kaže da je ploča pod dejstvom sila savijanja.

Pri izvođenju matrice krutosti za slučaj ploča opterećenih na savijanje koriste se pretpostavke klasične teorije tankih ploča.

U svakom čvoru elementa (sl 2.) uzeto je transferzalno pomeranje w i uglovi rotacije (nagibi) oko x i y osa $\left(\frac{\partial w}{\partial y} i - \frac{\partial w}{\partial x} j \right)$ kao stepeni slobode. Kako

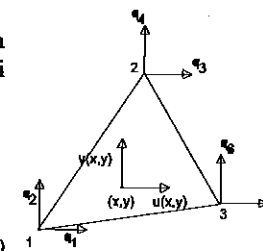
postoji 9 stepena slobode u elementu, pretpostavljeni polinom za w(x,y) mora sadržati 9 konstantnih koeficijenata. Održavajući geometrijsku izotropiju ovako je uzet model pomeranja:

$$w(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 x + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 x^2 + \alpha_8 (x^2 y + y^2 x) + \alpha_9 y^3 = [\eta] \{ \alpha \} \quad (1)$$

$$gde je [\eta] = \begin{bmatrix} 1 & x & y & x^2 & xy & y^2 & x^3 & (x^2 y + y^2 x) & y^3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\{ \alpha \} = \{ \alpha_1 \ \alpha_2 \ \alpha_3 \ \alpha_4 \ \alpha_5 \ \alpha_6 \ \alpha_7 \ \alpha_8 \ \alpha_9 \}^T \quad (3)$$

Konstante $\alpha_1, \dots, \alpha_9$ se određuju iz uslova čvornih pomeranja.



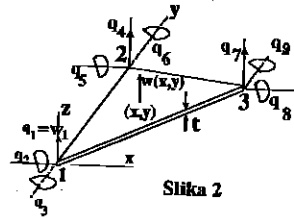
Slika 1

¹⁾ mr Nataša Trišović dipl. maš.inž., Doc.dr. Taško Maneski dipl.maš.inž., prof.dr.Davor Ostrić, dipl.maš.inž.: Mašinski fakultet Beograd, 11000 Beograd 27 marta 80

Matrica krutosti elementa u lokalnom koordinatnom sistemu (x,y)

$$[K^{(e)}]_{(9 \times 9)} = \iiint_{V^{(e)}} [B]^T [D] [B] dV \quad (4)$$

gde je $V^{(e)}$ zapremina elementa, a $[D]$ matrica elastičnosti.



2. UKIDANJE ROTACIONIH STEPENA SLOBODE KOD TROUGAONOG KONAČNOG ELEMENTA

Ako se u svakom čvoru "ukinu" svi rotacioni stepeni slobode, pomoću sledećeg razmatranja videće se šta se pri tom dešava u matrici krutosti elementa. Koristeći sl.2. može se pisati

$$q_5 = q_6 = q_2 = q_3 = q_8 = q_9 = 0 \quad (5)$$

Model pomeranja unutar ploče pretpostavi se da je isti kao u jed. (1), međutim koeficijenti α_i , $i = 1, \dots, 9$ će imati druge vrednosti u odnosu na razmatranje kada su uzeti u obzir svi stepeni slobode.

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \alpha_1 + \alpha_5 x + 2\alpha_6 y + \alpha_8 (x^2 + 2yx) + 3\alpha_9 y^2 \quad (6)$$

$$-\frac{\partial w}{\partial x} = -[\alpha_2 + 2\alpha_4 x + \alpha_3 y + 3\alpha_7 x^2 + \alpha_8 (2xy + y^2)] \quad (7)$$

Konstante $\alpha_1, \dots, \alpha_9$ se određuju iz uslova čvornih pomeranja

čvor 1; $(x_1, y_1) = (0, 0)$; čvor 2; $(x_2, y_2) = (0, y_2)$;

$$q_1 = \alpha_1 \quad q_4 = \alpha_1 + \alpha_6 y_2^2 + \alpha_9 y_2^3$$

$$q_2 = \alpha_3 = 0 \quad q_5 = 2\alpha_6 y_2 + 3\alpha_9 y_2^2 = 0$$

$$-q_3 = \alpha_2 = 0 \quad q_6 = -(\alpha_3 y_2 + \alpha_8 y_2^2) = 0$$

čvor 3 (x_3, y_3) ;

$$q_7 = \alpha_1 + \alpha_4 x_3^2 + \alpha_5 x_3 y_3 + \alpha_6 y_3^2 + \alpha_7 x_3^3 + \alpha_8 (x_3^2 y_3 + y_3^2 x_3) + \alpha_9 y_3^3$$

$$q_8 = \alpha_5 x_3 + 2\alpha_6 y_3 + \alpha_8 (x_3^2 + 2y_3 x_3) + 3\alpha_9 y_3^2 = 0 \quad (8)$$

$$q_9 = -[2\alpha_4 x_3 + \alpha_3 y_3 + 3\alpha_7 x_3^2 + \alpha_8 (2x_3 y_3 + y_3^2)] = 0$$

Jednačine (8) se mogu predstaviti u matricnom obliku

$$\vec{q}_{red}^{(e)} = [N]_{(9 \times 9)} \vec{\alpha} \quad (9)$$

$$\text{gde je } \vec{q}_{red}^{(e)} = \{q_1 \quad 0 \quad 0 \quad q_4 \quad 0 \quad 0 \quad q_7 \quad 0 \quad 0\}^{(e)T}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= q_1 \\ \alpha_2 &= 0 \\ \alpha_3 &= 0 \\ \alpha_4 &= \frac{1}{x_3^2} \{(E-3-3D)q_1 + (3D-E)q_4 + 3q_7\} \\ \alpha_5 &= -Ay_3 q_1 + Ay_3 q_4 \\ \alpha_6 &= \frac{1}{2y_3^2} (-q_1 + q_4) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \alpha_7 &= \frac{1}{x_3^2} \{(2-E+2D)q_1 + (E-2D)q_4 - 2q_7\} \\ \alpha_8 &= Ay_3 - Ay_4 \\ \alpha_9 &= \frac{1}{2y_3^2} (-q_1 + q_4) \\ A &= \frac{y_3(2y_3 + 3y_3)}{2y_3^2(x_3^2 + 2y_3 x_3 - x_3 y_3)} \\ B &= \frac{y_3^2(y_3 + y_3)}{2y_3^2} \end{aligned} \quad (11)$$

$$C = x_3^2 y_3 + y_3^2 x_3 - y_3 x_3 y_3$$

$$E = x_3 A [2x_3 y_3 + y_3^2 - y_3 x_3]$$

$$D = CA - B$$

Vektor nepoznatih koeficijenata $\vec{\alpha}$ se može dobiti iz jedn. (9)

$$\vec{\alpha} = [M]_{(9 \times 9)}^{-1} \vec{q}_{red}^{(e)} \quad (12)$$

gde su uvedene oznake A, B, C, D i E u jednačinama (10) i (11). Deformacije

$$\vec{\epsilon} = [B] \vec{\alpha} = [B] [M]_{(3 \times 9)}^{-1} \vec{q}_{red}^{(e)} = [B]_{(3 \times 9)} \vec{q}_{red}^{(e)} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} &= 2\alpha_4 + 6\alpha_7 x + 2y\alpha_8 \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} &= 2\alpha_6 + 2\alpha_9 x + 6y\alpha_9 \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} &= 2\alpha_5 + 2\alpha_8 (2x + 2y) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$[B] = -z \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 6x & 2y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2x & 6y \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 4(x+y) & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$[B] = -z \begin{bmatrix} a + bx + 2Ay & 0 & 0 & c + dx - 2Ay & 0 & 0 & e - \frac{12}{x_3} x & 0 & 0 \\ -\frac{1}{y_3^2} + 2Ax - \frac{3y}{y_3^2} & 0 & 0 & \frac{1}{y_3^2} - 2Ax + \frac{3y}{y_3^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2Ay_2 + 4A(x+y) & 0 & 0 & 2Ay_2 - 4A(x+y) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

gde su opet uvedene oznake a, b, c, d i e:

$$a = \frac{2(E-3-3D)}{x_3}; \quad b = \frac{6(2-E+2D)}{x_3}; \quad e = \frac{6}{x_3} \quad (17)$$

$$[B] = [B] [\eta]^{-1}; \quad c = \frac{2(3D-E)}{x_3}; \quad d = \frac{6(E-2D)}{x_3}$$

Matrica krutosti u lokalnom koordinatnom sistemu

$$[k^{(e)}]_{9 \times 9} = \iiint_{V^{(e)}} [B]^T [D] [B] dV \quad (18)$$

gde je $[D]$ matrica elastičnosti

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Kada se izračuna integral (18) dobija se deo matrice krutosti elementa koji se odnosi na savijanje.

$$[k^{(s)}]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} k_{11,b} & 0 & 0 & k_{14,b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{44,b} & 0 & 0 & k_{44,b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{77,b} & 0 & 0 & k_{77,b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} w_1 \\ \theta_{x1} \\ \theta_{y1} \\ w_2 \\ \theta_{x2} \\ \theta_{y2} \\ w_3 \\ \theta_{x3} \\ \theta_{y3} \end{matrix} \quad (20)$$

Elementi redukovane matrice krutosti (20) se dobijaju posle rešavanja sledećih integrala

$$k_{11,b} = \frac{E}{1-\nu^2} \int_A dA \int_{-\frac{y}{2}}^{\frac{y}{2}} (-z)^2 \left\{ (a+bx+2Ay)^2 + (a+bx+2Ay) \left[2Ax - \frac{3y}{y_1} - \frac{1}{y_2} \right] + \left[-\frac{1}{y_1} + 2Ax - \frac{3y}{y_2} \right] \left[v(a+bx+2Ay) + 2Ax - \frac{1}{y_1} - \frac{3y}{y_2} \right] + \frac{1-\nu}{2} \left[-2Ay_1 + 4A(x+y) \right]^2 \right\} dz \quad (21)$$

$$k_{14,b} = k_{41,b} = \frac{E}{1-\nu^2} \int_A dA \int_{-\frac{y}{2}}^{\frac{y}{2}} (-z)^2 \left\{ \left[a+bx+2Ay + v \left(-\frac{1}{y_1} + 2Ax - \frac{3y}{y_2} \right) \right] \left[c+dx-2Ay \right] + \left[v(a+bx+2Ay) + 2Ax - \frac{1}{y_1} - \frac{3y}{y_2} \right] + \frac{1-\nu}{2} \left[4A(x+y) - 2Ay_1 \right] \left[-4A(x+y) + 2Ay_1 \right] \right\} dz \quad (22)$$

$$k_{44,b} = \frac{E}{1-\nu^2} \int_A dA \int_{-\frac{y}{2}}^{\frac{y}{2}} (-z)^2 \left\{ \left[c+dx-2Ay \right] \left[c+dx-2Ay + v \left(\frac{1}{y_1} - 2Ax + \frac{3y}{y_2} \right) \right] + \left[\frac{1}{y_1} - 2Ax + \frac{3y}{y_2} \right] \left[v(c+dx-2Ay) + \frac{1}{y_1} - 2Ax + \frac{3y}{y_2} \right] + \frac{1-\nu}{2} \left[2Ay - 4A(x+y) \right]^2 \right\} dz \quad (23)$$

$$k_{12,b} = k_{21,b} = \frac{E}{1-\nu^2} \int_A dA \int_{-\frac{y}{2}}^{\frac{y}{2}} (-z)^2 \left(e - \frac{12}{x^3} x \right) \left[a+bx+2Ay + v \left(-\frac{1}{y_1} + 2Ax - \frac{3y}{y_2} \right) \right] dz \quad (24)$$

$$k_{77,b} = \frac{E}{1-\nu^2} \int_A dA \int_{-\frac{y}{2}}^{\frac{y}{2}} (-z)^2 \left(e - \frac{12}{x^3} x \right)^2 dz \quad (25)$$

Koristeći novodobijenu "redukovanu" matricu krutosti savijenog elementa (20) može se formirati ukupna matrica krutosti elementa izloženog membranskim i savojnim silama i vodeći računa o ukinutim rotacijama u čvorovima. Zbog glomaznosti ovde se neće navoditi cela matrica krutosti trougaonog konačnog elementa (18x18), već samo njen deo koji se odnosi na jedan čvor (6x6), imajući u vidu da se ostatak matrice krutosti formira po analogiji. Takođe, izneće se isti deo neredukovane matrice krutosti trougaonog konačnog elementa izloženog istim opterećenjima. U analizama trodimenzionalnih struktura membranska i savojna krutost mogu da se kombinuju u saglasnosti sa sledećim primedbama [1]:

(i) Za mala pomeranja membranska i savojna krutost nisu povezane;

(ii) Rotacija u ravni ploče se ne uzima u razmatranje, međjutim u matrici krutosti u vrstama i kolonama koje odgovaraju tom stepenu slobode uzima se podesean broj nula da se dobiju belementi ukupne matrice krutosti.

Vidi se takođe da se ukidanjem i ostalih rotacionih stepena slobode, element "ukrućuje" tako da se u redukovanoj matrici krutosti i na tim mestima "pojavljuju" nule. Može se zaključiti sa čela struktura modelirana ovim konačnim elementima imati prividno povećanu krutost. Na primerima se može videti kada je moguće koristiti ove konačne elemente, a kada ne.

$$[k_f] = \begin{bmatrix} k_{11,m} & k_{12,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21,m} & k_{22,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{11,b} & k_{12,b} & k_{13,b} & 0 \\ 0 & 0 & k_{21,b} & k_{22,b} & k_{23,b} & 0 \\ 0 & 0 & k_{31,b} & k_{32,b} & k_{33,b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad [k_{f,0}] = \begin{bmatrix} k_{11,m} & k_{12,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21,m} & k_{22,m} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{11,b} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{11,b} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{11,b} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{11,b} \end{bmatrix} \quad (26)$$

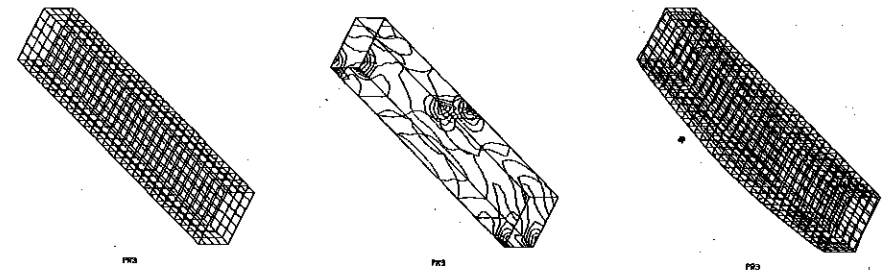
Na osnovu teorijskih modela razvijeni su odgovarajući kompjuterski programi. Ovde je korišćen program KOMIPS [2]. U programu primenjeni su konformni elementi koji su stabilni u smislu ne postojanja modova nulte potencijalne energije pri postojećim deformacijama. Takođe svi elementi kojima raspolaže program imaju svojstvo geometrijske izotropnosti, što znači da su polinomi interpolacionih funkcija "simetrični", u smislu da ne favorizuje ni jedan pravac, tj. rezultati dobijeni programom su invarijantni bez obzira na orijentaciju strukture.

Program omogućava analizu statičkih i dinamičkih problema kao i problema termičkih opterećenja i time izazvane deformacije i naponska stanja. Program mehaničkih naprezanja se u osnovi sastoji iz tri dela:

- Deo za predprocesiranje
- Procesor
- Deo za postprocesiranje

3. PRIMER

Uzet je nosač sa sandučastim poprečnim presekom, opterećen dvema jednakim silama na sredini nosača, intenziteta $2F=2x60daN$. Dimenzije poprečnog preseka nosača su $20x30cm$, a dužina $150cm$. Rezultati su predstavljeni dijagramom (slika 4). Varirane su debljine lima $\delta=0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5cm$. U analizi su korišćeni četvoroučvorni konačni elementi ploče sa 6 globalnih stepena slobode, četvoroučvorni konačni elementi ploče sa 3 globalna stepena slobode (redukovane ploče) i uzeti su membranski konačni elementi. Izračunata je greška koja se pravi uzimanjem neodgovarajućih elemenata, a kao tačno uzeto je rešenje dobijeno primenom KE, 6 ST.SL./čvoru, a da bi račun bio precizniji posmatrane su vrednosti maksimalnog normalnog napona. Deformacije nosača kao raspodele napona za debljinu lima od $1mm$ dati su slikom 3.

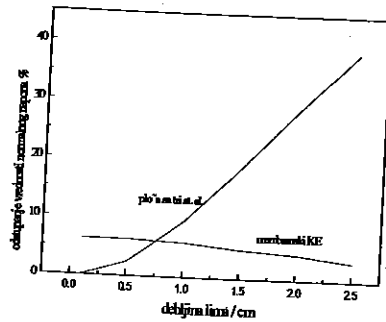


Slika 3

4. ZAKLJUČAK

Iz dijagrama (sl 4) se može videti da kod veoma tankih ploča $\delta=0,1$ do $0,5$ cm najbolja rešenja daju KE sa ukinutim rotacionim stepenima slobode gde su greške u odnosu na tačno rešenje izuzetno male (do 3%). Obzirom da za strukture sa velikim brojem stepena slobode, gde je važno da vreme proračuna bude što manje, može se očekivati da će ti KE dati odlična rešenja. Sa povećanjem debljine lima, kako se iz dijagrama vidi, redukovane ploče daju lošija rešenja.

To se može objasniti tako što sa povećanjem debljine lima povećava udeo napona savijanja u strukturi, u odnosu na membranske napone. Membranski konačni elementi daju prilično ujednačeno rešenje za bilo koju debljinu lima. Najveći problem je sa membranskim konačnim elementima, što zbog njihovih karakteristika ne mogu da se koriste za strukture gde naponi savijanja nisu mnogostruko manji od napona istezanja (pritiska). Primena redukovanja globalnih stepena slobode izaziva povećanje krutosti modela odnosno manja pomeranja modela. Primena ploče bez savijanja - membrane smanjuje krutost modela, odnosno tu su veća pomeranja modela. Ploča sa šest stepeni slobode daje rešenja između ove dve krajnje varijante. Ako je razlika između krajnje dve varijante mala, redukovani modeli (membrana i redukovana



Slika 4

očita udeo odgovarajućih napona u strukturi. Na kraju treba reći da korišćenje redukovanih modela izuzetno "štedi" vreme konstruktora. To se može videti iz sledećeg odnosa $\frac{T_1}{T_2} = \frac{k_1 N_1 B_1^3}{k_2 N_2 B_2^3}$ gde se oznake u brojiocu odnose na neredukovani, a u imeniocu na redukovani

model. Konstanta k_i uzima vrednost od 1 do 3 što zavisi od složenosti elemenata (što su elementi složeniji to je k manje, N_i označava broj jednačina u odgovarajućem modelu, a B_i je BAND, odnosno širina pojasa matrice krutosti. Kada se smene odgovarajuće vrednosti, dobija se da je vreme rada računara sa redukovanim modelima 10 do 20 puta kraće od vremena rada punih modela, pa je i zbog toga veoma važno da se koriste neredukovani modeli kada je to moguće.

SUMMARY

Comparative analysis of the results obtained by different finite elements models is given in this paper. Box s beam model is taken. Three types of finite elements are applied: plate with six degrees of freedom, plate with three degrees of freedom and membrane. The aim of this work is to optimize modeling of the structure using reduced models (with lower degrees of freedom). Key words: finite elements, plates, membrane, box s beam, degrees of freedom, structural mechanics.

5. LITERATURA

- [1] Rao, S., The Finite Element Method in Engineering, Pergamon Press, 1980
- [2] Maneski, T., Doktorska disertacija, Beograd, 1991.
- [3] Rao, S., Hinton, E., Optimum Sharpes for Axisymmetric Shells, Department of Civil Engineering University College of Swansea, 1991.
- [4] Trišović, N., Magistarska teza, Beograd, 1995.
- [5] Algor Interactive Systems, SUPERSAP, User s manuel, Pittsburgh, 1992.
- [6] Ostrić, D., Metalne konstrukcije, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.



M. Živanović, P. Dragičević, D. Radojević, M. Zdravković¹

SIMULACIJA CAE MODULOM PROCESA TEMPERIRANJA ALATA ZA OBLIKOVANJE PLASTIKE

Rezime

Simulacija procesa temperiranja alata pomoću CAE modula Mold Cooling u fazi projektovanja doprinosi konstrukciji sistema koji obezbeđuje efikasan prenos toplote sa pretforme PVC boce u okolini u kasnijoj fazi eksploatacije. Simulacije na računaru se takođe koriste i za proveru efikasnosti sistema za temperiranje postojećeg alata.

U ovom radu je prikazana metoda provere efikasnosti sistema za temperiranje na postojećem alatu. Simulacije su rađene pomoću Mold Cooling modula IBM CAEDS softverskog paketa. Ova metoda omogućava utvrđivanje trenda odvijanja procesa i stoga otkriva mogući postupak skraćanja tehnološkog vremena izrade PVC boce.

UVOD

Simulacije procesa pomoću računara vrše se prevashodno u fazi projektovanja uređaja sa ciljem realizacije konstrukcije koja postiže optimalne funkcionalne performanse. Moguće je vršiti simulacije procesa i u cilju utvrđivanja njihove efikasnosti i sagledavanja mogućnosti poboljšanja njihove funkcionalnosti. U saradnji sa fabrikom za preradu plastike CHEMOS iz Subotice vršena je provera mogućnosti skraćivanja tehnološko vremena izrade PVC boce ekstruzionim duvanjem, pomoću računarske simulacije sistema za vodeno temperiranje postojećeg alata.

Izabrana metoda za utvrđivanje mogućnosti skraćanja tehnološkog vremena sastojala se iz faze simulacije modulom Mold Cooling iz IBM CAEDS [1] softverskog paketa, faze merenja svih relevantnih P-V-T veličina sistema za temperiranje alata u pogonu fabrike i faze obrade rezultata i njihove analize. Poređenja odgovarajućih rezultata dobijenih merenjem sa rezultatima dobijenih simulacijom ukazuju na mogućnost skraćanja tehnološkog vremena.

IBM CAEDS sadrži module za simulaciju procesa oblikovanja plastičnih proizvoda injekcionim presovanjem. U konkretnom slučaju koristi se tehnologija oblikovanja plastičnih proizvoda ekstruzionim duvanjem, tako da je moguće koristiti samo modul koji simulira proces hlađenja alata Mold Cooling bez modula za simulaciju procesa injekcionog presovanja Mold Filling. Kao početno stanje sistema uzima se da je kalupna šupljina već popunjena i da odgovarajuće termičko opterećenje sistema je istovetno pretformi PVC boce.

¹ Miroslav Živanović, dipl. inž., mir Perica Dragičević, dipl. inž., Dragan Radojević, dipl. inž., Milan Zdravković, dipl. inž., Lola institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.

RAČUNARSKA SIMULACIJA

Simulacija procesa temperiranja alata zahteva odgovarajuću pripremu. Potrebno je izvršiti modeliranje postojećeg alata na računaru da bi se generisala FEM mreža neophodna za simulaciju. Za realizaciju ovog zahteva korišćeni su sledeći IBM CAEDS moduli:

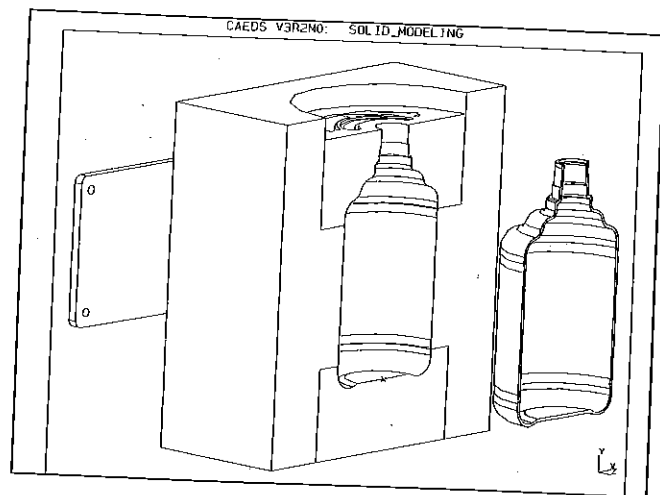
- *Solid modeling*
- *FEM modeling*
- *Mold cooling*

Opis modela alata

Alat kod tehnologije ekstruzionog duvanja ima funkciju odsecanja pretforme PVC boce, koja izlazi iz glave ekstrudera, a potom definisanja spoljašnjeg oblika boce prema kalupnoj šupljini alata pomoću komprimovanog vazduha. Alat je osnosimetričan u odnosu na vertikalnu osu i sastoji se iz dve polovine koje sadrže spoljne konture šupljeg tela - PVC boce.

Svaka polovina alata sastoji se od tri dela: gornjeg dela koji oblikuje grlo boce, srednjeg dela koji oblikuje bok boce i donjeg dela koji oblikuje dno boce. Ovi delovi imaju ugrađene nezavisne cirkulacione krugove fluida za temperiranje tako da sistem za temperiranje jedne polovine alata čine tri cirkulaciona kruga koji se paralelno napajaju radnim fluidom. U ovom slučaju radi se o odvođenju toplote iz alata pa stoga se za sistem temperiranja alata može koristiti termin *rashladni sistem*. Rashladni sistem alata kao radni fluid koristi vodu iz vodovoda. Alat je projektovan, izrađen i kao takav se koristi za izradu PVC boca za tečni sapun.

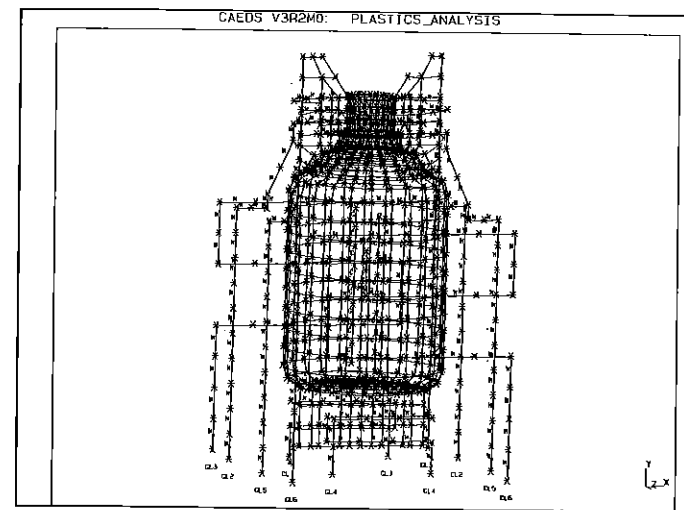
Solid model alata i polovine PVC boce isprojektovane u *Solid Modeler*-u na osnovu tehničke dokumentacije alata F-422 prikazani su na slici 1.



Slika 1. Solid model alata

FEM model alata

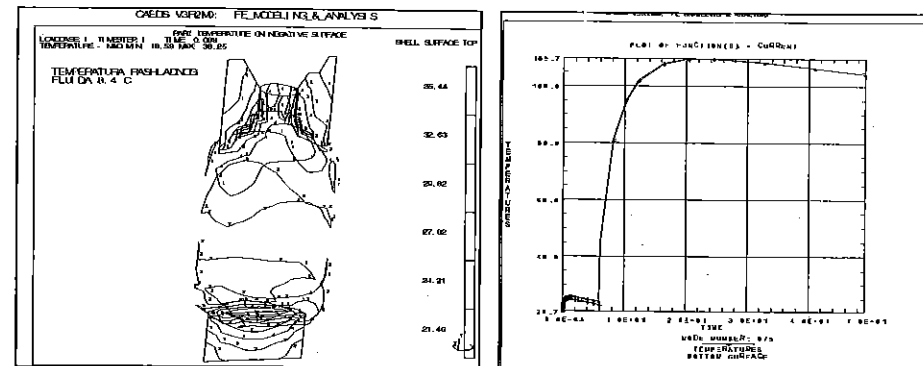
Na osnovu solid modela alata generišu se FEM model kalupne šupljine alata i cirkulacioni rashladni krugovi. Ovo je preduslov za rad sa modulom za simulaciju procesa hlađenja alata koji radi sa FEM modelom prikazanim na slici 2.



Slika 2. FEM model modula za hlađenje alata

Simulacija procesa

Posle unošenja potrebnih tehnoloških parametara za PVC i rashladni fluid [2] u modul za hlađenje simulira se proces hlađenja alata sa bocom, kao i same boce na vazduhu u odgovarajućem vremenskom intervalu. Rezultati simulacije na računaru se prikazuju tabelarno, grafički, kao i grafikonom u funkciji vremena za određene čvorove FEM mreže kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Grafički prikazi

Simulacija rashladnog sistema alata se mora izvršiti sa optimizovanim strujnim veličinama, jer se u protivnom dobijaju rezultati koji nisu relevantni, zato što FEM model koji se koristi u simulaciji opisuje realno izvedeni alat. Simulacija sa aktiviranom opcijom za optimizaciju vrši izjednačavanje pada pritiska po cirkulacionim krugovima rashladnog sistema alata. Tabela prikazuje prikaz strujnih veličina rashladnih krugova dat je na slici 4, gde se vide i podaci o padovima pritiska koji pokazuju da u prvom prolazu proračuna postoji debalans padova pritiska, a da se tek u drugom prolazu posle izvršene optimizacije postiže izjednačavanje padova pritiska po cirkulacionim krugovima.

I PROLAZ - optimizacija uključena

Summary of cooling data by circuit at final iteration 4

Circuit no.	No. of lines	Volume flow rate (m ³ /sec)	Outlet temperature (degrees C)	Minimum Reynol. no.	Total press. drop (Pascals)	Thermal power (Watts)
1	1	1.7402E-05	9.3000E+00	2.4656E+03	1.9709E+03	6.6073E+01
2	1	8.2996E-05	9.3000E+00	1.3297E+04	1.7415E+05	3.1346E+02
3	1	3.6097E-05	9.2999E+00	4.3786E+03	4.6831E+03	1.3507E+02
4	1	1.7406E-05	9.3000E+00	2.4662E+03	1.9719E+03	6.6091E+01
5	1	8.2463E-05	9.3000E+00	1.3215E+04	1.7198E+05	3.1148E+02
6	1	3.6091E-05	9.2999E+00	4.3780E+03	4.6817E+03	1.3506E+02
Total thermal power in all circuits =						1.0272E+03 Watts

II PROLAZ - optimizacija isključena

Summary of cooling data by circuit at final iteration 4

Circuit no.	No. of lines	Volume flow rate (m ³ /sec)	Outlet temperature (degrees C)	Minimum Reynol. no.	Total press. drop (Pascals)	Thermal power (Watts)
1	1	2.1884E-05	9.2441E+00	5.2954E+03	3.0055E+04	7.7726E+01
2	1	7.7814E-05	9.3038E+00	8.4117E+03	2.9974E+04	2.9508E+02
3	1	3.4647E-05	9.3890E+00	6.6567E+03	3.0064E+04	1.4384E+02
4	1	2.1884E-05	9.2441E+00	5.2954E+03	3.0055E+04	7.7724E+01
5	1	7.7814E-05	9.2992E+00	8.4116E+03	2.9975E+04	2.9357E+02
6	1	3.4647E-05	9.3884E+00	6.6567E+03	3.0064E+04	1.4375E+02
Total thermal power in all circuits =						1.0317E+03 Watts

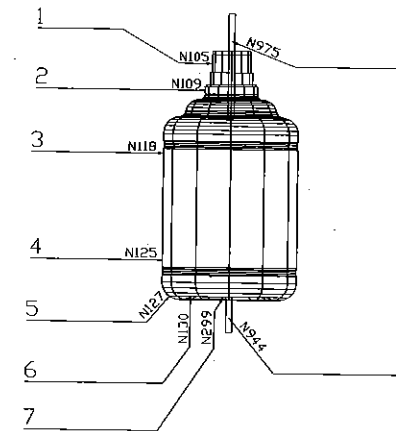
Slika 4. Prikaz strujnih veličina rashladnih krugova

Dobijeni rezultati simulacije se koriste za upoređivanje sa eksperimentalnim vrednostima dobijenim merenjem temperatura u iskustveno izabranim tačkama na proizvodu.

TEMPERATurna KARAKTERIZACIJA SISTEMA

Urađene su dve grupe merenja za tri vremenska trenutka pri čemu je varirana ulazna temperatura vode rashladnog sistema alata. Variranje ulazne temperature vode rashladnog sistema tokom eksperimenta je pokazalo da je uticaj neznatan na skraćivanje tehnološkog vremena izrade proizvoda. Očigledno da najveći uticaj na tehnološko vreme ima sama konstrukcija rashladnog sistema alata.

Iskustveno su izabrane tačke na PVC boci u kojima je vršeno merenje temperature u određenim vremenskim trenucima. Temperaturna karakteristika spoljne površine boce je bitna za određivanje dužine tehnološkog vremena za samu izradu proizvoda. Izabrane temperaturne merne tačke na spoljnoj površini PVC boce su prikazane na slici 5.



Slika 5. Iskustveno izabrane temperaturne merne tačke

POREĐENJE REZULTATA

Poređenjem odgovarajućih veličina potrebno je utvrditi da li je postojeći rashladni sistem odgovarajuće dimenzionisan i dovoljno efikasan da obezbedi najkraće moguće tehnološko vreme izrade boce. Vreme provedeno u alatu mora da bude dovoljno dugo da obezbedi spoljnoj površini boce potrebnu površinsku čvrstoću posle trenutka otvaranja alata.

Na osnovu raspoloživih rezultata dobijenih računarskom simulacijom i merenjem za određene vremenske trenutke od 10s, 15s i 20s posle otvaranja alata, a za ulaznu temperaturu vode od 8,4°C, poređene su odgovarajuće veličine [3]. Uporedni prikaz temperatura simulacije i merenja u iskustveno izabranim tačkama dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Uporedni prikaz temperatura simulacije i merenja

Int. vrem.	10s			15s			20s		
	sim. (°C)	mer. (°C)	odnos sim/mer	sim. (°C)	mer. (°C)	odnos sim/mer	sim. (°C)	mer. (°C)	odnos sim/mer
0	109,0	98,0	1,11	111,1	111,0	1,00	110,7	102,0	1,09
1	58,8	47,0	1,25	58,0	52,0	1,12	57,1	55,0	1,04
2	46,5	52,0	0,89	45,8	56,7	0,82	44,9	57,0	0,79
3	56,1	23,0	2,44	55,7	22,0	2,53	55,0	24,0	2,29
4	40,8	23,1	1,77	39,7	23,3	1,70	38,6	24,0	1,61
5	40,2	25,4	1,58	38,9	24,2	1,61	37,7	23,6	1,60
6	45,9	40,0	1,15	44,8	42,2	1,06	43,6	43,0	1,01
7	66,2	59,0	1,12	64,9	55,0	1,18	63,6	74,0	0,86
8	89,4	111,0	0,81	88,8	113,0	0,79	87,7	112,0	0,78

ZAKLJUČAK

Na osnovu poređenja rezultata simulacije i eksperimentalnih merenja utvrđeno je da rashladni sistem poseduje dovoljan termički kapacitet potreban da odvede toplotu unetu u sistem sa pretformom PVC boce, ali da je vrh alata koji formira grlo boce nedovoljno ohlađen a bok prehladen, tako da je potrebno produžiti vreme kontakta alata i boce da bi se grlo boce dovoljno rashladilo. Ovo je potrebno uraditi da posle otvaranja alata i izbacivanja boce iz kalupne šupljine ne dođe do njenog oštećenja na vazduhu pri provođenju toplote iz unutrašnjih slojeva ka površini.

Rezultati simulacije sa FEM modelom na kojem je urađena promena na sistemu za temperiranje alata pokazuju da je moguće skratiti vreme hlađenja boce u alatu za jednu sekundu [4]. Ovakvom metodologijom rada koja obavezno uključuje računarsku simulaciju pri konstruisanju sistema za temperiranje alata je moguće postići optimalno tehnološko vreme za oblikovanje boce.

Računarska simulacija daje najbolje rezultate pri projektovanju novih alata kada još nema direktnih troškova za izradu alata. Provera već postojećeg alata kao što je prikazano u ovom radu, kada postoji potreba za pronalaženjem potencijala za skraćivanjem tehnološkog vremena izrade proizvoda i kada je ekonomski opravdano, omogućava donošenje pravilne odluke o rekonstrukciji postojećeg alata.

LITERATURA

- [1] CAEDS Plastics Analysis - User's Guide, IBM Corporation, Santa Monica, 1991.
- [2] Čatić, I.: Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985.
- [3] Projektni izveštaj TI-LI-0010/95: Računarska simulacija hlađenja alata za ekstruzionoduvanu bocu F-422, Lola institut, Beograd, 1995.
- [4] Živanović, M., Dragičević, P., Čuso, T.: Evaluacija efikasnosti sistema hlađenja alata za oblikovanje PVC boce pomoću CAE sistema, 22. JUPITER konferencija, Beograd, 1996.

M. Živanović, P. Dragičević, D. Radojević, M. Zdravković

CAE MOLD COOLING SIMULATION FOR THE PLASTICS BLOW MOLDING

Summary

Mold Cooling process simulation as one of the mold cooling system design stages is enabling an efficient heat transfer from the PVC perform bottle to the environment in the later stage of production process. The computer simulation is useful also for checking efficiency of the already made mold tools.

In this paper is presented the method of checking the mold cooling system efficiency for an existing mold tool. The simulation is done by Mold Cooling module from IBM CAEDS software package. This method enables establishing the trend of mold cooling process and therefor revealing a possible way to decrease production lead time of the PVC bottle



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

INTELIGENTNI METROLOŠKI SISTEMI U KONTROLI KVALITETA PROIZVODNIH PROCESA

Lj. Dimitrijević-Marković¹, S. Perišić²

Rezime

Kvalitet metrološke opreme kojim se organizovano kontroliše i upravlja proizvodnim procesom predstavlja osnovu za ocenu ispunjenosti postavljenih uslova kvaliteta procesa.

Baveći se ovim problemom rad ima za cilj da u složenim proizvodnim sistemima istakne uticaj parametra vremena na izlazni kvalitet preko kvaliteta metrološke opreme.

Kao osnovu za stvaranje inteligentnog proizvodnog sistema uzet je primer primene PLC-a (programabilni logički kontroler).

Rangiranje kontrolera prema hijerarhijskom modelu predstavlja mogućnost da se uvede "etalon sistem" za verifikaciju kvaliteta ili NUMA mašine alatke ili FTS-a.

Ključne reči: programabilni logički kontroler, etalon, kvalitet.

INTELLIGENT METROLOGY SYSTEMS IN THE CONTROL OF THE QUALITY OF THE MANUFACTURED PROCESSES

Summary

The quality of metrology equipment organizationally controls and operates with manufactured process and is the base for the judgment of realization of the required conditions about the quality of the product.

The basic aim of this study, dealing with this problem, is that in complex manufactured systems emphasize the influence of parameter of time on the final quality over the quality of metrology equipment.

As a base for creating the intelligent manufactured system is taken the model of using the PLC (programmable logic controller).

Key words: programmable logic controller, etalon, quality.

1. UVOD

Hijerarhija upravljanja savremenim mašinama alatkama (uslovno uzet opšti termin za NUMA i FTS i ako su po osnovnoj koncepciji različite) zasnovana je na modelima konstrukciono tehnoloških celina. Logika inteligentnih sistema uzima za model centralizovanu strukturu kojom se upravlja iz jednog centra najvišeg ranga. Pošto se kod mašina alatki radi o vrlo složenim sistemima međusobno povezanim izvedenim relacijama, sama kontrola stanja podsistema predstavlja poseban problem.

¹ Mr Ljiljana Dimitrijević-Marković, dipl. inž., Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd 11000.

² Siniša Perišić, dipl. inž., Mehatronika - Laboratorija za gasnu tehniku, Institut "Mihajlo Pupin", Volgina 15, Beograd 11000

Pored poznatih propisa i standarda o stanju i funkciji ovih elemenata sistema autori ukazuju na mogućnost primene modela hijerarhijskih sistema (sledljivost mera) etalona jedinica fizičkih veličina u zakonskoj metrologiji, u rešavanju problema kontrole kvaliteta proizvodnih procesa.

Posebna pažnja je posvećena primeni PLC-a u sistemu kontrolisanja kvaliteta proizvodnih procesa.

2. PLC U HIJERARHIJI UPRAVLJANJA KVALITETOM PROCESA

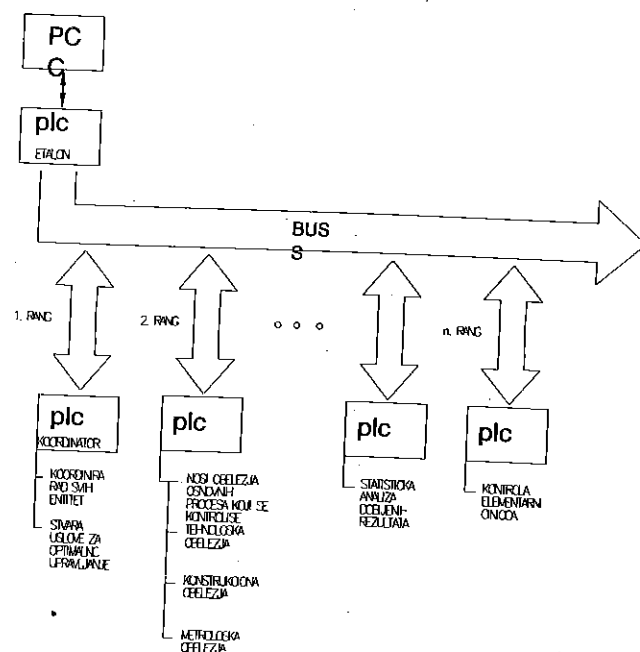
Polazeći od velikog broja faktora koji utiču na tačnost izrade proizvoda (mašina, sistema upravljanja, metoda obrade, alata, pomoćnih i mernih pribora, operatora, režima i uslova obrade, spoljne sredine, i dr.) u određenom vremenu, postavlja se model praćenja i eliminisanja grešaka pomoću kontrolera.

Centralni kontrolni sistem povezan je sa primarnim kontrolerom (termin uslovno uzet; predstavlja prvi i najvažniji kontroler u rangu koji ima zadatak super kontrole odnosno daje "dozvolu" da se proces odvija po propisanim uslovima).

Primarni kontroler u svom sistemu ima "etalon" sa kojim se poredi odvijanje procesa i daje "sertifikat" o "tačnoj" izradi odnosno kvalitetu procesa i proizvoda.

U zavisnosti od vrste i tipa mašine alatke PLC etalon predstavlja ili proceduru ili etalon vremena (jer se po najnovijoj preporuci OIMLA jedinica dužine svodi na jedinicu vremena pa se preko nje definišu svi preteći činioci obradnog sistema i procesa).

Veza ostalih kontrolera sa primarnim ostvarena je po hijerarhijskom modelu što znači rangiraju se na sekundarne i niže nivoe u zavisnosti od funkcije koju obavljaju.



Slika 1. Hijerarhija kontrolera

Na slici 1. prikazan je hijerarhijski model povezivanja kontrolera za praćenje i ocenu kvaliteta procesa - proizvoda.

3. SPECIFIČNOSTI PLC KONTROLERA NIŽEG RANGA

Model totalnog kvaliteta nameće primenu strateškog praćenja kvaliteta procesa i proizvoda. Strategija praćenja kvaliteta primenom kontrolera je zasnovana na principima totalnog kvaliteta pa i kontroleri nižeg ranga ispunjavaju ovako definisanu funkciju.

3.1. Prvi rang kontrolera - PLC-a

Prvi rang omogućava odvijanje svih funkcija sistema mašine alatke, odnosno kontroleri obavljaju koordinisan rad svih entiteta. Programima koji se razvijaju za određene vrste obradnih procesa stvaraju se uslovi za optimalno upravljanje.

3.2. Drugi rang kontrolera - PLC-a

Kontroleri drugog ranga nose obeležja svih osnovnih funkcija procesa koji se kontroliše. U obradnom sistemu predstavljaju: tehnološka, konstrukciona i metrološka obeležja. Ova obeležja su precizno definisana merljivim pokazateljima ili specifičnim osobinama, tako da kontroler pruža sve potrebne informacije o odnosima entiteta.

3.3. Najniži rang kontrolera - PLC-a

U sistemu složene celine kontroler najnižeg ranga ostvaruje i kontroliše elementarne činioce sistema.

3.3.1. Mera nesigurnosti pozicije mašine alatke

Da bi se prikazale funkcije ovog ranga prikazaće se kontrola stanja pozicije.

- pozicioniranje mašine alatke - MERA NESIGURNOSTI POZICIJE.

Kao parametri za ocenu koriste se:

- tolerancije pozicije T_p ,
- nesigurnost pozicije P ,
- odstupanje od pozicije P_a ,
- povratna razlika U ,
- rasipanje pozicije P_s .

Merenje se izvodi laserskim sistemom HP5528A HEWLETT PACKARD sa sledećim komponentama:

- laserska glava,
- merni displej,
- linearni optički sistem,
- sistem senzora, i
- sistem za analizu rezultata merenja.

Kontroler u svojoj memoriji ima podatke o meri nesigurnosti pozicije i o laserskom mernom sistemu.

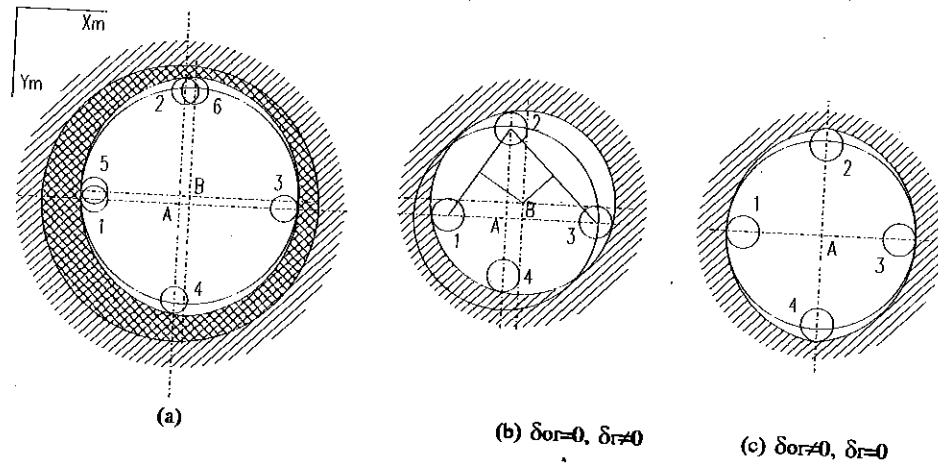
3.3.2. Greške obrade otvora na NUMA-NUMM sistemu

Greške koje se mogu javiti pri obradi otvora uslovljavaju nepoklapanje stvarne i nominalne konture kruga.

Pri obradi kružnog otvora (proširivanje nožem) na jednoj NUMA menja se pravac sila rezanja u toku jednog obrtaja alata. Zato se menja i veličina elastičnih deformacija u radijalnoj ravni normalnoj na osu nosača alata, što dovodi do ovalnosti otvora, čak i u onim slučajevima kada je dodatak za obradu strogo ravnomeran.

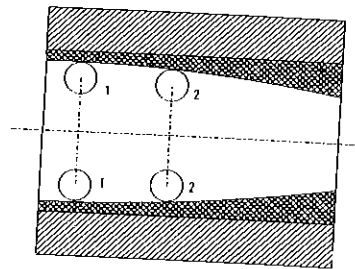
Na obradenom otvoru mogu se javiti dve vrste grešaka u radialnoj ravni:

- ovalnost u radialnoj ravni δ_{or} , i
- ekscentričnost δ_r (slika 2.)



Slika 2. Ovalnost i ekscentričnost otvora

Takođe se javlja konusnost u aksijalnoj ravni δ_k (slika 3.). Tačnije promena krutosti obradnog sistema u pojedinim aksijalnim ravnima (duž ose nosača alata), uslovljava razlike u odmicanju alata od obratka ne samo u radialnom nego i u uzdužnom (aksijalnom) preseku otvora.



Slika 3. Konusnost otvora (dodirivanje kuglicom pipka mernog senzora u dve ravni (1-1, 2-2))

Varijacija krutosti obradnog sistema u pojedinim pravcima radialne ravni izaziva dakle ovalnost i ekscentričnost ose otvora u poprečnom pravcu. U završnim operacijama obrade otvora proširivačima i razvrtačima moguće je ukloniti ovalnost otvora δ_{or} , ali se ovim operacijama ne može u dovoljnoj meri popraviti položaj ose.

Na slici 4. prikazan je algoritam prepoznavanja preko koga se utvrđuje postojanje greške ovalnosti, greške ekscentričnosti (ose stvarnog i nazivnog kružnog otvora se ne poklapaju) i greške konusnosti kružnog otvora. Predviđeno je dodirivanje kuglicom pipka mernog senzora u četiri tačke (videti sliku 2.) u dvema paralelnim ravnima (slika 3.).

Na osnovu izmerenih stvarnih vrednosti i poređenja istih sa etalon vrednostima utvrđuje se da li se dimenzije i oblik kružnog otvora nalaze unutar propisanih granica tolerancija mera i oblika. U slučaju odstupanja stvarnih od "etalon" vrednosti i prekoračenja tolerisanih okvira može se doneti odluka o odbacivanju dela kao škart ili se preduzimaju određeni koraci (naknadne dorade) s ciljem da se greške dovedu u tolerisane okvire.

Ravan 1-1

Pozicioniranje centra kuglice mernog pipka u tačku A_1 sa koordinatama $X_m=a, Y_m=b, Z_m=-10$ (uzeto kao primer, slika 2.)

Automatsko dodirivanje unutrašnje konture kruga u 4 tačke (slika 2., ravan 1-1 sa slike 3.)

U preseku simetrala duži 13 i 24 nalazi se centar B_1 stvarnog kruga u ravi 1-1 (slike 2. i 3.)

Ravan 2-2

Pozicioniranje centra kuglice mernog pipka u tačku A_2 sa koordinatama $X_m=a, Y_m=b, Z_m=-20$ (ravan 2-2, slika 3.)

Automatsko dodirivanje unutrašnje konture kruga u 4 tačke (slika 2., ravan 2-2 sa slike 3.)

U preseku simetrala duži 13 i 24 nalazi se centar B_2 stvarnog kruga u ravni 2-2 (slike 2. i 3.)

ZA SVAKU RAVAN SE VRŠI PROVERA (RAVNI 1-1 I 2-2)

Da li su koordinate tački A_i i B_i jednake? $i=1,2$

$\delta_r \neq 0$

$\delta_r = 0$

Pozicionirati centar kuglice pipka u stvarni centar kruga B_i

Dodirivanje unutrašnje konture kruga. Pozicije 5 i 6, slika 2a.

Da li je duž $B_5 = B_6$?

$\delta_{or} = 0$

$\delta_{or} \neq 0$

Ne

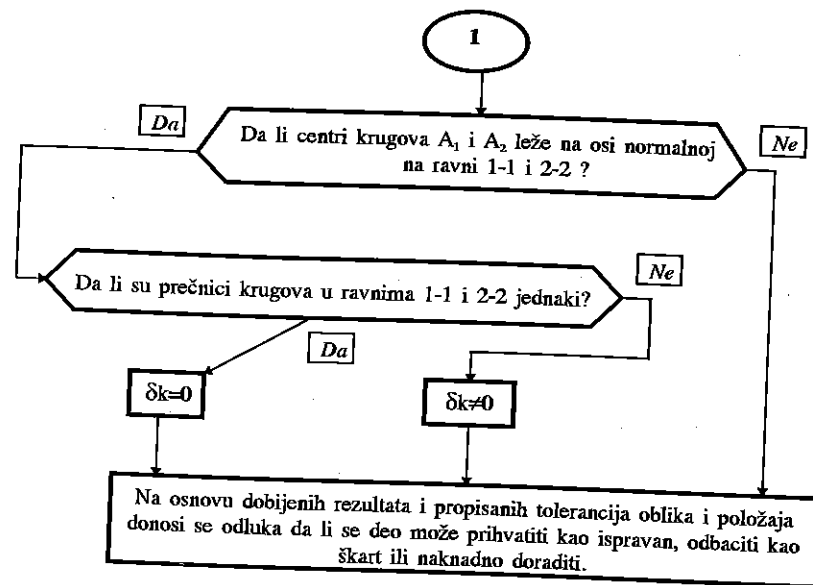
Da li je duž $A_1 = A_2$?

$\delta_{or} \neq 0$

$\delta_{or} = 0$

1

Nastavak na narednoj strani.



Slika 4. Algoritam prepoznavanja greški δ_k , δ_{or} , i δ_r

4. ZAKLJUČAK

Savremeni procesi obrade i izrade u metaloprerađivačkoj industriji predstavljaju inteligentne sisteme kod kojih je mera efikasnosti kvalitet. O načinima za ocenu i meru kvaliteta postoji mnogo mišljenja, metoda i mogućnosti merenja.

Uvođenjem referentnih modela ili etalon sistema ili samo etalona u ovako složene i komplikovane procese, a preko PLC kontrolera po hijerarhijskom modelu omogućuje se sprovođenje sistema totalnog kvaliteta i sa metrološkog stanovišta.

Predlog ovakvog prilaza uvođenja rangiranih kontrolera prvi put se izlaže u ovom radu pa nadamo se predstavlja i podsticaj za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

5. LITERATURA

- [1] Lj. Dimitrijević-Marković, S. Perišić, Karakteristični modeli merenja parametara konusnih preseka na NUMM, 15. Jugoslovenski simpozijum "NU-ROBOTI-FTS", str.67-75, Zbornik radova, Prohor Pčinjski, 1993.
- [2] S. Perišić, Lj. Dimitrijević-Marković, Opšti model primene programabilnog logičkog kontrolera (PLC-a) u laboratorijskim ispitivanjima, 18. Jugoslovenski simpozijum "NU-ROBOTI-FTS", Zbornik radova, Beograd, 1996.
- [3] PC System Handbook for Scientists and Engineers, Cyber Research, USA, winter/spring 1996.

ANALYTICAL CALCULATION OF THE POSITION LOOP GAIN FOR CNC MACHINE TOOLS

Zoran Pandilov, Vladimir Dukovski, Ljuben Dudeski

Faculty of Mechanical Engineering-Skopje
Karpos II b.b. P.O.Box 464
91000 Skopje, MACEDONIA

Key words: position loop gain, analytical calculation, feed drive, CNC machine tool

SUMMARY: One of the most important factors which influences the dynamical behavior of the feed drives for CNC machine tools is position loop gain or K_v -factor. It directly influences the contouring accuracy of the machine tool. Usually position loop gain is experimentally tuned on the already assembled CNC machine tool. This paper gives one approach towards its analytical calculation. The difference between analytical calculated and experimentally obtained K_v -factor is smaller than 5%, which is completely acceptable.

1. INTRODUCTION

The most important variable which describes the behavior of a position control loop for CNC machine tools feed drives is position loop gain or K_v -factor. This is the ratio of the command velocity (feed rate) v to the position control deviation (following error, tracking error, lag) Δx [1,2,6,7]

$$K_v[s^{-1}] = \frac{v[mm/s]}{\Delta x[mm]} \quad \text{or} \quad K_v \left[\frac{m/min}{mm} \right] = \frac{v[m/min]}{\Delta x[mm]} \quad (1)$$

$$K_v[s^{-1}] = \frac{1000}{60} \cdot K_v \left[\frac{m/min}{mm} \right] \quad (2)$$

From the magnitude of the K_v -factor depends tracking or following error. In multi-axis contouring the following errors along the different axes may cause form deviations of the machined contours. Generally position loop gain K_v should be high for faster system response and higher accuracy, but the maximum gains allowable are limited due to undesirable oscillatory responses at high gains and low damping factor. Usually K_v factor is experimentally tuned on the already assembled machine tool [1,9]. This paper presents approach for analytical calculation of the position loop gain K_v . A combined 6-th order digital-analog model of the position loop is presented. In order to ease the calculation, the 6-th order system is simplified with a second order model. With this approach it is very easy to calculate the K_v

factor for necessary position loop damping. The difference of the replacement of the 6-th order system with second order system is presented with the simulation program MATLAB. Analytically calculated Kv factor is function of the nominal angular frequency ω and damping D of the feed drive electrical parts (motor and regulator), nominal angular frequency ω_m and damping D_m of the mechanical transmission elements, as well as sampling period T.

2. COMBINED DIGITAL-ANALOG MODEL OF THE FEED DRIVE POSITION CONTROL LOOP AND ANALYTICAL CALCULATION OF THE Kv FACTOR

Fig. 1 presents digital-analog model of the CNC machine tool feed drive position control loop, where s represents Laplace operator.

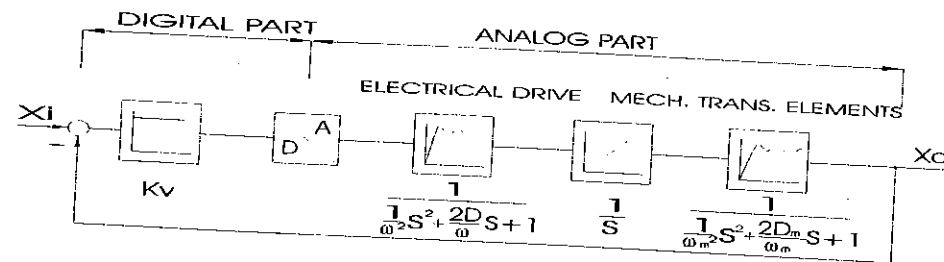


Fig. 1 Combined digital-analog model of the feed drive position control loop

Similar models are presented in [1,3,4], but the transfer function of mechanical transmission elements is not taken in consideration. Because of the existence of the digital part in the presented model we must use z-transformation for analysis. With some approximations and substitutions it is possible to analyze presented model in s-domain (with Laplace transformation). Digital-analog converter is substituted with zero order holder (z.o.h.) and sampler [8]. The new model is presented in fig.2.

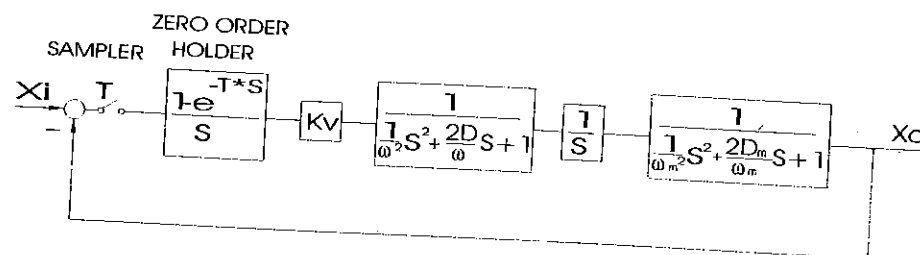


Fig.2 Modified model of the feed drive position control loop presented in fig. 1

According [8,11] we can approximate sampler and zero order holder (z.o.h.) in Laplace domain with the following transfer function:

$$G(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{T \cdot s} \quad (3)$$

With the Padé approximation of the first order for the e^{-Ts} we get:

$$e^{-Ts} \approx \frac{1 - \frac{T}{2} \cdot s}{1 + \frac{T}{2} \cdot s} \quad (4)$$

where T is sampling time (period)

In that case G(s) becomes:

$$G(s) = \frac{1 - e^{-Ts}}{T \cdot s} \approx \frac{1}{1 + \frac{T}{2} \cdot s} \quad (5)$$

With these simplifications feed drive position control loop may be presented with following model (fig.3).

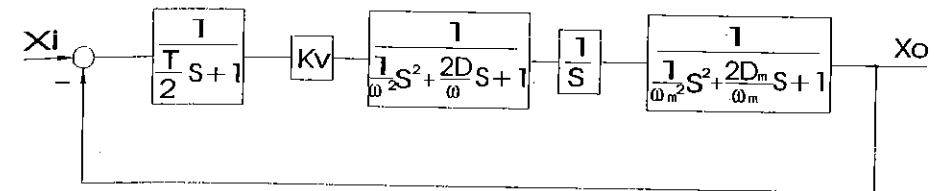


Fig.3 Analog model of the feed drive position control loop

The model in fig.3 may be analyzed in s-domain with Laplace transformation. The transfer function of the feed drive position control loop presented in fig.3 is:

$$\frac{Xo(s)}{Xi(s)} = \frac{Kv \cdot \frac{1}{\frac{T}{2} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{\omega^2 \cdot s^2 + \frac{2D}{\omega} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{\omega_m^2 \cdot s^2 + \frac{2D_m}{\omega_m} \cdot s + 1}}{1 + Kv \cdot \frac{1}{\frac{T}{2} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{\omega^2 \cdot s^2 + \frac{2D}{\omega} \cdot s + 1} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{\omega_m^2 \cdot s^2 + \frac{2D_m}{\omega_m} \cdot s + 1}} \quad (6)$$

$$\frac{Xo(s)}{Xi(s)} = \frac{Kv}{\left(\frac{T}{2} \cdot s + 1\right) \left(\frac{1}{\omega^2 \cdot s^2 + \frac{2D}{\omega} \cdot s + 1}\right) \left(\frac{1}{s}\right) \left(\frac{1}{\omega_m^2 \cdot s^2 + \frac{2D_m}{\omega_m} \cdot s + 1}\right) + Kv} \quad (7)$$

$$\frac{Xo(s)}{Xi(s)} = \frac{b_0}{a_6 \cdot s^6 + a_5 \cdot s^5 + a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0} \quad (8)$$

where:

$$a_6 = \frac{T}{2\omega^2\omega_m^2}, \quad a_5 = \left[\frac{1}{\omega^2\omega_m^2} + \left(\frac{2D_m}{\omega^2\omega_m} + \frac{2D}{\omega\omega_m^2} \right) \cdot \frac{T}{2} \right],$$

$$a_4 = \left[\left(\frac{2D_m}{\omega^2\omega_m} + \frac{2D}{\omega\omega_m^2} \right) + \left(\frac{1}{\omega^2} + \frac{4DD_m}{\omega\omega_m} + \frac{1}{\omega_m^2} \right) \cdot \frac{T}{2} \right],$$

$$a_3 = \left[\left(\frac{1}{\omega^2} + \frac{4DD_m}{\omega\omega_m} + \frac{1}{\omega_m^2} \right) + \left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} \right) \cdot \frac{T}{2} \right],$$

$$a_2 = \left[\left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} \right) + \frac{T}{2} \right], \quad a_1 = 1, \quad a_0 = Kv \quad \text{and} \quad b_0 = Kv.$$

Having informations about the magnitude of the variables ω, D, ω_m, D_m , and T in real feed drive position control loops, we can conclude that a_6, a_5, a_4, a_3 tends towards zero ($a_6, a_5, a_4, a_3 \rightarrow 0$). So in that case we can simplify 6-th order system with the

second order system [8,10]. We will present feed drive position control loop with the simplified transfer function:

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{b_0}{a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0} \quad (9)$$

where $a_2 = \left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right)$, $a_1 = 1$, $a_0 = Kv$ and $b_0 = Kv$.

In that case

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{Kv}{\left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right) \cdot s^2 + s + Kv} \quad (10)$$

To check if it is correct to substitute 6-th order with second order system, we will simulate the system transfer function response on step function with simulation program MATLAB. Numerical values of the parameters of the examined system are: $\omega=1000s^{-1}$, $D=0.7$, $\omega_m=663s^{-1}$, $D_m=0.17$, $T=0.006s$ and $Kv=100s^{-1}$.

Following transfer function will be compared:

-6-th order system transfer function

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{100}{6.82 \cdot 10^{-15} \cdot s^6 + 2.44 \cdot 10^{-11} \cdot s^5 + 2.76 \cdot 10^{-8} \cdot s^4 + 1.55 \cdot 10^{-5} \cdot s^3 + 6.02 \cdot 10^{-3} \cdot s^2 + s + 100}$$

-second order system transfer function

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{100}{6.02 \cdot 10^{-3} \cdot s^2 + s + 100}$$

Fig. 4. gives responses of the position control loop transfer function of 6-th and 2-nd order on step function.

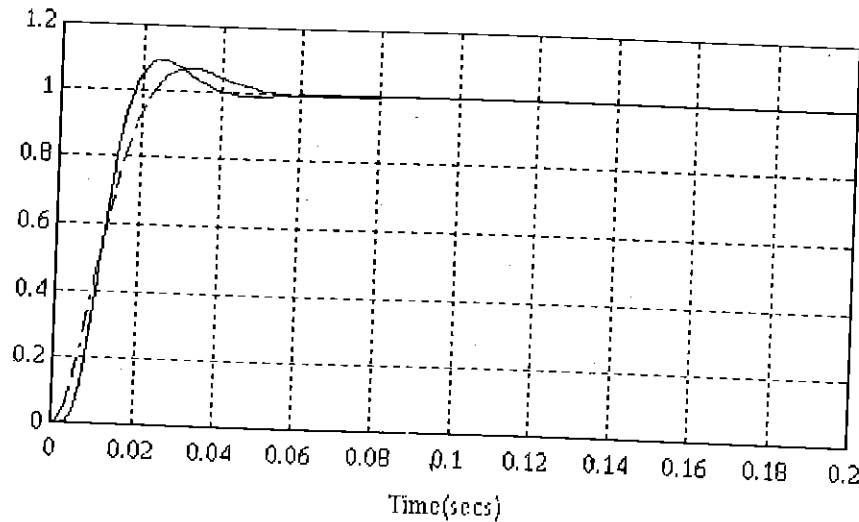


Fig. 4 (-----) Time response of the 6-th order system
(- - - -) Time response of the 2-nd order system

From fig.4 it is obvious that the differences caused by substitution are minimal. It makes substitution completely acceptable. For the second order system it is possible very easy and fast to calculate Kv-factor for necessary position control loop damping.

We can write the second order system transfer function in the following form:

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2} \cdot s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n} \cdot s + 1} \quad (11)$$

where ζ is position control loop damping ($0 < \zeta < 1$), and ω_n is nominal angular frequency of the position control loop. We will transform equation (10) in the form of equation (11).

$$\frac{X_o(s)}{X_i(s)} = \frac{Kv}{\left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right) \cdot s^2 + s + Kv} = \frac{1}{\left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right) \cdot \frac{1}{Kv} \cdot s^2 + \frac{1}{Kv} \cdot s + 1} \quad (12)$$

Comparing (11) and (12) we can obtain:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{Kv}{\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2}}} \quad \text{and} \quad \zeta = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{Kv \left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right)}} \quad (13)$$

In order to have required position control loop damping ζ , Kv-factor should be calculated with the following equation:

$$Kv = \frac{1}{4\zeta^2 \left(\frac{2D}{\omega} + \frac{2D_m}{\omega_m} + \frac{T}{2} \right)} \quad (14)$$

Equation (14) gives direct analytical relationship between Kv-factor and ω , D , ω_m , D_m , T and ζ , which are already known variables, or can be calculated very easy.

With the equation (14) it is possible to estimate CNC machine tool feed drive position loop gain Kv without performing experiments.

We will check correctness of the equation (14) on real feed drive position control loop of CNC milling machine FGS 32-CNC. Position loop damping $\zeta=0.7$ is preferable according [5]. That is the value which gives minimal contouring errors. Other numerical values of the examined system are: $\omega=1000s^{-1}$, $D=0.7$, $\omega_m=663s^{-1}$, $D_m=0.17$, and $T=0.006s$. With the substitution in the equation (14) the position loop gain value $Kv=103.85 s^{-1}$ is calculated. Experimentally tuned value of Kv-factor on examined machine tool axis was $Kv=100 s^{-1}$. The difference between analytically calculated and experimentally obtained value of Kv-factor is around 4%, which is completely acceptable.

3.CONCLUSION

The equation (14) enables very fast, simple and precise analytical calculation of position loop gain Kv as a function of already known position control loop parameters (ω nominal angular frequency of the feed drive electrical parts, D -damping of the feed drive electrical parts, ω_m -nominal angular frequency of the mechanical transmission elements, D_m -damping of the mechanical transmission elements and T -sampling time). In that way we can avoid long-time experimental tuning of the Kv-factor on machine tool. And of course analytical calculation of the Kv factor gives possibility to estimate the accuracy of the system in the design phase.

4. REFERENCES

- [1] G. Stute, K. Böbel, J. Hesselbach, U. Hodel, P. Stoff: Electrical feed drives for machine tools. Edited by Hans Gross, John Wiley & Sons, 1983.
- [2] M. Weck: Handbook of Machine Tools, Volume 3, Automation and Controls. Chichester, John Wiley & Sons, 1984.
- [3] P. Müller: Steuerungen und Antriebe für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, Werkstatt und Betrieb 120(1987)9, 704-706.
- [4] H. Gose, W. Papiernik: Digitale Regelsysteme für CNC-Werkzeugmaschinen, wt-Z. ind. Fertig. 75(1985) No.9, 579-582.
- [5] Aun-Neow Poo, J. Bollinger, G. Younkin: Dynamic Errors in Type I Contouring Systems, IEEE Transactions of Industry Applications. Vol. IA-8, No.4, 1972, 477-484.
- [6] J. Bollinger, G. Stute, H. Van Brussel, J. Dinsdale: Digital Controls and Feed Drives State-of-the-Art and new Developments, Annals of the CIRP Vol.29/2/1980, 497-506.
- [7] M. Weck, G. Ye: Sharp Corner Tracking Using IKF Control Strategy, Annals of the CIRP Vol. 39/1/1990, 437-441.
- [8] H. Gose: CNC-geregelte, discrete Lageregelkreise bei numerischen Mehrachsenbahnsteuerungen, wt-Z. ind. Fertig. 67(1977), No.8, 455-459.
- [9] A. V. Palcev, Electrical and Hydraulic drives for NC machine tools and industrial robots. ENIMS, Moscow, 1982, 21-30, (In Russian).
- [10] Von Andreas Laika: Ermittlung des Zeitverhaltens von Lageregelkreisen aus den Frequenzgängen ihrer Bauelemente, VDI-Z 119 (1977) Nr.6, 315-318.
- [11] L. Harder, A. J. Isaksson: Robust PI-control of cutting forces in turning, Proceedings of 1 MATADOR Conference, Manchester, U.K., 1995, pp.261-266.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

M. Rakić, V. Majstorović¹⁾

FORMIRANJE KOORDINATNOG SISTEMA MERENJA POMOĆU EKSPERTNOG SISTEMA ZA INSPEKCIJU

Rezime:

Koordinatni sistem merenja predstavlja osnovni koordinatni sistem umutar koga se obavlja inspekcija. Pravilno formiranje koordinatnog sistema merenja omogućuje korektno izvođenje inspekcije svih vrsta tolerancija.

Rad daje neke od rezultata istraživanja ove problematike, i sastoji se iz sledećih celina: a) postavka problema, b) baza znanja ekspertnog sistema, c) pravila za formiranje koordinatnog sistema merenja, d) eksperimentalni rezultati, e) zaključak i f) reference.

Ključne reči: Koordinatni sistem merenja, Ekspertni sistem, Baza znanja, Inspekcija.

1. POSTAVKA PROBLEMA

Ekspertni sistemi predstavljaju software proizvode, koji su namenjeni rešavanju specifičnih problema na bazi znanja [1,2]. Problemi definisanja znanja i njegove akvizicije već unazad nekoliko decenija predstavljaju veliki izazov u razvoju "veštačke inteligencije".

U današnje vreme, pored ovih zahteva komitet ISO TC176 je donošenjem serije standarda ISO 9000/10000 ovaj trend doveo do zahteva da računar preuzme mnoge aktivnosti koje su do danas bile isključivo ljudske aktivnosti. Pored ovih činjenica razvoj NUMM (Numerički Upravljanje Mašine Alatk) je omogućio da se korišćenjem različitih aplikacija projektovanje plana inspekcije poveri računaru. Jedan deo istraživanja na ovom planu proizvodne metrologije je prikazan u ovom radu.

2. EKSPERTNI SISTEM ZA PROJEKTOVNE KONCEPCIJSKO PLANA INSPEKCIJE KRIVIH LINIJA I POVRŠINA

Znanja potrebna za merenje i inspekciju krivih linija i površina, i koja se ugrađuju u ekspertni sistem, mogu se podeliti na: a) znanja o tehnologiji obrade delova, b) opšta metrološka znanja o tolerancijama i njihovoj oceni u klasičnim tehnologijama, c) matematička znanja o krivim linijama i površinama, d) znanja o mernim mašinama i principu njihovog rada,

¹⁾ Milutin RAKIĆ, dipl.ing., prof. dr Vidosav MAJSTOROVIĆ, dipl.ing., Laboratorija za proizvodnu metrologiju i kvalitet, Institut za proizvodno mašinstvo i CIM, Mašinski fakultet u Beogradu, 27. marta 80, Beograd.

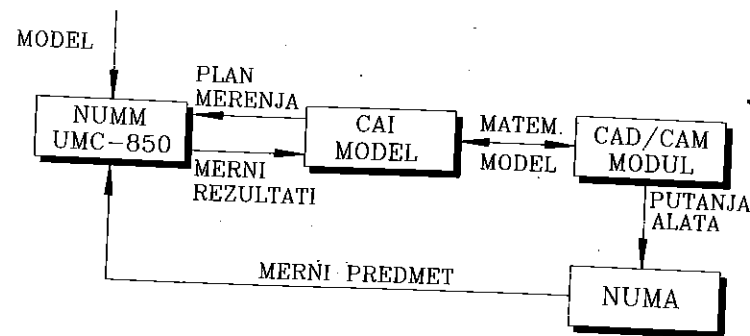
Tel. 011-3229-040

Fax: 011-3221-198

e) znanja o software-ima koji su instalisani na odgovarajućoj mernoj mašini i f) heuristička znanja eksperata u odgovarajućoj oblasti [4].

Koncepcijski plan inspekcije predstavlja osnovni tehnološki dokument za proces merenja ili inspekcije u metrologiji. Koncepcijski plan inspekcije se može generisati na nekoliko načina. U dosadašnjoj metrološkoj praksi, tehnolog je na bazi iskustava, obuke i stečenih znanja, generisao koncepcijski plan inspekcije, onako kako bi njegovo iskustvo i fond činjenica koje je poznavao omogućavalo. Ovakav pristup je očigledno prevaziđen, jer čovek ima mogućnost ograničene percepcije i povezivanja činjenica. Zbog ove činjenice i složenosti problematike, koja je prikazana u prethodnom tekstu, razvoj na ovom polju metrologije je pošao ka razvoju CAI modela, kao software proizvoda nove generacije.

Na bazi do sada rečenog, a zahvaljujući razvoju računara i NUMM i NUMM tehnologije, došlo se do koncepta CAI. Koncept CAI povezuje CNC programiranje obradnih sistema, mernih sistema i tehnologije merenja i obrade delova na NUMA. Na slici 1 je prikazan jedan CAI model, primenjen na problemu merenja i inspekcije krivih linija i površina na NUMM [3,5,6,7].



Slika 1. Model CAI sistema

Koncepcijski plan inspekcije pretstavlja suštinu rada sa NUMM. Ekvivalentan je operaciji na nekoj NUMA, koju definiše tehnolog obrade rezanjem. Kao što podaci o operaciji moraju da obuhvate režime rezanja, korak, opis steznog pribora, vreme izvodjenja itd., tako i koncepcijski plan inspekcije mora sve to isto da sadrži, ali prema specifičnim zahtevima za NUMM. Elementi koncepcijskog plana inspekcije su: a) elementi koordinatnog sistema merenja, b) elementi pomoćnog pribora za postavljanje mernog predmeta na NUMM, c) kombinacija i konfiguracija mernih pipaka, d) princip merenja sa parametrima rada NUMM, e) definicija eventualne naknadne promene koordinatnog sistema, f) način proračuna odstupanja oblika i položaja krive linije ili površine, g) definicija elemenata i periferijskih jedinica računara na kojima se dobijaju izlazni dokumenti i h) putanja kretanja mernih pipaka.

Kod rada sa NUMM jedan od najosnovnijih aktivnosti je pravilno definisanje koordinatnih sistema. Od mogućih koordinatnih sistema jedne moderne NUMM, u ovom radu pozabavićemo se samo koordinatnim sistemom merenja.

Prostorni element koji predstavlja osnovu za ispravljanje u prostoru može biti osnovni geometrijski element, koji u sebi ima dva prostorna ugla, ili prostorni element koji je dobijen kombinacijom drugih elemenata (izvedeni, složeni geometrijski element, i sl.). *Ravanski element* koji se u okviru postavljanja koordinatnog sistema koristi za ispravljanje u ravni mora imati u svom izlaznom izveštaju bar dva prostorna ugla. U ovom slučaju se javlja i ograničenje da, jedan od ta dva ugla mora biti treći u odnosu na dva ugla elementa koji je

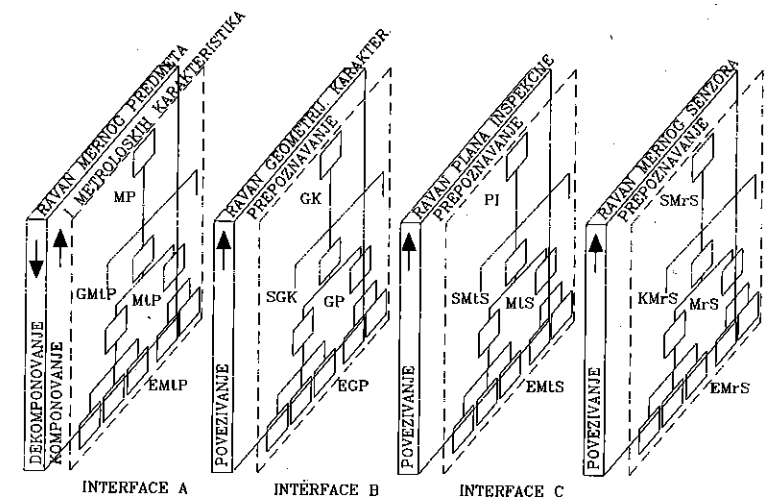
ispravljen u prostoru. Prema navedenim ograničenjima, indirektno sledi da se prvo mora izvršiti ispravljanje u prostoru, pa zatim u ravni. "Nulte tačke" su koordinate izmerenog ili formiranog geometrijskog elementa, od kojih u okviru koordinatnog sistema počinje merenje u pravcu neke ose.

3. BAZA ZNANJA

Baza znanja predstavlja osnovni i nezamenljivi deo svakog ekspertnog sistema. Baza znanja se sastoji, kada je reč o znanju definisanom kroz produkciona pravila, iz pravila koja definišu moguća stanja problema za koji se projektuje ekspertni sistem.

Na slici 2 data je struktura nivoa tehnološkog prepoznavanja kojim se definiše problem inspekcije krivih linija i površina. Detaljno o ovoj problematici dato je u [5,6,7].

Proces akvizicije znanja i sama znanja koja su potrebna mogu se prikazati kompleksnim grafom prikazanim na slici 3. U okviru ekspertnog sistema za koncepcijsko projektovanje plana inspekcije za krive linije i površine pravila se mogu podeliti prema strukturi nivoa tehnološkog prepoznavanja koja je prikazana na slici 2.

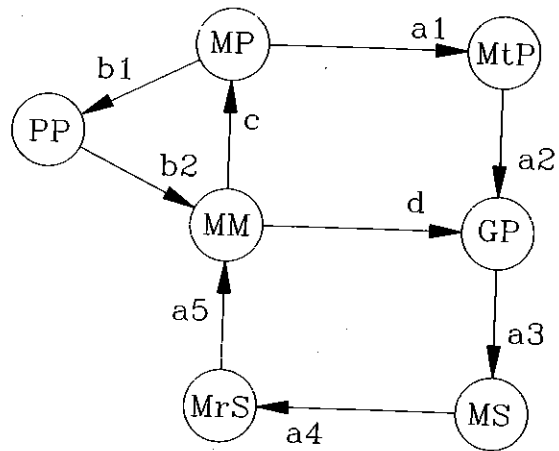


Slika 2. Nivoi tehnološkog prepoznavanja kod ekspertnog sistema za koncepcijsko projektovanje plana inspekcije za krive linije i površine

Graf akvizicije znanja za ekspertni sistem se sastoji iz terminiranih i neterminiranih simbola i detaljna objašnjenja data su u [5,6,7].

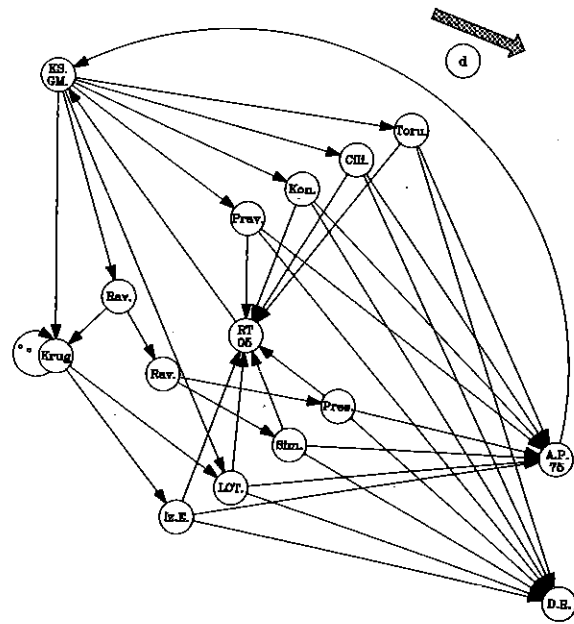
Kakvog god geometrijskog oblika da je merni predmet, postupak postavljanja koordinatnog sistema merenja može se podeliti na tri faze, i to: a) početnu fazu koja u sebi sadrži elemente preko kojih se formira prostorna osa mernog predmeta, b) druga faza koja se odnosi na postavljanje triju "nultih tačaka" (za trokoordinatne NUMM) i c) završna faza koja se odnosi na ispravljanje u ravni.

Početak rada na formiranju koordinatnog sistema merenja se sastoji u odabiru i merenju prostornog geometrijskog elementa. Prostorni geometrijski element ima u svom izlaznom izveštaju dva prostorna ugla koji se "nuliraju", odnosno ceo element se ispravlja u prostoru tako što vrednosti dva prostorna ugla postaju nula.



Slika 3. Graf akvizicije znanja za ekspertni sistem za inspekciju krivih linija i površina

Na slici 4 prikazano je "stablo" preko koga se može prikazati prvi deo postavljanja koordinatnog sistema merenja. Koji će od elemenata koji su prikazani na slici 4 biti izabran za ispravljanje u prostoru zavisi od toga koji se od njih nalazi na mernom predmetu i koji je zadat kao neka od baza. U okviru prve faze modeliranja koordinatnog sistema merenja treba obaviti i odlučivanje o tome da li se u procesu inspekcije koristi rad sa 4. NU osom NUMM.



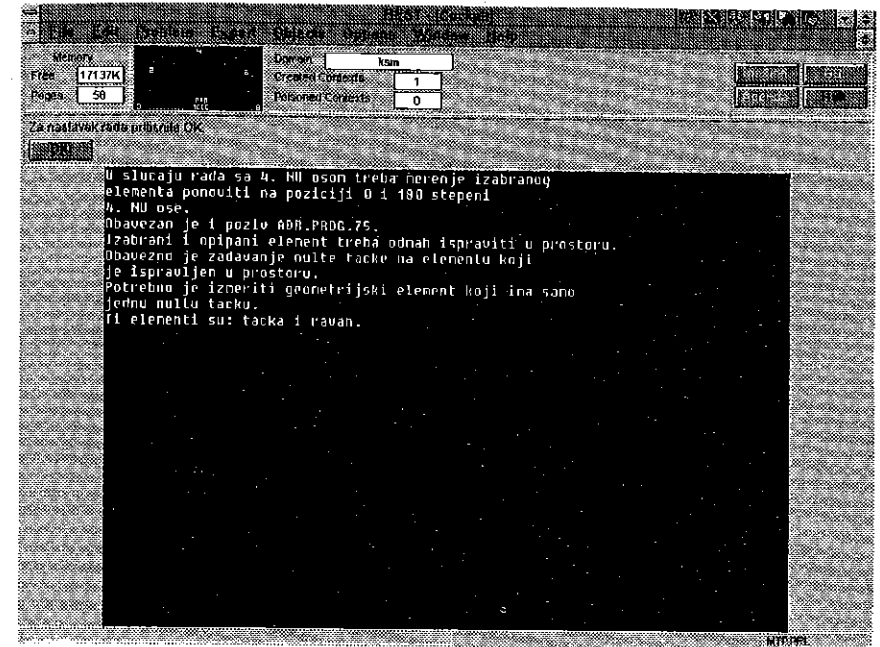
Slika 4. Prva faza formiranja koordinatnog sistema merenja

U literaturi [6] dat je detaljan prikaz svih daljih faza formiranja koordinatnog sistema merenja.

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Prema onome što je do sada rečeno, u okviru ekspertnog sistema za projektovanje konceptijskog plana inspekcije krivih linija i površina, dobijeni su rezultati preko kojih se može postaviti koordinatni sistem NUMM.

Kao primer izabran je merni predmet aksijalno kolo I stepena kompresora helikopterskog motora. Na slici 5 prikazan je deo izlaza iz ekspertnog sistema na računaru.



Slika 5. Izlazni izveštaj iz ekspertnog sistema za konceptijsko projektovanje plana inspekcije krivih linija i površina

5. ZAKLJUČAK

Rad obuhvata prilaz problematici projektovanja koordinatnih sistema merenja na NUMM pomoću ekspertnih sistema za projektovanje plana inspekcije. Ekspertni sistem za projektovanje konceptijskog plana inspekcije kao jedan od najvažnijih elemenata ima bazu znanja u kojoj se nalaze i pravila za projektovanje koordinatnog sistema merenja. U radu su prikazana istraživanja i praktični rezultati tih istraživanja kroz izlazne izveštaje ekspertnog sistema za projektovanje konceptijskog plana inspekcije krivih linija i površina na NUMM.

6. LITERATURA

- [1] Charniak, E., McDermott, D., Introduction to Artificial Intelligence, Addison-Wesley Publishing Company, Reading - Massachussets, USA, 1985.
- [2] Luger, G.F., Stubblefield, W.A., Artificial Intelligence and the Design of Expert Systems, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City - California, USA, 1989.
- [3] Majstorović, V., Milačić, V., Rakić, M., Intelligent Inspection in CIM Environment, International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Wuhan, 1993.
- [4] Lee, H., Williams, J.S., Tannock, J., A Model for Knowledge - Based Inspection Planning, Seventh International Conference on Applications of Artificial Intelligence in Engineering, pp. 1085-1100, University of Waterloo, Canada, 1992.
- [5] Majstorović, V., Rakić, M., Razvoj modela ekspertnog sistema za inspekciju krivih linija i površina, 11. Jugoslovenski simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala", str. 153-158, Kopaonik, 1992.
- [6] Rakić, M., Razvoj modela ekspertnog sistema za projektovanje konceptijskog plana inspekcije krivih linija i površina na NUMM, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [7] Rakić, M., Majstorović, V., Stanić, J., Formiranje mernog senzora NUMM pomoću ekspertnog sistema za inspekciju, 22. JUPITER konferencija, 2. Simpozijum "Kvalitet", Zbrnik radova, str. 5.31-5.36, Beograd, 1996.

USING EXPERT SYSTEM FOR INSPECTION IN COORDINATE MEASURING SYSTEM DESIGN

Summary:

Coordinate measuring system is basic coordinate system for inspection. Proper definition of coordinate measuring system make it possible for all types of tolerances inspection.

The paper gives some research results in this field, and consists of the following parts: a) problem definition, b) expert system knowledge base, c) rules for coordinate measuring system design, d) experimental results, e) conclusion i f) references.

Key words: *Coordinate measuring system, Expert system. Knowledge base. Inspection.*



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Rodić M.[†], Stević M., Novaković, D.*

PROVERA TAČNOSTI KORDINATNIH MERNIH MAŠINA

Rezime

U radu se u prvom delu definiše pojam merenja, greške merenja i merne nesigurnosti. Zatim se analiziraju greške merenja sa posebnim osvrtom na grešku merenja kod KMM.

Predlaže se metodologija provere tačnosti KMM u cilju periodične provere tačnosti u konkretnim uslovima.

U završnom delu rada se predstavljaju rezultati provere konkretne KMM po predloženoj metodologiji i izvlače određeni zaključci.

1. UVOD

Istorijski gledano u proizvodnim procesima, merenje i kontrola su predstavljali usko grlo proizvodnje. To je posebno dolazilo do izražaja tada 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 presudnog značaja za razvoj novih generacija metroloških sistema, zasnovanih na elementima fleksibilne automatizacije [1].

Koordinatna merna tehnika se pojavila kao produžetak razvoja konvencionalne merne tehnike, i primenjuje se sa uspehom pri obradi delova, u praćenju tehnološkog procesa, u tehnologiji kontrole proizvodnje, u kontroli tehnološke opreme i sredstava za kontrolu u proizvodnji.

Uvođenjem principa koordinatne merne tehnike u potpunosti se promenilo razmišljanje u području merenja geometrijskih veličina. Sa razvojem novih tehnika, koje ostvaruju izvođenje koordinatnog mernog principa i sa razvojem sistema za obradu informacija, postaje uvođenje Koordinatnih Mernih Mašina (KMM) u mernu tehniku, koja je integrisana u proizvodni proces, osnova za merenje geometrijskih veličina [2].

2. KARAKTERISTIKE MERENJA

Svako merenje povezano je sa određivanjem brojnih vrednosti fizičkih veličina uz pomoć kojih se ostvaruju zakonitosti pojava koje ispitujemo. Izmeriti neku veličinu, to znači utvrditi njen brojni odnos sa nekom drugom istorodnom veličinom. Ako pođemo od ovog stava i označimo sa Q mernu veličinu, sa $[Q]$ mernu jedinicu, a sa q brojnu vrednost veličine koja se meri u usvojenim mernim jedinicama, dobićemo:

$$Q=q \cdot [Q]$$

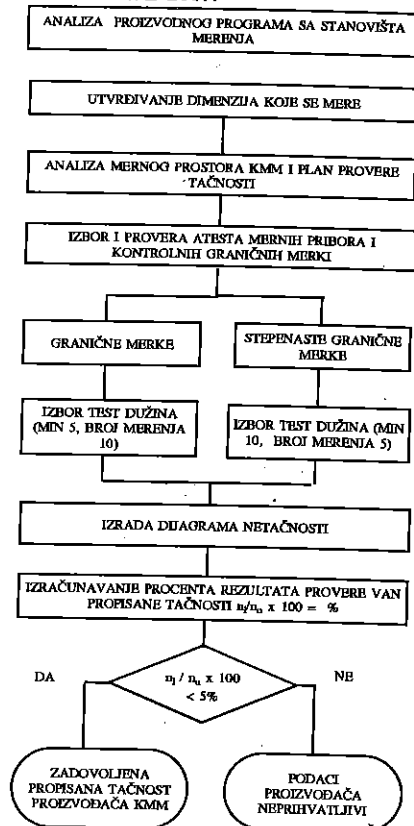
Na taj način rezultat merenja se može predstaviti kao kvalitativna informacija o osnovnim svojstvima mernog objekta, dobijena kao rezultat fizičkog eksperimenta sa određenim stepenom tačnosti [3].

*[†]) Rodić dr Milorad[†], dipl. ing., docent, Stević Miodrag, dipl. ing., stručni saradnik, Novaković mr Dragoljub, dipl. ing., asistent. Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira Perića Valtera 2. 21000 Novi Sad

4. METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE TAČNOSTI I PROVERA NA KONKRETNOJ KMM

Pri prvom stavljanju u pogon jednog mernog uređaja žele se što tačnije utvrditi greške koje se javljaju pri njegovoj upotrebi. Merenja koja pri tome treba preduzeti nazivaju se merenja za prijem. Na uređaju koji je u pogonu treba da se u periodičnim vremenskim razmacima sprovedu kontrole, koje sa neznatnijim merno-tehnološkim i vremenskim troškovima treba da daju samo jedan paušalni iskaz tačnosti i služe za nadgledanje.

Periodična provera tačnosti KMM se može izvršiti prema algoritmu prikazanom na slici 3., uvažavajući preporuke standarda VDI/VDE 2617.



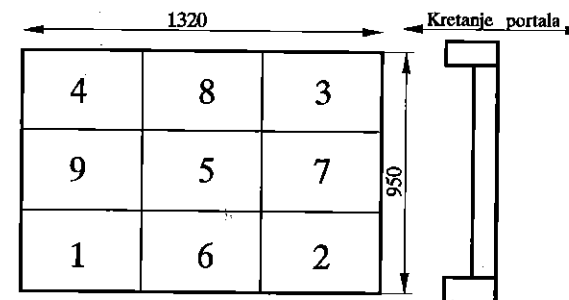
Slika 3. Algoritam toka periodične provere tačnosti KMM

Provera tačnosti prema ovom algoritmu realizovana je na konkretnoj KMM proizvođača DEA tipa IOTA 2203 DIAMOND, radnog prostora 1320x950x950 [mm].

Analizom proizvodnog procesa utvrđeno je da se dimenzije koje se mere najčešće nalaze u području do 300 mm pa je na osnovu toga merni sto podeljen na devet mernih mesta (slika 4.). Merenja se najčešće vrše na mernom stolu i visini do 200 mm. Zbog toga je provera tačnosti izvršena na mernom stolu na visini od 200 mm.

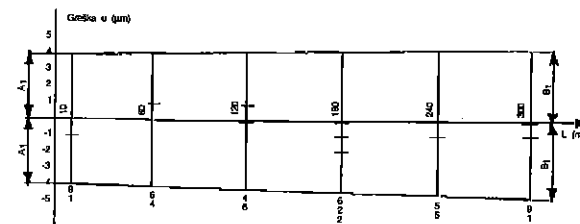
Za proveru tačnosti korišćene su granične merke klase tačnosti A. Usvojeno je da se ispitivanje vrši za šest test dužina graničnih merki: 10, 60, 120, 180, 240 i 300 [mm].

Prvo se pristupa shodno uputstvu [5], ispitivanju 3D greške merenja, zatim 2D greške merenja, a na kraju 1D greške merenja poštujući poredak mernih linija za ispitivanje koji je dat uputstvom.



Slika 4. Raspored mernih mesta na mernom stolu KMM

Dobijeni rezultati se unose u dijagrame tačnosti, primer jednog dijagrama tačnosti je prikazan na slici 5.



Slika 5. Primer jednog dijagrama tačnosti

Izračunavanje procenta rezultata van dozvoljenih granica vrši se po obrascu:

$$\frac{n_L}{n_U} \cdot 100 = X \%$$

gde su: n_L - broj rezultata van dozvoljenih granica
 n_U - ukupan broj rezultata

Na osnovu navedenog obrazca postoci odstupanja su sledeći:

za 3D-grešku	$\frac{1}{540} \cdot 100 = 0,18 \%$
za 2D-grešku na mernom stolu	$\frac{8}{540} \cdot 100 = 1,48 \%$
za 2D-grešku na visini od 200 mm	$\frac{2}{540} \cdot 100 = 0,37 \%$
za 1D-grešku na mernom stolu	
a) po X osi	$\frac{2}{540} \cdot 100 = 0,37 \%$
b) po Y osi	$\frac{2}{540} \cdot 100 = 0,37 \%$
c) po Z osi	$\frac{1}{540} \cdot 100 = 0,18 \%$
za 1D-grešku na visini od 200 mm	
a) po X osi	$\frac{8}{540} \cdot 100 = 1,48 \%$
b) po Y osi	$\frac{8}{540} \cdot 100 = 1,48 \%$

Poređenjem vrednosti odstupanja sa podacima koje propisuje proizvođač KMM dolazi se do zaključka da je odstupanje u granicama propisanog. Ovakva periodična provera tačnosti KMM nam ukazuje da će izvršena merenja biti u granicama greške merenja.

5. ZAKLJUČCI

Metode ispitivanja tačnosti KMM koriste se pri prijemu same mašine i periodično u toku eksploatacije. Izbor metode ispitivanja zavisi od konkretnih uslova.

Izabrana metodologija se bazirala na podacima o dužinama koje se načešće mere i dostupnom priboru za ispitivanje tačnosti. Na osnovu dobijenih rezultata došlo se do sledećih zaključaka:

- Merenje treba izvršiti u pravcima svake koordinatne ose X, Y, Z i posebno u pojedinim ravnima kao i u prostoru jer je rasipanje rezultata kao i pojava sistemskih grešaka različita.
- Provera treba da se vrši i za ponašanje KMM kad se merenje vrši u prostoru iznad površine mernog stola jer rezultati pokazuju da dolazi do određenih odstupanja.
- Ispitivanja za proveru greške merenja treba obaviti na više mesta površine mernog stola, pošto rezultati pokazuju da je greška merenja različita u zavisnosti od toga na kome mestu merne površine se meri.
- Moguće je na osnovu te analize odrediti za pojedine vrednosti dužina najtačnije merno mesto. Na taj način smanjujemo uticaj sistemskih grešaka koje pravi sama KMM.
- Uticaj slučajnih grešaka je moguće smanjiti pridržavajući se propisanih uslova merenja. Uslovi mjerenja nisu isti za sve proizvođače KMM.
- U toku eksploatacije tačnost mjerenja se može proveravati u onom dijapazonu dužina koje se obično mere na određenoj KMM kako bi se zadovoljili zahtevi pri eksploataciji.

Na osnovu rezultata ispitivanja tačnosti, izvršenog predloženom metodom, pravac daljeg istraživanja bi bio iznalaženje najboljeg mernog mesta u zavisnosti od merno kontrolnog zahvata i unošenje korekcija u program rada KMM kako bi se smanjio uticaj sistemskih grešaka. Korekcije bi zavisile od mernog mesta na kome se vrši merenje.

6. LITERATURA

- [1] Rodić, M., Uzunović, R., Stanić, J., Stankov, J.: Put ka TQM i Metrologiji u proizvodnom mašinstvu, Mašinstvo za XXI vek, Novi Sad, 1995.
- [2] Weckenmann, A., UBW Hamburg: Prilagođavanje koordinatne mjerne tehnike potrebama proizvodnje, Koordinatna mjerna tehnika u industrijskom sistemu osiguranja kvaliteta, Univerzitet u Mariboru, Tehnički fakultet, Maribor, 1989.
- [3] Korotov, V.P., Tajc, B.A.: Osnovi metrologii i teorii tačnosti izmeritelnih ustrojstava, Izdatelstvo standartov, Moskva, 1978.
- [4] Hercigonja, I.: Značaj preciznog mjerenja u kontroli kvaliteta u strojogradnji i perspektiva razvoja metoda i sredstava za mjerenje, FSB - Zagreb.
- [5] Standard VDI/VDE 2617.
- [6] Rečnik zakonske metrologije, osnovni termini, Zavod za mere i dragocene materijale, Beograd, 1982.
- [7] Koljozev, K.: Prolog kon razvoju na metodite na isputavanjeto na trodimenzionalnite merni uredi, Doktorska disertacija, UCMTN Mašinski fakultet Skoplje, 1987.
- [8] Vasić, S., Stankov, J.: Uslovi okoline i tačnost KMM, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo, FTN, br. 5,6, Novi Sad, 1989.

Rodić M.[†], Stević M., Novaković, D.

ACCURACY INSPECTION FOR COORDINATE MEASURING MACHINES

Abstract

In its introductory part, the paper defines the terms of measurement, error of measurement and measuring inconsistency. Analysed there after is the error of measurement with special emphasis on errors in CMM.

Suggested is the methodology for periodical inspection of CMM accuracy. Finally presented and discussed are the inspection results for a concrete CMM obtained by application of the suggested methodology.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

V. Vukićević*

PRIMENA LASERSKIH I OPTIČKIH MERNIH SISTEMA PRI UTVRĐIVANJU GEOMETRIJSKE I RADNE TAČNOSTI MAŠINSKIH SISTEMA

Rezime

Geometrijska tačnost predstavlja jedan od osnovnih preduslova za ukupnu tačnost mašinskih sistema. U ovom radu prikazan je pregled odgovarajućih metodologija sa laserskim i optičkim mernim sistemima za ispitivanje geometrijske pravosti, ravnosti površina, upravnosti, uglovnosti, rastojanja i brzine pomeranja, paralelnosti.

1. UVOD

Ispitivanje parametara geometrijske tačnosti mašinskih sistema izvodi se u cilju:

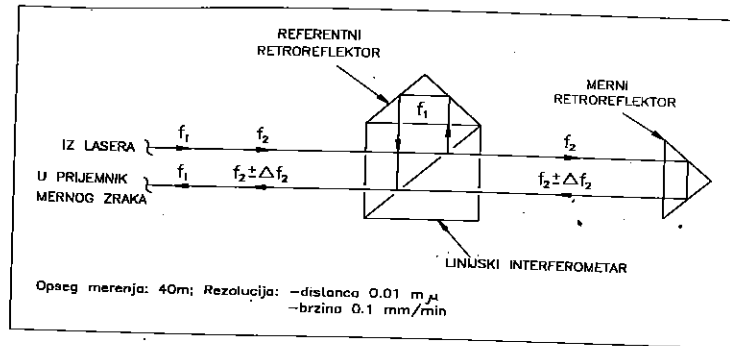
- * verifikacije projektovanih parametara tokom i nakon izrade i montaže mašina,
 - * provere parametara tokom eksploatacije,
 - * dijagnostičkog pristupa pri utvrđivanju i otkrivanju nedostataka kod mašinskih sistema.
- Za obavljanje ovih aktivnosti u LOLA Institutu koristi se savremena merna oprema:
- * Laserski dvofrekventni interferometrijski merni sistem "Hewlett Packard" - tip 5528A, koji radi na principu interferometrije, odnosno na optičkoj promeni laserskog zraka čija su svojstva: koherentnost, monohromatičnost i paralelnost, što omogućava merenja do 40m sa tačnošću 0,5 $\mu\text{m/m}$.
 - * Optički merni sistem Micro Alignment Teleskop - "Rank Taylor Hobson", tip 112/537-S, čiji se rad zasniva na optičkim principima sa mogućnošću merenja do 30m sa tačnošću 0,05 mm. Sa smanjenjem rastojanja povećava se proporcionalno tačnost merenja, tako da je na rastojanju manjem od 3 m odstupanje od tačnosti manje od preciznosti očitavanja na mikrometru.

2. METODOLOŠKI POSTUPCI MERENJA GEOMETRIJSKIH ODSUPANJA

2.1 Merenje rastojanja i brzine pomeranja

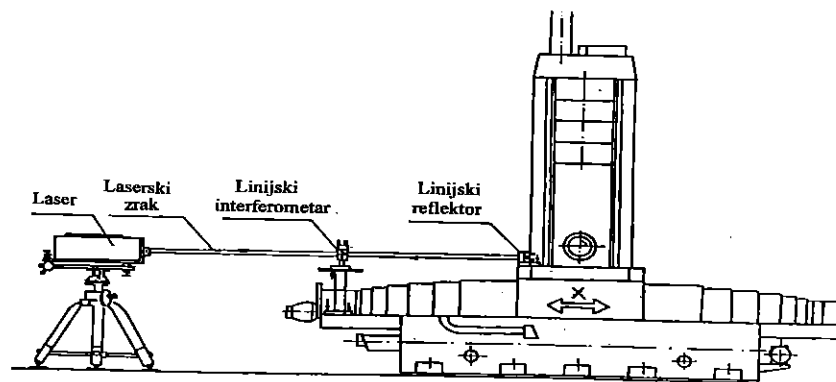
Obe ove funkcije izvode se korišćenjem laserskog mernog sistema, a princip merenja je prikazan na sl.1. Linijski interferometar mora biti postavljen između laserske glave i linijskog retroreflektora, pri čemu optika treba da je ispravno centrirana prema laserskom zraku duž mernog puta. Zraci različitih frekvencija f_1 i f_2 izlaze iz laserske glave usmereni na linijski interferometar u kome se razdvajaju njihove putanje. Zrak f_1 se usmerava po konstantnoj putanji na referentni retroreflektor, a zrak f_2 ide prema linijskom retroreflektoru, od koga se vraća nazad u interferometar. Pomeranjem pri merenju retroreflektora u odnosu na interferometar prouzrokuje se promena frekvencije zraka f_2 za veličinu Doplerovog efekta Δf_2 .

* Vladimir Vukićević, dipl. ing. LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, YU 11030 Beograd



Sl.1 Osnovni principi merjenja rastojanja i brzine

Iz interferometra zruci $f_1 - f_2 \pm \Delta f_2$ odlaze interferirani do prijemnika mernog zraka. Zatim se u mernoj jedinici lasera upoređuju signali $f_1 - f_2 \pm \Delta f_2$ i referentni signal $f_1 - f_2$. Razlika Δf_2 predstavlja brzinu pomeranja ili rastojanje, zavisno koja je od ove dve funkcije izabrana na mernoj jedinici. Na sl.2 dat je primer kontrole pozicioniranja duž ose X na horizontalnoj bušilici glodalici.

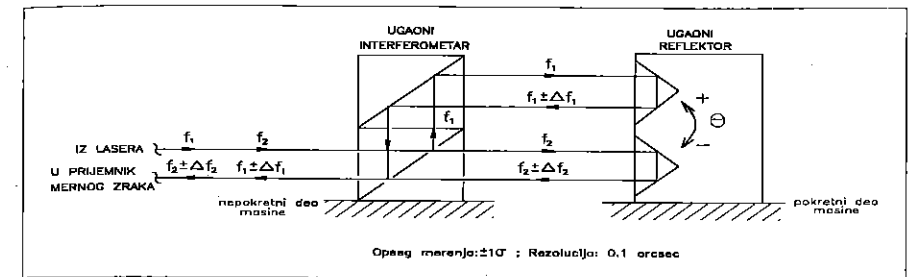


Sl.2 Kontrola pozicioniranja duž ose X na horizontalnoj bušilici glodalici

2.2 Merenje ugaonih odstupanja

Ova funkcija može se ostvariti samo korišćenjem laserskog mernog sistema, a princip merjenja prikazan je na sl.3. Ugaoni interferometar mora biti postavljen između laserske glave i ugaonog reflektora, pri čemu treba izvršiti ispravno centriranje optike prema laserskom zraku i pravcu merjenja. Iz laserske glave izlaze dva zraka f_1 i f_2 različitih frekvencija i ulaze u ugaoni interferometar u kome se razdvajaju njihove putanje i idu prema ugaonom reflektoru. Rastojanje između ova dva puta je poznato, pošto su dva retroreflektora u sklopu ugaonog reflektora precizno pozicionirana. Na početku merjenja ugao između ugaonog interferometra i ugaonog reflektora uzima se da je nula, a dva puta između njih f_1 i f_2 imaju iste dužine. Pri merenju se pomera ugaoni reflektor na odabrane pozicije, pa ako se on bar malo zaokrene za neki ugao θ dolazi do promene dužina dva puta, te dobijamo povratne zrake $f_1 \pm \Delta f_1$ i $f_2 \pm \Delta f_2$. Ovi zruci iz ugaonog interferometra odlaze do prijemnika mernog zraka, a zatim se u mernoj

jedinici upoređuju sa referentnim signalom $f_1 - f_2$ i izračunava se promena ugla, tj. ugaono odstupanje.

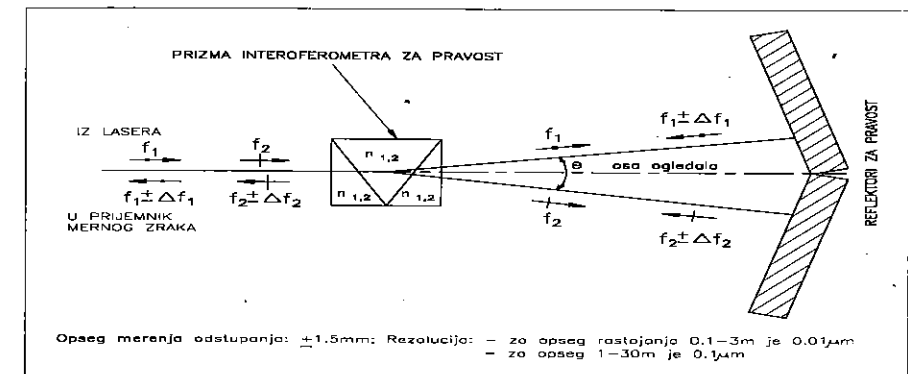


Sl.3 Osnovni principi merjenja ugaonog odstupanja

2.3 Merenje odstupanja od pravosti

2.3.1 Primena laserskog mernog sistema

Funkcionalni prikaz merjenja odstupanja od pravosti dat je na sl.4. Interferometar za pravost mora biti postavljen između laserske glave i reflektora za pravost, pri čemu treba izvesti podešavanje optike radi ispravnog centriranja laserskog zraka duž mernog puta. Iz laserske glave izlaze zruci f_1 i f_2 različitih frekvencija i ulaze u interferometar za pravost u kome se razdvajaju i idu prema reflektoru za pravost prelazeći na početku merjenja jednake dužine puta.



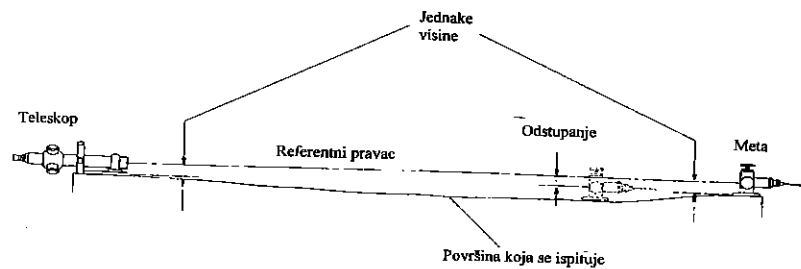
Sl.4 Funkcionalna šema merjenja odstupanja od pravosti

Tokom izvođenja merjenja pomera se reflektor za pravost na odabrane pozicije, pri čemu se menjaju dužine puta dva zraka, pa dobijamo povratne zrake $f_1 \pm \Delta f_1$ i $f_2 \pm \Delta f_2$, koji se u interferometru sastaju u istoj tački gde su bili razdvojeni zruci f_1 i f_2 . Povratni zruci $f_1 \pm \Delta f_1$ i $f_2 \pm \Delta f_2$ odlaze u prijemnik mernog zraka, a zatim se u mernoj jedinici upoređuju sa referentnim signalom $f_1 - f_2$ i izračunava se odstupanje od pravosti.

2.3.2 Primena optičkog mernog sistema

Osnovni princip pri merenju odstupanja od pravosti je uspostavljanje referentnog pravca između teleskopa i mete, koji je paralelan sa baznom površinom, a to znači da su osa

teleskopa i centar mete na istoj visini od ove površine - sl.5. Nakon uspostavljanja referentnog pravca izvodi se merenje postavljanjem mete na odabrane pozicije duž linije merenja. Očitavanje odstupanja vrši se pomoću dva mikrometra čijim pomeranjem se dovode teleskopske končanice u centar podele na meti. Ovi mikrometri omogućavaju očitavanje odstupanja od pravosti u horizontalnom i vertikalnom pravcu, a njihovo pomeranje ne remeti referentni pravac.



Sl.5 Prikaz merenja odstupanja od pravosti

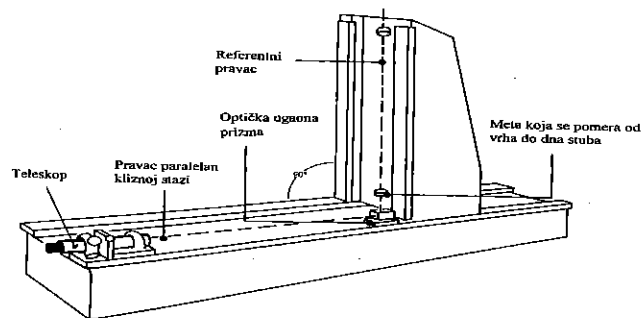
2.4 Merenje odstupanja od upravnosti

2.4.1 Primena laserskog mernog sistema

Merenje odstupanja od upravnosti vrši se na istim principima kao pri merenju odstupanja od pravosti uz korišćenje optičke ugaone prizme pomoću koje se skreće laserski zrak za 90°. Ova prizma se postavlja između interferometra za pravost i reflektora za pravost.

2.4.2 Primena optičkog mernog sistema

Isto kao kod merenja odstupanja od pravosti uspostavlja se referentni pravac, koji se skreće za 90° pomoću ugaone optičke prizme postavljene na sopstvenom podešljivom postolju. Na sl.6 prikazana je provera upravnosti stuba horizontalne bušilice glodalice na klizne staze postolja.



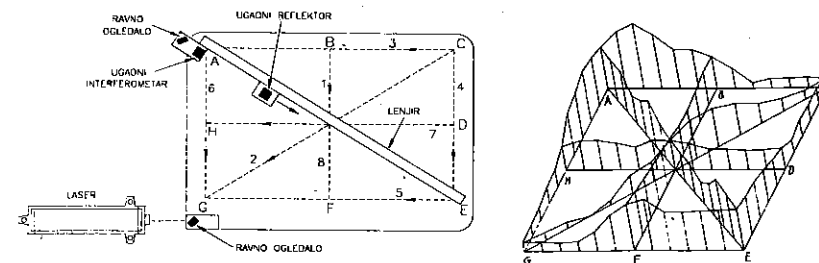
Sl.6 Prikaz kontrole upravnosti stuba na postolje horizontalne bušilice glodalice

Teleskop je postavljen na kliznu stazu, a takođe i optička ugaona prizma sa svojim podešljivim postoljem i to uz sam stub mašine. Meta sa svojim magnetnim držačem pomera se od vrha do dna stuba po odabranim pozicijama, a očitavanje odstupanja od upravnosti se vrši u dva međusobno upravna pravca pomoću dva mikrometra, slično kao kod merenja odstupanja od pravosti.

2.5 Merenje odstupanja od ravnosti površina

2.5.1 Primena laserskog sistema

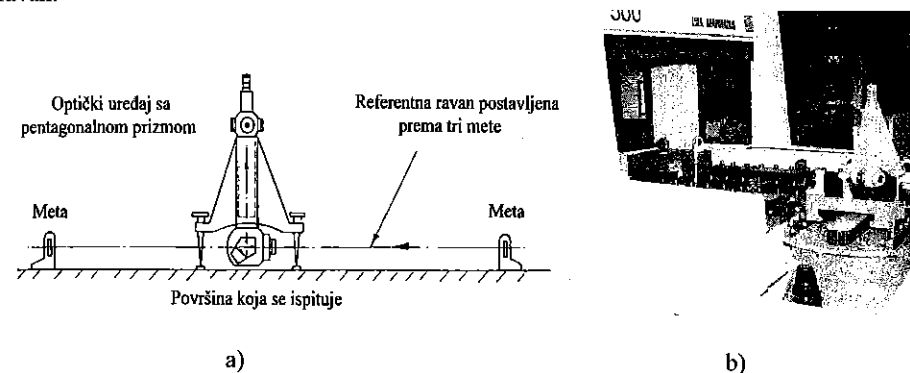
Provera ravnosti površina obavlja se pomoću komponenti koje se koriste pri merenju ugaonih odstupanja. Ugaoni interferometar mora biti postavljen između laserske glave i ugaonog reflektora uz izvođenje centriranja prema laserskom zraku. Na sl.7 prikazan je primer sa redosledom merenja i pozicioniranjem optike za prvu liniju merenja i dijagramski prikaz rezultata merenja odstupanja od ravnosti gornje površine donjeg dela magneta na ciklotronu "VINCY" u Institutu u Vinči.



Sl.6 Šema merenja i dijagramski prikaz rezultata odstupanja od ravnosti površine

2.5.2 Primena optičkog mernog sistema

Komplet opreme za merenje ravnosti površina sadrži teleskop, optičku pentagonalnu prizmu, specijalno kućište u koje se ove komponente postavljaju i četiri mete sa specifičnim ogledalima za ovu namenu. Osnovni zahtev pri merenju ravnosti površina je uspostavljanje referentne ravni pomoću tri specijalne mete - sl.8. Ova ravan je paralelna sa površinom koja se ispituje. Pomeranjem četvrte mete na pojedine tačke prema šemi merenja meri se pomoću optičkog mikrometra odstupanje od ravnosti ispitivane površine u odnosu na referentnu ravan.



Sl.8: a) Uspostavljanje referentne ravni pri ispitivanju ravnosti površine b) Primer merenja

2.6 Merenje odstupanja od paralelnosti primenom laserskog mernog sistema

Funkcija merenja odstupanja od paralelnosti zasniva se na principima merenja pravosti, pri čemu se koriste iste komponente mernog sistema, a po potrebi i optička ugaona prizma koja

se primenjuje kod merenja upravnosti. Merenje paralelnosti sadrži dva merenja pravosti izvedena duž iste merne ose sa istim reflektorom za pravost. Kod jednog merenja pomera se reflektor, a kod drugog interferometar. Odstupanje od paralelnosti se izračunava upoređenjem ova dva merenja.

3. Zaključak

Kod proizvodnje mašina visoke preciznosti neophodno je koristiti laserske i optičke merne sisteme za kontrolu geometrijske tačnosti, kako bi se otklonili nedostaci tokom proizvodnje i montaže i izbegle kasnije reklamacije, dodatni troškovi, gubljenje ugleda na tržištu. Primena ovih sistema pri ispitivanju radne tačnosti tokom procesa obrade posebno je važna kod komponenti većih dimenzija, kao što su postolja i stubovi kod alatnih mašina, kućišta kod turbinskih postrojenja itd.

4. Literatura

- [1] Laser Measurement System 5528A, Hewlett Packard, Operation Manual, Santa Clara, 1988.
- [2] Laser Transducer System 5501, Hewlett Packard, Santa Clara, 1973.
- [3] Thomas, M. Machine Tool Calibration, Laser Measurement System Application Note 325-2, Hewlett Packard, Santa Clara,
- [4] Thomas, M. Calibration of a Machine Tool, Application Note 156-4, Hewlett Packard, Santa Clara,
- [5] Calibration of a Surface Plate, Laser Measurement System, Application Note 325-1, Hewlett Packard, Santa Clara,
- [6] Optical Alignment with the Taylor-Hobson Micro-Alignment Telescope, Operation Manual, Leicester, England.

Abstract

Geometrical accuracy is one of the basic requirements for the overall mechanical systems accuracy. A review of corresponding methods with laser and optical measurement systems for geometrical accuracy testing: distance, velocity displacement, angular, straightness, squareness, flatness, parallelism is presented in this paper.



P. B. Petrović, V. R. Milačić¹

UPRAVLJANJE POPUSTLJIVOŠĆU MANIPULACIONIH ROBOTA SA ASPEKTA NJIHOVE PRIMENE U TEHNOLOGIJI MONTAŽE

Rezime

U ovom radu razmatra se problem generalizovanih mehaničkih svojstava lančaste strukture manipulacionih robota sa aspekta njihove primene u tehnologiji montaže. Mehanička izotropnost u kvazi-statičkom domenu koja je u okviru teorije kvazi-statičkog spajanja (RCC koncept) identifikovana kao osnovni zahtev uspešnosti procesa robotizovane montaže, ovde se razmatra sa aspekta redundantne akcije tipa akcione sprege, u kontekstu upravljanja mehaničkom impedansom. Polazeći od analitičke formulacije dinamičkog modela manipulacionog robota, opšte forme zakona upravljanja mehaničkom impedansom i uslova kvazi-statičke izotropnosti, postavljene su analitičke realcije izotropne ciljane impedanse kao upravljačke veličine. Na primeru SCARA konfiguracije, sprovedena je verifikacija postavljenog koncepta upravljanja. Pokazano je da je moguće ostvariti takva mehanička svojstva vrha manipulacionog robota koja su vrlo bliska izotropnim za sve položaje dovoljno udaljene od singulariteta.

1. UVOD

Teoretska i eksperimentalna istraživanja u okviru kvazi-statičkog pristupa modelovanju procesa spajanja [1], kao svoj osnovni rezultat imaju definiciju neophodnih svojstava popustljivosti sistema oslanjanja. Prema teoriji kvazi-statičkog spajanja, sistem oslanjanja mora da poseduje kvazi-statička izotropna svojstva koja se definišu kroz koncept centra popustljivosti. Kvazi-statička izotropnost ovde podrazumeva kolinearnost vektora sile spajanja i korespondentnog vektora pomeraja delova koji učestvuju u procesu spajanja. RCC jedinice [1] i SCARA manipulacioni roboti [2] su reprezentivi praktične implementacije ovog koncepta.

Istraživanjem dinamike procesa spajanja, u okviru [3] identifikuje se kinetostatička izotropnost, kao osnovno svojstvo koje mora da poseduje sistem oslanjanja objekata koji se spajaju. Kinetostatička izotropnost podrazumeva istovremeno prisustvo izotropnih svojstava u kvazi-statičkom i dinamičkom domenu. Deo ovih istraživanja koja se odnose na modelovanje kvazi-statičke izotropnosti mehaničke strukture manipulacionih robota i mogućnosti aktivnog upravljanja ovim svojstvima, navode se u ovom radu.

2. KVAZI-STATIČKA IZOTROPNOST

Kvazi-statička izotropnost odnosi se na generalizovano ponašanje lančaste mehaničke strukture manipulacionog robota u elastičnom domenu. Izotropnost ovde podrazumeva kolinearnost rezultantnog vektora spoljašnje sile svedenog na vrh robota i vektora rezultantnog

¹ mr Petrović B. Petar, prof. dr. Vladimir R. Milačić, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Katedra za proizvodno mašinstvo i primenu kompjutera, 27. marta 80 11000 Beograd

pomeraja vrha robota kao mehaničkog odziva na pobudu spoljašnjom silom kvazi-statičke prirode. Striktno, kvazi-statička izotropnost postoji ako važi:

$$F \times \delta X = 0 \quad (1)$$

gde je: $F \in R^n$ - spoljašnja sila koja deluje na vrh robota (tačka H) i $\delta X \in R^n$ - vektor pomeraja vrha robota, pri čemu važi: $dX/dt \equiv 0$ (uslov stacionarnog stanja sistema).

Ukoliko se pomeraj vrha manipulacionog robota aproksimira samo uticajem krutosti zglobova, onda postoji kongruentno preslikavanje generalizovane krutosti lančaste strukture u ekvivalentnu krutost, izraženu u odnosu na unutrašnji koordinatni sistem manipulacionog robota:

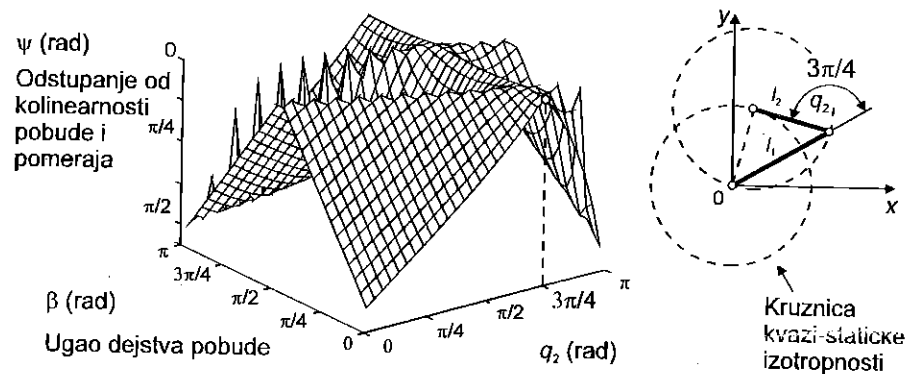
$$K = J^T(q) K_x J(q) \quad (2)$$

gde je: $K_x \in R^{n \times n}$ - matrica generalizovane krutosti, $K \in R^{n \times n}$ - matricna funkcija transformata generalizovane krutosti u unutrašnji koordinatni sistem manipulacionog robota i $J(q) \in R^{n \times n}$ - Jakobijanova matrica. Uz razdvajanje translatornih i rotacionih članova, opšti uslov kvazi-statičke izotropnosti (1) je zadovoljen ako za matricu generalizovane krutosti važi:

$$K_x = \text{dijag}[k_T \quad k_T \quad k_T \quad k_U \quad k_U \quad k_U] \quad (3)$$

Matricu krutosti K je funkcija generalisanih koordinata. U opštem slučaju ona je nedijagonalna, ali uvek simetrična i semidefinitna. U okviru [2] i [4] razmatra se problem izotropnosti lančastih mehaničkih struktura, u kontekstu striktno dijagonalnog oblika matrice krutosti K što u fizičkom smislu odgovara neredundantnoj aktuaciji (svakom stepenu slobode pripada samo jedan aktuator i obrnuto) i decentralizovanom upravljanju. Uslov dijagonalnog oblika matrice krutosti K u kontekstu (2) je vrlo restriktivan i sem u specijalnim slučajevima, nemoguće ga je ostvariti samo modulacijom krutosti neredundantnog akcionog sistema. Dodatni uslovi moraju se obezbediti geometrijskim svojstvima mehaničke strukture, ali se i tada izotropna svojstva mogu ostvariti samo za ograničen broj položaja. Na primer, planarni robot SCARA konfiguracije koji je u mehaničkom smislu ekvivalentan ljudskoj ruci, može da ostvari svojstva izotropnosti samo u jednom položaju. U cilju idealnog akcionog balansa neophodno da dužine segmenata budu u odnosu $l_2/l_1 = \sqrt{2}/2$ [4]. Na slici 1 prikazana je mapa popustljivosti SCARA robota, na kojoj se uočava da je ugao odstupanja od kolinearnosti ψ jednak nuli nezavisno od vrednosti ugla dejstva spoljašnje sile β , samo za položaj definisan sa:

$$q_{\text{IZOTROPNO}} = \{ \forall q_1 \in [0, 2\pi], q_2 = \pm \arccos(-l_2/l_1) = [\pi/4, (3/4)\pi] \} \quad (4)$$



Slika 1. Mapa popustljivosti i izotropni položaj SCARA robota [3]

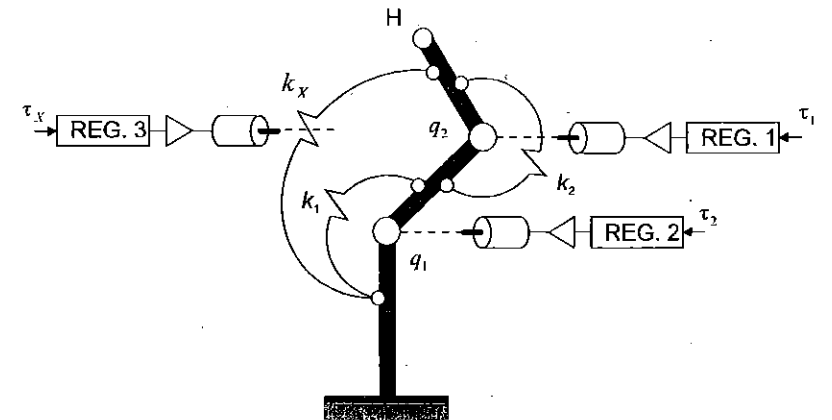
Karakteristična je podudarnost idealnog odnosa dužine segmenata SCARA robota sa analognim odnosom antropomorfnih mera ljudske ruke koje navodi Leonardo Da Vinci u svojoj studiji anatomskih crteža. Prema ovoj studiji, odnos podlaktice (antebrachium - os radius et os ulna) i nadlaktice (brachium - os humerus) je $l_2/l_1 = 5/7 = 0.715$, što je vrlo blisko odnosu idealne konfiguracije SCARA robota definisane sa $l_2/l_1 = \sqrt{2}/2 = 0.707$.

3. UPRAVLJANJE SVOJSTVIMA IZOTROPNOSTI

Ograničen broj izotropnih položaja manipulacionih robota je opšti tehnološki problem za sve zadatke kontaktnog tipa. Zbog specifičnosti procesa spajanja, ovaj problem je posebno izražen u tehnologiji montaže. Ovde se predlaže rešenje ovog problema kroz koncept mehaničke redundatnosti. Moguća su dva varijantna rešenja: 1) rešenje koje se zasniva na kinematskoj redundatnosti, 2) rešenje koje se zasniva na akcionoj redundatnosti.

U prvom slučaju, kinematski redundantni stepeni slobode (sleundarna manipulaciona struktura), dovode se u izotropni položaj. Primarna manipulaciona struktura koja predstavlja pokretnu osnovu sekundarne manipulacione strukture, poziciono se upravlja sa velikim pojačanjima u pozicionoj servo petlji, čime se ostvaruje velika krutost u odnosu na sekundarnu manipulacionu strukturu, koja je popustljivo upravljana. Ovakvom distribucijom kretanja i upravljanja moguće je ostvariti izotropno ponašanje u najvećem delu radnog prostora.

U drugom slučaju, polazi se od fizičkog značenja nedijagonalnih članova, koji su u opštem slučaju prisutni u kongrunetnom transformatu generalizovane krutosti. Nedijagonalni članovi predstavljaju *akcionu spregu* pojedinih stepeni slobode. Dodatni akcioni uticaj koji se ovim članovima unosi u mehaničku strukturu, može da proizvede takvo rezultantno mehaničko ponašanje, koje kompenzuje geometrijske specifičnosti lančastog mehanizma, tako da je kvazi-statička izotropnost ostvariva, iako je sam mehanizam, sa čisto geometrijskog aspekta, ne poseduje. Redundantnost tipa akcione sprege se dalje detaljno razmatra.



Slika 2. Akcionna redundatnost na primeru SCARA robota

Akcionu spregu moguće je ostvariti dodavanjem posebnih aktuatora, koji pored postojećih neredundantnih, dodatno simultano pogone po dva različita stepena slobode. Na slici 2 prikazana je redundantna akcija na primeru robota SCARA konfiguracije. Treći aktuator pokreće istovremeno oba stepena slobode. Matrica krutosti K je u ovom slučaju nedijagonalna:

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_x & k_x \\ k_x & k_2 + k_x \end{bmatrix} \quad (5)$$

Unakrsni član k_x dolazi od redundantnog aktuatora. Ako K_x zadovoljava uslov (3), onda kongruentno preslikavanje (2), za SCARA konfiguraciju, dovodi do:

$$K = k_L J^T(q) J(q) = k_L \begin{bmatrix} f_1(q_2) & f_x(q_2) \\ f_x(q_2) & f_2(q_2) \end{bmatrix} \quad (6)$$

gde su elementi: $K_{11} = f_1(q_2)$, $K_{22} = f_2(q_2)$, $K_{12} = K_{21} = f_x(q_2)$ nelinearne funkcije po generalisanoj koordinati q_2 , a k_L skalar koji definiše krutost u lateralnoj ravni. Očigledno je da redundantni aktuator obezbeđuje dodatni treći uslov, pomoću koga matrica krutosti K uvek ispunjava (2) i (3), za sve nesingularne položaje manipulacionog robota ($\det J(q) \neq 0$).

Koncept aktuatorne redundantnosti koji se ovde razmatra, u osnovi nije veštački koncept. Aktuatorna sprega je prisutna kod biomehaničkih sistema. Kod ljudske ruke postoje grupe antagonističkih mišića, koje simultano aktuiraju rameni i lakatni zglob analogno modelu na slici 2. Možda se njihovo prisustvo može objasniti u kontekstu prirodnog evolutivnog odgovora na problem kompenzacije anizotropnih mehaničkih svojstava skeleta.

4. IZOTROPNOST I UPRAVLJANJE MEHANIČKOM IMPEDANCOM

Alternativa mehaničkom pristupu u postizanju svojstava izotropnosti manipulacionog robota je pristup na bazi ostvarivanje ovih svojstava kroz upravljački sistem. Prvi pokušaji u implementaciji ovog pristupa navode se u [5], gde je u okviru projekta AACW (*Active Adaptable Compliant Wrist*) eksperimentisano sa programabilnim pojačanjem u pozicionoj petlji servo regulatora. Kasnije se u [6] definiše jednostavni upravljački zakon koji je u svojoj osnovi imao slični pristup kao i u AACW. Koncept potpunog dinamičkog pristupa u sintezi zakona upravljanja popustljivošću postavljen je u okviru [7]. Sem opštih okvira, koji pokazuju mogućnost modulacije dinamičkog ponašanja manipulatora preko promene parametara željene impedanse, nisu uspostavljene nikakve tehnološke relacije: impedansa - dinamičko ponašanje. Ovde se predlaže jedna takva relacija sa aspekta ostvarivanja izotropnih mehaničkih svojstava.

Upravljanje impedansom je upravljanje generalizovanim dinamičkim svojstvima manipulacionog robota u opštem slučaju. Prema [3] i [7] zakon upravljanja mehaničkom impedansom definisan je relacijom:

$$F^G = G(q) \left[\ddot{X}_o + M_x^{-1} (-B_x \dot{\eta}_x - K_x \eta_x + F) \right] + h^G(q, \dot{q}) - F \quad (6)$$

gde je: $F^G \in R^{6 \times 1}$ - generalisani vektor pogonske sile aktuatora (fiktivni aktuator koji deluje na vrh robota), $G(q) = J(q)^{-T} H(q) J^{-1}(q)$, $G(q) \in R^{n \times n}$ - generalizovani tenzor inercije sistema, $h^G(q, \dot{q}) = J^{-T}(q) h(q, \dot{q}) - G(q) A(q, \dot{q})$ - vektor generalizovanih nelinearnih funkcija dinamičkog modela robota, i $\eta_x(q, t) = X - X_o$ - vektorska funkcija greške položaja vrha manipulacionog robota. Problem izotropnosti se svodi na određivanje parametara ciljne impedanse M_x, B_x, K_x , takvih da se pored svojstava izotropnosti obezbedi i potrebna stabilnost manipulacionog robota. U stacionarnom režimu važi: $\eta_x = const \rightarrow \dot{\eta}_x = 0$, $\ddot{X} = 0$, i $h^G(q, \dot{q}) = 0$, pa se (6) svodi na ekvivalentni na oblik:

$$\bar{F}^G = -G(q) M_x^{-1} K_x \eta_x + G(q) M_x^{-1} F - F \quad (7)$$

Usvajanjem:

$$M_x = G(q) = J(q)^{-T} H(q) J^{-1}(q) \quad (8)$$

upravljački zakon (7) se dovodi na karakteristični oblik:

kojim se povezuje generalizovana aktuatorna sila u stacionarnom režimu \bar{F}^G i odstupanje stvarnog od nominalnog položaja vrha manipulacionog robota η_x , izazvanog dejstvom spoljašnje sile F .

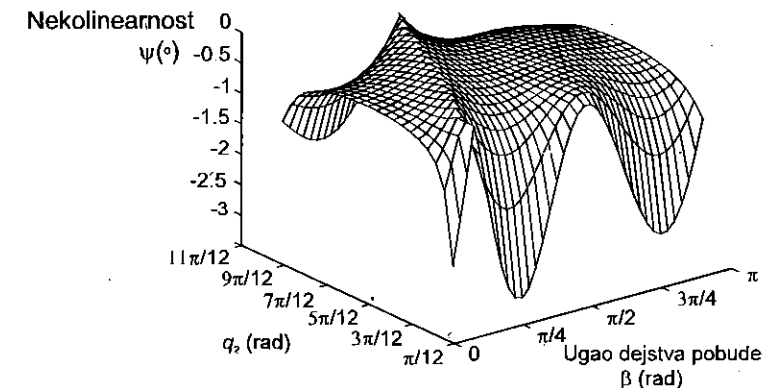
Generalizovano prigušenje je treći parametar ciljne impedanse, koji se mora odrediti tako da obezbedi potrebno ponašanje sistema u prelaznom režimu. Optimalno ponašanje u prelaznom režimu se ostvaruje u slučaju kritičnog prigušenja, odakle se izvodi [3]:

$$B_x^2 - 4K_x M_x = 0 \quad (10)$$

Ovde se još jednom navodi da se kongruentnom transformacijom (2) dijagonalna matrica ciljne generalizovane krutosti (3) u opštem slučaju preslikava u nedijagonalnu simetričnu matricu K , koja obezbeđuje potrebnu aktuatornu spregu. Ova aktuatorna sprega je analogna mehaničkoj aktuatornoj sprezi kod redundantne aktuatorne (slika 2) i ona se jednostavno pokazuje prevodjenjem relacije (9) u unutrašnje koordinate robota:

$$K_x \eta = J^T(q) K_x J(q) \eta = K \eta \rightarrow \bar{\tau}_i = K_{11} \eta_1 + \dots + K_{ii} \eta_i + \dots + K_{nn} \eta_n = \sum_{j=1}^n K_{i,j} \eta_j \quad (11)$$

odakle sledi da je pogonski moment i -tog aktuatora ($\tau_i = \bar{\tau}_i$ u ustaljenom režimu), proporcionalan ne samo odstupanju od nominalne pozicije i -tog stepena slobode, već i od odstupanja ostalih stepeni slobode, što je karakteristično za mehaničku realizaciju aktuatorne sprege. Obzirom da je matrica K kongruentni transformant neke matrice K_x koja ispunjava uslov (3), onda upravljački i aktuatorni sistem ostvaruje takve elastične reakcije u zglobovima lančaste mehaničke strukture koje, uz uslov malih pomeraja, uvek dovode do kvazi-statičkog izotropnog ponašanja, za sve nesingularne položaje manipulacionog robota ($J(q) \neq 0$).



Slika 3. Mapa popustljivosti koja se ostvaruje upravljačkim zakonom (6)

U cilju verifikacije upravljačkog zakona (6) sa parametrima ciljne izotropne impedanse definisanih sa (3), (8) i (10), sproveden je simulacioni eksperiment za slučaj SCARA konfiguracije manipulacionog robota. Detalji su navedeni u okviru [3]. Ovde se, u cilju poredjenja, analogno mapi popustljivosti prikazanoj na slici 1, navodi na slici 3 mapa popustljivosti koja se ostvaruje primenom upravljanja mehaničkom impedansom. Na osnovu slike 3 moguće je konstatovati da u razmatranom delu radnog prostora postoji mehaničko ponašanje koje se može smatrati vrlo blisko izotropnom. Najveća odstupanja od kolinearosti javljaju se na granicama radnog prostora, u zonama singulariteta ($\det J(q) \approx 0$), kada su nelinearna dinamička svojstva mehaničke strukture takva da ih upravljački sistem ne može da

koriguje, u meri u kojoj se to ostvaruje u ostalom delu radnog prostora. I tada vrednost odstupanja od kolinearosti vektora sile pobude i odgovarajućeg pomeraja vrha robota nije veća od $|\psi|_{\max} = 3^\circ$, što se sa aspekta realnih zahteva procesa spajanja može smatrati idealnim.

5. ZAKLJUČAK

Izotropna mehanička svojstva manipulacionih robota razmatrana su u kontekstu redundantnosti tipa aktuacione sprege. Predložen je pristup zasnovan na upravljačkoj realizaciji aktuacione sprege primenom upravljačkog zakona na bazi mehaničke impedanse. Ciljna izotropna impedansa je analitički formulisana na osnovu dinamičkog modela manipulacionog robota i osnovnog uslova mehaničke izotropnosti. Postavljeni koncept je verifikovan simulacijom na računaru, pri čemu je korišćen robot sa dva stepena slobode SCARA konfiguracije. Svojstva vrlo bliska kvazi-statičkoj izotropnosti potvrđena su u celom radnom prostoru izuzev zona bliskih singularitetima. Problem ovog koncepta je računaska kompleksnost upravljačkog zakona. Za praktičnu implementaciju neophodna su dalja istraživanja u cilju pronalazjenja drugačije formulacije upravljačkog zakona.

REFERENCE

- [1] Whitney, D. E. 1982. Quasi-static assembly of compliantly supported rigid parts. *Trans. ASME J. Dyn. Systems Measur. and Control.* (104) pp.: 65-77.
- [2] Makino, H. and Furuya, N. 1980. Selective compliance assembly robot arm. *Proc. of the 1st Int. Conf. Assembly Autom.* pp.: 77-86.
- [3] Petrović P. B. 1996. Model aktivnog adaptivnog spajanja delova u montaži primenom redundantnih robota. Doktorska disertacija u izradi.
- [4] Bourrieres, J. P., Jeannier, 1984. Intrinsic compliance of position-controlled robots - applications in assembly. *Proc. of the 5th Int. Conf. Assembly Autom.* pp.:133-142.
- [5] Van Brussel, H. and Simons, J. 1979. The adaptable compliance concept and its use for automatic assembly by active force feedback accommodations. *Proc. of the 9th Int. Symp. on Industrial Robots*, pp.: 167-181
- [6] Salisbury, J. K. 1980. Active stiffness control of a manipulator in Cartesian coordinates. *Proc. IEEE Conf. on Decision and Control.* pp.: 95-100
- [7] Hogan, N. 1985. Impedance control: An approach to manipulation: Part I, II and III. *Trans. ASME J. Dyn. Systems Measur. and Control.* (107) pp.:1-24.

COMPLIANCE CONTROL OF MANIPULATING ROBOTS IN ASSEMBLY TECHNOLOGY

SUMMARY

In this manuscript considered is a problem of generalized mechanical properties of manipulation robot structure from the aspect of assembly technology. Part mating theory states the mechanical isotropy in quasi-static domain as a basic requirement for successful assembly (RCC Concept). In this paper, quasi-static isotropy is considered from the aspect of redundant actuation and impedance control. Starting from analytically formulated dynamic model of manipulating robots, impedance control law, and general quasi-static isotropy condition, formulated are analytical relations of isotropic target impedance. Using a SCARA robot as an example, the formulated control law is verified. Possibilities for obtaining mechanical behavior of manipulation robot close to isotropic are shown.



¹Miroslav Rogić, ²Damjan Davidović

AUTOMATSKO GENERISANJE INVERZNE KINEMATSKE TRANSFORMACIJE NEREDUDANTNIH ROBOTA

Rezime: U ovom radu je predstavljen programski sistem za automatsko generisanje inverzne kinematske transformacije neredundantnih robota u simboličkoj formi. Ovaj programski sistem je napisan u programskom jeziku Fortran77, a baziran je na algoritmu koji je čisto algebarskog karaktera, i koristi homogene transformacije. Program radi sa matricama čiji su članovi znakovne (character) veličine, a rezultati su algebarske jednačine.

1. UVOD

Problem preslikavanja spoljašnjih koordinata robota u unutrašnje naziva se inverzna kinematska transformacija (u daljem tekstu IKT). Problematika rešavanja IKT-e uglavnom je vezana za dve moguće opcije. Jedna mogućnost je rešavanje numeričkim metodama, a druga ima analitičku podlogu. U literaturi opisano je mnoštvo numeričkih i analitičkih metoda za rešavanje IKT-e. Njihovim upoređivanjem može se doći do zaključka da su analitičke metode u znatnoj prednosti u odnosu na numeričke, i to naročito u pogledu vremena računanja.

Primenom numeričkog postupka dobija se samo jedno i to približno rešenje za unutrašnje koordinate, dok je rešenje analitičkog postupka skup algebarskih jednačina (za svaku unutrašnju koordinatu po jedna), sa neki dodatnim uslovima. Postupak primenjen u ovom radu baziran je na analitičkoj metodi prema R.Paul-u i H.Zhang-u [1], koja je uprkos njenoj jednostavnosti za ispitivane robote jedna od najbržih. Postupak zahtjeva dvije osnovne pretpostavke:

- a) definisanje kinematike robota Denavit-Hartenberg-ovim kinematskim parametrima (DH),
- b) tipovi zglobova su rotacioni i translatorni sa jednim stepenom slobode.

Ako uopšte postoji zatvoren proces za traženu kinematiku robota, onda ova metoda eksplicitno rešava inverzni kinematski zadatak u simboličkoj formi.

2. KINEMATSKA TRANSFORMACIJA UZ POMOĆ MEĐUVARIJABLI

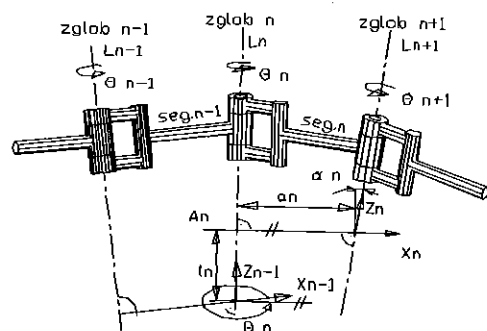
Sušтина primenjenog postupka je u uvođenju pomoćnih varijabli koje snižavaju red kompleksnosti analitičkih izraza na svakom koraku programskog algoritma. Položaj i-tog segmenta u kinematskom lancu dat je relativno u odnosu na lokalni koo-sistem prethodnog segmenta preko DH-transformacije. Ta transformaciona matrica ima oblik:

$$A = \begin{bmatrix} c_i & -s_i \cos \alpha_i & s_i \sin \alpha_i & a_i \\ s_i & c_i \cos \alpha_i & -c_i \sin \alpha_i & a_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

¹ Dr. Miroslav Rogić, docent Mašinskog fakulteta u Banjaluci, e-mail: rogi@urcbl.bl.ac.yu

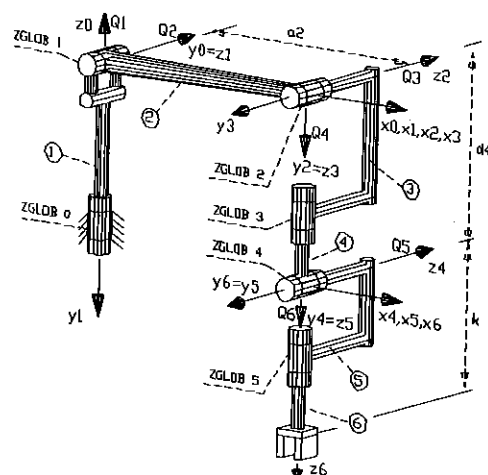
² Damjan Davidović, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Banjaluci

gde je zbog kraćeg pisanja : $c_i = \cos \theta_i$, $s_i = \sin \theta_i$.



Slika 1. DH-parametri između dva segmenta

Gde su θ_i , d_i , a_i , α_i DH kinematski parametri sistema. Za neredundantni robot sa 6 stepeni slobode prikazan na slici 1. DH-parametri su dati u tabeli 1.



Slika 1. Robot sa 6 stepeni slobode

broj segment a	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	$-\pi/2$	0	0	θ_1
2	0	a_2	0	θ_2
3	$-\pi/2$	0	0	θ_3
4	$\pi/2$	0	d_4	θ_4
5	$-\pi/2$	0	0	θ_5
6	0	0	0	θ_6

Tabela 1.

Na osnovu (1) mogu se dobiti transformacione matrice A_1, \dots, A_6 :

3. DIREKTNA TRANSFORMACIJA

Pozicija i orijentacija robota može se predstaviti proizvodom A_i matrica :

$$T_6 = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \quad (2)$$

Za dalje izvođenje biće uveden međuproizvod U_i :

$$\begin{aligned} U_6 &= A_6 \\ U_5 &= A_5 \cdot A_6 \\ &\vdots \\ \text{tj. } U_i &= A_i \cdot U_{i+1}, \quad i=5, \dots, 1 \end{aligned} \quad (3)$$

Na svakom koraku računanja matrica U_i se uvode smene (npr. za U_5) po sledećem principu:

$$U_5 = \begin{bmatrix} u_{511} & u_{512} & -s_5 & 0 \\ u_{521} & u_{522} & c_5 & 0 \\ -s_6 & c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Označavajući elemente matrice U_i , koji sadrže unutrašnje koordinate θ_i , kao pomoćne varijable u_{ijk} (i-indeks matrice U_i ; j, k-indeks elemenata matrice U_i), dobija se da je :

$$\begin{aligned} u_{511} &= c_5 c_6, & u_{512} &= -c_5 c_6, \\ u_{521} &= s_5 c_6, & u_{522} &= -s_5 c_6. \end{aligned} \quad (5)$$

tj., zamenjuju se samo oni elementi koji nisu konstante ili jednostavne varijable. Na taj način konačno se dobije :

$$U_i = \begin{bmatrix} c_1 u_{211} + s_1 u_{212} & \dots & c_1 u_{214} \\ s_1 u_{211} - c_1 u_{212} & \dots & s_1 u_{214} \\ -u_{221} & \dots & -u_{214} \\ 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

sa listom svih prethodno upotrebljenih supstitucija.

4. INVERZNA TRANSFORMACIJA

Algoritam ove inverzne kinematske transformacije bazira na upravo izvedenim produktima U . Direktna inverzna transformacija je data izrazom (3), gdje je matrica T_6 poznata i predstavlja unapred zadanu poziciju i orijentaciju end-effector-a.

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

gde je p vektor pozicije, a (n, o, a) orijentacija end-effector-a u odnosu na bazni koosistem. Jednačina (3) može se pisati u obliku

$$T_6 = U_1 \quad \text{tj. :} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} p_x & o_x & a_x & p_x \\ p_y & o_y & a_y & p_y \\ p_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 u_{214} + s_1 u_{214} & \dots & \dots & c_1 u_{214} \\ \dots & \dots & \dots & s_1 u_{214} \\ -u_{221} & -u_{222} & -u_{223} & -u_{224} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Svi elementi prve dve vrste matrice U_1 su funkcije od θ_1 , ali se biraju elementi (1,4) i (2,4) zbog njihovog jednostavnog oblika i formiraju jednačine:

$$\begin{aligned} p_x &= c_1 u_{214} \\ p_y &= s_1 u_{214} \end{aligned} \quad (9)$$

Zavisno od predznaka varijable u_{214} moguća su dva rešenja za θ_1 :

$$\theta_1 = \text{atan2}(\pm p_y, \pm p_x) \quad (10)$$

Za $u_{214} = 0$ rešenje nije definisano. Varijablu θ_2 i ostale varijable se mogu odrediti na sledeći način: Iz jednačine (9) sledi:

$$\begin{aligned} T_6 &= U_1 = A_1 U_2 \\ A_1^{-1} T_6 &= U_2 \end{aligned} \quad (11)$$

Poslednja jednačina daje rešenje za θ_2 na isti način kao i za θ_1 , a s obzirom da je sada matrica A_1 poznata. Uz pretpostavku rešivosti jednačina u svakom koraku, može se odrediti inverzna kinematska transformacija:

$$\begin{aligned} T_6 &= V_0 = U_1 \\ A_1^{-1} V_0 &= V_1 = U_2 \\ A_2^{-1} V_1 &= V_2 = U_3 \\ \dots & \\ A_5^{-1} V_4 &= V_5 = U_6 \end{aligned} \quad (12)$$

Leve strane ovih jednačina ($V_i, i = 1, \dots, 5$) su u svakom koraku rešavanja poznate.

5. PROGRAMSKI PAKET ZA AUTOMATSKO GENERISANJE INVERZNE KINEMATSKE TRANSFORMACIJE

Na osnovu izloženog postupka urađen je programski paket koji automatski rešava IKT-u za neredundantne robote. S obzirom na ograničen prostor ovde će biti prikazani samo neki delovi programa i ulazno-izlazne datoteke. Detaljnije o ograničenju, kao i listing programa može se naći u [3]. Program je napisan za MICROSOFT FORTRAN kompajler i testiran na personalnim računarima (PC 386, PC 486) ali se bez većih teškoća može koristiti na svim računarima koji imaju kompajler za FORTRAN77. Za ovu problematiku pogodniji bi bio neki od simboličkih jezika kao što su: MACSYMA, MAPLE, REDUCE, ali je FORTRAN77 upotrebljen zbog njegove široke primjene u inženjerskoj praksi. Kao što je poznato Fortran77 ima samo jednu operaciju nad znakovnim (character) veličinama (operacija nastavljanja nizova znakova) i tri funkcije znakovnih argumenata (ICHAR, LEN, INDEX). Zbog toga je pisanje programa koji operiše samo sa simbolima u izvesnoj meri zamoran posao, ali daje zadovoljavajuće rezultate i brzinu računanja.

6. FUNKCIJE PROGRAMSKOG PAKETA

Struktura programskog paketa obuhvata rešavanje sledećih funkcija:

- Definisanje robota za koji se želi rešavanje IKT-e (struktura, geometrija i DH-parametri robota).
- Formiranje matrice homogenih transformacija $A_i (i=1, \dots, 6)$.
- Rešavanje direktne transformacije, tj. računanje matricnih međuproizvoda $U_i (i=1, \dots, 6)$.
- Računanje matrica $V_i (i=0, \dots, 5)$.
- Ponuda izbora elemenata matrice U_i pogodnih za formiranje sistema jednačina na osnovu kojih se lako dobiju jednačine za unutrašnje koordinate (korisnički interaktivno).
- Ispis svih potrebnih međurezultata (matrice U_i, V_i , lista svih supstitucija, lista svih izabranih jednačina) u odgovarajuće datoteke.

7. PROGRAMSKI MODULI

Program je realizovan modularno, pri čemu osnovni moduli obavljaju sledeće zadatke:

- MATHOM- učitava parametre robota iz datoteke DHPAR, izračunava matrice homogene transformacije i smešta ih u datoteku DIRU.
- DIRECT- glavni program koji učitava matrice A_i iz datoteke DIRU, poziva sve ostale podprograme, kreira izlazne datoteke.
- MNOZ- podprogram za množenje matrica (elementi matrica su tipa character)
- LENGHT- funkcijski podprogram za izračunavanje dužine znakovnog niza nakon odbacivanja blankova sa kraja.
- INV- podprogram za izračunavanje inverznih matrica A_i (elementi matrice su tipa character).
- DET- podprogram za računanje determinante kvadratne matrice (elementi matrice su tipa character)
- SUPST, VSUPS- podprogrami za supstituciju elemenata matrica U i V i to samo onih koji nisu konstante ili jednostavne varijable
- IZBOR- podprogram za korisnički interaktivan izbor pogodnih elemenata matrica U , koji će formirati jednačine za unutrašnje koordinate

8. ULAZNO-IZLAZNE DATOTEKE

U narednom je dat prikaz ulazno-izlaznih datoteka programa.

Datoteka DHPAR.DAT:

Denavit-Hartenberg-ovi parametri robota.

	tip	α_i	a_i	l_i	θ_i
1	R	-90	0	0	θ_1
2	R	0	a_2	0	θ_2
3	R	-90	0	0	θ_3
4	R	90	0	l_4	θ_4
5	R	-90	0	0	θ_5
6	R	0	0	0	θ_6

tip zglobova: rotacioni - R
translatorni - T

Redni brojevi zglobova su 0, 1, 2, 3, 4, 5

Broj zglobova čija je osa paralelna sa prethodnom = 2

Ovo je ulazna datoteka za program MATHOM. Sadrži podatke o koo-sistemima robota, a oznake varijabli odgovaraju oznakama u tekstu podnaslova 2. (14-d4).

U datoteku DIRU.DAT se smeštaju matrice A_i ($i=1,6$), a datoteke MATU.DAT, MATV.DAT i SUPST.DAT sadrže matrice U, V i sve supstitucije.

Datoteka JEDNAC.DAT sadrži sve izabrane jednačine unutrašnjih koordinata robota :

c1u214	=px
s1u214	=py
c2u314+s2u324+a2c2	=c1px+s1py
s2u314+c2u324+a2s2	=-py
-s314	=v214
c314	=v224
-c4s5	=v313
-s4s5	=-v133
-s5	=v413
c5	=v333
-s6	=v512
c6	=-v432

(14)

Na osnovu dobijenih sistema jednačina mogu se relativno lako, izvesti jednačine za unutrašnje koordinate tj. za $\theta_1, \dots, \theta_6$ u zavisnosti od spoljašnjih koordinata.

9. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana programska realizacija postupka za automatsko rešavanje inverzne kinematske transformacije neredundantnih robota u simboličkoj formi. Uvođenjem u algoritam pomoćnih varijabli, snižen je stepen kompleksnosti analitičkih izraza, što omogućava da se postupkom sukcesivnih smena uz korisničku interakciju automatski dobije inverzna kinematska transformacija robota za sve rešive robotske strukture (solvable structure). Umesto simboličkog jezika korišten je Fortran77.

ABSTRACT

In this paper is presented a programmed system for the automated generation of inverse kinematics equations for the unredundant manipulators. This programed system is written in language Fortran77, and it is based on an algorithm that is a pure algebraic approach, and it used the homogeneous transformations. Program works with matrix whose items are characters, and results are algebraic equations.

LITERATURA

- [1] Mehner F., Automatische Generierung von R cktransformationen f r nichtredundante Roboter, Robotersysteme 6, Springer-Verlag 1990.
- [2] Racković M., Surla D., Formiranje stabla izračunavanja analitičkih izraza robotskih veličina, XXXIX Konferencija za ETRAN, Zlatibor, 1995.
- [3] Davidović D., Diplomski rad, Banjaluka, 1995.
- [4] Vukobratović M., Stokić D., i drugi, Uvod u robotiku, Beograd, 1986
- [5] Timočenko A., Kirčanski N., and Vukobratović M., A Two-Step Algorithm for Generating Efficient Manipulator Models in Symbolic Form, Proceedings of the 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Sacramento, California - April 1991.

C. UPRAVLJANJE I OPTIMIZACIJA

- Upravljanje sistemima i procesima C1÷C10
- Modeli sistema i procesa C11÷C18
- Simulacije C19÷C23
- Ekspertni sistemi i neuronske mreže C24÷C31
- CIM sistemi C32÷C35

C. CONTROL AND OPTIMIZATION

- Systems and Process Control C1÷C10
- Systems and Process Models C11÷C18
- Simulations C19÷C23
- Expert Systems and Neural Network C24÷C31
- CIM Systems C32÷C35



KVALITET UPRAVLJANJA U ZAVISNOSTI O KVALITETU
INFORMACIJA U DONOŠENJU ODLUKA

Milan Bajić* , Nenad Vujasinović**
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U NOVOM SADU
INSTITUT ZA INDUSTRIJSKE SISTEME

REZIME:

Neophodnost upravljanja je određena činjenicom da je proces rada praćen poremećajima razne vrste koji izvode sistem izvan granica dozvoljenih odstupanja. Dakle, izvođenje upravljačkih postupaka ima za osnovni cilj obezbeđenje stabilnog rada u granicama dozvoljenih odstupanja u datom vremenu i datim uslovima okoline.

Upravlјati znači na osnovu izvršene analize raspoloživih relevantnih informacija donositi odluke koje iniciraju upravljačke aktivnosti. U radu će biti reči o problemima koji se pojavljuju u manipulisanju sa informacijama, a prethode, ili se javljaju u toku procesa donošenja odluka.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Neophodnost upravljanja je određena činjenicom da je proces rada praćen poremećajima razne vrste koji izvode sistem izvan granica dozvoljenih odstupanja. Zato izvođenje upravljačkih postupaka ima za osnovni cilj obezbeđenje stabilnog rada u granicama dozvoljenih odstupanja u datom vremenu i datim uslovima okoline.

Upravlјati znači:

- na osnovu izvršene analize relevantnih podataka donositi odluke koje iniciraju upravljačke aktivnosti
- izvršavati te upravljačke aktivnosti, tj. sprovoditi odluke u tekućem, narednom i nekom budućem periodu.

To znači da upravljanje predstavlja proces donošenja i sprovođenja odluka na osnovu dovoljnog broja kvalitetnih informacija raznog karaktera, koje koriste kako učesnici u procesima upravljanja, tako i ostali učesnici u organizacionoj strukturi sistema - bez izuzetka.

* Dr Milan Bajić, redovni profesor, FTN-IIS, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7
** Nenad Vujasinović dipl.inž., asistent, FTN-IIS, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7

Donošenje odluka je proces izbora najpovoljnijeg rešenja, koji treba da se izvrši u realnom vremenu i prvenstveno na osnovu dovoljnog broja u pravom trenutku dobijenih tačnih informacija - u tom smislu se objašnjava pojam "kvalitetna informacija".

U suštini odlučivanje se sastoji od:

- prikupljanja dovoljnog broja kvalitetnih informacija,
- njihove obrade i
- izbora najboljeg rešenja među više mogućih rešenja (donošenja najbolje odluke), bilo da se radi o odluci o određenoj operativnoj akciji, o politici, ili o strategiji.

U svim slučajevima ono što prethodi procesu donošenja odluke je jasno definisanje relevantnog cilja / ciljeva s obzirom na kojega bi se odluka i donosila.

Uspješno upravljanje, pa prema tome i efikasnost procesa rada i poslovanja, između ostalog umnogome ovisi o:

- striktnom poštivanju definisanih standarda ponašanja u sistemu (tj. disciplini u izvršavanju zadataka, odgovornosti, međusobnom poštovanju i uvažavanju, pridržavanju pravila i propisa tehnologije procesa rada i poslovanja, itd.),
- nivou opštedruštvenog, organizacionog, ekonomskog i tehničkog obrazovanja svih zaposlenih u preduzeću, a u ovom kontekstu prvenstveno o obrazovanosti i osposobljenosti donosioca i izvršioca odluka i
- savremenosti tehnologija i njihovoj primenjenosti.

U posljednjoj gore navedenoj tački se misli na tehnologije proizvodnje, tehnologije organizacije procesa upravljanja, rada i poslovanja i na informacione tehnologije.

U kratkoj digresiji koja sledi pokušat će se objasniti kako promena tehnologija utiče na kvalitet upravljanja:

Dakle, što se primene modernih informacionih tehnologija tiče, jasno je da one omogućavaju viši nivo upravljačkih performansi i to uglavnom zbog brzine odziva, dostupnosti informacija i mogućnosti olakšane manipulacije sa velikim brojem informacija.

Nove tehnologije u proizvodnji nameću promenu organizacione strukture sistema, koja postaje "plića", tj. sa manjim brojem hijerarhijskih nivoa, ali zato sa većim brojem lateralnih veza na istom nivou. Time se organizaciona struktura od tipa piramide menja u strukturu tipa mreže, što ubrzava i pojednostavnjuje kretanje informacija između krajnjeg primaoca i davaoca, ali ujedno i posložnjava informacioni sistem preduzeća koji traži primenu sve savremenijih informacionih tehnologija da bi I.S. bio efikasan. Logično je da navedena promena hijerarhijske strukture rezultira delegiranjem prava i odgovornosti na veću grupu zaposlenih, drugim rečima efekat ovakve promene je decentralizacija.

Ovo omogućava povećanje brzine procesa odlučivanja, a time i delovanja u realnom vremenu, koje je zbog promene karaktera tržišta sve kraće.

2. DEFINISANJE PROBLEMA INFORMISANJA

Problem vezan za informacije ima nekoliko aspekta:

Tzv. radno - tehnički aspekt informacije se odnosi na prvom mestu na one kadrove u preduzeću koji su zaduženi za prikupljanje, obradu, vrednovanje, ažuriranje i

dostavljanje informacija i sastavljanje izveštaja. Svrishodno sastavljani formulari, registratori i kartoteke, propisane procedure za izveštavanje, kao i upotreba savremenih sredstava informacione tehnologije su od velike koristi u procesu efikasnog prenosa informacija u sistemu. Pored ovoga je potrebna racionalna podela rada i svrshodna organizacija svih funkcija u preduzeću, a posebno onih koje imaju zadatke kreiranja informacija i informacionih tokova. Od velike koristi biće sistematsko održavanje kontakata sa ličnostima i ustanovama izvan preduzeća, koje dolaze u obzir kao izvor informacija za razne specifične probleme - informacioni centri, naučne ustanove, zavodi za planiranje, komore, itd.

Organizacijsko sadejstvo i efikasnost sistema se na prvom mestu ispoljava kroz izmenu informacija. Svrishodne i usmerene ka ciljevima preduzeća, informacije predstavljaju osnovu pouzdanosti i kvaliteta donesenih odluka. Slaba i nejasna tehnologija organizacije preduzeća sprečava i slabi tok i kvalitet informacija, jer neutvrđeni, ili nedovoljno objašnjeni zadaci, ciljevi i politike, potrebe, prava, odgovornosti, isl. rezultiraju i nejasnoćom oko toga šta su obaveze informisanja i šta se od informacija u pojedinim presecima sistema očekuje. U nepreglednim odnosima velikih preduzeća ne mogu informacije funkcionisati na zadovoljavajući način bez savremene tehnologije organizacijskih metoda i mera. Potrebe i izvori informacija moraju organizovanim i prikladnim tokovima informisanja biti povezani tako da postoji garancija da će sve informacije u odgovarajućoj formi biti upućene i biti dalje obrađene i da će sve informacije doći u pravo vreme i na pravo mesto. To ne znači da je poboljšanje informisanja jedino i isključivo zadatak samo organizacione funkcije u preduzeću. To će biti slučaj samo tada kad su određeni informacioni problemi periodične i kompleksne prirode i gde je potrebna zajednička akcija samo jednog broja konkretnih radnih mesta, kao npr. kod uvođenja računarske mreže u sistemu. Glavna odgovornost je u većini slučajeva na svim onim radnim mestima koja neposredno "leže" na tokovima informacija. Što su jasniji i bolje definisani ciljevi preduzeća, bolje utvrđeni zadaci i odgovornosti, te precizno određena poslovna tajna, to je lakše utvrditi i potrebe za informacijama, obaveze informacija i informacione tokove. Funkcionisanje unutrašnjih informacija je pouzdano merilo delovanja tehnologije organizacije i upravljanja.

Poteškoće informisanja najčešće i uglavnom imaju uzrok u ljudskim odnosima. Ljudski odnosi otežavaju informisanje na dvostruk način: s jedne strane davalac informacija, koji nema poverenje u primaoca informacija, će nepotpuno predati informaciju, a sa druge strane primalac informacije neće biti spreman da korektno i sa razumevanjem prihvati informaciju od davaoca u koga on nema poverenje.

Ovaj ljudski faktor i aspekt informisanja je najčešći činioc koji omogućuje ili otežava efikasno informisanje. Međutim, odnosi ne moraju uvek biti uzrok, već i posledica pomanjkanja informacija usled tehničkih, organizacionih i komunikacionih nedostataka, čemu je opet uzrok ljudski faktor.

Ukratko, uzroci zbog kojih se javljaju nekvalitetne informacije mogu biti:

- "ljudski" - nepoverenje, zatvorenost, rivalstvo, bojazan od kritike, težnja da se zadržavanjem informacija postigne autoritet, indiskrecija itd.
- "radni i tehnički" - nepoznavanje postojećih raspoloživih izvora informacija, pomanjkanje vremena za informisanje, slabi lični kontakti sa mogućim izvorima informacija, česta odsutnost i neadekvatna zamena na radnom mestu, itd.

- "organizacioni" - nesavremena tehnologije organizacije informacionog sistema, nejasnoće o obimu i vrsti poslovne tajne, nedovoljno objašnjenje o potrebi i značaju informacija i informisanja, nedovoljna ograničenja i definisanost zadataka i kompetencija, dugi ili pogrešni putevi prenosa informacija, itd.
- "komunikacioni" - neobučenos kadrova za uspešno komuniciranje, netačan izbor informacija, poteškoće formulisavanja, nesposobnost slušanja i predaje informacija, itd.

3. KVALITET KOMUNICIRANJA U FUNKCIJI KVALITETA ODLUČIVANJA

Informisanje je specifičan i značajan oblik međuljudskih kontakata u ostvarivanju uspešnosti u radu i poslovanju. Pomoću informacije i razuma i sopstvenog shvatanja uređuje čovek utisak i primljene informacije u svome unutrašnjem sistemu. Pri tome često nastaje "kratki spoj" - informacije se ne prihvataju u datom smislu, nego se negde menjaju. Naš unutrašnji sistem, koji je često zbog neobučenosći sužen zbog predubedjenja i šematskog mišljenja, deluje kao neki filter koji propušta samo one informacije koje nama odgovaraju, ili ih u tom smislu deformiše. Većini ljudi - pre svega sa porastom godina - pada teško makar i da pomisle na nešto novo, a kamoli da nešto novo (npr. informaciju) sa interesovanjem, tj. ispravno prihvate. "Rado se sluša samo ono što se hoće rado čuti." - moći uspešno slušati je prema tome umetnost za koju se treba osposobljavati i često odlučujuća sposobnost dobrih rukovodilaca. ili šire shvaćeno, osnovni problem leži u tome kako će se informacije od davaoca preneti jednom ili više primaoca, za šta davaoci i primaoci informacija moraju biti osposobljeni. Ako npr. rukovodilac jedne radne jedinice objasni svom saradniku zašto i u kom cilju treba da se izvrši neki zadatak (formulisavanje cilja i zadatka), to on čini radi toga da izvršilac može samostalno delovati i u pojedinostima koje nisu naznačene u zadatku ili se nisu mogle dati. Davalac informacija prema tome ima dva cilja: s jedne strane stručno i ispravno primanje informacija, a s druge strane dalju primenu informacija kod svake potrebne prilike. Samo kad su oba cilja postignuta, može se reći da je informacija uspeła.

Drugim rečima, informaciju mora primalac ispravno primiti i istu dalje obrađivati, tj. on mora da shvati sadržaj informacije, odnosno mora da postoji prava komunikacija između davaoca i primaoca. Ova komunikacija nije sama po sebi razumljiva. Ako nekom prigovaramo "Pa ja sam Vam to rekao!", tada istovremeno možemo sebi postaviti pitanje "Zašto naša informacija nije kod njega prihvaćena i obrađena?". Zašto nas nije shvatio, ili zašto je ono što smo rekli zaboravljeno? Da li su možda spoljni faktori uticali kod prijema informacije? Da li smo kontrolisali da li je informacija uopšte bila razumljiva?, idr.

Komunikacija, kao proces predaje i shvatanja informacija između ljudi, je kompleksna i zavisna od čitavog niza faktora:

- Od odnosa davaoca prema sadržini informacije: ako on sam nije razumeo informaciju, ako ona njemu ništa ne znači ili joj ne veruje - ne može je aktivno preneti. Jedan rukovodilac koji nema pozitivan stav za zadatke njegove radne jedinice ne može ni svoje saradnike zainteresovati.
- Od sposobnosti davaoca da prenese informacije primaocu na prikladan način. Informacija se mora tako preneti da je primalac shvati, prihvati i da mu ostane u

svesti. Informacija mora da zainteresuje primaoca, u suprotnom informacija je neuspešna i nema smisla, pa čak može biti i štetna.

- Od izbora načina i sredstava informisanja. Da li će se jedna informacija dati usmeno ili pismeno, pojedinačno ili kolektivno, uzgredno ili u naročitoj prilici, može da utiče na njen uspeh. Radi se o tome da se sredstvo informisanja, sadržaj i značaj informacije prilagode primaocu.
- Od sposobnosti i spremnosti primaoca da prihvati informaciju, što ne dolazi samo po sebi već se uči. Sposobnost prihvatanja je u prvoj liniji zavisna od interesa primaoca prema informaciji, od njegovog predznanja o okolnostima u koju dolazi informacija. Spremnost prihvatanja ne zavisi samo od odnosa primaoca prema davaocu već u velikoj meri i od situacije u kojoj se prenosi informacija. Dobar davaoc neće samo izabrati ličnost, već će proceniti i situaciju primaoca. Buka, umor, prekidanje u radu su nepovoljni za prenošenje informacija.
- Od odnosa primaoca prema sadržini informacije, što se takođe mora učiti.

4. OSNOVNA PRAVILA ZA OBLIKOVANJE INFORMACIJA

Na osnovu istraživanja provedenih na IIS-u, kao osnovna pravila za oblikovanje informacija mogu se navesti:

- Informisanje znači više nego orijentisanje. Informisanjem treba da utičemo na razmišljanje i delovanje saradnika. Samo kad se informisanjem postigne da rad bude razborit i intimno prihvaćen, informisanje postiže svoj dvostruki cilj - orijentisanje i motivisanje.
- Dejstvo jedne informacije zavisi od interesa onog koji je prima. Ako se ona "ništa njega ne tiče" biće ubrzo zaboravljena. Radi toga nije obim informacija odlučujući za uspeh, već određeni izbor onih informacija koje se odnose na zadatke i radno mesto.
- Informacije su utoliko interesantne i delotvorne ukoliko se mogu sa onim što je već poznato dovesti u vezu. Radi toga teško dostupne i nesuvisle, ili nerazumljivo oblikovane informacije su većinom bez dejstva. Samo kontinuirane i kvalitetne, uvek dostupne (kad je god to potrebno) informacije mogu da utiču na razmišljanje i delovanje u željenom pravcu.
- Informisanje ne sme biti nikad jednosmeran, već uvek dvosmeran proces u kojem je istovremeno aktivan i primalac i davalac. Davalac informacije ne treba samo da ukaže na orijentaciju već i da utiče na razumevanje. Ne radi se dakle samo o sadržaju informacije, već i o formi informacije. Za uspeh informacije nije odlučujuća samo naklonost davaoca već i primaoca. Jedan dobar komunikator ima, pre svega, sposobnost da poruku podesi prema primaocu.
- U većini slučajeva ne radi se samo o tome da se primaocu da razumljiva informacija, već i da se on pridobije za sadržaj informacije. Uspešno prenesena informacija znači učešće, priznavanje, sigurnost i samopotvrđivanje samo tada ako je ona i emocionalno prihvaćena. Kao smernica važi da generalno kod ženske populacije i kod manje obrazovanih i odgovornih saradnika emocionalni aspekt za komuniciranje ima veći značaj nego za specijaliste i rukovodeći kadar kod kojih veću ulogu ima aspekt razumevanja.
- Pošto se predaja informacija vrši u komplikovanom procesu komunikacija, potrebna je kod svih važnih slučajeva kontrola da li je informacija ispravno prenešena / primljena.

- Iskustvo pokazuje da se često ispravno primljene informacije prenose izopačeno dalje. Ukopčavanje međustanica u prenošenju informacija često radi održavanja službenih linija, značajan je uzrok slabih informacija. Informacije treba da se prenose najkraćim putem. Ako je moguće uvek direktno na zainteresovano lice.
- Informacije traže u većini slučajeva organizacionu sigurnost, odnosno savremenu tehnologiju informacionog sistema. Ako se samo spontano, od slučaja do slučaja informiše, zaboravljaju se važne stvari. Radi toga je neophodna sistematska briga o kontaktima i planiranje svih potrebnih informacija.

5. ZAKLJUČAK

Neosporno je da uspešnost upravljanja prvenstveno ovisi o raspoloživosti i kvalitetu potrebnih informacija.

U radu je ukazano na osnovne faktore koji čine informacije kvalitetnim za uspešno upravljanje. Problemi vezani za informacije i informisanje zaslužuju ulaganje stalnog napora i sredstava u proces istraživanja i usavršavanja kako učesnika, tako i informacionog sistema uopšte, jer je to preduvet za efikasno i efektivno upravljanje. Ukratko, da bi se uspešno rešili problemi informisanja u sistemu, potrebno je (u svakom slučaju zasebno) krenuti satraženjem odgovora na pitanje: Kako možemo uticati da potrebne informacije u svrsishodnoj formi u prava vremena prispeju na prava mesta i da tako utiču na delovanje u pravcu poslovne politike preduzeća?

ABSTRACT:

Necessity of management is determined with the fact that working process is followed by various disturbances taking the system out of the acceptable irregularities. Thus, in the first place, management has to ensure conditions for stable work within acceptable irregularities at existing circumstances.

To manage means take decisions on the basis of the analyses of the existing information which initiate managing actions. This paper explains some problems which appear when manipulating with informations in order to make decisions.

LITERATURA:

1. Bajić M., EKONOMIKA I ORGANIZACIJA PROIZVODNJE, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 1988.
2. Bajić M., RACIONALIZACIJA UPRAVLJANJA I RUKOVOĐENJA, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 1992.
3. Drucker P., PRAKSA RUKOVOĐENJA, Privreda, Zagreb, 1986.
4. Lerner A.J., PRINCIPI KIBERNETIKE, Tehnička knjiga, Beograd, 1982.
5. Maynard, H.B., INDUSTRIJSKI INŽENJERING, Privredni pregled, Beograd, 1974.
6. Šrajber S., AMERIČKI IZAZOV, Epoha, Zagreb, 1978.
7. Tejlor F., NAUČNO UPRAVLJANJE, Rad, Beograd, 1977.
8. Zelenović D., TEHNOLOGIJA ORGANIZACIJE INDUSTRIJSKIH SISTEMA - PREDUZEĆA, Naučna Knjiga, Beograd, 1995.



PRAKTIČNA ISKUSTVA PRI ODREĐIVANJU VELIČINE SERIJE

ABSTRAKT

Oduvek je u upravljanju proizvodnjom jedan od najvećih problema bio kako odrediti optimalnu veličinu proizvodne serije.

Pojavom teorije upravljanja JIT (Just in time) mislilo se da je ovaj problem rešen. Naime ova teorija kaže da je idealna veličina serije = 1. Ali ona pored ovoga, da bi se proizvodilo pri idealnim uslovima postavlja pred preduzeće i još niz drugih zahteva kao što su: proizvodnja bez škartu, pripremna vremena = 0, striktno poštovanje termina kako unutar samog preduzeća tako i od okruženja - poslovnih partnera.

Ovi problemi doveli su do razvoja druge teorije, nastale na zapadu kao odgovor na JIT, a to je MRP II (Manufacturing resource planning). U osnovi ovoj teoriji je da želi da pokrije i integriše sve resurse u jednoj proizvodnoj firmi.

Najnovija teorijska dostignuća dovela su do približavanja ove dve teorije, i danas je već u osnovi većine softverskih proizvoda za upravljanje proizvodnjom nova filozofija MRP II/JIT. Ova, ulovno rečeno kombinacija, danas daje najbolje rezultate u praksi, i ponovo otvara kao aktuelno pitanje optimizacije veličine serije. Uvodeći jedan ovakav softverski proizvod, autori ovog rada su došli do određenih zaključaka, što je u daljem tekstu i opisano.

* Đurđević Zoran - vodeći projektant konsultant i šef grupe za proizvodnu informatiku u MP CIP-SDC
Dragović Momčilo - direktor sektora Tehnokontrola- "Jugoispeki Beograd"

UVOD

U svetu postoji puno različitih tehnika za određivanje veličine serije proizvoda. Ovde će biti obrađene samo neke od njih, i to one koje su postale standard u teoriji upravljanja proizvodnim firmama, poznatoj kao MRP II (manufacturing resource planning). Takođe ovo su tehnike koje se najčešće primenjuju u softverskim paketima za planiranje i upravljanje proizvodnjom.

Tehnike za održavanje veličine serije mogu se podeliti u dve grupe.

U prvu grupu spadaju tehnike orijentisane ka zahtevanim količinama, u koje spadaju "Fiksne količine po porudžbini" (Fixed order quantity) i "Ekonomična količina za naručivanje" (Economic order quantity).

Drugu grupu čine takozvane diskretne tehnike određivanja veličine serije.

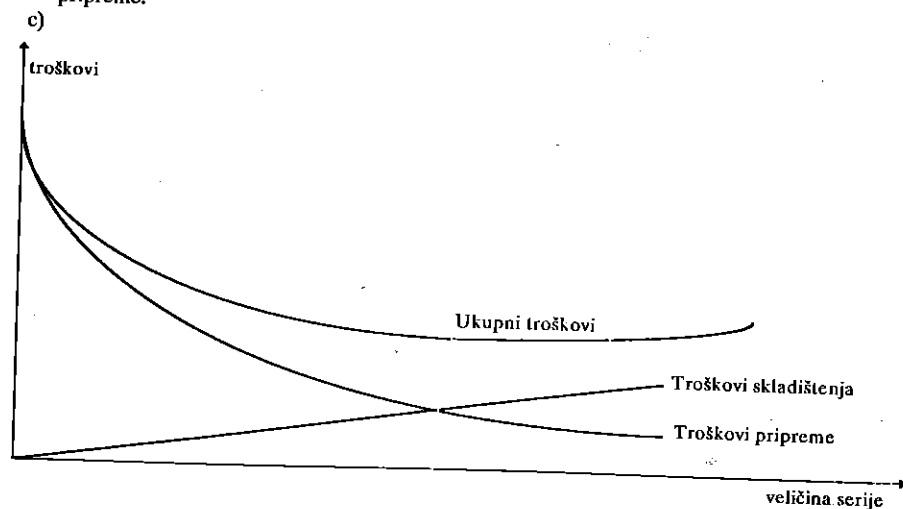
1. METODE ORIJENTISANE KA ZAHTEVANIM KOLIČINAMA

Od tehnika iz prve grupe biće obrađena samo "Ekonomična količina za naručivanje".

1.2. Ekonomična količina za naručivanje

Ovo je tehnika za izračunavanje najekonomičnije količine za naručivanje, za koju se uzimaju u obzir dva osnovna troška :

- Troškovi držanja zaliha;
- Troškovi priprema, odnosno troškovi obrade naloga za nabavku, ako se radi o artiklima koji se kupuju. Troškovi pripreme obuhvataju pripremu mašina, izdavanje alata, kontrolu prvog komada itd. Dodavanje troškova radnika i mašine za pomenute poslove predstavljaju deo troškova pripreme.



Slika 1

Na slici 1. dat je grafički prikaz zavisnosti troškova od količine tj. veličine serije. Očigledno je da EOQ treba tražiti tamo gde je zbir troškova najmanji. Da se ne bi morali crtati ovakvi grafikoni na raspolaganju nam je formula :

$$EOQ = \sqrt{\frac{2US}{IC}}$$

gde su :

- U - godišnja količina
- S - troškovi pripreme odnosno naručivanja ukoliko se radi o nabavci
- I - troškovi skladištenja (tzv. zamrznuti troškovi)
- C - jedinična cena

Važno je napomenuti da se ova metoda primenjuje na svaku komponentu u sastavnici proizvoda ponaosob. Što se tiče njene primene u praksi, može se reći, da je ova metoda veoma zastupljena. Ali treba analizirati način korišćenja ove metode *.

Ovaj metod se bazira na pretpostavljenoj, progroziranoj količini proizvodnje. U većini firmi ova vrednost se ne ispoštuje uvek. Pri tome se ne uzima u obzir periodičnost potreba za određenim proizvodima u toku godine nego su veličine serije uvek jednake u određenim vremenskim periodima. Ako se sada uzme u obzir kompleksnost proizvoda, moguća kompleksnost proizvodnog programa, promene cena i troškova proizvodnje, razumljivo je da će se pored stalnih promena EOQ, pojaviti obavezno i neplanirani višak proizvoda na zalihama, koji može biti veći ili manji ali koji će imati sve manje ekonomskog opravdanja. Da li to znači da ovu metodu ne treba koristiti! Odgovor je naravno ne. Ova metoda ipak daje dosta solidne rezultate, a posebno je značajno to što se može kombinovati sa "dinamičkim metodama" za određivanje veličine serije. Pri tome EOQ treba odrediti za duže vremenske intervale (ne kontinualno ih računati), i to ne za sve proizvode, već samo za određene, od veće važnosti (do kojih se došlo recimo ABC analiza). Zatim sa ovakvim unapred preračunatim vrednostima treba ići u proračun za pojedine manje vremenske intervale odnosno planske periode, koristeći dinamičke metode.

2. DINAMIČKE TEHNIKE

Ove tehnike rade po principu da se računaju količine (veličine serije) koje treba da zadovolje potrebe u određenim vremenskim intervalima (planskim periodima). Zato one imaju za rezultat količine koje pokrivaju planske periode bez ostatka. Iz ovih karakteristika može se izvući i definicija diskretnih tehnika: To su tehnike za određivanje veličine serije koje uvek generišu naloge, čije su planirane prijemnice jednake neto potrebama u jednom integralnom broju uzastopnih planskih perioda.

2.1. Serija za seriju (lot for lot)

To je tehnika koja uvek generiše planirane porudžbine u količinama koje su uvek jednake neto potrebama za svaki planski period.

Ovo znači da se svaku pojavu potrebne količine formira porudžbina, odnosno nalog.

* Rad predstavlja deo sistemske analize rezultata aplikacije i istraživanja puteva razvoja softverskog paketa MOZAIKUS

Može se reći da je ovo jedna od najstarijih tehnika za određivanje veličine serije, ali da se njena popularnost vremenom gubila. Razlog za to je mogućnost učestanog pojavljivanja potreba za određenim proizvodima, i to u vrlo malim količinama. Ovdje se onda pojavljuju kao veliki problemi troškovi pripreme proizvodnje, odnosno naručivanja. Međutim pojava teorije upravljanja proizvodnjom JIT (JUST IN TIME), ponovo joj vraća aktuelnost. I ne samo to - ona je za JIT glavna tehnika određivanja veličine serije.

2.2. Količina za periodično naručivanje

Količina za periodično naručivanje definiše se kao tehnika za određivanje veličine serije, prema kojoj je veličina serije jednaka neto potrebama za dati broj perioda.

Šta je zapravo suština ove tehnike! Ovdje je potrebno uraditi dve stvari:

Prvo odrediti veličinu vremenskog perioda u okviru koga će se lansirati nalog odnosno narudžba.

Drugi korak je određivanje količine, odnosno veličine serije.

Vreme, odnosno dužina perioda, može se odrediti na različite načine, a jedan od najpopularnijih, naročito kada je reč o nabavci sirovina, je ABC analiza. Mnoga preduzeća koriste ovaj jednostavan metod, koji može biti veoma efikasan. Ovdje samo treba napomenuti dve česte greške koje se javljaju u praksi, iz razloga nedovoljnog razumevanja ove metode :

1. Period za periodično naručivanje nije isto što i vreme trajanja planskog perioda.

2. Pri korišćenju ABC analize, u proizvodnim firmama, treba obavezno razdvojiti kupljene sirovine i proizvode od proizvoda koje sami pravimo. Obavezno treba formirati dve različite grupe proizvoda i dva puta primeniti ABC analizu, za svaku od ovih proizvodnih grupa ponaosob. Ako se tako nešto ne uradi, onda kada dode do proizvodnje "glavnih sklopova" njihova vrednost će sasvim sigurno daleko nadmašiti vrednost kupljenih delova na nižim nivoima sastavnice i ABC analiza neće imati nikakvog smisla.

Što se količine tiče, ona je jednaka zbiru svih potreba u definisanom vremenskom intervalu. Međutim kada je reč o kupovini proizvoda, ovdje uvek dolazi do odreenih odstupanja, zbog specifičnosti nabavke.

Kao što je već napomenuto tehnika EOQ se često koristi u kombinaciji sa diskretnim tehnikama i to je čest slučaj u praksi, da se kombinuje upravo sa ovom tehnikom. Količina EOQ se definiše na nivou godišnje potrebe i podeli sa brojem perioda, koji se odbija deobom 365 sa dužinom intervala za periodično poručivanje. Ovim se dobija sledeće :

1. Ista količina se dostavlja u toku godine,

2. Troškovi zaliha se smanjuju na minimum, pošto će stvarno potrebna količina u toku tog vremena biti naručena količina.

Pri tome treba napomenuti da se ova kombinacija uglavnom koristi u nabavci, a da u proizvodnji, zbog njene kompleksnosti (proizvodnje), ne daje baš najbolje rezultate.

2.3. Najmanji ukupni troškovi (least cost)

Najmanji ukupni troškovi definisani su kao tehnika za određivanje veličine serije, kojom se izračunava količina za naručivanje upoređivanjem troškova držanja proizvoda na zalihama i troškova pripreme odnosno naručivanja i odabira se serija kod koje su ti troškovi skoro jednaki. Postoje dva načina za određivanje najmanjih ukupnih troškova :

1. Treba uraditi, ako je to moguće, različite kombinacije potreba, a zatim izračunati troškove svake kombinacije ponaosob. Treba izabrati kao rešenje kombinaciju koja najmanje košta.

2. Drugi pristup je po principu logike EOQ, kada se najmanji troškovi postižu kada su troškovi pripreme i držanja zaliha jednaki. Ovaj pristup traži početni nalog, kod koga je razlika između troškova držanja zaliha i pripreme najmanji. Ovakav pristup izračunava se iz sledećih koraka :

a) Dodajte potrebe drugog pojavljivanja potrebe prvom i izračunajte troškove skladištenja;

b) Uporedite ove troškove sa troškovima pripreme po nalogu. Ako su ovi veći nemojte kombinovati potrebe - prvi nalog je samo prvo pojavljivanje i krenite iz početka. Ako ne onda predite na c).

c) Uzmite sledeću potrebu, izračunajte troškove skladištenja i dodajte ih prethodno izračunatim.

d) Ako su ukupni troškovi držanja zaliha, dobijeni pod c), manji od troškova pripreme, ponoviti za sledeće pojavljivanje tačku c). Ako su ukupni troškovi držanja veći, onda između dve poslednje alternative izaberite onu kod koje su troškovi držanja zaliha bliži troškovima pripreme.

Ova metoda daje dosta dobre rezultate u praksi, ali ipak se još uvek ne koristi dovoljno.

2.4. Parcijalno bilansiranje perioda

Ovo je u stvari dopunjena tehnika najmanjinih ukupnih troškova. Razlika, odnosno dopuna prethodne tehnike je u tome što se dodaje rutina zvana "gledaj napred - gledaj nazad".

Kada se koristi ova tehnika izračunava se optimalna količina, a pre nego što se ona definitivno potvrdi, procenjuju se potrebe za sledeći ili prethodni period, da bi se uvidelo da li isplati da se i one uključe u istu seriju. Odnosno prvo se vrši kalkulacija metodom najmanjih ukupnih troškova, a zatim pre konačne potvrde, stalno se vrše pokušaji priključivanja sledećih količina (tačke c) i d) iz prethodne tehnike), sa osvrtom unazad, odnosno stalnim isprobavanjem različitih alternativa, sve dok se ne pronađe najekonomičniji način planiranja celokupnog programa.

Ovaj metod postoji kod većine softverskih proizvoda za planiranje i upravljanje proizvodnjom po metodologiji MRP II, međutim u primeni je veoma malo. Zapadna iskustva kažu da se dobijaju izuzetni rezultati, ali samo tamo gde se plan strogo poštuje, a njegove izmene se retko dešavaju. Svaka promena plana zahteva kompletno reterminiranje proizvodnje, da bi se ponovo dobili optimalni rezultati. Zbog toga je za njegovu efikasnu primenu potrebno imati na raspolaganju vrlo fleksibilan i efikasan sistem za planiranje i upravljanje proizvodnjom.

2.5. Najmanja pojedinačna cena

To je tehnika dinamičkog određivanja veličine serije prema kojoj se troškovi naručivanja i držanja zaliha sabiraju i radi određivanje veličine probne serije, a zatim se deli sa brojem komada u seriji i odabira se ona veličina kod koje se dobija najmanja pojedinačna vrednost, odnosno cena.

U praksi se veoma retko koristi.

2.6. Algoritam Wagner - Whitin

Ovo je matematički veoma složena tehnika određivanja veličine serije, kojom se ocenjuju svi mogući načini naručivanja za pokrivanje potreba u svakom periodu plana, da bi se stiglo do najoptimalnijeg rešenja.

U teoriji se autori veoma često pozivaju na ovaj algoritam, ali se u praksi veoma retko primenjuje, jer ga mali broj ljudi zaista razume, a i prilično je komplikovan za primenu.

ZAKLJUČAK

Svim navedenim metodama dobijaju se samo teoretski optimalne veličine serija, koje mogu biti prilično nepraktične. Uzrok tome su razna druga ograničenja koja na njih utiču, kao što su : najmanja količina za naručivanje, najveća količina za naručivanje, fizičke dimenzije, težina, dugačko vreme izrade, itd...Zato sve ove informacije moraju postojati u sistemu (ukoliko su potrebne), da bi se dobili i realni optimalni rezultati.

Takođe treba napomenuti da su iskustva koja su navedena u ovom radu uglavnom baziraju na iskustvima uvođenja softverskog paketa MOZAIKUS, preduzeća SDC-CIP. Korišćena su iskustva sa zapada i iz Jugoslavije. Kod nas se ove tehnike veoma malo koriste da bi se mogle izvršiti neke ozbiljnije analize njihove primene. U praksi se uglavnom sreću statičke metode. Najčešće je to metoda "Fiksnih količina po porudžbini" pri čemu je osnovno pravilo "tako je rekao taj i taj, a on najbolje zna". Veoma često je "taj i taj" to rekao još pre 10 godina i već je u penziji. Određivanje "Ekonomičnih količina za naručivanje" je ređa

pojava, ali svakao veliki korak napred. Od dinamičkih metoda najčešće se pojavljuje u praksi "Serija za seriju". Razlog tome nije svakako približavanje JIT-u, nego njena jednostavnost, kako u planiranju, tako i u operativnom praćenju proizvodnje. Takođe se sreće i "Periodična količina za naručivanje" i to po pravilo pod imenom ABC analiza i to pretežno u nabavci.

Svakako da je osnovni razlog u tome što je zastupljenost računara u planiranju proizvodnje veoma mala, a raditi bilo kakvu optimizaciju veličine serije "ručno" je nepraktično i zahteva velike resurse kako u ljudima tako i u vremenu. Ako se pri tome uzme u obzir i nestabilnost Jugoslovenskog tržišta kao okruženja u kojima naša preduzeća posluju, onda je sasvim jasno da je raditi optimizaciju bez računara praktično nemoguće (ovo se svakako odnosi pre svega na dinamičke metode).

ABSTRACT

It has always been one of the biggest problems in production management to determine the optimal assembly-line production size.

By the appearance of JIT (Just in time) management theory this problem seemed to be solved. According to this theory the ideal assembly-line production = 1. But, besides this, in order to make a production being done under the ideal conditions it is necessary for a company to achieve some other requests such as : production without the waste, setup time = 0, strict compliance of terms within the company itself as well with the environment - business associates.

These problems initiated the development of another theory that appeared in western countries as an reply to JIT, and that was MRPII (manufacturing resource planning). Basically this theory wished to cover and integrate all resources within a production company.

The latest theoretical achievements brought these theories closer to each other and today in the basic of most softwares product for production management is a new philosophy MRPII / JIT. This sort of combination gives the best results in practice these days and open again the question of lote size production optimum. Introducing such software product the authors of the paper came to certain conclusions that will be discussed in further text.



Govedarica M., Živković B., Čosić I.*

PRIKAZ IIS*IDB - OBJEKTNO ORIJENTISANOG ALATA ZA RAZVOJ SISTEMA ZASNOVANIH NA ZNANJU

U radu su prikazane osnovne podloge za razvoj objektno-orijentisanog inteligentnog alata za razvoj sistema zasnovanih na znanju pod MSWindows okruženjem. Predstavljen je, osnovnim karakteristikama, konceptijski i implementacijski model IIS*IDB - Inteligentnog alata za razvoj sistema zasnovanih na znanju, koji objedinjuje svojstva sistema za upravljanje bazama podataka, ekspertnih sistema i multimedijalnih sistema u okvir inteligentne baze podataka. Akcenat je stavljen na metodologiju projektovanja inženjerskih aplikacija (CAE) korišćenjem IIS*IDB alata. U okviru metodologije, predstavljen je i prototipski interfejs alata: definisana je struktura menija, dat izgled osnovnih "toolbar-ova", objašnjene su funkcije najznačajnijih komandi i definisan način i redosled njihovog korišćenja u postupku izrade modela korisničkog problema i u postupku projektovanja toka konsultacije sa inteligentnom bazom podataka.

1. UVOD

U ovom radu su predstavljene osnove sistema za upravljanje bazama podataka, ekspertnih sistema, objektno-orijentisanih sistema i multimedijalnih sistema i prikazan je jedan model integracije ovih sistema u okvir inteligentne baze podataka.

Poslednjih godina, sistemi za upravljanje bazama podataka postaju jedna od dominantnih komponenti integrisanih razvojnih okruženja. Objektno-orijentisane i Objektno-Relacione baze podataka podržavaju konkurentno i distribuirano deljenje objekata i u najvećoj meri podržavaju zahteve u razvoju inženjerskih aplikacija (CAD, CAM, CASE, ...), aplikacija koje su karakterisane velikom količinom podataka, kompleksnim tipovima podataka i veoma složenim vezama između njih. Međutim, objektno-orijentisane i objektno-relacione baze podataka, po definiciji, ne uključuju inferencnu komponentu. Zaključivanje je važno, ne samo zbog mogućnosti deklarativnog izražavanja u programiranju, već i kao osnovna tehnologija pri definisanju i izgradnji naprednih sistema zasnovanih na znanju.

Inteligentne baze podataka se najopštije mogu definisati kao baze podataka koje upravljaju informacijama na prirodan način, čineći te informacije jednostavnim za pristup, čuvanje i korišćenje [5]. Korišćeni termin "informacija", umesto "podatak", ukazuje da inteligentne baze ne funkcionišu na način tradicionalnih aplikacija, već koriste mogućnosti novih informacionih tehnologija - baza znanja, sistema za automatska otkrića, tekstualnih podataka, slika, itd. Arhitektura inteligentne baze podataka se sastoji iz tri komponente:

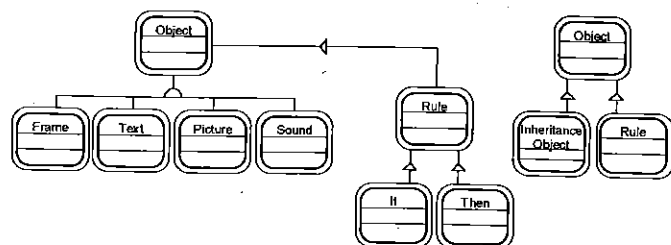
- grafičkog korisničkog interfejsa,
- skupa dodatnih alata visokog nivoa i
- inteligentnog DBMS-a.

* Govedarica Miro, dipl. ing. geod., Živković Branko, dipl. ing. maš., dr Čosić Ilija, dipl. ing. maš., Fakultet Tehničkih Nauka, Institut za industrijske sisteme, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad

2. IIS*IDB MODEL

Centralni problem u razvoju inteligentne baze podataka je način proširenja modela baze podataka reprezentacijom znanja i mogućnošću zaključivanja. Način realizacije takvog modela je direktna manipulacija semantikom kroz integraciju sistema zasnovanih na znanju i sistema za upravljanje bazama podataka u okvir inteligentne baze podataka, gde je semantika obuhvaćena modelom podataka. Ovim se uklanja potreba za predefinisanjem kompleksnih semantičkih konstrukcija u okviru osnovnog jezika baze podataka.

Osnovni strukturni koncept predloženog modela je »objekat« [4].



Slika 1 - Konceptualna struktura IIS*IDB Modela

Veoma važno svojstvo prikazanog modela je unifikacija različitih tipova entiteta - slika, zvuk, grafik ili tekst, na nivou konceptijske strukture, čime je naglašena zajednička funkcija obuhvata i predstavljanja informacija.

Osnovu modela čine statička i dinamička komponenta sistema. Statičku komponentu sačinjavaju definisani objekti u okviru modela problema, a dinamičku komponentu čine objekti zaključivanja. Kroz definisanje novih objekata tokom konsultacije sa IDB-om, uz uzimanje u obzir drugih, već definisanih objekata, može se doći do novih instanci objekata zaključivanja.

Zadatak inteligentnog deduktivnog DBMS sastoji se u tome da formira one instance koje ispunjavaju uslove date u definiciji objekata. Pri tome će se često pojaviti slučaj da je vrednovanje nekog objekta moguće samo uz primenu instanci objekata zaključivanja. Inferencna komponenta preuzima na sebe zadatak da preko pravila dođe do činjenica, tj. preko instanci objekata zaključivanja do instanci objekata modela, i da izvrši vrednovanje ovih činjenica. Ovde se radi o modulu koji na osnovu baze znanja može da generiše upite za bazu podataka, bez potrebe da isti budu na bilo koji način definisani od strane korisnika; što je bilo potrebno kod ranijih rešenja. Ovakvim pristupom eliminisana je podeljenost između oblasti baza znanja i baza podataka i korisnik ih sreće kao odvojene sisteme samo pri prikupljanju znanja u obliku editora baze znanja.

Objektno-orijentisano okruženje pruža brojne alternative za uključivanje pravila u okvir modela podataka. Pravila mogu biti izražena deklarativno, ugrađena unutar objekata kao članovi ili i sama definisana kao objekti. Pravila, kao deklaracije u okviru klasa, se deklariraju od strane korisnika, a sistem ih potom ugrađuje u kod, na ona mesta gde mogu biti aktivirana od strane nekog "prekidača" - poruke. Pravila su pridružena objektima i određuju ponašanje objekata.

Pravila i "događaji" (events) imaju poseban značaj u fazi konsultacije sa bazom podataka. Događaji su deo strukture pravila. Svaki definisani metod - poruka je potencijalni događaj.

3. METODOLOGIJA RAZVOJA KORIŠĆENJEM IIS*IDB RAZVOJNOG ALATA

Inženjerske aplikacije obuhvataju širok spektar informacionih tehnologija, kao što su elektronska obrada podataka, upravljanje informacijama, sistemi za podršku u odlučivanju, kompjuterom podržano projektovanje, fleksibilni proizvodni sistemi, itd. Projektovanje, implementacija i korišćenja inženjerskih aplikacija sa svim informacionim tehnologijama, bez odgovarajućih metodologija projektovanja i razvoja, je gotovo nerešiv problem. U ovom radu, predstavljena je metodologija razvoja koja pruža metode, alate i tehnike, kao i filozofiju analize i opisa relevantnih aspekata ciljnih sistema i definisanja konceptualne strukture nad kojom se bazira razvoj i implementacija inženjerske aplikacije.

Postupak definisanja arhitekture inženjerske aplikacije opisan je kao proces koji se sastoji iz tri faze [1]:

1. Analiza potreba,
2. Konceptijski dizajn i
3. Tehnički dizajn.

U fazi analize i definisanja potreba, akcent se stavlja na definisanje uloge EA u podršci ciljevima proizvodnog preduzeća. Informacije koje on mora da obezbedi i njegov organizacioni kontekst se definišu kroz proces modeliranja, u okviru kojeg razvijaju: Strukturni model, Procesni model, Model toka informacija i Organizaciono-upravljački model.

U fazi konceptualnog dizajna definiše se Objektno-orijentisani model sistema - IIS*IDB model, kroz Objektno-orijentisanu analizu - OOA, a faza tehnološkog razvoja podrazumeva identifikovanje i definisanje različitih tehnoloških mogućnosti za implementaciju EA kroz Objektno-orijentisani dizajn - OOD. [2,3]

IIS*IDB model posmatranog problema se definiše kroz proces objektno-orijentisane analize. Ovaj postupak podrazumeva sledeće osnovne korake:

- identifikacija objekata,
- identifikacija struktura,
- definisanje subjekata,
- definisanje atributa,
- definisanje metoda,
- definisanje pravila (kao članova objekta ili kao samih objekata).

4. IIS*IDB IMPLEMENTACIJSKI MODEL

IIS*IDB je MSWindows aplikacija. Aplikacije implementirane korišćenjem IIS*IDB razvojnog alata, koriste elemente Microsoft® Win32® API (application programming interface) za kreiranje i korišćenje prozora; za upravljanje relacijama između prozora; za prikaz, pomeranje i promenu veličine prozora. Razvojna platforma koristi Microsoft® Foundation Class Library (MFC) - biblioteku klasa kao osnovni okvir razvoja aplikacija u okviru programskog jezika MSVisual® C++.

Početak rada sa IIS*IDB razvojnim alatom, odnosi se na korišćenje opcije *Project* osnovnog menija. Ona omogućava korisniku ili projektantu aplikacije pristup projektima u različitim sistemima za upravljanje bazama podataka, što pruža mogućnost razvoja, kompilacije i isporuke aplikacije koja ne zahteva strogo određen sistem za upravljanje bazama podataka. Krajnji korisnici, zavisno od njihovog izbora, treba da obezbede samo veznik (database driver) za povezivanje aplikacije sa konkretnim sistemom za upravljanje bazom podataka.

IIS*IDB obezbeđuje skup klasa baze podataka koje pojednostavljuju čitanje i upisivanje podataka na disk za potrebe određenog projekta. Korišćenjem klasa baze podataka, moguće je uspostaviti vezu sa projektima u bazi podataka preko ODBC veznika (Open Database

Connectivity Driver), selektovati torke u tabelama i prikazati podatke u okviru ekranske forme. ODBC interfejs pruža mogućnost aplikacijama da pristupe podacima u sistemu za upravljanje bazom podataka korišćenjem SQL-a (Structured Query Language) kao standardnog upitnog jezika.



Slika 2 - Osnovni menu IIS*IDB aplikacije

Kao i svi alati, i IIS*IDB poseduje rečnik podataka. U njega smešta podatke koji su nastali u procesu projektovanja. Da bi se iskoristio prethodno opisani ODBC koncept, potrebna nam je metoda preslikavanja OO podatka u relaciji, odnosno objekta u torke i obrnuto. Postoji nekoliko preslikavanja. To su:

1. Osnovno preslikavanje (Basic mapping),
2. Strukturno preslikavanje (Structured mapping) i
3. Klaster preslikavanje (Clustered mapping).

Osnovno preslikavanje: Objekat se preslikava u torke relacije sa jednim atributom, to jest, objekat se čuva kao torke sa jednim obeležjem. Objekat ostaje u svom prirodnom formatu, dozvoljavajući aplikaciji direktnu primenu funkcija članica na identifikator objekta, odnosno direktan pristup podacima. Što se tiče relacionog sistema, pristupa objektu kao torci, ali mora da koristi OO funkcije. Kontrola konkurentnosti i oporavka ostaje upotrebljiva.

Strukturno preslikavanje: Objekat se preslikava u torke relacije tako da za svaki atribut objekta postoji odgovarajući atribut u relaciji. Celokupna funkcionalnost relacionog sistema ostaje upotrebljiva. Međutim, pristup podacima preko OO sistema postaje skuplji, jer delecí format objekta-torke, objektni sistem mora da koristi relacione funkcije za pristup atributu objekta. Sa druge strane omogućena je kontrola pristupa na nivou atributa i samo oni atributi koji su referencirani u upitu treba da budu pribavljeni tokom obrade upita.

Klaster preslikavanje: Skup objekata se preslikava u jedan atribut tipa velikog objekta (binary large object - BLOB). Ovo značajno ograničava funkcionalnost relacionog sistema, ali daje više prostora objektnom sistemu. Treba napomenuti da brigu o ograničenjima i dalje vodi relacioni sistem.

Primenjeni model povezivanja u IIS*IDB zasniva na saradnji dva različita sistema:

- relacionog i
- OO.

Ovaj pristup se nikako ne sme mešati niti sa izgradnjom hibridnog sistema niti sa izgradnjom multibaze. Saradnja kao način povezivanja nema za posledicu semantičku heterogenost, jer je proširenje relacionog sistema izvršeno korišćenjem struktuiranog preslikavanja. Relacioni model rečnika podataka IIS*IDB alata je prema zakonitostima struktuiranog preslikavanja predstavljen objektnim modelom. Dakle izvršeno je povezivanje OO i relacionog sistema na nivou rečnika podataka IIS*IDB alata. Algoritmi projektovanja se realizuju u objektnom okruženju, a kompletno upravljanje strukturom ostaje pod relacionim sistemom.

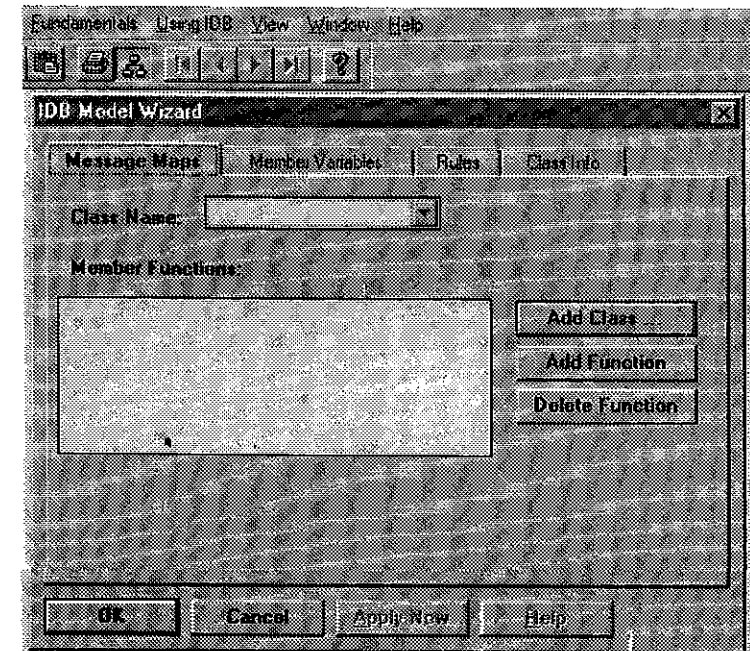
Povezivanje OO rečnika podataka IIS*IDB alata i interne reprezentacije relacionog rečnika podataka je ostvareno korišćenjem klasa MFC biblioteke. Na ovaj način rešen je i problem perszistencije objekata. Pristup podacima preko OO sistema je skuplji. Određeno unapređenje se

može izvršiti modifikacijom šeme baze podataka rečnika - korišćenjem oid kao stranih ključeva.

Pored opisane mogućnosti, opcija *Project* obezbeđuje i standardni skup podopcija: za zatvaranje rada sa određenim projektom, za zapis projekta sa istim ili izmenjenim nazivom, za podešavanje stranice projekta za štampu, za prikaz izgleda štampe i samo štampanje, listu poslednja četiri kreirana projekta i podopciju za izlazak iz aplikacije.

Fundamentals padajući meni sadrži skup komandi i podmenija za definisanje elemenata modela problema:

- podmeni *Basic Elements* sadrži skup opcija za definisanje osnovnih elemenata za izgradnju modela problema: domenskih podskupova, atributa, pravila, IF klauzula, THEN klauzula, tipskih funkcija, tipskih veza, itd. Svaka od opcija aktivira određeni dijalog prozor, sa standardnim tipovima funkcija i kontrola, tako da je korisniku olakšano ovladavanje kompletnom aplikacijom.



Slika 3 - IDB Model Wizard dijalog prozor

- *IDB Model Wizard* opcija automatizuje kreiranje i editovanje klasa koje definišu model problema i kreiranje dodatnih klasa baziranih na MFC biblioteci klasa. Definisanje klasa podrazumeva pridruživanje tipskih funkcija članica, atributa, pravila i tipskih veza sa postojećom strukturom klasa i automatski kreiran izvorni kod za nove klase. Takođe, postoji mogućnost definisanja korisničkih funkcija i tipova veza i njihovog pridruživanja određenim klasama modela. Obezbeđen je i mehanizam mapiranja podataka iz dijaloga prozora sa atributima-članovima klasa i procedure validacije tih podataka. Nove klase, kreirane uz pomoć *IDB Model Wizard-a*, mogu preuzeti jedan od predefinisanih tipova klasa: tekst, slika, grafik, animacija i video. Na taj način, u toku korišćenja aplikacije, postoji

mogućnost izbora tipa prezentacije svakog od objekata modela (samo tekstualni podaci, ili kombinacija teksta, slika, grafika i animacija). Klase kreirane u IIS*IDB okruženju čine okvir ili skelet inženjerske aplikacije, osnov na kojem se izgrađuje inženjerska aplikacija u MSWindows okruženju. IDB *Model Wizard* koristi projekte MFC biblioteke klasa.

- opcija *Control Elements* omogućava korisniku da definiše elemente konsultacije sa IIS*IDB, kao što su: dijalog prozori, globalne i lokalne varijable, upititi korisnicima tokom konsultacije, ciljevi konsultacije, tok izvršenja konsultacije, iteracije, procedure zaključivanja, poruke i objašnjenja, itd.

Korišćenje padajućeg menija *Using IDB*, podrazumeva definisanje ekstenzionalne komponente baze podataka - opcija *DB Extension*, definisanje korisničkih upita nad bazom podataka - opcija *Intelligent Queries* i aktiviranje definisane konsultacije - opcija *Consultation*.

Opcija osnovnog menija *View*, omogućava promenu prikaza strukture klasa definisanog modela problema - grafička prezentacija strukture klasa je podrazumevani prikaz, a moguće je aktivirati i detaljan prikaz klase koja je trenutno selektovana.

Ostale opcije osnovnog menija su standardne Windows opcije i odnose se na uređenje radnog okruženja, kao i pomoć pri radu.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan osnovnim karakteristikama konceptijski i implementacioni model IIS*IDB - Inteligentnog alata za razvoj sistema zasnovanih na znanju, koji objedinjuje svojstva sistema za upravljanje bazama podataka, ekspertnih sistema i multimedijalnih sistema u okviru inteligentne baze podataka. Predstavljen je i prototipski interfejs alata: definisana je struktura menija, dat izgled osnovnih "toolbar-ova", objašnjene su funkcije najznačajnijih komandi i definisan način i redosled njihovog korišćenja u postupku izrade modela korisničkog problema i u postupku projektovanja toka konsultacije sa inteligentnom bazom podataka.

Dalji rad na ovom projektu usmeren je na razradu pojedinih modula IIS*IDB alata.

6. REFERENCE

- [1.] Govedarica M., Čosić I., Živković B., Objektno orijentisani razvoj CIM IS-a, zbornik apstrakata str. 52., YU INFO95, Brezovica, Jugoslavija, 4. - 8. april 1995.,
- [2.] Coad, P. and Yourdon, E. (1990) *Object-Oriented Analysis*, Yourdon Press, New York.
- [3.] Coad, P. and Yourdon, E. (1990) *Object-Oriented Design*, Yourdon Press, New York.
- [4.] Čosić, I. and Govedarica, M. and Živković, B. (1994) *Development of Object-Oriented Intelligent Database Model*, International Conference on Technical Informatics, CONTI 94, Timisoara, Romania, Proc. Vol. 2, 60-65.
- [5.] Parsaye, K. and Chignell, M. and Khoshafian, S. and Wong, H. (1989) *Intelligent Databases, Object-Oriented, Deductive Hypermedia Technologies*, John Wiley & Sons, New York.

*The paper covers fundamentals of object orientation, database systems, expert systems and hypermedia systems and presents one model of integration these technologies into intelligent database model. This model provides all necessary tools for knowledge and information acquisition, processing and representing in different forms, for dynamic linking, inference explanation and intelligent rapid design of software products like the engineering applications (CAD, CAM, CASE), i.e., applications that are characterized with large amount of data and complex links between them. Concept of the IIS*IDB intelligent knowledgebase tool and some methodological aspects of the IIS*IDB usage are discussed in the paper. The Intelligent Knowledgebase Tool is in process of gradually implementation through C++ on the MS Windows® platform.*



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

SENSING AND CONTROL OF WELD POOL GEOMETRICAL APPEARANCE

R. KOVACEVIC, Y. M. ZHANG, L. Li, AND H. Beardsley
Welding Research and Development Laboratory, University of Kentucky,
Center for Robotics and Manufacturing Systems, Lexington, Kentucky 40506, USA

ABSTRACT

The weld pool contains abundant information about the welding process. Its observation can generate data for studying the welding process. Its control could provide an entirely new method to obtain the desired weld quality. A real-time sensing technique has been developed to monitor the geometrical appearance of the weld pool. The geometrical appearance of the weld pool is characterized using a few parameters. The desired geometrical appearance can be acquired by controlling these parameters. A number of closed-loop systems have been developed to control the welding process.

1. INTRODUCTION

The weld pool can provide abundant information about the welding process. Human operators acquire the majority of their information about the welding process by observing the weld pool. The desired weld quality can be produced by accurately controlling the weld pool.

Although it is widely known that a correlation exists between weld quality and weld pool, only the width of the weld pool has been reliably sensed on-line to control the weld quality [1, 2] due to the difficulty in sensing other pool parameters. However, it is known that both current increase and arc length decrease will increase the weld penetration, whereas the resultant changes in the weld pool width are opposite. Thus, the weld pool width is not always a proper representation of the weld penetration [3-5]. To acquire sufficient information about the weld quality and welding process, more weld pool parameters must be sensed.

In order to acquire clear image of the weld pool from the strong arc light during arc welding, a pulsed laser of short duration has been projected onto the weld pool in order to suppress the arc light [6]. The resultant weld pool image is very clear (Fig. 1A). Its real-time processing has been extensively studied at our Lab [7, 8, 5]. The weld pool boundary can now be extracted (Fig. 1B) from the acquired image in 50 ms, despite the variation in welding conditions and parameters. This progress makes it possible now to investigate the correlation between the weld pool and weld quality based on abundant accurate data. It was found that the full penetration status can be determined using the shape and size of the weld pool [5]. Thus, the geometrical appearance of the weld pool, including both the size and shape of the weld pool, could be sensed to provide feedback information for the closed-loop control of weld penetration.

2. WELD PENETRATION AND WELD POOL GEOMETRICAL APPEARANCE

The weld pools shown in Fig. 2 were acquired using different welding currents. These weld pools are fully penetrated. It is known that the status of the full penetration is primarily specified by the back-side bead width w_b . It is found that the weld pool tends to enlarge, sharpen, and become larger when w_b increases.

In order to confirm the existence of correlation between the weld pool geometrical appearance and weld penetration, extensive experiments were performed using varied weld conditions and parameters. For accurate description of the weld pool geometrical appearance, nine widths measured at different locations along the longitudinal direction of weld pool and pool length are used [5]. These parameters are referred to as the full parameters. Because of the complexity of the relationship between the weld pool and weld penetration, neural networks were used to correlate the full parameters and weld penetration. Data from more than 7,000 weld pools and corresponding back-side bead widths were used to train the networks. The results are shown in Fig. 3. It can be seen that the weld penetration can be determined with sufficient accuracy using the full parameters (Fig. 3B). When the weld pool length or width was used, the resultant accuracy was not sufficient [5]. If the weld pool area is utilized, the weld penetration can be calculated with acceptable accuracy (Fig. 3A). Thus, the desired weld penetration could be acquired by controlling the weld pool area. However, the area does not provide information

about the shape of the weld pool which plays a critical part in determining the grain structure of the weld metal. In order to improve the penetration control accuracy or to control both the weld penetration and mechanical properties, the weld pool geometrical appearance should be controlled.



Fig. 1 Weld pool image. (a) original image. (b) processed image.

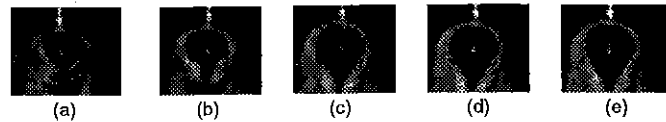


Fig. 2 Weld pools generated using different welding currents. Arc length=3mm, torch speed=1.9 mm/s, GTA welded, SS 304. (a). 90A, $w_b=1.8$ mm. (b). 95A, $w_b=3.0$ mm. (c). 105A, $w_b=4.0$ mm. (d). 110A, $w_b=4.5$ mm. (e). 115A, $w_b=5.0$ mm.

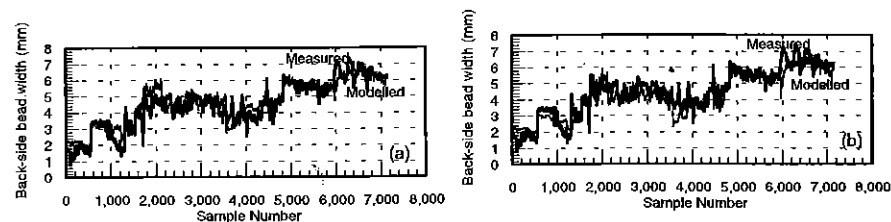


Fig. 3 Neural-network modeling of full penetration status using weld pool parameters. (a). Calculated weld penetration using the weld pool area. (b). Calculated weld penetration using the full parameters of weld pool.

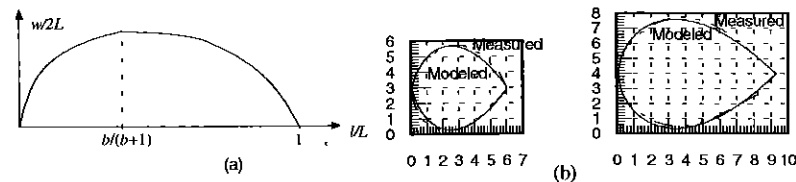


Fig. 4 Symmetric modeling of the weld pool boundary. (a) geometrical explanation (b) modeling examples.

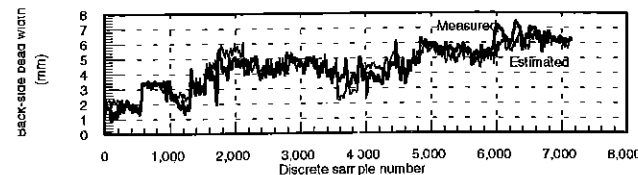


Fig. 5 Neural network based estimation of weld penetration using the three parameters of the weld pool geometrical appearance.

Although the full parameters can determine the weld penetration with sufficient accuracy, their control is difficult because of the large number of these parameters. In order to control the weld pool geometrical appearance, the weld pool must be characterized by only a few parameters. Hence, we proposed to describe the weld pool boundary using the following parametric model:

$$(w/2L) = -a(l/L)^b(1-(l/L)) \quad (a > 0, 1 > b > 0) \quad (1)$$

where L is the length of the weld pool, and a and b are the model parameters. This model can be shown by Fig. 4A. It has been shown that the proposed model can accurately characterize the weld pool geometrical appearance. Two examples are illustrated in Fig. 4B. The small difference between the measured and modeled boundaries show the model effectiveness. Also, although the proposed model is nonlinear about the parameter b , its linear version can be acquired using a log transformation. Thus, the model parameters can be on-line identified from the weld pool boundary using the linear least squares algorithm. In this case, the weld pool boundary is characterized by three parameters: L , a , and b . Using these three parameters, the weld penetration can be determined with sufficient accuracy (Fig. 5). Hence, the weld pool geometrical appearance can be represented by the proposed three parameters: L , a , and b .

3. ADAPTIVE CONTROL OF WELD POOL AREA

An advanced adaptive control system has been developed to control the pool area [7]. Fig. 6 shows the results under varied heat transfer condition. Because of the variation in the heat transfer condition, both the pool area and back-side bead width reached their maximum peaks at the narrowest segment of the workpiece if the measured area was not used to adjust the current [7]. When the measured pool area was used, the adaptive control algorithm changed the current accordingly. Thus, uniform pool area and back-side bead were acquired despite the variation in the heat transfer condition [7]. Fig. 6 shows the resultant weld.

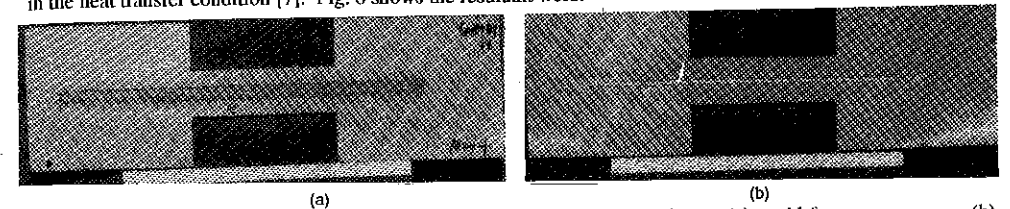


Fig. 6 Adaptive control of weld pool area under varied heat transfer condition. (a). weld-face appearance. (b). back-side appearance.

4. ROBUST CONTROL OF WELD PENETRATION

Previously, advanced welding control systems have been developed primarily using adaptive algorithms [7, 9-11]. In general, adaptive control is relatively complicated, but its performance can be good if the process model can be on-line identified with sufficient accuracy. When the accuracy of the identified model is not sufficient, its performance could tend to be poor. On the other hand, the robust control allows the uncertainty of the process. The uncertainty of the process is explicitly used to design the control system. If the uncertainty of the process can be determined *a priori*, the performance of the control system can be guaranteed by the robust algorithm even though it may not be as good as the ideal case of the adaptive control. For a practical welding process, the welding conditions could change from case to case. Different preprogrammed torch speeds could be used. Therefore, the mismatch between the nominal model and actual model could be very significant. On the other hand, the on-line identification requires a certain amount of data. Therefore, significant mismatch could therefore result in poor performance at the beginning portion of a weld segment. Furthermore, the duration of a welding operation could be short so that the beginning segment to the full weld length ratio is large [12]. In this case, the advantage of the adaptive control could become less significant. Hence, a robust system has been developed to control the weld penetration.

The uncertainty of a process can be categorized into the structured (parametric) and unstructured perturbations [13]. In general, the unstructured perturbations are described using the perturbation bounds and can be acquired from experimental data [14]. An effective way to describe the parametric perturbation is to model the process using an interval model [15]. The values of the parameters in the interval model are not given, but within certain intervals. For the welding process, it will be reasonable to characterize most variations as the parametric

uncertainties. For example, the transient processes, calculated using our numerical analysis package [16], on the workpieces with different thicknesses under a step current input have shown that the influence of the variations in the thickness can be primarily characterized by parameter changes in the mathematical model of the welding process. Thus, the interval model will be used to describe the welding process.

Although the interval model can give a reasonable description to the uncertain process, the design of the controller remains to a large extent an open problem [17]. In our previous study, a non-linear predictive algorithm has been proposed to control an interval model with guaranteed stability [18]. The robust stability and robust performance were proven in the time-domain. The performance is quite satisfactory despite large uncertain range of the interval process. This control algorithm is used to control the welding process here.

4.1 Interval model and problem description

In general, a stable single-input single-output process can be modeled with sufficient accuracy using the following impulse response model:

$$y_k = \sum_{j=1}^n h(j)u_{k-j} + \xi_k \quad (2)$$

where k is the current instant, y_k is the output at instant k , u_{k-j} is the input at instant $(k-j)$, ξ_k is the disturbance at instant k , and n and $h(j)$'s are the order and the real coefficients of the impulse response function:

$$H(z^{-1}) = \sum_{j=1}^n h(j)z^{-j} \quad (3)$$

It is assumed that the disturbance is unmeasurable and unpredictable. For the interval process, the model parameters lie within certain intervals:

$$h(j) \in [h_{\min}(j), h_{\max}(j)] \quad (j=1, \dots, n) \quad (4)$$

where $h_{\min}(j) \leq h_{\max}(j)$.

From model (2), the following can be obtained:

$$\Delta y_k = \sum_{j=1}^n h(j)\Delta u_{k-j} + \Delta \xi_k \quad (5)$$

where

$$\Delta y_k = y_k - y_{k-1}, \Delta u_{k-j} = u_{k-j} - u_{k-j-1}, \Delta \xi_k = \xi_k - \xi_{k-1} \quad (6)$$

The unit step response function $s(i)$ and their upper and lower limits $s_{\max}(i)$ and $s_{\min}(i)$ are:

$$\begin{cases} s_{\max}(i) = \sum_{j=1}^i h_{\max}(j) \geq s(i) = \sum_{j=1}^i h(j) \geq s_{\min}(i) = \sum_{j=1}^i h_{\min}(j) & (1 \leq i \leq n) \\ s_{\max}(i) = s_{\max}(n) \geq s(i) = s(n) \geq s_{\min}(i) = s_{\min}(n) & (i \geq n+1) \end{cases} \quad (7)$$

In order to achieve a negative feedback control, we should assume that the static gain of the addressed interval plant is certain despite the interval model parameters, i.e.,

$$s_{\max}(n)s_{\min}(n) > 0 \quad (8)$$

This is referred to as the negative feedback condition in this study.

4.2 Control algorithm

Consider instant k . The output at instant $k+1$ can be predicted using the following equation:

$$\hat{y}_{k+1}(\Delta u_k / k) = y_k + \sum_{j=1}^n h(j)\Delta u_{k+1-j} \quad (9)$$

If $u_{k-j} = u_k$ ($\forall j > 0$), we will have $\Delta u_{k+j} = u_{k+j} - u_{k+j-1} = 0$ ($\forall j > 0$). Denote

$$\begin{cases} z_{k+i}(\Delta u_k / k) = \hat{y}_{k+i}(\Delta u_{k+i-1} = 0, \Delta u_{k+i-2} = 0, \dots, \Delta u_{k+1} = 0, \Delta u_k / k) & (i \geq 1) \\ z_k(\Delta u_k / k) = y_k \end{cases} \quad (10)$$

It can be seen that $z_{k+i}(\Delta u_k / k)$ is the prediction of the output made at instant k , assuming the control action is kept constant after instant k . That is, $z_{k+i}(\Delta u_k / k)$ is the prediction of the step response. One can show that

$$\max z_{k+i}(\Delta u_k / k) = \max z_{k+i-1}(\Delta u_k / k) + \sum_{j=1}^n \max_{h_{\min}(j) \leq h(j) \leq h_{\max}(j)} [h(j)\Delta u_{k+i-j}] \quad (i \geq 1) \quad (11)$$

Hence, the maximum of the step response can be recursively calculated as i increases.

It can be shown that the prediction error $y_{k+1} - z_{k+1}(\Delta u_k / k)$ will contribute to the further prediction errors $y_{k+i} - \max z_{k+i}(\Delta u_k / k)$ where $i \geq 2$. Thus, once the new feedback y_{k+1} is acquired, the predictions $\max z_{k+i}(\Delta u_k / k)$ ($i \geq 2$) can be replaced by more precise innovative predictions $\max z_{k+i}(\Delta u_k / k + 1)$'s ($i \geq 2$) so that the control action can be adjusted based on the new feedback, where

$$\max z_{k+i}(\Delta u_k / k + 1) = \max z_{k+i}(\Delta u_k / k) \Big|_{z_{k+i}(\Delta u_k / k) = y_{k+1}} \quad (i \geq 2) \quad (12)$$

Also, it can be shown that

$$\max z_{k+i}(\Delta u_k / k) = \max z_{k+i}(\Delta u_{k-1} / k) + s_{\max}(i)\Delta u_k \quad (i \geq 1) \quad (13)$$

We have proposed to determine Δu_k using the following criterion [18]:

$$\max z_{k+n}(\Delta u_k / k) = y_0 \quad (14)$$

where y_0 is the desired output. This criterion can be realized by the following steps:

(1) Calculate

$$\max z_{k+i}(\Delta u_{k-1} / k) \quad (n \geq i \geq 1) \quad (15)$$

based on (11) and (12).

(2) Because of the correlation in (13), calculate

$$d(n) = y_0 - \max z_{k+n}(\Delta u_{k-1} / k) \quad (16)$$

(3) Then

$$\begin{cases} \Delta u_k = d(n) / s_{\max}(n) \\ u_k = u_{k-1} + \Delta u_k \end{cases} \quad (17)$$

It has been shown that for the given stable interval plant and negative feedback condition, if $\xi_k = 0$ ($\forall k \geq 1$), then

$$\lim_{k \rightarrow \infty} y_k = y_0 \quad (18)$$

when algorithm (15-17) is used. Thus, the robust stability and robust static performance of the control algorithm are guaranteed for the welding process which is stable and satisfies the negative feedback condition.

4.3 Control

The proposed control algorithm has been applied to control the weld penetration [19]. The control system is shown in Fig. 7. The input and output of the controlled system are the welding current i and the weld penetration state w_b , respectively. It is known that the process model varies with the welding conditions such as the thickness of the material, etc. Hence, the interval model has been used for controller design. The resultant interval model can be illustrated by h_{\min} and h_{\max} as shown in Fig. 8. Using this interval model, a closed-loop system has been developed to control the weld penetration.

Extensive experiments can be seen in [19]. As an example, Fig. 9 shows an experiment where the travel speed changes from 2.0 mm/s to 3.0 mm/s. It can be seen that when the speed increases, the output decreases (Fig. 9A). However, the controller can increase the current (Fig. 9B). As a result, the output is maintained at the desired level again (Fig. 9A). In this case, no overshooting or fluctuation of the output occurs so that the geometrical regularity and appearance of the resultant welds are excellent.

5. NEURO-FUZZY MODEL BASED ESTIMATION OF WELD PENETRATION

Fusion is the primary requirement of a welding operation. The fusion state can be specified using the outline of the cross-sectional solidified weld bead. Extraction and control of the fusion outline is evidently impractical. A few geometrical parameters should be used to characterize the fusion zone and then controlled to achieve the desired fusion. The final goal here is to control the fusion state of fully penetrated welds. The fusion state on a cross section is characterized using two parameters of the fusion zone, the top-side and back-side widths of the fusion zone (Fig. 10). Therefore, the top-side width w and back-side bead width w_b of the weld pool are referred to as the fusion state. A multivariable system will be developed to control w and w_b .

In order to develop the control system, the weld penetration state, w_b , should be estimated from the weld pool geometrical parameters. Although the neural network model has provided accurate estimation of the weld penetration, the given correlation between the weld pool geometrical appearance and weld penetration is opaque. In order to obtain more transparent correlation, the fuzzy models can be used.

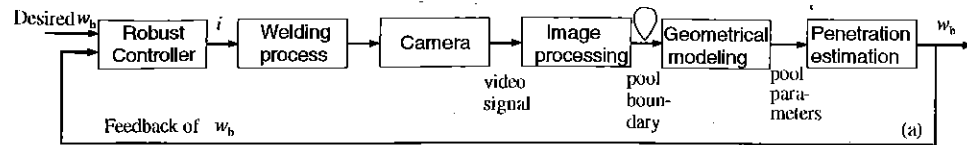


Fig. 7 Interval model based robust control system of weld penetration

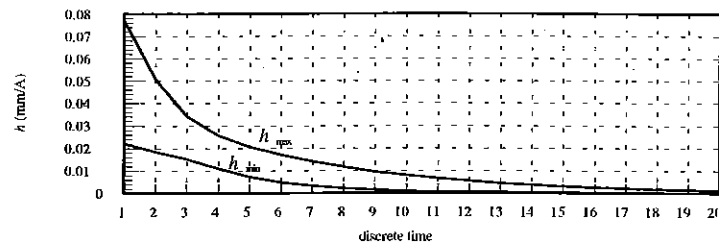


Fig. 8 Identified interval model

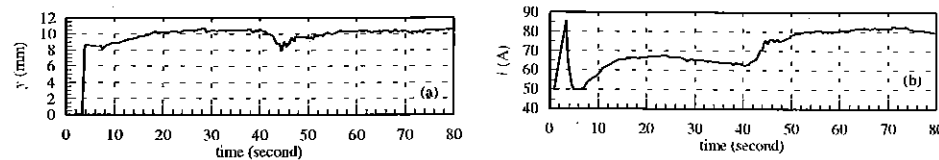


Fig. 9 Closed-loop experiment for controlling the weld penetration based interval model. (a) output (b) control action. A parametric perturbation is applied by increasing the welding speed from 2 mm/s to 3 mm/s at $t = 40s$.

A fuzzy system has three major conceptual components: rule base, database, and reasoning mechanism [20]. The rule base consists of the used fuzzy IF-THEN rules. The database contains the membership functions of the fuzzy sets. The reasoning mechanism performs the inference procedure for deriving a reasonable output or conclusion based on the IF-THEN rules from the input variables. Because of the unambiguous boundaries of fuzzy sets and the rule based structure, fuzzy systems can be developed to emulating the human inference. Due to the excellence of skilled operators in estimating and controlling the welding process, the authors expect that the performance of a fuzzy logic based estimation and control system of the weld fusion will be excellent.

In the conventional fuzzy models, the fuzzy linguistic IF-THEN rules are primarily derived from human experience [21]. Because the fuzzy modeling takes advantage of existing human knowledge which might not be easily or directly utilized by other conventional modeling methods [20], such fuzzy models have been successfully used in different areas, including manufacturing. In these models, no systematic adjustments are made on the used rules, membership functions, or reasoning mechanism according to the behavior of the fuzzy model. In general, if the fuzzy rules elicited from the operators' experience are correct, relevant, and complete [22], the resultant fuzzy model can function well. However, frequently such fuzzy rules from the operators do not satisfy the correctness, relevance, and completeness requirements [22]; the rules may be vague and misinterpreted, or the rule base could be incomplete. In such cases, the performance of the fuzzy system can be greatly improved if systematic adjustments are made based on its behavior.

The adjustability of the used rules, membership functions, and reasoning mechanism provides the fuzzy model an adaptation to the addressed problem or process. In order to adjust the parameters in the fuzzy model, various learning techniques developed in the neural network literature have been used. Thus, the term neurofuzzy modeling is used to refer to the application of algorithms developed through neural network training to identify parameters for a fuzzy model [20]. A neurofuzzy model can be defined as a fuzzy model with parameters which can be systematically adjusted using the training algorithms in neural network literature. In neurofuzzy modeling,

the abstract thoughts or concepts in human reasoning are incorporated with numerical data so that the development of fuzzy models becomes more systematic and less time consuming. As a result, neurofuzzy systems have been successfully used in different areas.

5.1 Neuro-fuzzy model

Most neurofuzzy systems have been developed based on the Sugeno Type Fuzzy Model [23]. A typical fuzzy rule in a Sugeno model has the form: IF x is A and y is B THEN $z = f(x, y)$. Here A and B are fuzzy sets, and $z = f(x, y)$ is a crisp function which can be any function as long as the system outputs can be appropriately described within the fuzzy region specified by the antecedent of the rule [20]. Here a neurofuzzy system will be developed to estimate the weld penetration based on the Sugeno model. The resultant model will then be used in the projected neurofuzzy control system of the fusion state.

It is a common practice to use the domain knowledge about the addressed problem or process for determining the fuzzy model structure, i.e., selecting the relevant inputs, partitioning the fuzzy sets, etc., and numerical data for identifying the parameters in the fuzzy model [20]. We selected the length and narrowness, measured by the pool length L and relative pool width $w_r = w/L$, as two relevant fuzzy variables for representing our impression about the geometrical characteristics of the weld pool geometry. Denote these two variables as p_j ($j=1, 2$) where $p_1 = L$ and $p_2 = w_r$. Based on the knowledge of the welding process, we have assumed that each variable has no more than four fuzzy sets. By modeling trials it is found that two fuzzy sets are enough for each variable. Thus, the partition shown in Table 1 is obtained. The membership to A_{ji} is given by:

$$A_{ji}(p_j) = \exp\left(-\frac{(p_j - a_{ji})^2}{b_{ji}}\right) \quad (1 \leq i \leq I_j) \quad (19)$$

where a_{ji} and b_{ji} are the parameters of the fuzzy membership function $A_{ji}(p_j)$ which will be identified using the experimental data.

Table 1 Fuzzy Partition of Pool Parameters

Fuzzy variables	Number of Fuzzy Sets	Partition
length (p_1)	$I_1 = 2$	long (A_{11}), short (A_{12})
narrowness (p_2)	$I_2 = 2$	wide (A_{21}), narrow (A_{22})

For a given set of input variables (p_1, p_2), implement the rule:

$$\text{Rule } (i_1, i_2): \text{ IF } p_1 \text{ is } A_{i_1} \text{ and } p_2 \text{ is } A_{i_2} \text{ THEN } y(i_1, i_2) = c_1(i_1, i_2)p_1 + c_2(i_1, i_2)p_2 \quad (1 \leq i_1 \leq I_1, 1 \leq i_2 \leq I_2) \quad (20)$$

for all possible (i_1, i_2) 's, where $c_j(i_1, i_2)$'s are the so-called consequent parameters [24], and $y(i_1, i_2)$ is an output from rule (i_1, i_2) . In a standard first-order Sugeno model [20], $y(i_1, i_2)$ has the form $y(i_1, i_2) = c_0 + c_1(i_1, i_2)p_1 + c_2(i_1, i_2)p_2$. For processing convenience, the inputs and output have been normalized before the neurofuzzy model is identified (see Eq. (23)). Because of this normalization, as shown by the modeling trials, c_0 's are not significant for every rule (i_1, i_2) ($1 \leq i_1 \leq I_1, 1 \leq i_2 \leq I_2$). Hence, linear crisp functions as in Eq. (20) are used.

The final output of the fuzzy model is:

$$y = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} w(i_1, i_2) y(i_1, i_2) \quad (21)$$

where $w(i_1, i_2)$ is the weight representing the truth degree for the premise: p_1 is A_{i_1} and p_2 is A_{i_2} , and is calculated using equation:

$$w(i_1, i_2) = \prod_{j=1}^2 A_{ji}(p_j) \quad (22)$$

5.2 Modeling

The number of the parameters in the membership functions is $2(I_1 + I_2)$. The number of the consequent parameters is $2I_1I_2$. Thus, the number of the parameters in fuzzy model is 16 when $I_1 = 2$ and $I_2 = 2$. For such a

number of parameters, too large N , sample size, may not be necessary. Hence, an experimental data set $\{p_j(t), p_2(t), y(t)\} (t=1, 2, \dots, N)$ with $N=670$ is used to identify the neurofuzzy model.

For processing convenience, the data have been normalized:

$$\left\{ \begin{aligned} p_j(t) &\leftarrow \frac{p_j(t) - \min p_j}{\max p_j - \min p_j} \quad (j=1, 2), \quad y(t) \leftarrow \frac{y(t) - \min y}{\max y - \min y} \end{aligned} \right. \quad (23)$$

The normalized data range from 0 to 1. We have assigned $(a_{11}^{(0)}, a_{12}^{(0)})=(1, 0)$, $(a_{21}^{(0)}, a_{22}^{(0)})=(1, 0)$, $(b_{11}^{(0)}, b_{12}^{(0)})=(0.85^2, 0.85^2)$, and $(b_{21}^{(0)}, b_{22}^{(0)})=(0.85^2, 0.85^2)$. Once these initial partition parameters are given, the consequent parameters should be carefully assigned in order to avoid too large initial fitting errors. Analysis shows that when the parameters of the fuzzy partition are given, the correlation between the cost function and the consequent parameters are quadratic. Thus, the cost function can be analytically minimized with respect to the consequent parameters.

The identified neurofuzzy model have the following four rules:

Rule (1, 1): IF p_1 is **long** and p_2 is **wide** THEN $y(1, 1)=1.04p_1 + 0.31p_2$

Rule (1, 2): IF p_1 is **long** and p_2 is **narrow** THEN $y(1, 2)=0.39p_1 + 0.015p_2$

Rule (2, 1): IF p_1 is **short** and p_2 is **wide** THEN $y(2, 1)=0.54p_1 + 0.30p_2$

Rule (2, 2): IF p_1 is **short** and p_2 is **narrow** THEN $y(2, 2)=0.04p_1 - 0.08p_2$

Here the variables are measured using the normalized coordinates with $\min y=0.69$ mm, $\max y=4.16$ mm, $\min p_1=3.22$ mm, $\max p_1=7.21$ mm, $\min p_2=0.62$, and $\max p_2=1.07$.

The fitting accuracy of the resultant fuzzy model can be seen in Fig. 11. It is apparent that the back-side bead widths measured from different experiments, which were performed using different welding parameters, have been fitted with excellent accuracy by the fuzzy model. No obvious static errors have been observed. The high frequency sparks can be easily removed using a proper filter. Thus, the neurofuzzy model can be used to estimate the back-side bead width based on the weld pool geometry for the fusion control.

In order to explore the possible accuracy improvement, we have used $I_1=I_2=3$ and $I_1=I_2=4$. However, no noticeable improvement has been observed. It is evident that the partition of two fuzzy sets in Table 1 is sufficient.

To justify the use of the fuzzy model, a linear model has also been fitted. The resultant equation is:

$$w_b = 0.86L + 0.36w_s \quad (24)$$

where all of the parameters are measured using their normalized coordinates (Eq. (23)). The resultant cost function is 2.81. This number is much larger than the cost function of the fuzzy model. In fact, substantial static fitting errors can be frequently observed in the linear fitting. It is apparent that the fuzzy model does provide much better estimates of the back-side bead widths.

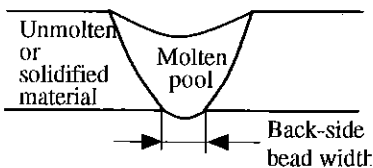


Fig. 10 Fusion zone.

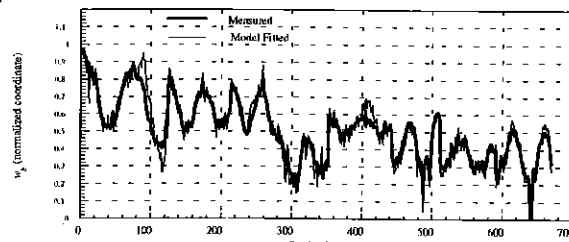


Fig. 11 Neurofuzzy estimation of the weld penetration.

6. NEURO-FUZZY MODEL BASED NON-LINEAR DYNAMIC MODEL AND CONTROL

6.1 Neuro-fuzzy dynamic model

Define $y_1=w_b$ and $y_2=w$ as the outputs, $u_1=i$ and $u_2=1/v$ as the control variables. Here i and v are the welding current and speed, respectively. Denote the present discrete time instant by t . The proposed fuzzy model is described below.

(1). Fuzzy Partition: The partition shown in Table 2 is used. The membership to A_j is given by:

$$A_j(y_j) = \exp(-(y_j - a_j)^2 / b_j) \quad (1 \leq j \leq I_j) \quad (25)$$

where a_j and b_j are the parameters of the fuzzy membership function $A_j(y_j)$.

Table 1 Fuzzy Partition of Fusion Parameters

Fuzzy variables	Number of Fuzzy Sets	Partition
back-width (y_1)	$I_1=2$	wide (A_{11}), narrow (A_{12})
front-width (y_2)	$I_2=2$	wide (A_{21}), narrow (A_{22})

(2). Rules:

Rule (i, i_2) : IF $y_1(t-1)$ is A_{i_1} and $y_2(t-1)$ is A_{i_2}

$$\text{THEN} \left\{ \begin{aligned} y_1(i, i_2; t) &= \sum_{j=1}^{n_1} c_{11}(i, i_2; j) u_1(t-j) + \sum_{j=1}^{n_2} c_{12}(i, i_2; j) u_2(t-j) \\ y_2(i, i_2; t) &= \sum_{j=1}^{n_1} c_{21}(i, i_2; j) u_1(t-j) + \sum_{j=1}^{n_2} c_{22}(i, i_2; j) u_2(t-j) \end{aligned} \right. \quad (26)$$

$$(1 \leq i \leq I_1, 1 \leq i_2 \leq I_2)$$

where $(y_1(i, i_2; t), y_2(i, i_2; t))$ is an output from rule (i, i_2) , and $c_{k_1 k_2}(i, i_2; j)$'s ($k_1=1, 2; k_2=1, 2$) are the parameters in local linear model (i, i_2) . In this case, the dynamics is described by using a moving-average model. Its advantage has been analyzed in a previous work [12].

(3). Model Outputs: The final outputs of the fuzzy model are:

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(t) &= \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} w(i, i_2; t) y_1(i, i_2; t) \\ y_2(t) &= \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} w(i, i_2; t) y_2(i, i_2; t) \end{aligned} \right. \quad (27)$$

where $w(i, i_2; t)$ is the weight representing the truth degree for the premise: $y_1(t-1)$ is A_{i_1} and $y_2(t-1)$ is A_{i_2} , and is calculated using the equation:

$$w(i, i_2; t) = \prod_{j=1}^2 A_{i_j}(y_j(t-1)) \quad (28)$$

The above experimental data have been used to fit a neurofuzzy model here. It is found that orders $n_{11}=n_{12}=4$ and $n_{21}=n_{22}=3$ are sufficient. The identified model parameters and rules are:

$$(a_{11}, a_{12})=(5.71 \text{ mm}, 1.27 \text{ mm}), \quad (a_{21}, a_{22})=(7.15 \text{ mm}, 2.92 \text{ mm}),$$

$$(b_{11}, b_{12})=(2.22^2 \text{ mm}^2, 2.22^2 \text{ mm}^2), \quad (b_{21}, b_{22})=(2.11^2 \text{ mm}^2, 2.11^2 \text{ mm}^2)$$

Rule (1, 1): IF $y_1(t-1)$ is **Wide** and $y_2(t-1)$ is **Wide** THEN

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(1, 1; t) &= 0.027u_1(t-1) + 0.021u_1(t-2) + 0.0057u_1(t-3) + 0.011u_1(t-4) \\ &\quad + 0.0613u_2(t-1) + 0.315u_2(t-2) + 0.497u_2(t-3) + 0.45u_2(t-4) \\ y_2(1, 1; t) &= 0.0592u_1(t-1) + 0.0127u_1(t-2) + 0.0099u_1(t-3) \\ &\quad + 0.337u_2(t-1) + 0.854u_2(t-2) + 0.267u_2(t-3) \end{aligned} \right.$$

Rule (1, 2): IF $y_1(t-1)$ is **Wide** and $y_2(t-1)$ is **Narrow** THEN

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(1, 2; t) &= 0.011u_1(t-1) + 0.015u_1(t-2) + 0.026u_1(t-3) + 0.019u_1(t-4) \\ &\quad + 0.30u_2(t-1) + 1.59u_2(t-2) + 6.52u_2(t-3) + 2.87u_2(t-4) \\ y_2(1, 2; t) &= 0.0495u_1(t-3) + 10.8u_2(t-3) \end{aligned} \right.$$

Rule (2, 1): IF $y_1(t-1)$ is **Narrow** and $y_2(t-1)$ is **Wide** THEN

$$\left\{ \begin{aligned} y_1(2, 1; t) &= 0.097u_1(t-2) + 0.081u_1(t-3) + 0.045u_1(t-4) + 2.54u_2(t-2) \\ y_2(2, 1; t) &= 0.126u_1(t-2) + 0.24u_1(t-3) \\ &\quad + 1.69u_2(t-1) + 4.34u_2(t-2) + 2.26u_2(t-3) \end{aligned} \right.$$

Rule (2, 2): IF $y_1(t-1)$ is **Narrow** and $y_2(t-1)$ is **Narrow** THEN

$$\begin{aligned} y_1(2, 2; t) &= 0.026u_1(t-1) + 0.001u_1(t-2) \\ y_2(2, 2; t) &= 0.037u_1(t-1) + 0.0134u_1(t-2) + 0.557u_2(t-1) + 0.59u_2(t-2) \end{aligned}$$

Here $u_1(t-j)$ and $u_2(t-j)$ are the average inputs in $((t-j)\Delta T - 0.5\Delta T, (t-j)\Delta T + 0.5\Delta T]$, rather than at discrete instant $t-j$, where $\Delta T = 1s$.

Assume that τ represents the continuous time, rather than the discrete time instant. The outputs at τ can be predicted using the inputs in $(\tau - j\Delta T - 0.5\Delta T, \tau - j\Delta T + 0.5\Delta T]$, no matter whether or not $\tau / \Delta T$ is an integer. Hence, by applying the identified model, the outputs at any moment can be predicted.

The modeling accuracy of the resultant fuzzy model can be seen in Fig. 12 where the outputs were measured at 10 Hz. It is apparent that the outputs of the controlled process have been predicted with excellent accuracy by the fuzzy model. The variance of the fitting error is $0.014mm^2$. It is found that the no noticed improvement can be made when increasing n_{k_i, k_j} 's. Also, no improvement has been noticed when increasing I_1 and I_2 . Thus, the used model is sufficient.

In order to show the effectiveness of the identified fuzzy model, a simpler fuzzy model is used. The fuzzy partition is the same as in Table 2. However, in each premise, only one single variable is used. The variance of the fitting error is $0.22mm^2$. The fitting error is significantly increased. When a linear model is used, the modeling is even poorer (Fig. 13). Hence, the used neurofuzzy model structure plays an important role in accurately modeling the non-linear dynamics of the controlled process.

6.2 On-line identification:

The identified neurofuzzy model can be regarded as the nominal model. In order to improve the control performance, an on-line identifier can be incorporated to modify the parameters from the nominal model. In principle, all the parameters in the model could be modified on-line. However, the convergence speed of the on-line identification depends largely on the number of the parameters to be on-line modified. In many cases, the duration of the welding operation may not be sufficient to identify all the parameters [12]. In this work, the following structure will be used as the local model for the real-time control:

$$\begin{cases} y_1(i_1, i_2; t) = k_{11}(i_1, i_2) \sum_{j=1}^{n_{11}} c_{11}(i_1, i_2; j) u_1(t-j) + k_{12}(i_1, i_2) \sum_{j=1}^{n_{12}} c_{12}(i_1, i_2; j) u_2(t-j) \\ y_2(i_1, i_2; t) = k_{21}(i_1, i_2) \sum_{j=1}^{n_{21}} c_{21}(i_1, i_2; j) u_1(t-j) + k_{22}(i_1, i_2) \sum_{j=1}^{n_{22}} c_{22}(i_1, i_2; j) u_2(t-j) \end{cases} \quad (29)$$

where $c_{11}(i_1, i_2; j)$'s, ..., $c_{22}(i_1, i_2; j)$'s ($i_1 = 1, 2; i_2 = 1, 2$) are the nominal parameters, and $k_{11}(i_1, i_2)$'s, ..., $k_{22}(i_1, i_2)$'s ($i_1 = 1, 2; i_2 = 1, 2$) are the parameters to be identified on-line.

It can be seen that there are eight parameters to be identified on-line for both y_1 and y_2 . Based on the recursive least square algorithm, these parameters can be estimated on-line from their initial (nominal) values of one.

6.3 Control simulations

A predictive control algorithm has been developed to control the weld fusion state based on the neuro-fuzzy dynamic model of the welding process. Fig. 14 shows the simulated closed-loop control when set-points change. In the first ten seconds, we assume that the arc is not established. In the first ten seconds after the arc is established, i.e. from $t=10s$ to $t=20s$, the inputs are selected so that the desired outputs are not obtained. Once the closed-loop control algorithm is applied at $t=20s$, the control actions start to change. As a result, the desired outputs are obtained (Fig. 14A). At $t=100s$, the desired outputs change to (4mm, 6mm) from (2.5mm, 4.5mm). It can be seen that despite the large jumps in the operating points, the desired outputs can be achieved. The resultant responses are quite satisfactory. In Fig. 15, parametric perturbation is applied at $t=50s$. Despite the severe disturbances, the closed-loop control system can restore to the desired output levels. It can be seen that in this case, the regulation speed has been slowed down by the restrictions on the control actions and their increments. However, this is an extreme case. In general, the regulation speed is quite satisfactory. Also, no too energetic control actions are observed so that the resultant outputs do not fluctuate. Hence, the designed control system can maintain outputs at the desired levels and satisfactory shapes despite the perturbations and the inherent non-linearity of the welding process.

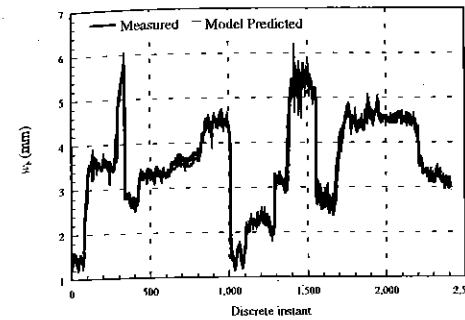


Fig. 12 Neurofuzzy dynamic modeling.

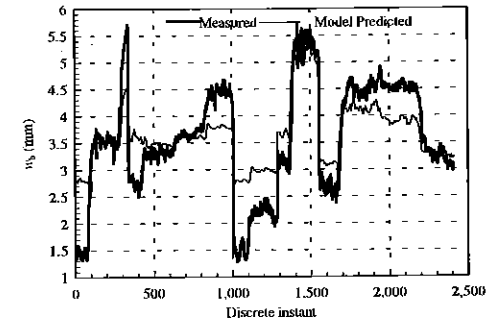


Fig. 13 Linear dynamic modeling.

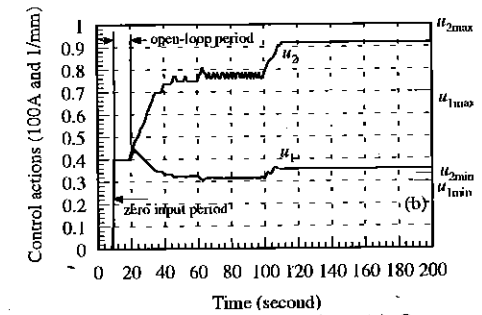
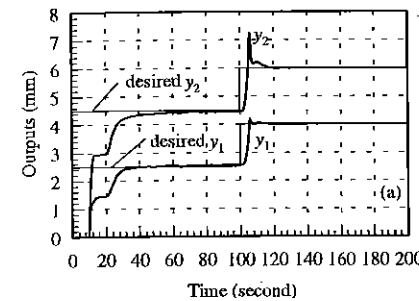


Fig. 14 Simulated fuzzy model based adaptive non-linear control under variation of the set-points. (a) Outputs. (b) Control Actions.

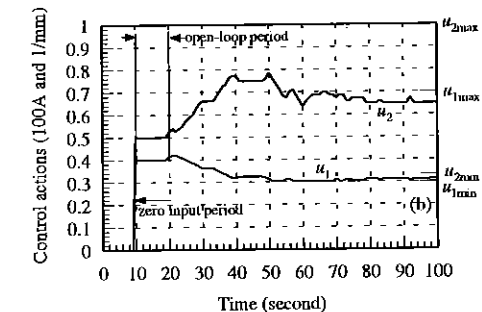
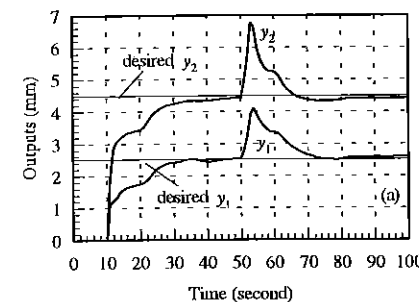


Fig. 15 Simulated fuzzy model based adaptive non-linear control under parametric perturbations. (a) Outputs. (b) Control Actions. The parametric perturbations are applied at $t=50s$.

7. CONCLUSIONS

The weld pool geometrical appearance can be measured in real-time. The weld penetration can be determined using the geometrical appearance of the weld pool. The weld pool geometrical appearance control can provide an entirely new approach to achieve the desired weld penetration and mechanical properties. A number of closed-loop control systems have been developed to control the welding process based on the feedback of the weld pool geometrical appearance.

ACKNOWLEDGMENT

This work is partially supported by the National Science Foundation under contracts DMI94-9412637 and DMI9414530.

REFERENCES

1. Pietrzak, K. A., and Packer, S. M., 1994. "Coaxial vision-based weld pool width control," *ASME Journal of Engineering for Industry*, Vol. 116, 86-92.
2. Vroman, A. R., and Brandt, H., 1976. "Feedback control of GTA welding using puddle width measurement," *Welding Journal*, Vol. 55, No. 9, pp- 742-749.
3. Zhang, Y. M., et al., "Determining joint penetration in GTAW with vision sensing of weld-face geometry," *Welding Journal*, 1993, Vol. 72, 463s-469s.
4. Zhang, Y. M., Kovacevic, R. and Wu, L., 1992. "Sensitivity of torch-side weld geometry in representing the full penetration," *Proc. Instn Mech. Engrs, Part. B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 206, pp. 191-197.
5. Kovacevic, R., Zhang, Y. M., and Li, L. "Monitoring of weld penetration based on weld pool geometrical appearance," to appear, *Welding Journal*.
6. Hoffman, T., 1991. "Real-time imaging for process control," *Advanced Material & Processes*, 140(3): 37-43.
7. Kovacevic, R., Zhang, Y. M. and Ruan, R., 1995. "Sensing and control of weld pool geometry for automated GTA welding," *ASME Journal of Engineering for Industry*, 117(2): 210-222..
8. Kovacevic, R. and Zhang, Y. M., 1995. "Machine vision recognition of weld pool in GTAW," *Proc Instn Mech Engrs, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 208(B2), pp. 141-152.
9. Doumanidis, C. C., and Hardt, D. E., 1990. "Simultaneous in-process control of heat-affected zone and cooling rate during arc welding," *Welding Journal*, 69(5): 186s-196s.
10. Song, J.-B., and Hardt, D. E., 1994. "Dynamic modeling and adaptive control of the gas metal arc welding process," *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 116(3): 405-413.
11. Zhang, Y. M., Kovacevic, R., and Li, L., 1996. "Adaptive control of full penetration GTA welding," to appear in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 4(4), July.
12. Zhang, Y. M., Kovacevic, R. and Wu, L., 1996. "Dynamic analysis and identification of gas tungsten arc welding process for full penetration control," *ASME Journal of Engineering for Industry*, 118(1): 123-136.
13. Jayasuriya, A., 1993. "A frequency domain design for robust performance under parametric, unstructured, or mixed uncertainties," *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 115, pp. 439-351, 50th Anniversary Issue, June.
14. Smith, R. S. and Dahleh, M., *The modeling of uncertainty in control systems*, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 192, Springer-Verlag, 1993.
15. Barmish, B. R., 1989. "A generalization of Kharitonov's four polynomial concept for robust stability problems with linearly development coefficient perturbations," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 34, pp. 157-165.
16. Zhang, Y. M., Cao, Z. N., and Kovacevic, R., 1996. "Numerical analysis of fully penetrated weld pools in GTA welding," *Proc Instn Mech Engrs, Part C, Journal of Mechanical Engineering Science*, 210(2): 187-195.
17. Chapellat, H., Dahlehand, M., and Bhattacharyya, S. P., 1990. "Robust stability under structured and unstructured perturbations," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 35, pp. 1100-1108.
18. Zhang, Y. M. and Kovacevic, R., "Robust control of interval plants: a time domain approach," *Submission, IEE Proceedings Part D: Control Theory and Applications*.
19. Zhang, Y. M., Kovacevic, R., and Li, L., 1996. "Interval model based robust control of arc weld pool", *Submission, The 5th IEEE Conference on Control Applications*.
20. Jang, J. S. R. and Sun, C. T., 1995. "Neuro-fuzzy logic modeling and control," *Proceedings of the IEEE*, 83(3): 378-406.
21. Mamdani, E. H., and Assilian, S., 1975. "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Machine Studies*, 7(1): 1-13.
22. Brown, M. and Harris, C., 1994. *Neurofuzzy adaptive modeling and control*. Prentice Hall, New York.
23. Takagi, T., and Sugeno, M., 1985. "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1): 116-132.
24. Tawaka, K, Sano, M., and Watanabe, H., 1995. "Modeling and control of carbon monoxide concentration using a neuro-fuzzy technique," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 3(3): 271-279.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Z. Miljković, B. Kokotović¹⁾

INTELIGENTNO UPRAVLJANJE AUTONOMNIM TEHNOLOŠKIM SISTEMIMA

Rezime

Trend razvoja autonomnih tehnoloških sistema otvara problem njihovog upravljanja. Veštački život (Artificial Life -AL), kao multidisciplinarna oblast koja tretira život kao svojstvo organizovanja materije, kojim se postiže dinamičko ponašanje, nalik onom koje ispoljavaju živi sistemi, javlja se kao adekvatna paradigma autonomnih tehnoloških sistema. U radu je predložen koncept upravljanja ovakvim sistemima, koji koristi sintetički pristup, sa težnjom da pomiri dva osnovna pristupa u generisanju složenih ponašanja (odozgo-naniže i odozdo-naviše). Detaljnije je analiziran problem upravljanja autonomnim mobilnim robotom (AMR), čija se složena ponašanja u interakciji sa dinamički promenljivom okolinom, opravdano tumače jednim oblikom AL. Predloženi koncept upravljanja uvažava višenivojsku strukturu upravljanja, kao preslikavanja iz prostora stanja senzora u prostor inicijalizacije aktuatora, u kontekstu postavljenog zadatka i okruženja. Predloženi model za kreiranje ovog preslikavanja na stratejskom nivou je inspirisan genetskim algoritimima, dok funkcionisanje na operativnom nivou omogućuje neuronski lokomocioni kontroler, baziran na specifičnom neuronskom modelu. Radom je obuhvaćena i verifikacija postavljenog koncepta kroz kompjutersku simulaciju rada AMR.

Ključne reči: Autonomni sistemi, Upravljački sistemi, Mobilni robot, Veštački život, Genetski algoritmi, Neuronski lokomocioni kontroler, Kompjuterska simulacija

1. UVOD

Konvencionalni sistemi upravljanja mašinama alatkama i industrijskim robotima nisu uspjeli da reše problem neodređenosti tehnološkog okruženja. Današnji razvoj tehnoloških sistema podrazumeva učešće autonomnih mašina alatki i industrijskih robota, koji u dinamičkoj interakciji sa okolinom mogu da reaguju na pojavu neodređenosti. To znači da se pruža mogućnost multidisciplinarnog naučnog istraživanja u domenu AUTONOMNIH TEHNOLOŠKIH SISTEMA. Taj trend njihovog razvoja otvara problem upravljanja. Upravljački sistemi bazirani na inteligentnom ponašanju mobilnih robota su u početku razvijani na principima konačnih automata [Brooks 86], a danas na biološkim osnovama veštačkih neuronskih mreža i kroz adaptivno upravljanje [Beer 91, Digney&Gupta 93, Pfeiffer 95]. Istraživanja u domenu CNC mašina alatki, takođe su vodila preko implementacija funkcija monitoringa, do adaptivno upravljanih mašina, a sve u cilju ostvarenja koncepta mašina alatki sledeće generacije - inteligentnih mašina alatki, čiji razvoj podrazumeva intenzivnu primenu bioloških modela.

Inteligentno upravljanje autonomnim tehnološkim sistemima ima hijerarhijsku strukturu koju čine individualno upravljivi moduli. Inteligentno ponašanje ovim sistemima se može tumačiti jednim oblikom veštačkog života (Artificial Life - AL) koji, kao nova

¹⁾ Mr Zoran Đ. Miljković, asistent, Mr Branko M. Kokotović, asistent, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet u Beogradu, 27. marta 80, 11000 Beograd

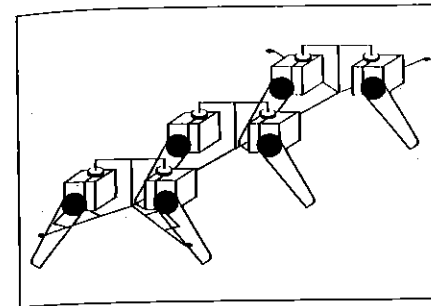
multidisciplinarna naučna oblast tretira život kao svojstvo organizovanja materije, što predstavlja adekvatnu paradigmu autonomnih tehnoloških sistema [Langton 89]. Pomenuta struktura upravljačkog sistema je karakteristična i za Autonomni Mobilni Robot (AMR), jednog od reprezentanata autonomnih tehnoloških sistema. Upravljačka šema AMR ima paralelno distribuiranu hijerarhijsku strukturu, sa protokom signala od senzora do aktuatora, tako da viši nivoi upravljačkih modula uključuju niže samo ukoliko to kompleksnost tehnološkog zadatka zahteva. Takva upravljačka šema se zove ARHITEKTURA UKLJUČIVANJA [Brooks 86].

Kroz istraživanja na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu razvija se NEURONSKI LOKOMOCIONI KONTROLER, koji upravlja AMR [Miljković & Kokotović 95]. Ovim radom se predlaže sinteza genetskih algoritama i heterogenih veštačkih neuronskih mreža, na strategijskom i operativnom nivou inteligentnog upravljanja AMR. Genetski algoritmi imaju zadatak da optimiziraju široki ulazni prostor stanja signala sa senzora, dok heterogene neuronske mreže obezbeđuju prenos filtriranih signala od senzora ka aktuatorima AMR. Kroz rad se daje: funkcionalna arhitektura inteligentnog upravljanja autonomnim tehnološkim sistemima, opis neuronskog lokomocionog kontrolera baziranog na specifičnom neuronskom modelu, funkcionalni pristup kreiranju heterogenih neuronskih mreža, postupak optimizacije preslikavanja iz prostora stanja senzora u prostor inicijalizacije aktuatora pomoću genetskih algoritama i eksperimentalni rezultati koji su dobijeni kroz kompjutersku simulaciju rada AMR.

2. AUTONOMNOST TEHNOLOŠKIH SISTEMA

Evolucija razvoja mašina alatke i industrijskih robota je od samog početka išla u pravcu sve veće nezavisnosti u pogledu upravljanja ovih mašina. One su sve više orijentisane radu u nestrukturisanom okruženju sa izraženom neodređenošću. Takve mašine se danas zovu AUTONOMNE, INTELIGENTNE ili KOGNITIVNE mašine alatke, odnosno industrijski roboti [Gupta & Rao 93, Moriwaki 94]. Pojam AUTONOMNOST znači posedovanje sposobnosti samoorganizovanja. Autonomni upravljački sistemi imaju sposobnost i mogućnost samoorganizovanja prilikom izvršavanja upravljačkih funkcija. Oni su koncipirani od hardversko-softverskih komponenata, sposobnih da izvršavaju upravljačke funkcije bez eksternih intervencija u dužem vremenskom periodu. Postoji nekoliko kvalitativno različitih stepena autonomnosti upravljačkih sistema. Konvencionalni upravljački sistemi sa fiksnim, eksplicitno definisanim matematičkim modelima dinamičkog sistema koji treba upravljati (PID kontroleri npr.) imaju nizak stepen autonomnosti. Oni mogu da vrše varijaciju ograničenog broja parametara u propisanim tolerancijama sa ciljem eliminisanja smetnji, odnosno šumova. Današnji upravljački sistemi imaju viši stepen autonomnosti, s obzirom da poseduju dodatne funkcije regulacije stanja, pre svega kroz sposobnost UČENJA. Upravljački sistem sa sposobnošću učenja, dobijene informacije sa senzora posle obrade signala može koristiti za buduću estimaciju i prepoznavanje sličnih stanja, uz prethodnu klasifikaciju i optimizaciju. Upravljački zakoni koji važe za ovakve upravljačke sisteme su bazirani na primerima pozitivnog iskustva, a dobijeni su kroz mašinsko učenje. Jednom "obučeni" upravljački sistem je u stanju da vrši kompenzaciju velikog broja promena stanja mašine alatke odnosno industrijskog robota, kao i uslova dobijenih od okruženja. To znači, da nam za kompleksan sistem, kao što je mašina alatka ili industrijski robot, nije potreban složen analitički, eksplicitno definisan matematički model iskazan kroz linearne ili nelinearne sisteme diferencijalnih jednačina, već se upravljački sistem kroz učenje na bazi iskustva i analogije sa prethodnim situacijama adaptira novim, izmenjenim uslovima.

Novo, inteligentne tehnologije su direktno uključene u realizaciju AUTONOMNIH UPRAVLJAČKIH SISTEMA, a ovaj rad prezentira primenu genetskih algoritama i heterogenih neuronskih mreža u upravljanju AMR (slika 1), koji ima šest nogu, i po dva stepena slobode (rotacioni zglobovi) na svakoj nozi. Hipoteza, koja je u radu korišćena, bazira se na neuro-biološkim osnovama i podrazumeva da ako želimo da projektujemo

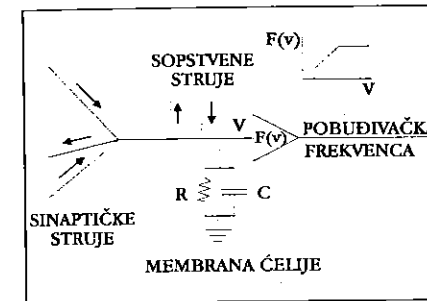


Slika 1. Fizički model AMR

3. NEURONSKI LOKOMOCIONI KONTROLER BAZIRAN NA HETEROGENIM VEŠTAČKIM NEURONSKIM MREŽAMA

Razvoj veštačkih neuronskih mreža je uglavnom bio orijentisan na HOMOGENE neuronske mreže, koje imaju uniformnu strukturu sačinjenu od jednostavnih procesirajućih elemenata (neurona) međusobno povezanih u okviru arhitekture PERCEPTRONA (feed-forward nets) ili REKURENTNIH (Hopfield nets) neuronskih mreža [Aleksander 90]. Ove homogene neuronske mreže najčešće koriste generalnu proceduru učenja (LMS, "Delta Rule", ...) za izvršavanje postavljenog zadatka (upravljanje, prepoznavanje oblika, planiranje, dijagnostika, ...).

Za realizaciju neuronskog sistema namenjenog upravljanju AMR, koriste se HETEROGENE neuronske mreže. Ove mreže čine neuronski modeli koji su međusobno povezani bez uniformne arhitekture, tako da se dinamički veoma brzo mogu menjati parametri svakog od njih, jer aktivnost neurona u svakom vremenskom trenutku nije samo u funkcionalnoj zavisnosti od aktivnosti drugih neurona sa kojima je u vezi, već i od sopstvenih vrednosti aktivacije. Analogija ovih neuronskih modela sa morfologijom bioloških neurona je definisana *totalnim determinizmom* [Russell 89]. Neuronski model heterogenih neuronskih mreža, koji se koristi u ovom radu je prikazan na slici 2.



Slika 2. Šema neuronskog modela AMR

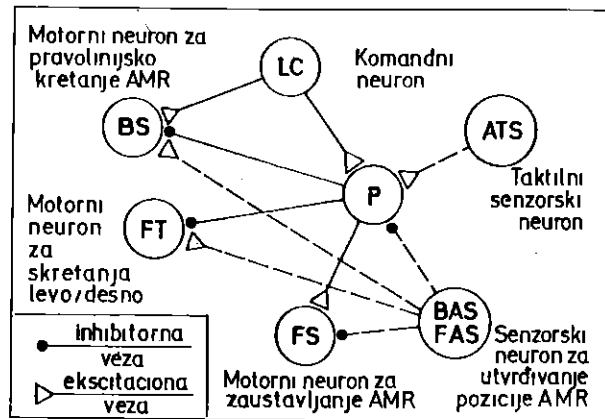
mašinu koja poseduje mogućnost emuliranja sposobnosti bioloških upravljačkih sistema, onda je prethodno potrebno da spoznamo kako je biološki neuronski sistem upravljanja rešen u strukturnom i funkcionalnom smislu. Inteligentno ponašanje mašine alatke ili industrijskog robota, prema rezultatima našeg istraživanja, bazira se na veštačkim neuronskim kontrolerima, koji koriste pored homogenih neuronskih mreža i heterogene neuronske mreže.

Stanje neuronskog modela se može predstaviti sledećom diferencijalnom jednačinom:

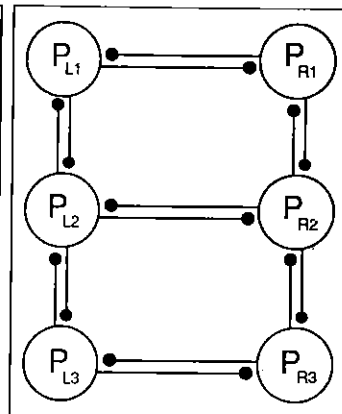
$$C_i \cdot \frac{dV_i}{dt} = -\frac{V_i}{R_i} + \sum W_{ij} \cdot f_j(V_j) + INT_i + EXT_i$$

gde su: V_i , R_i , i C_i napon, membranski otpor i membranska kapacitivnost i -tog neurona; w_{ij} je jačina veze od j -tog do i -tog neurona; $f_j(V_j)$ je funkcija aktivacije; EXT_i je spoljašnja struja koja se dovodi na i -ti neuron i INT_i je sopstvena struja i -tog neurona, koja je uslovljena funkcionalnom zavisnošću vreme - napon.

Na ovako uspostavljenoj osnovi heterogenih neuronskih mreža razvijen je neuronski lokomocioni kontroler koji upravlja kretanjem svake od šest nogu AMR [Miljković & Kokotović 95]. Inteligentno ponašanje pri kretanju AMR je uslovljeno robusnošću i funkcionalnošću neuronskog lokomocionog kontrolera. Analiziranjem heterogenih neuronskih mreža može se zaključiti da su koncipirane od različitih elemenata sa jedinstvenim sopstvenim osobinama i da imaju potpuno neuniformnu strukturu. One su u stanju da reaguju na različite poremećaje, što je od izuzetnog značaja za uspešan rad AMR. Praktično se promenom parametara unutar neuronskog modela rešava svako novo stanje lokomocionog kontrolera (slika 3).



Slika 3. Neuronski lokomocioni kontroler



Slika 4. Inhibitorne veze između "pacemaker" neurona nogu AMR

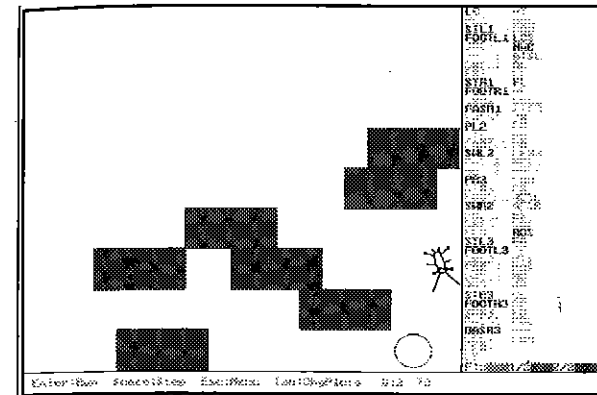
U okviru strukture heterogene neuronske mreže lokomocionog kontrolera uočavaju se dve klase veza između neurona: (1) od komandnog neurona (LC) do "pacemaker" neurona (P) i (2) između "pacemaker"-a svake od nogu AMR. Veze između "pacemaker"-a su inhibitorne (slika 4), kako bi se obezbedila decentralizovana koordinacija kretanja AMR. Ovako koncipiran neuronski lokomocioni kontroler je u stanju da svojom robusnošću (redundantan je i ima distribuiranu strukturu razmene informacija sensor-motor) obezbedi autonomnost AMR pri rešavanju kompleksnog zadatka ISTRAŽIVANJA OKOLINE i ZAOBILAŽENJA PREPREKA, o kome će biti reči u završnom poglavlju ovog rada.

4. STRATEGIJSKI NIVO UPRAVLJANJA

Genetski algoritmi (GA), kao stohastički optimizacioni algoritam opšte namene, uspešno su korišćeni u rešavanju različitih problema raspodele poslova, mašinskog učenja i prepoznavanja oblika [Goldberg 89]. GA koriste proces sličan biološkoj evoluciji za unapređenje inicijalnog skupa mogućih rešenja, kroz iterativni proces. GA se, u domenu upravljanja, obično vezuju za *off-line* aktivnosti. U kontekstu pomenute hijerarhijske strukture inteligentnog upravljanja autonomnim sistemima, predlaže se korišćenje GA na višim nivoima upravljanja (strategijski - planiranje zadatka). Pojednostavljeno gledano, ideja je analogna funkcionisanju sistema upravljanja procesima sa jednostavnijim ponašanjima, koji koriste transformaciju parametara regulatora na bazi *gain-scheduling*-a. Primena GA u upravljanju autonomnim tehnološkim sistemima, za prevashodni cilj ima uprošćavanje veštačkih neuronskih modela, odgovornih za pojedina ponašanja, tj. redukciju kompleksnosti neurokontrolera do nivoa, koji garantuje njihovu sposobnost procesiranja informacija u realnom vremenu. U smislu pomenute analogije, ovde ulogu *scheduling* - varijabli ima funkcija prilagodivosti (u odnosu na postavljene zadatke), dok su različiti parametri kontrolera predstavljeni meta-ponašanjima kojima se iniciraju neuronske mreže, različitih struktura (obučene ili neobučene), a koje su odgovorne za ta ponašanja. Klasične *scheduling* tabele ovde su zamenjene genetskim algoritmima, odnosno operatorima (reprodukcije, ukrštanja i mutacije).

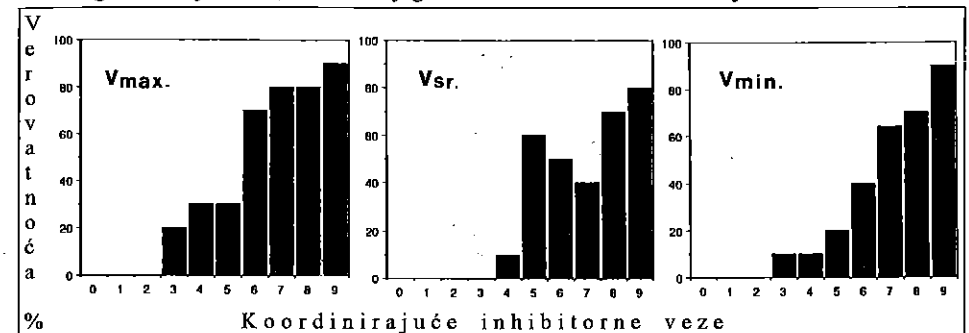
5. SIMULACIJA I REZULTATI

Korišćenjem opisane upravljačke šeme neuronskog lokomocionog kontrolera, kretanje AMR pri istraživanju nepoznatog okruženja uz zaobilazanje prepreka je analizirano kroz kompjutersku simulaciju (slika 5).

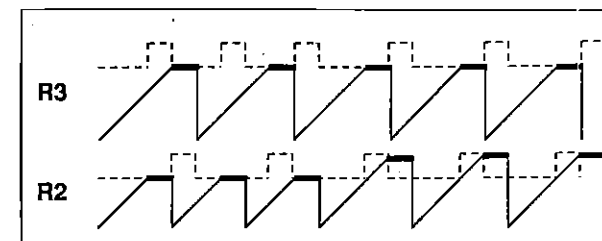


Slika 5. Istraživanje nepoznatog okruženja AMR

Koordinacija rada nogu AMR je ostvarena inhibitornim vezama između "pacemaker" neurona. Analizom je utvrđeno da je od ukupno četrnaest inhibitornih veza (slika 4), verovatnoća pojave nestabilnosti pri kretanju AMR prisutna kada se "prati" od 0 do 9 koordinirajućih inhibitornih veza. Ista analiza je pokazala da je verovatnoća nestabilnog kretanja AMR različita pri različitim brzinama (slika 6), tako da je za 25 pokušaja pri najvećoj brzini verovatnoća 80%, za srednje brzine 40%, a male 64% (pri eliminisanju 7 inhibitornih veza "pacemaker" neurona nogu AMR-a). Kod heterogenih neuronskih mreža eliminacija pojedinih veza između neurona očigledno daje različite efekte, što znači da je mreža izrazito sposobna da se adaptira novonastalim situacijama. Jednostavno rečeno, kretanje i upravljanje AMR bi bilo ostvarivo i kada bi "amputirali" jednu ili dve noge, jer ostale neuronske veze bi funkcionisale i u tim uslovima. To potvrđuje osnovnu tezu ovog rada, a to je sposobnost samoorganizovanja AMR, odnosno njegova AUTONOMNOST u radu je ostvarena.



Slika 6. Verovatnoća nestabilnog kretanja AMR pri eliminisanju inhibitornih veza

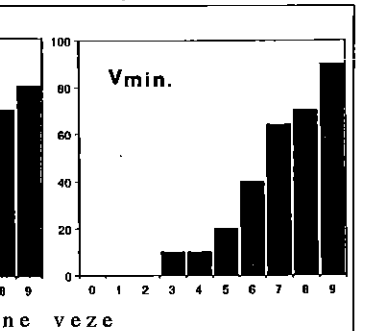


Slika 7. META-TALASI "pacemaker"-a R2 i R3

Dakle, period adaptacije AMR kroz senzorsko-motorne aktivnosti je prihvatljiv, a njegov oporavak usled dinamičkih promena je potpun i stabilan. U toku kretanja AMR uočava se zakonitost, koja se može predstaviti META-TALASIMA, što je prikazano na slici 7. Na

Koordinacija rada nogu AMR je ostvarena inhibitornim vezama između "pacemaker" neurona. Analizom je utvrđeno da je od ukupno četrnaest inhibitornih veza (slika 4), verovatnoća pojave nestabilnosti pri kretanju AMR prisutna kada se "prati" od 0 do 9 koordinirajućih inhibitornih veza. Ista analiza je pokazala da je verovatnoća nestabilnog kretanja AMR različita pri različitim brzinama (slika 6), tako da je za 25 pokušaja pri najvećoj brzini verovatnoća 80%, za srednje brzine 40%, a male 64% (pri eliminisanju 7 inhibitornih veza "pacemaker" neurona nogu AMR-a). Kod heterogenih neuronskih mreža eliminacija pojedinih veza između neurona očigledno daje različite efekte, što znači da je mreža izrazito sposobna da se adaptira novonastalim situacijama. Jednostavno rečeno, kretanje i upravljanje AMR bi bilo ostvarivo i kada bi "amputirali" jednu ili dve noge, jer ostale neuronske veze bi funkcionisale i u tim uslovima. To potvrđuje osnovnu tezu ovog rada, a to je sposobnost samoorganizovanja AMR, odnosno njegova AUTONOMNOST u radu je ostvarena.

Koordinacija rada nogu AMR je ostvarena inhibitornim vezama između "pacemaker" neurona. Analizom je utvrđeno da je od ukupno četrnaest inhibitornih veza (slika 4), verovatnoća pojave nestabilnosti pri kretanju AMR prisutna kada se "prati" od 0 do 9 koordinirajućih inhibitornih veza. Ista analiza je pokazala da je verovatnoća nestabilnog kretanja AMR različita pri različitim brzinama (slika 6), tako da je za 25 pokušaja pri najvećoj brzini verovatnoća 80%, za srednje brzine 40%, a male 64% (pri eliminisanju 7 inhibitornih veza "pacemaker" neurona nogu AMR-a). Kod heterogenih neuronskih mreža eliminacija pojedinih veza između neurona očigledno daje različite efekte, što znači da je mreža izrazito sposobna da se adaptira novonastalim situacijama. Jednostavno rečeno, kretanje i upravljanje AMR bi bilo ostvarivo i kada bi "amputirali" jednu ili dve noge, jer ostale neuronske veze bi funkcionisale i u tim uslovima. To potvrđuje osnovnu tezu ovog rada, a to je sposobnost samoorganizovanja AMR, odnosno njegova AUTONOMNOST u radu je ostvarena.



Slika 6. Verovatnoća nestabilnog kretanja AMR pri eliminisanju inhibitornih veza

Kroz simulaciju je utvrđena i logika kretanja AMR pri istraživanju okoline, praćenju ivica radnog prostora i pronalazjenju ciljne lokacije. U toku simulacionog perioda od 200s, AMR je 4 puta pronašao cilj i napustio ga traživši ga ponove iz novog pravca.

primeru inhibitornih veza "pacemaker"-a R3 i R2 (desne zadnje i srednje noge AMR) uočava se oscilatorni karakter. Sporije osciluje R3, ali zahvaljujući dvostrukoj inhibitornoj vezi između njih, posle nekoliko faza R2 počinje da usporava svoje amplitude, što rezultira usaglašenijim kretanjem AMR. Naime, heterogene neuronske mreže su očigledno u stanju da ostvare robusnost neuronskog lokomocionog kontrolera, a samim tim i inteligentno ponašanje AMR, koje danas zovemo AUTONOMNOST u radu.

6. ZAKLJUČAK

Razvoj koncepata upravljanja autonomnim tehnološkim sistemima predstavlja veliki izazov, a ovaj rad je pokušaj da se nađu neki od odgovora na brojna pitanja. Predloženi opšti pristup, razrađen u delu koji se odnosi na primenu heterogenih veštačkih neuronskih mreža daje ohrabrujuće rezultate, što je u ovom radu prikazano na primeru upravljanja AMR.

LITERATURA

- [Aleksander 90] Aleksander, I., Morton, H., *An Introduction to Neural Computing*, Chapman & Hall, 1990.
- [Beer 91] Beer, R.D., Chiel, H.J., Sterling, L.S., "An Artificial Insect", *American Scientist*, Vol. 79, pp. 444-452, 1991.
- [Brooks 86] Brooks, R.A., "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA.2, No. 1, pp.14-23, 1986.
- [Digney&Gupta 93] Digney, B.L., Gupta, M.M., "A Distributed Adaptive Control System for a Quadruped Mobile Robot", *IEEE Conference on Neural Networks*, pp. 144-149, 1993.
- [Goldberg 89] Goldberg, D.E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
- [Gupta&Rao 93] Gupta, M.M., Rao, D.H., "Neuro-Control Systems: A Tutorial", *Neuro Control Systems-Theory and Practice(Proceedings)*, pp. 1-43, 1993.
- [Langton 89] Langton, C.G. (ed.), *Artificial Life*, Addison-Wesley Publishing Co., 1989.
- [Miljković&Kokotović 95] Miljković, Z., Kokotović, B., "Intelligent Control of Autonomous Mobile Robot Using Neural Networks", *Proc. Int. Conf. AMSE-SYS'95*, Vol. 1, pp. 197-206, Brno, 1995.
- [Moriwaki 94] Moriwaki, T., "Intelligent Machine Tool: Perspective and Themes for Future Development", *Manuf. Sc. & Eng'g.*, PED-Vol. 68-2, pp. 841-849, ASME, 1994.
- [Pfeiffer 95] Pfeiffer, F., "Control of Six-Legged Walking Machine", *Proc. of 3rd European Control Conference*, Vol. 3, pp. 2720-2724, Roma, 1995.
- [Russell 89] Russell, S.J., *The Use of Knowledge in Analogy and Induction*, Morgan Kaufmann Publishers Inc, San Mateo, CA, 1989.

Z. Miljkovic, B. Kokotovic

INTELLIGENT CONTROL OF AUTONOMOUS MANUFACTURING SYSTEMS

The development trend of autonomous manufacturing systems sets the problem of its control. As a multidisciplinary field of research, treating life as a quality of matter organizing, used to achieve dynamic behaviour similar to one that living systems are expressing, Artificial Life (AL) appears as an adequate paradigm of autonomous manufacturing systems. This paper presents the concept of control such systems by using the synthetical approach, aiming to connect two basic approaches in generating compound behaviours (top-down and bottom-up). The problem of autonomous mobile robot (AMR) control is analysed in details, where compound behaviours in interaction with dynamically changeable environment are justifiable explain by one form of AL. The suggested control concept takes into consideration multilevel control structure, as mapping from the state space of sensors into space of actuator initialization, in the context of set task and environment. The suggested model for creation of this mapping at strategic level is inspired by genetic algorithms while its operation at execution level enables neural locomotion controller based on specific neural model. The paper includes also the verification of the set up concept through the computer simulation of the AMR operation.

KEY WORDS: *Autonomous Systems, Control Systems, Mobile Robot, Artificial Life, Genetic Algorithms, Neural Locomotion Controller, Computer Simulation.*



M. Pilipović, A. Stojadinović*

PRISTUP U PROJEKTOVANJU SISTEMA UPRAVLJANJA NA BAZI PROGRAMABILNIH UPRAVLJAČA

Rezime

Polazeći od savremenih koncepta automatizacije u radu se daje jedan pristup projektovanju i realizaciji upravljačkih sistema baziranih na primeni programabilnih upravljača uz podršku standarda IEC 1131. Posebna pažnja se usmerava na izradu adekvatne dokumentacije projektnog rešenja u cilju povećanja efikasnosti i sniženja troškova testiranja, kao i dijagnostike u slučaju otkaza u eksploataciji sistema. Dati su primeri primene predstavljenog koncepta na izvedenim rešenjima za potrebe industrije.

1. UVOD

Pred savremenu proizvodnju, izloženu intezivnim pritiscima globalne konkurencije na svetskom tržištu, postavlja se stalni zahtev za: automatizacijom proizvodnje na savremenim osnovama, proizvodnji uz pomoć računara - CAM i integraciji na bazi računara - CIM. Ovo podrazumeva primenu programabilne proizvodne opreme i savremenih sistema upravljanja kao što su: industrijski računari, CNC upravljačke jedinice, upravljački sistemi robota i između ostalog i programabilnih logičkih upravljača.

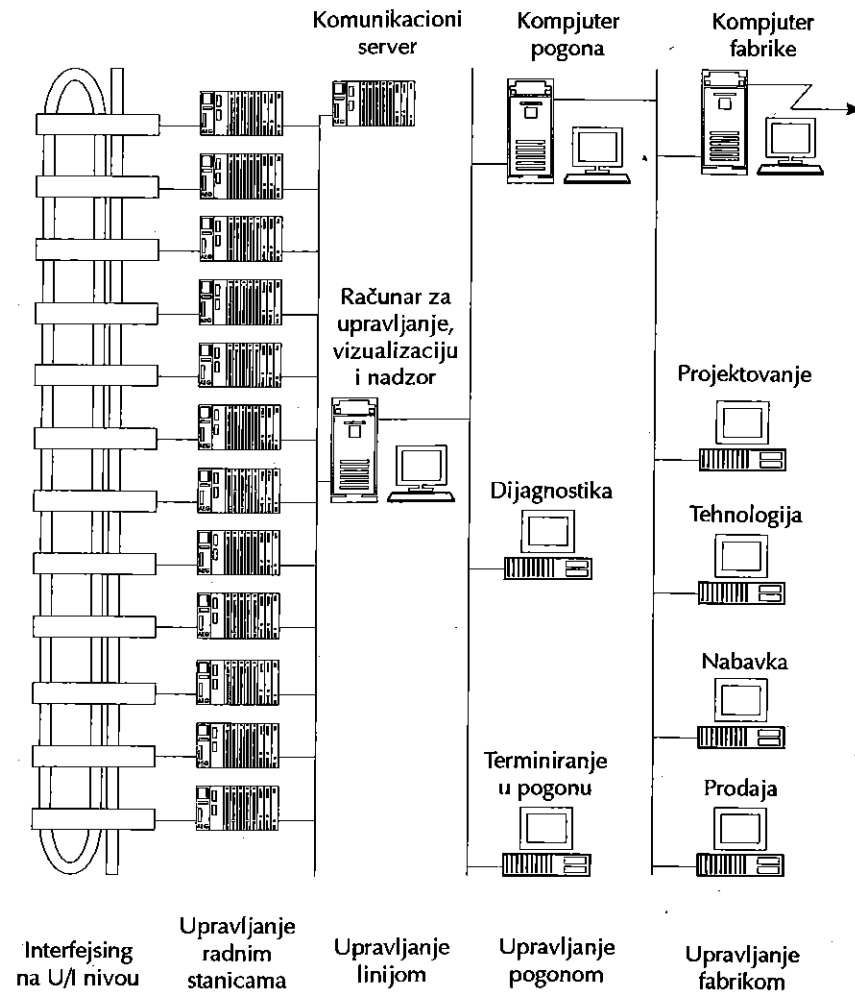
Programabilni logički upravljači - PLU (Programmable Logic Controllers - PLC), razvijeni i uvedeni krajem 1960-tih godina kao zamena za ožičene prekidačko-relejne mreže, danas imaju široku primenu od upravljanja prostim procesima i pojedinačnim mašinama do upravljanja vrlo kompleksnim sistemima u svim oblastima proizvodnje - od procesne do diskretne odnosno komadne. Spektar industrija koje primenjuju programabilne logičke upravljače je vrlo širok a posebno su značajne mašine alatke i automobilska industrija (40 % instalacija 1991[1]), sa velikim rastom primene u energetici, industriji hrane itd. Nagli porast primene omogućen je brzim razvojem ove relativno mlade upravljačke tehnologije i transformacijom: arhitekture, hardware i software platforme, povećanjem kapaciteta, proširenjem funkcionalnih mogućnosti upravljanja i visokim komunikacionim mogućnostima. Sa ovakvom širinom primene PLU-i su jedan od ključnih elementa u izgradnji blokova industrijske automatizacije i kompjuterski integrisanih tehnoloških sistema. Prerastanje PLU-a u složene sofisticirane sisteme upravljanja koji mogu da integrišu sve upravljačke funkcije, zahteva od korisnika i odgovarajući metodološki pristup u projektovanju kako sistema upravljanja na bazi PLU-a, tako i samog tehnološkog procesa odnosno opreme kojom se upravlja. Odgovarajući naponi sistematizacije svih aspekata primene programabilnih

* Prof. dr Miroslav Pilipović, Aleksandar V. Stojadinović, dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, 27 Marta 80, 11000 Beograd

upravljača čine se na međunarodnom planu kroz razvoj međunarodnih standarda grupe IEC 1131 - Programabilni upravljači, koji daju odgovarajuće preporuke kako proizvođačima tako i korisnicima u projektovanju i uvođenju PLU-a. Ovaj rad daje pristup u primeni standarda IEC 1131 u projektovanju sistema upravljanja na bazi primene PLU-a.

2. KONCEPT SISTEMA UPRAVLJANJA NA BAZI PROGRAMABILNIH UPRAVLJAČA

Moguće strategije projektnog rešenja sistema upravljanja na bazi PLU-a zavise od zadatka i identifikovanih informacionih tokova i u primeni su: nezavisni sistem upravljanja, centralizovani sistem upravljanja i distribuirani sistem upravljanja. Nezavisni sistemi se primenjuju kod upravljanja prostim procesima i pojedinačnim mašinama. Za složene sisteme, globalna strategija integracije upravljanja poslovnim i proizvodnim sistemom sa upravljanjem pogonom-procesom daje prednost distribuiranoj strukturi svih sistema



Slika 1. Struktura sistema upravljanja linije za automatsku montažu filtera

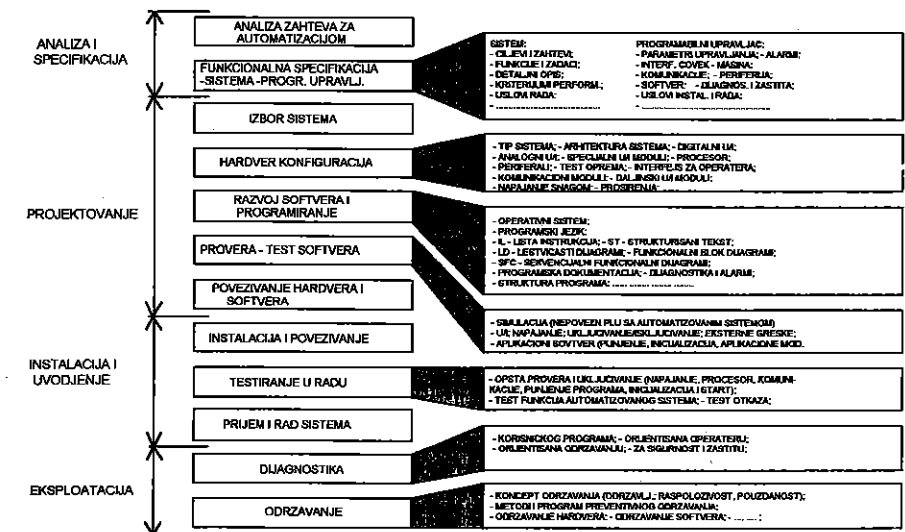
upravljanja u koju su uključeni računari, drugi specijalizovani upravljački sistemi i programabilni upravljači. Razvoj mini i mikro programabilnih upravljača visokih komunikacionih mogućnosti obezbeđuje selekciju odgovarajućeg PLU-a po veličini i performansama za svaki zadatak u konceptu distribuiranog upravljanja.

Primer projektnog rešenja distribuiranog sistema upravljanja primenom PLU-a dat je na slici 1. za liniju za automatsku montažu filtera [2], [7]. Koncept distribuiranog upravljanja podrazumeva hijerarhijsku višenivosku strukturu gde se na najnižem nivou primenom PLU-a ostvaruju zadaci upravljanja procesom u realnom vremenu (upravljanje montažnim stanicama za dati primer), dok se računari na višim nivoima koncentrišu na zadatke integracije i sinhronizacije celokupnog upravljanja, praćenje i nadgledanja rada, planiranje i upravljanje proizvodnjom, inženjerske aktivnosti i upravljanje ukupnim poslovno - proizvodnim sistemom.

3. PROJEKTOVANJE I UVODNENJE AUTOMATIZOVANIH SISTEMA NA BAZI PROGRAMABILNIH UPRAVLJAČA

Brz razvoj programabilnih upravljača doveo je do nedostatka sistematizovanog pristupa u njihovom projektovanju i uvođenju kao i do odsustva međunarodno prihvaćenih standarda. Prvi pokušaji u pravcu standardizacije datiraju od početka 1980-tih godina, da bi u prvoj polovini 1990-tih počelo usvajanje standarda IEC 1131 [3]. Standard IEC 1131 sastoji se iz sledećih celina:

- Deo 1: Opšte informacije, IS - međunarodni standard, 1992;
- Deo 2: Zahtevi opreme i testiranja, IS - međunarodni standard, 1992;
- Deo 3: Programski jezici, DIS - predlog standarda, 1992;
- Deo 4: Korisnički vodič, CD - standard u pripremi, 1994;
- Deo 5: Specifikacija servisa poruka, CD - standard u pripremi, 1994.



Slika 2. Ciklus projektovanja, uvođenja i eksploatacije upravljanja na bazi PLU-a. Navedeni standard pomaže korisnicima u selekciji i primeni programabilnih upravljača a proizvođačima u definisanju mehaničkih, električnih, softverskih i drugih karakteristika, testiranju i utičaće na opšte poboljšanje kvaliteta primene programabilnih

upravljača. Koristeći kao osnovu IEC 1131-4 [5] i domaća iskustva [2], [6], [7], ciklus projektovanja, uvođenja i eksploatacije automatizovanih sistema na bazi programabilnih upravljača može se prikazati kao na slici 2. Na njoj se mogu jasno uočiti sledeće faze: faza analize i specifikacije, faza projektovanja, faza instalacije i uvođenja i faza eksploatacije.

Analiza i specifikacija sistema upravljanja. Funkcionalna analiza sistema za automatizaciju je osnova za funkcionalnu specifikaciju sistema upravljanja. Najčešće korišćene metode specifikacije su: opisne-tekstualne, dijagrami tokova, logički blok dijagrami, karte funkcija i događaja, fazni modeli [8], itd. Specifikacija treba da sadrži: ciljeve i zahteve za upravljanjem, funkcije i zadatke, kriterijume zahtevanih performansi, uslove rada i detaljan opis sistema. Detaljan opis sistema sadrži informacije o opremi, procesu, hardveru, softveru, upravljanju i nadzoru sa nizom specifičnih inženjerskih podataka (vremenska ograničenja, lista ulazno/izlazni veličina, vrste senzora i karakteristike signala, vrste aktuatora i karakteristike izlaznih signala, lokalni i udaljeni nadzor, operatorski interfejs, komunikacije i povezivanje sa drugim sistemima upravljanja itd.). Primer dela liste digitalnih ulazno/izlaznih informacija za liniju za montažu filtra dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled digitalnih ulaznih i izlaznih veličina na RS 12

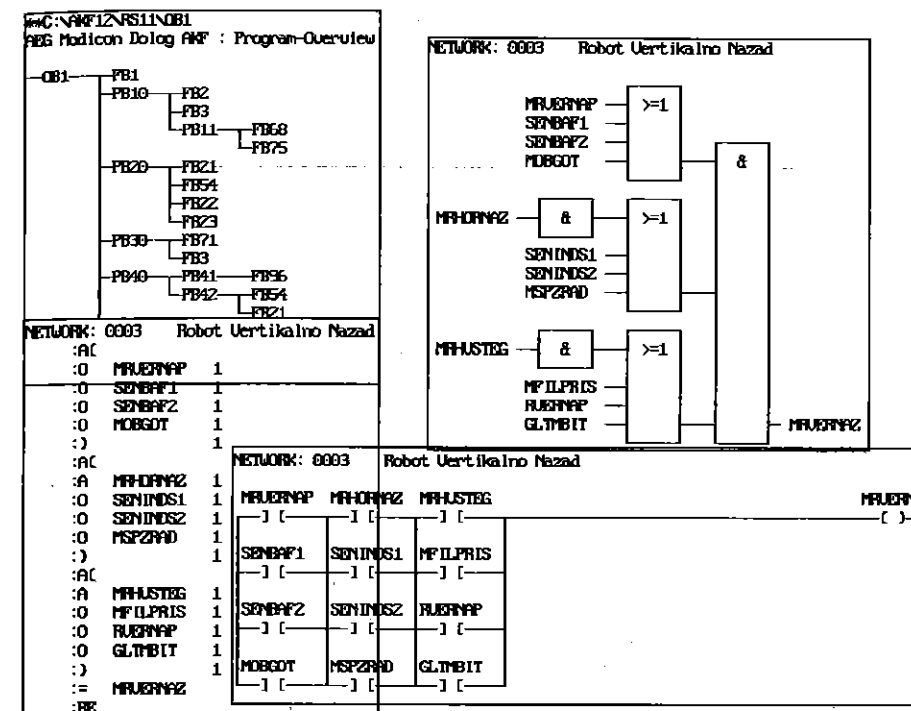
R. br.	DIGITALNI ULAZ	R. br.	DIGITALNI IZLAZ
1.	Robot vertikalno gore	1.	Robot gore
2.	Robot verikalno dole	2.	Robot dole
3.	Robot horizontalno napred	3.	Robot napred
4.	Robot horizontalno nazad	4.	Robot nazad
5.	Robot hvataljka stegnuta	5.	Stegni hvataljku
...

Na bazi specifikacije sistema upravljanja daje se specifikacija funkcionalnih karakteristika programabilnog upravljača (parametri upravljanja, periferija, komunikacije, dijagnostika i zaštita, alarmi, karakteristike softvera, interfejs čovek-mašina, uslovi instalisanja i rada). U ovoj fazi se projektuje završno testiranje sistema kao i dijagnostika sistema u eksploataciji.

Projektovanje sistema upravljanja na bazi programabilnog upravljača. Na bazi specifikacije iz prethodne faze vrši se izbor programabilnog upravljača i detaljno definišu hardverske i sitemske softverske karakteristike, kao i karakteristike ostale potrebnu opremu u pogonu, a pre svega senzora i aktuatora. U pomenutom primeru, za izabrani koncept distribuiranog sistema upravljanja, za upravljače radnih stanica izabrani su programabilni upravljači AEG model A120, dok je za komunikacionog servera izabran programabilni upravljač AEG model A250. Tipična konfiguracija upravljača pojedinih radnih stanica obuhvata procesorsku jedinicu sa posebnim komunikacionim procesorom, jedinicu za napajanje, četiri šesnestokanalne digitalne ulazne jedinice, tri šesnestokanalne digitalne izlazne jedinice, četvorokanalnu analognu ulaznu jedinicu i dvokanalnu analognu izlaznu jedinicu.

Razvoj aplikacionog softvera i programiranje je ključna faza za konačne performanse realizacije sistema upravljanja. Medjunarodni standard IEC 1131-3 [4] identifikuje tekstualne jezike (IL - lista instrukcija i ST - strukturisani tekst) i grafičke jezike (LD - lestvičasti dijagrami i FBD - funkcionalni blok dijagrami). Posebno se definiše grafički jezik na bazi sekvencijalnih funkcionalnih dijagrama - SFC za strukturisanje interne organizacije programa. Distribuirani koncept upravljanja zahteva visoko strukturiran softver i modularan pristup na bazi prethodne funkcionalne analize sa izborom optimalnog jezika za pojedine module (na primer logičko upravljanje u LD jeziku, analogno upravljanje u FBD jeziku, obrada informacija i komunikacije u ST jeziku i sl.). U detaljima programskog rešenja mora se voditi računa o principima funkcionisanja programabilnog upravljača i izboru optimalne

strukture programa s obzirom na vreme obrade vezano za ciklus pretraživanja procesora. Primer modularne strukture programa u različitim jezicima dat je na slici 3.



Slika 3. Modularna struktura programa i različiti jezici programiranja

Pre povezivanja razvijenog softvera sa opremom u pogonu potrebno je izvršiti njegovo testiranje, najčešće simulacijom uz odgovarajući hardver i softver.

Instalacija i uvođenje U ovoj fazi obavlja se instalacija opreme, testiranje i puštanje sistema. Ističe se značaj pozitivnog i negativnog testiranja (pozitivno testiranje proverava rad pod normalnim uslovima, negativno testiranje proverava rad pod neželjenim okolnostima - otkaz komponenti).

Eksploatacija Uspešna eksploatacija zahteva dijagnostiku i održavanje sistema. Dijagnostika obuhvata korisnički program, operatera, sigurnost i zaštitu i potrebe održavanja. Održavanje obuhvata hardver o softver i za uspešnu realizaciju bitna je ažurna dokumentacija sistema.

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana jedna metodologija u projektovanju i uvođenju sistema automatizacije na bazi programabilnih upravljača koja sledi odgovarajuće medjunarodne standarde. Metodologija je verifikovana na primeru linije za automatsku montažu filtera i drugim projektima realizovanim na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Ističe se značaj testiranja, dijagnostike, održavanja i ažurne dokumentacije za uspešnu realizaciju projekta. Stepenn složenosti distribuiranih sistema upravljanja i sofisticiranost programabilnih upravljača nameće potrebu daljeg razvoja metodologije projektovanje čiju je početnu sistematizaciju dao standard IEC 1131.

5. LITERATURA

- [1] Reeve, A., Integrating PLCs with Networks, Control & Instrumentation, Vol. 23, No. 1, January 1991.
- [2] Spasić, Ž., Petrović, P., Pešić, V., Flexible automatic system for Air Filter Assembly, Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Production Engineering, Palermo 1994, pp. 391 - 398.
- [3] Hunter, M., International Programmable Controller Standard Overview, Proceedings of the ESD International Programmable Controllers Conference & Exposition, Detroit 1993.
- [4] IEC, IEC 1131-3, Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages - DIS, International Electrotechnical Commission, 1992.
- [5] IEC, IEC 1131-4, Programmable Controllers - Part 4: User Guidelines - DC, International Electrotechnical Commission, 1994.
- [6] Pilipović, M., Nakić, M., Kovačević, Z., Sistemi programiranja programabilnih upravljača i međunarodni standardi, Zbornik radova "Standardizacija i kvalitet u informacionim tehnologijama, Beograd, 1995.
- [7] Petrović, P., Pilipović, M., Stojadinović, A., Primena programabilnih upravljača u upravljanju linijama za automatsku montažu, Zbornik radova SAUM, Novi Sad, 1995.
- [8] Polke, M., Leitung verfahrenstechnischer Produktionsprozesse vor dem Hintergrund Produktqualität, Prozesssicherheit und Wirtschaftlichkeit, Automatisierungs-technik, VDI Berichte 1067, Dresden 1993.

M. Pilipović, A. Stojadinović

PROGRAMMABLE CONTROLLERS BASED CONTROL SYSTEMS DESIGN

Summary

Started from the advance automation systems development, paper gives concept applied in programmable controller based control system design using IEC 1131 standard. Attention is pointed at the documentations, testing and diagnostic. Presented concept is verified on the examples of domestic industry.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

S. Radojević¹, V. Spasojević²

GENERATIVNI OBJEKAT ZA OTVARANJE NEOPHODNIH DATOTEKA U PROIZVODNIM INFORMACIONIM SISTEMIMA

Rezime

Kontrolno upravljačko jezgro baze podataka u proizvodnim informacionim sistemima (ubuduće PIS), sastoji se od više generativnih objekata. Svaki od generativnih objekata obavlja određene projektovane zadatke u PIS-u. Generativni objekat za otvaranje neophodnih datoteka mora obezbediti pristup potrebnim datotekama izabranom aplikativnom objektu. U ovom radu se prikazuje jedan pristup projektovanju ovog generativnog objekta.

1. UVOD

Posmatranjem promena stanja baze podataka funkcioniranih proizvodnih informacionih sistema (ubuduće koristimo skraćenicu PIS), došlo se do zaključka da mora postojati njen kontrolno upravljački deo [1][2]. Njime se moraju kontrolisati korisnici PIS-a, i istovremeno im omogućiti brz i efikasan rad. Deo baze podataka PIS-a, kojim se ovo ostvaruje nazivamo jezgrom baze podataka. Jezgro baze podataka u PIS-u ima sledeće zadatke:

- 1.) logička kontrola pristupa različitim grupa korisnika funkcijama PIS-a,
- 2.) logička kontrola pristupa svakog korisnika jedne grupe funkcijama PIS-a,
- 3.) jednostavno grupisanje funkcija PIS-a u skladu sa pravima pristupa,
- 4.) jednostavna dodela ili ukidanje prava pristupa funkcijama ili grupi funkcija PIS-a,
- 5.) statističko adaptivni sistem otvaranja datoteka vezanih za pojedine funkcije PIS-a,
- 6.) kontrola deljivosti datoteka prema funkcijama PIS-a, uz minimalno opterećenje računarskog sistema,
- 7.) kontrola datoteka prema unutrašnjoj PIS podeli i definisanje prava pristupa korisnika slogu i delovima sloga datoteke uz minimalno korišćenje računarskih kapaciteta,
- 8.) obezbeđivanje i postojanje podataka o nastanku svake informacije u PIS-u, bez obzira na nivo značajnosti informacija,
- 9.) jednostavno održavanje integriteta baze podataka i mogućnost oporavka podataka nezavisno od trenutka narušavanja integriteta baze podataka,
- 10.) sintaksno-semantički osetljive sisteme pomoći u skladu sa pravima pristupa korisnika.

¹ mr Slobodan Radojević, asistent, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Katedra za Matematiku, 27. marta 80., (441), 11000 Beograd, Jugoslavija

² Vesna Spasojević, asistent pripravnik, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Katedra za Industrijsko inženjerstvo, 27. marta 80., (417), 11000 Beograd, Jugoslavija

Svaki od zadataka u *PIS*-u rešen je određenim skupom generativnih objekata. Zadaci 5. i 6. su rešeni uvođenjem generativnog objekta za otvaranje neophodnih datoteka.

Objasnjimo detaljnije razloge za projektovanje i uvođenje u rad ovog generativnog objekta. *CORBA* (*Common Object Request Broker Architecture*) standard za projektovanje složenih programskih sistema, zahteva podelu sistema na niz različitih objekata [3]. Preporučuje se podela na aplikativne i sistemске objekte [4]. Aplikativnim objektima korisnici *PIS*-a menjaju stanje baze podataka, dok sistemski objekti upravljaju i pomažu rad aplikativnih objekata. Generativni objekti, kojima je realizovano jezgro baze podataka, su deo sistemskih objekata sa precizno određenim zadacima u sistemu kontrole i sistemu upravljanja bazom podataka *PIS*-a.

Aplikativni objekat u *PIS*-u najčešće zahteva otvorene i pripremljene datoteke za rad. To znači da se datoteke moraju na odgovarajući način otvoriti zajedno sa svojim indeksnim datotekama. Otvaranje datoteka u deljivom ili pojedinačnom režimu pristupa, zajedno sa minimalnim brojem indeksnih datoteka je osnovni zadatak generativnog objekta za otvaranje neophodnih datoteka.

2. GENERATIVNI OBJEKAT SPISKA DATOTEKA

Definišimo klasu *datoteke_PIS_a* ovog generativnog objekta:

```
putanja_i_ime = <CHAR,50>
vrsta = <CHAR,2>
dvocifren_broj = <BYTE,2>
status = <CHAR,2>
datoteka_PIS_a = <ime : putanja_i_ime,
                 ogledalo : putanja_i_ime,
                 broj_indeksnih : dvocifren_broj,
                 vrsta : vrsta,
                 opis : opis,
                 status : status,
                 objekata : LONGINT>
```

```
datoteke_PIS_a = { datoteka_PIS_a }
```

Ovako definisan spisak datoteka *PIS*-a, podseća na rečnik baza podataka. Da bi se na osnovu ove klase stvorio generativni objekat koji može upravljati datotekama, potrebno je izmeniti definiciji klase *datoteke_PIS_a*. Pre izmene klase razmotrimo neke atribute koji su od posebne važnosti za funkcionisanje *SPPS*-a.

Broj indeksnih datoteka koje su vezane za navedenu datoteku opisan je atributom *broj_indeksnih*. Ovaj podatak zajedno sa podatkom *objekata* i određenim generativnim objektom omogućava jednostavno fizičko obnavljanje baze podataka. Atribut *vrsta* je nastao praćenjem aktivnosti korisnika i uočavanjem da je potrebno datoteke sa podacima podeliti na određeni način.

Određene izmene definicije klase *datoteke_PIS_a*, u skladu sa dosada uvedenom notacijom omogućavaju stvaranje sopstvenog objekta *DATOTEKE* koji preuzima kontrolu nad svim datotekama baze podataka *PIS*-a. Izmena klase *datoteke_PIS_a* ima sledeći oblik:

```
datoteke_PIS_a = !{ datoteka_PIS_a # uredi_statuse }
```

Metod *uredi_statuse* je funkcionalno vezan za atribute *status* i *vrsta* jedne datoteke. A metod *!* označava stvaranje jedinstvenog objekta *DATOTEKE*.

3. GENERATIVNI OBJEKAT SPISKA INDEKSNIH DATOTEKA

Objekat koji predstavlja listu indeksnih datoteka nije neophodan za uspešno funkcionisanje *PIS*-a. Njegovo postojanje je opravdano samo u slučaju obnavljanja baze podataka ili ako je potrebno obnoviti samo jednu datoteku. Pokazalo se da je taj objekat neophodan administratorima *PIS*-a i projektantima u fazi testiranja i predaje *PIS*-a. Zbog njegove male veličine, a i postizanja celovitosti sistema objekata u jezgru definišimo odgovarajuću klasu *indeksne_PIS_a*.

```
indeksna_SPPS_a = <ime : putanja_i_ime, izraz : opis>
indeksne_SPPS_a = !{ indeksna_SPPS_a }
```

Na osnovu ove definicije stvara se generativni sistemski objekat *INDEX*, koji se vezuje za objekat *DATOTEKE*. Objekat *INDEX* se aktivira samo u slučaju potrebe obnavljanja datoteka baze podataka *SPPS*-a.

4. GENERATIVNI OBJEKAT ZA OTVARANJE NEOPHODNIH DATOTEKA

Treći objekat u ovom odeljku povezuje rad dosad uvedenih objekata. Takođe je odgovoran za stvaranje aplikativnih objekata. Definišimo klasu sistemskog generativnog objekta *METODO*:

```
trocifren_broj = <BYTE,3>
datoteka = <ime : putanja_i_ime,
           aktivna_indeksna : trocifren_broj,
           način_otvaranja : BOOLEAN,
           obaveza_čekanja : BOOLEAN,
           &{ indeksni_izraz : opis }>
lista_datoteka = <objekat : aplikativni_objekat, &{ datoteka }>
lista_za_aplikativni_objekat = !{ lista_datoteka }
```

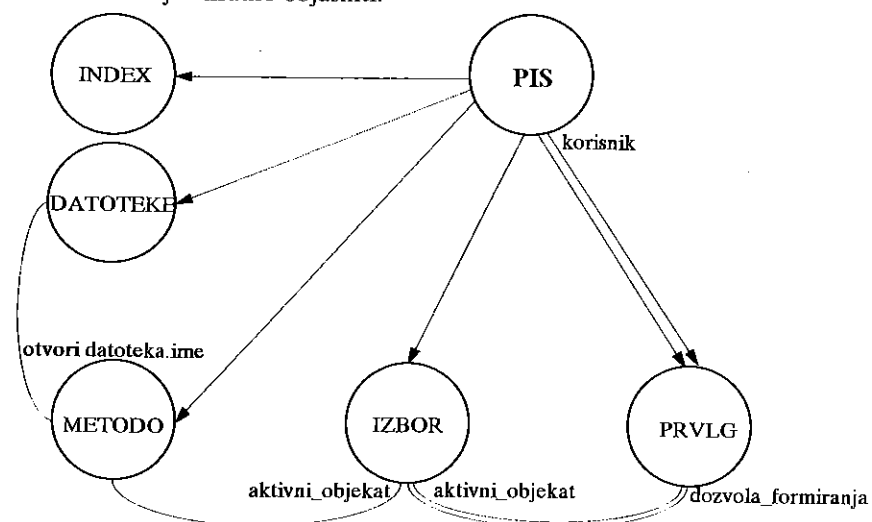
Zadatak objekta *METODO* klase *lista_za_aplikativni_objekat*, sastoji se u pripremi neophodnih datoteka za izabrani aplikativni objekat. U toj pripremi on saraduje sa generativnim sistemskim objektom *DATOTEKE*.

Pre nego što se upustimo u objašnjavanje navedene veze objasnimo neke atribute klase *lista_za_aplikativni_objekat*.

Svaki aplikativni objekat zahteva određene datoteke baze podataka *PIS*-a. To znači da su neophodne datoteke bar na odgovarajući način otvorene sa svojim indeksnim datotekama. Zato se sa atributom *aktivna_indeksna* zadaje koja je indeksna datoteka neophodna. Ako je vrednost atributa pozitivna to znači da se sve indeksne datoteke moraju pokrenuti, inače se pokreće samo jedna indeksna datoteka. Cilj ovoga je podrška automatskom režimu održavanja indeksnih datoteka kod destruktivnih aplikativnih objekata. Otvaranje jedne indeksne datoteke pokazalo je sve prednosti kod nedestruktivnih aplikativnih objekata. Prednost se sastoji u povećanju memorijskih kapaciteta što utiče na brzinu pretraživanja datoteka. Datoteke se mogu otvoriti u deljivom režimu rada ili u pojedinačnom režimu rada. U interaktivnom *PIS*-u najčešće se koristi deljivi režim otvaranja. Vrednost atributa *način_otvaranja* je odgovorna za način otvaranja potrebne datoteke.

Iz definicije klase *lista_za_aplikativni_objekat* može se videti da postoje dve liste pokazivača koji imaju statičke osobine zbog nepromenljivosti listi datoteka i indeksnih datoteka. Zato se objekat *METODO* može smatrati za generativni objekat

sa statičkim osobinama. Negov istaknuti metod je otvori. U zavisnosti od vrednosti atributa *status* i *način_otvaranja*, odgovarajuća datoteka se metodom otvori otvara za korisnika. Istovremeno po otvaranju metod *uredi_statuse* u objektu **DATOTEKE** menja vrednost trenutnih statusa datoteka. Metod *otvori* može biti realizovan na više načina, ali uz važno ograničenje: metod mora biti vrlo brz, sa što je moguće manje statusa koje mora proveravati. Jer se pokazalo da svako smanjenje brzine otvaranja datoteka kod *PIS*-a dovodi do velikog pada performansi sistema. Slika 4.1. prikazuje međusobnu zavisnost svih dosada uvedenih generativnih objekata, i nekih objekata čije ćemo uvođenje ukratko objasniti.



Slika 4.1.

Objekat **PIS** je generalni sistemski objekat za upravljanje memorijskim resursima, i formira ga operativni sistem. Generativni objekat **IZBOR** omogućava korisniku kretanje kroz drvo izbora aplikacija koje može izabrati, a objekat **PRVLG** sadrži dozvole i zabrane za formiranje određenih aplikativnih objekata.

Posle izbora određenog aplikativnog objekta generativni objekat **IZBOR** šalje poruku *aktivni_objekat* objektu **PRVLG** koji vraća poruku *dozvola_formiranja*. U njoj je sadržano da li korisnik može ili ne može stvoriti izabrani aplikativni objekat. Ako može objekat **IZBOR** šalje poruku objektu **METODO** da otvori neophodne datoteke za rad. Posle provere i otvaranja potrebnih datoteka objekat **METODO** može dozvoliti stvaranje izabranog aplikativnog objekta.

5. ZAKLJUČAK

Jezgro baze podataka pojedninja i pojednostavljuje projektovanje i uvođenje *PIS*-a u funkcionalnu upotrebu. Realizovano je sa više generativnih objekata koji su specijalizovani sistemski objekti. Jedan od tih objekata je i generativni objekat za otvaranje neophodnih datoteka. On obezbeđuje pravilno otvaranje datoteka sa svojim indeksnim datotekama, čime se omogućava jednostavno stvaranje i pokretanje aplikativnog objekta, koga je korisnik izabrao.

Svi generativni objekti pa i generativni objekat za otvaranje neophodnih datoteka odlikuju se velikom brzinom izvršavanja, čime je obezbeđeno uspešno funkcionisanje *PIS*-a i na najjednostavnijim računarskim mrežama.

Nedostatak im je relativno složeno projektovanje i otežano programiranje, kao i zavisnost od drugih generativnih objekata.

6. LITERATURA

- [1] Adams, J.R., Kirchof, N.S. "Conflict Management for Project Managers", Project Management Institute, 1986.
- [2] Klarin, M.M., Raičević, R.P., Nestorović, M.M. "Matrična organizacija", Mašinski fakultet u Beogradu, ISBN 86-7083-244-5, 1994.
- [3] Orfall, R., Harkey, D., Edwards, J. "Essential Client / Server Survival Guide", Van Nostrand Reinhold, 1994.
- [4] Peters, R., Ozs, M.T. "Axiomatization of Dynamic Schema Evolution in Objectbases", Proceedings of the 11th ICDE 95, Taiwan, 1995.

GENERATIVE OBJECTS FOR FILE OPENING IN PRODUCTION INFORMATION SYSTEMS

Abstract

Kernel of data base in production information systems is consist of multiply generative objects. Each of those objects has specially tasks in production information systems. Generative object for file opening must open files for application object. In this paper we present one approach in projecting that generative object.



M. Stojilković¹

JEDAN PRISTUP ZA OBELEŽAVANJE IZVRŠNIH ORGANA KOD K A S A T NA BAZI PNEUMATIKE

Rezime

Karakteristično za sintezu konačnog automata sekvencijalnog asinhronog tipa (KASAT) na bazi pneumatike jeste način obeležavanja izvršnih organa (IO), pre svega zbog opisa radnog ciklusa nekog tehnološkog procesa.

U radu se tretira jedan pristup jednoznačnog obeležavanja IO, značajan za realizaciju programske sinteze posmatrane klase automata.

1. UVOD

Određeni nedostaci vezani za klasične načine sinteze konačnog automata sekvencijalnog asinhronog tipa (KASAT) na bazi pneumatike, doveli su do mnogih pokušaja da se dođe do boljih rešenja. Rezultat jednog takvog istraživanja sadržan je u ovom radu, čija se originalnost sastoji u načinu obeležavanja izvršnih organa (IO) kod KASAT na bazi pneumatike.

U principu, korišćena je takva forma koja može podesno opisati logičke zahteve problema, uz mogućnost korišćenja računara. Težnja je da se na odredjen način pokriju sve kombinacije osnovnih logičkih uslova zahtevanog, neželjenog i nebitnog, odnosno uslova koji moraju sadržati opis logičkog programa izlaznih signala određenih tehnoloških zahteva.

Specifičnost postupka karakteriše način obeležavanja i formiranja strukture redoslednog upravljanja KASAT na bazi pneumatike u algoritamskoj formi koja omogućava jednoznačnost postupka sinteze.

2. KONCEPT PRISTUPA ZA OBELEŽVANJE IZVRŠNIH ORGANA

Imajući u vidu različite načine prikaza rada KASAT na bazi pneumatike, zapaža se da su zasnovani na opisu logičkog sistema očekivane tehnološke operacije. Osnovno pravilo sastoji se u prostoformulaciji operacione specifikacije, čije logičko značenje predstavlja način koji je nedvosmislen i nekontradiktoran.

Pristup za obeležavanje IO, sastoji se u originalnom načinu predstavljanja redosleda izvršavanja operacija radnog ciklusa, gde se kao polazna forma koristi tzv. "opštevažeći kriterijum" (OVK), [1].

¹ Dr Miodrag Stojilković, vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš

Osnovni koncept OVK² zasnovan je na mogućem principu jednoznačnog prilaza, koji je izveden analizom inženjerskih i matematičkih metoda u delu osnovnih i strukturnih zahteva koje treba zadovoljiti pri sintezi automata [1,2]. Na osnovu utvrđene strukture redoslednog upravljanja, moguće je formirati funkcionalnu šemu kao oblik grafičkog prikaza rada KASAT na bazi pneumatike. Imajući u vidu značaj OVK, u delu sadržajnog prilaza pri formiranju predloženog koncepta, u daljem postupku biće izložena procedura za obeležavanje i formiranje upravljačke strukture, definisana u skraćenom obliku sledećim pravilima.

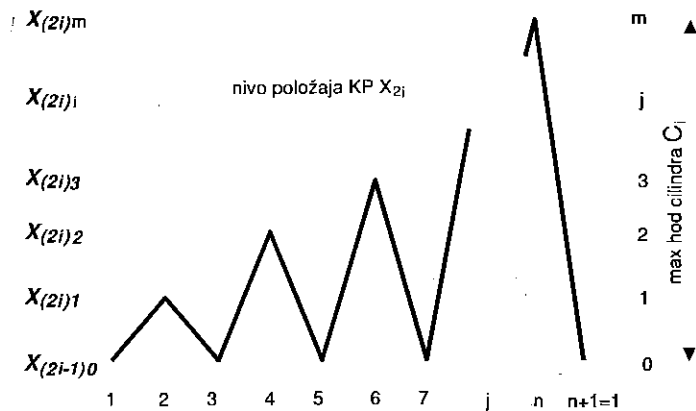
Obeležavanje prema OVK

Pravilo 1. Obeležiti pneumatske cilindre izvršnih organa velikim slovom "C" i odgovarajućim indeksom "i", prema redosledu odvijanja radnog ciklusa (C_i , $i=1, 2, \dots, n$).

Pravilo 2. Izvlačenje klipnjače cilindra obeležiti znakom "+", a uvlačenje sa "-".

Pravilo 3. Krajnje prekidače (davače) obeležiti sa x_{2i-1} i x_{2i} ($i=1, 2, \dots, n$), gde neparni indeks $(2i-1)$ određuje mesto prekidača uz cilindar, a parni $(2i)$ od cilindra.

Ako usvojimo za svaki pneumatski cilindar mogućnost ugradnje većeg broja krajnjih davača (KD), kao repernih tačaka koje određuje hod kretanja klipa istog cilindra, specifičnost rada istog sastoji se u nejednakom hodu klipnjače po taktovima kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Prikaz predloženog načina rasporeda i obeležavanja većeg broja KD na radnom hodu jednog istog pneumatskog cilindra koji ponavlja kretanje

U skladu sa moguće prisutnim uticajnim faktorom, koji se odnosi na uzastopnu promenu smera kretanja klipa istog cilindra naizmeničnim aktiviranjem istog/različitog i različitog KD, potrebno je uvesti i drugi indeks, radi jednoznačnog predstavljanja kretanja izvršnog organa.

Pravilo 3.1. Ukoliko klip istog cilindra ponavlja kretanje sa različitom dužinom hoda, KD obeležiti sa $x_{(2i-1)j}$ i $x_{(2i)j}$ ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, \dots, m$), gde drugi indeks j određuje nivo ugradnje KD.

²Prema OVK, uslovi rada automata zadati su u jednom nizu uzastopnih vrednosti ulaznih i njima odgovarajućih izlaznih promenljivih izraženih kroz kretanje izvršnih organa. Dalje se uzima da izlazni signal zavisi od zatečenog stanja automata i ulaznih signala. Ulazni signal takođe može izazvati promenu stanja automata. Novo stanje je određeno zatečenim stanjem i dovedenim signalom.

Pravilo 4. Inicirajući signal razvodnika za napajanje pneumatskog cilindra C_i izvršnog organa, obeležiti za kretanje C_i+ sa Y_i+ , odnosno za C_i- sa Y_i- ($i=1, 2, \dots, n$).

Pravilo 5. U upravljačkim šemama crtati cilindre uz mogućnost praćenja izvlačenja klipnjače u smeru sleva na desno i uvlačenja klipnjače s desna u levo.

Formiranje strukture redoslednog upravljanja

Pravilo 6. Za utvrđeni broj taktova formirati niz slova $C_i\pm$ ($i=1, 2, \dots, n$), koji predstavlja radni ciklus i čiji broj odgovara broju taktova t_i ($i=1, 2, \dots, q$), naznačenih iznad niza.

Pravilo 7. Vertikalnom strelicom usmeriti upisane KD aktivirane na kraju naznačenog "±" kretanja odgovarajućeg cilindra (IO).

Pravilo 8. Kosom strelicom usmeriti inicirano kretanje u narednom taktu prouzrokovano aktiviranim KD.

Pravilo 9. Podeliti radni ciklus na sekcije³, tako da jednoj sekciji pripada samo jedna od "+" ili "-" aktivnosti istog cilindra (IO).

Pravilo 10. Svakoj sekciji pridodati sekundarnu promenljivu z_k , a na kraju strelice koja razdvaja sekcije kola pridodati pobudnu promenljivu z'_k ($k=1, 2, \dots, p$).

Bez komentara, na sl.2 prikazana je primena OVK na primeru redoslednog kretanja četiri IO.

	I	II	III	IV	V	VI	VII		Sekcija		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Takt
Uslovi starta	C_1-	C_2-	C_3+	C_4-	C_3+	C_4-	C_3+	C_4-	C_3+	C_4-	Kretanje
Start	x_2	x_4	$x_{61}x_8$	$x_{50}x_7$	x_{62}	x_{50}	x_{63}	x_1x_{50}	x_3		Primarne promenljive
	z'_1	z_1		z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7		Sekundarne promenljive
			z'_2	z'_3	z'_4	z'_5	z'_6			z'_7	Pobudne promenljive

Slika 2. Prikaz OVK za utvrđenu strukturu redoslednog kretanja IO na primeru:

$$C_1+ C_2+ (C_3+ C_4+) (C_3- C_4-) C_1+ C_3- C_3+ (C_1- C_1-) C_2-$$

2.1. Predloženi način obeležavanja

Polazni način opisa KASAT na bazi pneumatike omogućava dalja preciziranja. Imajući u vidu važnost osnovnih i strukturnih zahteva pri sintezi automata, predhodno definisani uslovi u okviru odgovarajućih pravila mogu se generalizovati, bez obzira na broj KD po IO.

Prema tome, nezavisno od toga dali klip istog cilindra ponavlja kretanje sa različitom dužinom hoda ili ne, u strukturi redoslednog upravljanja obeležiti ga sa C_{ij} ($i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, m$), gde indeks j označava nivo ugradnje KP. Što se može iskazati sledećim pravilom:

³Sekcija je identična "delimično upravljačkom kolu" kod Kalsične kaskadne metode, odnosno taktu kod metode "Korak po korak".

Pravilo 11. U strukturi redoslednog odvijanja radnog ciklusa obeležiti pneumatske cilindre izvršnih organa sa C_{ij} ($i=1,2, \dots, n$; $j=1,2, \dots, m$), gde prvi indeks i predstavlja broj IO, a j označava nivo ugradnje KD kojim se definiše trenutna dužina hoda u redosledu ponavljanja kretanja klipa istog cilindra.

Ovakav način opisa redoslednog kretanja IO dozvoljava da se pored identifikacije IO u odgovarajućem taktu utvrdi i dužina radnog hoda.

Ilustracije radi, korišćenjem predhodnog pravila, dati primer redoslednog kretanja IO prikazan na sl.2, izgleda:

$$C_{11} + C_{21} + (C_{31} + C_{41}) + (C_{30} - C_{40}) - C_{32} + C_{30} - C_{33} + (C_{10} - C_{30}) - C_{20}$$

Na osnovu predhodnog stava, moguće je objediniti pravila 3 i 3.1 u zajedničko pravilo:

Pravilo 12. Krajnje davače (prekidače), obeležiti sa $x_{(2i-1)j}$ i $x_{(2i)j}$ ($i=1,2, \dots, n$; $j=1, \dots, m$), gde prvi neparni indeks $(2i-1)$ određuje mesto prekidaču uz cilindar, a parni $(2i)$ od cilindra, dok drugi indeks j određuje nivo ugradnje KP.

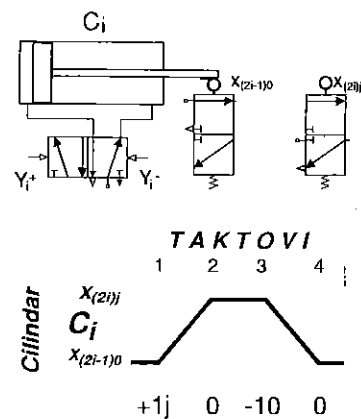
b) Osnovna matrica stanja

Predloženi i usvojeni pristup novog načina obeležavanja, omogućava pogodniju formu u obliku tzv. osnovne matrice stanja (OMS), a sastoji se u originalnom matricnom prikazu definisanom sledećim pravilom:

Pravilo 13. Ako su postavljeni zahtevi KASAT na bazi pneumatike predstavljeni sa $C_i \pm$ ($i=1, \dots, n$) izvršnih organa (pneumatskih cilindara) i t_l ($l=1, \dots, q$) taktova, isti se mogu prikazati matricom stanja, kod koje broj kolona odgovara broju predviđenih izvršnih organa, a broj vrsta broju taktova, kodiranu sa tri vrednosti:

- sa $(+1j, j=1,2, \dots, m)$ - za izvlačenje klipnjače pneumatskog cilindra (C_j^+),
- sa (-10) - za uvlačenje klipnjače pneumatskog cilindra (C_j^-) i
- sa (0) - kada nema kretanja klipnjače pneumatskog cilindra.

Na slici dat je opšti prikaz OMS.



	Broj izvršnih organa C_{ij}
Broj taktova t_l$	|\pm \alpha_{il}|$

Sl.3. Osnovna matrica stanja: a) pneumatski izvršni organ; b) grafički prikaz kodiranja; c) opšti prikaz OMS

Popunjavanje OMS pomoću predhodnog pravila sastoji se u kodiranju svakog člana α_{il} preseku i -te kolone i l -te vrste.

OSNOVNA MATRICA STANJA				
Taktovi $t_l, l=9$	Kretanje izvršnih organa			
	C_1	C_2	C_3	C_4
1	+11			
2		+11		
3			+11	+11
4			-10	-10
5			+12	
6			-10	
7		/	+13	
8	-10		-10	
9		-10		

REDUKOVANA MATRICA STANJA					
Sek.pr. $z_k, k=6$	Kretanje izvršnih organa				Sažete vrste
	C_1	C_2	C_3	C_4	
z_1	+11	+11	+11	+11	1, 2, 3
z_2			-10	-10	4
z_3			+12		5
z_4			-10		6
z_5			+13		7
z_6	-10	-10	-10		8, 9

Sl.4. Ilustrativni primer prikaza OMS i RMS

Opis rada KASAT na bazi pneumatike pomoću OMS značajan je zbog jednostavne optimizacije rešenja u cilju smanjenja broja unutrašnjih stanja. Pošto broj vrsta odgovara broju unutrašnjih stanja, to se optimizacija svodi na redukciju nekih vrsta i dobijanja nove matrice poznate kao *redukovana matrica stanja* (RMS).

Određene pogodnosti u kodiranju OMS, sadržane i u RMS, pružaju mogućnost da se prostim isledivanjem navedenih matrica identifikuju logičke trajektorije informacija uz jednostavno formiranje logičkih jednačina.

Bez objašnjenja, na osnovu algoritma za dobijanje logičkih jednačina pobude i izlaza pomoću RMS i OMS, na slici 5 prikazane su logičke jednačine za predhodno usvojen primer KASAT na bazi pneumatike.

Logičke jednačine pobude:	Logičke jednačine izlaza:	
$z'_1 = \text{Uslovi starta}$	$+Y_1 = z_1$	$-Y_1 = z_6$
$z'_2 = z_1 x_{21} x_{41} x_{61} x_{81}$	$+Y_2 = z_1 x_{21}$	$-Y_2 = z_6 x_{10} x_{50}$
$z'_3 = z_2 x_{50} x_{70}$	$+Y_3 = z_1 x_{21} x_{41} + z_3 + z_5$	$-Y_3 = z_2 + z_4 + z_6$
$z'_4 = z_3 x_{62}$	$+Y_4 = z_1 x_{21} x_{41}$	$-Y_4 = z_2$
$z'_5 = z_4 x_{50}$		
$z'_6 = z_5 x_{63}$		
$z'_7 = z_6 x_{10} x_{30} x_{50}$		

Sl.5. Logičke jednačine pobude i izlaza za analizirani primer sa sl.2.

Isto tako, treba napomenuti da je mogućnost proširenja logičkih jednačina u pogledu obuhvatanja ostalih naknadnih uslova, koji se odnose na vrstu ciklusa, način pogona, prinudno zaustavljanje i dodatne uslove, vrlo jednostavna.

Kompletiranje osnovnih logičkih jednačina u pogledu navedenih zahteva zasnovano je obično na konjunkciji promenljivih predviđenih uslova.

3. ZAKLJUČAK

Predloženi način kodiranja u okviru OMS, u svojoj originalnosti opisivanja rada automata potencira mogućnost prikazivanja različitih dužina hodova svakog izvršnog organa, uvdjenjem nivoa ugradnje većeg broja KD po IO.

Fornirana OMS jednoznačno određuje definisanost strukture redoslednog kretanja IO i svojom formom omogućava dalji postupak sinteze shodno polaznim mogućnostima OVK, a značaj leži u korišćenju odgovarajućih pravila.

Predloženi i usvojeni pristup novog načina obeležavanja kretanja izvršnog organa, prema definisanom osnovnom stavu, moguće je uspešno koristiti u algoritamskoj formi koja dozvoljava primenu računara.

Literatura

- [1] Stojiljković M.M.: Istraživanje optimalne metode za sintezu digitalnih sistema sekvencijalnog tipa u cikličnim procesima na bazi pneumatike, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1985.
- [2] Stojiljković M.M.: Opštevažeći kriterijum za sintezu KASAT na bazi pneumatike, Stručnoinformativni časopis DIT, br.2, 1996.
- [3] Stojiljković M.M.: Predloženi način opisa rada KASAT na bazi pneumatike, Zbornik radova 25. stručni skup HIPNEF 96, V.Banja 1996. (SMEITS Beograd).

AN APPROACH TO THE MARKING OF EXECUTIVE UNITS IN FASAT BASED ON PNEUMATICS

Summary

The marking of executive units is specific for the synthesis of finite automatum of sequential asynchronous type (FASAT), primarily due to the description of the working cycle of a technological process.

The paper deals with an approach to the marking of executive units, significant for the realization of the programme synthesis of the observed class of automata.



M. Stojiljković, Đ. Mitić¹

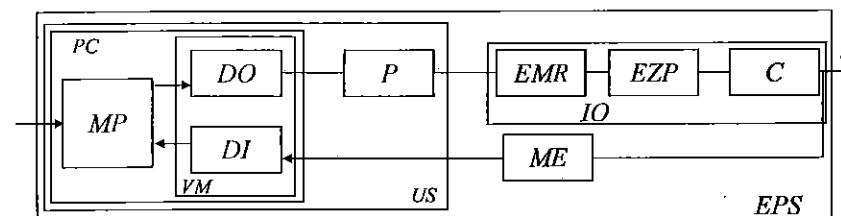
DINAMIČKA ANALIZA MODELA JEDNE KLASSE ELEKTRO - PNEUMATSKIH SISTEMA BAZIRANIH NA PC-RAČUNARU

Rezime

U radu se daje analiza dinamike sistema određene klase automata zasnovane na elektropneumatskim sistemima automatskog upravljanja (EPSAU). Globalnom analizom osnovnih parametara analitički se dobija odziv sistema. On predstavlja jedan od najbitnijih polaznih podataka u postupku određivanja periode radnog takta, odnosno definisanja stepena dinamike sistema.

I. UVOD

Zastupljenost upravljanja diskretnih *elektro-pneumatskih sistema* (EPS) pomoću PC-računara najčešće je u sprezi sa odgovarajućim kontrolerima ili modulima. Moduli za ugradnju u PC su ekonomičnije varijante sistema pošto direktno komuniciraju sa sistemskom magistralom računara. Vezni digitalno ulazni/izlazni (DIO) moduli sa elektropneumatskim razvodnicima za napajanje pneumatskih cilindara, mogu se sprezati direktno ili indirektno. Sa mernim elementima oni su u direktnoj vezi. Na sl.1., prikazan je strukturni dijagram posmatrane klase EPS.



Slika 1. Strukturni dijagram posmatrane klase automata. Upravljački sistem (US) EPS-a čine: mikroprocesor (MP), vezni modul (VM), pojačavač komandnih signala (P). Izvršne organe (IO) čine: elektromagnetni razvodnici (EMR), elementi za podešavanje (EZP) i pneumatski cilindri (C). Merne elemente (ME) čine: krajnji prekidači i davači.

Sprovedena analiza u ovom radu ima za cilj da se u opštim crtama sagleda dinamika ostvarivanja radnih taktova posmatranog EPSAU.

¹ Dr Miodrag Stojiljković, vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš
Dr Đorđe Mitić, dipl. maš. inž.

2. DINAMIČKA ANALIZA

Dinamička analiza sistema iz posmatrane klase EPSAU praktično se svodi na dinamičku analizu znatno "sporijeg" pneumatičkog podsistema. Krajnji cilj dinamičke analize jeste da se u opštim crtama sagleda dinamika ostvarivanja radnih taktova posmatranog EPS. Zato se u izvedenoj analizi nije išlo na određivanje vremenskog odziva sistema i stepena dinamike rada EPS. Cilj ove analize je da se ukaže na moguće globalne dinamičke parametre sistema, koji se pri sintezi EPS trebaju imati u vidu. Stoga se pre analitičkog definisanja stepena dinamike rada sistema T_0 pristupilo uopštenom određivanju odziva sistema τ i periode radnog takta T_r .

2.1. Određivanje odziva sistema

Odziv sistema τ predstavlja vremenski period za koji će EPS od trenutka pobude preći iz jednog u drugo stabilno stanje. Analitički, odziv τ se može rasčlaniti na dve vremenske komponente:

$$\tau = \tau_0 + T \quad (1)$$

gde su:

τ_0 - ukupno vreme za koje će EPS od trenutka pobude započeti svoje translatoorno kretanje;

T - vreme za koje će klip u cilindru ostvariti puni radni hod.

Analitički izraz za ukupno vreme τ_0 , koje je potrebno da se nakon slanja električnog komandnog signala dobije povratni električni signal sa REED-releja nakon započetog translatoornog kretanja klipa u cilindru, može se dati u obliku:

$$\tau_0 = t_{\mu} + t_{EPR} + t_v + t_{v0} + t_{ac} + t_{RR} \quad (2)$$

Vreme za koje se izvrši prenos električnih komandnih signala od PC-računara, DIO modula i pojačivača, do elektromagneta EPR, kao i vreme potrebno da se izvrši prenos električnih povratnih signala sa mernih organa do DIO modula, tj. računara ovde se zanemaruje.

Prvi član t_{μ} u predhodnoj jednačini predstavlja tzv. računarsko vreme. Formalno t_{μ} možemo predstaviti kao:

$$t_{\mu} = f(v_{\mu}, O_r, J) \quad (3)$$

Ovde su:

v_{μ} - brzina računanja (mikroprocesora);

O_r - obim računanja (broj instrukcija, tj. operacija);

J - vrsta korišćenog programskog jezika.

Računarsko vreme se uzima u obzir samo onda ako se nakon završetka radnog takta, a pre početka sledećeg, računarom trebaju obaviti obimnija izračunavanja. Ukoliko je tada mikroprocesoru potrebno više od 5ms, onda se t_{μ} , u odnosu na ostale veličine iz jednačine (2), treba uzeti u obzir.

Vreme t_{EPR} predstavlja vreme za koje će se izvršiti aktiviranje elektropneumatskog razvodnika. Ona se sastoji iz:

$$t_{EPR} = t_{EM} + t_M + t_p \quad (4)$$

gde su:

t_{EM} -- vreme potrebno za aktiviranje elektromagneta EPR;

t_M -- vreme potrebno za mehaničko aktiviranje razvodnika;

t_p - vreme za koje će se izvršiti pneumatsko punjenje razvodnika.

Vreme potrebno za aktiviranje elektropneumatskog razvodnika t_{EPR} uglavnom se daje kao fabrički podatak. Kataloška vrednost za t_{EPR} kod standardnih industrijskih EPR tipa 3/2, 5/2, 5/3 i sl., kreće se u granicama od 10 do 40 ms.

Treći član jednačine (2) t_v , obuhvata vreme koje je potrebno za savlađivanje otpora finoregulacionih ventila. U našem slučaju ono se zanemaruje i iz razloga što se navedenim ventilima čine samo manja (finija) prigušenja pneumatskih vodova.

Ukupno vreme t_{v0} iz jednačine (2) određuje se prema:

$$t_{v0} = t_{v1} + t_{pv} \quad (5)$$

Prvi član t_{v1} predstavlja vreme prostiranja vazdušnog talasa duž vodova i jednako je:

$$t_{v1} = \frac{l}{\bar{V}_v} \quad (6)$$

gde su:

l - dužina vodova (svih pneumatskih grana) u sistemu;

\bar{V}_v - srednja brzina prostiranja vazdušnog talasa kroz pneumatske vodove,

(za standardne atmosferske uslove $\bar{V}_v \approx 330$ m/s).

Drugi član jednačine (5) t_{pv} , obuhvata vremenski period za koji će se postići radni pritisci u pneumatskim vodovima nakon startovanja sistema ili pri početku novog radnog takta. Iz prakse se zna da je:

$$t_{pv} \approx t_{v1} \quad (7)$$

Pretposlednji član jednačine (2) t_{ac} , predstavlja vreme koje je potrebno za aktiviranje cilindara, tj. pokretanje klipova u cilindru. Ono se može prikazati sledećom relacijom:

$$t_{ac} = t_{pc} + t_f \quad (8)$$

gde su:

t_{pc} - vreme punjenja cilindra (promene pritiska);

t_f - vreme savlađivanja početne sile trenja na kliznim površinama cilindra.

Vreme aktiviranja cilindra t_{ac} može se detaljnije odrediti rešavanjem sistema od pet jednačina /3/, međutim ovde ćemo se zadovoljiti njegovim određivanjem na osnovu stečenih iskustava iz prakse. Za EPS, kod kojih su vodovi standardnih prečnika u odnosu na pneumatske komponente sistema i čije su dužine od 10 do 50 m, važiće:

$$t_{ac} \approx t_{v0} \approx t_{v1} \quad (9)$$

I konačno vreme t_{RR} u jednačini (2) je vreme aktiviranja REED-releja. Ono zavisi od vrste korišćenih REED-releja i obično se kreće u granicama od 2 do 20 ms.

Iz svega navedenog jasno je da će najveće vremenske doprinose, u okviru jednačine (2), imati članovi: t_{EPR} , t_{v0} , t_{ac} i t_{RR} . Kako su: $t_{EPR} = C_1 = \text{const.}$; $t_{RR} = C_2 = \text{const.}$; $t_{v0} \approx t_{v1} = \frac{l}{\bar{V}_v}$ ($\bar{V}_v \approx 330$ m/s = const) i $t_{ac} \approx t_{v1}$ to aproksimativno sledi:

$$\tau_0 \approx \frac{2l}{\bar{V}_k} + t_{EPR} + t_{RR} \quad (10)$$

Uopšteno, jednačina (24) se može prikazati u obliku:

$$\tau_0 \approx t(l) + C_1 \quad (11)$$

gde su: l - dužina pneumatskih vodova EPS,

$$C_1 = t_{EPR} + t_{RR} = \text{const.}$$

Drugi član polazne jednačine (1) predstavlja vremenski period T za koji će klip izvršiti translato kretanje iz jednog u drugi krajnji položaj cilindra. On je jednak:

$$T = \frac{h}{\bar{V}_k} \quad (12)$$

gde su:

h -- hod cilindra;

\bar{V}_k -- srednja brzina kretanja klipa u cilindru.

Srednja brzina kretanja klipa u cilindru \bar{V}_k zavisi od radnog pritiska, prečnika cilindra, veličine otvora i dužine pneumatskih vodova, opterećenja na klipnjači cilindra, načina zaptivanja, podmazivanja, itd. Za standardne industrijske EPS tipa 5/2 "Evropa", odgovarajuće standardne prečnike otvora priključaka i pneumatskih vodova, dužine pneumatskih vodova do $l = 10$ m i bez radnih opterećenja na klipnjačama cilindra, može se usvojiti sledeća \bar{V}_k -p zavisnost.

$$\bar{V}_k = 0,537 e^{0,104p} \quad (13)$$

Iz iskustva se zna da se ova eksponencijalna zavisnost neće puno razlikovati od slučaja do slučaja u okviru posmatrane klase EPS. Na taj način će za radne pritiske od $p = (2-6)10^5$ Pa (bara) iz jednačine (13) uvek sledi:

$$\bar{V}_k > 0,5 \text{ m/s} \quad (14)$$

Sa druge strane, REED-releji kao memni organi, zbog svog konstrukcionog rešenja, ograničavaju brzinu \bar{V}_k na V_{kmax} sledećom relacijom:

$$V_{kmax} = \frac{S_1}{t_{RR}} \quad (15)$$

Na osnovu datih kataloških podataka /4/ za veličine S_1 i t_{RR} , za standardne industrijske REED-releje i odgovarajuće pneumatske cilindre dvostrukog dejstva sa ugrađenim permanentnim magnetima na obodima klipova, može se generalno utvrditi da dozvoljene maksimalne brzine klipova u cilindrima iznose:

$$V_{kmax} \approx 0,5 \text{ m/s} \quad (16)$$

To praktično znači da se kod ovakvih EPS moraju vršiti primarna i sekundarna prigušenja cilindra. U tom smislu, umesto jednačine (12) važiće sledeća funkcionalna zavisnost:

$$T = \frac{h}{V_{kmax}} \quad (17)$$

odnosno,

$$T = t_2(h) \quad (18)$$

Na taj način se na osnovu jednačina (1), (10) i (17) dolazi do potrebnog analitičkog izraza za odziv sistema τ :

$$\tau = \frac{2l}{V_{vi}} + \frac{h}{V_{kmax}} + t_{EPR} + t_{RR} \quad (19)$$

Imajući u vidu jednačine (11) i (18), kao i jednačinu (1), uopšteno se može zaključiti da vremenski odziv sistema τ u okviru posmatrane klase EPSAU, isključivo zavisi od dužine pneumatskih vodova, hoda cilindra i konstante C_1 , odnosno:

$$\tau = g(l, h) + C_1 \quad (20)$$

2.2 Usvajanje periode radnog takta i određivanje stepena dinamike rada EPS

Usvajanje perioda radnog takta T_1 u okviru razmatrane klase dvopozicionih pneumatskih podsistema, vrši se po osnovnom kriterijumu automatizacije. Za posmatrani sistem to znači da naredni radni takt EPS može početi tek po završetku prethodnog, tj. tek nakon "odrade" poslednjeg cilindra u njemu. Navedena formulacija se u analitičkom obliku može predstaviti kao:

$$T_1 > \tau_{max} \quad (21)$$

gde τ_{max} predstavlja najduži odziv sistema, tj. vreme odrade "najsporijeg" cilindra.

Stepen dinamike rada sistema T_D , određuje se na osnovu logike da on uvek mora biti nešto veći od same periode radnog takta T_1 , tj. da važi:

$$T_D > T_1 \quad (22)$$

Onda je jasno da se na osnovu (21) i (22) može uopšteno očekivati sledeće:

$$T_D = (1,5 - 2) \tau_{max} \quad (23)$$

U daljem razmatranju sinteze EPS usvaja se sledeća relacija za T_D :

$$T_D = 2\tau_{max} \quad (24)$$

I konačno, analitički izraz za određivanje stepena dinamike rada dobija se na osnovu jednačina (19) i (24):

$$T_D = 2 \left(\frac{2l}{V_{vi}} + \frac{h}{V_{kmax}} + t_{EPR} + t_{RR} \right) \quad (25)$$

Imajući u vidu da su $\bar{V}_{vi} \approx 330 \text{ m/s}$ i $V_{kmax} \approx 0,5 \text{ m/s}$, definitivni izraz za određivanje stepena dinamike rada T_D posmatrane klase EP SAU dobija oblik:

$$T_D = 2 (0,006(s/m)l + 2(s/m)h + t_{EPR} + t_{RR}) \quad (26)$$

3. ZAKLJUČAK

Pri dinamičkoj analizi sistema utvrđuju se najbitniji činioci koji utiču na brzinu prenosa elektropneumatskog signala. Na osnovu analize globalnih parametara analitički se određuje odziv sistema. On predstavlja jedan od najbitnijih polaznih podataka u postupku određivanja periode radnog takta, tj. definisanja stepena dinamike rada EPSAU

Literatura

- [1] Mitić Đ., Sinteza modela jedne klase elektropneumatskih SAU bazirane na PC-računaru, doktorska disertacija, Beograd, 1995.
- [2] Stojiljković M., Istraživanje optimalne metode za sintezu digitalnih sistema sekvencijalnog tipa u cikličnim procesima na bazi pneumatike, doktorska disertacija, Niš 1985.
- [3] E. B. Герц., Пневматические приводы, Издательство "Машиностроение", Москва, Русия, 1969.
- [4] FESTO Pneumatic: Reed switch Type SMEO-1-LED-24 Katalog FESTO, D, Esslingen

DYNAMIC ANALYSIS OF THE MODEL OF ONE CLASS OF ELECTROPNEUMATIC SYSTEMS BASED ON PC

Summary

The paper presents an analysis of the dynamic of the system of a defined class of automata based on electropneumatic systems of automatic control (EPSAC). By means of a global analysis of basic parameters the response of the system is obtained analytically. It represents one of the essential initial data in determining the period of the working tact, that is in defining the degree of the dynamic of the system.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

MONITORING OF THREE-DIMENSIONAL ARC WELD POOL SURFACE

Y. M. ZHANG AND R. KOVACEVIC

Welding Research and Development Laboratory, University of Kentucky,
Center for Robotics and Manufacturing Systems, Lexington, Kentucky, USA

Abstract. Weld pool surface provides important information for understanding arc welding processes. In this study, a novel vision sensor is proposed to measure the 3D shape of the weld pool surface. The three-dimensional weld pool surface is clearly shown by the specular reflection which comes from the mirror-like weld pool surface of the projected laser stripes. To determine the shape of the pool surface, an image processing technology has been developed to extract the skeleton of the specular reflection. The imaging principle is analyzed to determine the correlation between the reflection and the weld pool surface.

1. INTRODUCTION

Strictly speaking, no flat weld pool surfaces exist in arc welding processes. Surface deformation is an important phenomenon in the arc welding process because of its influence on the arc energy distribution [1, 2], its correlation with possible weld defects [2], and correlation to the weld penetration [1, 3]. A possible application of pool surface shape sensing is the monitoring and control of weld quality, specifically of weld penetration. It is known that weld penetration control is a crucial research subject in automated welding. The difficulty associated with this problem is to find a precise and reliable way to measure the weld penetration using only top-side sensors which are attached to and move with the torch. Among the methods proposed in existing literature, pool oscillation [4-6] and infrared sensing [7-8] based methods received more attention. (Ultrasonic sensing and radiographic sensing use additional sensing devices which are difficult to attach to the torch.) Acoustic emission sensing [9] can distinguish between full penetration and partial penetration. Though many methods are available to measure the weld penetration, in order to improve the quality of welding, new or improved solutions are still strongly needed because of the inherent restrictions associated with each of the above-mentioned methods. It was reported in a previous study [10] that a skilled human welder can extract penetration information by viewing the weld pool. Due to the difficulty involved in real-time pool surface shape measurement, the geometry of the sag behind the pool was measured as an alternative [11]. It was found that the average weld depression depth h , which is defined as the cross weld depression area divided by the weld width, has a close relationship with the full penetration state which is specified by the back-side bead width [10]. Based on the dynamic analysis and modeling [12], a corresponding closed-loop control system has been developed, and satisfactory control has been obtained [11]. However, there is an inherent measurement delay if the weld behind the pool is monitored rather than the pool itself. If the pool surface shape can be measured, a promising weld penetration control can be expected.

Although the surface shape measurement of arc weld pool is important, a literature survey shows that limited work has been done in this area due to the extreme difficulty associated with this problem. The pioneering work was conducted at the Ohio State University by Rokhlin and Guu [1, 13, 14], using radiography. The radiation of the received x-ray increases with the depression depth. Using this approach, many valuable results have been acquired based on pool surface measurements [1, 13, 14]. However, only the case of stationary arc was addressed. To avoid the interference of electrode and gas nozzle, long electrode extension and inclined torch attitude were used. The imaging device and x-ray source could not both be attached to the torch to form a so-called top-side sensor. This fact, in addition to the radioactivity, restricts the prospective application of this method in practical monitoring or control of weld pools. Also, the principle behind this method is to measure the material thickness. For the case of full penetration where the back-side pool surface deformation occurs, the pool surface shape will be difficult to extract.

A novel mechanism for observing the pool surface shape is proposed in this paper. Structured-light stripes generated by projecting a laser through a novel grid arc reflected from the mirror-like pool surface [15]. The deformation of the stripes are determined by the deformation of the weld pool surface. Thus, the sensed reflection of the stripes can be processed and used to compute the 3D pool surface. It will be shown that the correlation

between the weld pool surface and the resultant image is governed by the reflection law despite the penetration mode. Hence, both the partial penetration and full penetration weld pool surfaces can be measured if the weld pool is not depressed to the extent that the incident or reflected laser rays are interfered.

2. SENSING PRINCIPLE AND SET-UP

The proposed sensing system is shown in Fig. 1. To sense the three-dimensional shape of a weld pool surface, the influence of the arc light must first be eliminated. A short duration pulsed laser is projected onto the weld pool. The camera shutter is synchronized with the pulse duration. During the laser pulse, the laser intensity is much stronger than the arc intensity. Thus, if the shutter speed is fast enough, the arc light can be essentially eliminated from the image [16].

To acquire the 3D weld pool surface information, a special technique must be implemented. Common practice for determining the 3D shape of a surface is to project a structured-light onto the surface and sense the diffuse reflection of the structured-light. The shape information can then be extracted from the deformation of the structured-light. However, the weld pool surface is mirror-like smooth and no substantial amount of structured-light can be reflected diffusely. It appears that only specular reflection can be utilized.

In the case of specular reflection, the observed scene is the virtual image of the original object [17]. The relationship between the original and its virtual image is determined by the shape of the mirror surface. Usually, structured-light is formed by projecting a laser through a grid. The sole function of the grid is to form the structured-light stripes. As the light passes through the grid, its direction of travel is unchanged. This causes the virtual image of a laser point source to be a single spot despite the shape of the mirror-like surface. Thus, a bright spot is sensed by the camera, and no shape information of the reflection surface is contained in the image [18]. To acquire the shape information, a novel incident mechanism of structured-light, as shown in Fig. 2, is proposed.

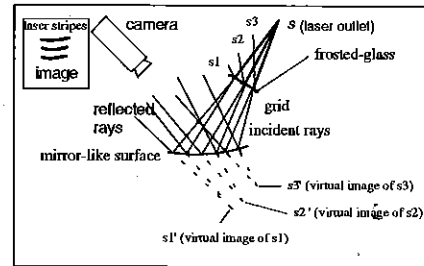
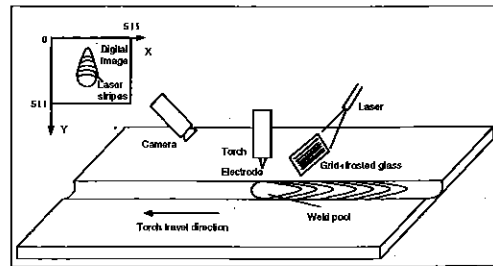


Fig. 1 Sensing system of weld pool surface shape.

Fig. 2 Proposed sensing principle for specular reflection.

The proposed incident mechanism of structured-light is realized through a specialized grid. This grid consists of a common grid and frosted glass. When the laser is projected onto the frosted glass, the laser travel direction will be changed, see Fig. 2. From the viewpoint of light travel, any point of the frosted glass can be considered as a new point light source which disperses light with a certain diffuse angle, see Fig. 2. The camera views the slits (grid openings) through their reflection from the weld pool surface. Their virtual image consists of bright stripes deformed by the weld pool surface deformation (Fig. 2) and is sensed by the camera. The resultant images are shown in Fig. 3. The surface shape of the weld pool is contained in the acquired image.

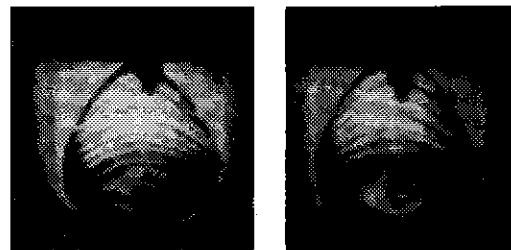


Fig. 3 Acquired images of weld pool surface.

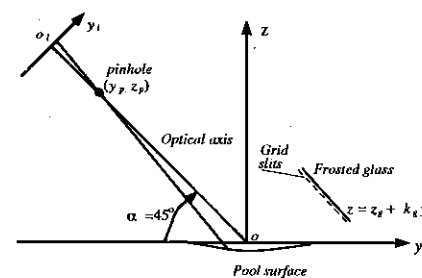


Fig. 4 yz plane view.

A vision system with pulsed laser illumination is used to perform the sensing of the weld pool surface. This system has been used to sense the two-dimensional boundary of the weld pool in our previous work [16, 19]. It consists of a strobe-illumination unit (pulsed laser), camera head and system controller [20]. The pulse of the laser illumination lasts only 3 ns. Although the average power of the laser is only 7 mW, its pulse power reaches 50 KW. During the pulse, the camera shutter is opened to capture the scene. To further improve the signal-noise ratio, a narrow band optical filter has been used to match the laser wavelength (337 nm). Thus, a clear reflection of the projected laser can be acquired.

3. IMAGING MODEL

The proposed sensing principle can be exactly described by a mathematical model. It will be shown that for any given weld pool surface, the corresponding image can be calculated using the mathematical model and sensor parameters.

Establish the reference coordinate system $oxyz$, as shown in Fig. 1, where the xy plane is parallel with the ground surface (i.e., the z -axis is vertical). The torch travels along the negative y -axis. The workpiece surface lies approximately on the xy plane.

The weld pool surface can be denoted by the following equation:

$$z = f(x, y) \quad (1)$$

Adjust the optical axis of the camera to lie on the yz plane and pass through the origin o with an angle $\alpha = 45^\circ$, see Fig. 4. Establish the image-plane coordinate system $o_i x_i y_i$ where the x_i -axis is along the horizontal scan direction of the camera, see Fig. 5. The origin o_i is the point intersected by the optical axis and the image plane (Fig. 5). Denote the coordinate of the pinhole [21] in the reference coordinate system as (x_p, y_p, z_p) . It is known that $x_p = 0$. The slits of the grid from which the structured-light disperses are described by the following equations:

$$\left. \begin{aligned} z &= z_k + \rho_k y \quad (y_{k0} \leq y \leq y_{k1}, 1 \leq k \leq K) \\ x_{k0} &\leq x \leq x_{k1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

where z_k and ρ_k are the placement parameters of the grid plate (see Fig. 4), y_{k0} 's and y_{k1} 's ($y_{k0} < y_{k1}$) are the parameters of the k^{th} slit, and K is the number of slits in the grid.

The laser passing through the slits travels with a diffusion angle and a region on the workpiece surface will be illuminated by this laser. Consider a point (x_s, y_s, z_s) on the weld pool surface (Fig. 5). For the reflected rays from this point, only the ray which crosses the pinhole will be sensed by the camera (Fig. 5). The equation of this reflected ray is:

$$\frac{(x - x_s)}{(x_p - x_s)} = \frac{(y - y_s)}{(y_p - y_s)} = \frac{(z - z_s)}{(z_p - z_s)} \quad (3)$$

To generate this reflected ray, there must be a corresponding incident ray. It is known that the normal of the surface at this point is

$$(x - x_s) / z_s = (y - y_s) / z_s = -(z - z_s) \quad (4)$$

where $z_s = \partial z / \partial x|_{x=x_s, y=y_s}$, and $z_y = \partial z / \partial y|_{x=x_s, y=y_s}$. According to the reflection law, the incident ray which can produce the reflected ray (3) can be determined through the normal (4) and the reflected ray (3). Thus, the following equation can be acquired to describe the qualified incident ray:

$$\rho_{ix}(x - x_s) = \rho_{iy}(y - y_s) = z - z_s \quad (5)$$

where ρ_{ix} and ρ_{iy} are constants which are given in the following equations:

$$\left. \begin{aligned} \frac{(\rho_{ix} - \rho_{ix})}{(1 + \rho_{ix}\rho_{ix})} &= \frac{(\rho_{iy} - \rho_{iy})}{(1 + \rho_{iy}\rho_{iy})} \\ \frac{(\rho_{ix} - \rho_{ix})}{(1 + \rho_{ix}\rho_{ix})} &= \frac{(\rho_{iy} - \rho_{iy})}{(1 + \rho_{iy}\rho_{iy})} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

where ρ_{ix} and ρ_{iy} are the x and y directional slopes of the reflected ray, ρ_{ix} and ρ_{iy} are the x and y directional slopes of the normal:

$$\rho_{ix} = (z_s - z_p) / (x_s - x_p), \quad \rho_{iy} = (z_s - z_p) / (y_s - y_p), \quad \rho_{ix} = -1 / z_s, \quad \rho_{iy} = -1 / z_s \quad (7)$$

Thus, for any given weld pool surface $z=f(x, y)$, the resultant image can be computed using the aforementioned mathematical description of the sensing process.

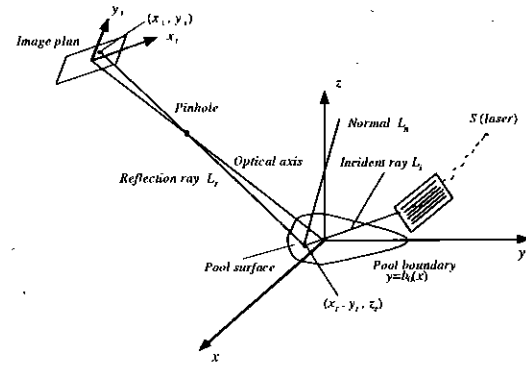


Fig. 5 Reflection principle.

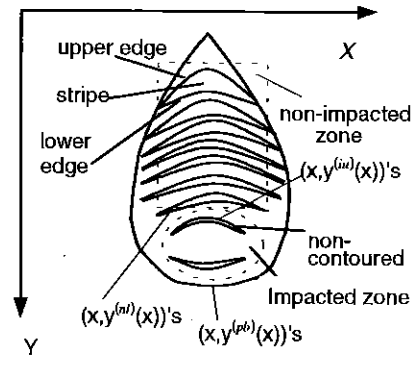


Fig. 6 Weld pool zones.

4. OBSERVATION AND ANALYSIS

4.1 Reflection

When a fixed flat mirror is used as the specular surface, straight stripes are observed despite different slopes. The distance, i.e., the stripe distance between two adjacent stripes, is equal. (The slits of the grid is equally spaced). However, the stripe distance depends on the placement slope, z'_x , of the mirror. The stripe distance roughly linearly decreases with the slope.

Observe the image in Fig. 3B. Generally speaking, the stripe distance increases towards the rear of the weld pool from the depressed area. Thus, the slope therefore decreases towards the rear of the weld pool. Assume d_0 is the stripe distance when $z'_x = 0$. From the depressed area toward the rear, the surface height increases before the stripe distance reaches d_0 . Then the surface height decreases.

The weld pool can be approximately classified into the impacted and non-impacted zones (Fig. 6). It can be seen that the stripes at the non-impacted zone are similar. However, the reflection at the impacted zone is more complicated. Both concave and convex stripes are observed. It can also be observed that the convex stripe may develop into a closed contour (Fig. 3B) from the single stripe (Fig. 3A). Thus, two different modes of the reflection can be encountered at the impacted zone, i.e., open-contour and closed-contour modes (Fig. 7). It is also observed that the closed-contour mode occurs when increasing the depression. The depression degree is directly related to the shape of the closed-contour. When the closed-contour is enlarged, the depression increases (Fig. 3B).

In the non-impacted zone, the stripes are very pronounced. However, in the impacted-zone, such pure stripe mode is not well maintained. Although the stripes can still be identified from the impacted zone, bright regions also exist between the stripes, and inside the closed contour. If the depressed area is perfectly smooth, no such phenomenon should be observed. However, because of possible surface impurities, electrode tip irregularity, etc., the distribution of the impact of the plasma jet on the weld pool may not be perfectly smooth. Also, the high frequency components of the pool oscillation may influence the distribution of the plasma jet field. The non-uniform plasma jet distribution field and oscillated pool surface can be coupled. No stationary and smooth plasma jet distribution can be expected. As a result, the depressed surface may not be perfectly smooth. The local surface slope can severely change within a small region. Thus, the reflection may no longer exhibit the pure stripe mode as it does in the non-impacted zone (Fig. 3B).

4.2 Individual stripe

Assume $y_i = s_k(x_i)$ is the skeleton of the k^{th} laser stripe (Fig. 8). Denote the intersected points, i.e., the beginning and ending point of the k^{th} reflection skeleton, between the pool boundary and the skeleton $y_i = s_k(x_i)$ as $(x_i(1), y_i(1))$ and $(x_i(I_k), y_i(I_k))$. Denote $(x_i(i), y_i(i))$ ($1 \leq i \leq I_k$) as the i^{th} point of the skeleton. (The skeleton is a set of discrete points on the image plane.) Assume $(x_i(1), y_i(1), z_i(1))$ and $(x_i(i), y_i(i), z_i(i))$ are the points on the weld pool surface corresponding to $(x_i(1), y_i(1))$ and $(x_i(i), y_i(i))$, respectively. Their projections onto the yz plane are

$(x_i(1), y_i(1))$ and $(x_i(i), y_i(i))$, respectively. Also, the projections of $(x_i(1), y_i(1))$ and $(x_i(i), y_i(i))$ onto the y_i axis are $y_i(1)$ and $y_i(i)$.

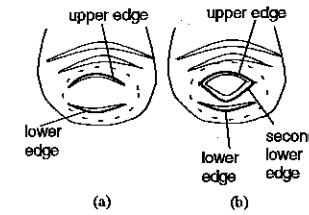


Fig. 7 Reflection modes at impacted zone. (a) open-contour mode. (b) closed-contour mode.

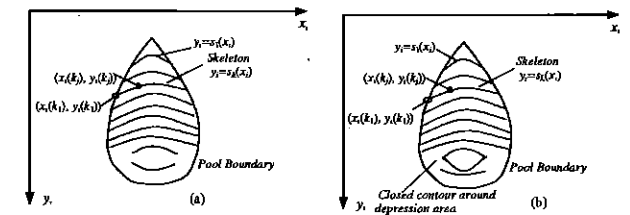


Fig. 8 Image features. (a) open-contour case. (b) closed-contour case.

In order to show that $-(y_i(i) - y_i(1))$ can provide abundant information for determining $z_i(i) - z_i(1)$, see Fig. 9. Assume that the slope of the weld pool surface along the y -axis does not change from $(x_i(1), y_i(1), z_i(1))$ to $(x_i(i), y_i(i), z_i(i))$. This assumption will be reasonable if the height of the weld pool surface does not significantly vary longitudinally and $y_i(i) - y_i(1)$ is small. (It can be shown that both the height variation along the y direction and the maximum $y_i(i) - y_i(1)$ are indeed small.) In this case, for the sake of discussion convenience, we will first assume the slope is zero. Thus, the geometrical relationship of the parameters of interest can be illustrated in Fig. 9A. It can be shown that:

$$\frac{z_i(l) - z_p}{y_i(l) - y_p} = \frac{z_i(l) - z_k}{y_i(l) - y_k} = \rho_{y_i}(l) \quad (l = 1, i) \quad (8)$$

The following are generated:

$$y_i(l) = \frac{1}{2} \left(\frac{z_p - z_k}{\rho_{y_i}(l)} + y_p + y_k \right), \quad z_i(k_j) = \frac{1}{2} \left(\frac{y_p - y_k}{\rho_{y_i}(l)} + z_p + z_k \right) \quad (l = 1, i) \quad (9)$$

Consequently,

$$z_i(i) - z_i(1) = \{(y_p - y_k) / 2\} \{\rho_{y_i}(i) - \rho_{y_i}(1)\} \quad (10)$$

Also, from $\rho_{y_i}(1) = \tan \alpha(1)$ and the angular relationship shown in Fig. 9A, the following can be obtained:

$$\tan(45^\circ - \alpha(l)) = y_i(l) / d = (1 - \rho_{y_i}(l)) / (1 + \rho_{y_i}(l)) \quad (l = 1, i) \quad (11)$$

where d is the distance from the pinhole to the image coordinate origin O_i . Thus, one can acquire the following equation:

$$\rho_{y_i}(i) - \rho_{y_i}(1) = \{2 / (1 + y_i(1) / d)(1 + y_i(i) / d)\} \{y_i(1) - y_i(i)\} \quad (12)$$

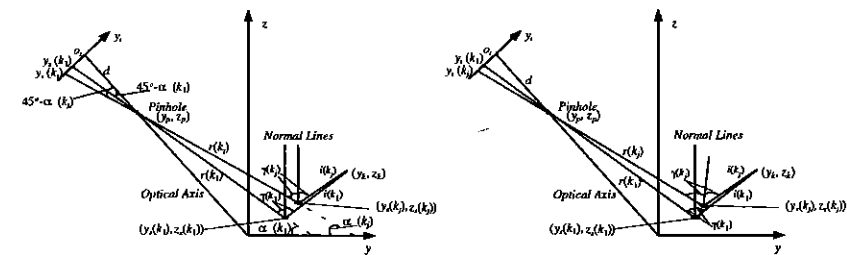


Fig. 9 Image coordinate difference and surface height variation. (a) zero surface slope (b) non-zero and changing slope. $i(k_j)$ ($l = 1, j$): incident rays with slope $\rho_{y_i}(k_j)$, $r(k_j)$ ($l = 1, j$): reflected rays with slope $-\rho_{y_i}(k_j)$, $\gamma(k_j)$ ($l = 1, j$): incident and reflection angles, d : distance between the pinhole and O_i .

Also, d is much larger than the size of the imaging plane. Thus,

$$z_s(i) - z_s(l) = -(y_k - y_p)(y_i(i) - y_i(l)) = -\gamma(y_i(i) - y_i(l)) \quad (13)$$

where $y_k = (y_{k0} + y_{k1})/2$ is the y coordinate of the central line of the k^{th} slit, and $\gamma = (y_k - y_p)$ is a positive constant for the addressed stripe. It can be seen that the height variation of the weld pool surface can be directly determined using the difference of their image coordinates.

When the slope is non-zero (see Fig. 9B), the following can be acquired:

$$y_s(i) = \frac{z_k - z_p + \rho_{xy}(i)y_p - \rho_{xy}(i)y_k}{\rho_{xy}(i) - \rho_{xy}(i)}, \quad z_s(i) = \frac{\rho_{xy}(i)\rho_{xy}(i)(y_k - y_p) + \rho_{xy}(i)z_p - \rho_{xy}(i)z_k}{\rho_{xy}(i) - \rho_{xy}(i)} \quad (14)$$

Since the slope of the surface along the y -axis can be assumed to be small, the accuracy of the approximation $\rho_{xy}(i) = -\rho_{xy}(i)$ will be sufficient to produce:

$$z_s(i) = (\rho_{xy}(i)(y_k - y_p) + z_p + z_k) / 2 + \delta \quad (15)$$

where

$$\delta = 0.5(y_k - y_p + z_p)(\rho_{xy}(i) - \rho_{xy}(i)) \quad (16)$$

is determined by the surface slope. Thus,

$$z_s(i) - z_s(l) = -((y_p - y_k) / 2)(\rho_{xy}(i) - \rho_{xy}(l)) + \delta \quad (17)$$

It can be seen that in this case, the surface height variation is determined by both the image coordinate difference $(y_i(i) - y_i(l))$ and the surface slope difference. However, when $(y_i(i) - y_i(l))$ is small, the surface slope difference must be very small. The surface height variation is again determined primarily by the image coordinate difference $(y_i(i) - y_i(l))$. As shown in Fig. 9B, $(y_i(i) - y_i(l))$ can at most reach the level of the height difference. This is a very small figure for the pool length direction. Significant surface slope difference in this range can not be expected in the non-impacted area in GTAW without filler. Thus, the image coordinate difference in an individual stripe can provide adequate information for estimating the surface height variation.

4.3 Adjacent stripes

It can also be shown that the distance of the image coordinate between two adjacent stripes can provide abundant information for the identification of the height difference. In this case, the incident rays come from different slits. Consider the k^{th} and $(k+1)^{\text{th}}$ slits. Denote $y_j = (y_{j0} + y_{j1})/2$ and $z_j = (z_{j0} + z_{j1})/2$ ($j = k, k+1$) (see Eq. (2)). Thus, the projections of the k^{th} and $(k+1)^{\text{th}}$ slits onto the yz plane will be (y_k, z_k) and (y_{k+1}, z_{k+1}) . The projections of the corresponding points on the weld pool surface are $(y_s(k), z_s(k))$ and $(y_s(k+1), z_s(k+1))$ (Fig. 10). It is known that the slit distance is small (1 mm) for our sensor. Also, the height of the weld pool surface does not quickly change along its major axis. Thus, it can be assumed that the slope of the surface along the y -axis does not change from $(y_s(k), z_s(k))$ and $(y_s(k+1), z_s(k+1))$ (Fig. 10). The following can be shown:

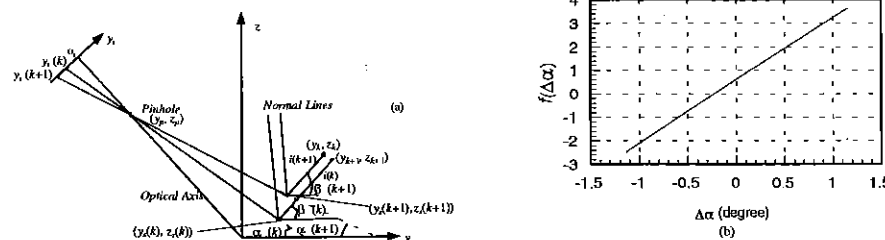


Fig. 10 Surface height difference between adjacent stripes. (a) geometrical relationship. (b) Height variation with coordinate difference. The surface slope is assumed to be non-zero. $f(\Delta\alpha) = z_s(k+1) - z_s(k)$ is the height difference. $\Delta\alpha$ is angular difference between the two reflected rays and determined by the image coordinates.

$z_p = 150\text{mm}$, $y_p = -150\text{mm}$; $y_k = 10\text{mm}$, $z_k = 10\text{mm}$; $y_{k+1} = 10-0.7\text{mm}$, $z_{k+1} = 10+0.7\text{mm}$; $\alpha(k) = 45^\circ + 6.0^\circ$, $\beta(k) = 45^\circ - 6.0^\circ$.

$$z_s(j) = (z_p \text{ctg}\alpha(j) + z_s \text{ctg}\beta(j) + y_p - y_j) / (\text{ctg}\alpha(j) + \text{ctg}\beta(j)) \quad (j = k, k+1) \quad (18)$$

Assume

$$\alpha(k+1) = \alpha(k) - \Delta\alpha \quad (19)$$

It can be shown that

$$\beta(k+1) = \beta(k) - \Delta\alpha \quad (20)$$

Thus,

$$z_s(k+1) - z_s(k) = \frac{z_p \text{ctg}(\alpha(k) - \Delta\alpha) + z_{k+1} \text{ctg}(\beta(k) - \Delta\alpha) + y_p - y_{k+1}}{\text{ctg}(\alpha(k) - \Delta\alpha) + \text{ctg}(\beta(k) - \Delta\alpha)} - \frac{z_p \text{ctg}\alpha(k) + z_k \text{ctg}\beta(k) + y_p - y_k}{\text{ctg}\alpha(k) + \text{ctg}\beta(k)} = f(\Delta\alpha) \quad (21)$$

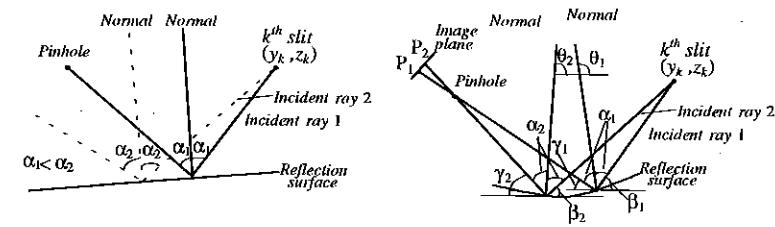
where f is a deterministic function for the given sensor configuration parameters and k , i.e., the height difference is only determined by $\Delta\alpha$ (Fig. 10B). Furthermore, it can be shown that $\Delta\alpha$ is solely determined by the image coordinate difference. Thus, the image coordinate difference between different slits include adequate information about the height variation of the weld pool surface in the non-impacted zone.

4.4 Impacted zone

Plasma jets can generate a significant impact on the weld pool. The weld pool is therefore depressed. Roughly speaking, the center of the impacted zone has the lowest point on the weld pool surface. From this center, the height of the weld pool surface increases along any direction. Thus, the slope of the weld pool surface changes its sign in the impacted zone. If the depression is significant, a laser stripe projected onto the impacted zone could develop into a closed contour stripe. Thus, two modes of the reflected laser from the impacted zone are encountered, i.e., open-contour or closed-contour (Fig. 7).

As has been observed and analyzed, the reflection at the impacted zone may no longer exhibit the pure stripe mode as it does in the non-impacted zone. In this case, the outline of the reflection as shown in Fig. 7 may be the only concern. This outline consists of the feature edges, i.e., two edges for the open-contour mode or three edges for the closed-contour mode. These feature edges are referred to as the upper edge, lower edge, and second lower edge, respectively (Fig. 7).

Extensive experimentation has shown that when the depression is shallow, the reflection at the impacted zone exhibits the open-contour mode. When the depression increases, the closed-contour occurs. Also, the shape of the closed-contour is directly determined by the depression. When the depression becomes significant, the maximum distance between the upper edge and second lower edge of the closed-contour increases. Hence, the distances between the upper edge and second lower edge to their adjacent stripes decrease when the symmetric axis of the weld pool is approached from the sides of the weld pool.



(a). flat surface. (b). non-flat surface.

Fig. 11 Closed-contour development.

The above observations on the reflection at the impacted zone can be sufficiently explained using the optical principle. Assume the contour is produced by the k^{th} slit. It is apparent that when the reflection surface is flat (Fig. 11A), among the rays dispersed from a point in the slit, only one ray can cross the pinhole to be imaged on the imaging plane. Because of the continuity of the points in the slit, the sensed reflection is therefore a continuous region. In this case, only the open-contour can be generated. When the closed-contour occurs, the image of the slit is segmented into two continuous regions. These two regions are produced by two regions of the slit. The region boundary point of the slit produces image points P_1 and P_2 (Fig. 11B). Because $\beta_1 > \beta_2$ and $\gamma_1 < \gamma_2$, θ_1 must be larger than θ_2 . Thus, the slopes of the corresponding surface points must be different. Also, it can be seen that the slope difference is directly determined by the difference between P_1 and P_2 . If the difference between P_1 and P_2 is large, the slope difference must also be large. In order to produce a large slope difference, a deep depression is required. Roughly speaking, the difference between P_1 and P_2 reflects the depression. Thus, when the

symmetric axis of the impacted area, which is a line parallel with the y -axis, is approached from the sides of the weld pool, the difference between P_1 and P_2 increases (Fig. 3B). If the depression is not significant enough, the difference between P_1 and P_2 will be too small to distinguish. In this case, no closed-contour will be observed.

4.5 Image features

It can be seen that the surface information is contained in the stripes. The stripes in the non-impacted zone can be represented by their skeleton (Fig. 8). The stripes at the impacted zone can be characterized by the upper and lower edges as defined in Fig. 7. The skeleton of the stripes in the non-impacted zone and outline edges at the impacted zone are referred to as the skeleton of the specular reflection. Thus, the skeleton of the specular reflection and pool boundary are selected as the image features and will be obtained by image processing.

5. IMAGE PROCESSING

5.1 Non-impacted zone

Each stripe is enveloped by its upper and lower edges (Fig. 6). These upper and lower edges must be detected. Define gradient $G_x(x, y) = g(x, y + 1) - g(x, y - 1)$ for the upper edge and gradient $G_y(x, y) = -(g(x, y + 1) - g(x, y - 1))$ for the lower edge search. Here $g(x, y)$ is the grayness at (x, y) . The following algorithm is proposed for the edge search: Assume $(x^{(0)}, y^{(0)})$ is given as the search initial point (Fig. 12A). The search direction could be either X -axis direction or negative X -axis direction. In the k^{th} ($k \geq 1$) search, the search initial is $(x^{(k-1)}, y^{(k-1)})$. The resultant $(x^{(k)}, y^{(k)})$ for the upper edge is defined by:

$$x^{(k)} = x^{(k-1)} + s, \quad y^{(k)} = \max_{y^{(k-1)-\delta} \leq y \leq y^{(k-1)+\delta}} G_y(x^{(k-1)}, y) \quad (22)$$

where $\hat{y}^{(k)}$ is the prediction to $y^{(k)}$, δ is a positive integer, and s is the search direction sign function. If the search direction is along the X -axis direction, the direction sign function $s = 1$. If the search is along the negative X -axis direction, the direction sign function $s = -1$. If $G_y(x^{(k)}, y^{(k)})$ is larger than the threshold $T_g^{(k)}$ and the search does not exceed the region, the $(k+1)^{\text{th}}$ will be performed. Otherwise, the dynamic search stops, and the search length K is the current k . The resultant edge is $(x^{(0)} + ks, y^{(k)})$ ($k = 0, 1, 2, \dots, K$) (Fig. 12A).

For the lower edges, the algorithm is similar. To implement this algorithm, the search initials, search regions, thresholding, result evaluation, etc. must be addressed. Their details have been addressed in [22].

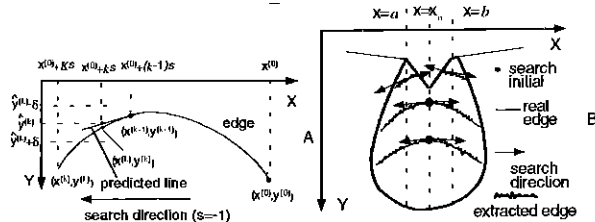


Fig. 12 Dynamic search for stripe edge. (a) iteration principle. (b) search initial and direction.

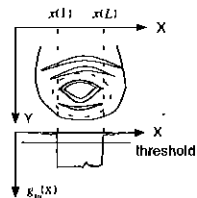


Fig. 13 Search range determination for edges at impacted zone

5.2 Impacted zone

An algorithm is proposed to detect the upper and lower edges (Fig. 7) in the impacted zone in three steps. In the first step, the possible stripe edge points are detected and the reflection mode is examined. Then the stripe edge points are segmented into a number of continuous lines. In the third step, the segments are used to construct the edges.

5.2.1 Edge detection:

The search range for the edges is defined by $(x(1), x(2), \dots, x(L))$ where $x(k) = x(1) - 1 + k$ ($k = 1, \dots, L$) (Fig. 13). To find this range, the maximum grayness $g_m(x)$ between the $(x, y^{(ml)}(x))$ and $(x, y^{(pb)}(x))$ is searched:

$$g_m(x) = \max_{y^{(ml)}(x) \leq y \leq y^{(pb)}(x)} g(x, y) \quad (23)$$

where $(x, y^{(pb)}(x))$ is the front edge point of the weld pool boundary (Fig. 6). The acquired curve is illustrated in Fig. 13. Because of the significant difference in the grayness between the dark area and reflection area, a grayness

threshold can be easily found to distinguish the reflection point from the non-reflection dark point. Thus, the range can be determined (Fig. 13).

Define

$$T_g^{(0)}(x) = 0.6 M_y(x, y^{(ml)}(x)) \quad (24)$$

and

$$n^{(0)}(m) = \sum_{x=x(1)}^{x(L)} f(x, y^{(ml)}(x) + m) \quad (25)$$

where

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{when } g(x, y) > T_g^{(0)}(x) \\ 0 & \text{when } g(x, y) \leq T_g^{(0)}(x) \end{cases}$$

It is known that the upper edge to be detected is convex despite the stripe mode. Because of this similarity in the shape, the change in the distance between $(x, y^{(ml)}(x))$ and $(x, y^{(ml)}(x) + m)$, i.e., $d(x) = |y^{(ml)}(x) - y^{(ml)}(x) + m|$, is slight.

Denote this region as $(m_1^{(0)} \leq d(x) \leq m_2^{(0)})$ (Fig. 14A). Define

$$N^{(0)}(m) = \sum_{k=1}^m n^{(0)}(k)$$

Thus, $N^{(0)}(m_2^{(0)})$ should reach L . To find the region, $m_2^{(0)}$ can be first determined using the following criterion:

$$m_2^{(0)} = \min_{M \in I^+} N^{(0)}(M) \geq T_N \quad (26)$$

where I^+ is the set of positive integers, and T_N is a positive integer threshold. Ideally, one should select $T_N = L$. However, small unmolten impurity particles may exist on the weld pool surface. The reflection may be influenced slightly. To raise the robustness of the algorithm, $T_N = 0.9L$ has been selected. Fig. 14B shows the principle of the above operation. Once $m_2^{(0)}$ is acquired, $m_1^{(0)}$ can then be determined employing the equation below:

$$m_1^{(0)} = \min_{1 \leq m \leq m_2^{(0)}} m: n^{(0)}(m) \geq 1 \quad (27)$$

The resultant $m_1^{(0)}$ is also illustrated in Fig. 14B. In Fig. 14C, the extracted upper edge points are illustrated.

If the second lower edge appears, the lower edge may lie in its neighborhood (Fig. 3). The image analysis tends to be complicated. To analyze the image, the stripe mode, i.e., open-contour or closed-contour, should be determined.

Denote

$$T_g^{(1)}(x) = 0.6 M_y(x, y^{(ml)}(x)) \quad (28)$$

Define the function

$$n^{(1)}(m) = \sum_{x=x(1)}^{x(L)} f(x, y^{(pb)}(x) - m) \quad (29)$$

where

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{when } g(x, y) > T_g^{(1)}(x) \\ 0 & \text{when } g(x, y) \leq T_g^{(1)}(x) \end{cases}$$

Select $m_2^{(1)}$ by the following equation:

$$\min_{x(1) \leq x \leq x(L)} |y^{(pb)}(x) - m_2^{(1)}| = \max_{x(1) \leq x \leq x(L)} |y^{(ml)}(x) + m_2^{(1)}| \quad (30)$$

If the closed-contour has been developed, the second lower edge will be close to the lower edge. The sum $N^{(1)}(m_2^{(1)}) = \sum_{m=1}^{m_2^{(1)}} n^{(1)}(m)$ will be close to $2L$, rather than L . Because of the significant difference in the sum, $N^{(1)}$ can be used to classify the reflection mode reliably, despite possible image noise and imperfection. If $N^{(1)}(m_2^{(1)}) \leq 1.5L$, the mode is open-contour. Otherwise, the closed-contour exists.

5.2.2 Segmenting:

Denote the resultant upper edge points by $(upperx[i], uppery[i])$ ($i = 1, \dots, I^{(u)}$). Here the log i increases with the y if more than one upper edge point exists at the same x coordinate. Also, i increases with x . Similarly, the points of the lower edges, which include the second lower edge in the case of closed-contour mode, are denoted by $(lowerx[i], lowery[i])$ ($i = 1, \dots, I^{(l)}$).

Select $(upperx[1], uppery[1])$ as the initial point for segmenting the upper edge points. Assume that the current edge point is $(upperx[k], uppery[k])$. Denote

$$d_i = |uppery[k] - uppery[i]| + |upperx[i] - upperx[k]| \quad (i = k+1, \dots)$$

If

$$d_i = \min d_i < d_{max} \quad (i = k+1, \dots),$$

$(upperx[i], uppery[i])$ and $(upperx[k], uppery[k])$ are considered to be the same segment. (Here the positive integer d_{max} is the continuity threshold, i.e., the maximum allowed distance between two adjacent points of a continuous segment.) In this case, let $k=i$. The search for the remaining portion of the current segment continues. Otherwise, $(upperx[k], uppery[k])$ is recognized as the ending point of the current segment and a new segment is searched. Before $(upperx[i^{(w)}, uppery[i^{(w)}])$ is reached, $(upperx[k+1], uppery[k+1])$ is used as the initial point for the new segment. If $(upperx[i^{(w)}, uppery[i^{(w)}])$ is reached, all the upper edge points must have been scanned once. This is referred to as the first scanning (Fig. 15). In the first scanning, some points in $(upperx[i], uppery[i])$'s may not be contained in any of the segments (Fig. 15). If such points exist, the second scanning will be performed. The initial point will be the one with the least log i in such points. The points which have been contained in the extracted segments in the first scanning are also used in the second scanning. (However, these points can not be used as the initial points.) Thus, the scanning can be performed until all the upper edge points are contained in at least one segment (Fig. 15).

For the points of the lower edges, the segmenting can be completed similarly despite the stripe modes.

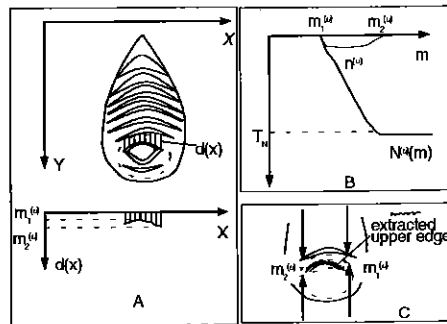


Fig. 14 Illustration of the upper edge detection at impacted zone. A-Edge shape similarity. B-Region determination. C-Resultant edge points.

5.2.3 Recognition:

Assume that $S_k^{(u)}$ ($k=1, \dots, K^{(u)}$) and $S_k^{(l)}$ ($k=1, \dots, K^{(l)}$) are the resultant candidate segments for the upper edge and lower edges, respectively. To determine the final reflection pattern at the depressed area, the shape credits of the candidate segments are first calculated. The shape credit $c_s(k)$ of candidate segment k can be calculated using the second-order derivatives. It is known that the upper edge should have a positive second-order derivative, whereas the lower edges should have negative second-order derivatives in the image coordinate system. If the second-order derivative is larger than 0 at a point of the considered segment, the shape credit will be increased by 1. For 0 or negative second-order derivative, the shape credit will be increased by 0 and -1, respectively.

Consider the upper edge. If the shape credit is negative, the segment is deleted from the candidate segments. In the remaining segments, the longest segment is first used to fit the following model:

$$y = \sum_{j=0}^p \beta(j)x^j \quad (31)$$

where $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^T$ is the model parameter vector, and p is the order. The parameters can be identified using the standard least squares algorithm. Once the parameters are identified using the points of the longest segment,

the succeeding longest segment is added to fit a new model. In order to do this, an algorithm must be developed to calculate the new parameters with a slight increase in the computation for the purpose of the on-line implementation. Also, a criterion is needed to determine the acceptance or rejection of the added segments. Thus, an identification approach has been proposed to select the added segment and acquire the new parameters. By using the proposed identification approach, the upper edge segments have been successfully selected.

It is apparent that the lower edge can also be acquired similarly if the open-contour mode is encountered. In the case of the closed-contour mode, the longest segment is selected first. Then the second longest segment is compared with the longest segment in terms of the horizontal region. If overlapping exists between these two regions, the first and second longest segments must be on different edges. They can be taken as the initial segments for the two lower edges, respectively. Otherwise, the horizontal regions of the longest and succeeding longest segments are examined until the overlapping is encountered. Thus, the initial segments for the two lower edges can be acquired. If the new segment can reduce the modeling error for any edge, the segment is accepted to the corresponding edge. Otherwise, the segment is deleted.

By using the proposed image processing algorithms, the image features have been successfully extracted (Fig. 16). More details can be seen in [22].

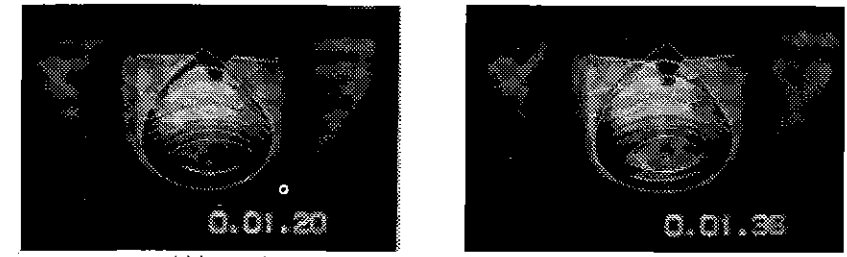


Fig. 16 Processed images.

6. POOL SURFACE CALCULATION

The difficulty in calculating the surface from the image features is caused by the coupling between the surface height and slope. To solve this problem, an iterative algorithm can be used. First, a flat surface can be assumed. Based on this assumed surface, the slope corresponding to each stripe point on the image can be calculated using the reflection law. The calculated slopes can be further used to fit a surface if additional boundary condition is available. If the estimated slopes are more accurate than zero, the fitted surface will be a more accurate estimate of the weld pool surface than the flat surface. Using the heights associated with the fitted surface, the slopes can be calculated again based on the reflection law. The new estimate of the surface can therefore be acquired. Thus, a surface series can be acquired. If the surface series converges, the resultant surface will be an accurate estimate of the weld pool surface. It has been assumed that the slopes calculated using the initial flat surface are more accurate than the zero slopes associated with the initial flat surface. Thus, the new surface will be a more accurate estimate of the weld pool surface than the flat surface. Using this more accurate surface, the slopes can be calculated more accurately than by using the flat surface. Hence, the surface estimate will converge to the actual weld pool surface, and accurate weld pool surface can be acquired.

An algorithm has been developed to implement the above iterative calculation for the weld pool surface [18]. However, one second is required for the current algorithm. This speed is not sufficient for the real-time implementation. Currently, the algorithm is being optimized and implemented on an advanced image processing system. It is expected that the weld pool surface will be calculated at 5 Hz which could be recognized as real-time in most applications.

7. CONCLUSIONS

The proposed system can sense the deformation of the weld pool despite the strong arc and mirror-like pool surface. The sensing principle can be exactly described using the mathematical model derived from the reflection law. Utilizing the mathematical model, the image corresponding to an assumed surface can be determined based on the surface model and sensor parameters. The deformation of the stripes reflect the deformation of the weld

pool surface. Especially, the contour modes, open-contour or closed-contour, are directly determined by the degree of the depression, and therefore by the plasma impact. Although the sensing principle is clear, no explicit models exist for directly calculating the weld pool surface from the image features. To solve this inverse problem, an iterative algorithm has been proposed. However, the calculation speed is reduced. Currently, one second is needed to obtain the weld pool surface from the acquired image. An investigation is being done to promote the speed to 5 Hz in order to apply this technique in real-time sensing and control.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by the National Science Foundation under contract DMI-9414530.

REFERENCES

1. Rokhlin, S. I., and Guu, A. C., 1993. A study of arc force, pool depression, and weld penetration during gas tungsten arc welding. *Welding Journal*, 72(8): 381s-390s.
2. Lin, M. L., and Eagar, T. W., 1983. Influence of surface depression and convection on arc weld pool geometry. *Transport Phenomena in Material Processing*, ASME PED 10, Edited by M. M. Chen, J. Mazumder, and C. L. Tucker III, November 13-18, pp. 63-69.
3. Lin, M. L., and Eagar, T. W., 1985. Influence of arc pressure on weld pool geometry. *Welding Journal*, 64(6): 163s-169s.
4. Renwick, R. J. and Richardson, R. W., 1983. Experimental investigation of GTA weld pool oscillations. *Welding Journal*, 62(2): 29s-35s.
5. Zacksenhouse, M. and Hardt, D. E., 1983. Weld pool impedance identification for size measurement and control. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, 105(3): 179-184.
6. Xiao, Y. H. and Ouden, G. den, 1993. Weld pool oscillation during GTA welding of mild steel. *Welding Journal*, 72(8): 428s-434s.
7. Nagarajan, S., Banerjee, P., Chen, W., and Chin, B. A., 1992. Control of the welding process using infrared sensors. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 8(1): 86-93.
8. Chen, W. and Chin, B. A., 1990. Monitoring joint penetration using infrared sensing techniques. *Welding Journal*, 69(4): 181s-185s.
9. Cannon, I., Maram, J., and Smith, M., 1987. Weld penetration sensor for an experimental welder. *Transactions of NAMRC/SME*, Vol. XV.
10. Zhang, Y. M., et al., 1993. Determining joint penetration in GTAW with vision sensing of weld face geometry. *Welding Journal*, 72(10): 463s-469s.
11. Zhang, Y. M., Kovacevic, R., and Li, L., 1996. Adaptive control of full penetration GTAW welding, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 4(4), July.
12. Zhang, Y. M., Kovacevic, R., and Wu, L., 1996. Dynamic analysis and identification of gas tungsten arc welding process for weld penetration control. *ASME Journal of Engineering for Industry*, 118(1): 123-136.
13. Rokhlin, S. I., Cho, K., and Guu, A. C., 1989. Closed-loop process control of weld penetration using real-time radiography. *Material Evaluation*, 47: 363-369.
14. Guu, A. C., and Rokhlin, S. I., 1989. Computerized radiographic weld penetration control with feedback on weld pool depression. *Material Evaluation*, 47: 1204-1210.
15. Kovacevic, R. and Zhang, Y. M., 1996. Apparatus and method for measuring 3-D weld pool shape. *U. S. patent, # 5,481,085*, January 2.
16. Kovacevic, R., Zhang, Y. M., and Ruan, S., 1995. Sensing and control of weld pool geometry for automated GTA welding; *ASME Journal of Engineering for Industry*, 117(2): 210-223.
17. Klein, M. V., and Furtak, T. E. 1986. Optics. John Wiley & Sons, Chp3, New York.
18. Kovacevic, R. and Zhang, Y. M., 1996. Sensing free surface of arc weld pool using specular reflection: principle and analysis, Proc Instn Mech Engrs, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 210, to appear.
19. Kovacevic, R., and Zhang, Y. M., 1995. Machine vision recognition of weld pool in GTAW, Proc Instn Mech Engrs, Part B: *Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 209, pp. 141-152.
20. Hoffman, T., 1991. Real-time imaging for process control, *Advanced Material & Processes*, 140(3): 37-43.
21. Dawson-Howe, K. M., and Vernon, D., 1994. Simple pinhole camera calibration, *International Journal of Imaging Systems and Technology*, Vol. 5, pp. 1-6.
22. Kovacevic, R. and Zhang, Y. M., 1996. Real-time image processing for monitoring of free weld pool surface. *ASME Journal of Engineering for Industry*, to appear, 118(4), 1996.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Avramov dr Živko*

ENTROPIJA PROIZVODNOG SISTEMA I ENTROPIJSKO PRIGUŠENJE

Rezime

U radu se daje jedan prilaz spoznaji ponašanja sistema definisanjem njegove mere neodređenosti (entropije) u vremenu funkcionisanja. Prikazane su relacije za entropiju elementa procesa rada. Izvedene relacije za entropiju definišu neodređenost samo u određenom trenutku. Zbog toga je uveden pojam entropijskog prigušenja kao integrala entropije u vremenu posmatranja. Entropijsko prigušenje pruža kompleksnu sliku neodređenosti, dezorganizovanosti elemenata procesa rada, kao i čitavog proizvodnog sistema.

1. UVOD

U teoriji, a posebno u praksi, organizacije i upravljanja složenim sistemima, ne retko se koriste sintagme "bolja organizacija" ili "lošija organizacija". U kontekstu datih iskaza ovakve kvalifikacije odnose se na globalne kvalitativne karakteristike sistema koje govore o boljoj ili slabijoj uspešnosti ostvarivanja cilja egzistencije sistema.

Posredstvom entropije i entropijskog prigušenja, u radu je dat jedan prilaz kvantifikaciji organizovanosti sistema, preko relacija za klasu proizvodnih sistema.

2. POJAM ENTROPIJE I ENTROPIJSKOG PRIGUŠENJA

Entropija predstavlja meru neodređenosti eksperimenta, složenog eksperimenta sistema. Relacija za određivanje entropije dobijena je iz uslova ispunjenja niza restriktivnih zahteva i ima oblik:

$$H(A) = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (1)$$

* Avramov, dr Živko, Viša poslovna škola - Novi Sad, Bul. Kralja Petra I br. 38/III

gde je:

- p_i - verovatnoća i -tog ishoda eksperimenta "A",
- n - broj mogućih ishoda eksperimenta "A".

Entropija složenog eksperimenta može se odrediti na osnovu relacije (1), kada se odrede svi mogući ishodi složenog eksperimenta i njihove verovatnoće (s_i). Takođe, entropija složenog eksperimenta se može odrediti na osnovu entropija (uslovnih) eksperimenata činilaca i iznosi:

$$H(S) = H(A_1) + H(A_2/A_1) + H(A_3/A_1A_2) + \dots + H(A_i/A_1 \dots A_{i-1}) \quad (2)$$

gde je:

$H(A_i/A_1 \dots A_{i-1})$ - uslovna entropija eksperimenta A_i po realizaciji eksperimenata $A_1 \dots A_{i-1}$.

Entropija sistema se određuje na osnovu relacije za entropiju složenog eksperimenta, kada su eksperimenti činioči, atributi relativnog ponašanja sistema.

- Osnovne osobine entropije (eksperimenta, složenog eksperimenta i sistema) su:
- entropija je negativna veličina,
 - entropija eksperimenta zavisi od verovatnoće ishoda i maksimalna je kada je verovatnoća uniformna,
 - entropija eksperimenta je veća ukoliko je broj mogućih ishoda veći pri istoj raspodeli verovatnoća ishoda,
 - entropija sistema je konačna veličina ukoliko je broj atributa relativnog ponašanja konačan.

Navedene osobine je lako formalno dokazati (na osnovu relacija (1) i (2)) i u skladu su sa logikom merenja neodređenosti.

Verovatnoću ishoda moguće je odrediti u vremenu kada je poznata relacija:

$$p_i = f(t), \quad (3)$$

pri čemu u svakom trenutku "t" važi:

$$\sum_1^n p_i(t) = 1. \quad (4)$$

Tada se i entropija eksperimenta, složenog eksperimenta i sistema može odrediti u vremenu:

$$H_A(t) = - \sum_1^n p_i(t) \ln p_i(t). \quad (5)$$

Medjutim, kako je na osnovu relacije (5) moguće odrediti neodređenost navedenih kategorija samo u određenim vremenskim preseccima, a za potrebe analize dezorganizovanosti (ili organizovanosti kao komplementarne kategorije) potrebno je sagledati neodređenost u vremenskom intervalu, uvodi se nova veličina, *entropijsko prigušenje*, koja je definisana relacijom:

$$P(t) = \int_0^t H(t) dt \quad (6)$$

Entropijsko prigušenje kvantifikuje neodređenost (dezorganizovanost) eksperimenta, složenog eksperimenta i sistema.

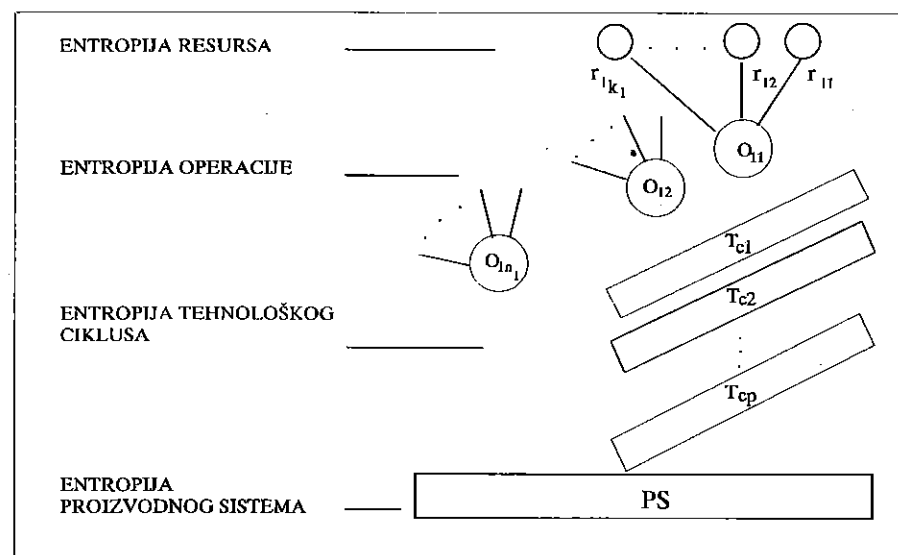
Osnovne osobine entropijskog prigušenja su:

- nenegativnost,
- konačnost (ukoliko su eksperimenti ili eksperimenti činioči konačni), i
- entropijsko prigušenje je neopdajuća funkcija vremena.

3. PRIKAZ ODREĐIVANJA ENTROPIJE I ENTROPIJSKOG PRIGUŠENJA

3.1 Osnovni prilaz

Osnovni prilaz određivanju entropije i entropijskog prigušenja dat je na slici 1.



Slika 1. Prikaz određivanja entropije i entropijskog prigušenja proizvodnog sistema

3.2 Entropija i entropijsko prigušenje potrebnog resursa za izvodjenje operacije u vremenu

Potrebni resursi za izvodjenje operacije mogu biti:

- materijal,
- alat,
- oprema,
- energija,
- dokumentacija itd.

Za svaki od potrebnih resursa moguće je definisati verovatnoću da će resurs u projektovanom početku izvođenja operacije biti na određenom radnom mestu i u toku tehnološkog vremena izvođenja operacije biti u tolerantnoj zoni svoje funkcije cilja. Kada se verovatnoća opisanih ishoda označi sa $V_{ri}(t)$, tada je zbir verovatnoća drugih, nepovoljnih ishoda $(1 - V_{ri}(t))$. Entropija i entropijsko prigušenje resursa iznose:

$$H_{ri}(t) = -\sum V_{ri}(t) \ln V_{ri}(t) \quad (7)$$

$$P_{ri}(t) = \int_0^t H_{ri}(t) dt \quad (8)$$

gde je:

$V_{ri}(t)$ - verovatnoća da će i-ti resurs biti u projektovanom vremenu početka izvođenja operacije na određenom radnom mestu i da će u toku stvarnog vremena trajanja opracije (uzimajući u obzir otkaze drugih resursa) biti u tolerantnoj zoni svoje funkcije cilja, a određuje se na osnovu relacije*:

$$V_{ri}(t) = 1 - \frac{\delta t_i}{T_0 \frac{a_i}{u_0}} \quad (9)$$

gde je:

δt_i - vreme zastoja zbog zastoja i-tog resursa,

T_0 - stvarno vreme trajanja operacije,

a_i - prosečno potreban rad za otklanjanje zastoja zbog otkaza i-tog resursa,

u_0 - raspoloživ, jedinični upravljački rad.

3.3 Entropija i entropijsko prigušenje izvođenja opracije u vremenu

Na osnovu relacije (2), (6) i (7) entropija i entropijsko prigušenje izvođenja opracije dato je relacijama:

$$H_0(t) = \sum_1^{n_i} H_{ri}(t) \quad (10)$$

i

$$P_0(t) = \int_0^t H_0(t) dt \quad (11)$$

3.4 Entropija i entropijsko prigušenje izvođenja tehnološkog ciklusa u vremenu

Na osnovu relacija (2), (6) i (10) entropija i entropijsko prigušenje izvođenja tehnološkog ciklusa iznosi:

* Detaljno o izvođenju relacije (9), u [1], strana 117 ÷ 124.

$$H_{ic}(t) = \sum_1^k H_{oi}(t) \quad (12)$$

$$P_{ic}(t) = \int_0^t H_{ic}(t) dt \quad (13)$$

3.5 Entropija i entropijsko prigušenje proizvodnog sistema u vremenu

Na osnovu relacija (2), (6) i (12) entropija i entropijsko prigušenje proizvodnog sistema iznosi:

$$H_{ps}(t) = \sum_1^k H_{ic}(t) \quad (14)$$

$$P_{ps}(t) = \int_0^t H_{ps}(t) dt \quad (15)$$

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan poseban pristup kvantifikaciji neodređenosti (dezorganizovanosti), odnosno određenosti (organizovanosti) proizvodnih sistema. Osnovna podloga za prikazani pristup jeste razvoj relacija za entropiju i entropijsko prigušenje elemenata procesa rada proizvodnog sistema (resursa, opracije i tehnološkog ciklusa) u vremenu. Date relacije, kao i relacije za određivanje entropije i entropijskog prigušenja proizvodnog sistema, daju mogućnost razvoja posebnog (entropijskog) prilaza izučavanju ponašanja složenih proizvodnih sistema.

LITERATURA

- [1] Avramov dr Živko, Prilog istraživanju stabilnosti i osetljivosti složenih proizvodnih sistema, Doktorska disertacija, Novi Sad, 1995.
- [2] Arora R.N., O karakteristikama nekih generalizacija Meneove entropije, Department of mathematics, New delhi, 1980.
- [3] Jagloi A., Jagloi I., Verovatnoća i informacija, Nauka, Moskva, 1973.

Summary

An approach to comprehension of behaving the system by defining its measure of indefiniteness (entropy) with in the operating time, is given in this work. The relations for the entropy of the elements of working process have been showed. The derived relations define the indefiniteness of observed category at a definite moment only. That is why a concept of entropic deadening has been introduced, as an integral of entropy in time observing. The entropic deadening gives a cor:lex illustration of the elements of working proces, and entire producing system as well.

Иван Григорьевич Грабар,
Петр Петрович Мельничук,
Борис Николаевич Цифрак

Термоактивационная модель ускоренных сертификационных испытаний сварных соединений

Обширные экспериментальные данные, накопленные к настоящему времени в прочностной сертификации сварных соединений, нуждаются в едином методологическом подходе с целью создания:

- достоверных методов испытаний;
- универсальностью баз данных;
- универсальных методов прогноза служебно-прочностных свойств.

Общепризнанные методики испытаний сварных соединений допускают получение экспериментальных данных в неинвариантных условиях, что затрудняет их использование в экспертных системах и базах данных. В частности, для описания предельной поверхности в пространстве "температура - время - напряжение" наиболее часто используется стационарное или нестационарное уравнение Журкова в виде [1,2]:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT} \quad (1)$$

(1) является физически обоснованным, достаточно универсальным и предельно простым для инженерных расчетов.

Ранее была предложена синергетическая модель разрушения, позволяющая получить аналитическую зависимость энергии активации [3]:

$$U_0 \approx k \cdot T_s \cdot \ln \frac{1}{\tau_0} \quad (2)$$

Однако, для прогноза служебно-прочностных свойств сварных соединений при помощи (1) нужно относиться с определенной долей осторожности, т.к. только при выполнении условий [4]

$$\sigma(t) = \text{const}; \quad T(t) = \text{const} \quad (3)$$

между параметрами $\{\sigma, T, \tau\}$ существует универсальная связь в виде (1). Чем больше отклонение в (3) от стационарных значений, тем больше погрешность прогнозируемых значений долговечности (1).

Между тем традиционные испытания на длительную прочность при постоянных температуре и внешней нагрузке и на кратковременную прочность при постоянных температуре и скорости деформирования не являются стационарными и к ним не применимо уравнение (1) без предварительного приведения (пересчета) к стационарным условиям.

Ставилась задача на основе представлений термоактивационного анализа для нестационарных процессов получить набор экспериментальных констант для различных условий испытаний сварных соединений, объединить их в универсальную базу данных с минимальным числом инвариантных констант.

Ранее было показано [4], что большинство встречающихся в прочностной сертификации нестационарных задач могут быть сведены к квазистационарным условиям. При этом в (1) вместо σ и T следует использовать их эквивалентные значения σ_s и T_s .

Особый интерес при сертификационных испытаниях сварных конструкций вызывает возможность использования испытаний на короткой временной базе (в пределах 0,2...10 часов) для экспресс-прогноза длительной прочности.

Например, если воспользоваться традиционными испытаниями на кратковременную прочность при постоянной скорости деформирования и воспользоваться параболическим приближением [4]

$$\frac{\sigma}{\sigma_B} = \left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right)^m, \quad (4)$$

то это даст возможность получить приближенное значение:

$$\sigma_s \approx \sigma_B \left(1 - \beta^{-1} \ln \frac{\beta}{m}\right), \quad (5)$$

где

$$\beta = \frac{\gamma \sigma_B}{kT}$$

Этот подход позволяет получить рекуррентное соотношение для оценки активационного объема γ в уравнении Журкова для прогноза длительной прочности сварных соединений:

$$\gamma = \frac{U_0 - kT \cdot \ln \frac{\delta}{\varepsilon \tau_0}}{\sigma_B (1 + \delta) \left[1 - \beta^{-1} \ln \frac{\beta}{m}\right]}. \quad (6)$$

Хотя (6) и является рекуррентным, (γ входит в множитель β), обычно вследствие сильной нелинейности $S\gamma < 0,2\%$ уже после 3-4 итераций, т.е. сходится более чем быстро.

Для более оперативной оценки активационного объема нами построены номограммы для ряда конструкционных и нержавеющих сталей. Анализ данных номограмм показал, что основное возбуждение в (6) вносит энергия активации. Отдельно исследовалась устойчивость энергии активации по отношению к химическому составу основного материала, зоны термического влияния и примесей.

Наш анализ показал, что примерно для 60% конструкционных и общемашиностроительных сталей, выпускаемых и используемых в Украине, это влияние незначительное, и им можно пренебречь, если концентрация каждой из компонент не превышает C_i^{lim} (табл.)

Предельные значения примесных атомов, не нарушающих условий автомодельности в сталях

Примесь	C_i^{lim} , вес%
Бор	0,087
Бериллий	0,099
Водород	0,13
Углерод	0,33
Кислород	0,80
Фосфор	1,29
Цинк	1,31
Кремний	1,57
Сера	3,40
Титан	4,31
Цирконий	4,63
Ниобий	4,92
Никель	6,57
Марганец	7,41
Церий	8,12
Медь	10,14
Алюминий	14,56
Хром	19,27
Молибден	21,24
Вольфрам	32,1

При этом отклонение энергии активации не превышает $\pm 1,6\%$ от среднего значения. При совместном воздействии n примесей достаточно удовлетворительно работает правило линейного сложения воздействия примесей:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_i^{lim}} \leq 1. \quad (7)$$

Таким образом, для всех групп сплавов, для которых выполняются (2) - (7), прогнозирование служебно-прочностных свойств сварных соединений и, в частности, длительной прочности (без учета стадии роста трещины) по нашей методике можно в пределе проводить по двум - трем кривым формирования стандартных испытаний на кратковременную прочность при постоянных скорости деформирования и температуре.

Предлагаемая методология экспресс-прогноза длительной прочности сварных соединений включает пять основных этапов:

1. Анализ химического состава свариваемых материалов, шва и зоны термического влияния и проверка выполнения (7). Если (7) выполняется, расчет длительной прочности существенно упрощается.
2. Проведение кратковременных испытаний образцов - отдельно трех зон - основного металла (ОМ), шва (Ш) и зоны термического влияния (ЗТВ) в широком диапазоне температур и скоростей нагружения (в случае невыполнения (7), причем обязательно испытания провести при $T = T_{экспл}$; $T_{экспл} \pm 50$; $T_{экспл} \pm 100$; где $T_{экспл}$ - температура эксплуатации сварного шва. Скорости нагружения желательнее использовать $10^{-2}c^{-1}$; $10^{-3}c^{-1}$; $10^{-4}c^{-1}$.

В случае выполнения (7) достаточно испытать хотя бы по 2 образца из каждой зоны при $\varepsilon \approx 10^{-3} c^{-1}$ и температурах $T_0; T_0+100$.

3. Провести аппроксимацию кривых деформирования зависимостью (4). Из наших экспериментальных данных наиболее устойчиво для сталей $m \approx 0.5$.
4. Определяем энергию активации и активационный объем отдельно для каждой из зон сварного соединения по (2) и (6) соответственно.
5. Определяем длительную прочность для эксплуатационного уровня напряжений по соотношению (1) для каждой из зон, и в качестве прогнозируемой долговечности принимаем наименьшее из значений.

Проведенные нами эксперименты показали:

1) что данная методология позволяет добиться достоверности экспресс-прогноза длительной прочности сварных соединений с достоверностью, не хуже 0,94 по логарифму долговечности;

2) достоверность прогноза длительной прочности существенно выше, когда изображающая точка попадает на вторую ветвь кривой Ларсен - Миллера [1]

($T \geq 300K, \tau > 100 \dots 1000$ часов);

3) если вторые участки диаграммы Ларсен - Миллера описывать линейными уравнениями

$$\sigma = A - B \cdot (T \lg \tau),$$

то для сталей выполняется автомодельное соотношение:

$$A = 11,25 + 18279,01 \cdot B, \quad r \approx 0,960,$$

что может быть использовано как дополнительное условие экспресс-прогноза длительной прочности сварных соединений.

Литература:

1. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел.- М.: Наука.-1974.
2. Геминев В.Н. Ползучесть металлов и сплавов.-М.: ВИАТИ. -1984.
3. Грабар И.Г. Термоактивационный анализ разрушения ОЦК и ГЦК металлов.- Изв.АН СССР. Металлы.- 1989.№3
4. Грабар И.Г. Термоактивационный анализ и точки бифуркации пластического деформирования и разрушения ОЦК и ГЦК металлов.- Автореферат диссертации доктора технических наук.-Киев: КПИ.-1993.-40 с.



P. Ivanović, D. Trifunović, V. Kalanović*

ANALIZA INTERAKCIJA U PROSTORU STANJA POSLOVNO-PROIZVODNIH SISTEMA KAO OSNOV MOGUĆEG PRILAZA ZA GRADNJU STRATEGIJE EFIKASNOG RADA

Rezime

Tokovi tehničkih, ekonomskih i društvenih procesa u gotovo svim realnim poslovno-proizvodnim sistemima uopšte, a posebno u našim nacionalnim okvirima, se odvijaju u vrlo složenim uslovima kao posledica brojnih interakcija, kako unutar celine sistema tako i iz okoline koja ih okružuje. Radi se u opštem slučaju o tipovima nelinearnih dinamičkih sistema sa stalnom karakteristikom stohastičnosti, što sve ukupno izuzetno otežava procese projektovanja, analize i njihovog upravljanja prema domenima željenih tehnno-ekonomskih efekata. Ovim saopštenjem se, kroz pokazanu metodologiju, ukazuje na realnu mogućnost izgradnje jedinstvene teorijsko-praktične osnove za efikasno rešavanje brojnih problema u ovoj oblasti.

1 UVODNE NAPOMENE

Sadašnji trenutak našeg privrednog razvoja zahteva da se ukupno sagledaju, utvrde i aktiviraju sve rezerve, a naročito rezerve u oblasti proizvodnosti rada svih vrsta, kao zbirnog pokazatelja ukupne efikasnosti privređivanja i otvaranja procesa stalnog rasta nacionalnog dohotka kao osnovnog cilja kome se teži.

Mora se, međutim, pri svemu tome imati u vidu da je povećanje efikasnosti u domaćim sistemima veoma složeno i krajnje teško, naročito u slučajevima velikih i kompleksnih poslovno-proizvodnih sistema. Teškoće su, pre svega, vezane za činjenicu da se procesi u ovim sistemima odvijaju u krajnje složenim uslovima kao posledica brojnih interaktivnosti: unutar pojedinih delova (podsistema), između podsistema u okviru celine sistema i okoline koja okružuje celinu sistema.

Radi se dakle, u opštem slučaju, o potrebama izučavanja visoko kompleksnih sistema tj. višedimenzionalnih sistema sa velikim brojem koordinata: "ulaza", "stanja", "ograničenja", "poremećaja" i "izlaza". U matematičkoj interpretaciji to su n-dimenzionalni (hiper) prostori sa nedovoljnim poznavanjem strukture i zakonitostima ponašanja.

U takvim okolnostima, realizacija krajnje složenih zadataka u ovom domenu u našim domaćim okvirima se odvija na vrlo različitim nivoima, od nažalost pretežno vrlo niskih, do pojedinačno relativno zadovoljavajućih. U mnogim domenima analize projektovanja, a naročito upravljanja sistema previše je prisutan element intuicije čak i u onim slučajevima kada to nebi smelo. Pri tome, intuitivne odluke, koje najčešće nisu plod potrebnih znanja i iskustva, vode sistem daleko od optimuma a često puta i u pogubnom pravcu.

* mr Petar Ivanović dipl. ing. maš, prof.

mr Dragan Trifunović dipl. ing. maš, prof.

mr Verica Kalanović dipl. ing. teh, v. pred.

Viša tehnička mašinska škola - Trstenik, R. Krstića 19 tel (037) 714-121

Zbog svega napred navedenog, a u cilju da se naši poslovno-proizvodni sistemi i privreda u celini konačno usmere na trasu efikasnog privređivanja i rasta nacionalnog dohotka kao glavnog cilja svake nacionalne ekonomije, neophodna je nova filozofija razmišljanja, ponašanja i rada uz primenu najnovijih tehnologija i metoda razvijenih zemalja Zapada.

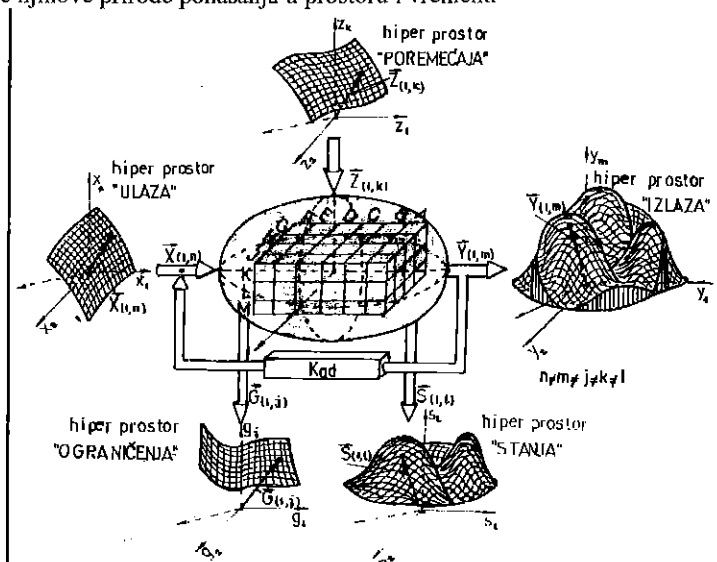
U vezi sa tim, na osnovu dostignutog razvoja u ovoj oblasti u sveti i kod nas, kako u teoriji tako i u praksi a posebno dugogodišnjeg istraživačkog rada autora ovog saopštenja, koncipiran je metod "TSS-SCAN" za efikasno proučavanje strukture sistema u cilju analize interakcija kao osnove za gradnju efikasne strategije rada i stalnog povećanja kvaliteta rada. Primenjena metodologija je zasnovana na višedimenzionalnom izučavanju sistema, a koristi najnovije eksperimentalno-analitičke metode sa teorijama regresione i disperzione analize.

2 KONCEPT I SADRŽAJ METODA "TSS-SCAN"

Osnovni koncept metoda je sadržan u totalnom pretraživanju unutrašnje strukture poslovno-proizvodnog sistema, identifikaciji zakonitosti ponašanja elemenata sistema, identifikaciji jačine i ranga dejstva varijabli ulaza na sistem, matematičko modeliranje stanja i izlaza sistema, skeniranje modelirane hiper površi sa identifikacijom topografije i mogućih ekstremuma, i identifikacija koordinata za optimalno upravljanje sistema.

2.1. Analiza unutrašnje strukture sistema

Na slici 1 je dat opšti kibernetički model poslovno-proizvodnog sistema sa geometrijskom interpretacijom njegove strukture i okruženja. Ovaj model čini neophodnu osnovu za sve faze proučavanja sistema i procesa u njima. Pri tome izuzetnu važnost ima razgraničenje pojmova: "ulaza", "stanja", "ograničenja", "poremećaja" i "izlaza", kao i poznavanje njihove prirode ponašanja u prostoru i vremenu



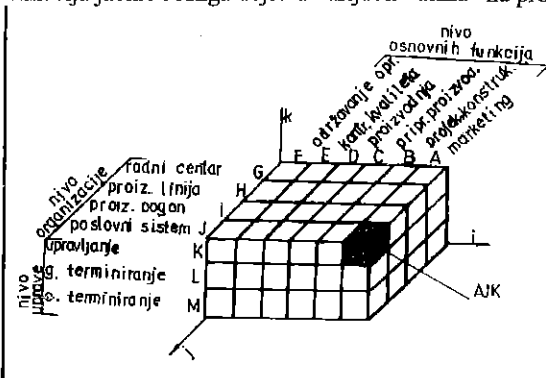
Sli 1 Opšti kibernetički model poslovno-proizvodnog sistema u geometrijskom prikazu hiper prostora: "ulaza", "stanja", "ograničenja", "poremećaja" i "izlaza"

- Pod "ulazom" u sistem se podrazumevaju sva spoljašnja delovanja na sistem, koja utiču da se procesi u sistemu odvijaju na željeni način. To je dakle, skup upravljačkih akcija kontrolisanog karaktera koji u opštem slučaju čini koordinate ulaznog hiper prostora

sistema i može se generisati vektorom "ulaza" $\bar{X}_{(1,n)}$. Svaka od koordinata "ulaza" ima po pravilu različitu jačinu dejstva na sistem, pa je prvi od glavnih zadataka projektanta sistema, da utvrdi njihovu jačinu i rang dejstva na sistem. Ovaj postupak se izvodi po poznatoj proceduri primenom savremenih eksperimentalno-analitičkih metoda /1/, pri čemu se selekcijom izdvajaju samo signifikantne ulazne varijable i samo one uključuju u dalje faze izučavanja sistema zadržavajući visok prag sigurnosti a drastično skraćenje procedure.

- Pod "poremećajima" se u opštem slučaju podrazumevaju sva delovanja na sistem koja, po pravilu, čine da se procesi u sistemu odvijaju na neželjeni način. Njihovo poreklo je iz okoline sistema ili iz unutrašnjosti sistema kao posledica varijacije svojstava elemenata i procesa u sistemu. Poremećaji su najčešće stohastičke veličine, pa su i efekti njihovog delovanja stohastičke funkcije koje dovode do nepredvidivog ponašanja sistema. U opštem slučaju čine koordinate hiper prostora "poremećaja" i mogu se generisati vektorom $\bar{Z}_{(1,k)}$. Glavni zadatak projektanta sistema je sadržan u tome da se destruktivno dejstvo "poremećaja" na sistem permanentno otklanja ili bar "amortizuje". Za ovu svrhu se koriste poznate metode zasnovane na teoriji ocena i prognoziranja karakteristika njihovog dejstva tokom vremena /2/, /5/.
- Pod "stanjem" sistema se podrazumeva veličina koja pokazuje proces transformacije u objektima (elementima) sistema kao posledica odvijanja procesa u prisustvu koordinata vektora hiper prostora "ulaza" i hiper prostora "poremećaja". Stanje sistema je vremenska funkcija, u opštem slučaju, sa redovnom karakteristikom stohastičnosti kao posledice "poremećaja" koji deluju na sistem. Stanje sistema, u opštem slučaju, čine koordinate hiper prostora koji se može generisati vektorom "stanja" $\bar{S}_{(1,i)}$. U geometrijskoj interpretaciji funkcije stanja sistema čine hiper površi složenog oblika i topografije što je uzrokovano zakonitostima međusobnih dejstava i interakcija koje se odvijaju u strukturi sistema odnosno elementima celine sistema.
- Pod "ograničenjima" u sistemu se podrazumeva skup većeg broja funkcija koje ograničavaju one koordinate sistema koje ne mogu ili ne smeju da pređu određene granice, bilo zbog toga što su resursi ograničeni ili što se van dozvoljenog opsega narušava normalan režim rada sistema. U opštem slučaju skup ograničenja u sistemu geometrijski čini hiper prostor "ograničenja" koji se može generisati vektorom $\bar{G}_{(1,i)}$ u kome prisutne funkcije ograničenja čine hiper površi odgovarajućeg oblika i topografije.
- Pod "izlazom" iz sistema podrazumeva se skup funkcija cilja ϕ_c u kojima se preslikavaju sve koordinate "ulaza", "stanja", "poremećaja" i "ograničenja". U geometrijskoj interpretaciji to su hiper površi višedimenzionalnog prostora vrlo složenog oblika i topografije a po pravilu su višekstremne. U opštem slučaju "izlaz" iz sistema se može generisati vektorom $\bar{Y}_{(1,m)}$.
- Pri ovakvom stanju stvari, koje se karakteriše visokom složenošću i kompleksnošću, svako povećanje efikasnosti poslovno-proizvodnih sistema nije moguće bez automatske povratne sprege sistema koja predstavlja kombinaciju osmatranja "izlaza", identifikaciju rezultata osmatranja i donošenja odgovarajućih upravljačkih akcija. U opštem slučaju povratna sprega ima zadatak da obavi detekciju stanja kada se "izlaz" razlikuje od željenog i da odgovarajućom upravljačkom akcijom stvori uslove da se "izlaz" sistema vrati u okvir zadate vrednosti sa unapred određenim granicama.
- Pod ukupnom unutrašnjom strukturom poslovno-proizvodnog sistema podrazumeva se skup međusobno povezanih podsistema sa svim njihovim zakonitostima ponašanja i međusobnim interakcijama. Na slici 2 je u opštem slučaju dat izgled unutrašnje strukture poslovno-proizvodnog sistema sa osnovnim (glavnim) elementima (podsistemima) i njihovim međusobnim vezama. U matematičkoj intepretaciji unutrašnja struktura poslovno-proizvodnog sistema se može predstaviti strukturnom prostornom matricom (i,

j, k) sa ukupnim brojem od $\sum_{i,j,k} = 72$ osnovna elementa. U opštem slučaju prostornu plan matricu formiraju nivoi: osnovnih funkcija, funkcija ograničenja i funkcija upravljanja. Na slici 2 je data struktura svakog od navedenih nivoa. Svaki od formiranih elemenata plan matrice predstavlja odgovarajuću kombinaciju navedenih nivoa i čini podsysteme (delove) celine poslovno-proizvodnog sistema. Ovi podsystemi nisu nezavisni već između njih postoje odgovarajuće među zavisnosti. U opštem slučaju podsystemi su u stalnim međusobnim interakcijama, što redovno dovodi do toga da se procesi u celini sistema odvijaju u krajnje slož. enim uslovima. Interaktivnost među podsystemima i celine sistema sa okolinom nije iste jačine i ranga dejstva, pa u zavisnosti od toga uslovljena je visoka neravnomernost ponašanja celine sistema koja ga stalno destabilizuje i čini teškoće da se ostvare željeni efekti. Stoga se nameće jedan od najvažnijih zadataka svakog projektanta da se detaljno pretražuje cela unutrašnja struktura celine sistema i svakog njegovog elementa, naravno sa mogućnošću dalje dekompozicije osnovnih podsystema do nivoa koji se želi postići, pri čemu se broj mogućih elemenata za proučavanje drastično povećava. Eksperimentalnu verifikaciju analize unutrašnje strukture sistema čine sledeće faze: /1/ izbor funkcije stanja procesa, formiranje skupa varijabli "ulaza", kodiranje varijabli i formiranje plan matrice procesa, izvođenje potrebnih eksperimenata, analize disperzije rezultata i identifikacija jačine i ranga dejstva varijabli "ulaza" na procese u sistemu.



Sl 2. Prostorna plan matrica unutrašnje strukture poslovno-proizvodnog sistema

2.2. Matematičko modeliranje sistema

Matematičko modeliranje sistema predstavlja nastavak prethodno opisanih aktivnosti koje se sprovode u proceduri analize unutrašnje strukture sistema. Eksperimentalnu verifikaciju modeliranja čine sledeće faze: /1/ formiranje matematičkog modela u kodiranoj obliku, određivanje koeficijentata regresije modela, ocena adekvatnosti dobijenog modela sistema, formiranje matematičkog modela u prirodnim koordinatama, skeniranje modelirane hiper površi odgovarajuće funkcije sistema sa identifikacijom njene topografije i svih ekstremuma (vrhova), matematičko modeliranje uže oblasti otkrivenog dominantnog ekstremuma sa analizom njegove okoline, određivanje optimalnih koordinata za upravljanje sistemom i identifikacije mogućih korekcija "peglanja", modelirane površi sistema u smislu proširenja opsega sigurnosti upravljanja sistemom.

3. VERIFIKACIJA METODA

Ovom prilikom verifikacija prethodno opisanog metoda je pokazana na primeru analize interakcija između: cene proizvoda, korišćenju kapaciteta i zarada radnika u jednom preduzeću u metaloprerađi u uslovima nedovoljne uposlenosti kapaciteta. Primer pripada

880

analizi dela podsystema (AJK) i strukture prostorne plan matrice na slici 2. Rezultat analize je pokazan na slici 3. Matematički model navedenih interakcija je dobijen u obliku:

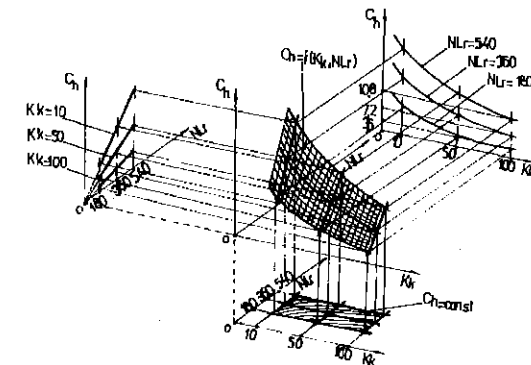
$$C_h = \frac{N_r N_{pr} k_{bz}}{K_k N_{pr} N_h (1 + k_m)(1 + k_u)(1 - k_m - k_u)}$$

$C_h(uj/h)$ - cena jednog časa rada u fabrici
 N_r - ukupan broj radnika
 N_{pr} - broj proizvodnih radnika
 $NL_r(uj/m)$ - neto lični mesečni dohodak radnika
 k_{bz} - koeficijent bruto zarada
 K_k - koeficijent korišćenja kapaciteta
 k_m - koeficij. učešća repromaterijala u mesečnim troškovima
 k_u - koefic. učešća usluga u mes. troš.
 N_h - pros. fond čas. rada radnika mes.

Analiza je urađena za sledeće vrednosti: $N_r=620$, $N_{pr}=385$, $N_h=170$, $k_m=0,18$, $k_u=0,07$, $k_{bz}=2,0$, paritet uslovne jedinice zarade radnika 1 UJ=3,3 dinara.

Matematički model zavisnosti posmatranih interakcija je dobijen iz uslova da se realizovanom proizvodnjom pokriju minimalni troškovi bez ostvarenja dobiti (bruto LD, repromaterijal, usluge). Ovakav uslov je uvek neophodan u uslovima apsolutno niskog korišćenja raspoloživih kapaciteta. Modelirana površ $C_h=C_h(K_k, NL_r)$ je projektovana u sve tri koordinatne ravni i dobijene odgovarajuće zavisnosti koje jednoznačno pokazuju tokove posmatranih interakcija i ukazuju na pravce mogućih poboljšanja i povećanja efikasnosti rada.

Potrebno je stalno povećanje proizvodnosti rada i kvaliteta rada uz najnižu cenu rada (proizvoda). Ovo neminovno vodi ka povećanju uposlenosti kapaciteta i stvaranju uslova da se stalno povećava nivo dohotka a time i nivoa ličnih dohodaka i ostale potrošnje.



Sl 3. Rezultat analize interakcija strukture jednog elementa prostorne plan matrice poslovno-proizvodnog sistema

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodnih analiza i dobijenih rezultata mogu se postaviti sledeći zaključci:

- Za povećanje efikasnosti rada u poslovno-proizvodnim sistemima nužna je analiza interakcija u podsystemima i među podsystemima u okviru celine sistema.
- Iz urađenih analiza stvara se mogućnost modeliranja odabranih funkcija "stanja" ili "izlaza", a zatim analiza dobijenih višedimenzionalnih modela u cilju identifikacije optimalnih koordinata za upravljanje procesima.
- U ovom slučaju pokazan je samo deo opisanog TSS-SCAN metoda na primeru analize odabranih interakcija u delu podsystema prostorne plan matrice.
- Neophodna je analiza i ostalih interakcija, kako u ovom podsystemu (AJK) tako i u svim ostalim podsystemima plan matrice, čime će se autori ovog saopštenja u budućnosti baviti.

5. LITERATURA

- /1/ Stanić J., Metod inženjerskih merenja, MF Beograd 1990.
/2/ Stanić J., Uvod u teoriju tehnokonomске optimizacije, MF Beograd 1988.
/3/ Ivanović P., Metod analize i matematičkog modeliranja procesa, projekat MF Kragujevac 1985.
/4/ Ivanović P., Mogući prilazi optimizacije obradnih procesa, projekat MF Kragujevac 1985.
/5/ Vukadinović S., Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, privredni pregled, Beograd 1989.

Summary
**THE INTERAKTION ANALYSIS IN THE AREA STATE OF THE
BUSINESS-PRODUCTION SYSTEMS AS THE BASIS OF
POSSIBLE ANALYSIS FOR GETTING EFFECTIVE STRATEGY OF WORK**

The technical-economical and social processes in almost all real business-production systems in general, and especially in our national limits, are done in very complex conditions as the sequence of the numerous interactions both in the whole system and the area it is circled by. It deals with the types nonlinear dynamic system with continuous static characteristics which makes the process of designing, analyses and its directing to the domains of their wanted technological effects.

This review thesis has its aim using the above shown methodology, to show the real possibility of making a unique theoretical-practical basis for effectively performing numerous problems in this area.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

SUPERPONIRANI TOKOVI MATERIJALA U MAŠINOGRADNJI MREŽNE STRUKTURE PROTOKA

D. Letić, D. Lipovac, P. Dimitrijević

Rezime

U radu se iznose rezultati teorijsko-empirijskih istraživanja parametrizacije protočnih vremena složenih: unijatno-autonomnih tokova materijala u proizvodnim sistemima mašingradnje. Proširujući istraživanja Klarka uopštavaju se modeli tokova materijala kompleksne mrežne strukture, prvenstveno kritičnih protoka. Postupak razvoja i primene Klarkovih jednačina iterativnim putem, za neograničen broj kritičnih tokova, rezultirao je dobijanju superponiranih kvantifikatora protoka materijala na analitičkoj i numeričkoj osnovi.

1.0 UVODNA RAZMATRANJA

Tokovi materijala u mašingradnji, u zavisnosti od tipa i serijnosti proizvodnje mogu biti do te mere složeni da je već u fazi pripreme rada neophodno stvoriti odgovarajuće uslove za sinhronizovano pristizanje svih potrebnih delova-predmeta rada u određenu fazu radnog procesa. Iz tih razloga, za rešavanje problema upravljanja tokovima materijala u mašingradnji, u domenu planiranja i kontrole rokova realizacije pojedinih proizvoda ili serije proizvoda, razvijen je velik broj metoda i tehnika [01]. Određen broj tih metoda ima determinističko obeležje, a poznato je iz iskustva da su tokovi materijala realne proizvodnje dobrim delom stohastičkog karaktera. Ova činjenica naročito je evidentna kod prekidne proizvodnje -jediničnog tipa toka, odnosno kod proizvoda koji se prvi i jedini put na isti način realizuju (npr. u brodogradnji ili teškoj mašingradnji i sl.).

2.0 PROBLEM I CILJ RADA

U smislu prethodnog, strukturiranje nove metode za kvantifikaciju superponiranog protočnog vremena, kompleksnih tokova materijala, zasnovano je na analizi kritičnih i subkritičnih protoka materijala identifikovanih u orijentisanom grafu protoka ADM-Arrow Diagram Method strukture ("streljasti dijagram") ili AON-Activity On the Node strukture (aktivnosti adresirane u "čvoru"). Pristup u analizi vremenskih parametara protoka materijala, naročito rezultujućeg protočnog vremena putem standardnih mrežnih tehnika koje su zasnovane na algoritmima ADM ili AON, otvara dva važna problema upravljanja tokovima materijala i to:

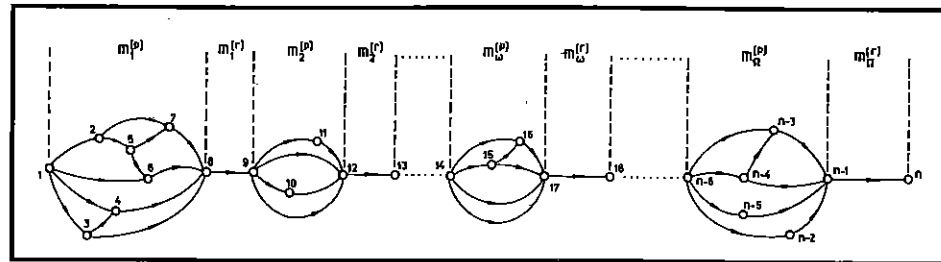
► Određivanje zadovoljavajućeg zakona raspodele verovatnoće trajanja rezultujućeg protoka na kritičnom toku materijala.

► Rešavanje modela protočnog vremena, odnosno pronalaženje stohastičkog ekvivalenta za trajanje pojedinih faza protoka kao i sumarnog-superponiranog kritičnog toka.

Prvi problem se, na osnovu standardnih mrežnih metoda, rešava aproksimativno, uz korišćenje osnovnih rezultata centralne granične teoreme [02]. Drugi problem se rešava transformacijom stohastičke u determinističku analizu, mada se direktnijim uvidom uočava da je redukcija stohastičkog problema kritičnog toka u deterministički povezana sa mnogim greškama [03]. Jednoznačno rešenje kritičnog toka, a time i rezultujućeg protočnog vremena, koristeći u proračunu očekivana vremena elementarnih protoka-aktivnosti, predstavlja jedan od najproblematičnijih efekata aplikacije PERT metode planiranja [04], mada je ovakav postupak uobičajen u planiranju. Mreže stohastičkih (ili determinističkih) aktivnosti oblikovane na osnovu AON ili ADM strukture mogu u nekim slučajevima planiranja biti veoma složene (Sl. 4). Postoje primeri mrežnih dijagrama u mašingradnji gde broj aktivnosti iznosi i do nekoliko hiljada. U tim slučajevima, opravdano se postavlja pitanje: kolika je izvesnost da će se proizvodni ciklus završiti u planiranom roku, uzimajući u obzir da takav graf protoka materijala sadrži jedan, dva ili neograničen broj kritičnih tokova? Za davanje korektnog odgovora na ovo pitanje potrebno je verbalno i egzaktno definisati algoritam za kvantifikaciju uticaja subkritičnih tokova na formiranje rezultujućeg-superponiranog kritičnog toka materijala.

3.0 POSTUPCI ZA REŠAVANJE OPŠTEG MODELA KRITIČNIH PROTOKA MATERIJALA

Najopštijim modelom kritičnih tokova može se smatrati ona varijanta po kojoj neke kritične aktivnosti predstavljaju zajedničku komponentu (uniju) više kritičnih tokova, dok su u ostalim fazama tokovi lokalno autonomni (Sl. 1).



Sl.1 Opšti model kritičnih protoka materijala AON strukture

Kako istraživanja pokazuju [04], [01], [05], superponiranje intervala kritičnih i subkritičnih protočnih vremena i njihovih devijacija može se izvesti:

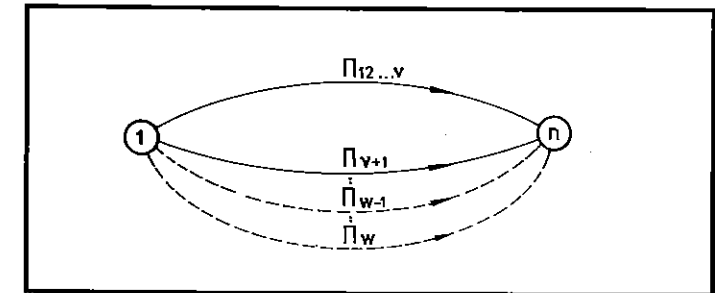
- analitičkim metodama: - jednačinama Klarka, i
- na osnovu centralne granične teoreme-CGT,
- numeričkim metodama: - Monte-Karlo simulacijom.

Da bi se ilustrovala primena osnovnih navedenih algoritama poslužiće nam PD-Precedence Diagramming mreža sa parametrima koji su prikupljeni i sistematizovani iz realne proizvodnje (Sl. 4).

1. Algoritmima Klarka rešavaju se kritični lokalno autonomni tokovi paralelnog tipa u izdvojenim podmrežama sa tom karakteristikom. Razvojem Klarkovih jednačina u radu [01] dokazuje se da za stohastičku promenljivu veličinu protočnog vremena izdvojene podmreže treba, u v-toj iteraciji, uvažiti sledeću superponiranu vrednost: v-ta iteracija: Superponiranje toka: $\Pi_{12...v}$ i Π_{v+1} u tok $\Pi_{12...v+1}$.

$$\Pi_{12...v}: P_{12...v, \sigma_{12...v}^2}$$

$$\Pi_{v+1}: P_{v+1, \sigma_{v+1}^2}$$



Sl. 2 Karakteristični tokovi paralelnog tipa $\Pi_{12...v}$ i Π_{v+1}

► Superponirano protočno vreme $P_{12...v, v+1}$ iznosi

$$P_{12...v, v+1} = P_{12...v} \Phi(\xi_{12...v, v+1}) + P_{v+1} \Phi(-\xi_{12...v, v+1}) + \lambda_{12...v, v+1} \Phi(\xi_{12...v, v+1}).$$

► Superponiranoa disperzija $\sigma_{12...v, v+1}^2$ iznosi

$$\sigma_{12...v, v+1}^2 = (P_{12...v}^2 + \sigma_{12...v}^2) \Phi(\xi_{12...v, v+1}) + (P_{v+1}^2 + \sigma_{v+1}^2) \Phi(-\xi_{12...v, v+1}) + (P_{12...v} + P_{v+1}) \lambda_{12...v, v+1} \Phi(\xi_{12...v, v+1}) - P_{12...v, v+1}^2$$

$$\text{gde je: } \Phi(\xi) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \cdot \int_{-\infty}^{\xi} \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot t^2\right) dt \quad \text{- Laplasov integral}$$

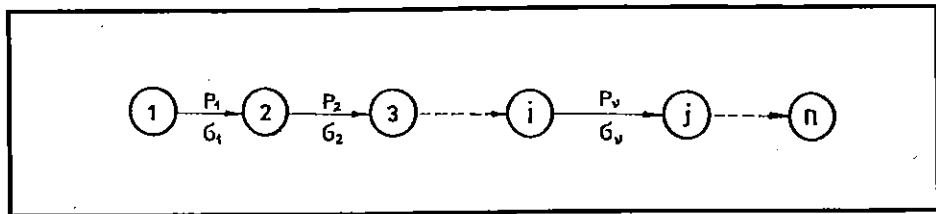
$$\Phi(\xi) = (2\pi)^{-\frac{1}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \xi^2\right) \quad \text{- funkcija gustine centrirane normalne raspodele}$$

$$\lambda_{12...v, v+1} = \sqrt{\sigma_{12...v}^2 + \sigma_{v+1}^2}, \quad \text{-parametri funkcije}$$

$$\xi_{12...v, v+1} = \frac{1}{\lambda_{12...v, v+1}} (P_{12...v} - P_{v+1}).$$

Razvijene Klarkove jednačine mogu se aplicirati u analizi složenijih mrežnih struktura protoka, dok je u prethodnom slučaju dat primer iterativnog postupka proračunavanja osnovnih vremenskih parametara za mrežu sa isključivo paralelnim tokovima sa istim ili različitim intervalima realizacije pojedinih protočnih vremena: P_v i P_{v+1} .

2. Algoritmima centralne granične teoreme rešavaju se parametri kritičnih tokova uočeni u podmrežama isključivo rednog tipa (Sl. 3).



Sl. 3 Podmreža ADM strukture sa rednim tokovima

Očekivani vremenski interval se tada jednostavno određuje sumiranjem vremena tih elementarnih kritičnih protoka na toku Π_v , kao:

$$P_{1,n} = \sum_{j \in \pi_v} P_j$$

Rezultujuća disperzija definiše se kao suma elementarnih disperzija:

$$\sigma_{1,n}^2 = \sum_{j \in \pi_v} \sigma_j^2$$

Rezultati praktičnog sagledavanja izloženih postupaka dati su na (Sl. 5). Radi se o projektu upravljanja tokovima materijala u brodogradnji za slučaj pojedinačne proizvodnje središnjeg dela i boka brodskog korita: G50-(S53) i G30-SD/31.

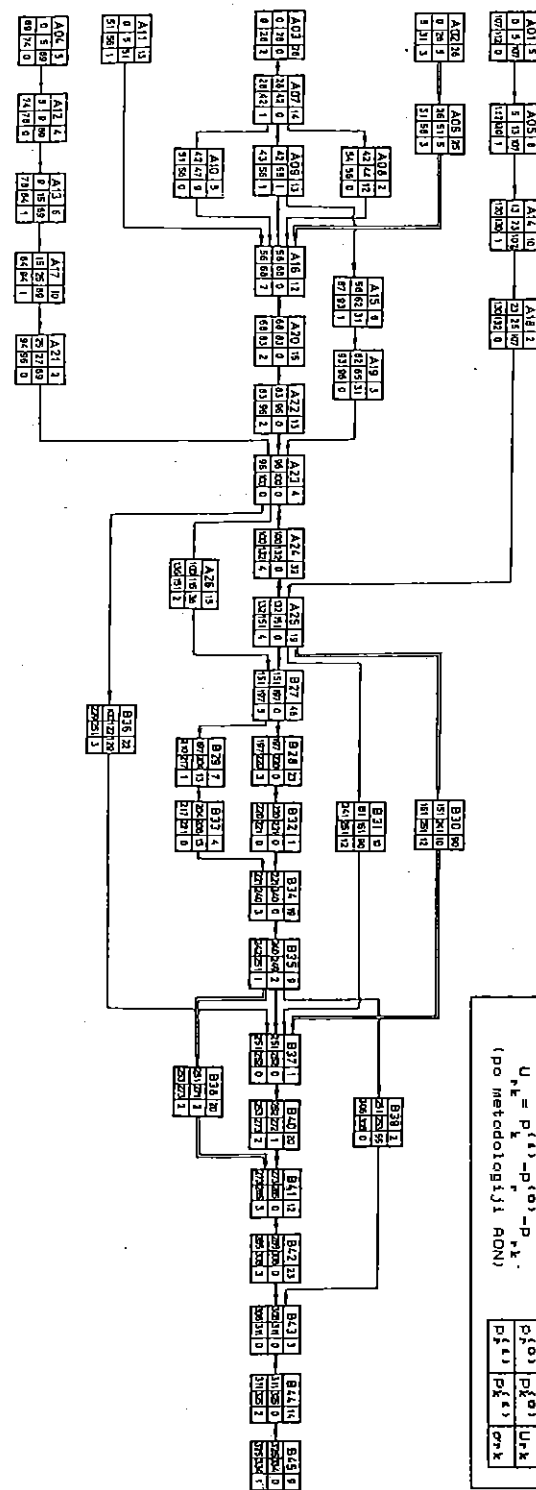
4.0 ZAKLJUČAK

Koristeći kombinovane postupke Klarka i CGT-a znatno se verodostojnije može izvršiti planiranje i programiranje vremena protoka materijala nego što se to postiže standardnim postupkom mrežnog planiranja i upravljanja npr. putem PERT-a. Klasičnim PERT-om planiranje protočnog vremena, zasnovano je na očekivanim vrednostima elementarnih protočnih vremena P_v , čime se čini znatna greška u planiranju jer se često zanemaruje uticaj subkritičnih tokova na formiranje ukupnog-superponiranog protočnog vremena P . Slejk pokazuje [05] da se u mreži protoka sa deset (sub)kritičnih tokova rezultujuće protočno vreme povećava za 11% od onog vremena koje bi se dobilo proračunavanjem po PERT metodi. Ova "greška planiranja" je u primeru na (Sl. 4) data i iznosi teorijski $\Delta P = P - P = 333,4 - 330 = 3,4$ /smenel. Sličan rezultata dobija se primenom postupaka numeričke simulacije i on iznosi:

$$\Delta P = 3,5_{-1,1}^{+0,9} / \text{sm/}$$

Posledice nepoznavanja ovih činjenica mogu biti veoma negativne naročito u slučajevima planiranja i kontrole složenih stohastičkih protoka materijala.

Sl. 4 Stohastički mrežni PD-dijagram podprojekta realizacije pozicija broda: G50-(S53b; S54b) i G30-SD/31



► Proizvodni ciklus: $T_{epn} = 334,01$ /sm/.

► Devijacija proizvodnog ciklusa: $\sigma_{epn} = 11,16$ /sm/.

► Rj-aktivnosti podprojekta G50-(S53b; S54b)

► Rj-aktivnosti podprojekta G30-SD/31.

► Kritične relacije

► Subkritične relacije

► Nekritične relacije

► Utičajna vremenska rezerva:

$U_{r,k} = P_{i,k} - P_{i-1,k} - P_{i,k}$

(po metodologiji AON)

aktivnost	P _{ij}
(i-k)	(i-k)
σ _{ij}	σ _{ij}
P _{ij}	P _{ij}
U _{r,k}	U _{r,k}
P _{ij}	P _{ij}
P _{ij}	P _{ij}

5.0 LITERATURA

- [01] LETIĆ, D. EDUKATIVNI I OPŠTI MODEL KRITIČNIH PROTOKA MATERIJALA PD-PRECEDENCE DIAGRAMMING STRUKTURE, (Doktorska disertacija), Tehnički fakultet "M. Pupin" Zrenjanin, 1996.
- [02] DAVIES, L.O. STATISTICAL METHODS IN RESEARCH AND PRODUCTION, The Kynoch Press, Birmingham, 1957.
- [03] ĐURIČIN, D. PROGRAMIRANJE I KONTROLA ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNIH PROJEKATA, Ekonomski fakultet, Beograd, 1992.
- [04] CLARK, C.E. THE GREATEST OF FINITE SET OF RANDOM VARIABLES, Operations Research, 9, No.9, (pp.145-162), 1961.
- [05] SLYKE, V.R. MONTE KARLO METHODS AND PERT PROBLEM, Operations Research, 11, No. 5 (pp.839-860), 1963.

THE SUPERPONED MATERIAL FLOWS IM THE PRODUCTION OF MACHINERY

Summary

In the paper are presented the results of the theoretical-empirical researches of the quantification of the flow times of the complex uniated autonomous material flows in the production system in the production of machinery. Expanding Clarks researches here are generalized the material models and flows of the complex net structure, at first of the critical flows. The procedure of development and using Clark's equations with the iterative method, for unlinuted number of the obtaining of the superponed quantificators of the material flow on the analytical and numerical basic.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Dušan Petrović, Uglješa Bugarić *

ODREĐIVANJE OPTIMALNOG BROJA RADNIH MESTA U FUNKCIJI DOLAZNOG TOKA NA PRIMERIMA MONTAŽE I KOMISIONIRANJA

REZIME

U radu je prikazan model na bazi teorije redova čekanja za određivanje optimalnog kapaciteta - broja radnih mesta u funkciji intenziteta dolaznog toka koji određuje rad sistema. Projektantska praksa kod složenih industrijskih sistema prepoznaje slučajeve određivanja potrebnog kapaciteta - broja radnih mesta na bazi poznatog dolaznog toka ili na bazi raspoloživog kapaciteta određivanje maksimalnog tj. optimalnog dolaznog toka. Primena modela prikazana je na primerima skladišnih - komisionih i montažnih sistema.

UVOD

Kod mnogih sistema kretanja materijala pred projektanta se postavlja zahtev da odredi optimalni kapacitet sistema odnosno da odredi potreban broj radnih mesta na bazi dolaznog toka ili da razmatra slučaj da na bazi raspoloživog kapaciteta sistema (broja radnih mesta) odredi maksimalni ili optimalni dolazni tok.

Ovakvi zahtevi su posebno izraženi na primerima skladišnih sistema i to u delu gde se obavlja proces komisioniranja. Danas svi značajni skladišno - distributivni sistemi rade sa komisioniranjem a broj radnih mesta potrebnih za proces komisioniranja određuje se na osnovu toka materijala i zahtevane količine komisioniranog materijala, što je u direktnoj funkciji tehničkih karakteristika skladišnog sistema. Prisutan je i slučaj da se na bazi raspoloživog kapaciteta komisionih mesta određuje maksimalni odnosno optimalni tok materijala koji ovaj podsistem može da prihvati (komisionira).

Sličnu situaciju projektant prepoznaje i kod montažnih linija gde je potrebno na bazi količina materijala koji dolazi i broja proizvoda koji se montiraju odrediti optimalni ili potrebni broj radnih mesta (kanala). Pri rekonstrukciji montažnih linija ili kod promene asortimana proizvoda koji se montiraju uočava se zahtev za određivanjem kapaciteta koji može da se postigne na postojećim radnim mestima, čime bi se definisao dolazni tok i količina proizvoda za montažu.

Rešavanju ovog problema koji je prisutan u ovim ali i drugim sistemima kretanja materijala prišlo se korišćenjem teorije redova i to primenom višekanalnih

* mr Dušan Petrović dipl. ing., mr Uglješa Bugarić dipl. ing.,
Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 27. marta 80. Beograd

sistema opsluživanja sa osnovnom idejom da se dobije optimalni broj kanala u funkciji intenziteta dolaznog toka materijala.

ODREĐIVANJE OPTIMALNOG BROJA KANALA ZA OPSLUŽIVANJE I DOLAZNOG TOKA

Analizom parametara višekanalnog sistema opsluživanja moguće je odrediti zonu optimalnog broja kanala pri različitim intenzitetima dolaznih tokova jedinica u sistem (λ) i opsluženih jedinica u sistemu (μ) tj. optimalni intenzitet dolaznog toka za različit broj kanala za opsluživanje u sistemu. Pri tome se kao kriterijumi za optimizaciju usvajaju: [2]

- verovatnoća potpune zauzetosti kanala (P_{pzk}) i
- verovatnoća opsluživanja jedinica (P_{ops}), pri čemu vreme čekanja jedinica u redu nije veće od prethodno određene, dozvoljene vrednosti (t_{doz}).

Na ovaj način optimalan broj kanala za opsluživanje, odnosno optimalni intenzitet dolaznog toka, odgovara postavljenom uslovu: [2]

$$c_{opt}(\lambda_{opt}) \rightarrow P_{pzk} = P_{ops} \quad (1)$$

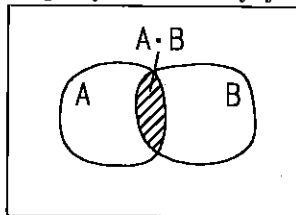
gde je:

- c_{opt} - optimalni broj kanala za opsluživanje za dati dolazni tok,
- λ_{opt} - optimalni dolazni tok za datu konfiguraciju sistema (broj kanala za opsluživanje),
- P_{pzk} - verovatnoća potpune zauzetosti kanala,
- P_{ops} - verovatnoća opsluživanja, pod uslovom da je vreme koje jedinica provede u redu (t_w) manje od dozvoljenog (t_{doz}).

Verovatnoća opsluživanja

Određivanje verovatnoće opsluživanja pod uslovom da vreme boravka jedinice, koja dolazi u sistem, u redu bude manje od nekog zadatog, zahteva da se odredi raspodela vremena koje jedinica provede u redu. Zbog toga je potrebno definisati dva događaja: (slika 1.)

- događaj A: u redu ima k jedinica ($X=x_k, 0 \leq k \leq m$) i
- događaj B: vreme koje jedinica provede u redu je manje od dozvoljenog ($t_w < t_{doz}$).



slika 1.

Presek događaja A i B predstavlja verovatnoću da će jedinica koja pristupa u sistem u redu boraviti manje od dozvoljenog vremena. Verovatnoća tog složenog događaja se može napisati kao: [4]

$$P(t_w < t_{doz}) = P(A \cdot B) = P(A) \cdot P(B/A) \quad (2)$$

gde je:

$P(A)$ - verovatnoća događaja A, tj. da u redu ima k jedinica,

$P(B/A)$ - verovatnoća događaja B pod uslovom da se

ostvario događaj A, tj. da je data jedinica boravila u redu manje vreme od dozvoljenog ako je u trenutku njenog dolaska u sistem u redu bilo k jedinica ($k=0, 1, \dots, m-1$).

Iz napred iznetog sledi:

$$P(t_w < t_{doz}) = \sum_{k=0}^{m-1} P(X=x_k) \cdot P(t_w < t_{doz} / X=x_k), \quad (3)$$

odnosno:

$$P(t_w < t_{doz}) = \sum_{k=0}^{m-1} \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{c!} \cdot P_0 \cdot \int_0^{t_{doz}} \frac{c \cdot \mu \cdot (c \cdot \mu \cdot t)^k \cdot e^{-c \cdot \mu t}}{k!} \cdot dt. \quad (4)$$

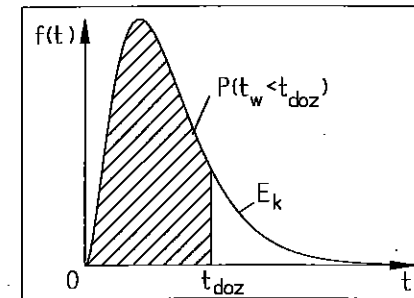
gde je:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^c \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!} + \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!} \cdot \sum_{r=1}^m \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)^r};$$

verovatnoća da u sistemu nema jedinica, c - broj kanala za opsluživanje. [1],[3]

Izraz: $P(X=x_k) = \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \cdot \frac{1}{c!} \cdot P_0$ ($k=c+1, c+2, \dots, c+m$) predstavlja

verovatnoću da se u redu nalazi k jedinica u trenutku pristupanja posmatrane jedinice u sistem (u datom trenutku u redu može biti najviše (m-1) jedinica tj. mora postojati barem jedno mesto u redu prazno).



slika 2.

$$\text{Izraz: } \int_0^{t_{doz}} \frac{c \cdot \mu \cdot (c \cdot \mu \cdot t)^k \cdot e^{-c \cdot \mu t}}{k!} \cdot dt$$

predstavlja verovatnoću da će jedinica koja pristupa u sistem čekati opsluživanje k jedinica ispred sebe (onoliko koliko ih ima u redu) plus opsluživanje jedinice koja se već opslužuje, što znači da je vreme koje jedinica provede u redu jednako zbiru k+1 slučajnih promenljivih od kojih svaka ima eksponencijalnu raspodelu sa parametrom $c \cdot \mu$. Takva slučajna promenljiva ima Erlangovu raspodelu reda k+1. (slika 2.)

[3]

Posle integracije i sređivanja izraza (4) dobija se konačni izraz za verovatnoću da vreme koje jedinica provede u redu bude manje od dozvoljenog, odnosno raspodela vremena boravka jedinica u redu:

$$P(t_w < t_{doz}) = \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^c \cdot \frac{P_0}{c! \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)} \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)^m - e^{-c \cdot \mu \cdot t_{doz}} \cdot \left[\sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda \cdot t_{doz})^k}{k!} - \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu} \right)^m \cdot \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(c \cdot \mu \cdot t_{doz})^k}{k!} \right] \right\} \quad (5)$$

Potpun događaj u ovom slučaju je oblika:

$$P(t_w < t_{doz}) + P(t_w = 0) + P(t_w \geq t_{doz}) = 1. \quad (6)$$

Verovatnoća da će vreme koje jedinica provede u redu biti jednako nuli određuje se na osnovu izraza:

$$P(t_w = 0) = \sum_{k=0}^{c-1} P_k \quad (7)$$

gde je:

$$P_k = \frac{(\lambda/\mu)^k}{k!} \cdot P_0 - \text{verovatnoća da u sistemu ima k jedinica } (k=1, 2, \dots, c).$$

Konačno, verovatnoća opsluživanja (P_{ops}) jedinice pod uslovom da vreme koje ona provede u redu bude manje od dozvoljenog (t_{doz}) određuje se kao zbir izraza (5) i (7):

$$P_{ops} = P(t_w < t_{doz}) + P(t_w = 0) \quad (8)$$

Verovatnoća potpune zauzetosti kanala

Verovatnoća potpune zauzetosti kanala se može izračunati u zavisnosti od broja jedinica u sistemu kao: [1],[3]

$$P_{pzk} = P(X = x_c) + P(X = x_{c+1}) + P(X = x_{c+2}) + \dots + P(X = x_{c+m}) \quad (9)$$

odnosno posle sređivanja izraza (9) dobija se konačni izraz za verovatnoću potpune zauzetosti kanala kao:

$$P_{pzk} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^c \cdot \frac{1}{c!} \cdot P_0 \cdot \sum_{k=0}^m \left(\frac{\lambda}{c \cdot \mu}\right)^k \quad (10)$$

REZULTATI ANALIZE

Razmatran je sistem kretanja materijala kod koga je dolazni tok variran na način kao što je prikazano u tablici 1.

tablica 1.

Int. opsluz.	$\mu = 1.165 \text{ 1/min}$				
Int. dol. jed. 1/min	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
	1.40	1.75	2.10	2.40	2.68

Na bazi projektantskog iskustva usvojen je za razmatranje sistem sa dva mesta u redu ($m=2$).

Ovakav dolazni tok uslovio je određivanje optimalne zone broja kanala za opsluživanje. Pretpostavka je da dozvoljeno vreme koje svaka jedinica može da provede u redu bude u funkciji ciklusa opsluživanja t_c , tako što su razmatrana tri karakteristična dozvoljena vremena. Prvo, da je $t_{doz} = 1 \cdot t_c$, što znači da vreme koje jedinica provede u redu može biti maksimalno jedno vreme ciklusa opsluživanja. Drugo, da je $t_{doz} = 0.5 \cdot t_c$, što znači da je vreme koje jedinica provede u redu jednako polovini vremena opsluživanja. Treće, da je $t_{doz} = 0$, što znači da nema čekanja u redu.

Na osnovu ovako definisanog dolaznog toka, broja mesta u redu i vremena koje jedinica može da provede u redu (t_{doz}) određena je verovatnoća opsluživanja (P_{ops}) u funkciji dozvoljenog vremena koje jedinica može da provede u redu, i verovatnoća potpune zauzetosti kanala (P_{pzk}).

Za svako od dozvoljenih vremena napravljen je uporedni dijagram broja kanala i verovatnoće opsluživanja (P_{ops}), i verovatnoće potpune zauzetosti kanala (P_{pzk}), za različite vrednosti intenziteta dolaznog toka λ (tablica 1.).

Na dijagramima (slika 3.) je eksplicitno naznačena zona optimalnog broja kanala tako da projektant lako određuje, korišćenjem dijagrama, konfiguraciju sistema.

Generalno se iz dijagrama na slici 3. može zaključiti da što je dozvoljeno vreme koje jedinica može da provede u redu kraće, zona optimalnog broja kanala se pomera ka većem broju kanala, dok se sama zona povećava. U slučaju kad dozvoljeno vreme

jedinice u redu raste zona optimalnog broja kanala pomera se ka manjem broju kanala, dok se sama zona smanjuje.

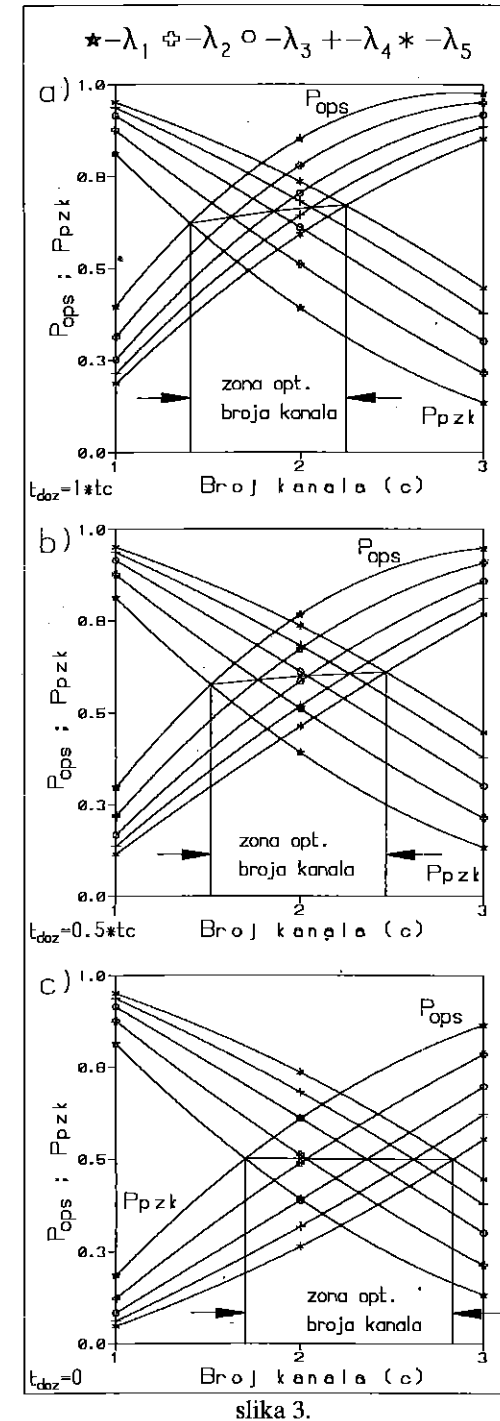
ZAKLJUČAK

Prikazana analiza omogućuje projektantima sistema kretanja materijala koji se mogu opisati višekanalnim sistemom opsluživanja da odrede optimalan broj kanala za opsluživanje na osnovu dolaznog toka, ili da na bazi definisanog broja kanala za opsluživanje odrede optimalni dolazni tok koji može da se opsluži u sistemu.

Analiza i dijagramski prikaz je napravljen za sisteme sa dva mesta u redu i za različite vrednosti intenziteta dolaznog toka i različite vrednosti dozvoljenog vremena koje jedinica može da provede u redu a na osnovu zahteva koje treba da ispune delovi na montaži ili na komisioniranju (vreme takta i uravnoteženje linije).

Kod sistema montaže i sistema komisioniranja u skladištima kao tipičnim primerima značajno je unapred definisati vreme koje jedinica može da čeka u redu a tek na bazi takvog zahteva definisati konfiguraciju sistema (broj kanala ili radnih mesta). Prezentirani dijagrami o ukupnom poraštanju sistema i definisanom optimalnom zonom broja kanala omogućuju korisniku da odabere optimalnu konfiguraciju i uklopi je kao element u ukupni sistem kretanja materijala.

Analiza je data za određenu grupu sistema kretanja materijala ali generalno gledajući prezentirani postupak se može primeniti i na druge sisteme koji imaju različite parametre od posmatranog.



slika 3.

LITERATURA

- [1] Kleinrock, L.: Queuing systems vol. 1 & 2, John Wiley & Sons, Toronto, Canada 1975.
- [2] Lazić, M.: Optimizacija funkcionisanja osnovnog lučkog sistema brod-operativna obala, Tehnika, god. XLI, br. 2, SITJ, Beograd 1986., (s. 237 - 242).
- [3] Vukadinović, V., S.: Masovno opsluživanje - treće dopunjeno izdanje, Naučna knjiga, Beograd 1988.
- [4] Vukadinović, V., S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike - šesto izdanje, Privredni pregled, Beograd 1990.

DETERMINING OPTIMAL NUMBER OF WORKING PLACES AS A FUNCTION OF ARRIVAL RATE IN ASSEMBLY LINES AND ORDER PICKING

SUMMARY

The paper presents the model based on queuing theory for determining optimal capacity or number of working places as a function of arrival rate. The designing procedure recognize with in complex industrial system need of solving number of work places as a function of arrival rate or defining arrival rate based on available capacity of the system. This problem is especially underlined with in warehouse system in the process of order picking and in assembly lines.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

J. Stanić¹⁾

RAZVOJ SADOP SISTEMA ZA OPTIMIZACIJU OBRADNIH PROCESA

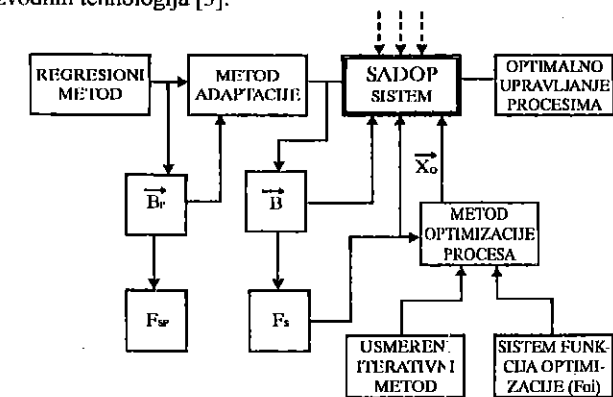
Rezime:

U radu je sažeto izložen jedan noviji koncept adaptacije sistema laboratorijskih u pogonske parametre obradljivosti uz istovremenu optimizaciju obradnih procesa u proizvodnim tehnologijama. Koncept sistema adaptivne optimizacije obradnih procesa (SADOP) temelji se na: regresionom metodu [1], metodu adaptacije [2], metodima optimizacije [3], teoriji obradnih procesa [4-5] i senzorskim sistemima [6-7]. Na bazi SADOP sistema moguć je razvoj nacionalnog standarda o obradljivosti domaćih konstrukcijskih materijala.

Ključne reči: Obradljivost, Optimizacija, Iterativni metod. Obradni procesi

1. UVOD

SADOP sistem spada u novije metodologije optimizacije elemenata (obradnih procesa) u lancima proizvodnih tehnologija [3].



Slika 1. Veza lanaca: regresioni metod - metod adaptacije sa SADOP sistemom (optimizacijom)

¹⁾ Prof. dr Joko Stanić, redovni profesor u penziji, Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80.
Tel. 381-11-3229-040
F 381-11-3321-198

obradnih procesa)

Početne strukturne jedinice ovog sistema, koji se inače temelji i na eksperimentalnom naučnom metodu, čine: regresioni metod [1] i metod adaptacije (sl. 1). Ove strukturne jedinice predstavljaju, dakle, neraskidiv lanac i obuhvataju (zajedno) uzastopni niz eksperimentalno-analitičkih operacija istraživanja na kraju kojeg se dobijaju sva potrebna i dovoljna saznanja o suštinskim karakteristikama (funkcijama obradljivosti) nekog obradnog procesa. Na tim saznanjima i zasniva se algoritam optimalnog upravljanja datim obradnim procesima. To je krupna komponenta teorije i prakse proizvodnim tehnologija.

2. PREDNOST METODA ADAPTACIJE

Pomoću regresionog metoda dobijaju se kompleksni skupovi parametara obradljivosti u funkcijama obradljivosti (u tehnološkim funkcijama stanja), dakle, sva potrebna osnovna znanja o karakteristikama i toku procesa obrade. Ovi skupovi imaju laboratorijski karakter (dobijeni su u strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima), pa ih stoga treba označiti kao *skupove laboratorijskih parametara obradljivosti*:

$$\bar{B}_p = \bar{B}_{pij} = (Q_p, q_{p1}, q_{p2}, \dots, q_{p(m-1)})_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

za sve tehnološke funkcije stanja ili funkcije obradljivosti ($i=1, 2, 3, \dots$) i za sve operacije (zahvate) obrade ($j=1, 2, 3, \dots$).

Reklo bi se, na osnovu ovoga, da je time okončan eksperimentalni metod u datoj identifikaciji obradnih procesa i projektovanju njihove tehnologije i da, prema tome, nisu potrebna dalja istraživanja, niti razvoj i primena adaptivnog metoda.

Medjutim, neka ranija sistematska ispitivanja obradljivosti u nas (kroz poznati opštejugoslovenski projekat CIO) pokazala su da postoje *višestruke razlike* između *laboratorijskih* i *pogonskih vrednosti parametara obradljivosti*, tj. da se skoro nikad ne mogu direktno primeniti laboratorijske funkcije obradljivosti u obradne procese proizvodnih tehnologija. Potreban je, dakle, *nastavak ispitivanja* radi dobijanja *stvarnog* ili *pogonskog skupa* parametara obradljivosti

$$\bar{B} = \bar{B}_i = (Q, q_1, q_2, q_3, \dots, q_{n-1})_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

za date proizvodne uslove i za date operacije, a time i potpuna znanja o tehnološkim funkcijama stanja (obradljivosti) [2]:

$$F_s = (F_{si}) \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

za sve operacije (zahvate) i pogoske uslove.

Upravo se, *metodom adaptacije*, koji se predlaže u ovom radu, adaptiraju (prilagodjavaju, prevode, konvertuju) laboratorijski skupovi parametara obradljivosti (2), dobijeni u strogo kontrolisanim laboratorijskim uslovima i režimima obrade pomoću regresionog metoda, u pogonske uslove (2) radi njihove direktne primene u proizvodne (fabričke) linijske (i uslove).

Metod adaptacije obuhvata, dakle, principe i algoritme adaptacije odnosno konverzije vrednosti laboratorijskih parametara obradljivosti (1) u njihove pogonske ekvivalente (stvarne vrednosti) (2).

U metodologijama ove konverzije sadržan je, kako je naglašeno, izuzetno veliki značaj metoda adaptacije, koji se s obzirom na prirodu (proceduru) adaptacije može nazvati još i *metodom konverzije* ili *interaktivnim metodom*.

3. PRINCIPI ITERATIVNOG METODA

U osnovi programa iteracije (iterativnog metoda) sadržana su dva principa:

1. Princip (metod) najmanjeg kvadrata (sistem normalnih jednačina), i
2. Princip (metod) "korak po korak".

Prvi princip je poznat u nauci, dok se glavno obeležje drugog principa sastoji u postupku uzastopnog ponavljanja ili iteracije (postupak "korak po korak") do potpunog adaptiranja (prilagodjavanja, konverzije, prevodjenja) skupa laboratorijskih parametara obradljivosti (\bar{B}_p), odnosno tehnoloških funkcija stanja ili funkcija obradljivosti (F_{sp}) u stvarne (pogonske) parametre obradljivosti (\bar{B}) odnosno funkcije obradljivosti (F_s).

Rezultati vlastitih ispitivanja pokazuju da broj iterativnih koraka (koraka iteracije) *relativno je mali*, što znači da je procedura iteracije *relativno kratka* uz minimalne troškove ispitivanja.

To je vrlo značajno obeležje metoda adaptacije, odnosno iterativnog metoda. Ovome treba dodati da se, uz ovo, postižu istom procedurom ispitivanja, i optimalni nivo (optimizacija) datog obradnog procesa (sl. 2) [3].

4. MATEMATIČKE OSNOVE ADAPTIVNOG METODA

Klasi tehnoloških funkcija stanja (F_s) (3) pripadaju i funkcije obradljivosti, pa se, prema tome, i funkcijama obradljivosti matematički opisuje ponašanje datog obradnog procesa, i one su, sa ostalom informativnom gradnjom, sadržane u infocentru (bazi tehnoloških informacija). Najčešće se funkcije obradljivosti iskazuju, za jedno potpuno određeno režimsko područje, multiplikativnim nelinearnim modelom [6]

$$F_s = Y = B x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \dots = B \prod_{i=1}^k x_i^{b_i} \quad (4)$$

gde su B, b_1, b_2, b_3, \dots - vrednosti laboratorijskih (polaznih) parametara obradljivosti, a x_1, x_2, x_3, \dots - uticajne (ulazne) kontrolisane (upravljajuće) veličine procesa (skoro redovno elementi režima rezanja).

Na osnovu metoda najmanjih kvadrata

$$S(B, b_1, b_2, b_3, \dots) = \min \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right), \quad (5)$$

ili

$$\frac{\partial S}{\partial B} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial b_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial b_2} = 0, \dots, \quad (6)$$

dobija se sistem normalnih jednačina (NJ)

$$\begin{aligned} \log B_n(00) + b_{1n}(01) + b_{2n}(02) + b_{3n}(03) + \dots &= (0y), \\ \log B_n(10) + b_{1n}(11) + b_{2n}(12) + b_{3n}(13) + \dots &= (1y), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \log B_n(20) + b_{1n}(21) + b_{2n}(22) + b_{3n}(23) + \dots &= (2y), \\ \log B_n(30) + b_{1n}(31) + b_{2n}(32) + b_{3n}(33) + \dots &= (3y), \end{aligned} \quad (7)$$

gde je

$$\begin{aligned} (ij) &= (ji) = \sum_{u=1}^n \log x_{iu} \log x_{ju}, \quad (iy) = \sum_{u=1}^n \log x_{iu} \log y_u, \\ (ii) &= \sum_{j=1}^n (\log x_{iu})^2, \quad x_{01} = x_{02} = x_{03} = \dots = 1, \end{aligned}$$

pomoću kojeg se, korišćenjem principa "korak po korak", sistem laboratorijskih parametara odnosno funkcija obradljivosti direktno adaptira u proizvodne linije obrade, tj. direktno prevodi u proizvodni sistem funkcija obradljivosti. Pri tome je zadovoljen uslov da se u procesu adaptacije (prevodjenja) bitno ne remete postojeći proizvodni ritmovi i tokovi obradnih i tehnoloških procesa.

Na primer, za funkciju postojanosti alata obradnog procesa bušenja

$$T = B v^{b_1} s^{b_2} \quad (8)$$

ili

$$v = QT^{-q_1} s^{-q_2} D^{q_3}, \quad (9)$$

gde je

$$B = (CD^{q_3})^{1/q_1}, \quad b_1 = -\frac{1}{q_1}, \quad b_2 = \frac{q_2}{q_1},$$

sistem normalnih jednačina (7) glasi

$$n \log B_n + b_n \sum_{i=1}^n \log v_i + b_{2n} \sum_{i=1}^n \log s_i = \sum_{i=1}^n \log T_i$$

$$\begin{aligned} \log B_n + \sum_{i=1}^n \log v_i + b_{1n} \sum_{i=1}^n (\log v_i)^2 + b_{2n} \sum_{i=1}^n \log v_i \log s_i &= \\ = \sum_{i=1}^n \log v_i \log T_i, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \log B_n + \sum_{i=1}^n \log s_i + b_{1n} \sum_{i=1}^n \log s_i \log v_i + b_{2n} \sum_{i=1}^n (\log s_i)^2 &= \\ = \sum_{i=1}^n \log s_i \log T_i, \end{aligned}$$

koje definišu vrednosti b_i, b_{1i}, b_{2i} (Q_i, Q_{1i}, Q_{2i}) u bilo kom uzastopnom i -tom iterativnom kraku metoda ($i=1, 2, 3, \dots, n$).

Na sličan se način izvodi sistem normalnih jednačina za funkciju postojanosti alata za obradni proces struganja

$$T = B v^{b_1} s^{b_2} a^{b_3} \quad (11)$$

ili

$$v = QT^{-q_1} s^{-q_2} a^{q_3}, \quad (12)$$

Skup iterativnih koraka ($m+p$) deli se na dve grupe. Prvu čine osnovne (m), a drugu kontrolne (p) iteracije, gde je m - broj parametara obradljivosti (Q, q_1, q_2, q_3, \dots) u posmatranoj funkciji obradljivosti (7) i (12).

Rezultati praktične provere i potvrde adaptivnog (iterativnog) metoda detaljno su prikazani u knjigama [3,6].

5. ZAKLJUČAK

Regresioni metod, čije su metodске i matematičke osnove sažeto izložene u ovom radu, može se vrlo uspešno koristiti za identifikaciju svih osnovnih tehnoloških funkcija stanja bilo kog obradnog procesa. Pri tome, identifikacija skupa TFS ima presudan značaj za savremene proizvodne tehnologije: za projektovanje i optimalno upravljanje obradnim i tehnološkim procesima u ovim tehnologijama. Pored naznačene primene, regresioni metod koristi se inače u rešavanju brojnih tehničkih i naučnih problema.

6. LITERATURA

- [1] J. Stanić, V. Majstorović, Primena regresionog metoda u analizi obradnih procesa, Zbornik radova XXII JUPITER konferencije, Mašinski fakultet, Beograd, 1996.
- [2] J. Stanić, V. Majstorović, Razvoj metoda za ON-LINE identifikaciju obradnih procesa, Elaborati (Prvi i Drugi deo), Mašinski fakultet, Institut za proizvodno mašinstvo, Beograd, 1994-1995.
- [3] J. Stanić, Uvod u teoriju tehnoeкономске optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [4] M. Kalajdžić, Tehnologija mašinogradnje, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.
- [5] M. Jovičić, Obrada rezanjem teškoobradljivih metala i legura, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.
- [6] J. Stanić, Teorija procesa obrade, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- [7] J. Stanić, Tehnološki merni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.



SAVRŠENOST OPERACIONOG UPRAVLJANJA

EXCELLENCE OF OPERATIONS MANAGEMENT

Jovo T. Tauzović
Fakultet za pomorstvo u Kotoru

Apstrakt: *Savremeno operaciono upravljanje zasniva se na principima filozofije savršenosti koja sadrži: sveobuhvatno upravljanje kvalitetom (TQM), upravljanje zalihama u pravo vrijeme (JIT) i poboljšane tehnologije raspoređivanja (EST) tehnike. U ovom radu one su detaljno prikazane i utvrđeno je da su filozofski principi TQM ujedno i opšti principi ovih tehnika. JIT se smatra komponentom TQM primjene, a EST tehnike su neke od mogućih primjena JIT.*

Abstract: *The contemporary operations management is based on the principles of the philosophy of excellence which contains: Total Quality Management (TQM), Just-In-Time inventory management (JIT) and Enhanced Scheduling Technologies (EST) techniques. In this paper they have been presented in details and it has been established that the principles of the philosophy of TQM are also the general principles of these techniques. JIT is considered as a component of TQM implementation, and EST techniques are some of the possible implementations of JIT.*

1. UVODNA RAZMATRANJA

Naučna dostignuća, savremena tehnologija i razvijeni postupci rješavanja praktičnih problema operacionih (proizvodnih) sistema pružaju mogućnosti efektivnog i efikasnog izučavanja ne samo pojedinih procesa, već i sveukupnog procesa operacionih sistema kao skupova operacija koje transformišu ulazna sredstva tokom njihovih kretanja kroz sistem u izlazna sredstva - proizvode (robe, usluge i informacije). U cilju stvaranja dobre osnove za uspješan rad i neprestano poboljšanje operacionih sistema, treba, polazeći od razmatranja njihovih opštih praktičnih problema, izučavati, rješavati i osavremenjavati njihove operacione procese, i njihove rezultate koristiti za sveukupni razvoj ove vrste sistema. Osavremenjavanje i razvoj operacionih sistema zahtijeva primjenu sistemskog pristupa, korišćenje heurističkog programiranja zasnovanog na računarskoj simulaciji i raspolaganje savremenih računarskih sistema.

Operacioni sistemi su podsistemi ili posebne funkcije većih sistema, obično poslovnih organizacija koje imaju tri osnovne funkcije: marketinšku, finansijsku i operacionu

(proizvodnu). Rezultati analiziranja većine sadašnjih organizacija govore da su suboptimizacije, loše koordinacije i prihvaćena segmentacija česte pojave u njihovom radu. Kako ovakve pojave predstavljaju snagu suprotne efektivnosti, efikasnosti i produktivnosti, to one znatno utiču na stvaranje lošeg proizvoda, posebno njegovog kvaliteta, bilo da je on roba, usluga ili informacija. Da bi se mogle izbjeći ovakve pojave u bilo kojoj organizaciji, svi njeni procesi moraju se zasnivati na sistemskom (sveobuhvatnom), a ne analitičkom (tradicionalnom) pristupu. Operacioni sistemi se definišu i kao skupovi procesa (ili operacija) koji proizvode robe, usluge i informacije u bilo kojoj organizaciji. Mada postoje tri bitno različite vrste operacija (materijalne, uslužne i informacione), one se samo u teorijskim razmatranjima mogu posmatrati kao pojedine vrste operacionih sistema. U savremenoj praksi, bilo koji operacioni sistem sadrži bar dvije, a obično sve tri, vrste osnovnih operacija. Upravljanje ovim sistemima je neprekidan proces efektivnog korišćenja upravljačkih funkcija da efikasno integrišu sredstva (ulaze) u nastojanju da se (njegovom transformacijom) postignu željeni ciljevi (izlazi).

Dužnost operacionog rukovodioca je da integriše postrojenja, ljude, procese i sisteme. Ovakva integracija se obavlja u dinamičnoj radnoj sredini pod jakim uticajem stohastičke okoline i pri zahtjevima da svaki podsistem doprinosi zajedničkom operacionom cilju na najbolji mogući način. Uključivanjem u ovakvu integraciju, tj. operacione procese, i njihovog korisnika koji obično "slijedi svoj put", stvara se još veća neizvjesnost obavljanja operacija, a time i njihovih rezultata. Svakako da ovakva razmatranja mogu pružiti dobru osnovu za vjerovanje da je najznačajniji pojedinačni aspekt posla operacionog rukovodioca integrisanje pojedinačnih operacionih aktivnosti u glatku, ravnomjernu funkcionalnu operaciju čijom bi se harmonijom prilagodavanja dijelova smanjila rasipanja svih vrsta i povećala produktivnost operacija. Međutim, stalnim usmjeravanjem ka većoj produktivnosti samo pomoću poboljšanja efikasnosti posla ili iskorišćavanja materijala dolazi do paradoksa proizvodnje jer zanemarivanje drugih načina poboljšanja procesa operacija, kao strategijskog sredstva ili kao prave osnove za određivanje strategije, dovodi do drugih vrsta rasipanja ili do malih, često nikakvih, dobitaka. Za razvijanje uspješne operacione strategije rukovodilac mora razmotriti kvalitet, vremena proizvodnje, usluge, informacije, rate uvođenja proizvoda, isporuku na vrijeme i prilagodljiv kapacitet. Razmatranjem uspješne operacione strategije i njene politike operacioni rukovodilac stvara mogućnost obezbjeđenja najboljih procesa za postizanje operacionih ciljeva, jer sama operacija može biti najbolji izvor kada se mjeri sa jednim ili možda sa dva od četiri kriterijuma procjene: proizvodni troškovi, kvalitet proizvoda, fleksibilnost procesa ili isporuka proizvoda.

2. SAVREMENO UPRAVLJANJE OPERACIONIM PROCESIMA

Operacioni sistemi obično imaju međunarodni karakter. U težnji za konkurentnom savršenošću mnoge organizacije su nužno morale razvijati savremene metode upravljanja procesima jer savršenost upravljanja njihovim operacionim (proizvodnim) procesima u osnovi stvara konkurentnu savršenost na svjetskom tržištu. Kako ograničenja tradicionalnih tehnika operacionog upravljanja, koje često razmatraju i optimizuju samo jedan aspekt proizvodnog procesa, nijesu dozvoljavala razvoj pogodnih tehnika za ove potrebe, to su se novi razvoji morali zasnivati na savremenim prilazima i razmatranjima koja za osnovu imaju sistemski pristup. Posebno naglašen aspekt operacionih procesa je zadovoljavanje korisnika koje uključuje troškove, kvalitet i isporuku ili (vremensko) raspoređivanje, i povezano je sa tokom, efikasnošću i fleksibilnošću ovakvih procesa.

Novi razvoji u upravljanju operacionim procesima, kao što su sveobuhvatno upravljanje kvalitetom (Total Quality Management - TQM), upravljanje zalihama u pravo vrijeme (Just-In-Time inventory management - JIT) i efikasno raspoređivanje preko poboljšanih tehnologija raspoređivanja (scheduling efficiency through Enhanced Scheduling Technologies - EST), pokazali su značajno poboljšanje efikasnosti nad tradicionalnim metodama zbog omogućavanja bržeg protoka i boljeg upravljanja sredstvima, mada pažljiva analiza pokazuje da su u mnogim slučajevima ove savremene tehnike veoma saglasne sa osnovnom logikom tradicionalnih metoda. Kao takve TQM, JIT i EST zajednički predstavljaju stvarni porast upravljačkog znanja kako bolje upravljati operacionim procesima preko integracije kvaliteta, zaliha i raspoređivanja. Suštinski, to je razvoj nove filozofije operacionog upravljanja, kao potreban preduslov uspješnog poboljšanja procesa koji se mora stvoriti prije bilo kog daljeg rada sa kvalitetom, zalihama i raspoređivanjem. Ova savremena filozofija operacionog upravljanja, ili filozofija njegove savršenosti, traži obimna komuniciranja i uključivanja i među službenicima i sa spoljnom okolinom, zainteresovana je za efikasnost procesa, kvalitet i produktivnost, i fleksibilnost opreme i radne snage. Njene glavne karakteristike, koje obično nijesu i karakteristike tradicionalnih operacionih filozofija, su:

1. Integracija unutrašnje sredine i spolašnje okoline preko sredine povezivanja.
2. Duh neprestanog poboljšanja sa značajnim uticajem na kvalitet i produktivnost.
3. Naglašavanje toka posla.
4. Isticanje procesa.
5. Upravljanje informacijama na svim nivoima sa uključivanjem informisanja i zaposlenika.

Filozofija savršenosti posebno ističe operacioni proces jer je on glavni uzrok nedostataka kvaliteta, rasipne nefleksibilnosti skupih zaliha i dugih vremena trajanja proizvodnje.

Analizom savremenog prilaza upravljanju procesima ili korišćenju filozofije savršenosti može se doći do tvrdnje da ciljevi upravljanja zalihama, kvalitetom (kao zadovoljenje korisnika) i efikasno raspoređivanje nijesu međusobno isključivi. Naprotiv, ciljevi u sve tri oblasti mogu se sjediniti na takav način da odluke zajednički podržavaju dva ili više kriterijuma. Ako se procesom upravlja kao jedinstvenom cjelinom i ako se sjedine sva četiri kriterijuma (troškovi, kvalitet, fleksibilnost i isporuka), tada bi trebalo doći i do poboljšanog izvršenja operacionih procesa.

3. SAVREMENE TEHNIKE OPERACIONOG UPRAVLJANJA

Mnoge proizvodne organizacije međunarodnog karaktera, posebno one u Japanu i Sjedinjenim Amaričkim Državama, dugo su pokušavale sa uvođenjem savremenih filozofija upravljanja. U periodu poslije Drugog svjetskog rata Japanci su pružili industrijskom svijetu dva revolucionarna prilaza proizvodnji: TQM i JIT. Oni su TQM principe primjenjivali još tokom 1950-tih i 1960-tih za svrhe poboljšanja produktivnosti i kvaliteta. Dešavanja naftnih kriza tokom 1970-tih pružila su mogućnost razvoju primjene JIT principa, što je i razlog da je JIT mogao biti integrisan u japanska preduzeća u već prilično razvijenom okviru TQM filozofije. Kako su zemlje Zapada počele primjenjivati JIT prije TQM filozofije, to su one smatrale JIT kao okvir japanske proizvodne savršenosti, mada je u Japanu on već bio dio TQM filozofije. Rezultati detaljne analize japanske proizvodne savršenosti u ranim 1980-tim pokazuje da je holistički prilaz organizacijama da poboljšaju efikasnost i kvalitet proizvoda i procesa pravi razlog savršenosti njihovih operacionih upravljanja. Početak korišćenja EST tehnike povezan je sa tradicionalnim ili JIT vođenim raspoređivanjem i poboljšanjem glatkoće ili ravnomjernosti radnog toka radionice. Kreiranjem modela procesa EST prilaz je simulirao

izvršenja brojnih različitih mogućnosti raspoređivanja kako bi našao poboljšani, mada ne obavezno i optimalni, raspored. Iako su metodi EST proizašli iz tradicionalnih prilaza raspoređivanja uključivanjem velikih serija i simulacije, oni su različiti od tradicionalnih prilaza jer stavljaju naglasak na tok.

Sveobuhvatno upravljanje kvalitetom (TQM) je integrativna filozofija upravljanja za neprestano poboljšanje kvaliteta proizvoda i procesa da se postigne zadovoljenje korisnika. Ona se zasniva na osnovnoj pretpostavci da organizacija mora ugraditi kvalitet u svoje proizvode i procese i da je svako u organizaciji odgovoran za takvu realizaciju. Osnovna filozofija TQM je primjenjiva za bilo koju vrstu organizacije: robnu, uslužnu ili informacionu; malu ili veliku; javnu ili privatnu. Ono je primjenljivo na sve vrste proizvodnih organizacija bez obzira na vrstu proizvoda: standardizovani proizvodi ili proizvodi usmjereni posebnim željama korisnika; velikog ili malog obima proizvodnje. Ovo je razlog i što ona ima širu oblast primjene od JIT principa ili sistema koji su prvenstveno pogodni za standardizovanu, repetitivnu proizvodnju stalne tražnje.

Vrhunsko upravljanje organizacije djeluje kao vodič TQM primjene pomoću kreiranja vrijednosti ciljeva i sistema koji zadovoljavaju korisničke potrebe i poboljšanje izvršenja organizacije. Ono mora kreirati okvir za sveukupnu primjenu TQM, pri čemu korisnik mora biti središte svih napora poboljšanja kvaliteta. Zbog toga, organizacija mora strategijski planirati i organizovati njene tehničke, upravljačke i ljudske resurse oko proizvoda i procesa koji će obezbjediti bolje robe, usluge i informacije korisnicima. Formiranje strategije kojom se ugrađuje kvalitet u proizvod i procese i organizuje njeno razvijanje u dosljedno upravljanje ljudskim resursima i aktivnostima osiguranja kvaliteta su kriterijumi za uspješnu primjenu TQM. Sve aktivnosti poboljšanja kvaliteta moraju biti usmjerene na opipljive rezultate (tj. zadovoljenje korisnika, moral zaposlenika i produktivnost). Preduslov za ova usmjerenja na rezultate je infrastruktura za širenje relevantnih informacija kvaliteta na zainteresovane službenike i rukovodioce kroz čitavu organizaciju. Informacije se ovdje mogu grupisati od podataka najboljih konkurenata u branši do operativnih podataka o kvalitetu proizvoda. Sve ovo se izvršava preko opsežnog, ali efikasnog informacionog sistema.

Kako je osnova TQM razvijanje i poboljšanje operacionih procesa organizacije, sastavljenog od aktivnosti pripreme, aktivnosti ulaza, aktivnosti transformacija i aktivnosti izlaza, to je istraživanje operacija organizacije i ukazivanje kako one mogu biti poboljšane, centralna tema (problem) izučavanja TQM. Kao rezultat poboljšanja postupka obavljanja poslova, dakle operacionih procesa, javlja se veći kvalitet proizvoda (roba, usluga i informacija), povećava produktivnost, poboljšava operaciona efikasnost i smanjuju troškovi. Kako sveobuhvatno upravljanje kvalitetom ima najmanje četiri cjeline - standarde kvaliteta (na primjer, ISO 9000), ljude, sredstva poboljšanja i zadovoljenje korisnika, to ono mora sadržati četiri ključna elementa: neprestano poboljšanje procesa; orijentaciju na ljudski faktor; kvantitativne metode i usredsređivanje na korisnika.

Filozofija upravljanja zalihama u pravo vrijeme (JIT) zasnovana je na konceptu isporuke sirovina i proizvodnji proizvoda baš kada je to potrebno. Suština je u minimiziranju sirovina, procesnog rada i zaliha gotovih proizvoda u proizvodnom ciklusu u odnosu na smanjenje troškova zaliha, kao i u pomaganju da se otkriju i druge ozbiljne neefikasnosti (loše održavanje, inspekcija nezavršenih poslova i slično). Kako su elementi primjene JIT projektovani da eliminišu ove probleme produktivnosti, to njena primjena uključuje dva široka principa: otklanjanje rasipanja i potpunu iskorišćenost ljudi, opreme, materijala i dijelova. Ovi principi se mogu svrstati u deset grupa: "usmjerene" fabrike, smanjenje vremena postavljanja, grupna tehnologija, sveukupno preventivno održavanje, višefunkcionalni zaposlenici,

ujednačene serije, ukupni Kanban-ovi (kartice ili vidljivo predstavljanje), kontrola kvaliteta, ciklusi kvaliteta i nabavljanje u pravo vrijeme.

JIT traži vrlo pažljivo planiranje i integraciju da bi postigao uspjeh. Različite okolnosti sugerisu različite prilaze primjeni JIT. Primjena JIT je široko prihvaćena u različitim vrstama procesa - neprekidni tok, sakupljačke operacije i operacije malih serija, i poslovima radionice, kao i u različitim funkcionalnim oblastima - nabavka, usluge, robna proizvodnja i distribucija. JIT je atraktivan u mnogim vrstama poslovanja, dakle u uslugama, uz obavezno naglašavanje da postoje ograničenja JIT sistema i uz podsjećanje na njegove troškove (finansijeske obaveze, obrazovanje i komiciranje).

Filozofija poboljšanih tehnologija raspoređivanja (EST) odnosi se na moguće primjene u JIT raspoređivanju s obzirom na nekontrolisane okolnosti. Upravljanje zalihama u pravo vrijeme (JIT) teži ka stabilnom proizvodnom toku kroz proizvodni proces i dosljedno, ako ne potpuno stalno, vrijeme proizvodnje. Slično TQM, ono pokušava da eliminiše proizvodne nedostatke i kvarove opreme. EST tehnike usmjeravaju upravljanje zalihama i kontrolu kvaliteta vrlo efektivno. Međutim, kada, se dese bilo kakve smetnje u proizvodnom procesu, to ne bi smjelo da zaustavi sve sljedeće aktivnosti operacija ili sve sljedeće operacije. Zbog toga se EST prilaz savršenosti upravljanja operacionim procesima koristi da bi se "izgladila" raspoređivanja procesa i da se minimiziraju uticaji mogućih obustava. Ukratko, ove tehnike poboljšanog raspoređivanja koriste računarsko-simulacione tehnike procesa da identifikuju uska grla proizvodnje. Mada ova uska grla mogu biti riješena na mnoge načine, praktično rješenje je da se planiraju male količina zaliha odmah iza mjesta mogućih pojava uskih grla, i na taj način spriječe uska grla da prekinu sledeće operacione aktivnosti ili procese. Tekući alati EST su vlasnički softverski proizvodi koji se prilično široko koriste.

Primjena EST tehnika će biti najefikasnija na malim serijama i diferenciranoj proizvodnji. Ona zahtijeva opse razumijevanje od svih zaposlenika, sigurno procjenjivanje čitave filozofije, početno testiranje softvera i prepoznavanje da se neke promjenljive procesa ne mogu modelirati. Programi zaista traže velike tehničke i programske pripreme, mada je vjerovatno da će oni tražiti daleko manje napore obučavanja za netehničke zaposlenike.

Letimičnim pogledom iznesenih pojedinih tehnika završenosti-TQM, JIT i EST mogao bi se steći utisak da se radi o tri različita pristupa operacionom upravljanju. Međutim, korišćenjem detaljnih opisa, samih suština i njihovih ciljeva dolazi se do drugačijeg zaključka.

TQM označava opštu filozofiju usklađenih napora, koja počinje sa jasno određenim ciljevima od obaveznog vrhunskog upravljanja i prosljeđuje sa organizacionim razvojem i razvijanjem poboljšanja strategija kvaliteta. S obzirom na potpuno i aktivno učestvovanje vrhunskog upravljanja, efektivnost TQM primjene je olakšana preko kreiranja središnje podrške (integracije između funkcija, razvijanja i obučavanja kadrova, sistemi nagrađivanja) i podržavajuće infrastrukture (kvalitetni informacioni sistemi, poređenje u branši i sistem povratnih veza od korisnika). Kako se TQM može uspješno primijeniti u različitim organizacijama, to je njegova primjenljivost, takođe, mnogo šira od primjenljivosti JIT.

Analiza veza između TQM kao filozofije i JIT kao sistema pokazuje da tradicionalni pogled tretiranja TQM i JIT kao izolovanih strategija nema teorijsku, a vjerovatno ni praktičnu osnovu, već je to integrisano posmatranje u kojem se JIT smatra komponentom TQM primjene. Ove razlike se mogu objasniti identifikovanjem osnovnih razlika u filozofijama, ciljevima i obimu ovih prilaza. TQM ima mnogo šire usmjerenje na poboljšanje sveukupne efikasnosti organizacije. Ono određuje odgovornost vrhunskog upravljanja organizacije mnogo jasnije, nudi jasan sistemski put za poboljšanje kvaliteta i produktivnosti. TQM čini mnogo jasnijim međusobna djelovanja različitih funkcija organizacije (istraživanje

i razvoj, marketing, proizvodnja, informaciono-upravljački sistem, finansije, nabavka i logistika) za vrijeme različitih aktivnosti proizvodnog ciklusa. TQM ide iznad proizvodnog usmjerenja JIT i usmjerenje na neprestano poboljšanje svih aktivnosti koje se, direktno ili indirektno, odnose na proizvodnju. JIT filozofija je bazirana na pretpostavci da minimiziranje zaliha (sirovina, materijala u procesu rada i gotove robe) može povećati koristi organizacije u terminima slabijeg kapitala. Zato, svi naponi moraju biti usmjerni na davanje pravog kvaliteta sirovinama u pravo vrijeme i proizvodnju proizvoda baš kada su potrebni. Razmatranjem veza između JIT i EST može se doći do zaključka da su tehnike EST neke od mogućih primjena JIT. EST tehnike mogu lakše biti primijenjene od TQM i JIT metoda jer se, izvršavanjem softverskih proizvoda, identifikuje najbolje raspoređivanje i ono se primjenjuje od strane kontrole proizvodnih aktivnosti. Dakle, za postizanje velike efikasnosti operacionog sistema najopštija je filozofija TQM, zatim dolazi sistem JIT koji je konačno zadužen za obezbjeđenje kvaliteta i produktivnosti korišćenjem i EST tehnika.

4. ZAKLJUČAK

U posljednje vrijeme organizacije počinju da shvataju da je primjena filozofije savršenosti, koja sadrži: sveobuhvatno upravljanje kvalitetom (TQM), upravljanje zalihama u pravo vrijeme (JIT) i poboljšane tehnologije raspoređivanja (EST) prilaze, dobar način za postizanje dugoročnih poslovnih uspjeha. Svaki od ova tri prilaza savremenog operacionog upravljanja nužno traži filozofiju integrisanja snabdjevača i distributera, stavlja naglasak na tok procesa i ima duh neprestanog poboljšanja. TQM se bavi troškovno-efektivnim upravljanjem kvalitetom, JIT procjenjuje zalihe i dalje usmjerava napore na postavljanja, veličine serija i isporuke, a različite EST tehnike koriste računarsku simulaciju da tokove operacionih (proizvodnih) procesa učine glatkim (ravnomjernim). Upravljanje zalihama, kontrola kvaliteta i raspoređivanje poslova, koji su se tradicionalno smatrali odvojenim i ponekad međusobno isključivim ciljevima proizvodnje, imaju zajedničko uporište u opštoj TQM filozofiji zasnovanoj na sistemskom pristupu. EST prilaz demonstrira sposobnost efektivne kontrole, posebno važne za neravnomjerne tokove. Sve tehnike filozofije savršenosti zahtijevaju znatne napore i obučavanja, ali konačni rezultati daju znatno smanjenje troškova, veći kvalitet, bolju fleksibilnost i isporuke u pravo vrijeme. Kako je u srcu integralne poslovne strategije organizacije - kvalitet i produktivnost, to primjenom savremenih tehnika operacionog upravljanja organizacije postaju efikasnije i efektivnije - efikasnije jer postižu bolju produktivnost, a efektivnije jer bolje postižu sveukupne ciljeve, pa i ciljeve kvaliteta.

LITERATURA

- [1] Tauzović, Jovo T.: TEORIJA SISTEMA, Fakultet za pomorstvo, Kotor, 1995.
- [2] Fogarty, Donald W.; Hoffmann, Thomas R. and Stonebraker, Peter W.: PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT, South-Western Publishing Co., Cincinnati, 1989.
- [3] Vuppalati, Kiran; Dhire, Sanjay L. and Gupta, Tarun: JIT and TQM: A Case for Joint Implementation, International Journal of Operations and Production Management, Vol. 15, No. 5, 1995.
- [4] Tauzović, Jovo T.: Sistemske metodologije operacionih sistema, Zbornik radova SIM-OP-IS '96, Zlatibor, 1996. (u štampi)
- [5] Tauzović, Jovo T.: Sveobuhvatno upravljanje kvalitetom u pomorskoj privredi, Pomorstvo br. 5, Kotor, 1995.



Vulanović dr Vojislav*
Avramov dr Živko**

UTICAJ ENTROPIJSKOG PRIGUŠENJA I UPRAVLJAČKOG RADA NA STEPEN ISKORIŠĆENJA PROCESA

Rezime

U radu je dato objašnjenje fenomena entropijskog prigušenja, kao integrala entropije u određenom vremenu i formiran je višeparametarski model stepena iskorišćenja procesa. Na prikazanom modelu analizira se uticaj upravljačkog rada na stepen iskorišćenja. Na egzaktan način definišu se pojmovi: "gornje dozvoljeno entropijsko prigušenje procesa" i "entropijsko prigušenje pri kom dolazi do prestanka rada procesa".

1. UVOD

1.1 Definisane stepena iskorišćenja procesa

Stepen iskorišćenja procesa, u radu se definiše kao:

$$\varphi = \frac{\text{Tehnološko vreme trajanja procesa } (t_0)}{\text{Stvarno vreme trajanja procesa } (T_p)} \quad (1)$$

Stvarno vreme trajanja procesa iznosi:

$$T_p = t_0 + z \quad (2)$$

gde je:

z - vreme zastoja zbog otkaza procesa i iznosi:

* Vulanović dr Vojislav, redovni profesor, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu,

** Avramov dr Živko, Viša poslovna škola u Novom Sadu

$$z = \sum_{i=1}^k \frac{a_i}{u_0} \quad (3)$$

gde je:

a_i [rad] - rad potreban za otklanjanje i -tog otkaza,

u_0 $\left[\frac{\text{rad}}{\text{jed. vrem.}} \right]$ - raspoloživ jedinični upravljački rad,

k - broj otkaza.

Ako se uvede $\bar{a} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k a_i$, kao prosečan rad potreban za otklanjanje otkaza u procesu, tada se stepen iskorišćenja može napisati u obliku:

$$\varphi_{(t)} = \left[1 - K_t \frac{\bar{a}}{u_0 t} \right] \quad (4)$$

1.2 Entropija procesa i entropijsko prigušenje

Entropija procesa predstavlja kvantitativnu meru nepredvidivosti, a određuje se na osnovu sledeće relacije:

$$H_p(t) = - \sum_{i=1}^{K_t} p_i(t) \ln p_i(t) \quad (5)$$

gde je:

p_i - verovatnoća i -tog otkaza u vremenskom trenutku "t",

K_t - broj mogućih ishoda procesa u vremenskom trenutku "t".

Kako entropija $H_p(t)$ kvantifikuje neodređenost (dezorganizovanost) procesa samo u jednom vremenskom trenutku (preseku), nije moguće vršiti analizu procesa u određenom vremenskom intervalu.

U cilju analize procesa, sa aspekta neodređenosti, u određenom vremenskom intervalu, uvodi se nova kategorija, *entropijsko prigušenje*, koje se definiše kao:

$$P_p = \int_{t_1}^{t_2} H_p(t) dt \quad (6)$$

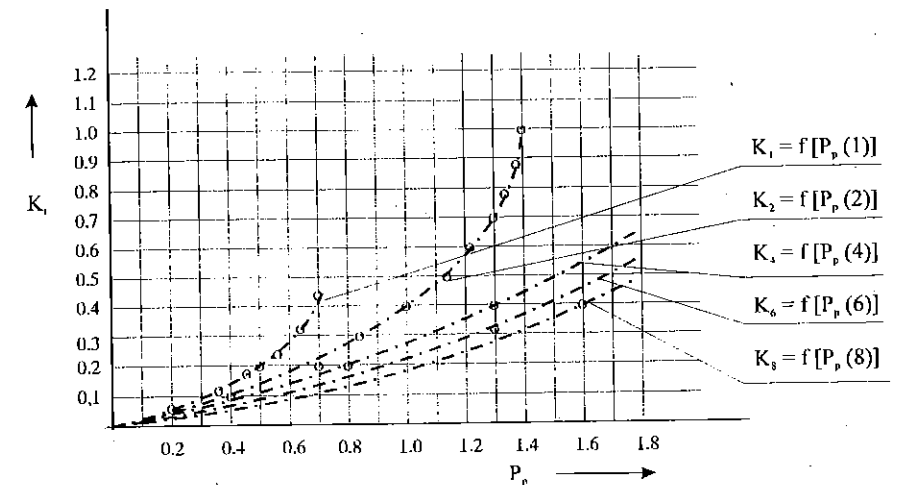
Entropijsko prigušenje kvantifikuje kumulativnu neodređenost (dezorganizovanost) procesa u određenom vremenskom intervalu ($t_1 + t_2$).

2. ZAVISNOST BROJA OTKAZA OD ENTROPIJSKOG PRIGUŠENJA PROCESA

Istraživanja* pokazuju da je moguće uspostaviti funkcionalnu zavisnost broja otkaza i entropijskog prigušenja procesa.

* [1], str. 92 + 110.

Na slici 1. data je zavisnost $K_t(P_p(t))$ za različita vremena trajanja procesa.



Slika 1. Prikaz zavisnosti $K_t = f[P_p(t)]$

Uspostavljena zavisnost broja otkaza od entropijskog prigušenja implicira vezu između stepena iskorišćenja procesa i entropijskog prigušenja (obzirom na relaciju (4) i sliku 1).

3. TESTIRANJE VIŠEPARAMETARSKOG MODELA STEPENA ISKORIŠĆENJA PROCESA

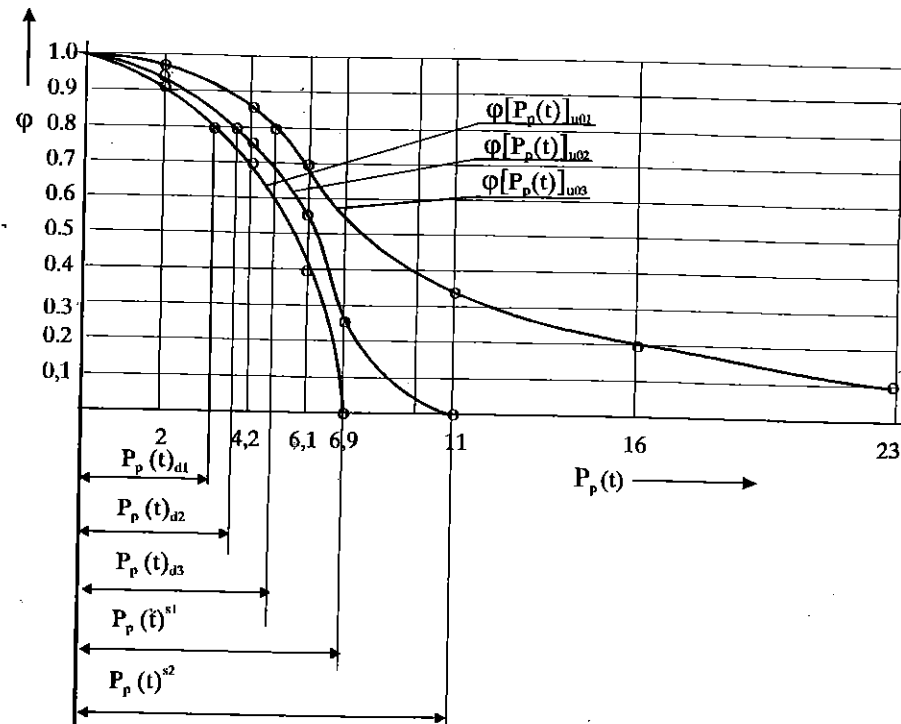
Na osnovu relacije (4) i slike 1. jasno je da postoji direktna veza između stepena iskorišćenja procesa i entropijskog prigušenja, gde su parametri jednačina upravljački rad " u_0 " i prosečno potreban rad na otklanjanju otkaza " \bar{a} ".

Ponašanje stepena iskorišćenja " φ " u zavisnosti od entropijskog prigušenja $P_p(t)$ dato je u zavisnosti od intenziteta jediničnog upravljačkog rada " u_0 ", što je prikazano na slici 2.

Oznake na slici 2. imaju sledeća značenja:

- $\varphi [P_p(t)]_{u_{0i}}$ - zavisnost stepena iskorišćenja od entropijskog prigušenja kada je raspoloživ upravljački rad u_{0i} ,
- φ_p - projektovani (potrebni) stepen iskorišćenja procesa,
- $P_p(t)_{d_i}$ - gornje dozvoljeno entropijsko prigušenje da bi se pri raspoloživom jediničnom upravljačkom radu u_{0i} , mogao ostvariti projektovani stepen iskorišćenja procesa φ_p ,

- $P_p(t)^{s_1}$ - entropijsko prigušenje procesa koji raspolaže jediničnim upravljačkim radom u_{01} , pri kome dolazi do prestanka rada procesa.



Slika 2. Dijagram zavisnosti stepena iskorišćenja od entropijskog prigušenja i uloženog upravljačkog rada, pri $\bar{a} = \text{const.}$ i $u_{01} > u_{02} > u_{03}$

Kako je moguće napisati:

$$P_p(t) = \int_0^{t_1} H_p(t) dt = \bar{H}_p(t) \cdot t^{-1} \quad (7)$$

gde je:

$\bar{H}_p(t)$ - prosečna entropija procesa u vremenu " t_1 ".

Na osnovu iznetog, a pri određenim parametrima procesa (\bar{a} i u_0), mogu se generalizovati sledeći stavovi:

- a) U bilo kom vremenu " t " od početka procesa, postoji:
- gornje dozvoljeno entropijsko prigušenje i
 - gornja dozvoljena prosečna entropija procesa

pri kojoj, ili manjoj od nje stepen iskorišćenja ima vrednost

$$\varphi \geq \varphi_p \quad (8)$$

Kada je entropijsko prigušenje veće od gornjeg dozvoljenog, odnosno prosečna entropija veća od gornje dozvoljene, stepen iskorišćenja je manji od projektovanog, odnosno:

$$\varphi < \varphi_p \quad (9)$$

- b) Kada entropijsko prigušenje dostigne nivo $P_p(t)^{s_1}$, odnosno prosečna entropija dostigne nivo $\bar{H}_p(t)^{s_1}$, dolazi do prestanka rada procesa.
- c) Što je raspoloživi jedinični upravljački rad veći (u_{0i}), tada, gornje dozvoljeno entropijsko prigušenje i gornje dozvoljena prosečna entropija, pri kojima dolazi do prestanka rada sistema, imaju viši nivo.

4. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana zavisnost stepena iskorišćenja procesa od novo uvedene kategorije, entropijskog prigušenja, posredstvom uspostavljanja egzaktne funkcionalne veze između entropijskog prigušenja i broja otkaza u procesu. Takođe, izvršeno je testiranje ponašanja stepena iskorišćenja procesa u zavisnosti od raspoloživog, jediničnog upravljačkog rada i entropijskog prigušenja. Na osnovu izvršenog testa definisane su kategorije: gornje dozvoljeno entropijsko prigušenje, gornje dozvoljena prosečna entropija procesa, kao i entropijsko prigušenje pri kom dolazi do prestanka rada procesa, čime je cilj rada ispunjen.

LITERATURA

- [1] Avramov dr Živko, Prilog istraživanju stabilnosti i osetljivosti složenih proizvodnih sistema, Doktorska disertacija, Novi Sad, 1995.
- [2] Jagloi A., Jagloi I., Verovatnoća i informacija, Nauka, Moskva, 1973.
- [3] Šereš Šendor, Teorija sistema, Ekonomski fakultet, Subotica, 1984.
- [4] Zelenović dr Dragutin, Tehnologija organizacije industrijskih sistema - preduzeća, Naučna knjiga, Beograd, 1995.

Summary

An explanation of entropic deadening phenomenon has been given, as an integral of the entropy of the observed category in time and multi-parameter model of entropic deadening of the process has been formed. On the displayed model, influence of controlling labor on the level of using has been analyzed. The concepts are defined in an exact way: "upper allowed entropic deadening of the process" and "entropic deadening followed by stopping of the process work".



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

SIMULATION OF THE COMPLEX MANUFACTURING
SYSTEMS AS THE BASIS FOR WORKING OUT OF NEW
CALCULATION METHODS

by

Anatolij I. Dashchenko
Prof., Eng., Dr. Sc. *

Oleg A. Dashchenko
Dr., Eng. **

Anatolij L. Karunin
Acad., Rector *

Dieter H. Ludwig
Acad., Prof., Dr. Sc. **

* Moscow State Academy of Automobile and Tractor
Machinebuilding (MAMI), 38, B, Semenovskaya Str., 105839,
Moscow, Tel: 007 095 369 91 11

** Daimler-Benz AG technological representation, 113
Leninsky Prosp., 117198, Moscow. tel.: 007/502-256-5184,
fax: 007/502-256-5183

ABSTRACT

The main problem facing a designer working on the application of technological processes and making automatic equipment is a large number of possible solutions. Even computer-aided exhaustive optimal solution search is not always feasible. Working out and comparison of several versions selected on the basis of experience and intuition not always allows the designer to find the result needed because the optimal version can be found to be outside those considered. The guided search method [1,2] is widely used ensuring minimum time expenditure for finding the most favourable solution. However, during the final steps of the optimization procedure, the accuracy of productivity and reliability estimation for assembly lines and technological systems of machines with complex structures is needed. At present, mathematical calculation methods for these systems are not adequate, and, consequently, statistic modelling of such systems' operation is widely used to obtain data concerning their reliability. A characteristic feature of this approach is that simulation of versions precedes optimization. Preliminary mass simulation makes it possible to construct a series of experimental procedures which simplifies considerably line productivity and reliability calculations.

The methods for calculation of machine and assembly lines with complex structure suitable for the selection of their structural design solutions are considered.

CAPACITY AND RELIABILITY OF AUTOMATIC LINES WITH
RIGIDLY CONNECTED (BLOCKED) WORKSTATIONS

Analytical methods based on probability regularities of machine systems are widely applied for estimation of major characteristics of equipment such as capacity with reliability taken into account, utilization coefficient, loss overlap coefficient, etc.

It is often assumed that the flows of assembly line failures and recoveries are Poisson and the times of line failure-free operation τ , equipment recovery τ_e and tool recovery τ_t obey the exponential law.

Mathematical modelling of both blocked lines and flexibly connected machine system operation requires first to justify the application of the exponential law to this case. To this end, various machine and assembly equipment working both separately and within assembly lines was studied.

The experimental time distributions τ , τ_e , τ_t have been found to differ from the theoretical one (exponential) for most of the studied objects.

Fig. 1 shows the time distribution τ of failure-free equipment operation as expressed in relative units x . Using relative units in time representation enabled combination of all the experimental curves in a unique scale and standardize them with various theoretical curves, in particular, exponential dependence of the form $F(x) = 1 - e^{-x}$ (Curve 1). The mean statistical dependence (Curve 3) has been determined through the obtained experimental Curves 2. The discrepancy between Curves 1 and 3 is about 7 to 10 per cent that can be considered as a suitable comparative estimation of line versions.

Similar results were also obtained for the time distributions for equipment repair τ_e and for tool change and adjustment τ_t .

Thus, the exponential law describes the distribution of random periods for equipment recovery (according to the mean statistical data) sufficiently accurately. However, for some specific lines using this law can lead to errors in reliability calculations.

The exclusive use of the exponential law for analysis of assembly line operation at all steps of its design and exploitation is, thus, not justified. It is reasonable only for the preliminary estimation of machine system reliability when the

designs of assemblies and tools are not determined yet as well as for comparative analysis of machine system designs or maintenance strategies. The prediction of a particular machine or line performance on the base of the exponential law usage can result in erroneous estimates.

Therefore, mathematical models of two types are needed: 1) for the exponential law-based estimation of machine system performance which is recommendable for the earliest stages of their design; 2) for the accurate evaluation of operation of particular machine and assembly line designs and for the prediction of their basic technical and economical characteristics on the base of revised reliability laws corresponding to actual exploitation conditions.

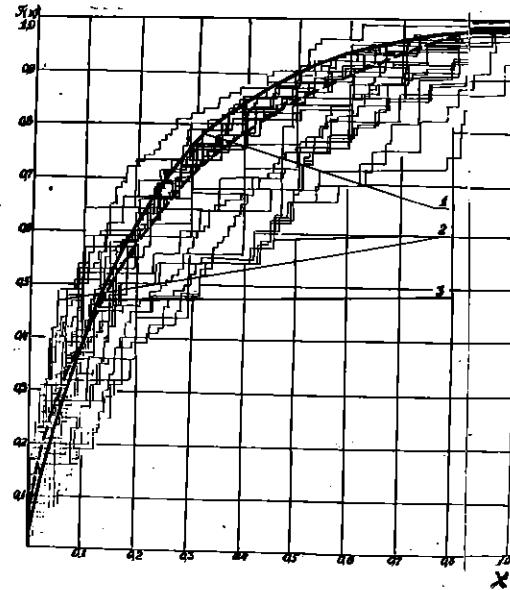


Fig. 1: Distribution of transfer lines failure-free time τ in relative units x .
1 - theoretical exponent,
2 - experimental curves,
3 - mean value over all experiments

Consider the first type model, e.g., the model of a blocked assembly line. Its field of application, as well as that of models of machine lines including machines or sections with flexible relations, can be restricted by the following tasks: 1) establishing some general technical and economical regularities characterizing automatic equipment operation, 2) expert evaluation of actual and designed versions of automation, 3) determining the optimal level of operations' concentration in machines, 4) studying the effect of line reliability parameters on time stability of such characteristics as capacity, utilization coefficient, etc., 5) comparative analysis of different design versions for assembly lines, 6) investigation of the effect of the size and location of

interoperation workpiece stocks on line efficiency and optimization of stock sizes, 7) optimization of the number of adjustment and maintenance personnel, selection of the tool/equipment service strategy.

The processed experimental data (Fig. 1) allow us to represent the first type mode as follows:

$$P\{\tau > t\} = \begin{cases} 1, & \text{if } t=0 \\ e^{-\lambda t}, & \text{if } t > 0 \end{cases}$$

$$P\{\tau_r > t\} = \begin{cases} 1, & \text{if } t=0 \\ ce^{-\lambda t} + (1-c)e^{-\mu t}, & \text{if } t > 0, \end{cases}$$

where $\lambda = 1/t = k/\Sigma \tau_i = \text{const}$; $\mu_e = 1/t_e = k_e/\Sigma \tau_e = \text{const}$; $\mu_r = 1/t_r = k_r/\Sigma \tau_r = \text{const}$; $c = k_e/(k_e + k_r)$, k_e and k_r are the numbers of line failures during the time T due to equipment and tool failures, respectively.

The actual line operation time and its utilization coefficient are

$$T = \Sigma \tau + \Sigma \tau_e + \Sigma \tau_r; \quad \eta = \Sigma \tau / T.$$

When considering equipment reliability over a long time one cannot consider the failure flow λ as a constant rather as a function of time $\lambda = \lambda(T)$. The same is valid for μ_e and μ_r .

Line reliability with the change of the failure flow parameter λ during the long time period T taken into account is represented in Fig. 2. Here the sections of the surface characterizing the decrease of reliability with times T_1, T_2, T_3 are exponential curves with parameters $\lambda = \lambda(T_i)$. The increase of $\lambda(T)$ with time results in the decrease of the probability P of failure-free operation of assembly line as T grows due to its wear.

Determining the form and parameters of the function $\lambda(T)$ for various kinds of automatic equipment is one of the challenges to the reliability theory. Assuming that the exponential law adequately describes probabilistic regularities of automatic equipment operation over the time T when $\lambda \neq \text{const}$, one can divide the whole time of line exploitation into a number of segments ΔT and consider the parameters of failure $\lambda = 1/t$ and recovery $\mu_r = 1/t_r$ as constant at each segment. Then it is possible to apply the Markov chain approach for probabilistic analysis of assembly line operation and obtain the dependences necessary for calculations.

If the parameters λ and μ are known for each assembly and tool involved into the machine system, then the probabilities of blocked line operation P_1 and standstill P_2, P_3 are as follows:

$$P_1 = 1 / [1 + \Sigma(\lambda_i/\mu_i) + \Sigma(\lambda_e/\mu_e)] = \eta,$$

$$P_2 = (\lambda_i/\mu_i) / [1 + \Sigma(\lambda_i/\mu_i) + \Sigma(\lambda_e/\mu_e)],$$

$$P_3 = (\lambda_e/\mu_e) / [1 + \Sigma(\lambda_i/\mu_i) + \Sigma(\lambda_e/\mu_e)].$$

For practical evaluation of the assembly line coefficient η the values of λ_i and $B_i = \lambda_i/\mu_i$ for various line components were obtained by prolonged statistical studies at production field.

Given the number of components, devices and tools of the designed line, the line coefficient η can be calculated through the above source data:

$$\eta = 1 / [1 + 10^{-3}(\Sigma B_e + \Sigma t_c/T) / T_c],$$

where ΣB_e is the specific (i.e., related to 1 min of useful operation) duration of line standstill (without tools),

$$\Sigma(t_c/T) / T_c = \Sigma B_t,$$

B_t is the specific standstill duration of all the tools, T is tool durability, t_c is the time for changes and adjustment for failure-free time, t_c is the time of tool cutting, T_c is the line operating cycle.

However, applying Markov chains to lines consisting of several sections presents appreciable mathematical difficulties, though some authors succeeded in solving the system of equations for lines involving four or five sections. To evaluate the coefficient η for more complicated lines different methods for modelling their operation processes are usually applied.

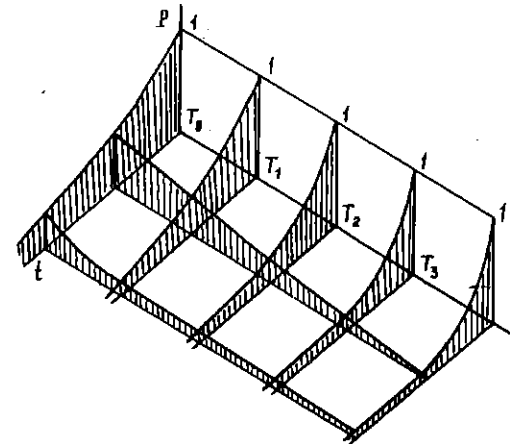


Fig. 2: Dependence of the line failure-free operation probability upon the exploitation time

Modelling provides more information concerning line operation than analytical calculation does, but the latter is usually more universal and available, it allows prompt comparison of various configurations by means of a microcalculator without using a computer.

CAPACITY AND RELIABILITY OF AUTOMATIC LINES WITH FLEXIBLY CONNECTED WORKSTATIONS

The main difficulty when designing complex configuration assembly lines consists in determining γ , the coefficient of loss overlapping at a producing machine due to all the preceding ones. Large-scale modelling of more than 1200 configurations for single- and multiple-flow lines has enabled experimental determination of $\gamma = f(B, n, a)$ and plotting the corresponding graphs for the number of

machines (sections) $n=2$ to 14 (a is a mean stock of workpieces between the sections in terms of minutes of line operation). Fig. 3 shows the sample graph for a line involving ten sections ($n=10$). The graph allows determining the value of γ if the specific recovery duration $B = \lambda/\mu$ for each section and the generalized value of workpiece stock between the sections $a_i = \mu T_{c, \text{max}}$ for given n are known (here z is the maximal workpiece stock between two sections, in pieces).

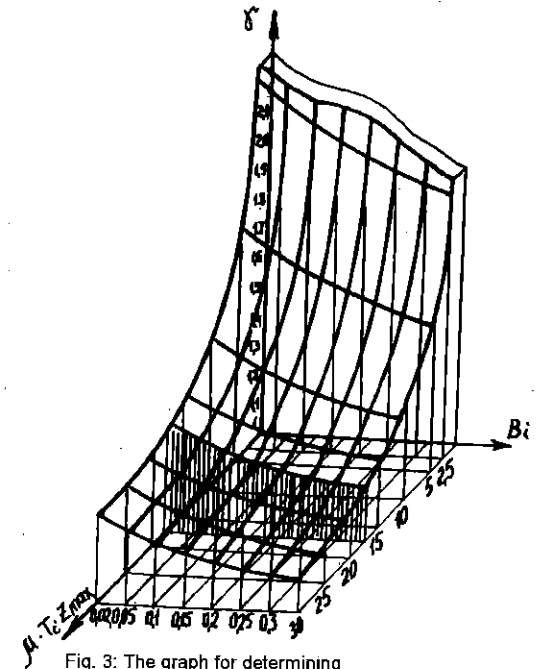


Fig. 3: The graph for determining the loss overlapping coefficient γ for a transfer line consisting of six ($n=6$) sections

The single-flow line capacity (pieces/min.) is determined through the obtained value of γ (for $B_1 = B_2 = \dots = B_n$):

$$Q = 60 / T_c (1 / (1 + B_n \gamma)).$$

According to the obtained dependence, the number of flows m at each section decreases the standstill coefficient by $\gamma^{1/\sqrt{m}}$ and, therefore, the multiple-flow line capacity is

$$Q = 60 / T_c (1 / (1 + B_n \gamma^{1/\sqrt{m}})).$$

Comparison of the results of line capacity calculations with the simulation data has shown their good agreement. Fig. 4, a presents the dependence of the utilization coefficients η for the line including 14 consecutively operating sections upon the generalized stock value $\mu T_{c, \text{max}}$. The results of

calculations according to the formula and the simulation data are proved to coincide. The verification of the graph analytical method has justified its application to

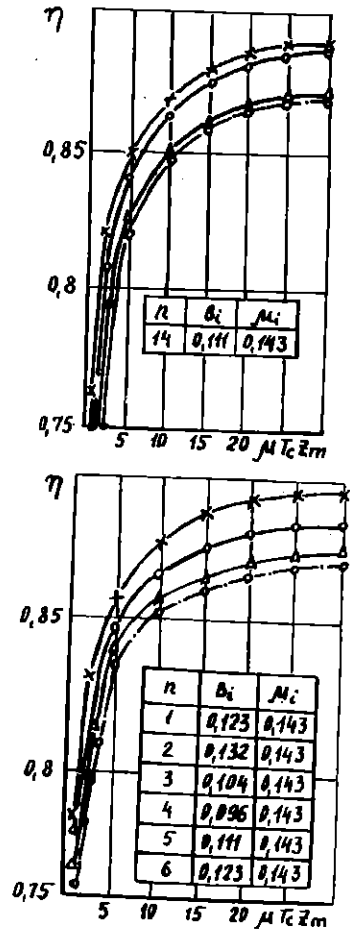


Fig. 4. Comparison of the calculation (•-•) and modelling (Δ-Δ) results for transfer lines (the other curves are obtained with applying Markov processes theory), a) n=14, b) n=6.

calculations of capacity for lines consisting of sections with different reliability. If the recovery (repair) duration Bi of different

sections varies by 10 to 15% then for single- and multiple-flow lines, respectively

$$Q = 60/T_c (1/(1 + \sum B_i \gamma/n)),$$

$$Q = 60/T_c (1/(1 + \sum B_i \gamma^{1/\sqrt{m}}/n)). \quad (1)$$

Fig. 4, b shows the results of calculations according to formula (1) and the results of flow line simulation, where the number of sections n=6 and ΔB≈15%. As is seen, the error Δη is about 0,4-0,6% with respect to the simulation data for the considered line that is a quite acceptable result at the stage of preliminary estimation of configuration versions.

If machine reliability if the line differs by more than 15%, then for single- and multiple-flow lines, respectively, the value of η is determined from Table 1, while design is carried out first in the direct and then in the reversed order that makes it possible to find the section with minimal throughput capacity and, thus, define Q_{min} for the line as a whole.

Table 1. Formulas for calculation of the coefficient η.

Relations between specific machine adjustment durations	Single-flow lines (n > 1, m = 1)	Multiple-flow lines (n > 1, m > 1)
B ₁ =B ₂ =...=B	$\eta = 1/(1 + B_n \gamma)$	$\eta = 1/(1 + B_n \gamma^{1/\sqrt{m}})$
B ₁ ≈B ₂ ≈...≈B ΔB≤15%	$\eta = 1/(1 + \sum B_i \gamma/n)$	$\eta = 1/(1 + \sum B_i \gamma^{1/\sqrt{m}}/n)$
B ₁ ≠B ₂ ≠...≠B ΔB>15%	$\eta_{\min i, n-i} = 1/(1 + B_i \gamma)$	$\eta_{\min i, n-i} = 1/(1 + B_i \gamma^{1/\sqrt{m}})$

In a similar way, using the graphs of $\gamma = f(B, n, a)$, one can calculate the capacity of parallel-section lines. The results of calculation have shown that the limit values of the error Δη are about 0,5 to 1,0% in this case.

Examples: 1) Selection of line layout involves determination of the capacity of a single-flow (m=1) six-section (n=6) transfer line with close values of losses B_i in sections. There are storages for z_{max} = 70 pieces between the sections. The mean section recovery time τ_r = 7 min, the processing cycle for all sections is the same: T_c = 2,5 min.

The assembly line capacity

$$Q = 60/T_c (1/(1 + \sum B_i \gamma/6)).$$

To determine γ₆ let us calculate the mean value of B and the generalized value of storage capacity a using the following formulas:

$$B = \sum B_i/6 = (0,123 + 0,132 + 0,104 + 0,096 + 0,111 + 0,123)/6 = 0,114,$$

$$a = (1/\tau_r) T_c z_{\max}/2 = (1/7) \cdot 2,5 \cdot 70/2 = 12,5.$$

For the obtained values of B and a and for n=6 we find

that γ₆ = 1,265. Thus, the line capacity

$$Q = 60/2,5 \cdot 1/(1 + 0,114 \cdot 1,265) \approx 20,9 \text{ pieces/h.}$$

2) It needs to calculate the capacity of a multiple-flow and multi-section automatic line, consisting of four sections (n=4) and having the following parameters: τ_r = 7 min, z_{max} = 70 pieces,

- the flow number in the first section m₁ = 3, overall section losses m₁B₁ = 0,25, the operating cycle of one section T_c = 2,25 min;
- the flow number in the second section m₂ = 2, overall section losses m₂B₂ = 0,19, the operating cycle of one section T_c = 1,5 min;
- the flow number in the third section m₃ = 4, overall section losses m₃B₃ = 0,33, the operating cycle of one section T_c = 3 min;
- the flow number in the fourth section m₄ = 3, overall section losses m₄B₄ = 0,25, the operating cycle of one section T_c = 2,25 min.

The calculated utilization coefficient of the automatic line equals 0,73. According to the calculation result, the automatic line capacity

$$Q = 60 \cdot 4 \cdot 0,73/3 \approx 58,4 \text{ pieces/h.}$$

CAPACITY AND RELIABILITY OF NONSYNCHRONOUS ASSEMBLY LINES

Modern assembly lines differ significantly from tool ones, especially in their layout and transportation facilities. Synchronous lines (SL) with rigidly connected workstations are replaced now by non-synchronous lines (NSL) having flexible connections between assembly machines. They enable successful combination of automatic and manual assembly operations in one flow.

The main advantage of a NSL is its capacity that is 10 to 30 per cent higher than that of synchronous lines. It results from the fact that at synchronous assembly lines a product is transferred from one workstation to another not earlier than operations at all workstations are completed so that a delay at one workstation leads to the whole section delay. Such delays can arise, as a rule, due to the spread of manual operation time. The thing is that the worker capacity varies within a certain range depending upon a number of changing factors, among them worker's fatigue, mood, skill, working conditions, the quality of assembled parts, etc. Failures of machines at automatic workstations are the other reason for delays.

At NSLs, assembled products are moved between workstations immediately after the operation completion independently on other workstations, steady pace of operation being reached due to inter-operation process stocks (several palettes with assembled products between workstations). In other terms, after a stop or a delay at some workstation others continue to work during some time (until the preceding storage is exhausted or the next one is filled).

Practical exploitation of NSLs has shown that the actual line capacity varies within a rather wide range and depends upon the parameters determining its layout, such as the number of workstations, their reliability, time spread

of separate manual operations, capacity of inter-operation storages, etc.

Thus, it is of great importance to evaluate the NSL's performance just at the design stage, since the errors in determining an expected capacity can result in: a) extra fund and time expenses for corrections according to in field testing or b) unjustified increase of the line cost due to its complicated structure, incomplete equipment loading, increase of line size, production area and metal expenditures. It is also important to choose a reasonable layout and line parameters supporting the defined production plan which provides required quality at minimal costs.

The known methods for flexible assembly line design cannot be applied to NSLs because they do not take into account the specific features of combined automatic and manual workstations. Therefore, as a result of investigation of NSL operation the graph-analytical design method has been developed which permits sufficiently accurate estimation of NSL's capacity and reliability at the first design stage.

The method is based upon the assumption that the specific value of imposed standstills B_{si} transmitted from each considered workstation si to the limiting one l is a constant depending on the specifications of workstations and the total capacity of storages between them only and independent of the number, location and specifications of other workstations included in the line.

The value of B_{si} equals the ratio of the total standstill time of a limiting workstation Δi due to the failures at the i-th workstation to the total operating time T.

$$B_{si} = \sum \Delta i / T.$$

The results of investigations have confirmed the possibility of using this hypothesis. The deviation of the value of B_{si} from the modelling data for different NSL's layouts does not exceed 0,01.

The coefficient η for an NSL can be calculated according to the proposed graph-analytical method through the following formula:

$$\eta = 1/(1 + B_l + \sum (B_{si} + B_{si}')), \quad (2)$$

where B_l is the specific repair duration for the limiting workstation l,

B_{si}, B_{si}' are the specific coefficients of the i-th workstation loss overlap on the limiting workstation in the direct (according to the assembled article transfer) and reverse order, respectively,

n is the number of line workstations.

The capacity and reliability of a designed NSL are calculated in the following stages.

First, the limiting workstation of the line is determined. This is the workstation with the maximal value of B_l. If there are several such workstations then the limiting one is selected so that the capacity of storages located near it be minimal.

Since NSLs are closed, the failure at any si-th workstation can overlap the limiting l-th one spreading both in the assembly direction and in the reverse one. Therefore, for each workstation the values of z_l' and z_l'' equal to the total

capacity of storages between the i -th and the limiting workstations are determined by formulas (3) and (4):

$$z_i' = \begin{cases} \sum z_k & \text{for } i < l \\ \sum z_k + \sum z_k & \text{for } i > l \\ 0 & \text{for } i = l \end{cases} \quad (3)$$

$$z_i'' = \begin{cases} \sum z_k + \sum z_k & \text{for } i < l \\ \sum z_k & \text{for } i > l \\ 0 & \text{for } i = l \end{cases} \quad (4)$$

Further, for automatic workstations two values a_i' and a_i'' of the generalized coefficient of product stock are calculated through the formula

$$a_i = k_i \mu_i T_c z_i$$

where μ_i is the parameter of the recovery flow for the i -th workstation, T_c is the line operating cycle, min, k_i is the storage filling coefficient.

Using the obtained values of a_i and B_i and graphs similar to the one represented in Fig. 5, the values of the coefficients B_{si} are defined for all automatic workstations, the value of B_{si} substituted to formula (2) being the sum of two values B_{si}' and B_{si}'' determined through a_i' and a_i'' .

For manual workstations the value of B_{si} is also the sum of B_{si}' and B_{si}'' , it is determined according to the corresponding graphs with the use of the values of z_i' and z_i'' calculated before and the coefficient of operation time spread at the i -th workstation $R_i = \sigma_i / \tau_i$ (Fig. 5, b). Here σ_i is the mean square deviation of manual assembly time at the i -th workstation, τ_i is the mean value of assembly time at the same workstation.

The graphs shown in Figs 5a and 5b as well as similar ones for different values of B_i are obtained due to processing the modelling data for operation of more than 1500 assembly line versions differing in both their layout and the main parameters. For a certain line the values of T_c , B_i , R_i , z_i' , a_i are calculated, η is found from the appropriate graphs to evaluate the line capacity. In [9] the required initial data are cited and the calculation technique is described in detail. The technique provides an accuracy sufficient for comparative analysis of line versions.

The absolute calculation error η does not exceed 1-1.5%.

The developed calculation technique was applied, for instance, to the automatic non-synchronous line assembling a high-pressure fuel pump for the KAMAZ engine.

The line performs the following operations:

- manual palletization of the body, installation of the plate and jet, packing the parts into the press reloaders (position 1),
- automatic pressing of three pins and three axes (position 2),

- automatic branding of the ordinal number in two planes (position 3),

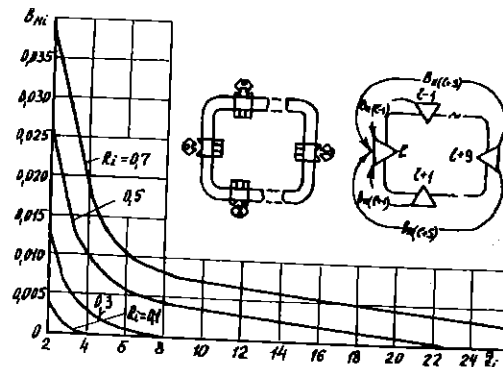
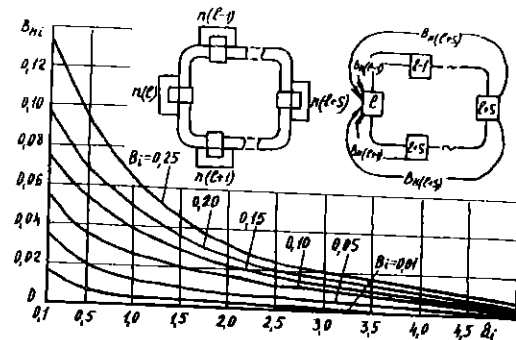


Fig. 5: The sample graphs for determining the value of B_{si} for automatic (a) and manual (b) workstations

- automatic screwing in of four plugs (position 4),
- automatic screwing in of 16 studs (positions 5 and 6),
- manual removal of the preassembled body and loading of the studs into magazines (position 7).

The initial specifications of the automatic workstations were first assigned according to the actual equipment (Table 2) and according to the results of laboratory line mechanism testing.

The manual workstation parameters such as mean operation time and spread coefficient were defined by stopwatch study in both laboratory and field conditions.

Table 2. Comparison of the calculated and actual data for non-synchronous line assembling a high-pressure fuel pump for the KAMAZ engine.

Station number	Station type	Technical characteristics assigned when designing the line					Calculated values		Technical characteristics obtained after testing the line					Actual values			
		z_i	τ_i	B_i	μ_i	R_i	η	Q , pieces/h	z_i	τ_i	B_i	μ_i	R_i	η	Q , pieces/h		
1.	M	36	0,60			0,30			36	0,60			0,18		0,818	75,52	
2.	A	1	0,50	0,06	0,46				1	0,50	0,075	0,317			0,818	75,52	
3.	A	4	0,23	0,04	0,06				4	0,23	0,093	0,209			0,818	75,52	
4.	A	9	0,27	0,09	0,22		0,805	74,32	9	0,27	0,111	0,248		0,826	76,2	0,818	75,52
5.	A	5	0,65	0,17	0,42				5	0,65	0,106	0,270			0,818	75,52	
6.	A	5	0,65	0,17	0,42				5	0,650	0,111	0,303			0,818	75,52	
7.	M					0,30			5	0,60			0,30		0,818	75,52	

M - manual station, A - automatic station

Line installation was followed by in field study that explained the actual capacities and reliabilities of both separate workstations and the line as a whole. On the basis of the obtained characteristics of individual workstations the developed technique was applied to the calculation of the coefficient η and the line capacity Q (Table 2).

It is seen from Table 2 that the maximal error in determining η is 0,015. The accuracy of the results obtained depends actually on the initial data accuracy only.

The technique elaborated has also been applied to designing the line set for general assembly of the engine of a new 'Tavriya' make.

The results obtained enable not only the certain line design but also comparison of a number of competing versions and selection of optimal assembly line layout.

CONCLUSION

The discussed calculation methods provide a high accuracy (the initial data being sufficiently precise) and capacity of machine-tools and assembly lines with different layouts and reliability parameters of sections. These methods applied to guided search of optimal technological and structural solutions make it possible to select the initial design stage and the optimal version of manufacture automation according to the given criteria.

REFERENCES

- 'Automatic Lines in the Engineering Industry', 1985, A Handbook Edited by Dashchenko, A.I., Moscow: Mashinostroenie, Vol.1, p.312, Vol.2, p.403, Vol.3, p.408 (in Russian).

Buda, J., Ganovsky, V., Dashchenko, A.I., 1991 'Automation of Machinebuilding Processes', Moscow, Vysshaya Shkola Publ., p.480 (in Russian).

Dashchenko, A.I., 1987. Synthesis of Block Layout Diagrams of Machines and Machine Systems. The Theory of Machines and Mechanisms. (Proceedings of the 7-th World Congress). Vol. 2., p.1051-1054., Pergamon Press.

Dashchenko, A.I., Kiiko, I.A., Matyash, V.I., Pokazeev, V.V., 1992, 'New Method for Calculating the Capacity of Automatic Lines on the Basis of a Discrete Model of their Reliability', Russian Engineering Research, Vol.12, N2, p.48-54 and Vol.12, N3, p.51-55, Allerton Press Inc., N.Y.

Dashchenko, A.I., 1991, 'Choice of Optimal Configurations for Flexible (Readjustable) Assembly Lines', Annals of CIRP, Vol.40/1/1, p.13-16.

Dashchenko, A.I., Bedrin, V.M., Levchuk, D.M., 1992, 'Assembly Automation: what is the Best Way?', Japan/USA Symposium on Flexible Automation, Vol.2, p.1677-1680, ASME.

Dashchenko, A.I., 1987. Structure Optimization and Statistical Modelling of Technological Machine Systems. AMT Journal, N2(3), p.73-102, JFS (Publ) Ltd.

Dashchenko, A.I., Zolotarevsky, Yu.M., Lamin, I.I., 1992, 'Technological Foundations of Building Block Approach to Design of Assembly Equipment', Moscow, Mashinostroenie Publ., p.246 (in Russian)

Makino, H., Arai, T., 1994, 'New Development in Assembly Systems', CIRP Annals, 43/2, p.1-12.

Van Brussel, H., 1990, 'Planning and Scheduling of Assembly Systems', CIRP Annals 39/2, p.637-664.

Wiendahl, H.-P., 1991, 'Modelling and Simulation of Assembly Systems', CIRP Annals 40/2, p.577-582.



dr C. Krsmanović *, N. Vujasinović **

SIMULACIJA PROIZVODNIH PROCESA U SAVREMENIM SISTEMIMA ZA PODRŠKU UPRAVLJANJU PROIZVODNOM

Rezime:

Potreba da se tokovi proizvodnih procesa u realnom industrijskom proizvodnom sistemu u što većem stepenu determinišu i analiziraju pre njihovog izvršenja (korišćenjem čitavog niza različitih modela realnog sveta i događaja u njemu) i da se, na taj način, objektivno smanji potreba za upravljačkim akcijama i povisi krajnji efekat sistema, stara je koliko i nauka o upravljanju. Stoga je danas, kada se vrlo ozbiljno razmišlja i radi na razvoju i izgradnji efektivnih industrijskih proizvodnih sistema, primena simulacionih metoda i tehnika u upravljanju proizvodnjom nužna i neizbežna.

Današnje vreme je, između ostalog, karakterisano i veoma intenzivnim razvojem i primenom računarom podržanih sistema i sredstava namenjenih simulaciji i u radu će, prevashodno, biti reči o simulaciji procesa rada primenom savremenih sredstava informacione tehnologije. Isto tako, u okviru rada će biti reči o dimenzionalnosti virtualnih (modelskih) prostora, o vrstama i nivoima mogućih i primenljivih simulacionih modela kao i temeljnim principima simulacije u sklopu upravljanja proizvodnjom u industrijskim proizvodnim sistemima.

1 UVOD

Ostvariti funkciju upravljanja proizvodnjom u današnjem vremenu koje je karakterisano potrebama robnog tržišta za proizvodima vrlo širokog spektra (po vrsti i tipu), sa malim pripadajućim količinama i visokim zahtevima u pogledu njihovog kvaliteta, nije nimalo jednostavan posao. Doda li se tome i okolnost da su poremećaji kao osnovni izvor potrebe za upravljanjem u okruženju sistema (promene na tržištu, na primer) i unutar samih industrijskih proizvodnih sistema (preduzeća) veoma dinamični, neminovno se dolazi do zaključka da je:

- ostvarivanje proizvodne misije u savremenim uslovima izuzetno delikatan zadatak,
- upravljanje proizvodnjom sa ciljem obezbeđenja optimalne trojke (*kvalitet-cena-rok*) sve složeniji proces sa sve višim zahtevima u pogledu angažovanja resursa i sve većim vremenskim potrebama i
- izvršavanje same funkcije upravljanja proizvodnjom jedan od limitirajućih faktora realizacije proizvodnih zadataka i uloge industrijskog proizvodnog sistema u celini.

* dr Cvijan B. Krsmanović, docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, 21 000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7

** Nenad Vujasinović, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, 21 000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7

Sve napred izloženo ukazuje na veoma jasno izraženju potrebu da, u osnovnom konceptu ostvarivanja funkcije upravljanja proizvodnjom kakav danas postoji i primenjuje se u proizvodnoj praksi, a u cilju njenog efektuiranja, treba učiniti izvesne i suštinske promene.

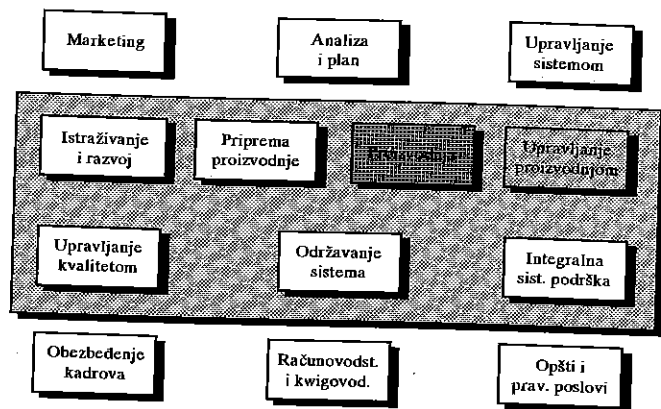
Jedna od promena na toj liniji (koja bi mogla imati suštinski karakter, a, istovremeno, biti i rešenje nekih od pomenutih problema) jeste implementacija metoda, tehnika i alata za simulaciju proizvodnih procesa u sistemima za upravljanje proizvodnjom. Pri tome je važno napomenuti da nije reč o promenama makar kojih i kakvih sistema, već izričito računaru podržanih sistema za upravljanje proizvodnjom kao i da se radi isključivo o računaru podržanoj (kompjuterizovanoj) simulaciji procesa rada u proizvodnji.

2 PREGLED POTREBA ZA SIMULACIJOM U KONTEKSTU MODERNOG UPRAVLJANJA PROIZVODNJOM

Industrijska proizvodnja se odvija u veoma kompleksnom ambijentu industrijskog proizvodno-poslovnog sistema (videti sliku 2.1) i predstavlja vrlo složenu delatnost podložnu snažnim i dinamičnim uticajima i poremećajnim dejstvima iz i izvan tog sistema. Upravljanje proizvodnjom ili ostvariti ciljeve kakvi su:

- kvalitetno i adaptivno usmeravanje proizvodno-poslovne aktivnosti u smeru određenom zahtevima prema sistemu identifikovanim u njegovom okruženju,
- vršenje stalnog nadzora nad procesima transformacije ulaznih u izlazne veličine sistema i
- preduzimanje upravljačkih akcija sa ciljem održavanja ishoda pojedinih faza rada i rada sistema u celini u granicama dozvoljenih odstupanja

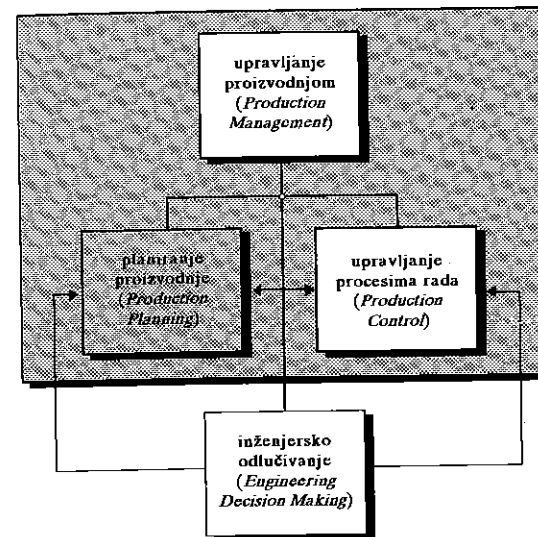
je, shodno tome, zadatak visokog stepena složenosti koji, za potrebe njegovog uspešnog izvršavanja, zahteva veliko inženjersko znanje, značajne radne napore i sposobnost rada sa velikim količinama informacija.



Slika 2.1
Struktura proizvodno-poslovnih funkcija
definisana nad opštim modelom industrijskog
proizvodno-poslovnog sistema

Funkcija upravljanja proizvodnjom koja treba da odgovori tom i takvom zadatku, prirodno, jeste i mora biti takode veoma složena i u njenoj složenosti leži ishodište niza praktičnih problema koji karakterišu modernu proizvodnju. U osnovi, moderna funkcija upravljanja proizvodnjom se temelji na izvršavanju tri osnovna procesa [2], kao što to pokazuje slika 2.2.

Procesi planiranja proizvodnje, upravljanja procesima rada i inženjerskog odlučivanja koji čine funkciju upravljanja proizvodnjom, pri tome, nisu sekvencijalni (u praksi je veoma prisutan



Slika 2.2
Globalni pogled na strukturu funkcije
upravljanja proizvodnjom

simplificirani pogled koji podrazumeva njihovu sekvencijalnost) već se izvršavaju simultano, sa većim ili manjim vremenskim preklapanjima i vrlo čestim iteracijama (vraćanjima unazad). Proces inženjerskog odlučivanja, pak, obuhvata aktivnosti i postupke donošenja nizova međusobno povezanih i konsekventnih odluka i, gledano na vremenskoj osi, simultano prati i servisira izvršenje prethodna dva procesa.

Proizvodna iskustva nedvosmisleno pokazuju da je kritična tačka u funkcionalnom kontekstu upravljanja proizvodnjom tačka spoja između procesa planiranja i upravljanja procesima rada, odnosno trenutak u kome se počinje sa *in-vivo* realizacijom svega onoga što je planirano i pripremljeno za potrebe proizvodnje. To slabo mesto je moguće osnažiti, a mehanizam koji se nameće kao celishodan za tu svrhu jeste inkorporacija postupaka simulacije u proces planiranja proizvodnje.

3 OSNOVNI ELEMENTI PRILAZA SIMULACIJI PROIZVODNIH PROCESA

Prilaz u obezbeđivanju potrebe za simulacijom proizvodnih procesa, koji je predmet razmatranja u ovom radu, podrazumeva nekoliko temeljnih pretpostavki:

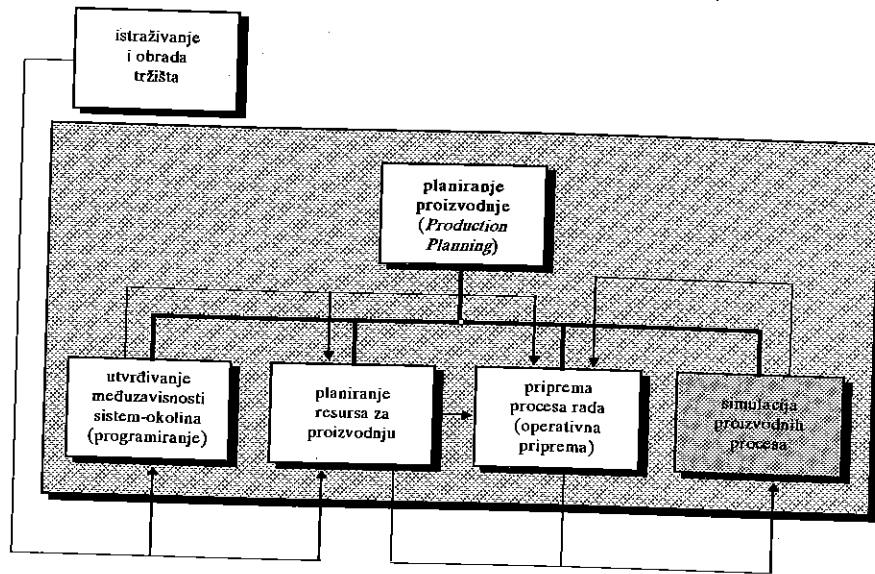
- simulacija procesa rada je sastavni deo procesa planiranja proizvodnje i, zapravo, predstavlja aktivnost čiji je cilj provera elemenata proizvodnih planova na različitim (pogodnim) modelima sistema ili njegovih delova (slika 3.1),
- izbor objekata (modela sistema i njihovih delova) pomoću kojih i na kojima treba vršiti simulaciju procesa rada treba da bude veoma brižljiv, a postupci simulacije na svojoj izlaznoj strani treba da imaju potrebnu i dovoljnu informacionu izdašnost i
- izbor tehnika simulacije i primenjenih sredstva informacione tehnologije treba da bude takav da obezbeđuje izvršavanje simulacije procesa rada i njene rezultate u realnom vremenu.

To, praktično, znači da simulacija proizvodnih procesa počinje tek u trenutku kada je utvrđen operativni plan proizvodnje (proizvodni plan za odabrani vremenski period), kada su detaljno isplanirani svi resursi neophodni za realizaciju operativnog plana, kada su svi elementi proizvodnog plana terminirani (vremenski determinisani) i kada je izvršena inicijalna priprema procesa rada (definisani svi proizvodni nalozi i odgovarajući radni zadaci). Rezultat simulacije koji afirmiše ili dezavuiše detaljan plan proizvodnje i rezultate pripreme procesa rada se, kao povratna informacija, vraća pripremi procesa rada i služi kao putokaz za lansiranje proizvodnje odnosno reprogramiranje proizvodnog plana i / ili izmenu pripremljenih proizvodnih naloga [2].

4 OPŠTI MODEL TOKOVA INFORMACIJA U PROCESU SIMULACIJE PROIZVODNIH TOKOVA

Koncept simulacije proizvodnih procesa reprezentovan osnovnim elementima prikazanim u prethodnom poglavlju rada, po svojoj prirodi i mestu koje mu je dodeljeno u kontekstu upravljanja proizvodnjom, nužno predstavlja automatizovanu ili računaru podržanu aktivnost [3]. Njeno izvršavanje se, u jednom svom značajnom delu, temelji na informacionim osnovama stečenim u

okvirima drugih aktivnosti u okviru procesa planiranje proizvodnje koje se mogu predstaviti odgovarajućim depozitima podataka (logičkim segmentima baze podataka informacionog sistema za podršku upravljanju proizvodnjom). Isto tako, osnovu za izvršavanje računom podržane simulacije predstavlja i depozit simulacionih modela (slika 4.1) koji se, po prirodi stvari, formira u okviru same aktivnosti simulacija procesa rada, gde je i mesto njegove upotrebe (slika 4.1).



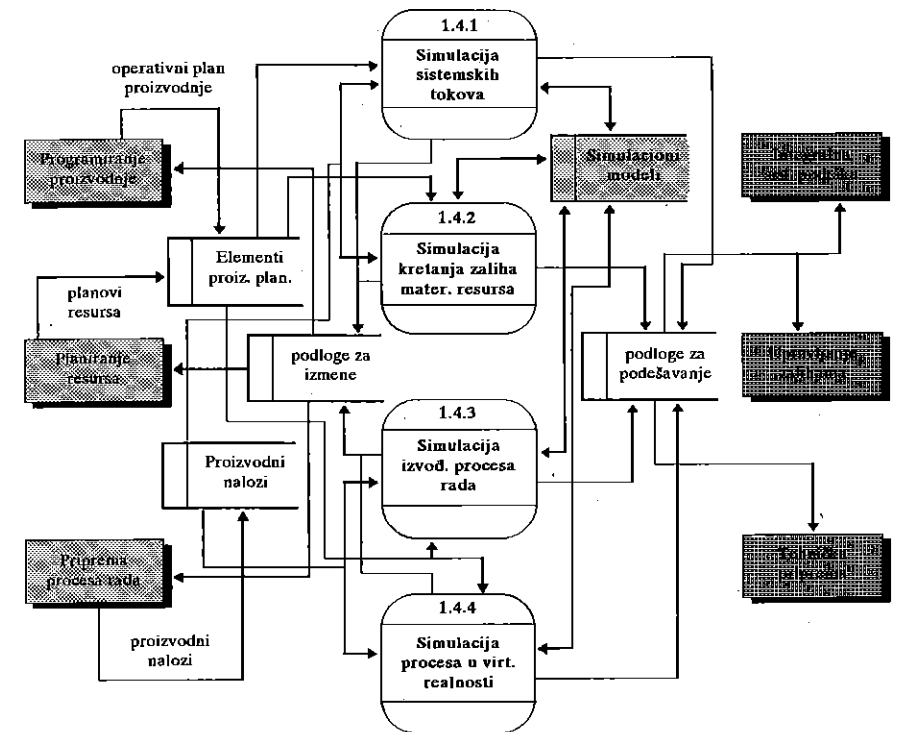
Slika 3.1
Mesto i uloga aktivnosti simulacije
proizvodnih procesa u kontekstu planiranja
proizvodnje

Vrsta, tip i priroda postupaka računom podržane simulacije procesa rada prevashodno zavise od složenosti procesa koji se želi simulirati kao i od složenosti i dimenzija sistema ili dela sistema na čijem se modelu simulacija hoće izvršiti.

Sa dijagrama toka podataka u sklopu aktivnosti simulacija procesa rada se, pored ostalog, jasno može zapaziti da se postupci simulacije grupišu u četiri osnovne grupe od kojih se prve tri mogu, uslovno, deklarirati kao konvencionalni postupci, dok četvrta grupa postupaka simulacije predstavlja vrlo modernu i aktuelnu posledicu snažne eksplozije primena savremenih sredstava informacione tehnologije u inženjerstvu (prevashodno PC računarske tehnologije, a zatim i namenske grafičke opreme i *software-a*).

Ako se govori o postupcima simulacije proizvodnih tokova, nema nikakve sumnje da u toj oblasti centralno mesto pripada simulaciji tokova materijala jer se iz tog konteksta može ekstrahovati značajna količina informacija, kako o kvalitetu planskih podloga, tako i o njihovoj izvodljivosti u realnom sistemu. Simulacija kretanja zaliha resursa za proizvodnju je veoma značajna sa aspekta troškova proizvodnje koji su u velikoj meri određeni nivoom tih zaliha, a simulacija izvođenja procesa rada odnosi se, prevashodno na simulaciju izvršavanja operacija rada na radnim mestima (u obradi, montaži, rukovanju materijalom i sl.).

Simulacija procesa rada u virtualnoj realnosti, posredstvom primene tehnika immanentnih visoko-profesionalnoj računarskoj grafici kakve su realističko prikazivanje modela, vizualizacija i animacija i zahvaljujući egzistenciji multimedijalnih radnih okruženja, omogućuje subjektu koji vrši simulaciju (ili upravlja proizvodnim procesima) da "uđe" u proizvodni pogon ili njegov deo i da na njegovom modelu vidi gotovo sasvim realnu sliku svih događanja koja su od interesa za njegov tekući radni zadatak.



Slika 4.1
Korenski dijagram tokova podataka u
okviru aktivnosti simulacije
proizvodnih procesa

5 MODELI I TEHNIKE U SIMULACIJI PROIZVODNIH PROCESA

Odabrani koncept savremenog sistema za simulaciju procesa rada u proizvodnji podržanog računom bazira se na primeni niza modela veoma različitih po vrsti i tipu koji se mogu svrstati u dve osnovne grupe:

- grafički modeli (2D i 3D geometrijski modeli različitog nivoa detaljnosti, raster prezentacije, realistički prikazi kao podloge za animaciju i vizualizaciju, histogrami, *pipe-line* modeli i sl.) i
- analitički modeli (različiti matematički modeli ili matematičke funkcije, matricni modeli, tabele, statistički modeli, itd.).

Baza simulacionih modela u datom konceptu sistema za simulaciju procesa rada je otvorena i može se (i mora) permanentno izgrađivati u vremenu. a izbor modela za simulaciju je prevashodno zavisen od potrebe korisnika i širine zahvata simulacije.

Ako je reč o aktivnosti simulacije sistemskih tokova, nema nikakve sumnje da je najadekvatniji model za simulaciju *layout* sistema (tlocrt proizvodnog sistema, proizvodnog pogona ili njegovog dela) kombinovan sa nekom od pomoćnih tehnika kakve su *pipe-line* ili dinamički histogrami [1]. Želi li se, pak, simulirati kretanje zaliha u sistemu, svaki signifikantan *buffer* će biti predstavljen na podesan način (boksom ili nekim drugim simbolom), a nivo zaliha će se oponašati tehnikom punjenja ili praznjenja boksa (u slučaju da postoji potreba za simulacijom kretanja zaliha samo jednog resursa) ili dinamičkim histogramom (ako se simuliraju zalihe većeg broja resursa odjednom). Ne treba, pri tome

umanjivati značaj niti mogućnost primene analitičkih modela u simulaciji kretanja nivoa zaliha proizvodnih resursa - u izvesnim slučajevima funkcionalni, statistički ili tabelarni modeli daju čak i bolje rezultate (jer uključuju i merenje tačnih vrednosti nivoa zaliha u datom trenutku vremena). Konačno, kada je zahtev korisnika usmeren ka simulaciji izvođenja procesa rada, simulacioni model treba da bude model procesa (operacije obrade, montaže, rukovanja materijalom, skladištenja i sl.) i taj model je opet, principijelno, neki od grafičkih modela kombinovan sa jednom ili više simulacionih tehnika (preoblikovanje geometrijskih formi, animacija nad 3D modelima delova koji se montiraju u viši nivo ugradnje, animacija robota ili manipulatora na njihovim 2D ili 3D modelima ili slične).

Simulacija procesa rada u virtualnoj realnosti predstavlja moderan metodološki put u simulaciji u čijem rezultatu se dobija najkompletnija predstava procesa rada koji su definisani elementima proizvodnih planova i koji će se odvijati u budućnosti. Osnova za njeno izvršavanje je potpun 3D model proizvodnog pogona ili njegovog dela sa, takođe, potpunim modelima tehnoloških i pratećih sistema raspoređenih na isti način kako je to učinjeno u realnom svetu (objektnom proizvodnom sistemu). Tehnikama vizualizacije i animacije na modelima se, pri tome, ostvaruje mogućnost da izvršilac vidi procese rada na modelu sistema iz bilo kojeg ugla koji odgovara mogućem uglu posmatranja u realnom svetu, ulazeći posredstvom sredstava informacione tehnologije u svet modela pripremljenih za tu svrhu.

6 ZAKLJUČAK

Aktivnost simulacije procesa rada je, očigledno, veoma značajna za kvaliteteno izvršavanje postupaka upravljanja proizvodnjom u industrijskim proizvodnim sistemima i predstavlja moguće rešenje za niz problema koji se u sistemima upravljanja proizvodnjom danas javljaju. Zbog toga, a i zbog činjenice da se u realnim industrijskim proizvodnim sistemima tom pitanju posvećuje vrlo malo pažnje, vremena i energije, čini se da je veoma važno opredeliti mesto i ulogu simulacije u upravljanju proizvodnjom i otvoriti perspektive za njenu praktičnu primenu.

Isto tako, važno je ukazati na metode, tehnike i sredstva koje se danas mogu primeniti sa ciljem simulacije procesa rada i što jasnije ukazati na pretpostavke koje treba obezbediti da bi ona davala rezultat koji bi obezbedio ostvarivanje postavljenog cilja - efikasnog i efektivnog upravljanja proizvodnjom u industrijskim proizvodnim sistemima.

7 REFERENCE

[1] Eloranta, E., Raisanen, J.
Evaluation and Design of Plant Layout by Simulation, 3rd International Conference Simulation in Manufacturing, Proceedings, pp 11 - 22, IFS Publications Ltd, Bedford, UK, 1987.

[3] Ingram, R. N.
Strategic Planning for CIM Using Simulation, 4th European Conference Automated Manufacturing, Proceedings, pp 319 - 326, May 1987.

[2] Krstanović, C.
Automatizacija postupaka upravljanja proizvodnim sistemima, skice za udžbenik, FTN, Novi Sad, 1995 - 96.

[4] Zelenović, D.
Upravljanje proizvodnim sistemima, udžbenik, Naučna knjiga, Beograd, 1984.

Abstract

The paper shows an approach in the analysis and development of simulation system as a production management system service part. The first part of the article talking about a place, role and importance of production process simulation in production management context and about global quality of its execution in real industrial production systems.

In the second part of the contribution are given basic elements of a new simulation system concept which is functionally located inside production planning process. Main simulation activities are presented by DFD technique at correspondent nodal diagram, methods and procedures are explained using a case study, but special place in the paper was dedicated for simulation in the virtual reality as very modern and attractive simulation method.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Martić Srdjan, dipl.ing.

OSNOVE INTERAKTIVNOG GRAFIČKOG PROGRAMIRANJA MAŠINA ALATKI

REZIME:

Kao jedna od najznačajnijih karakteristika upravljačkih jedinica mašina alatki je brzina programiranja dijela koji se izrađuje, tj. brzina izrade NC programa.

U ovom radu date su osnove interaktivnog grafičkog programiranja, upravljačke jedinice OSP 5020, tzv. "One-Touch IGF" sistema, koji se ugrađuje u alatne mašine japanskog proizvođača "OKUMA Corporation".

1. UVOD

Paralelno sa razvojem digitalnih sistema upravljanja i mikroprocesorske tehnologije sa jedne strane i pogonskih organa, izvršnih organa i drugih vitalnih elemenata mašina alatki sa numeričkim upravljanjem, stvara se mogućnost sve bolje programske podrške, kompjuterom upravljanih mašina alatki (CNC).

Svakako da upravljačka jedinica predstavlja "mozak" svake mašine i preko nje se zadaju sve potrebne informacije za izvršenje funkcija mašine. Današnje upravljačke jedinice, za razliku od svojih prethodnica, sadrže u sebi ogroman broj parametara i funkcija a sve sa ciljem pojednostavljenog upravljanja mašinom i izradom NC programa.

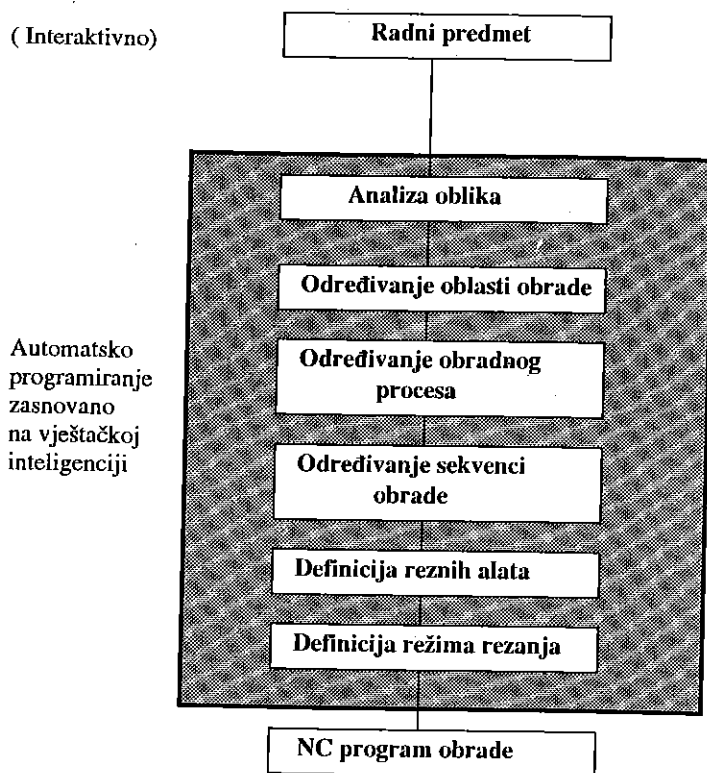
Jedna od takvih visoko razvijenih upravljačkih jedinica je OSP 5020, koja se ugrađuje u mašine alatke japanskog proizvođača "OKUMA Corporation" sa svojim interaktivnim sistemom programiranja: "One-Touch IGF".

Martić Srdjan, dipl.ing. preduzeće "ILING AUTOPETROL" Kolašin

2. STRUKTURA "One-Touch IGF-a"

"One-Touch IGF" je razvijen kao opcionalna varijanta, OSP 5020L upravljačke jedinice za 2-osne i višeosne mašine alatke. Ovaj sistem omogućava generisanje NC programa putem interaktivnog unosa podataka u upravljačku jedinicu. Operator na mašini može generisati NC program unoseći podatke preko tastature, koje IGF sistem zahtijeva a koji su prikazani na ekranu. IGF sistem je zasnovan na vještačkoj inteligenciji i automatski određuje proces obrade iz podataka unešenih interaktivnim putem, rezultirajući skraćeno vrijeme potrebnog za unos podataka. Zbog toga je ovaj sistem jednako pogodan za početnike i profesionalce u programiranju.

Na slijedećoj šemi prikazana je struktura toka informacija IGF-a.



Slika 1.

Takođe su na raspolaganju i slijedeće funkcije koje IGF sistem obezbjeđuje:

- Provjera programa koristeći funkcije animacije,
- Izrada programa za vrijeme tekuće obrade,
- Korišćenje dijelova programa za slične radne predmete,
- Široke mogućnosti editovanja programa.

3. FUNKCIONALNA STRUKTURA

"One -Touch IGF " ima slijedeće funkcije:

a) Funkcije sa podacima koji su unaprijed zadati:

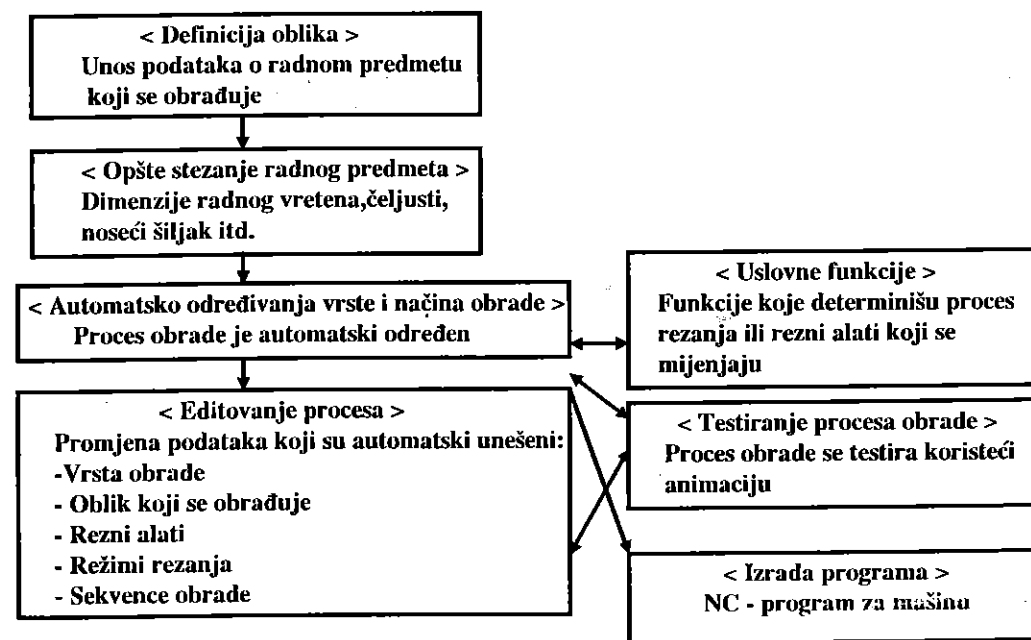
1. Standardni podaci otvora
2. Podaci o standardnim alatima
3. Podaci o materijalima sa uslovima rezanja
4. Parametarski podaci IGF (podaci potrebni za definiciju oblika, podaci za način obrade, podaci za kreiranje programa obrade)

b) Funkcije grafičkog editovanja (Funkcije za kreaciju programa)

1. Funkcija za definiciju oblika
(Sirovi komad i završni oblik)
2. Funkcija načina stezanja
(Dimenzije obrtnog vretena i nosećeg šiljka)
3. Automatsko određivanje vrste i načina obrade
(One-Touch IGF određuje: sekvence rezanja, režime rezanja i izbor reznog alata)
4. Uslovne funkcije: setovanje/selekcija
(Ove uslovne funkcije automatski generišu proces obrade i rezne alate. Takođe proces obrade može se odrediti automatski poslije izmjene ovih podataka)
5. Funkcija editovanja procesa obrade
(Interaktivni podaci koji su dobijeni korišćenjem IGF-a mogu biti izmijenjeni. Interaktivni unos podataka može biti izvršen za svaki proces obrade nezavisno)
6. Funkcija generisanja programa
(Program obrade je izrađen iz prikupljenih podataka korišćenjem IGF-a).

Na slijedećem blok-dijagramu prikazana je organizacija funkcija IGF-a

Slika 2.



4. KARAKTERISTIKE STANDARDNE OSP 5020 UPRAVLJAČKE JEDINICE

Upravljačka jedinica OSP serije 5000 je razvijena isključivo za "OKUMA" CNC-mašine alatke, što ih čini jedinstvenim u svijetu. Pored niza funkcija koje omogućavaju izuzetno lako i brzo programiranje, upravljačka jedinica OSP pruža sve mogućnosti klasičnog automatskog programiranja u tehnološko programerskom birou, korišćenjem poznatih tehnoloških jezika kao što su: APT, EXAPT, GTL/T ili GTL/3 idr.

Navešćemo samo neke od karakteristika UJ OSP serije 5000 :

- Specijalni ciklusi obrade za: grubo rezanje, završna obrada, zabušivanje, bušenje, razvrtanje, izrada navoja ;
- Automatsko programiranje oborenih ivica (C i R);
- Automatska kompenzacija radijusa vrha reznog alata;
- Direktno programiranje radijusa;
- Direktno programiranje kontura pod uglom;
- Rad sa potprogramima koje operater-programer sam kreira za posebne slučajeve obrade;
- Adaptivno upravljanje sa dijagramom istrošenosti reznih alata;
- Kolor grafički prikaz procesa obrade;
- Prikaz ciklusnog vremena obrade i vremena rezanja;
- Veza sa periferijama CNC mašine alatke : štampači, DNC upravljanje, disketna jedinica itd.

5. ZAKLJUČCI

U procesu tehnološke pripreme izrade mašinskih djelova u metaloprerađivačkoj industriji, jedno od uskih grla proizvodnje je brzina izrade NC programa za mašine alatke. Ovaj problem je jako izražen kod velikih preduzeća gdje se nalaze alatne mašine za obradu: struganjem, glodanjem, bušenjem, brušenjem, mašine za ozubljenje, obradni centri, itd. Upravljačka jedinica tipa OSP, rješava mnoge od ovih problema jer je podesna za sve tipove proizvodnje: maloserijsku, srednju ili masovnu, a time i za mala, srednja i velika preduzeća, gdje se zahtijeva česta promjena proizvodnog programa za kratki vremenski period.

LITERATURA:

/1/ ONE-TOUCH IGF, OSP 5020 L, Operation manual-BASIC (4th Edition), Publ.No3356-E-R3, April 1991.

/2/ Katalozi "OKUMA-Corporation"; OGUCHI-CHO, NIWA-GUN, AICHI 480-01, JAPAN



Prof. dr Radomir VUKASOJEVIĆ *

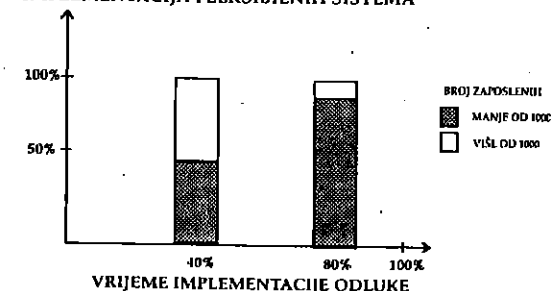
NOVI PRISTUP ANALIZI I PROJEKTOVANJU FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMA

1. UVOD

Put ka CIM-u se ne ostvaruje jednim skokom od jednostavnih konvencijalnih masina ka potpuno povezanom procesu. Kompjuterom podržana proizvodnja sa automatizovanim sistemima mora se postepeno uvoditi i usvajati. Osim toga, po pravilu, inovaciona i finansijska sposobnost preduzeća nije takva da bi se takav razvoj mogao brzo izvesti. Pošto su pojedini koraci na putu ka CIM-u najčešće u biti naučni nema razloga da se oni postupno ne razvijaju.

Modernizacija proizvodnog dijela fabrike je prvi korak u tom pravcu. Modernizacija se po pravilu vrši zamjenom novim ili poboljšanjem postojećeg mašinskog parka koji je postao ne konkurentan na tržištu. Modernizacija je posebno važna za mala i srednja preduzeća koja za razliku od većih imaju veće troškove proizvodnje. Mala i srednja preduzeća, sa zastarelom konvencijalnom opremom i proizvodnjom, koju karakteriše ne mala nedovršena proizvodnja, nalaze se pred imperativom: ili izvesti određeni stepen modernizacije ili nestati sa scene. Neminovnost modernizacije u ovakvim preduzećima potvrđuju podaci dati na sl.1 o instalisanim fleksibilnim proizvodnim sistemima u svijetu.

IMPLEMENTACIJA FLEKSIBILNIH SISTEMA



Sl. 1

* Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore

Modernizacijom se postiže:

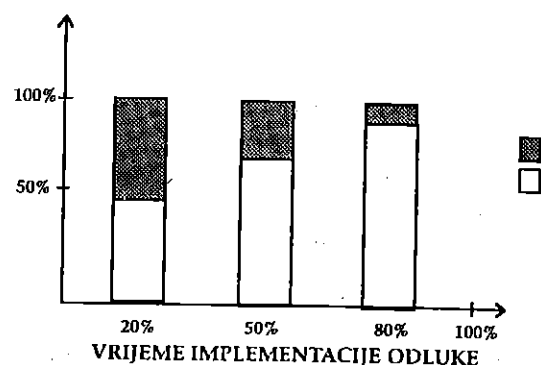
- Smanjenje vodećeg vremena i nivoa nedovršene proizvodnje,
- Povećanje fleksibilnosti preko raznolikosti proizvodnje,
- Obezbedjenje kvaliteta,
- Poboljšanje radnih uslova, itd.

a time i kompetitivnost na svjetskom tržištu. Modernizacijom se rešavaju pitanja kao što su:

- Broj i tip mašina za konkretne ciljeve,
- Broj, tip i fizički razmještaj opreme za transport,
- Lokacija, tip i veličina skladišta i dr.

Kompetitivna proizvodnja traži brze odgovore na pitanja koja se rešavaju modernizacijom.

Zavisnost vremena implementacije odluke o modernizaciji odnosno dužine trajanja i efikasnosti izvođenja analize modernizacije mašinskog parka fabrike i koristi koja se postiže modernizacijom data je na sl.2.



sl.2

Brzina izvođenja analiza modernih proizvodnih sistema pojavljuje se kao značajan faktor uspjeha preduzeća na tržištu.

Tradicionalne metode optimizacije proizvodnih sistema zbog kompleksnosti novih fleksibilnih sistema s jedne strane i primjene novih alata sa druge strane sve više ustupaju mjesto novim metodama.

2. TRADICIONALNI MODELI I ANALIZE PROIZVODNJE

Modeliranje i analiza proizvodnih sistema i razvoj njihovih karakteristika nije nova oblast.

Organizacija odgovorna za proizvodni sistem, u toku čitavog vremena njegovog postojanja, donosi odgovarajuće odluke počev od fizibiliti analize pa sve do analize zastarelosti.

Karakteristike ovih sistema kao što su: složenost, neizvjesnost i karakteristična ograničenja inspirisale su mnoge istraživače za iznalaženje odgovarajućih modela i njihovih analiza. U radu se prezentiraju dva takva modela.

2.1. Matematički model tehnološkog procesa

Tehnolog odnosno ekspert za oblast razrade tehnologije, polazeći od crteža dijela sa svim tehnološkim zahtjevima, vrši razradu mogućih varijanti tehnološkog procesa. Kod manuelnog izbora ekspert na osnovu iskustva vrši projektovanje i izbor tehnološkog procesa a kada se rešenje traži na osnovu uporedjivanja varijanti tehnološkog procesa primjenjuju se najčešće metode tehnoeekonomske optimizacije kao metode odlučivanja.

Formira se matematički model funkcije cilja, najčešće je to vrijeme izrade ili ukupan trošak, pa se preko unutrašnje a kasnije i spoljne optimizacije vrši izbor odnosno iznalaženje tehnološkog rešenja koje u zadatim uslovima obezbedjuje maksimalne tehnološke efekte.

2.2 Model toka materijala

Model na bazi toka materijala definiše sukcesivni redosled i vremena radnih i transportnih operacija kao i praćenje stanja radne opreme, transportnih sredstava i skladišta.

Ovaj model ima za cilj uspostavljanje što je moguće više kontinualniji tok materijala u proizvodnji. Model omogućava inoviranje podataka na osnovu kojih se vrše i neke druge aktivnosti (naručivanje djelova, alata i sl.) kao i grubo planiranje kapaciteta. Kompjuterski program koji podržava operacije bukvalno korača kroz svaku aktivnost detaljisanu do željenog nivoa. Specificiranjem pravila za pojedine operacije izvodi se eksperiment simulacije "rada" fabrike za određeno vrijeme. U toku simulacije rada snimaju se podaci, izvodi ogovarajući statistički proračuni i na kraju eksperimenta dobijaju se različiti dijagrami. Ponavljajući eksperiment za različita pravila i podatke može se doći do podataka šta treba mijenjati u sistemu.

U slučaju kada se koristi model tehnološkog procesa analiza je relativno jednostavna ali osnovni nedostatak metode je što je zasnovana na "statičke" modele koji ne uzimaju u obzir dinamiku proizvodnog okruženja.

Model toka materijala u principu integriše sve dinamičke parametre i inercije koje se žele, sprečava zastoje simulacijom prije nego što se pojave. Nedostaci metode i pored navedenih prednosti su očigledne. Pojedinačno programiranje za svaki sistem što oduzima izuzetno mnogo vremena a vrijeme rada računara za svako "šta - ako" mjeri se u časovima. Nije pravilo, ali može lako da se desi, da pri korišćenju ove metode "od grana se ne vidi šuma".

3. NOVI PRILAZI MODELIRANJU I ANALIZI FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMA

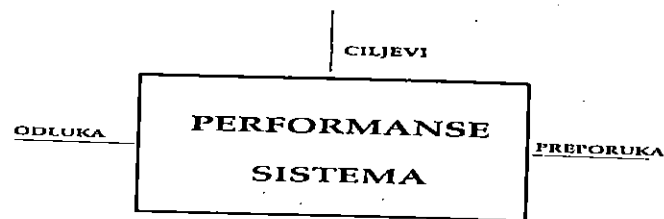
U poslednjoj dekadi došlo je do novih prilaza u posmatranju proizvodnje, projektovanju i analizi fleksibilnih proizvodnih sistema.

Htjeli mi to ili ne, moramo priznati da japanski prilaz filozofiji proizvodnje JIT (tačno u određeno vrijeme) kao i KANBAN - mehanizam za njegovu implementaciju ima fundamentalan uticaj na proizvodne sisteme a reflektuje se i na njihovo modeliranje i analize.

Sa druge strane fleksibilni proizvodni sistemi su sasvim različiti od konvencijalnih. Mnogo su kompleksniji, a da ne govorimo skuplji, te zbog toga donošenje odluka bilo koje vrste je daleko odgovornije. Kompleksnost ovih sistema je između ostalog zbog:

- Visoke međuzavisnosti komponenata sistema iziskuje donošenje istovremeno više odluka. Kod modernih sistema materijal i informacije idu brzo kroz čitav sistem tako da male promjene na jednom kraju imaju za kratko vrijeme značajan uticaj na drugom kraju fabrike;
- Često korišćeni podatak da od ukupnog vremena kod konvencijalnih mašina svega 5% otpada na procesiranje materijala kod fleksibilnih proizvodnih sistema ovaj broj je 10 puta veći.
- Uticaj personala je jedino u slučajevima kada se nešto nepredvidjeno desi kao i za uključivanje i isključivanje sistema.

Ključ novih metoda modeliranja i analiza fleksibilnih proizvodnih sistema je u prepoznavanju ciljeva (sl.3)



sl.3

Na osnovu prepoznatih ciljeva i odluka dobijaju se odgovarajuće preporuke. Druga važna činjenica sadržana je u rečenici: koristi pravi model u pravo vrijeme.

Prihvatajući filozofiju prikaznu na slici metoda simulaciono modeliranje i analiza našla je najveću primjenu u ove svrhe. Osnovni razlozi porasta primjene simulacija u projektovanju i optimizaciji fleksibilnih proizvodnih sistema su:

- Usavršavanjem softverskih paketa za simulaciju drastično se redukovalo vrijeme razvoja modela,
- Mogućnost animacije rezultiralo je u boljem razumijevanju problema. Možda najveća korist od primjene simulacija u proizvodnom okruženju je da simulacije omogućavaju ekspertu - inženjeru omogućavaju kompletan pregled čitavog sistema i posmatranje "lokalnih" promjena na čitav sistem. Pored navedenih, prednosti simulacija su:
- Povećanje iskorišćenja mašina i personala,
- Redukovanje kapitalnih investicija (mašina, zgrade idr.),
- Povećanje proizvodnje mjerene u jedinici vremena,
- Garancija da će sistem raditi kao što je i projektovano rešenje
- Simulacioni model za predloženi sistem utiče na projektanta da razmišlja o nekim značajnim pitanjima daleko ranije nego što je to uobičajeno.

Simulacioni softverski paketi za fleksibilne proizvodne sisteme ne razlikuju se od drugih sa jednim izuzetkom. Ovi paketi sadrže opciju za transportne sisteme koji se po pravilu teško modeliraju.

Postoji više simulacionih softverskih paketa namijenjenih za projektovanje i analizu fleksibilnih proizvodnih sistema kao što su Auto Mod II, ProModel, SIMFACTORY II, WITNESS, MANUPLAN, SIMAN IV, SLAM II, TAYLOR II itd.

Zajednički blokovi za sve navedene softverske pakete su: proizvodi, stanice, procesi, transportna sredstva i skladišta. Glavna razlika među navedenim softverskim paketima je u stepenu doprogramiranja nekih karakterističnih uslova.

Proizvodni sistem koji se analizira nekim od ovih paketa modelira se preko tri podsistema: procesiranja, transporta i čekanja. Podsystem procesiranja čine operacije na odabranim mašinama ili radnim stanicama na kojima se vrši promjena oblika. Podsystem čekanje odnosi se na prepoznavanje stanja čekanja u redu za procesiranje.

Modeli prepoznaju sveporemešaje koji mogu nastati u proizvodnim sistemima kao posledica ipromjene vremena dopremanja dijelova ili sirovog materijala, procesiranja ili montaže, radnog stanja sistema, popravke, pripreme mašine, podečavanja radnog predmeta sa većim ili manjim ograničenjima.

Pored navedenih koji su direktno vezani za proizvodni sistem softverski paketi omogućavaju modeliranje:

- strategije ulaza,
- kapaciteta mašina i radnih stanica,
- veličine fiksnih i varijabilnih troškova,
- veličine serije i dr.

Svi paketi vizuelno prezentiraju varijantna rešenja bez investicija.

4. ZAKLJUČAK

Metodologija projektovanja i analize fleksibilnih proizvodnih sistema prezentirana u radu ima niz prednosti u odnosu na prethodne metode i prilagodjena je uslovima koje diktiraju automatizovani proizvodni sistemi.

Metoda omogućava logističko adresiranje sistema, integraciju različitih komponenata a događaje posmatra dinamički.

Poseban kvalitet metode je vizuelna prezentacija modeliranog sistema preko animacije što omogućava analize u cilju unapredjenja sistema kao i izbjegavanje neusaglašenosti što se teško izvodi konvencijalnim metodama.

5. LITERATURA

1. Averill M. Law: Simulation modeling and Analysis, Mc Graw Hill, Inc. 1993.
2. ATand T. ISTEL: WITNESS user manuel v6, Beadrwood, 1989.
3. CACI Product Company: SIMFACTORY 1.5 Users and Reference Manuel
4. Shimuzu M.: An integrated approach for rapid design and analysis of manufacturin system Technical Report, College of Engineering University of Wisconsin - Madison Madison, Wisconsin, 1991.



Prof. dr Radomir VUKASOJEVIĆ *

ANALIZA FABRIKE PRIMJENOM SOFTVERSKOG
PAKETA ZA ANALIZU FLEKSIBILNIH
PROIZVODNIH SISTEMA

ABSTRAKT Projektovanje fleksibilnih proizvodnih sistema je ugaoni kamen ka realizaciji fabrike budućnosti. Fabrika čija je dispozicija data na sl.1. analizirana je softverskim paketom Taylor II.

Modeliranje i analiza fabrike izvedena je kroz tri faze. Prve, na osnovu elemenata za modeliranje, strasegije modeliranja, ulazno izlaznih uslova, definicije toka kretanja proizvoda i procesnih parametara definiše se model. Vizuelna prezentacija modela daje jasnu sliku o layout-u fabrike.

Druga, vrši se simulacija i prezentacija modela preko animacije. Treća, detaljna analiza pojedinih modula kao i čitave fabrike izvodi se na osnovu predefinisanih grafičkih prikaza pri čemu inoviranjem parametara dobijaju se viševarijantna rešenja.

1. UVOD

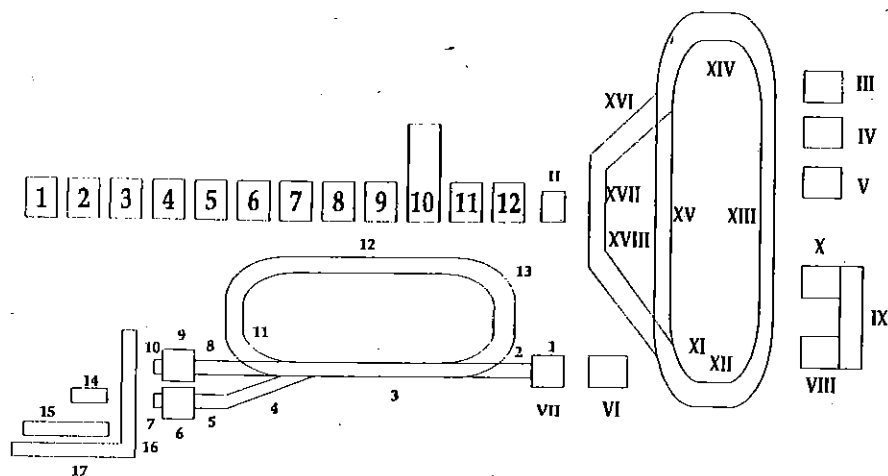
Dispozicija fabrike koja se analizira data je na sl.1. Fabrika sadrži tri linije: proizvodnju, transport i visokoregalno skladištenje. Fabrika je predviđena da radi četiri različita proizvoda koja prolaze faze procesiranja, transporta i skladištenja.

Analiza fabrike treba da obuhvati izračunavanja:

- iskorišćenja pojedinih mašina kao i čitavog mašinskog parka,
- optimalnog kapaciteta kao i moguća poboljšanja,
- ukupna vremena izrade i njihove distribuciju za pojedine proizvode i
- histogram čekanja pojedinih proizvoda za procesiranje na pojedinim mašinama.

Softverski paket Taylor II koristi metodu "rough-cut" analize tako da za dobijanje navedenih ciljeva priprema unos i procesiranje podataka je ne oduzima mnogo vremena a nije potrebno posebno predznanje da bi se paket koristio.

* Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore



sl.1

2. METOD ZA MODELIRANJE SIMULACIJU I ANALIZU

Modeliranje, simulacija i analiza fabrike date na sl.1 izvršeno je koristeći softverski paket za modeliranje logističkih i proizvodnih sistema Taylor.

Taylor II je softverski paket koji sadrži četiri osnovna entiteta koja se koriste za formiranje modela: element, operacija, stanje i proizvod. Formiranje modela uvijek počinje definisanjem layout-a. Pozicionira se određeni broj elemenata (mašine, skladišta ili inout elementi) a zatim se definišu operacije. Jedna ili više operacija može se izvoditi na svakom elementu. Definisanjem elementa i operacija definisana su i moguća stanja. Stanje definiše destinaciju proizvoda. Grupa stanja definiše putanju proizvoda. Putanjom se u toku animacije kreću proizvodi.

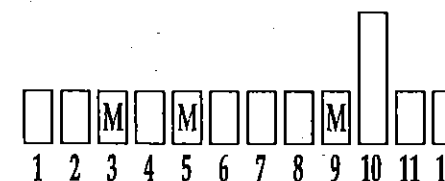
Taylor II omogućava detaljnu analizu kako pojedinih cjelina tako i čitave fabrike kao i grafičku animaciju za verifikaciju i prezentaciju rezultata analize.

3. OPIS POJEDINIH LINIJA FABRIKE

3.1 Opis proizvodne linije fabrike

Proizvodna linija ima 12 (dvanaest) elemenat kao što je pokazano na sl.2.

Element 1 je ulazni element, elementi 2,4,6,8 i 10 su međuskladišta a elementi 3,5,7 i 9 su mašine koje se koriste za procesiranje. Mašina 7 je stara i u kvaru je 10% posmatranog perioda. Element 10 je međuskladište gdje se skupljaju svi proizvodi a u skladište 11 proizvodi se stavljaju u boksove.



sl.2

Na mašinama se rade četiri tipa proizvoda, svaki sa svojim tokom kretanja i vremenima izrade na pojedinim mašinama kao što je dato u tabeli na sl.3a.

Proizvod broj	vrijeme izrade				proizvoda po boksu
	M3	M5	M7	M9	
1	10	5	6	5	4
2		25			3
3	20		8	5	4
4			3	18	5

sl.3a

Narudžba proizvoda je slučajna ali zbog analize uzima se da narudžba za proizvodnu liniju ide redosledom (tip proizvoda - količina) 1-8, 2-9, 4-15, 2-6, 3-8.

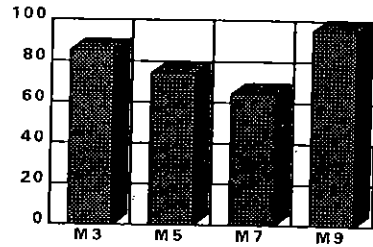
Ako u tabeli na sl. 3 neki od proizvoda nema vrijeme izrade na nekoj mašini onda to znači da se ta mašina ne koristi za izradu tog proizvoda kao i skladište prije te mašine. Na sl.3b data je tabela toka kretanja proizvoda duž proizvodne linije.

BROJ PROIZVODA	ELEMENTI											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	4		5	10						11	12	
3	2	3	6			7	8	9	10	11	12	
4	6					7	8	9	10	11	12	

sl.3b

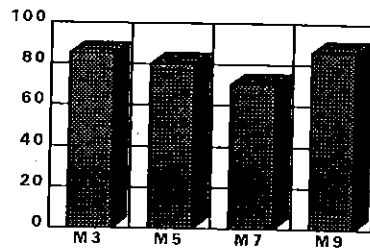
Modeliranje prikazane linije softverskim paketom Taylor II uradjeno je koristeći ranije navedene parametre. Na sl.4. prikazano je iskorišćenje mašina proizvodne linije kao jedan od mogućih parametara za analizu.

Sa slike se jasno vidi da predložena konfiguracija proizvodne linije ima usko grlo kod mašine M9 što onemogućava dobijanje zacrtanog plana proizvodnje.



sl.4

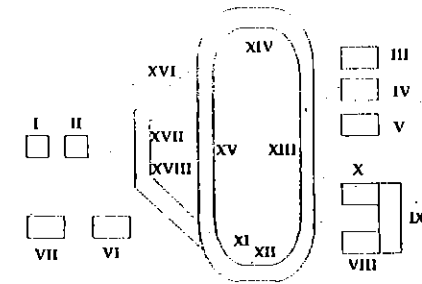
Ne izbalansirano iskorišćenje mašina a time ne ispunjenje plana proizvodnje može se eliminisati promjenom performansi mašine M9. Izmjenom ulaznih parametara (pripremnog vremena, veličine serije i vremena zastoja) na sl.5 prikazan je sumarni dijagram iskorišćenja



sl.5

3.2 Transportni modul

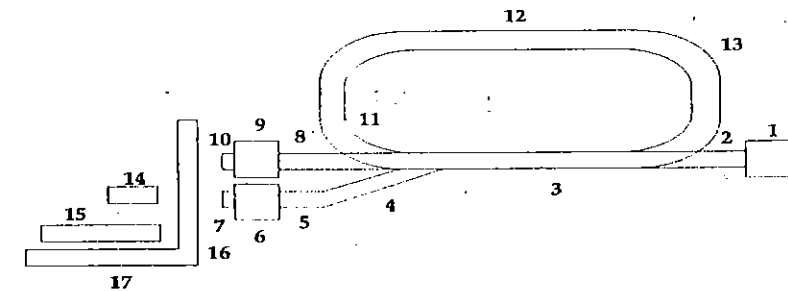
Kod ovog modula boksovi se formiraju u element I a iz njega idu u element II (skladište). Preko automatski vodjenih kolica III, IV i V proizvodi dalje idu na transportnu liniju. AGU - kolica uzimaju 20% boksova i nose ih na element VI sa kojeg idu na izlazni element VII. Preostalih 80% ide na element VIII gdje je locirana mašina IX. Tri boksa čeka da počne procesiranje na mašini IX te nakon procesiranja ovi boksovi čekaju u skladištu X da se transporterom prebace ka izlaznom elementu VI. (sl. 6)



sl. 6

3.3 Visokoregalni skladištni modul

U ovom modulu proizvodi ulaze u sistem preko elementa 1 a zatim idu na konvejer 2 i 3. Ovdje se vrši usmjeravanje, ako je moguće proizvodi idu na 4 i 8 uprotivnom idu na element 11. Skladišta 6 i 9 služe za skladištenje a zatim preko paleta 14 i kрана proizvodi se smještaju u visokoregalno skladište. Visokoregalni skladištni modul prikazan je na sl.7.

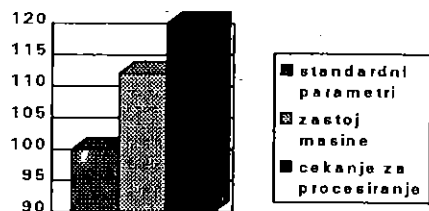


sl.7

4. REZULTATI SIMULACIONE ANALIZE ČITAVE FABRIKE

Softverski paket Taylor II omogućava integrisanje pojedinačnih linija - modela u jedan model - u ovom slučaju model čitave fabrike. Analiza novoprojektovanog modela izvodi se na istom principu kao i analiza segmenata.

Model čitave fabrike omogućava analiziranje uticaja zastoja ili kašnjenje procesiranje proizvoda na pojedinih mašinama, što se reflektuje na vrijeme njihovog pojavljivanja na transportni modul, i konačno na puteve do krajnjeg skladišćenja. Na sl.8. prikazan je uticaj navedenih faktora za izradu proizvoda br.1.



Sl.B.

5. ZAKLJUČAK

Primjena softverskog paketa za analizu fabrike data je na sl.1. Izvršena je sa željom da se prikažu sve prednosti prezentirane metode za analizu i projektovanje.

Rezultati analize i prednosti ovakvog načina modeliranja su prikazani za fabriku čija dispozicija se često sreće u metaloprerađivačkoj industriji, tako da autor očekuje da će prezentirana metoda naći široku primjenu u restrukturiranju fabrika što je neminovnost za naše uslove.

6. LITERATURA

1. Suri R. and Tomsicek M.: *Rapid tools for manufacturing simulation and analysis*, Proceedings of the 1988 Winter Simulation Conference, 1988.
2. Masami Shimizu: *Analysis of a factory of the future using an integrated set of software for manufacturing systems modeling*, Winter Simulation Conference, San Diego, CA, dec. 1988.
3. Dirk Harm Eijssen: *Q-art: Queuing Analysis and Reduction Technique*, Taylor Times magazine, 1995.
4. Rian Mennen and Cliff King: *When to use Taylor II Simulation*, Taylor Times, 1995.



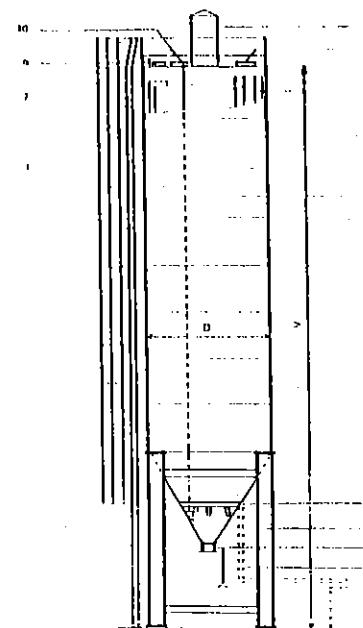
Doc. Ing. Vojtech ANNA, CSc.

SEMI-AUTOMATED WORKPLACES FOR WELDING OF BULKY CONTAINERS MODULES

1. THE BRIEF SPECIFICATION OF TANKS

Rotary large capacity tanks are used as vertical stock equipment for loose materials such as cement, lime and dry plaster mixtures etc.

Their volume size ranges from 13 to 360m³, diameters from 2000 to 4000 mm and height from 5000 to 27 000 mm the tanks represent the components for the concrete plants in the framework of their mechanisation.



The tanks are manufactured of rings that are mostly welded. Some parts of tanks may be joined with screws for their better handling and for the assembly itself. They are provided with the filters for the atmosphere protection, continuous level height measurement, overpressure clack valve and the aeration. Next tank is equipped with the loading and unloading equipment and with outer and inner ladder with the banister.

The overall view on the large dimension tank is given in Fig.1.

Fig.1 View of the large dimension tank 1. Container 2. Supporting construction 3. Hammering filter 4. Outer ladder 5. Banisters 6. Inner ladder 7. Filling pipe 8. Ball closure 9. Over pressure clack valve 10. Level measurement 11. Aeration 12. Blower
D - from 2000 to 4000 mm
V - up 27 000 mm

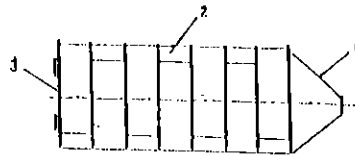
* Technical University Košice, Park J. A. Komenského 5, 041 87 Košice, tel: 095/63 22460.
Fax: 095/ 63 32724

2. THE PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE LONGITUDINAL AND CROSS WELDING

The rotary tank shell is composed of several rings (Fig.2). The rings are produced from iron sheets of the following dimensions 1 500 x 2 500 mm respectively, 1 000 x 2 000 mm, of thickness from 5 to 8 mm, made of material 11 373. Before curling the ring separate iron sheets that the ring is composed of arc welded to required length. The rings are being stitched to one another, welded on the periphery and inside.

Fig.2 Rotary tank shell

- 1 Emptying cone,
- 2 Rotary rolling part
- 3 Upper cover segment



The inner weld, longitudinal and circumferential can be realized on the floor while partially deformed rings are welded by the welding automat in the protection atmosphere of CO₂ (the 1st period). After internal weldings are being carried out, process continues with welding of internal constructions of the tank, such as e.g. of a dividing wall, then upper cover is welded and emptying cone.

The outer weld of the rings is to realized on the outer side. For the tank having the diameter of 4 000 mm is this done in the height of 4 500 mm as tank is placed on the support with pulley on which the tank is rotated along the circumferential welds (the 2nd period). To locate the welding automat in the height of 4 500 mm requires to solve the mobile module which will enable to shift the welding automat in the longitudinal direction on the length up to 27 000 mm as well as enable to perform the circumferential welding of the rings along with their rotation for the alternative tanks diameters.

3. THE SOLUTION OF THE MOBILE MODUL FOR PLACING THE WELDING AUTOMATIC MACHINE

The mobile modul subject to its location can be solved as:

- located in the middle of the hall (workplace) on two rails. (Fig.3).
- located on the side of the hall (workplace) and its one path on the rail on the floor and the other path in the height of 4 000 mm on the built columns.(Fig.4).

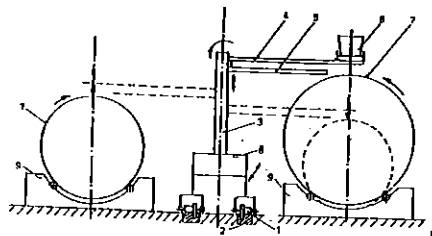


Fig.3 Scheme of mobile modul in the middle of the workplace

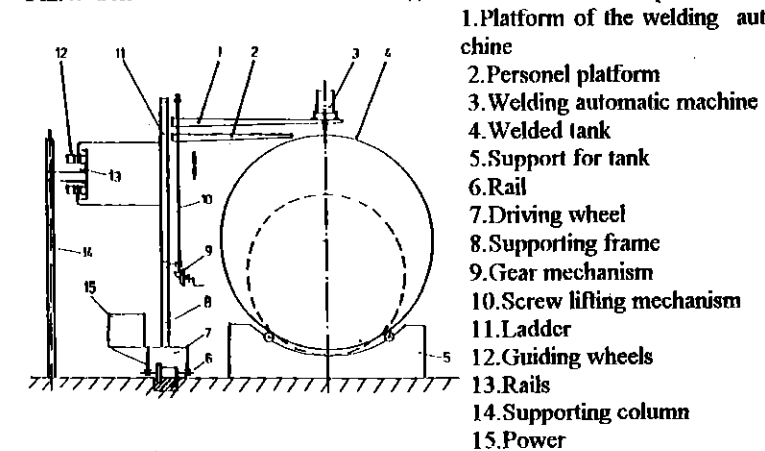
1. Driving wheel 2. Rail 3. Supporting rotating column 4. Platform of the welding automatic machine 5. Personnel platform 6. Welding automat 7. Welded tank 8. Rotating mechanism 9. Supports of the tank

The mobile module consists of the following parts:

- mobile four-wheel mechanism moving on two rails built in the floor in the middle of the entire hall having the length of minimum 30 000 mm. The drive of the moving part shall be solved from the electric motor via gear
- supporting column with the toothed rack with the purpose to adjust the arm stroke by minimum 1 650mm, the supporting column shall enable to arm rotation, which holds the welding automatic machine
- platforms for the location of the welding automatic machine with the possibly to adjust exactly the welding head when welding tank in the longitudinal and cross direction
- the platforms for the personnel running the welding automatic machine
- platforms for the power source
- supporting frame with the ladder
- welding cables and exhausting equipment

The mobile module located in the middle of the hall can be applied whenever the hall is used to weld the large number of tanks.

Fig.4. Scheme of the mobile located on the side of the workplace



1. Platform of the welding automatic machine
2. Personnel platform
3. Welding automatic machine
4. Welded tank
5. Support for tank
6. Rail
7. Driving wheel
8. Supporting frame
9. Gear mechanism
10. Screw lifting mechanism
11. Ladder
12. Guiding wheels
13. Rails
14. Supporting column
15. Power

Such solution when the mobile module is located on one side of the workplace is convenient in the case of the frequent variation of the production program and of better exploitation of the hall area.

4. CONCEPTION OF WORKING PLACE AND TRANSPORT WELDING UNIT

After analysing individual welds when the type, the form, length, accessibility and other criteria were taken into account, it was decided to carry out peripheral and linear welds as well by means of automatic submerged arc welding.

Welding working - place consists of two pulley positionaries with continual regulation of turns and the direction of rotation and transport modul with a platform and a rail of the welding unit in Fig.5 with an active length of 1 600 mm [1].

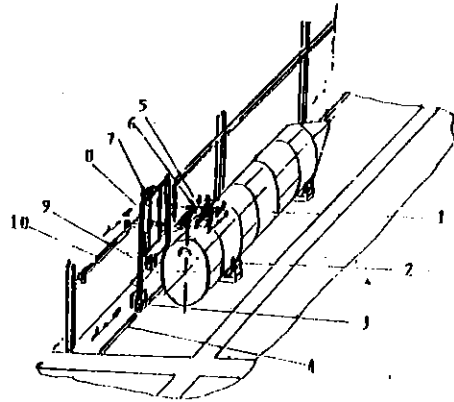


Fig.5 Welding work - place with the transport welding unit module

1.welded tank, 2.Positionery pulley with a controlled drive 3.mechanism of transport modul 4.rail 5.semiautomatic welding unit 6.horizontally switching platform with a guide rail of welding unit 7.Drive of vertically switching platform 8.transport modul 9.welding unit source 10.disengaging guide rail

Within this length automatic lengthwise welds are carried out of an individual ring. The peripheral welds are being carried out automatically at stable position of the welding unit when rotary movement is provided by controlled drive of positionary pulley. Constant distance of the welding head is provided by its mechanical flexibility. In case of change of the diameter of the welded tank the working platform is rearranged in a vertical direction. After the welding of the first segment it is necessary to rearrange the transport module into the position of next segment welding. The module motion with an electric drive is solved by monorail on the workshop floor and by another disengaging guide rail with drive pulley at 1 700 mm height. The welding unit source is situated in the lower part of the transport module.

5. THE CONSTRUCTION OF WELDING UNIT GUIDE RAIL

Parallel movement of the welding unit along the contact gap of the lengthwise welds on the periphery of the shell is performed by horizontally and vertically switching guide rail of the welding unit (Fig.6).

Deviations in the parallelity are caused by inaccuracy when assembling individual workshop sections, tank positionings, by inaccuracies of ring curlings and their mutual stitching.

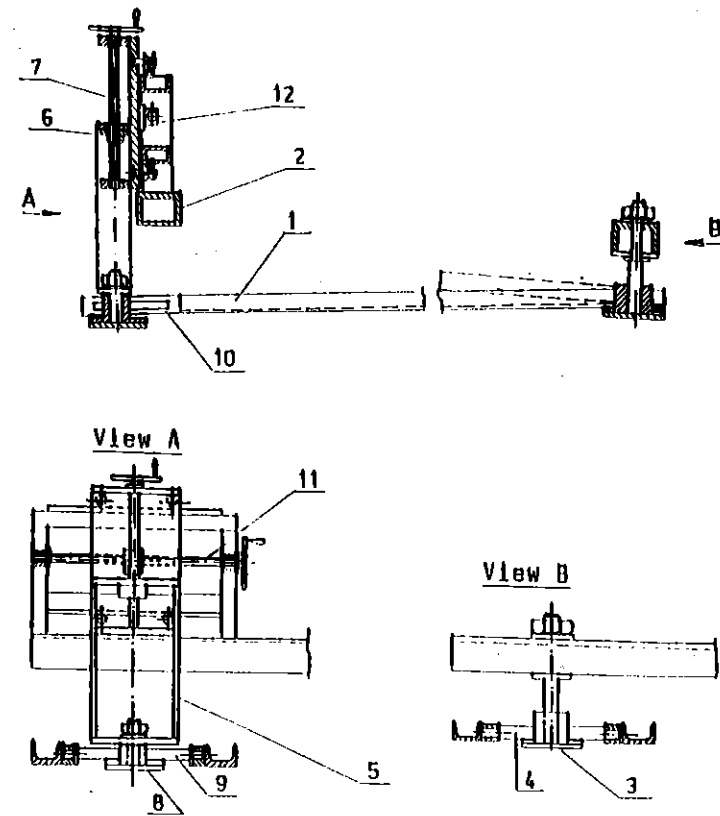


Fig.6 Welding Unit Rail Construction

1.driving course, 2.disengaging girder 3. and 8.turning bridges,4. and 9. transverse arms, 5.vertically moving frame, 6. and 12. matrix, 7. and 11. driving screws

Guide rail 1 is hanging under disengaging girders 2.

On the right hand side horizontal displacement is enabled around the turning bridge 3. The vertical inclining is enabled by rotary fitting on the arm 4.

The view A presents a mechanism of the horizontal and vertical positioning of the left hand side of the mechanism. Vertical positioning is provided by shifting of the vertical frame 3 by means of a matrix 6 and by a driving screw 7. At the end of the vertical moving arm there is a turning bridge 8 where by means of a transverse arm 9 and a work rest blade 10 is a rail of mechanism situated.

6. CONCLUSION

The designed workplace eliminates demanding manual welding and at the same time it raises the quality of welds [2]. At relatively low investing costs a and flexibility at arranging for diameters in the extent of 2000 up to 3 600 mm and in 30 000 mm in length.

Literature

- [1] Anna, V., Salanci, J., Hajduk, M.: Technicko-ekonomická štúdia pracoviska zvrárania veľkoobjemových rotačných nádrží. TU Košice, 1996
- [2] Zongor, J., Anna, V.: Technológia automatizovaných výrob. STU Bratislava, 1991
- [3] Hrádický, L., Bačida, M., Majerník, M.: Podnikanie inžinierskych firiem. Royal Group s.r.o., Košice, 1995



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Vojtech ANNA* , Andrea ANNOVÁ

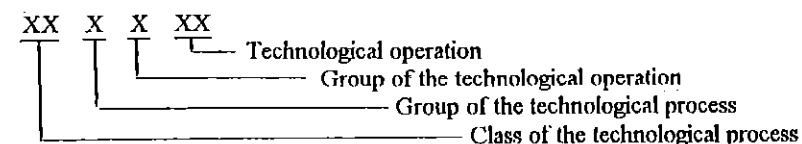
SORTER AND SELECTION OF ENGINEERING TECHNOLOGICAL PROCESSES

SUMMARY

The paper presents a classifier of engineering technological processes and operations based on a hierarchical coding method. A six-figural numerical coding system allows storing, transmission and processing of information items by means of computer technique.

1. INTRODUCTION

The working structure of coding notation of technological processes and operations, divided into four divisions, is chosen in such a way that it may cover all technological processes and operations in the region of the classification set. This structure is as follows /1/:



The first degree of the hierarchical classifier "the class of the technological process" ensures classification of operations according to the character of their belonging to a certain kind of technology, e.g. - 03 Shaping.

The second classification degree is "group of technological processes" which comprises the basic division of technological processes according to the energy applied, the basic transformation characteristics of material of semi-products, prevailing characteristics of technological operations and according to the main object of shaping, e.g. 031 - volumetric shaping.

The third degree "group of technological operations" comprises the basic characteristics of several operations, e.g. for the operations "drawing of solid cross-sections" and "drawing of hollow cross-sections" the common characteristics is "drawing" - code 0314.

The fourth classification degree is "technological operation" that contains the operation codes according to the kind of tools, jigs, e.g. 031 105 - holding.

The first and fourth classification degrees are denoted by two digital characteristics from 01 to 99. The second and the third classification degrees are coded with one digit from 1 to 9.

* Doc. Ing. Vojtech ANNA, CSc.

Strojnícka fakulta TU Košice, Park J.A.Komenského 5, 041 87 Košice, Slovensko
tel. 042 95 / 63 224 60

2. CLASSIFICATION EXAMPLES OF SELECTED TECHNOLOGICAL PROCESS AND OPERATIONS

Fig.1 is a part of classification and coding of shaping methods.

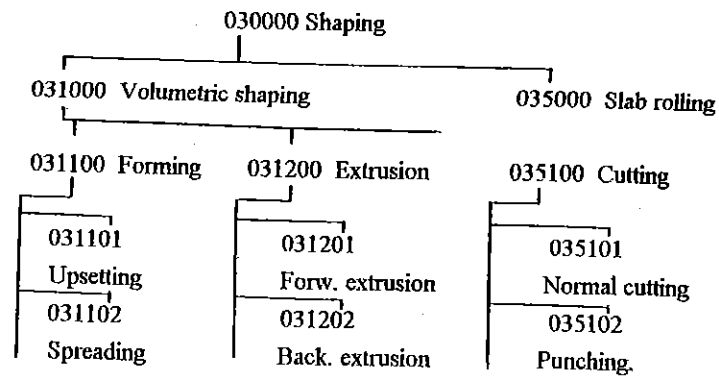


Fig.1 Sorter of shaping methods
Časť triedenia metód tvárnenia

Fig.2 is an example of classification and coding of unconventional machining methods.

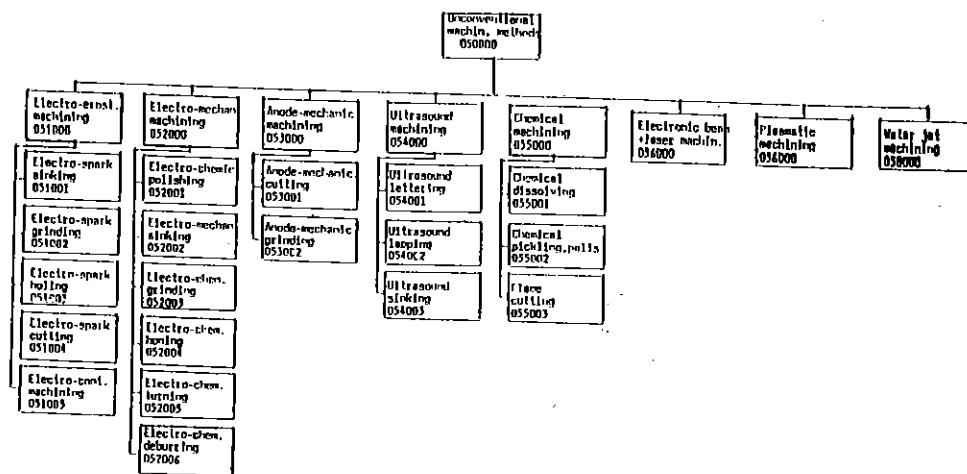


Fig.2 Sorter of unconventional machining methods
Triednik nekonvenčných metód obrábania

For the purpose of quick orientation in selecting the basic technological methods they may be represented graphically. Fig.3 illustrates a part of a classifier for fusion welding.

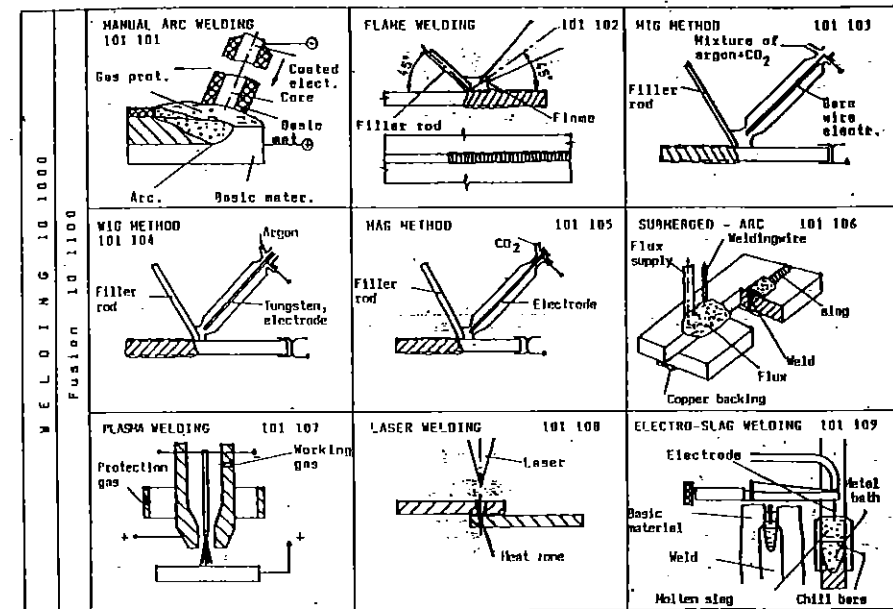


Fig.3 Illustration of a part of the classification processes for fusion welding
Grafická schéma časti triedníka procesov zvárania

3. CONCLUSION

The presented classification system possesses an adequate information range and ensures necessary provision for enlarging the code data.

In view of mass data processing, the formation of a classifier of technological processes is a reasonable classifying system for the requirements of technological processes, for organization of manufacturing processes, for a production basis and for a number of other tasks in the area of technological preparation of production.

REFERENCES

- 1/ ANNOVÁ, V., ANNA, V.: Výrobné stroje, procesy a zariadenia. ES VŠT Košice,
- 2/ ZONGOR, J., ANNA, V.: Technológia automatizovaných výrob, STU Bratislava, 1991
- 3/ ANNA, V.: Classification processes and operations, 5 th International DAAAM Symposium, Maribor, Slovenia, 1994



Dragan M. Erić¹⁾, Velimir Đ. Drobnyak, Milovan V. Milošević²⁾, Danijela G. Radović³⁾

EKSPERTNI SISTEMI U FUNKCIJI CAD / CAM TEHNOLOGIJA

Rezime: U ovom radu dat je prikaz mogućnosti primene baze znanja i ekspertnih sistema u CAM tehnologijama. Ovde je korišćen KAPPA-PC shell sistem. Osnovu ovog sistema čini razvoj baze znanja. Znanja koja se predstavljaju ovde odnose se na tehnologiju obrade na CNC alatnoj mašini AG-100. U ovom ekspertnom sistemu kao način prezentacije znanja koriste se objektno-orjentisane tehnike u formi pravila i okvira. Kao mehanyam zaključivanja koriste se strategije olančavanja unapred i olančavanja unazad.

1. UVOD

Razvoj modernih informacionih tehnologija zahteva korišćenje CAD, CAM, CAQ i ostalih segmenata integrisanih sistema. Naravno svi oni predstavljaju kompjutersku podršku, bilo kada je reč o projektovanju proizvoda, tehnologija, kvaliteta i slično. Međutim, uporedo sa povezivanjem ovih segmenata u jedan kompletan integrisani sistem (CIM), sve više se čine pokušaji uvođenja veštačke inteligencije i ekspertnih sistema u sve oblasti projektovanja. U ovom radu data je jedna od mogućnosti aplikacije jednog od navedenih softverskih alata za gradnju ekspertnih sistema KAPPA-PC 2.2., u nekim delovima kompjuterskog projektovanja programa za CNC erozimat.

Uloga ovako definisanog ekspertnog sistema bila bi da u direktnoj komunikaciji „pomogne“ korisniku u toku izrade programa svojim informacijama, savetima i preporukama. Naravno, ovo pretpostavlja odgovarajuće definisanu bazu znanja kao jedan od ključnih segmenata svakog ekspertnog sistema.

2. SOFTVERSKI ALAT KAPPA-PC 2.2.

Po mnogim svojim karakteristikama KAPPA-PC verzija 2.2., pripada drugoj (zasada poslednjoj) generaciji softverskih alata za gradnju ekspertnih sistema, poznatoj kao SGSBT (Second Generation Expert Systems Building Tools). Ovo je objektno-orjentisani alat koji pripada kategoriji shell-alata, što ukazuje na to da ima već unapred definisanu ljusku, pod čim se podrazumeva metoda za predstavljanje znanja, metoda za zaključivanje, kao i sam interfejs prema korisniku (strategies for Knowledge Representation, strategies for Inference Process and user interface).

Predstavljanje znanja jeste upotrebom objektno-orjentisane tehnike u formi pravila i okvira. Fizički entiteti ili abstraktni koncepti su grupisani unutar koncepta

¹⁾ Dragan M. Erić, D.P.N.P. Sloboda, Ratka Mitrovića bb, 32000 Čačak.

²⁾ Velimir Đ. Drobnyak, Milovan Milošević, Fabrika reznog alata, Hajduk Veljkova 37, 32000 Čačak.

³⁾ Danijela G. Radović, Tehnički fakultet, Čačak, Svetog save 65, 32000 Čačak.

hijerarhijske strukture klasa, subklasa i instanci. Karakteristike svake od klasa su opisane slotovima, pri čemu je zastupljen princip nasleđivanja, odnosno podklase dobijaju karakteristike svojih prethodnika. Slotovi mogu biti tekstualnog ili numeričkog tipa. Pravila su opšteg tipa IF-THEN i ona se pišu upotrebom sopstvene sintakse KAL (Kappa Application Language). Upotreba pravila je naročito pogodna kod znanja koja se tiču tehničko-tehnoloških karakteristika mašine, ali i mogućnosti same obrade.

Mehanizam zaključivanja u ovom softverskom okruženju zasniva se pre svega na samoj tehnici objektno-orientisanog pristupa (metod nasleđivanja), kao i upotrebom pravila na dve veoma poznate tehnike u ekspertnim sistemima: olančavanje unapred i olančavanje unazad (forward chaining i backward chaining).

Interfejs prema korisniku u ovom softveru je veoma pristupačan za rad, a baziran je na Windows-u. Prilikom ulaznja Kappa startuje sa tri otvorena windows-a: glavni meni ikona, gde jedna ikona reprezentuje jedan element razvojnog sistema, „Object Browser“ za grafički prikaz hijerarhije objekata i meni ikona „K-tools“.

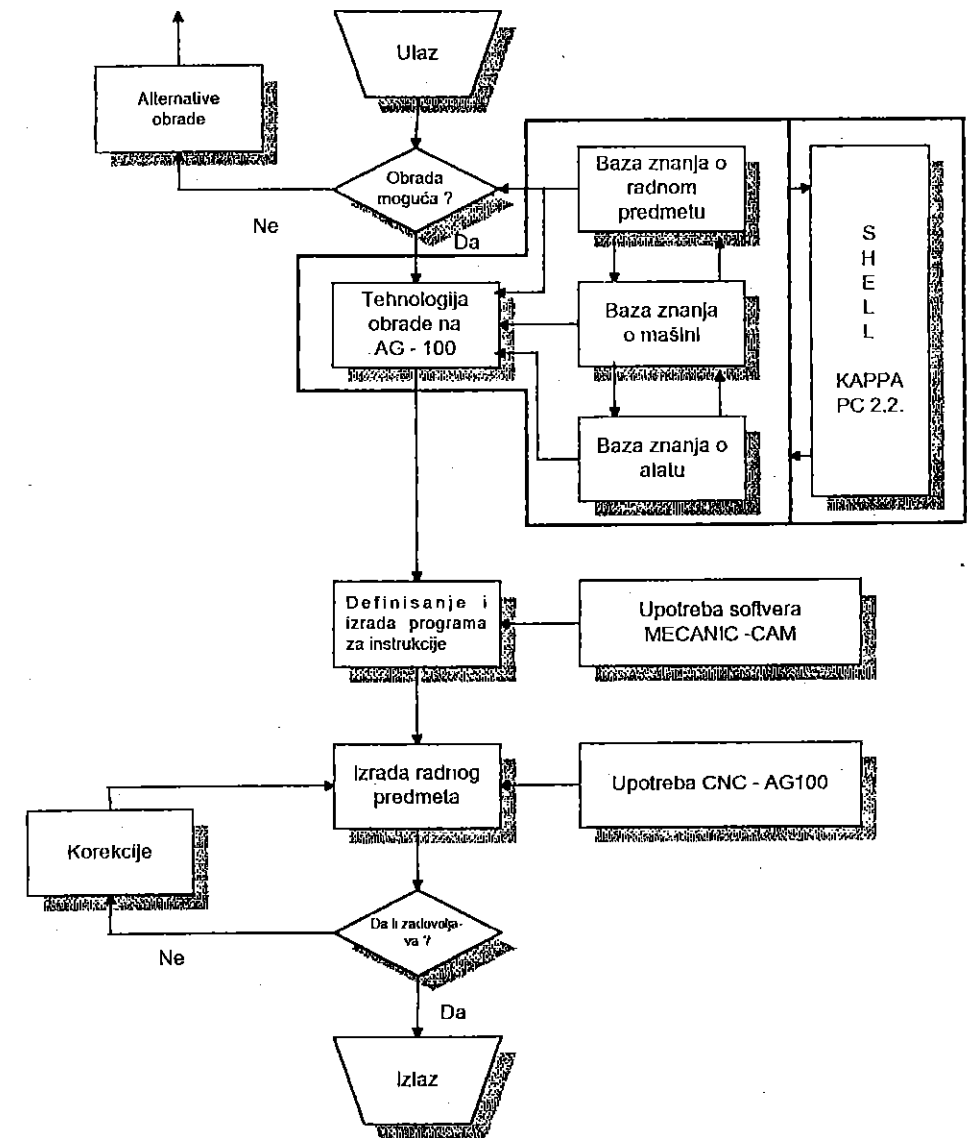
3. ULOGA EKSPERTNOG SISTEMA U CAM - PROCESU

Kako je već u uvodu i napomenuto uloga ovako projektovanog ekspertnog sistema u toku izrade NU-programa bila bi pre svega savetodavna. To podrazumeva da bi ovaj sistem trebao sadržati sva ona neophodna znanja koja se odnose i na mašinu, i na sam alat i radni predmet. Sa ovim znanjima koja su definisana u njihovoj uzročno-posledičnoj vezi i koja su predstavljena na odgovarajući način, stvorena je baza znanja o tehnologiji obrade na erozimatu AG-100. Pošto je ova baza znanja stavljena u shell Kappa-PC, to je projektant u svom direktnom komuniciranju sa ovim ekspertnim sistemom u mogućnosti da dobija sva ona znanja koja se tiču varijante obrade, vrste alata, moguće tačnosti, kvaliteta obrađene površine, oblika radnog predmeta, kao i međusobne uslovljenosti svih ovih parametara.

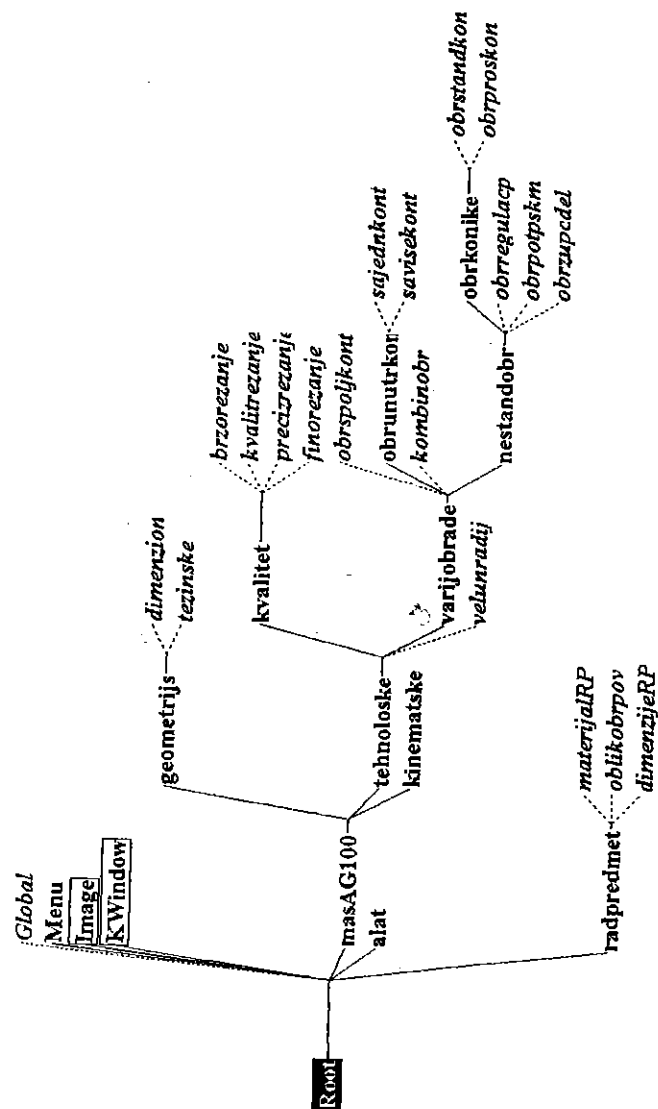
Na **sluci 1** dat je šematski prikaz koncepta sistema za projektovanje tehnologija na AG-100 sa implementacijom ovog ekspertnog sistema, a na **sluci 2** dat je šematski prikaz hijerarhijske strukture klasa i instanci koje definišu znanja vezana za CNC-mašinu AG-100, alat i radni predmet.

Kao što ova struktura pokazuje opšte karakteristike mašine alatke imaju tri podklase: geometrijske karakteristike, tehnološke i kinematske karakteristike. U daljoj hijerarhiji geometrijske karakteristike sadrže dve instance, dimenzione i težinske, a tehnološke karakteristike sadrže podklase kvaliteta i varijante obrade i instancu veličine unutrašnjeg radijusa. Kvalitet ima dalje svoja četiri nivoa kvaliteta i to su instance „brzo rezanje“, „kvalitetno rezanje“, „precizno rezanje“ i „fino rezanje“, a varijante obrade imaju svoju strukturu podklasa i instanci kako to šema pokazuje.

Svaka od prikazanih klasa i instanci na **sluci 2**, detaljno je definisana preko slotova koji opisuju ili numerički ili tekstualno karakteristike-atribute dotične klase ili instance. Pravila, koja su takođe sastvanl deo baze znanja, definišu kakve zavlsnosti ili uslovljenosti postoje između različitih parametara. Naprimer, kako zavisi kvalitet obrade i tačnost od brzine rezanja, oblika materijala, prečnika žice, zatim u kojim slučajevima je potreban jedan prolaz, a kada pak više prolaza itd.



Slika 1 Šematski prikaz koncepta sistema za projektovanje tehnologija



Slika 2 Šematski prikaz hijerarhijske strukture klasa i instanci koje definišu znanja

4. ZAKLJUČAK

Ovim radom pokazano je da je moguće u priličnoj meri implementirati elemente veštačke inteligencije u klasičnoj kompjuterskoj pripremi tehnologija (CAM-procesu). Kao rezultat ovakve aktivnosti dobijen je znatno brži i efikasniji način savladavanja određenih dilema ili čak problema u toku definisanja tehnologije izrade NU-programa. Jednostavno, mnoga od ovih znanja koja su vezana za knjige, priručnike, uputstva, ili su pak iskustvenog karaktera, sada su na jednom mestu, odnosno u bazi znanja ekspertnog sistema. Sa druge strane karakteristike izabranog shell-a omogućavaju nam da svaku od traženih informacija ili saveta dobijemo u formi logičkog rasuđivanja koje je po mnogo čemu blisko čoveku.

5. LITERATURA

- [1] Devedžić, V., *Ekspertni sistemi za rad u realnom vremenu*, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, 1994.
- [2] Helton, T., *Object-oriented expert system tool Kappa-PC 1.1.*, AI Expert - software Review, March 1991., pp. 65-67.
- [3] Lydiard, T.J., *Kappa-PC*, Expert product reviews, October 1990., pp. 71-77.
- [4] Erić, D., Radović, D., Drobniak, V., Milošević, M., *Primena objektno-orjentisanog alata za gradnju ekspertnih sistema u CAM-tehnologijama*, Simpozijum YU-INFO'96, Brezovica, 1996.
- [5] Erić, D., Drobniak, V., Milošević, M., Radović, D., *Artificial Intelligence and Knowledge Base as Support in CAM-Systems*, International Manufacturing Engineering Conference (IMEC), University of Connecticut, Storrs, USA, August 1996.

Summary: This paper shows some possibilities of applications knowledge base and expert systems in CAM - technology. Here used KAPPA-PC shell systems. Fundamentals of that systems is development bas of knowledge. Knowledge which presents here related to technology process at CNC tools AG-100. In this expert system as strategies for knowledge representation yes object-oriented technics in form rules and frames. As strategies for Inference Process yes Forward and Backward chaining.



Krivokapić Zdravko, Zogović Vukašin*

PRIMJENA NEURALNIH MREŽA U PRAĆENJU STANJA ALATA

REZIME:

U radu se analizira mjerenje sila rezanja pri struganju u f-ji habanja alata. Ovaj rad opisuje eksperimentalnu proceduru korišćenu za obučavanje neuralne mreže. Kao model neuralne mreže primijenjen je algoritam back-propagation. Neuralna mreža je obučavana korišćenjem 27 oblika (off-line) sa 6 ulaza i jednim izlazom. Prezentirani su rezultati za test oblike.

1. UVOD

Savremena automatizacija proizvodnih procesa pretpostavlja neprekidnu i automatsku kontrolu stanja alata. Postoje dvije metode procesnog praćenja stanja (habanja) alata i to: direktna i indirektna. Indirektna metoda koja bazira na akviziciji parametara procesa rezanja i korelacionim vezama sa parametrima habanja ima sve veću praktičnu primjenljivost u odnosu na direktno mjerenje habanja./1/

Najčešće se kao metode indirektnog praćenja habanja alata sreću sledeće karakteristike mjerenja:

- sile rezanja,
- vibracije,
- akustička emisija,
- zvuk,
- snaga motora,
- temperatura i druge.

Da bi se prešlo na on-line praćenje habanja alata, neophodno je prethodno doći do podataka koji bi bili relevantni za sam proces, a na bazi primijenjene metode definisati granične parametre koji će obezbijediti sigurnost alata u rada sa stanovišta habanja ili loma alata.

U poslednje vrijeme u procesu praćenja habanja alata veliko interesovanje istraživača izaziva primjena neuralnih mreža. /2,3,4,5/

Ovaj rad se orijentiše na primjenu neuralnih mreža za integraciju informacija sila rezanja i parametara procesa rezanja (brzina, korak i dubina) u odnosu na parametre habanja alata. Za treniranje neuralnih mreža upotrijebljeni su eksperimentalni rezultati dobijeni u laboratoriji Mašinskog fakulteta. Posebno su izučeni sledeći efekti treniranja:

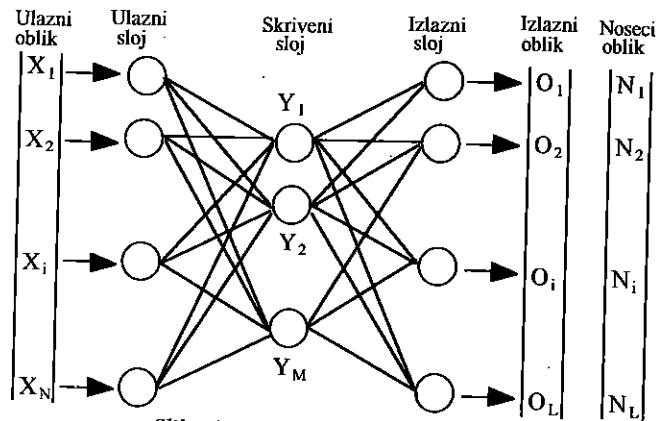
* Dr Krivokapić Zdravko, docent, Mašinski fakultet, Podgroica, Cetinjski put b.b.
Mr Zogović Vukašin, asistent, Mašinski fakultet, Podgroica, Cetinjski put b.b.

stepen učenja, broj slojeva i broj neurona u skrivenom sloju. Takođe, analizirana je transformaciona funkcija u f-ji broja neurona u sloju.

2. NEURALNE MREŽE

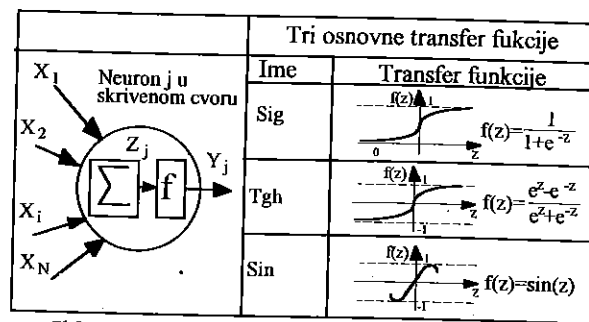
Postoji veći broj arhitektura neuralnih mreža. Back-propagation model neuralnih mreža je najrasprostanjeniji u procesu praćenja stanja. Takođe, jednostavnost algoritma za ovaj model čini ovu arhitekturu privlačnom, pa se zato i analizira u okviru ovog rada.

Slika 1 prikazuje arhitekturu neuralne mreže koja je specifična za model back-propagation. Osnovnu strukturu ove mreže čine tri sloja: ulazni, skriveni i izlazni sloj. Ulazni sloj preuzima podatke iz eksternog okruženja, dok izlazni generiše izlaz za okolinu. Skriveni sloj, jedan ili više, vrši transformisanje ekstrahujući ulazne podatke, posredstvom izabrane transformacione f-je.



Slika 1. Arhitektura neuralne mreže

Na slici 2. je prikazan postupak određivanja izlazne vrijednosti iz posmatranog neurona.



Slika 2. Algoritam funkcionisanja neuralne mreže

3. PROJEKTOVANJE EKSPERIMENTA

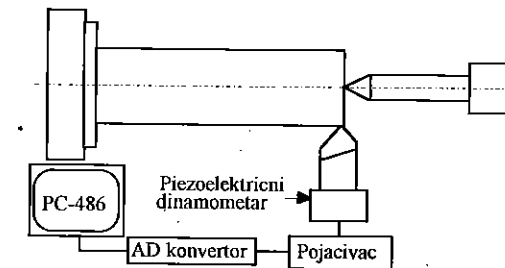
Analizom radova [6,7] izvršeno je u raspoloživim uslovima projektovanje eksperimenta. U tabeli 1 su date karakteristike izvođenja eksperimenta.

TABELA 1

Karakteristike	Vrijednosti
Mašina - strug/snaga	tip 1A616 / P=4kW
Alat	TM oznaka alata: FS4 0512S2
b x h, α , γ , λ , r , κ	18x18, 7°, 15°, 0°, 0.5 mm, 45°
Materijal	Č.1530.5 - vučen
Režimi rezanja: - korak (mm/o) - brzina (mm/min) - dubina (mm)	0.36 - 0.22 - 0.148
	111.2 - 79 - 52.3
	1.69 - 1.3 - 1
Mjerni uređaj: - dinamometar	Trokomp. kvarc. 9257A "KISTLER"

Kao jedan od učestalijih načina indirektnog mjerenja prihvaćen je metod mjerenja sila rezanja, zbog raspoloživosti davača [8].

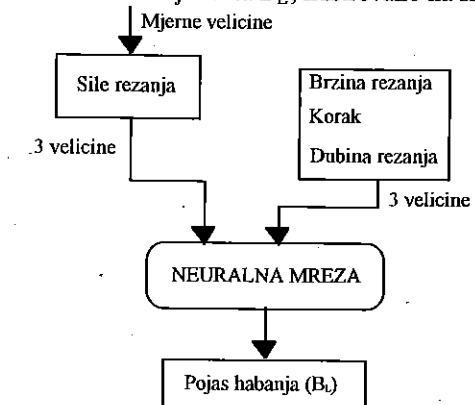
Šema akvizicije podataka pri izvođenju eksperimenta je prikazana na slici 3, gdje je kao pojačivač upotrijebljen KISTLER-ov pojačivač tip 5006, a kao AD konvertor DT2801-A. Dobijeni signali su analizirani posredstvom softvera Global-LAB.



Slika 3. Šema izvođenja eksperimenta.

4. ANALIZA REZULTATA

Za obučavanje neuralnih mreža kao ulaz su poslužili 6 parametara i to: 3 parametra procesa rezanja i 3 veličine izmjerene sile rezanja, dok je kao izlazna veličina poslužila vrijednost linijskog parametra habanja alata B_L , ilustrovano na slici 4.



Slika 4. Šema pristupa obučavanju neuralne mreže

Da bi se izvršilo obučavanje neuralne mreže iz skupa eksperimentalnih rezultata (92) izabrano je 27 eksperimentalnih podataka koje su poslužile za treniranje neuralne mreže. Izabrani eksperimentalni rezultati koji su poslužili za obučavanje neuralne mreže su prezentirani u tabeli 2.

TABELA 2

R.br.	ULAZ						IZLAZ Habanje Bl (mm)
	Brzina (V) mm/min	Korak (S) o/min	Dubina (t) mm	Sila (Fx) N	Sila (Fy) N	Sila (Fz) N	
1.	52.3	0.148	1	168.5	186.9	455.1	0.1
2.	79	0.148	1	179.6	204.2	458.6	0.1
3.	111.2	0.148	1	177.5	199.4	448.6	0.1
4.	79	0.22	1.3	278.2	369.6	671.5	0.1
5.	79	0.36	1.3	296.1	438.9	928.9	0.1
6.	79	0.148	1.3	205.8	259.0	500.4	0.1
7.	111.2	0.36	1.69	337.2	566.8	1322.5	0.1
8.	111.2	0.36	1.3	236.4	396.7	994.9	0.1
9.	111.2	0.36	1	153.9	367.4	784.9	0.1
10.	52.3	0.148	1	190.8	219.1	478.5	0.3
11.	79	0.148	1	191.9	222.0	482.5	0.3
12.	111.2	0.148	1	184.6	218.2	465.3	0.3
13.	79	0.22	1.3	324.5	433.7	811.5	0.3
14.	79	0.36	1.3	362.3	521.2	1092.6	0.3
15.	79	0.148	1.3	208.9	264.3	535.9	0.3
16.	111.2	0.36	1.69	353.8	695.9	1461.6	0.3
17.	111.2	0.36	1.3	267.0	598.8	1120.0	0.3
18.	111.2	0.36	1	163.9	534.7	878.7	0.3
19.	52.3	0.148	1	208.4	236.3	491.4	0.4
20.	79	0.148	1	210.6	227.8	482.5	0.4
21.	111.2	0.148	1	206.9	225.2	471.6	0.4
22.	79	0.22	1.3	364.5	455.4	853.0	0.4
23.	79	0.36	1.3	369.5	537.5	1157.3	0.4
24.	79	0.148	1.3	239.4	267.1	572.3	0.4
25.	111.2	0.36	1.69	384.0	741.1	1529.9	0.4
26.	111.2	0.36	1.3	301.1	623.5	1283.4	0.4
27.	111.2	0.36	1	195.8	563.1	1072.2	0.4

Navedeni podaci iz tabele su prethodno normalizovani, a zatim iskorišćeni za obučavanje neuralne mreže. Prezentirani podaci su ujedno primijenjeni i za provjeru rada obučene mreže. Prilikom treniranja mreže u okviru raspoloživog softvera su mijenjani sledeći elementi:

- broj skrivenih slojeva,
- broj neurona u skrivenom sloju,
- stepen učenja i
- f-ja transformacije.

Iako se u većini citiranih radova za ove probleme potencira sigmoidna funkcija, u ovom radu su se za obučavanje koristile sledeće f-je: sin, sig i tgh. Sa stanovišta transformacione f-je najuspješniji rezultati su dobijeni za slučaj tanges hiperbolično .

Sa stanovišta broja skrivenih slojeva najpodesniji su se pokazile neuralne mreže sa dva skrivena sloja.

Poređenjem broja neurona u mreži, u skrivenom sloju, najpouzdaniji podaci sa RMS greškom od 0,01 je pokazala mreža sa 20 neurona u prvom sloju i 6 neurona u u drugom sloju.

Pri poređenju različitih elemenata vezanih za faktor učenja u intervalu od 0.7 do 0.2 najbržu konvergenciju, najmanji broj iteracija, sa raspoloživim softverom je pokazala mreža sa faktorom 0,35.

U tabeli 3 su prikazane izlazne vrijednosti B_L , koje u drugoj koloni predstavljaju podatke iz tabele 2, a u trećoj rezultate na bazi simulacije rada neuralne mreže.

TABELA 3.

1.	0.100000	0.087978
2.	0.100000	0.090837
3.	0.100000	0.104964
4.	0.100000	0.096369
5.	0.100000	0.100267
6.	0.100000	0.122223
7.	0.100000	0.093187
8.	0.100000	0.099569
9.	0.100000	0.102980
10.	0.300000	0.296709
11.	0.300000	0.302605
12.	0.300000	0.300472
13.	0.300000	0.300119
14.	0.300000	0.300563
15.	0.300000	0.291522
16.	0.300000	0.300597
17.	0.300000	0.298981
18.	0.300000	0.300819
19.	0.400000	0.397009
20.	0.400000	0.403157
21.	0.400000	0.402855
22.	0.400000	0.399321
23.	0.400000	0.401132
24.	0.400000	0.402821
25.	0.400000	0.399113
26.	0.400000	0.401361
27.	0.400000	0.398001

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih rezultata izvršeno je obučavanje neuralne mreže sa 6 ulaznih i jednim izlaznim parametrom. Kao ulazni parametri su poslužile sile rezanja i tri parametra procesa, a kao izlazni linijski parametar habanja.

Pri obučavanju mreže najpogodniji rezultati su dobijeni za transformacionu f-ju tanges hipebolično (tgh), sa srednjom greškom 0.01, stepenom učenja od 0.35 i dva skrivena sloja i to u prvom sa 20 neurona a u drugom sa 6.

Započeta istraživanja treba da posluže kao osnova za inteligentno praćenje stanja alata.

LITERATURA:

- /1/ Stanić, J., *Teorija obrade metala I*, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
- /2/ Purushothaman, S., Srinivasa, G.Y., *A back-propagation algorithm applied to tool wear monitoring*, Int. J. Mach. Manufact., 1994, Vol. 34, No. 5, pp. 625-631
- /3/ Mohan, S.M., Kovacevic, R., *Real-time monitoring of AWJ nozzle wear using artificial neural network*, Transaction of NAMRI/SME, Vol. XXII, 1994, pp. 253-258.
- /4/ Rangawala, S., Dornfeld, D., *Sensor integration using neural network for intelligent tool condition monitoring*, Journal of Engineering for Industry, August 1990, Vol. 112, pp. 219-228.
- /5/ Lin, C.S., Ting, J.C., *Drill wear monitoring using neural network*, Int. J. Mach. Manufact., 1996, Vol. 36, No. 4, pp.465-475.
- /6/ Kovačević, R., ..., *Definisanje zavisnosti komponenti otpora rezanja od uticajnih faktora pri obradi struganjem*, XVI Savjetovanje proizvodnog mašinstav Jugoslavije, Mostar, 1982, s. 39-42.
- /7/ Stanić, J., ..., *Merna tehnika u tehnologiji obrade metala rezanjem*, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1983.
- /8/ Byrne, G., ..., *Tool condition monitoring - The status of research and industrial application*, Annals of CIRP, Vol. 44/2, 1995, pp. 541-567.

USNIG NEURAL NETWORK BY MONITORING TOOL WEAR

ABSTRACT

In this paper, tool wear in a turning operation is carried out by measuring the force signals. This paper describes the experimental procedure used and presents for establishing the neural network. A multilayered perceptron with back-propagation algorithm has been used. The network was trained off-line using 27 patterns each of six inputs and own output. Results for test patterns are presented.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

M.Manić, D.Domazet, M. Trajanović, D. Mišić¹, G. Devedžić²

MODELIRANJE BAZE ZNANJA I BAZE PODATAKA KOD EKSPERTNIH CAPP SISTEMA

Rezime

U radu se prikazuje način modeliranja baze znanja i baze podataka kod ekspertnih CAPP sistema. Model se zasniva na analizi načina rada velikog broja tehnologa u metaloprerađivačkoj industriji. U radu su prikazani nivoi i struktura baze znanja i baze podataka. Takođe se prikazuje način modeliranja teorijskog i heurističkog znanja i njihova integracija u jedinstvenu bazu znanja. Konfliktne situacija u radu ekspertnog sistema, kada se veći broj pravila može da izvrši, rešavaju se uvođenjem kvantifikatora (CF faktora) pojedinih pravila. Prikazani model ima izvestan stepen opštosti i mogao bi da se primeni i u drugim inženjerijskim aktivnostima i oblastima sa malim stepenom modifikacije i prilagodavanja. Na primeru razvijenog ekspertnog sistema CAPROT, namenjenog za projektovanje tehnoloških postupaka izrade rotacionih delova obradom rezanjem, prikazuje se usvojeni model.

1. UVOD

Projektovanje tehnoloških postupaka, u najvećem broju fabrika, je aktivnost koja se pretežno zasniva na iskustvu i intuiciji tehnologa, i empirijskim relacijama i informacijama. Posebno treba istaći logiku razmišljanja i zaključivanja tehnologa, koja se zasniva na opštem iskustvu tehnologa-eksperta, i na posebnom iskustvu vezanom za određene pogonske uslove. Kako je iskustvo i logika razmišljanja individualna stvar, to se u tehnologiji javlja mnoštvo različitih varijanti tehnologija za neke proizvode. Aktivnijom primenom računara u ovoj oblasti razvijeni su CAPP (Computer Aided Process Planning) sistemi za automatizaciju projektovanja tehnoloških postupaka. Težnja ovakvih sistema je da se na neki način modelira rad tehnologa, i pomoću računarskog programa izvrši simulacija njegovog rada.

U početku je to rađeno klasičnim algoritamskim programiranjem, koje je pogodno za matematičke probleme. Pošto se kod CAPP sistema treba da modelira uglavnom znanje i iskustvo tehnologa spregnuto sa velikom bazom podataka, i kako je proizvodnja dinamičan sistem, to klasični programi ne mogli da zadovolje zahtev korisnika. Zatvoreni su za korisnika, neadaptibilni i nefleksibilni. Takođe ubacivanje novih znanja je jako teško, a nekada i nemoguće.

¹ dr Miodrag Manić, docent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš,
e-mail: mmanic@ban.junis.ni.ac.yu

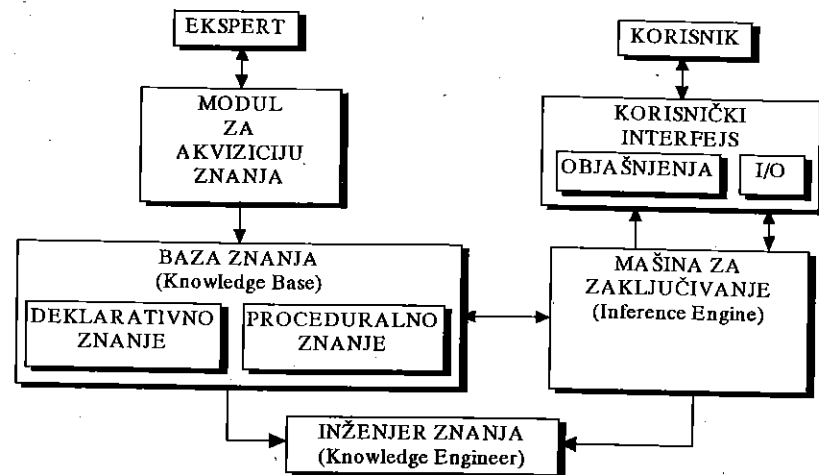
dr Dragan Domazet, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš
dr Miroslav Trajanović, docent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš

Dragan Mišić, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš

² mr Goran Devedžić, asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Sester Janjić 6, Kragujevac

Sadašnji pristupi u razvoju CAPP sistema se zasnivaju na nealgoritamskom programiranju, i sve većoj primeni metoda veštačke inteligencije u modeliranju načina rada tehnologakroz razvoj ekspertnih sistema.

Na slici 1 prikazana je tipična struktura ekspertnog sistema. Sastoji se od modula za akviziciju znanja, baze znanja (knowledge base), mašine za zaključivanje (inference engine) i interfejsa za komunikaciju sa korisnikom.



Slika 1 Struktura ekspertnog sistema /1/

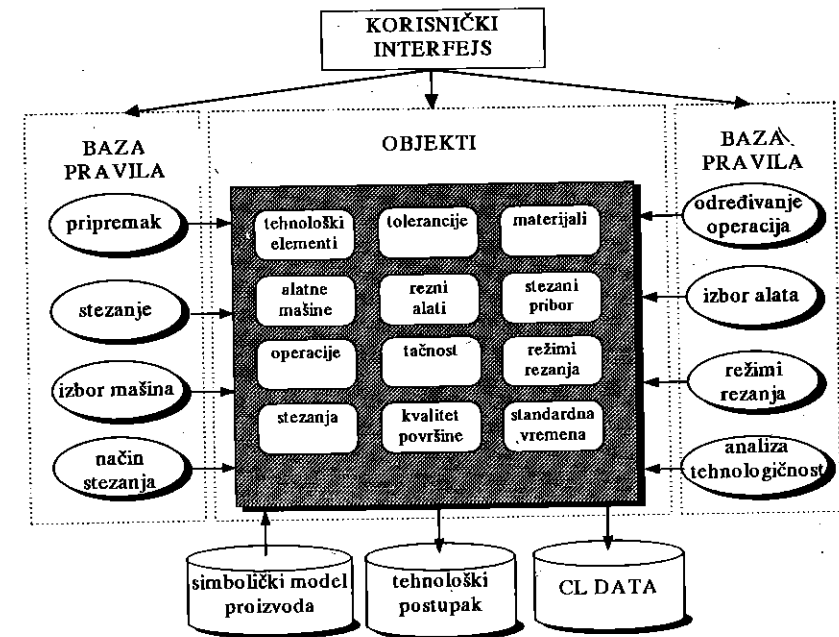
Ovo je i struktura tipičnog ekspertnog CAPP sistema. Znanje o problemu koji se rešava smešta se u bazu znanja. Baza znanja ima dve osnovne celine i to su:

- Proceduralno znanje o problemu, koje predstavlja skup određenih pravila i procedura koje se koriste prilikom rešavanja problema. To je znanje eksperta koje je prevedeno u odgovarajuća pravila i procedure. Drugačije se naziva baza pravila. To može ba bude heurističko znanje o problemu ili teorijsko znanje o metodama rešavanja dotičnog problema. Može da sadrži i neka specifična fakta. Proceduralno znanje je najvažnije za rad ekspertnog sistema.
- Deklarativno znanje o problemu, koje sadrži odgovarajuće činjenično znanje iz određene oblasti. Ta činjenična znanja se najčešće nazivaju faktima. Fakta predstavljaju znanja koja su deklarativnog tipa, npr. *burgija je alat*. Deklarativno znanje se najčešće naziva baza podataka tj. baza fakata, ili baza činjenica. Ona nije konstantna za vreme rada sistema.

Na primeru ekspertnog sistema CAPROT koji je razvijen u LIPS laboratoriji Mašinskog fakulteta u Nišu biće prikazan način modeliranja baze znanja.

2. CAPROT EKSPERTNI SISTEM

CAPROT je prototipni EKSPERTNI SISTEM u kome se vrši projektovanje tehnološkog postupka izrade rotacionih delova obradom rezanjem. Proistekao je kao rezultat dugogodišnjih istraživanja koja se obavljaju na M. F. u Nišu, u oblasti projektovanja adaptibilnih ekspertnih CAPP sistema. Njegova koncepcija se potpuno uklapa u koncept univezalne softverske platforme za projektovanje ekspertnih CAPP sistema koja je koncipirana u okviru LIPS laboratorije /3/. Njegova opšta šema je prikazana na slici 2.



Slika 2 Struktura CAPROT-a

U CAPROT-u se automatski određuju potrebne operacije za izradu dela i njihov redosled, vrši se izbor mašina za operacije obrade, definišu se potrebni zahvati za operacije obrade rezanjem sa automatskim određivanjem zahvata obrade, biraju se potrebni stezni pribori i rezni alati, definišu se režimi obrade i određuju vremena obrade. Pored tehnološkog postupka u klasičnom obliku, dobijaju se i potrebni podaci za simulaciju toka obrade i za generisanje upravljačkog koda za NC strugove.

3. BAZA PODATAKA U CAPROT-U

Baza podataka sadrži deklarativna znanja. To su podaci o proizvodu i njegovim karakteristikama, podaci o mašinama, alatima, režimima rezanja, steznim alatima, materijalima, i sl. Baza podataka se sastoji od tri osnovne grupe podataka i to :

1. Činjenica, fakata, tj. slobodnih podataka
2. Objekata, tj. instanci pojedinih objekata sa svojim karakteristikama
3. Podataka smeštenih u odgovarajuće datoteke

Činjenični podaci, tj. fakta predstavljaju podatke koji su deklarativnog tipa. Oni predstavljaju neke činjenice koje su ili definisane u početku, ili se u toku rada sistema ubacuju u bazu fakata, ili se u radu brišu iz baze fakata. Imaju sledeći oblik:

(*pripremak cilindrični*), (*stezni alat SG-1*), (*maksimalni prečnik 150.00*), itd.

To su u suštini iskazi koji predstavljaju neke trenutne ili stalne činjenice koje prate sam proces, ili su rezultat nekih akcija.

Drugi način predstavljanja podataka je pomoću objekta, tj. instanci koje su izvedene iz objekta. Objekat ima svoje pridružene podatke koji su njegovo vlasništvo i predstavljaju jednu prirodnu celinu, iskazanu na prirodan način. Ukoliko bi se ti podaci razbili na činjenice

izgubio bi se njihov smisao i bilo bi jako teško da se unose ili detektuju kao podaci. Takođe je dozvoljeno da se pojedini podaci sa istim nazivom pojavljuju kod različitih objekata, a da ne dođe do zabune. Ovo se postiže osobinom objekata koja se naziva enkapsulizacija (učaurenje podataka). Tipičan zapis podataka u obliku objekta može da bude:

```
([MCLNR2020K12K] of MCLNR
  (cuting_edge_length 12),
  (shank_hight 20),
  (shank_width 20),
  (on_stock yes),
  (length 125))
```

Ovo je jedna od instanci izvedena od klase držača alata MCLNR.

Ovi podaci se ne nalaze u bazi fakata, jer im je drugačija notacija, već se nalaze u bazi objekata (instanci). Svrstani su u bazu podataka jer u suštini i sadrže podatke opisane na jedan specifičan način. I ove instance mogu da budu početne, da se kreiraju u toku rada sistema, a i da se brišu u toku rada sistema. Moguće su i nad njima sve aktivnosti kao i nad faktima, i mogu da se nalaze u uslovnim i akcionim delovima pravila.

Pojedini podaci ne mogu da se prikažu pomoću fakata niti pomoću objekta. To su podaci koji su najčešće tablične vrednosti pojedinih karakterističnih parametara, ili predstavljaju podatke koji se dobijaju iz drugih aktivnosti u jednom proizvodnom sistemu i predstavljaju zajedničke podatke. Tipičan primer za takve podatke je tablica preporučenih vrednosti režima obrade. Ti podaci se najbolje predstavljaju pomoću datoteka. Oni se nalaze eksterno, tj. van sistema su, i po potrebi se učitavaju i na osnovu njih se mogu formirati fakta ili neki objekti koji te podatke objedinjuju. U CAPROT-u za prikazivanje podataka koriste se ASCII datoteke, mada se predviđa povezivanje sistema sa relacionim bazama podataka.

4. BAZA ZNANJA CAPROT-A

4.1 Vrste baze znanja u CAPROT-u

Baza znanja (knowledge base) sadrži u sebi određena znanja tj. pravila koja predstavljaju znanje i način rada tehnologa. U analizi načina rada tehnologa mogu da se istaknu sledeće vrste znanja.

Prvo bi bilo znanje "najstarijeg" tehnologa u hijerarhiji koji odlučuje koje vrste obrade se koriste, i koji tehnolozi su zaduženi za pojedine aktivnosti iz oblasti projektovanja tehnologije. To je znanje o tome šta i koliko ko zna i u mogućnosti je da uradi, jer je činjenica da jedan tehnolog ne završava celokupan posao projektovanja tehnologije. To je znanje o znanju koje imaju različite specijalnosti tehnologa.

Drugo je znanje koje poseduju tehnolozi za određenu aktivnost iz oblasti projektovanja tehnologije. To je znanje tehnologa-eksperta za npr. izbor alata za bušenje, ili definisanje steznog alata za obradu na strugu i slično. To je znanje iz određenog domena i predstavlja parcijalno znanje za rešavanje jednog problema iz oblasti tehnologije.

Treće znanje je opšte znanje koje važi za sve i svi ga primenjuju i znanju. To je zajedničko znanje za više oblasti, pokriva veći broj delatnosti iz dela tehnologije. Na primer određivanje vremena je kvant znanja koji svi tehnolozi primenjuju na isti način, i isti se obrazac koristi kod više obrada. To znanje najčešće predstavlja standardizovane i usvojene procedure za neki problem. Kada se ovakav pristup usvoji i izvrši modeliranje baze znanja onda se ona može podeliti u tri dela i to:

1. **Meta znanje.** To je znanje o znanju, tj. znanje koje zna kako, kada i koje znanje da upotrebi za rešavanje nekog problema. To je "najstarije" znanje. Takođe to je znanje koje zna kada treba suspendovati neko znanje iz baze znanja, jer više nije potrebno za rešavanje problema.
2. **Domensko znanje.** To je znanje koje se odnosi na rešavanje jednog određenog problema, tj. problema iz određene oblasti. Domensko znanje je podeljeno u parcijalne baze znanja koje pokrivaju određeno polje rešavanja problema, npr. znanje o izboru reznog alata za struganje, znanje o definisanju operacija za spoljašnju obradu, znanje o izboru načina stezanja itd. Domensko znanje je znanje tehnologa eksperta za određenu usku oblast projektovanja tehnologije.
3. **Nedomensko ili opšte znanje.** To je opšte znanje koje se striktno ne vezuje za određenu oblast i mogu da ga koriste više domenskih baza znanja. To su najčešće standardne funkcije i procedure za određivanje nekih parametara. Npr. određivanje broja obrtaja na osnovu brzine rezanja se izvodi za sve obrade po određenoj proceduri, koja može da se proglasi nedomenskim, tj. opštim znanjem.

4.2 Struktura baze znanja CAPROT-a

Znanje koje poseduju eksperti-tehnolozi može da se analizom razvrsta u dve osnovne grupe i to: pravila i procedure //.

Prvu grupu predstavlja znanje koje može da se izrazi pomoću pravila. To je znanje koje tehnolozi imaju, a koje je stečeno školovanjem i naročito iskustvom, na osnovu koga se oni odlučuju koji će redosled operacija biti, ili koji će redosled zahvata da se primeni pri obradi, koji alat i sl. To su znanja koja su nekad vezana za neki proizvodni pogon i ne mogu da se primene u drugom proizvodnom okruženju, jer su često uslovljena određenim tehnološkim ograničenjima, ili nekad i tradicijom pogona, tj. nekim nasleđem i navikama tehnologa. Do ovog znanja se dolazi posmatranjem aktivnosti u pogonu, a naročito razgovorom sa tehnolozima.

Drugu grupu znanja predstavljaju određene procedure koje se obavljaju u nekim situacijama. To mogu da budu standardizovane akcije koje se obavljaju usled nekih ispunjenih uslova, i obavljaju se uvek na isti način, mada im rezultati zavise od ulaznih podataka koje dobijaju. Često nisu usko vezane za neki određeni pogon, već mogu da budu literaturne preporuke. Možemo uslovno da ih podelimo u dve podgrupe i to: procedure u obliku standardnih funkcija i procedure u obliku određenih akcija nad nekim objektima

Prvu grupu čine standardne funkcije definisane u obliku čvrstih procedura sa određenim ulaznim podacima. To mogu da bude procedura za definisanje režima rezanja, načina izrade određenih oblika, izbora pločice za određeni materijal i slično. U bazi znanja te procedure definišemo kao funkcije. Za funkcije se može reći da važe generalno za sve objekte i određeno okruženje.

Drugu grupu procedura čine akcije koje mogu da se shvate kao poruke koje se upućuju nekim objektima, i sadrže neke specifične akcije koje se odnose samo na određene klase objekata, i ne važe za sve objekte. Ovo je dobar način za opisivanje znanja koje se vezuje samo za ponašanje nekih objekata. U ekspertnim ljuskama za prikazivanje ovakvog znanja koriste se poruke koje se nazivaju hendlerima (message-handlers). U njihovoj definiciji se naglašava za koji tip objekta važe i pod kojim uslovima. Struktura hendlera je slična strukturi funkcija. Moguće je da hendler poziva funkcije, i obratno da funkcija poziva hendlere.

Rešavanje konfliktnih situacija prilikom rada ekspertnog sistema, tj. kada se može da izvrši veći broj pravila, rešava se uvodom prioriteta pravila. Usvojeno je da svako pravilo ima svoj prioritet, CF (certenity factor), ili tzv. saliens (saliency). To je broj koji može da ima

različite vrednosti i dodeljuje se pravilu kao prvi iskaz u uslovnom delu pravila instrukcijom:
(declare (salience (broj ili izraz)))

Pravilo koje se nade u agendi i ima najveći prioritet (tj. saliens) opaliće prvo, zatim ono sa manjom vrednošću i tako redom do kraja. Prioritet može da bude zadat eksplicitno tj. kao broj ili može da se zada da ima dinamičku vrednost, koja se sračunava pomoću nekog izraza, što je nekad pogodnije. Ovo nam omogućava da menjamo logiku programa promenom prioriteta pravila ili da, ako ga zadamo kao izraz, logika zavisi od nekih temutnih uslova. Fleksibilnost i adaptibilnost programa sa ovako usvojenom deklaracijim prioriteta je očigledna. Moguće je da korisnik editorski promeni prioritete za neka pravila i dobije sasvim drugu logiku rada, tj. druga rešenja.

5. ZAKLJUČAK

Ovako modelirano znanje omogućava da se kreiraju baze znanja koje mogu da zadovolje kriterijume za ocenu kvalitetne baze znanja. To su aplikabilnost jer model tačno predstavlja znanja koja se i primenjuju u praksi, kompletnost jer sadrži dosta znanja za svaku oblast, fleksibilnost i proširljivost jer je baza znanja podeljena u parcijalne (manje) baze znanja koje se lako modifikuju i proširuju, konzistentnost jer se uključivanjem meta znanja biraju samo potrebna znanja tako da ne dolazi do čestih konfliktnih situacija u primeni znanja, kao i manipulativnost jer se ovakvim načinom predstavljanja znanja lako manipuliše.

6. LITERATURA

- [1] Manić M., Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa pri rezanju u obradi rotacionih delova, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Niš, 1995.
- [2] Chang T. C., Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley, 1991
- [3] Domazet D., Manić M., Trajanović M., Mišić D., Koncept univerzalne softverske platforme za razvoj CAPP sistema, 25. Savetovanje Proizvodnog Mašinstva Jugoslavije, pp. 343-348., Beograd, 1994
- [4] Manić M., Domazet D., Devedžić G., Trajanović M., Mišić D., Izbor alata kod CAPP sistema - generalni pristup, 21. Jupiter konferencija, 14. simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Beograd 1995.
- [5] Devedžić G., Manić M., Domazet D., Model rezonovanja u CAPP ekspertnom sistemu, Simpozijum o računarskim naukama i informatici, YU-INFO'95, Brezovica, 1995.
- [6] Meyer W., Expert Systems in Factory Management Knowledge-Based CIM, Ellis Horwood, 1990
- [7] Barr. A., Feigenbaum E. A., The Handbook of Artificial Intelligence, Volume 1,2,3, William Kaufmann, Inc., 1981

Summary

The paper presents a modeling approach of data and knowledge bases of CAPP systems based on expert system technology. The model uses an hybrid modeling approach with heuristic and deterministic type of knowledge represented in an integrated knowledge base. If more than one rule can fire, the selection of the rule that will fire is based on the Certainty Factors (CF) that specify the priority of rules. The model presented in the paper has some generic features and could be used in other engineering applications with a relatively small modification. The proposed model is implemented in the CAPROT system for process planning of rotational mechanical parts.



OPTIMIZACIJA UČENJA NEURO MREŽE EKSPERTNOG SISTEMA POMOĆU GENETSKIH ALGORITAMA

Petrović Z., Ivanović S., Spasić Ž.²⁾

REZIME

Primena neuro mreža kod ekspertnih za tehničku dijagnostiku je veoma povoljan metod akviziciju znanja u toku procesa eksploatacije. Ali, postoje poteškoće usled relativno sporog procesa učenja. Radi prevazilaženja ovog problema u radu je dat primer optimizacije procesa učenja pomoću genetskih algoritama kao i matematički model koji je primenjen u ekspertnom sistemu tehničke dijagnostike.

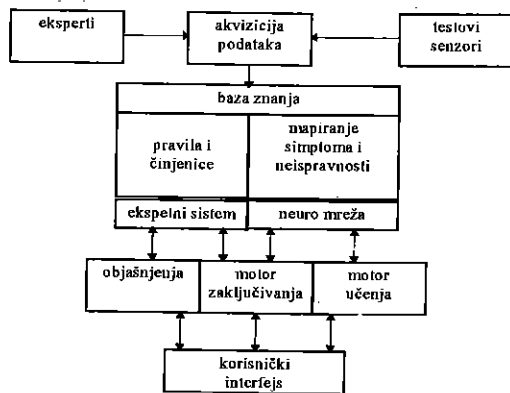
1. UVOD

Formiranje hibridnog ekspertnog sistema kao kombinacije konvencionalnog koji je baziran na pravilima i zaključcima i neuro mreže nudi atraktivnu soluciju za rešavanje mnogih inženjerskih problema. Radi rešavanja problema tehničke dijagnostike mašina projektovan je hibridni ekspertni sistem čija je arhitektura prikazana na Slici 1. Osnovne komponente ovog ekspertnog sistema su: baza znanja, motori zaključivanja i učenja, podsistem za objašnjavanje, korisnički i projektantski interfejs i modul za akviziciju podataka dobijenih putem testova ili senzora.

Baza znanja sastoji se iz dve mreže: konvencionalne i neuro gde konvencionalna mreža reprezentuje rezonska i logička znanja iz domena objekta i relacija u njemu a neuro mreža reprezentuje znanja iz domena površnih tj. intuitivnih. Na ovaj način se ostvaruje predstavljanje znanja eksperata, pokrivanje svih oblasti znanja, heurističko učenje na primerima, inkrementalno učenje kao i eliminisanje nevažnih ili šumom opterećenih podataka. Značajno je napomenuti da se u sistemu može za različite probleme koristiti i više neuro mreža gde, ako su problemi nezavisni one su povezane paralelno a ako su međusobno zavisni onda redno. U neuro mreži znanje je reprezentovano kroz matricu "težina" ili opterećenja sinapsi na neuronima tj čvorovima neuro mreže.

¹ Rad je rezultat istraživanja na podprojektu "Sledljivost činilaca poslovanja u CIM-sistemima sa pretraživanjem baze podataka/znanja" projekta "CIM-MODELI ZA UPRAVLJANJE POSLOVNO-PROIZVODNIM SISTEMIMA I NJIHOV TRANSFER KA DRUGIM GRANAMA INDUSTRIJE" (Evid.br.RK 03 64 138) finansiranom od Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije.

² mr Zoran R Petrović i mr Slobodan Lj Ivanović, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19
dr Žarko A Spasić, Mašinski fakultet Beograd, 27. marta 80



Slika 1. Arhitektura hibridnog ekspertnog sistema
interfejsa operatora a baza podataka sa primerima i testovima dostupna je samo operatoru.

Motor zaključivanja u neuro mreži je program koji simulira rad neuro mreže na serijskom računaru i ovde je korišćen model "backpropagation" mreže čije su karakteristike date u nastavku ovog rada. Motor učenja kod neuro mreže je kombinacija mogućnosti "samo" učenja mreže i postupak baziran na operacijama genetskih algoritama, koji treba da omogući efikasnije učenje na primerim u toku eksploatacije sistema. Ova kombinacija je izabrana zbog veoma sporog "samo" učenja neuro mreže u slučajevima je formirana sa velikim brojem čvorova i slojeva.

Korisnički interfejs je odvojen od interfejsa operatora a baza podataka sa primerima i testovima dostupna je samo operatoru.

2. BACKPROPAGATON NEURO MREŽA

Ova neuro mreža radi na principu obrade podataka u mreži unapred, a sa druge strane na bazi zadatog algoritma vrši se učenje mreže pomoću promene vrednosti opterećenja sinapsi w_{pq} na neuronima (čvorovima) i to širenjem unazad na osnovu čega je i ova mreža dobila ime.

Učenje se vrši uz pomoć skupa ulazno-izlaznih trening pravila $\{\xi_k^{\mu}, \zeta_k^{\mu}\}$. Na slici 2. dat je prikaz neuro mreže sa simbolima koji su korišćeni u matematičkom modelu.

Prema slici 2. ulazni neuroni su označeni sa O_j prekriveni sa V_{jk} a izlazni sa ξ_k . Između ulaznog sloja i prekrivenog postoje veze označene sa W_{ij} a između prekrivenog i izlaznog sloja veze su označene sa w_{ik} , što simbolizuje da postoji i , ulaznih neurona, j u prekrivenom sloju i k izlaznih neurona.

Za dati uzorak μ , prekriveni sloj j dobija ulaz:

$$h_j^{\mu} = \sum_k w_{jk} \xi_k^{\mu} \quad (1)$$

i daje izlaz:

$$i^{\mu} = q(h_j^{\mu}) = q\left(\sum_k w_{jk} \xi_k^{\mu}\right) \quad (2)$$

i -ti sloj tako dobija:

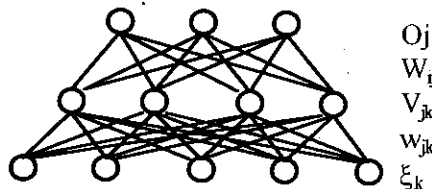
$$h_i^{\mu} = \sum_j W_{ij} V_j^{\mu} = \sum_j W_{ij} q\left(\sum_k w_{jk} \xi_k^{\mu}\right) \quad (3)$$

i daje konačni izlaz:

$$O_i^{\mu} = q(h_i^{\mu}) = q\left(\sum_j W_{ij} V_j^{\mu}\right) = q\left(\sum_j W_{ij} q\left(\sum_k w_{jk} \xi_k^{\mu}\right)\right) \quad (4)$$

Uobičajena greška može se definisati kao:

$$E_{[w]} = \frac{1}{2} \sum_{\mu} [s_i^{\mu} - O_i^{\mu}]^2 \quad (5)$$



Slika 2. Neuro mreža sa prikazanim oznakama neurona i opterećenja

$$E_{[w]} = \frac{1}{2} \sum_{\mu} \left[s_i^{\mu} - q\left(\sum_j W_{ij} q\left(\sum_k w_{jk} \xi_k^{\mu}\right)\right) \right]^2 \quad (6)$$

Ovo jasno, predstavlja neprekidnu diferencijabilnu funkciju za svako opterećenje sinapse na koje se može primeniti gradijentno silazeći algoritam u učenju odgovarajućih opterećenja sinapsi. Za veze između prekrivenog sloja i izlaznog sloja gradijentno pravilo daje:

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = \eta \sum_{\mu} [s_i^{\mu} - O_i^{\mu}] g(h_i^{\mu}) V_j^{\mu} = \eta \sum_{\mu} \delta_i^{\mu} V_j^{\mu} \quad (7)$$

gde je definisan izraz:

$$\delta_i^{\mu} = g(h_i^{\mu}) [s_i^{\mu} - O_i^{\mu}] \quad (8)$$

Za veze između ulaznog i prekrivenog sloja opterećenja sinapsi w_{jk} se moraju diferencirati sa više poštovanja Jedn. 6., a korišćenjem pravila olančavanja dobija se:

$$\Delta w_{jk} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{jk}} = -\eta \sum_{\mu} \frac{\partial E}{\partial V_j^{\mu}} \frac{\partial V_j^{\mu}}{\partial w_{jk}} = \eta \sum_{\mu} \delta_j^{\mu} \xi_k^{\mu} \quad (9)$$

gde je:

$$\delta_j^{\mu} = q'(h_j^{\mu}) \sum_i W_{ij} \delta_i^{\mu} \quad (10)$$

Generalni zaključak je da bez obzira na broj slojeva pravilo backpropagation algoritma ima sledeći oblik:

$$\Delta w_{pq} = \eta \sum_{\text{uzorci}} \delta_{\text{izlaza}} V_{ulaza} \quad (11)$$

gde ulazi i izlazi predstavljaju dva kraja veze između neurona a V stanja odgovarajuće ulazno izlazne aktivnosti od prekrivenog sloja ili realnog ulaza. Značenje δ zavisi od sloja neurona i za zadnji sloj neurona primenjuje se jednačina (8) a za sve ostale slojeve jednačina (10).

Za aktivacionu funkciju $g(h)$ uobičajeno je da se koristi sigmoidna funkcija zbog njene diferencijabilnosti i zasićenja ekstremnih vrednosti.

$$g(h) = f_{\beta}(h) = \frac{1}{1 + \exp(-2\beta h)} \quad (12)$$

$$i \quad g(h) = \tanh \beta h \quad (13)$$

Zbog važnosti procedure back-propagation algoritma u nastavku je ova procedura data korak po korak za jedan ulazni uzorak μ . Ako pretpostavimo da postoji mreža od M slojeva neurona $m=1,2,\dots,M$ i koristi se V^m kao ulaz u m -ti sloj a gde je V^0 sinonim za ξ_i (i -ti ulaz). Onda w_{ij}^m predstavlja vezu između V^{m-1} i V^m neurona u mreži. Na osnovu ovako definisane simbolike označavanja sledi sledeća procedura:

1. Inicijalizovati opterećenja sinapsi sa nekom malom slučajnom vrednošću.
2. Izabrani ulazni uzorak ξ_k^{μ} propustiti kroz ulazni sloj neuro mreže ($m=0$) tako da $V_k^0 = \xi_k^{\mu}$ za svako k .
3. Širiti signal kroz mrežu korišćenjem

$$i^m = q(h_i^m) = q\left(\sum_j w_{ij}^m V_j^{m-1}\right) \quad (14)$$

za svako i i m dok se ne dobije konačni izlaz V^m .

4. Izračunati razliku opterećenja sinapsi za izlazni sloj neurona

$$\delta_i^M = \dot{q}(h_i^M) [\zeta_i^M - V_i^M] \quad (16)$$

poredjenem aktualnog izlaza V_i^M sa željenim ζ_i^M za postojeći uzorak μ .

5. Izračunati razliku za prethodne slojeve preko širenja greške unazad

$$\delta_i^{m-1} = \dot{q}(h_i^{m-1}) \sum_j w_{ij}^m \delta_j^m \quad (17)$$

za $M=M-1, \dots, 2$ do izračunavanja razlike za svaki neuron.

6. Koristiti

$$\Delta w_{ij}^m = \eta \delta_i^m V_j^{m-1} \quad (18)$$

za promenu vrednosti opterećenja sinapsi prema jednačini $w_{ij}^{novo} = w_{ij}^{staro} + \Delta w_{ij}$.

7. Vratiti se na korak broj 2 i ponoviti operaciju za sledeći uzorak.

Jasno je na osnovu gore prikazane procedure za učenje backpropagation neuro mreže da ovaj proces kod mreža sa velikim brojem prekrivenih slojeva i neurona traje veoma dugo. Sa druge strane slučajni izbor matrice opterećenja (težina) dovodi ponekad do bez potrebnog obavljanja velikog broja operacija a sam proces traje i po nekoliko desetina sati. U cilju poboljšanja efikasnosti ovakvog hibridnog ekspertnog sistema na matricama opterećenja koje su nastale slučajnim izborom relativno malog broja uzoraka i za koje se ne traži visok stepen tačnosti primenjuju se operacije genetskih algoritama čije su teorijske osnove date u nastavku ovog rada.

3. GENETSKI ALGORITMI

Genetski algoritmi su istraživački algoritmi bazirani na mehanizmu prirodne selekcije i genetike. Kod genetskih algoritama, kombinuju se između sebe stringovi ili pravila kao nosioci informacija u formi istraživačkih algoritama a pri tome se vrši njihova selekcija sa ciljem opstanka podesnijih. U svakoj generaciji dobija se nova veštačka kreacija (string-pravilo) koja nastaje kombinovanjem elemenata prethodne generacije ili umetanjem novih podataka kao pokušaja dobijanja stringa-pravila boljih karakteristika od postojećih. Iako se operacije obavljaju po slučajnom uzorku genetski algoritmi nisu slepa šetnja kroz prostor istraživanja, već oni koriste istorijske informacije za dobijanje novih istraživačkih tačaka sa očekivano ugrađenim performansama.

Genetski algoritmi su razvijeni sa dvojnim ciljem:

- izvršiti apstrakciju i jasno objasniti adaptivne procese prirodnih sistema, i
- projektovati softver veštačke inteligencije koji poseduje važne mehanizme prirodnih sistema.

Osnovni problem kod istraživanja genetskih algoritama je njihova vitalnost kao balans između sposobnosti za promene i mogućnosti opstanka pri različitim uslovima okruženja. Pri primeni u oblasti veštačke inteligencije projektant sistema ima zadatak da iz pomoć genetskih algoritama dobije karakteristike prirodnih sistema kao što su: vitalnost, fleksibilnost i mogućnost promene, ili da obezbedi operacije kao što su: samoodržanje, samovodjenje i reprodukcija.

Metodologija genetskih algoritama se u sledećem razlikuje od ostalih metoda istraživanja:

- Genetski algoritmi rade sa skupom parametara (string-pravila), a ne sa samim parametrom.
- Genetski algoritmi istražuju kroz generaciju parametara, a ne jedan parametar.
- Genetski algoritmi koriste stvarnu objektivnu informaciju, a ne izvod ili neko pomoćno znanje.
- Genetski algoritmi koriste pravila bazirana na verovatnoći, a ne deterministička pravila i daju dobre rezultate u mnogim oblastima istraživanja i ako su kombinovani u jednostavnijoj formi onda se baziraju na tri osnovna operatora:

1. Operator reprodukcije kopira genetske karakteristike stringa ili pravila iz baze znanja u sledeću generaciju. Pri tome polazi se od toga da svako pravilo ima individualnu relativnu pogodnost u tekućoj generaciji. Pravila sa većom pogodnošću imaju širi spektar mogućnosti

za reprodukciju. Jedan od načina za određivanje podobnosti za reprodukciju je da se svakom pravilu pridoda vrednost relativne pogodnosti čija suma u jednoj generaciji mora biti ravna jedinici. Na ovaj način se obezbeđuje da pravila koja su sa višim stepenom pogodnosti se češće reprodukuju i formiraju kvalitetniju sledeću generaciju.

2. Operator ukrštanja kombinuje dva stringa ili pravila u proizvodnji nove generacije čiji genetski opis je kombinacija prethodnih. Ovakav operator efikasno istražuje prostor baze znanja bilo da je to vezano za neuro mrežu ili pravila u konvencionalnom ekspertnom sistemu. Kroz ovakvu reprodukciju ostvaruje se najsnažniji mehanizam genetskog istraživanja jer iz svaka dva stringa ili pravila na slučajan način se dobijaju dva člana nove generacije. Za vreme operacije ukrštanja genetski kodovi stringova ili pravila se po slučajnom raspredu kombinuju, stim što se na slučajan način određuje tačka ukrštanja.

3. Operator mutacije ima malu vrednost i u suštini predstavlja grešku kopiranja. Ovaj operator nudi uvođenje novih sentenci kroz slučajne promene koje nastaju u genetskom kodu stringa ili pravila. U osnovi dozvoljava grešku kopiranja iz jedne u sledeću generaciju sa verovatnoćom pojave manjom od 0.0001. Kada je dobijena nova generacija jednostavno se po slučajnom izboru sa unapred izabranom verovatnoćom promeni vrednost nekog genetskog koda. Operacija mutacije nudi mogućnost formiranja genetskih kodova sa elementim kakvi do tada nisu postojali a to ponekad može dovesti do izlaska iz nekih lokalnih granica ili optimuma.

4. PRIMER PRIMENE I ZAKLJUČAK

Model dijagnostičkog ekspertnog sistema je korišćen za dijagnostiku mašine za peskarenje opruga i to, koristeći kao ulazne simptome itezitet buke koja nastaje pri eksploataciji mašine. Usled promena na elementima mašine zbog habanja, erozije i drugih neispravnosti rezultati merenja vrednosti iteziteta buke za svaku 1/3 oktave (Tabela 1.) pokazuju da se zavisno od vrste otkaza (promene) javljaju različite vrednosti iteziteta buke u pojedinim centralnim frekvencijama. Nakon svakog merenja je utvrđivan stepen pojave neispravnosti na karakterističnim elementima mašine i davana im je vrednost između 0 i 1, gde 0 simboliše ne postojanje neispravnosti a 1 pojavu potpune neispravnosti.

	20 Hz	25 Hz	.....	400 Hz	500 Hz	.....	neispr br1	neispr br2	.....	neispr brn
mer.1	58 dB	67 dB	.....	71 dB	86 dB	.....	0	0.5	.....	1
mer.2	54 dB	66 dB	.....	79 dB	74 dB	.....	0.2	0.5	.....	0

Tabela 1. Rezultati merenja i procena neispravnosti

Iz skupa rezultata merenja (Tabela 1.) slučajnim izborom formira se 10 grupa od po 30 ulazno-izlaznih pravila $\{\xi_k^{\mu}; \zeta_k^{\mu}\}$ koja se propuštaju kroz neuro mrežu u smislu njenog učenja po pravilima backpropagation mreže datim u poglavlju 2. Na taj način dobija se deset matrica opterećenja sinapsi od kojih je jedna prikazana na levoj strani slike 3. Zatim se dobijene matrice opterećenja (naučene mreže) testiraju slučajno izabranim skupom ulaznih podataka i nakon poredjenja dobijenih i željenih podataka tj izračunavanjem srednje kvadratne greške određuje relativne podobnost svake matrice opterećenja u nultoj generaciji. Osnovno pitanje primene genetskih algoritama se svodi na to : kako voditi istraživanje u smislu poboljšanja kada postoji samo populacija stringova (matrica opterećenja) sa njihovom relativnom pogodnošću u populaciji? Kada se uporede međusobno matrice opterećenja sa najvišom relativnom pogodnošću one imaju najviše sličnosti što pokazuje da se na njima mogu primeniti operacije genetskih algoritama navedene u poglavlju 3. Primenom genetskih operatora čije aktivnosti su detaljnije date u radu [3] iz nulte generacije se dobija n-ta generacija matrica opterećenja čiji je jedan predstavnik dat na desnom delu slike 3.

weights 2 1 32 5

1.549	1.374	-1.058	.526	-.412	-.323	-1.529
-.401	.688	.626	-1.023	.237		
1.398	-1.276	-1.101	-1.273	-.766	-.882	.559
.494	-.042	.423	-1.067	.903	-.854	3.112
-.172	-1.446	-.920	.749	-.854	-.661	-.157
1.819	-.416	-.552	-.232	-1.066	.853	2.383
.181	-.151	-1.345	-1.794	-.230	-.603	-1.083
-.080	-.981	-.274	1.299	-.540	.059	-.274
.793	.700	-.344	-.821	1.136	-.174	-.315
-.483	.377	.367	-1.007	-1.589		
-1.347	.752	.093	1.603	-1.219	-1.443	-.364
-1.345	2.549	1.271	-.442	-.308	.469	-.950
-2.002	-2.079	1.002	-.573	1.835	1.221	.800
-2.315	-.233	1.458	.108	-.278	-1.259	-1.556
-.100	.777	.580	-.347	1.507		
.910	-.132	-.379	-.733	1.041	-.868	.844
.431	1.104	1.364	.314	.624	-1.132	2.308
-.400	.840	1.658	.171	.931	1.511	1.007
-.100	-.709	.241	.384	-.224	.405	.264
-.198	1.277	.505	.638	-.841		
-.598	-1.708	-.434	.962	-.465	-.733	-.998
-1.257	-.597	-1.450	.563	.549	1.477	.087
-.690	-1.588	-1.231	.281	1.254	.247	.557
.203	-.292	-.156	-.660	-.431	.437	1.646
.877	-.295	.744	1.209	.109		

weights 2 1 32 5

-.005	-.012	-.057	-.023	-.017	5.633	-.020
-.032	-.043	-.010	.000	-.015	-.037	.003
-.023	-.018	-.048	-.033	.003	-.010	-.021
-.041	-.036	-.034	-.021	-.018	-.018	-.020
-.021	.023	-.036	-.006	-2.453		
.098	-.018	.001	-.096	.003	.025	-.012
.011	5.808	-.059	-.098	-.028	-.014	-.063
-.014	.005	-.062	-.064	-.022	.001	-.827
.023	.029	-.018	-.067	-.041	-.049	-.019
.006	.011	-.015	.023	-2.592		
.046	-.035	-.010	-.005	-.048	-.090	-.004
-.024	.029	.001	-.014	.029	.009	-.009
5.780	.014	-.013	.003	-.022	-.012	-.033
-.010	-.010	-.005	-.003	.003	.014	-.031
.001	.025	-.017	-.018	-2.712		
-.013	-.037	.005	-.016	.044	-.015	.004
.026	.012	.012	.054	-.025	-.011	-.014
-.052	-.031	-.050	-.021	5.790	.025	-.052
.028	.039	-.030	-.050	-.077	.047	-.016
-.023	.057	-.021	.044	-2.759		
-.017	-.010	.038	.026	-.026	-.092	-.038
.027	.018	-.019	-.006	.045	-.002	-.029
-.026	-.024	-.041	.001	-.010	-.061	-.008
-.011	-.033	5.726	-.007	-.001	.002	-.044

Slika 3. Uzorci matrica opterećenja iz nulte i n-te generacije

Pogled na matricu opterećenja n-te generacije pokazuje da je kod ovakve dvoslojne neuro mreže koja ima 32 ulaza i 5 izlaza došlo do prečišćavanja opterećenja sinapsi i da samo one frekvencije koje imaju značaja za pojedine otkaze daju pojačanje signala u mreži, dok su ostali elementi matrice bliski nuli. Ovo pokazuje, da je u ovom slučaju moguće izvršiti redukciju broja ulaza (smanjenje veličine mreže) a prenošenjem ove logike u konvencionalni deo ekspertnog sistema može se dati odgovor koje frekvencije su karakteristične za pojavu određenih otkaza.

LITERATURA

- [1] Machado R.J., Ferlin K. - COMBINING SEMANTIC AND NEURAL NETWORKS IN EXPERT SYSTEMS - Expert Systems World Congress, Orlando, 1991.
- [2] Petrović Z. - PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA U HIBRIDNIM EKSPERTNIM SISTEMIMA - XIX JUPITER konferencija, Prohor Pčinjski, 1993.
- [3] Petrović Z., Ivanović S., Spasić Ž., - Integration Neural Network and Genetic Algorithms: An Example of Noise Diagnosis, The first world congress on INTELLIGENT MANUFACTURING, San Juan, Puerto Rico, 1995.
- [4] Petrović Z., Spasić Ž., Ivanović S., Vukićević M., PROJEKTOVANJE HIBRIDNOG EKSPERTNOG SISTEMA ZA TEHNIČKU DIJAGNOSTIKU, Međunarodna naučna konferencija TEŠKA MAŠINOGRAĐNJA TM'96 Kraljevo 1996.

ABSTRACT

Neural networks application in Expert Systems for the technical diagnostics is very convenient method for acquisition of knowledge during process of exploitation. But, there is some difficulty because of a relatively a extensive process of learning. In order to, overcoming of this problem, in this paper presents an example of learning optimization by means of genetic algorithms and the mathematical model applied in expert system for technical diagnostics.

SPM'96

26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERINGŠtampfer M.
Radak S.EKSPERTNI SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE
IZRADE KUĆIŠTA PRENOSNIKA NA OBRADNIM CENTRIMA

REZIME

U radu se daje ukratko koncepcija razvoja ekspertnog sistema za projektovanje tehnologije obrade kućišta prenosnika na obradnim centrima za potrebe fabrike prenosnika SEVER d.d. Prenosnici. Pored određivanja tehnoloških parametara sistem je koncipiran tako da daje i rešenje pomoćnog pribora.

UVOD

Postavljen je cilj da se razvije jedan ekspertni sistem koji će korišćenjem veštačke inteligencije biti sposoban da na osnovu opisa dela daje rešenje tehnologije izrade i rešenje pomoćnog pribora pri obradi kutijastih delova oblika kućišta na horizontalnim obradnim centrima.

Pri tome polazi se od toga da je tehnološko prepoznavanje dela do nivoa tehnološke operacije već izvršeno.

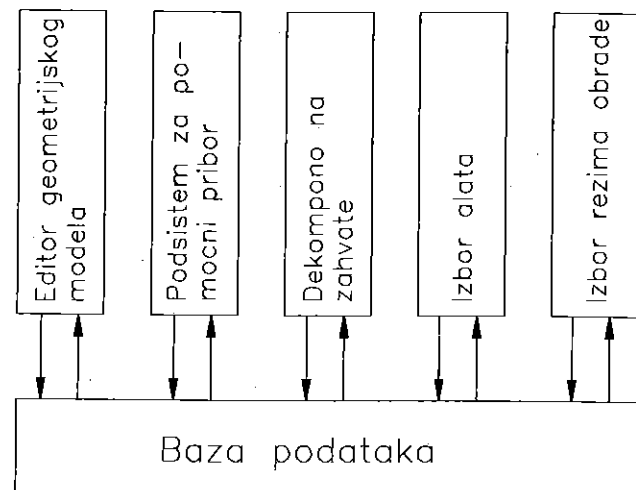
Tehnološko rešenje koje daje sistem, sadrži:

- dekomponovanje tehnološke operacije na stezanja
- idejno rešenje pomoćnog pribora za svako stezanje
- dekomponovanje tehnološke operacije na zahvate
- izbor reznog alata po zahvatima
- izbor režima obrade.

Ceo sistem sastoji se iz više modula odn. podistema (slika 1):

- editor geometrijskog modela (EGM)
- podsystem za pomoćni pribor (PoP)
- podsystem za dekomponovanje tehnološke operacije (TO) na zahvate
- podsystem za izbor alata
- podsystem za izbor režima obrade.

Mr. Štampfer Mihalj, dipl.ing. Viša tehnička škola - Subotica / SEVER - Subotica
Radak Sava, dipl.ing. SEVER - Subotica



slika 1

Svi moduli koriste zajedničku bazu podataka. Za izradu prototipa ekspertnog sistema koristi se deklarativni programski jezik PROLOG koji je pogodan za kreiranje ekspertnih sistema. Predstavljanje znanja je u vidu činjenica i produkcionih pravila. Globalna baza podataka sadrži podatke u vidu činjenica koje obrađuju produkciona pravila. Za vreme obrade sadržaj baze podataka se dopunjava novim (izvedenim) činjenicama.

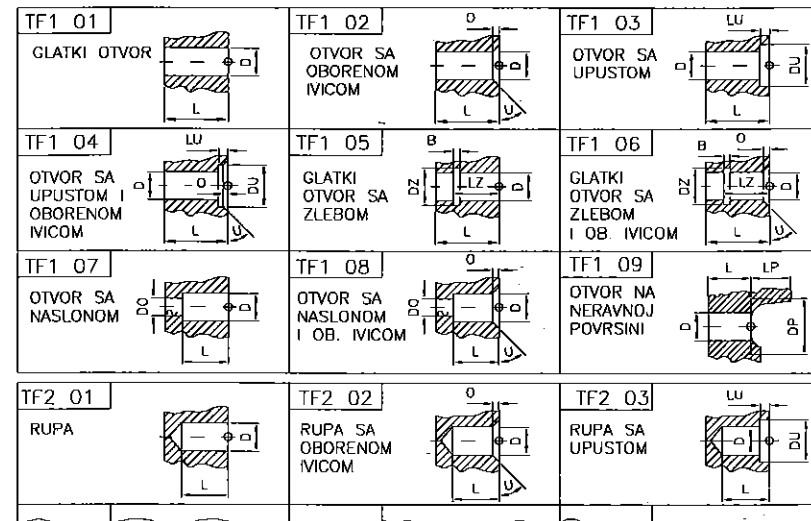
EDITOR GEOMETRIJSKOG MODELA

Opis radnog predmeta vrši se na osnovu radioničkog crteža u dijalogu korisnik-računar. Geometrijski model formira se po principu dekomponovanja radnog predmeta (RP). Radni predmet se prvo dekomponuje na šest strana, i dalje strane se dekomponuju na tipske forme (TF), slika 2. Svaka tipska forma se dalje definiše nizom atributa koje obuhvataju dimenzije, početno stanje, hrapavost, tačnost dimenzija i tačnost položaja. Prilikom opisa, svaka tipska forma dobije jedan identifikacioni broj. Formirani model, znanje o radnom predmetu, koriste i dopunjuju svi ostali moduli sistema.

PODSISTEM ZA POMOĆNI PRIBOR

U podsystemu za pomoćni pribor vrši se dekomponovanje tehnološke operacije na stezanja i daje se idejno rešenje pomoćnog pribora za svako stezanje. Za rešavanje kompleta pomoćnog pribora (KPoP) razvijene su četiri strategije rešavanja i to (slika 3):

1. Rešenje PoP za tehnološki idealni položaj radnog predmeta
 2. Rešenje PoP izostavljanjem labavo vezanih strana
 3. Rešenje PoP razbijanjem jedne strogo vezane strane na labavo ili nevezane TF i na strogo vezane TF
 4. Rešenje PoP razbijanjem strogih funkcionalnih veza radnog predmeta
- Navedene strategije rešavanja nedaju podjednako povoljno rešenje za pribor. Najbolje rešenje dobije se primenom prve strategije. Druga strategija primenjuje se samo onda ako primena prve strategije nedaje rešenje itd.



slika 2

DEKOMPOVANJE TEHNOLOŠKE OPERACIJE NA ZAHVATE

Zadatak ovog modula je da za svaku tipsku formu definiše odgovarajući niz zahvata - tehnološku sekvencu koja za rezultat daje potrebnu tehnološku transformaciju od početnog do gotovog oblika. Pravilan izbor tehnološke sekvence obezbeđuje se uzimanjem u obzir sledećih uticajnih faktora: tipska forma (oblik), dimenzije, početno stanje, tolerancije dimenzija, tolerancije položaja i hrapavost obradjene površine.

Ugrađena logika izbora tipske tehnološke sekvence daje se u tabeli na slici 4, a deo AND-OR grafa dato je na slici 5.

Izlaz iz ovog modula je skup standardnih zahvata. Potrebni zahvati za obradu radnog predmeta dodaju se bazi znanja u vidu šestorke:

zahvat(N , RBZ , ZAH , D , L , RBS)

gde je: N -ident. broj tipske forme

RBZ -redni broj zahvata

ZAH -kôd zahvata

D, L -karakteristične dimenzije zahvata

RBS -redni broj stezanja kome pripada zahvat

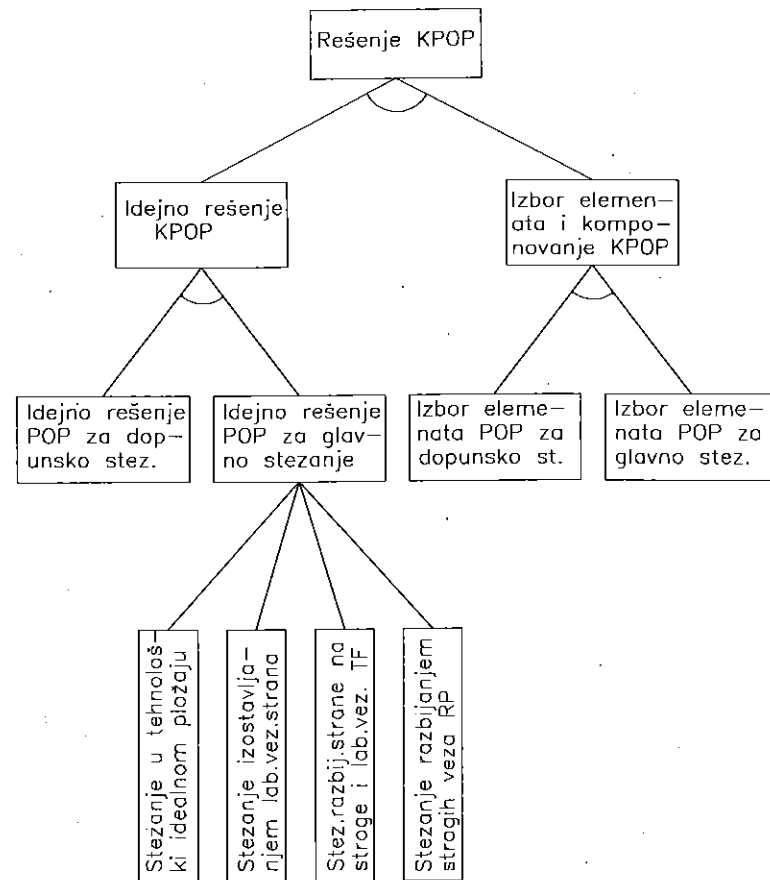
IZBOR ALATA

Izbor alata vrši se za svaki zahvat tako što se vrši sprezanje standardnog zahvata sa odgovarajućim alatom. Znanje o alatima ugrađeno je u vidu činjenica, a preneto je iz kartoteke alata SEVER d.d. Prenosnici. Zbog različitosti broja parametara koji definišu razne vrste alata, oblik činjenica može biti asocijativna trojka, četvorka ili petorka. Izabrani alati dopunjuju bazu podataka u obliku :

alat(N , RBZ , IDA)

gde je: N - ident broj tipske forme

RBZ - redni broj zahvata za tipsku formu
IDA - ident broj izabranog alata



slika 3

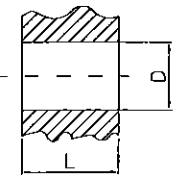
U slučaju da sistem nemože da nađe odgovarajući alat za neki zahvat, u bazi podataka javlja se poruka u obliku:

alat_por(nije_nadjen_alat_za, ZAH, N)

gde je: ZAH - kôd zahvata za koji nije nađen alat

N - ident broj tipske forme na kojoj treba da se izvodi zahvat

Ovo znači da dosada u proizvodnji još nikada se nije javljala potreba za takvim alatom i korisnik treba da dopuni bazu alata sa novim alatom.

		GLATKI OTVOR	TF1 01
Parametri			
D	L	PS	IT RA T
Redosled zahvata		Preduslovi *	
TTS 101 02 Ubusivanje Busenje Prosirivanje Rozvrtanje		$(D > 10) \sim (D < 25) \sim (PS = \text{punmat})$ $\sim ((IT < 9) \sim (RA < 1,6) \sim (T < 2))$	
TTS 101 03 Ubusivanje Busenje Prosirivanje		$(D > 10) \sim (D < 25) \sim (PS = \text{punmat})$ $\sim (((IT = 10) \vee (IT = 11)) \sim$ $((RA > 1,6) \sim (RA < 6,4)) \vee (T = 3))$	
TTS 101 04 Ubusivanje Busenje		$(D > 10) \sim (D < 25) \sim (PS = \text{punmat})$ $\sim ((IT > 11) \sim (RA > 6,4) \sim (T = 4))$	
\sim logičko množenje \vee logičko sabiranje T kôd tačnosti položaja		IT klasa tolerancije RA hrapavost PS početno stanje	

slika 4

IZBOR REŽIMA OBRADE

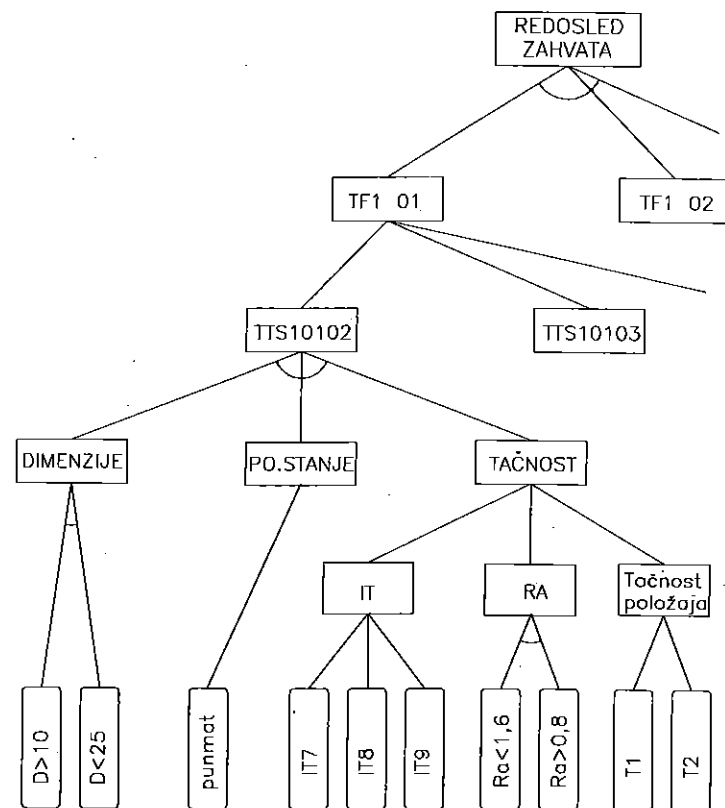
Izbor režima obrade vrši se na bazi ekspertnosti, tako što se vrši sprežanje alata sa režimom obrade, uzimajući pri tome u obzir vrstu materijala obradka.

ZAKLJUCAK

Realizacija opisanog projekta treba da unapredi projektovanje tehnologije obrade kućišta prenosnika i ujedno je prilika da se sistematizuje i ugradi u jedan ekspertni sistem, bogato iskustvo iz ove oblasti koje je stečeno u fabrici prenosnika SEVER d.d. Prenosnici.

SUMMARY

In this study, there is a brief conception of Expert system development for the manufacturing process planing of the gearhousing on the machining centers, for the needs of SEVER-Prenosnici d.d. factory. Beside technogy parameters defining, the system is conseived in such a way that it gives the solution for the fixture too.



slika 5

LITERATURA

- /1/ Putnik G.: Prilog za izgradnju ekspertnog sistema za izbor alata za obradni centar, Magistarski rad, Beograd, 1988
- /2/ Radak S.: Unapredjenje procesa obrade kućišta prenosnika na obradnim centrima, Diplomski rad, Novi Sad, 1994
- /3/ Stampfer M.: Tipske forme na kućištima zupčastih i pužnih prenosnika i tipske tehnološke sekvence pri obradi na obradnim centrima, Subotica, 1988
- /4/ Stampfer M.: Podsystem za pomoćni pribor u ekspert sistemu za projektovanje tehnologije za obradne centre, Magistarski rad, Beograd, 1991
- /5/ Stampfer M.: Primena veštačke inteligencije za idejno rešenje pomoćnog pribora predviđenog za korišćenje pri obradi kućišta prenosnika na horizontalnim obradnim centrima, IV Severov simpozijum o mehaničkim prenosnicima Subotica, 1993
- /6/ Veljović A.: Tehnološko prepoznavanje delova i oblika korišćenjem veštačke inteligencije, Disertacija, Beograd, 1988

Imrich Vojtko, Tomas Saloky, Jan Pitel

NONLINEAR FUNCTION OF NEURON WITH PREDICTION

Abstract: It is possible to predict system behaviour especially when repetition of some combination of inputs exist. The basis of artificial neural networks is neuron. The new model of neuron with prediction was created and simulation of this model was made. There are presented results of this simulation in the paper.

INTRODUCTION

Treasure of logical and numerical capacity of the brain is based on the activity of nervous cells - neurons, which create complicated neural networks. This network is capable to change its structure, state, which enables to realize many functions. Working of information in every self-organized system is based on transformation of input information to output under simultaneously change of internal state of system. Repetition of some combinations of input state can lead to optimization of regularity of internal state changes.

The basis of artificial neural networks is neuron model with basic features as follow:

1. More inputs, one output.
2. Threshold feature - neuron is excited only if sum of weighted inputs exceeded some limit.
3. Signal goes through the neuron only in one direction.
4. Refraction - some delay during which neuron not responds to inputs.
5. Adaptation and accomodation.
6. Output frequency dependence on the shock excitation amplitude.
7. Spatial time simulation controlled by synaptic mechanism.
8. Non-linear function of neuron.

Block-diagram of the discrete-time neural network according to [1] is shown in Fig. 1.

Dipl.Ing. Imrich Vojtko
Assoc.Prof. Dr. Ing. Tomas Saloky
Dipl.Ing. Jan Pitel

Technical University of Kosice
Faculty of Mechanical Engineering
Dept. of Automation Technique
Šturova 31, 080 01 Prešov, Slovakia

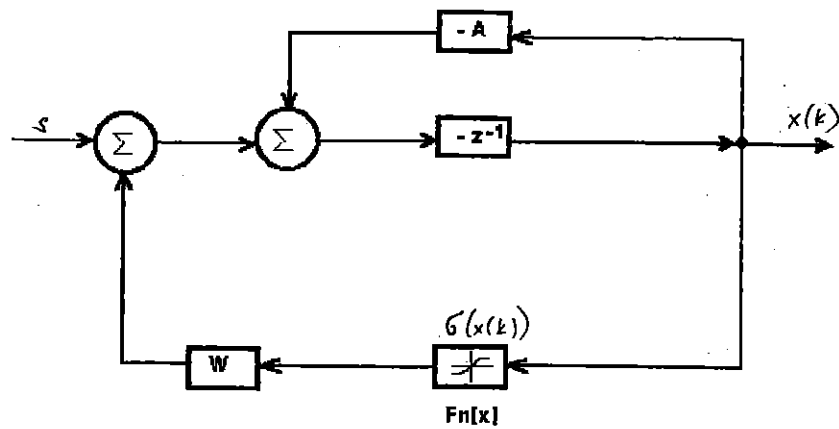


Fig. 1.

This block-diagram is described by equations:

$$x(k+1) = -A \cdot x(k) + W \cdot \delta(x(k)) + s \quad (1)$$

where $x = [x_1, \dots, x_n]^T$ is neural state vector,

$W = [w_{ij}]_{nm}$ is the synaptic weight matrix,

$s = [s_1, \dots, s_n]^T$ is the constant threshold vector

$A = [\alpha_1, \dots, \alpha_n]$ is the coefficient matrix with $|\alpha_i| < 1$

BASIC PREDICTION METHODS

The possibility of phenomenon prediction is dependent on existence of invariant of information. For example it is possible to predict behaviour of system output variables only when input variables are known and there exist reason to believe that the model of considered system will not change.

According to expression "Tomorrow as today" the prediction methods can be used:

1. Constants

$$y(t+1) = y(t) \quad (2)$$

2. Two-points

$$y(t+1) = 2 \cdot y(t) - y(t-1) \quad (3)$$

PREDICTION TASKS

Let us consider that time behaviour of supposed variable is superposition of deterministic and stochastic signal. The deterministic signal is as a rule bearer of the useful information. The stochastic signal is noise. There are the expressive low-frequency parts in the frequency spectrum of the deterministic signal in contradiction to spectrum of the stochastic signal, where the expressive high-frequency parts are as a rule.

The influence on the prediction accuracy is connected with type of the predicted variable. According to mathematical proofs [4] the deterministic signal is more accurate with number of past information in contradiction to stochastic input, where dispersion of prediction from three past points is seven times major.

Many physical, economic and biological processes present approximately periodical time behaviour. The period can be identified in time behaviour of these processes. The analysis of the approximately periodical time behaviour is result of superposition of three basic parts:

1. Periodical

$$A(z, s) = A_0(z) \frac{e^{sT}}{e^{sT-1}} \quad (4)$$

where $A_0(z)$ is Z-image of function N in one interval of the periodical part

2. Evolutionary

$$V(z, s) = V(z) \quad (5)$$

where $V(z)$ is Z-image of evolutionary part

3. Random - characteristic by autocorrelation function of time sequence of random samples.

$$R(kT) = \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M-k} \sum_{i=k}^M s(iT) \cdot s(iT-kT) \quad (6)$$

where $k \in N$ (N - set of integer numbers)

$s(iT)$ - samples of the random signal

The resulting approximately periodical time behaviour can be then expressed:

$$X(z, s) = A(z, s) + V(z) + S(z) \quad (7)$$

where $S(z)$ is Z-image of the random part

SUBMARTING MODEL PREDICTION METHOD

$$x_i = \Phi \cdot x_i + \delta + e_i \quad (8)$$

where $\Phi = 1$

$$\delta \geq 0$$

e_i - interference

BOX-JENKINS LINEAR MODEL PREDICTION METHOD

$$x_i = \sum_{j=1}^{j=M} \Phi_j \cdot x_{i-j} + \sum_{k=1}^{k=L} \alpha_k \cdot e_k \quad (9)$$

MODIFICATION OF THE NEURON MODEL WITH PREDICTION ACCORDING TO TWO-POINTS METHOD

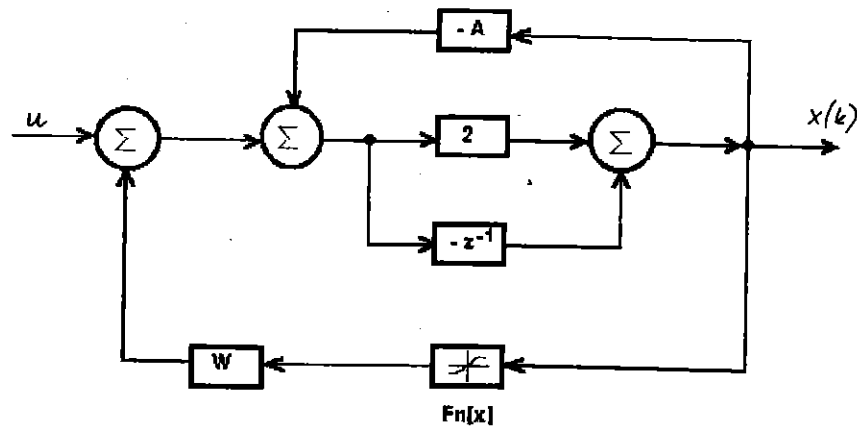


Fig. 2.

$$x(k) = 2 \cdot x(k+1) - z^{-1} \quad (10)$$

$$x(k+1) = u + w \cdot F_N(x) \cdot x(k) - A \cdot x(k) \quad (11)$$

where $z^{-1} = e^{-sT_d}$

$$F_N(x) = \text{tgh}(\lambda x)$$

$$\Phi \leq A \leq 1$$

$$x = [x_1, \dots, x_n]^T$$

$$u = [u_1, \dots, u_n]^T$$

$$W = [w_{ij}]_{m \times n}$$

SIMULATION

There is Fig. 3. time response on sinusoidal input of neuron model without prediction. There is in Fig. 4. the same response but of model with prediction. It can be see that one time period is enough to behave neuron as member which can predict non-intensive changes of the input signal. There is in Fig. 5. response of system on sinusoidal input with 20% of noise.

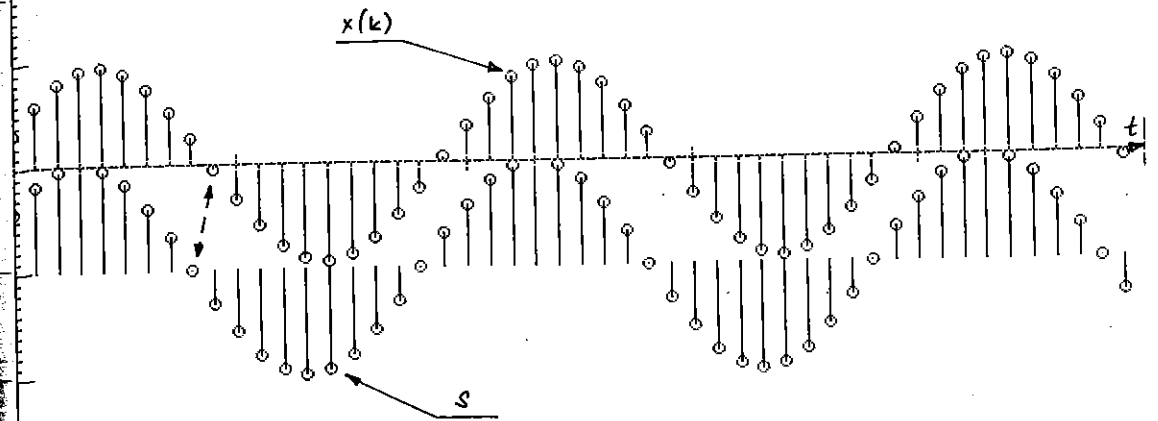


Fig. 3.

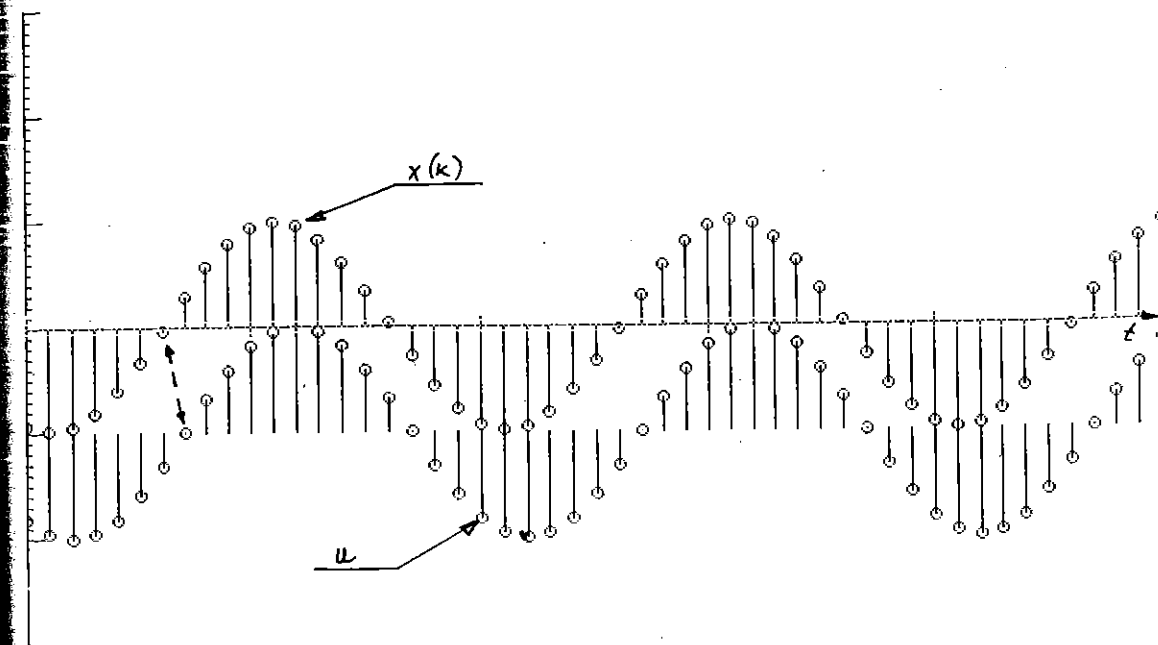


Fig. 4.

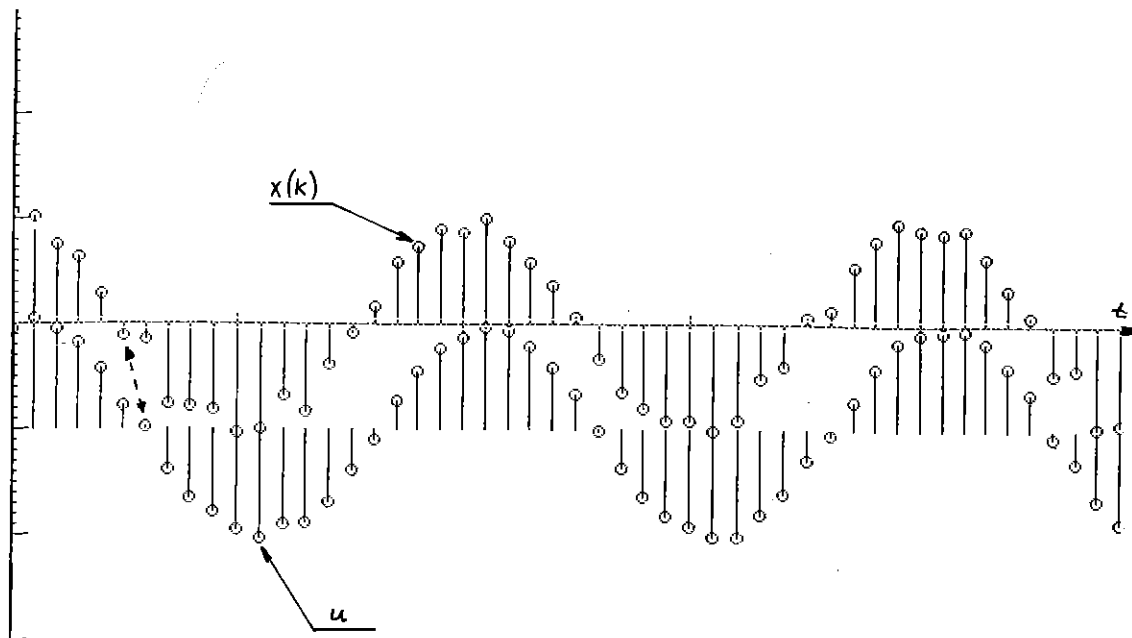


Fig. 5

CONCLUSION

Modeling and simulation was made on personal computer in language Pascal using program product SDS (Simulation of Dynamic System).

The result of simulation of time-discrete dynamic model of neuron with chosen prediction and nonlinear function shows that it is useful to continue in modeling and verification of chosen neural networks using concrete problem of practice.

REFERENCES

- [1] Liang J., Nikiforuk P.T., Gupta M.M.: Diagonal Lyapunov functions for global stability of discrete-time neural networks. *Neural Networks*, 1/95, 71-79.
- [2] Vojtko I., Pitel J.: Neural networks in education. *Robotics in theory and practice. ROBTEP'95*, Presov, September 1995, 302-304.
- [3] Saloky T.: Some problems of neural network application. *Robotics in theory and practice. ROBTEP'95*, Presov, September 1995, 197-200.
- [4] Balara D.: Repetitive automatic control systems and prediction. *ELFA Kosice*, 1993.
- [5] Kovanic P.: Gnostik models. The analysis of the data statistic. *TEKOBYTE Pardubice*, 1994.

Prof. dr Slavko Arsovski*
Dr Zora Arsovski, Miroљub Banković**
Miloš Čomić***
Novica Pecelj****

RAZVOJ CIM SISTEMA U DOMAĆIM INFRASTRUKTURNIM USLOVIMA

Sadržaj - Specifičnosti domaćih infrastrukturnih uslova zahtevaju preispitivanje strategije razvoja CIM sistema u nas. U radu su dati elementi strategije razvoja i implementacije CIM sistema u domaćim infrastrukturnim uslovima.

1. UVODNE NAPOMENE

Razvoj i implementacija *CIM* sistema je po svojim imanentnim osobinama jedan neprekidan proces koji uključuje sve poslovne resurse. Zbog potrebe analize ovaj proces se grubo može podeliti u 5 faza i to:

1. određivanje *CIM* strategije
2. priprema *CIM* aktivnosti
3. izrada plana i programa razvoja *CIM* sistema,
4. razvoj *CIM* sistema i
5. implementacija *CIM* sistema.

Pored utvrđivanja faza i procesa, model razvoja mora da obuhvati i njihovu interakciju sa aspekta odlučivanja. Zbog toga je za svaku fazu razvijen model na osnovu proširenih Petrijevih mreža.

Svaka od ovih faza sadrži veći broj procesa koji se međusobno nastavljaju ili se paralelno odvijaju. Sve faze su modelirane kao podmreže tako da se prva podmreža odnosi na *CIM* strategiju, druga na pripremu *CIM* aktivnosti, treća na planiranje i programiranje razvoja, četvrta na razvoj i peta na implementaciju *CIM* sistema. U radu su dati elementi strategije razvoja i implementacije *CIM* sistema u domaćim infrastrukturnim uslovima.

* Mašinski fakultet, Kragujevac

** Viša Tehnička škola, Kragujevac

*** Univerzitetski računarski centar, Kragujevac

**** Računarski centar Fabrike namenskih proizvoda, Kragujevac

2. ELEMENTI RAZVOJA CIM SISTEMA

Za svaku od navedenih faza izvršena je dekompozicija sa aspekta odlučivanja.

Svaka od faza je primenom *SADT* dekomponovana, a zatim je izvršeno njihovo modeliranje primenom proširenih Petrijevih mreža. Na isti način izvršena je dekompozicija i modeliranje ostalih faza (*faze 2, 3, 4 i 5*). Za sve dijagrame tokova izvršeno je modeliranje pomoću proširenih Petrijevih mreža što predstavlja podlogu za razvoj *CIM* sistema.

Razvoj *CIM* strategije zasniva se na sledećim postavkama:

- primenom *BSP* metode utvrđene su aktivnosti u fazi razvoja *CIM* strategije, odgovarajući entiteti i atributi, kao i dijagram entiteta,
- primenom *SDM* metode utvrđen je redosled i relacije između aktivnosti,
- primenom *SADT* metode izvršeno je grupisanje aktivnosti u odgovarajuće jedinice modula,
- primenom *EPN* metode izvršeno je modeliranje tokova odlučivanja pri razvoju *CIM* strategije,
- korišćenjem otvorene arhitekture projektovanja softvera (*SAA*), strukturiranog programiranja i drugih savremenih metoda projektovanja ostvarena je mogućnost dogradnje *CIM* strategije,
- simuliranjem modela fleksibilnosti, produktivnosti i kvaliteta pomoću *EPN* utvrđena je vrednost ovih ciljeva, kao i uticaj svakog elementarnog cilja na *F, P i K*, kao i na globalni cilj *CIM* sistema i
- baze podataka su koncipirane kao relacione baze i mogu se održavati uz pomoć ovog softvera i/ili interfejsa sa postojećim *DB* za upravljanje proizvodnjom.

Primenom *BSP i SDM* metode utvrđene su aktivnosti, njihov redosled i relacije između njih. Rezultat je grupisanje aktivnosti iz oblasti razvoja *CIM* strategije u module, pri čemu se ova faza (*faza 1*) dekomponuje u *9 modula*, a ovi dalje na module nižeg nivoa.

3. STRATEGIJA IMPLEMENTACIJE CIM SISTEMA U DOMAĆIM INFRASTRUKTURNIM USLOVIMA

3.1 Implementacija CIM-a

Model implementacije *CIM* sistema obuhvata:

- upravljanje implementacijom,
- merenje ostvarenih rezultata,
- unapređenje znanja iz oblasti *CIM* sistema i
- strategiju unapređenja *CIM* sistema.

U tom smislu, za uspešnu implementaciju *CIM* sistema potrebno je respektovati sledeća iskustva:

- uspešno korišćenje informacione tehnologije zavisi od sposobnosti i motivacije zaposlenih da primenom odgovarajuće tehnologije ostvare postavljene ciljeve,

- cilj dizajniranja organizacije je kreiranje poslovnog sistema sposobnog da ostvari svoje ciljeve, a ne da samo pruži tehnički servis ostalim podsistemima,
- efikasna eksploatacija poslovnih sistema zavisi od planskog pristupa organizacionim promenama koje se događaju istovremeno sa uvođenjem novih tehničkih rešenja,
- oblikovanje poslovnih sistema (u ovom slučaju *CIM* sistema) zavisi od participacije svih relevantnih učesnika u dizajniranju procesa,
- najveće koristi se postižu jedino ako je razvoj socijalnih i tehničkih rešenja usmeren na ostvarivanje osnovne svrhe (organizacione) preduzeća,
- izgradnja poslovnog prostora mora uključivati i socijalne komponente koje omogućavaju zaposlenima ostvarenje efektivne kooperacije pri realizaciji ciljeva,
- informaciona tehnologija mora biti dizajnirana tako da istovremeno obezbeđuje ostvarivanje zahteva pojedinaca, pojedinih funkcija i preduzeća kao celine,
- efektivna eksploatacija informacione tehnologije zahteva procese stalnog individualnog i organizovanog učenja,
- implementacija informacione tehnologije može se uspešno ostvariti primenom progresivnih i planiranih faza evolutivnog razvoja i
- da bi bio uspešan poslovni sistem mora da bude komplementaran sa postojećim procedurama i praksom upravljanja organizacionim promenama.

U okviru upravljanja implementacijom posebno se razmatraju ciljevi i strategija implementacije *CIM* sistema. Ciljevi implementacije slede iz poslovnih ciljeva.

Razlikuju se sledeće strategije implementacije *CIM* sistema:

- strategija zemljotresa,
- paralelna strategija,
- fazno unapređenje,
- probe i ekspanzije i
- inkrementalna strategija.

Navedene strategije međusobno se ne isključuju i mogu se u potpunosti ili delimično primenjivati u svim ili pojedinim fazama razvoja i implementacije *CIM* sistema.

3.2 Problemi pri implementaciji CIM sistema

Uvođenje novih tehnologija utiče na rebalansiranje postojeće organizacione strukture što izaziva niz posledica u smislu psiholoških otpora nastalim promenama. Zbog toga se moraju razmatrati dva aspekta strukture organizacije. Prvi se odnose na procese kojima se uvode nove tehnologije, a drugi na uticaj koji ima izabrani *CIM* sistem na organizacionu struktuiranje. Ova dva aspekta su potpuno različita. Prvi aspekt obuhvata stanje prelaza (promene), a drugi upravljanje "stabilnim" stanjem i maksimiranje efekata na osnovu ovog upravljanja. Uvođenje *IT* na klasično oblikovanu organizacionu strukturu mora računati sa značajnim ograničenjima, jer se pojavljuje veliki broj inkompatibilnih sistema. Zbog toga je potrebno da se struktuiranje organizacije prilagodi primenjenom *CIM* sistemu, a posebno da se tokovi informacija i komunikacija ostvare u punom obimu između funkcionalnih područja, da bi se ostvarila efikasna integracija. Organizacioni problemi se često javljaju i zbog potrebe komuniciranja i kooperativnog rada između i unutar sektora i funkcija. Primena *CIM* sistema pretpostavlja objektiviziranje komunikacionih veza, ali istovremeno dozvoljava i održavanje personalne samostalnosti koja je omogućena direktnim pristupom računaru.

Rezultat koji se najčešće sreće u praksi je dupliranje kapaciteta i postojanje formalne i neformalne organizacije, koje su često u koliziji.

Primenom *CIM* sistema otvara se niz radnih mesta sa mogućim pristupom podacima i u tom smislu proširuju se mogućnosti rukovođenja i kompetencije. Sa druge strane paralelno egzistira i klasična hijerarhija sa sopstvenim rasporedom kompetencija, što najčešće dovodi do određenih konfliktnih situacija.

Novi način podele rada dovodi do novog stepena specijalizacije radi lakšeg i efikasnijeg obavljanja sve složenijih poslova.

Pri uvođenju *CIM* sistema javljaju se i određeni kadrovski problemi u pogledu zahtevanih promena kvalifikacija, tražnje za kadrovima i sticanja novih znanja svih zaposlenih. Iskustva iz primene informacionih tehnologija u Velikoj Britaniji pokazuju da je u apsolutnom iznosu potrebno manje zaposlenih kod primene sofisticiranih tehnologija, kao što je *IT* i primena *CIM* sistema u celini. Udeo umanjenja broja zaposlenih u preduzećima kompenzuje se povećanjem broja zaposlenih u uslužnim delatnostima, a posebno u oblasti projektovanja i održavanja softvera.

Osnovni problem pri prekvalifikaciji zaposlenih je "statičnost" kadrovske strukture i njena nedovoljna spremnost za stalno učenje. Mora se povećati udeo obrazovanja van osnovne kvalifikacije u smislu razvijanja mogućnosti kreativnih mišljenja, rešavanja problema i kooperativnosti, što su istovremeno "ključne kvalifikacije" budućnosti.

Primena *CIM* sistema pojačava problem različitih interesa pojedinaca i potrebu njihovog balansiranja kako bi se izbegli konflikti. Permanentno obrazovanje nije samo uslov za sticanje novih veština i znanja, već i preduslov za uspešnu rotaciju kadrova. Osnovna filozofija *CIM* sistema u oblasti kadrova je:

- ljudi su najveći izvor konkurentne prednosti i
- nikad se ne može obezbediti dovoljno ljudi.

Kadrovi se biraju pažljivom selekcijom zaposlenih i zainteresovanih uz detaljno praćenje ostvarenih rezultata. U prethodnom periodu karijera pojedinaca je pretežno sticana u jednoj oblasti. Primena *CIM* sistema stvara pretpostavke za razvoj karijere u različitim oblastima uz rotaciju među funkcijama. Ocenjivanje i nagrađivanje se vrši eksplicitno za različite kategorije zaposlenih, njihova tehnička znanja, uz podsticanje liderstva i timskog rada.

Obzirom da je projektovanje *CIM* sistema dugoročan zadatak (5 - 10 godina), u periodu implementacije nužno dolazi do zamene postojeće *IT* sa novom *IT*, što utiče na projektna rešenja *CIM* modula, a u nekim slučajevima i na celoviti i na koncept *CIM* sistema u celini. Da bi se ovo poslednje izbeglo, pri proojektovanju *CIM* sistema moraju se respektovati sledeće grupe pravila:

- u fazi projektovanja *CIM* sistema koristiti trenutno najsavremeniji koncept IS, ali koji je potvrđen u praksi,
- obezbediti maksimalno moguću fleksibilnost softverskih rešenja,
- koristiti informacionu platformu koja obezbeđuje nadgradnju sistema i povezivanje sa drugim platformama,
- obzirom na veliki broj podataka i znanja, pri projektovanju baza podataka i znanja koristiti relacione modele i fleksibilne i otvorene sisteme za upravljanje DB i
- maksimalno koristiti odgovarajuće CASE alate.

Najveći problem pri implementaciji *CIM* sistema je mala spremnost za implementaciju, koja se manifestuje odgovarajućim otporom zaposlenih. Prema analizi autora,

spremnost za implementaciju *CAD/CAM* modula u ispitivanom sistemu *A* (slika 1) je vrlo mala.

Srednji nivo spremnosti za implementaciju je iznosio 1,4 što je manje od 50 % iskazanih potreba za uvođenjem *CAD/CAM* sistema. Posebno je nizak nivo mogućnosti postojeće organizacije (1,2) a najveći je nivo spremnosti za obuku personala, pod uslovom da je oprema već nabavljena. Ovaj pristup produžava fazu implementacije sistema i dominantan je u domaćoj industriji. Slični odnosi važe i za primenu ostalih modula *CIM* sistema. Između intenziteta uvođenja modula *CIM* sistema i spremnosti za implementaciju postoji izrazita korelaciona veza čiji trend zavisi od načina primene ove ili slične tehnologije u prethodnom periodu.

4. ZAKLJUČCI

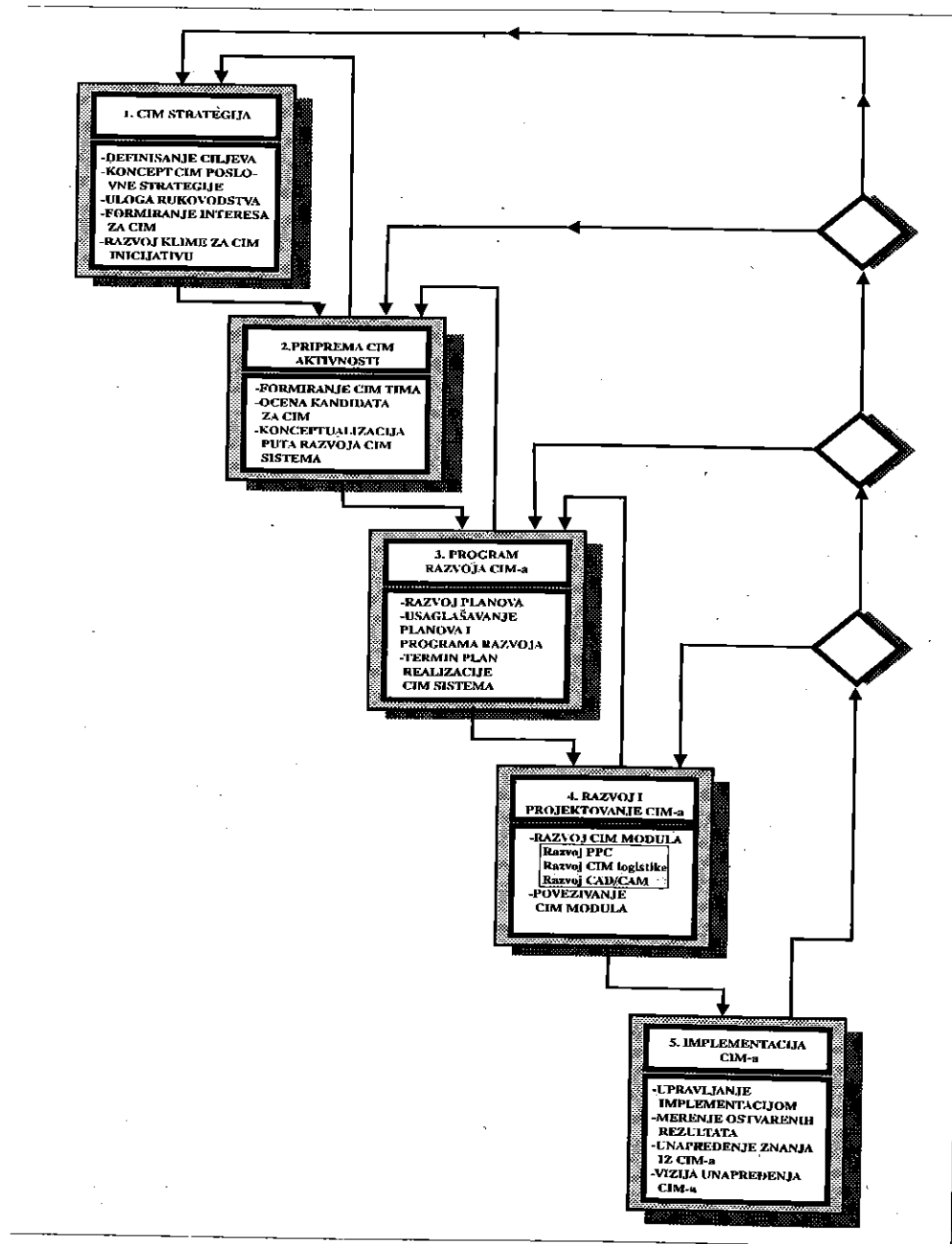
U prethodnom tekstu naglašena je potreba unapređenja znanja zaposlenih, što je osnovna pretpostavka za stvaranje strategije unapređenja *CIM* sistema. Ova strategija se razlikuje od strategije koju je na početku *CIM* projekta definisao top menadžment preduzeća, jer se u toku rada na *CIM* projektu i u eksploataciji *CIM* modula događaju brojne promene vezane za okruženje i odnose u preduzeću.

Strategija unapređenja *CIM* sistema je stalan zadatak menadžmenta. Ona mora početi od potreba okruženja (stvarnih i potencijalnih kupaca), interesa vlasnika i društvenog okruženja, kao i interesa zaposlenih. Bez obzira na konfliktnost ovih zahteva, top menadžment preduzeća treba da stalno "osluškuje" okruženje i stavove zaposlenih i njihove interese, i da u skladu sa razvojem *IT* definiše strategiju unapređenja *CIM*-a. Pri tome, izmena u svakom *CIM* modulu povlači za sobom manje ili veće izmene u ostalim modulima. Posebno se zahteva organizovana aktivnost na stvaranju stalno prisutne klime i kulture u preduzeću, što je pretpostavka za uspešno realizovanje postavljenih ekonomskih, socijalnih i etičkih ciljeva. U okviru klime i kulture preduzeća, poslednjih godina veliki značaj ima klima i kultura u pogledu kvaliteta, pa se kroz strategiju unapređenja *CIM* sistema mora sve više uvažavati aspekt unapređenja kvaliteta.

Strategija unapređenja *CIM* - a se mora dalje razradivati na srednjem upravljačkom nivou, da bi se korišćenjem cost/benefit analize definisali optimalni putevi (skup scenarija) za budući period. Zbog toga se vizija *CIM* sistema stalno preispituje i definiše za budući period od 3 - 5 godina. Rezultat ovog rada, koji pretpostavlja korišćenje mnogih metoda naučnog predviđanja, sistem analize i drugih metoda, je organizovan i stalan napor na unapređenju poslovanja i smanjenju neizvesnosti i rizika u razvoju preduzeća. Razvoj i implementacija *CIM* sistema je u ovom smislu strategijsko opredeljenje preduzeća za opstanak i razvoj u sve složenijim tržišnim uslovima.

LITERATURA

1. Arsovski Z., Razvoj sistema za odlučivanje pri projektovanju *CIM*-a, *Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Podgorica, 1994.*
2. Meyer W., Expert System in Factory Management, *Knowledge - Based CIM, Ellis Horwood Books Information Technology, New York, 1990.*



Slika 1

3. Arsovski S., Perović M., *Fleksibilna automatizacija, CIM centar, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1994.*
4. Arsovski S., Arsovski Z., Perović M., *Razvoj CIM sistema, monografija, CIM centar, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1995.*

CIM SYSTEMS DEVELOPMENT IN DOMESTIC INFRASTRUCTURING ENVIRONMENT

Abstract - Features of domestic business system infrastructuring conditions demand reconsidering of our CIM systems development strategy. The paper depicts elements of CIM systems strategy development and implementations in domestic infrastructuring conditions.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

Mr Miroljub Banković, dipl.ing, Dr Zora Arsovski, dipl.ing*
Prof. dr Slavko Arsovski, dipl.ing**

UPRAVLJANJE TROŠKOVIMA U CIM OKRUŽENJU COSTS MANAGEMENT IN CIM ENVIRONMENT

Rezime - U radu se prikazuje struktura informacionog sistema za upravljanje troškovima koji se realizuje kao sastavni deo projekta CIM sistema za potrebe fabrike auto delova "FAD" u Gornjem Milanovcu. Kao integralni deo CIM sistema, podsistem za upravljanje troškovima se oslanja pre svega na podsistem proizvodnje crpeći iz njega kako podatke o strukturi proizvoda, normativima materijala i propisanim tehnološkim vremenima tako i o stvarnoj realizaciji troškova lansiranih radnih naloga. S obzirom da troškovi predstavljaju merilo uspešnosti privređivanja i jednu od ključnih veličina koje treba planirati, realizovati i meriti njihova odstupanja, informacioni sistem omogućava planiranje, evidenciju i kontrolu (praćenjem odstupanja) svih kategorija troškova na nivou preduzeća u celini, alokaciju svih vrsta troškova na nivo organizaciono-tehnoloških celina unutar preduzeća (pogonsko knjigovodstvo), kao i alokaciju svih vrsta troškova na nosioce (proizvode ili usluge) - kalkulaciju cene koštanja nosilaca troškova.

Ključne reči: CIM SISTEM; TROŠKOVI; POGONSKO KNJIGOVODSTVO; CENA KOŠTANJA

1. UVOD

Ciljevi preduzeća iskazani pre svega kroz ostvarivanje i unapređivanje dobiti i ukupni porast privredne aktivnosti ostvaruju se, s jedne strane istraživanjem tržišta, razvojem novih proizvoda i porastom produktivnosti, dok se sa druge strane nastoji da se troškovi koji prate sve te aktivnosti svedu na mogući minimum. Svaka poslovna aktivnost podrazumeva određene troškove, tako da njenu uspešnost ima smisla meriti samo u odnosu na iznos ostvarenih troškova. Zbog toga troškovi predstavljaju merilo uspešnosti privređivanja i jednu od ključnih veličina koje treba planirati, realizovati i meriti odstupanja. Samo povećanje finansijskog rezultata čiji izvor je smanjenje troškova poslovanja predstavlja ispravan put ka porastu dobiti i razvoju inicijative preduzeća a na makroekonomskom planu i porastu nacionalnog dohotka (porast dobiti usled rasta cena izaziva samo preraspodelu nacionalnog dohotka).

* Viša tehnička škola u Kragujevcu

** Mašinski fakultet u Kragujevcu

Obračun troškova obezbeđuje kontrolu uspešnosti poslovanja preduzeća kroz analitičko-planske izveštaje po organizaciono-tehnoškim celinama u okviru preduzeća, kao i po nosiocima troškova - proizvodima odnosno uslugama sa kojima preduzeće izlazi na tržište. Izveštaji iz obračuna troškova rade se i dostavljaju rukovodećim strukturama preduzeća dinamički - u intervalima koji se mogu meriti u minutima ili časovima, do periodičnih izveštaja na nivou dana, meseca, godine ili više godina.

Ekonomska teorija i praksa preduzeća poznaje više metoda za obračun troškova, među kojima treba istaći kao najpoznatije:

1. Obračun po standardnim troškovima (standardni troškovi su cenovni izraz utrošaka proizvodnih resursa, urađen prema standardima i normativima i standardnih odn. planskih cena);
2. Obračun po stvarnim troškovima (troškovi se prate istorijski, u stvarno nastalim iznosima; novije verzije ovog načina obračuna vrše uprosečavanje stvarnih troškova iz prethodnog planskog perioda i njihov prenos u tekući period, ili koriste očekivane stvarne troškove - rezultat procene odn. predkalkulacije);
3. Obračun po varijabilnim troškovima (u literaturi poznat kao Direct Costing - u obračun i u kalkulaciju cene koštanja uključuju se samo stvarni ili standardni varijabilni troškovi).

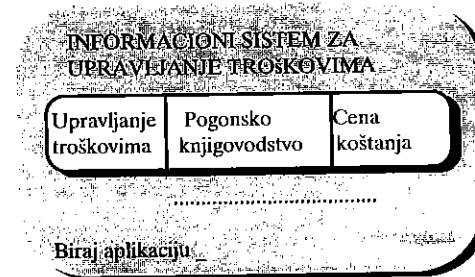
Bez obzira na primenjeni metod obračuna, obračun troškova treba da omogući:

1. Planiranje, evidenciju i kontrolu (praćenjem odstupanja) svih kategorija troškova na nivou preduzeća u celini;
2. Alokaciju svih vrsta troškova u smislu planiranja, evidencije i kontrole na nivo organizaciono-tehnoških celina unutar preduzeća (pogonsko knjigovodstvo);
3. Alokaciju svih vrsta troškova na nosioce - proizvode ili usluge i omogućavanje da se u bilo kom trenutku izračuna cena koštanja nosilaca troškova;
4. Stvaranje istorijata troškova radi dobijanja potrebnog fonda podataka za statistike i predviđanje budućeg kretanja troškova.

U svim navedenim nivoima obračuna troškova pažnja se posvećuje planiranju pojedinačnih vrsta troškova, on line evidentiranju njihovog nastanka, merenju odstupanja realizovanih od planskih vrednosti i izdavanju upravljačkih informacija. Moguća je alternativna primena metoda standardnih i stvarnih troškova, dok se metod direktnih troškova može primeniti isključivanjem fiksnih (indirektnih) troškova i kalkulacijom cene koštanja kao kontribucionog rezultata.

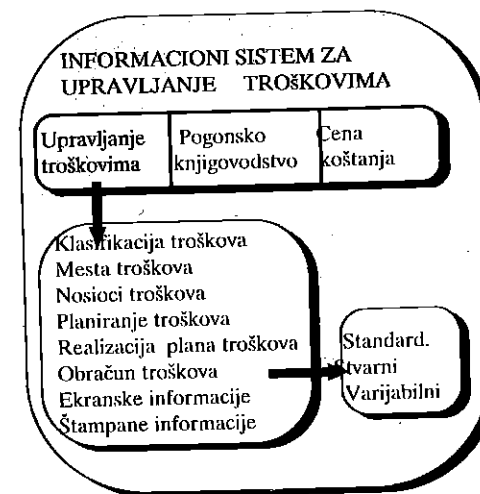
2. PRIKAZ INFORMACIONOG SISTEMA ZA UPRAVLJANJE TROŠKOVIMA

Softver se startuje kad se na praznom ekranu otkuca "TRO". Dobija se ekran:



2.1 Upravljanje troškovima

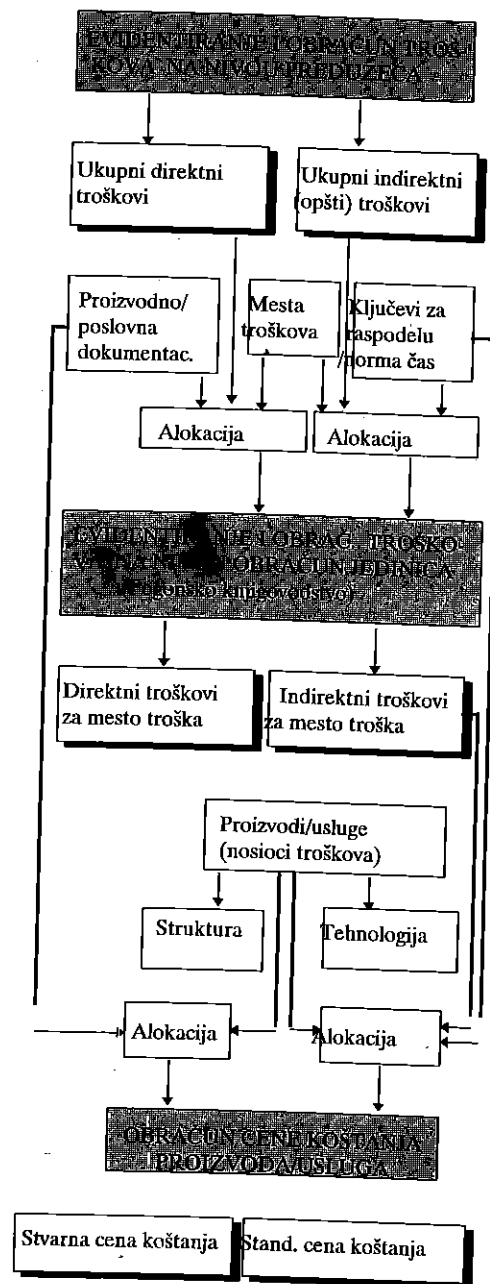
Ako se na osnovnom izbornom ekranu vodenjem kursora izabere "Upravljanje troškovima", dobija se sledeći izborni ekran:



Aplikacije "Klasifikacija troškova", "Mesta troškova" i "Nosioci troškova" namenjene su održavanju šifarnika troškova, organizacionih celina (mesta troškova) na nivou kojih će se voditi pogonsko knjigovodstvo i proizvoda/usluga kao nosilaca troškova.

Aplikacija "Planiranje troškova" omogućava unos i održavanje planova:

- * direktnih troškova rada;
- * direktnih troškova materijala;
- * indirektnih troškova.



Sl. 1: Celine u informacionom sistemu upravljanja troškovima i njihove veze

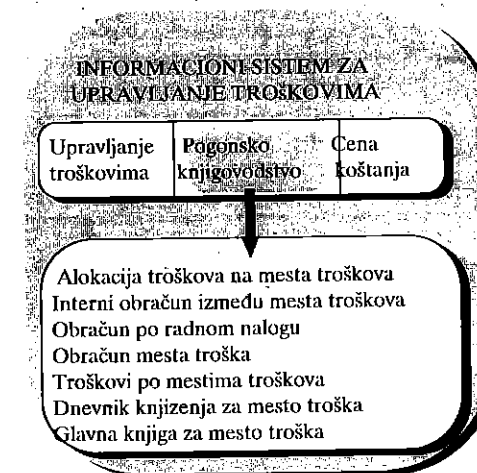
"Obračun troškova" je aplikacija koja omogućava utvrđivanje visine troškova po kategorijama i vrstama, korišćenjem (po izboru) jednog od tri poznata metoda:

- * obračun po standardnim troškovima;
- * obračun po stvarnim troškovima;
- * obračun po varijabilnim troškovima (Direct Costing);

Osim pomenutih aplikacija, ovaj deo informacionog sistema za upravljanje troškovima sadrži i skup pomoćnih ekranskih i štampanih informacija (šifarnika, informacija iz "susednih" funkcija kao što su proizvodnja, prodaja i sl).

2.2 Pogonsko knjigovodstvo

Ako se na osnovnom izbornom ekranu vođenjem kursora izabere "Pogonsko knjigovodstvo", dobija se sledeći izborni ekran:



Aplikacija "Alokacija troškova na mesta troškova" obuhvata transakcije:

- * Raspoređivanje troškova za period;
- * Raspoređeni troškovi za period

U aplikaciji "Interni obračun između mesta troškova" sadržane su transakcije:

- * Procenti učešća u uslugama;
- * Troškovi internih usluga.

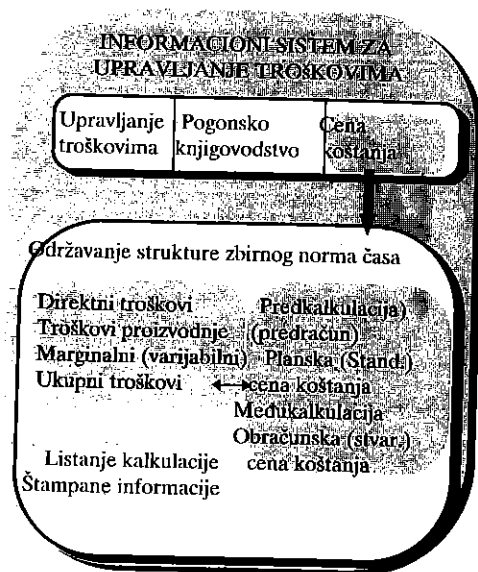
Aplikacija "Obračun po radnom nalogu" za uneti radni nalog obračunava i na ekranu prikazuje (posebno za završenu, posebno za nezavršenu proizvodnju):

- * direktne materijalne troškove (materijal, energiju);
- * troškove direktnog rada (bruto LD izrade);
- * opšte troškove (usluge i sl).

Aplikacija "Obračun mesta troška" za unetu šifru mesta troška i period prikazuje sve ostvarene direktne troškove i raspoređene (primenom ključeva za alokaciju) opšte troškove, uređene po šiframa troška i datumima, aplikacija "Troškovi po mestima troškova" daje ekransku informaciju koja za zadati period sadrži pregled planiranih i ostvarenih troškova po mestima troška i kategorijama/vrstama troškova.

2.3 Cena koštanja

Skup aplikacija koje služe za obračun cene koštanja dat je na sledećem izbornom ekranu:



U ovom delu informacionog sistema za upravljanje troškovima omogućena je izrada:

- * Predkalkulacije (predračuna);
- * Planske (standardne) kalkulacije;
- * Medukalkulacije;
- * Obračunske (stvarne) cene koštanja.

Za svaku od navedenih vrsta kalkulacije cene koštanja omogućeno je uključivanje različitih kategorija troškova kako bi se dobili sledeći nivoi cene koštanja:

- * Direktni troškovi (kontribucioni rezultat);
- * Troškovi proizvodnje (proizvodna cena koštanja);
- * Marginalni (varijabilni troškovi);
- * Ukupni troškovi (puna cena koštanja).

3. ZAKLJUČAK

Prikazani informacioni sistem se razvija u okviru realizacije CIM sistema u preduzeću "FAD" u Gornjem Milanovcu. Pored funkcije finansijskog knjigovodstva, mora biti

povezan sa podsistemom proizvodnje iz koga crpe podatke o realizovanim aktivnostima izrade proizvoda. Na bazi tih podataka najpre se ukupni planirani/evidentirani troškovi alociraju na mesta nastanka troškova (obračunske jedinice), čime se stvara efikasan polaz za vodenje pogonskog knjigovodstva kao izvora informacija za narednu fazu - kalkulaciju cene koštanja proizvoda. Od ovako koncipiranog informacionog sistema očekuje se on line uvid u ostvarene troškove, jasnije razgraničavanje odgovornosti za troškove, kao i mogućnost da se, kroz realno zasnovanu kalkulaciju cene koštanja, uvek može utvrditi granica racionalnosti i rentabilnosti poslovanja.

Literatura

- [1] Malinić S., "Metodologija obračuna troškova i rezultata", Grafičar, Kragujevac, 1994.
- [2] Murdick R.G., Ross J.E., Clagget J.R., "Information Systems for Modern Management", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984.
- [3] Torspecken H.D., Lang H., "Kostenrechnung und Kalkulation", Gabler, Wiesbaden, 1993.
- [4] -----, Projekat razvoja CIM sistema u preduzeću "FAD" Gornji Milanovac



Славица Цветковић¹, Славко Арсовски²

ГЛАВНЕ ФУНКЦИЈЕ ПРОИЗВОДНОГ СИСТЕМА СА JUST-IN-TIME КОНЦЕПТОМ

Резиме

Just-In-Time концепт даје посебан изазов на све функције пословног система. За реализацију Just-In-Time концепта потребне су структурне промене у логистичком ланцу. За интерну област предузећа потребно је сегментирање са циљем ослобађања капацитета. Стварање малих организационих јединица и њихово директно управљање на тржишне сегменте треба поставити при целовитом посматрању логистичког ланца и узети у обзир сазнања како стратешког планирања тако и организације производње. Just-In-Time производња захтева да се свака функција унутар производног система структурише ради подршке филозофији континуалног побољшања. У овом раду је дат преглед главних функција у пословном систему. Ово разматрање повезује сваку функцију са њеном улогом у Just-In-Time систему и идентификује главне промене у њеној шеми које Just-In-Time може да захтева.

УВОД

Just-in-time производња захтева да се свака функција унутар производног система структурира у циљу подршке континуалног побољшања истог. Традиционално, шема сваке функције у производном систему је ограничена на непосредну сферу ауторитета функције, а њена одговорност је дефинисана просторним границама које су успостављене прихваћеним ограничењима њене шеме. Недостатак прихваћеног ауторитета спречава да се функција шири у области где може имати велику одговорност. Концепт функционалне шеме сугерише да постоји "зона одговорности" која се шири преко сфере ауторитета за сваку функцију унутар пословног система. Неколико потенцијалних функција се могу преклопити у овим зонама одговорности.

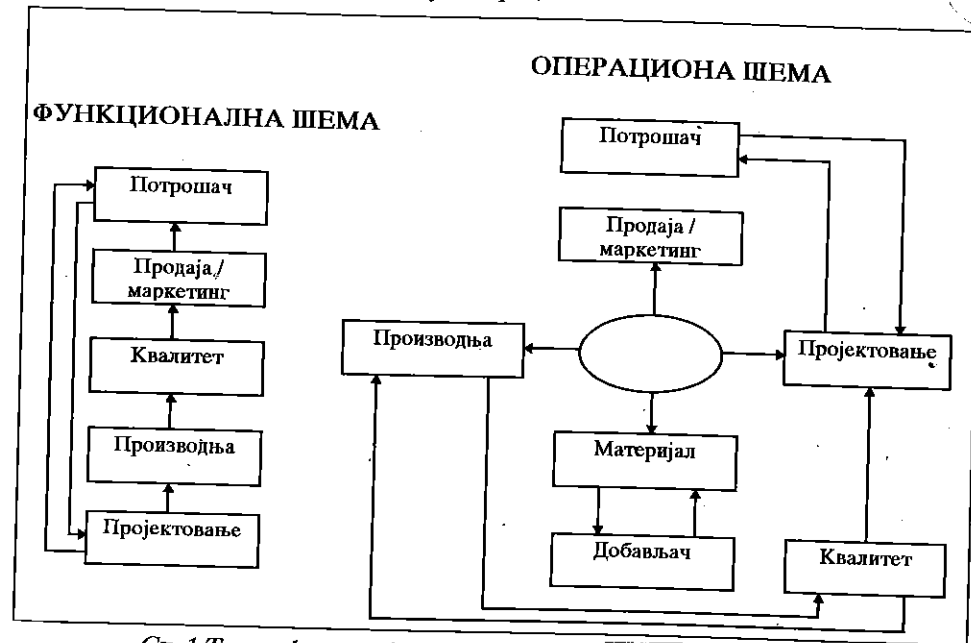
Операциона шема представља проширење функционалне шеме. У областима које имају преклапајућу одговорност операциона шема елиминише забуну код ауторитета проширавањем сфере одговорности свакој функцији.

¹ Славица Цветковић, Машински факултет, 38000 Приштина, Сунчани брег 66

² Славко Арсовски, Машински факултет, 34000 Крагујевац, Сестре Јавић 6

У операционој шеми, свака шема добија шири опсег одговорности од територијалних граница која би се традиционално захтевала.

Да би производни систем био успешан у постизању продуктивности, радници у свакој функционалној области морају бити свесни дуготрајног утицаја који њихово деловање има на производни систем и морају прихватити одговорност за своје деловање. Када операције постану мање ограничене функционалним границама и односи постану интерактивни, измена информација ће довести до промене од "функционалне шеме" у "операционе шеме".



Сл. 1 Ток информација у функционалној и операционој шеми

Функционална шема тежи да буде двострана и затворена са информацијама прослеђеним између одељења. Често се тачке прослеђивања схватају као препреке које се морају пребродити када се информације или рад "пригуше" у следећој функцији. Ток информација у операционој шеми, је вишестран и отворен. Интеграција производних система са функционалним шемама у ЛТ обухвата развој операционих шема за своје производне функције. Задатак руководства ће бити да прошири функционалну одговорност на области операционе одговорности и да интегрише преклопљене одговорности сваке функције. Опсег на који се ЛТ филозофија примењује унутар сваке функционалне области је под знатним утицајем успостављеног система вредности и тренутних односа између одељења, потрошача унутар производног система.

1. ПРОИЗВОДНЕ ФУНКЦИЈЕ СИСТЕМА

1.1 Маркетинг

Интегрисање маркетинга у ЛТ је битно за свеукупну способност производног система да развије структуре и подсистеме неопходне да би ЛТ производни

систем ефикасно функционисао. Маркетинг представља мотор који "вуче" ЛТ производни систем.

Циљеви маркетинга су:

- стабилизовање потрошачке базе и нивелација обавеза и термина набавке, испоруке и др.
- процена захтева потрошача за обезбеђење неопходних информација
- оптимизирања пројектанског инжењеринга и производног процеса.

Стабилна потрошачка база служи као темељ на коме производни систем мора да гради ЛТ производњу. Најбољи ЛТ произвођачи су производни системи који су вољни да направе дуготрајне обавезе уз разумну количину стабилности у испоруци и роковима.

Са становишта потрошача, предност потрошње код ЛТ произвођача је способност добављача да се обавезе и задржи преузету обавезу. ЛТ систем успоставља циклус континуалног побољшања. Разлог што функција продаје тражи ЛТ купце је да буде у могућности да започне процес производње. Свеукупни резултат овог побољшања је смањење трошкова. Овај принцип је основа за оптимизацију производног система, са аспекта профитабилности и продуктивности. [2]

Рад са потрошачима, на захтев за спецификацијом, је интегрални део континуалног побољшања процеса производног система. Маркетинг служи као проводник за спровођење информације између купца и пројектанта. Циљ овог процеса је да се оптимизира група особина производа, редукују трошкови производа и добију информације о новим захтевима. Коришћење таквих информација наставља процес побољшања перформанси производа и смањује укупне трошкове купаца при коришћењу производа.

1.2 Инжењеринг

Циљ инжењеринга је да конструише коначну функцију или перформансе производа коју потрошач захтева уз обезбеђење профитабилности. Да би побољшао перформансе конструкције, инжењер мора разумети који су то захтеви купаца и захтеви производње за намеравани пројекат.

Пројектант мора бити повезан са потрошачима (обично преко продаје или преко маркетинга) да би разумео захтеве потрошача. Захтеви потрошача могу да се окарактерису као функционални и операциони атрибути и захтеви поузданости, заједно са нефункционалним атрибутима, естетским својствима и лакоћом употребе од стране потрошача. Већина информација о захтевима потрошача скупља продаја која преноси пројектантима.

1.3 Производња

Производња у ЛТ производном систему је релативно једноставна и не започиње се ако нема захтева за производњом од купца (екстерног или интерног). Производња само на захтев купца назива се пул систем. Задатак ЛТ система је да организује производњу без грешака када се то захтева. Кључни захтеви везани за ЛТ производњу су:

- стандарди високог квалитета (100 %)
- pull систем
- термин планови разноврсних система производње
- минимално време припреме нових производа

- дуготрајне уговорне обавезе купца и добављача
- континуално побољшање производног процеса
- минималне залихе у производном систему

1.4 Набавка

Да би развили успешни ЈТ систем кључно је да се нагласак стави на квалитет набављеног материјала и на улогу функције материјала у обезбеђењу квалитета. Традиционално, материјал се набавља, при чему су приоритети цена, испорука и квалитет. У ЈТ систему приоритети су, квалитет, испорука, цена. Са овом организационом променом функција материјала преузима директно одговорност за трошкове везане са квалитетом материјала.

1.5 Квалитет

Значај ЈТ система је да врати одговорност за квалитет у производни систем и да развије процес праћења квалитета производа у целом производном процесу. ЈТ организациона шема функције материјала и обезбеђење квалитета показује да је квалитет добављача додељен функцији материјала и да је преглед одстрањен из функције квалитета. [3]

2. УПРАВЉАЊЕ СА JUST - IN - TIME КОНЦЕПТОМ

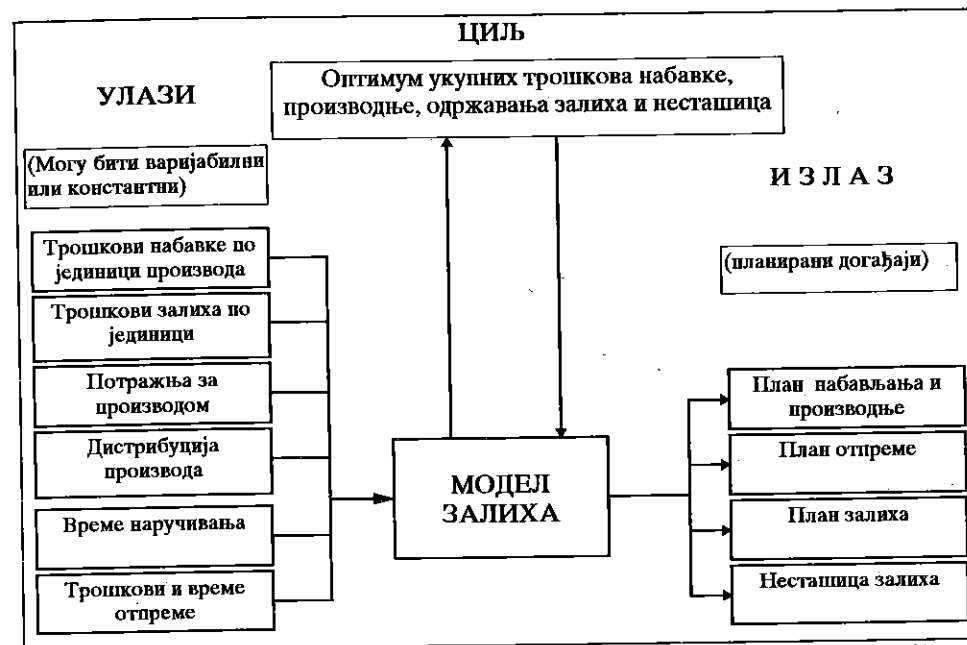
Увођење ЈТ - концепта са циљем да се производња и логистика приближе потрошачу омогућује повезивање свих главних функција у систему и захтева следеће:

- интегрисање и оптимизирање сваког корака производног процеса
- производњу квалитетног производа
- смањење трошкова производње
- производњу само по захтеву
- развијање производе флексибилности
- испуњење обавеза према потрошачима и добављачима

У функционалним истраживањима највише пажње је придодато контроли залиха

које у овом случају треба свести на минимум. Мере за смањење залиха протежу се на све категорије залиха. Задатак управљања залихама је да обезбеди такав улаз да трошкови залиха буду минималне. [4] На слици 2. је приказан модел контроле залиха, који наглашава значење жељених циљева и потребу за вредновање улаза и излаза. Такође опслужује менаџера с основом за планове и са правилима према којима треба мерити извршење.

Управљање производном и производност ће и даље бити изазов за менаџере који делују у условима растуће конкуренције светског тржишта. Очекује се да ланац управљања производним функцијама постану производнији кроз примену функцијских истраживања, много осталих алата и информационе технологије.



Сл. 2 Модел контроле залиха

ЗАКЉУЧАК

У овом раду су дати прегледи главних функција у производном систему. Ово разматрање повезује сваку функцију са њеном улогом у ЈТ систему и идентификује главне промене у њеној шеми које ЈТ може да захтева.

Summary:

Applying Just-In-Time concept to any function of a business system is a specific challenge. Certain structural changes in a logistic chain must be done before realising Just-In-Time concept. For the internal part of a firm it is necessary to segment a production process in order to make free facilities. Making small organisation units and directly conforming them to the market segments must be settled while completely analysing of the logistic chain and, also, knowledge of strategy planning as well as of organisation of production must be taken into consideration.

Just - In - Time type of production requires that every internal function must be structured in order to support continual improvement.

Survey of the main functions in a business system. This consideration makes connection between every function and its role in Just - In - Time system and identifies main changes in its scheme that system may requires.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Јово Тодоровић, *Савремени менаџмент производње (управљање и JUST - IN - TIME)*, Београд 1992 год.
- [2]. Славица Цветковић, Славко Арсовски, *INTEGRATED PROCESS CONTROL IN JUST - IN - TIME CONCEPTU*, МТeМ ' 95, Румунија
- [3]. Славица Цветковић, Славко Арсовски, *KVALITET I JIT KONCEPT*, IRMES'95 Ниш
- [4] Heinz Wehrich, Harold Koontz, *MENADŽMENT: A Global Perspective*, 1993



Ž. Spasić¹

**CIM-SISTEMI U RELACIJI " ISTRAŽIVANJE -- RAZVOJ -- PRIMENA
-- OBRAZOVANJE "**

Rezime: Razvoj CIM-sistema (CIM - Computer Integrated Manufacturing) je jedan od prioriteta razvoja domaće industrije. Strateški cilj CIM-preduzeća je da ispravno integriše sve svoje kompjuterizovane aktivnosti uz smanjeni rizik u investiranju opreme za nove tehnologije. U ovom radu se CIM-sistem jedne domaće industrije posmatra u relaciji datoj u naslovu. Istraživanja se odnose na projektovanje CIM-medjuprostora (interface) za informacionu i komunikacionu integraciju preduzeća. Za razvoj i primenu CIM-sistema polazi se od primera referentnih modela. Obrazovanje je takodje CIM-aktivnost za buduće inovativne inženjere i nove radne sadržaje. TEMPUS projekt vodi naše fakultete ka svetskim standardima u univerzitetskoj nastavi.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Informaciona integracija CIM-preduzeća obuhvata sve njegove kompjuterizovane aktivnosti kao i relevantne aktivnosti poslovnog okruženja [1]. Integralni informacioni resurs - bazu podataka/znanja koriste konvencionalni sistemi (KS) i inteligentni ekspert sistemi (ES). U CIM-integraciji se respektuju zahtevi međunarodnih standarda, a pre svega standarda za integralno upravljanje kvalitetom (ISO 9000) i STEP standarda za informacioni opis proizvoda za njegov ukupni životni ciklus (ISO 10303).

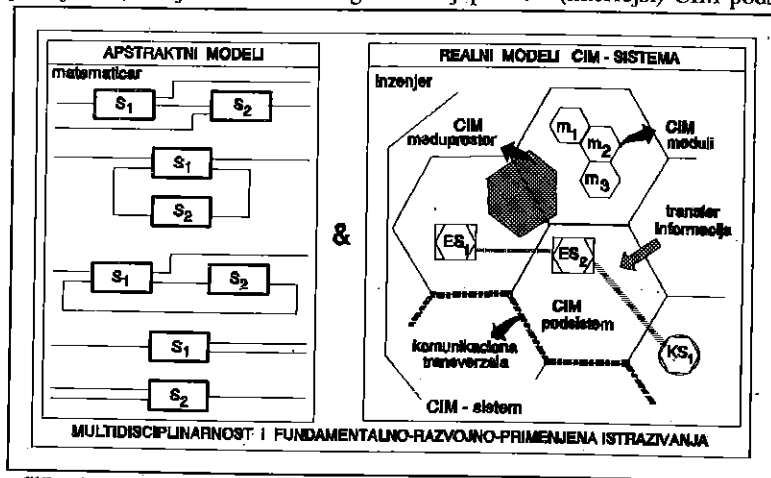
Istraživanja i razvoj CIM-sistema u industrijski razvijenim zemljama već duži period imaju prioritete. Američka asocijacija CASA/SME već 16 godina dodeljuje priznanja vodećim industrijama sveta za uspešnu realizaciju CIM-sistema. Do sada su ovo priznanje dobile industrije [2]: John Deer Tractor Site (1981. godine), Ingersoll Milling Machine Company (1982), AT&T Printed Circuit Board (1983), GEC (1984), Cone Drive Operations (1985), Martin Marietta Energy Systems (1986), Texas Instruments (1987), Allen-Bradley Company (1988), DEC (1989), Corning Asahi Video Products Company (1990), Dana Corporation (1991), Tektronix (1992), The Foxboro Company (1993), Siemens Automotive (1994), APM Incorporated (1994) i najzad, Bejing No. 1 Machine Tool Plant (1995). JUPITER asocijacija kroz projekt MNT-138 i ovim radom promovise istu aktivnost za domaću industriju.

2. TEORIJSKE OSNOVE PROJEKTOVANJA CIM-SISTEMA

Za projektovanje i razvoj CIM-sistema ne postoje nauke ili teorije koje bi se egzaktno primenile. Teorija koja se koristi u tehnološkim sistemima još uvek je više empirijska, opisna

¹ Dr Žarko Spasić, redovni profesor, Mašinski fakultet, 27. marta 80, 11000 Beograd, .Telefon: (+381) 011/32-29-040; Fax: (+381) 011/32-21-198; email: @cent.mas.bg.ac.yu

ili formalna i bez strogo definisanih teorijskih modela. Nauke kao što su Teorija informacija, Nauka o kompjuterima, Opšta teorija sistema i Teorija upravljanja samo su deo baze nauka čijim bi se modifikovanim oblastima mogli da definišu dovoljno verni modeli koji bi se koristili u projektovanju CIM-sistema. Ovo je složen i multidisciplinarni zadatak koji treba zajedno da razreše inženjeri i matematičari, radeći zajedno na razvoju teorije projektovanja (slika 1). Matematski modeli za komponovanje (kaskadno, paralelno i komponovanje sa povratnom vezom) i dekomponovanje (neinteraktivno, kaskadno, paralelno, i dekomponovanje sa povratnom vezom) zajedno sa formalnim matematskim definicijama [3] predstavljaju osnovu za usvojenu arhitekturu CIM-sistema. To znači da se CIM-preduzeće teorijski modelira da bi bilo upravljano podacima/znanjem. Kada se uspostave matematske relacije za opisivanje objekata, iz njih se izvode i logički međuprostori (interfejsi) CIM-podsistema.

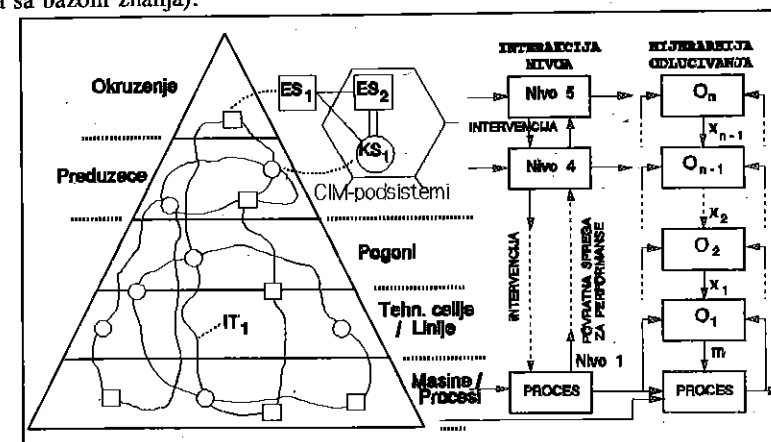


Slika 1. Aspekti matematičara i inženjera u multidisciplinarnim istraživanjima

U integrisanim, hijerarhijskim, višenivojskim kompleksnim sistemima kakav je usvojeni model podacima/znanjem vodjenog CIM-preduzeća, mora da postoji koordinacija nadređenih i podređenih podsistema i modula. Nadređeni element utiče na podređeni u skladu sa postavljenim ciljevima, očekivanim posledicama donetih odluka kao i skupom definisanih ograničenja. Prema karakteristikama hijerarhijskih sistem, nadređeni element ima prioritet delovanja ili pravo na intervenciju (uticaj) i zavisi od stvarnih performansi podređenih elemenata. Performanse se, na slici 2, posmatraju kao povratna veza ili pak kao reagovanje na intervenciju nadređenog elementa hijerarhije.

Sistem donošenja odluka u hijerarhijskim slojevima odlučivanja je kompleksan i predstavlja preferentni izbor aktivnosti koje su na raspolaganju. Izlaz organizacionog bloka (jedinice odlučivanja) najnižeg nivoa je odluka ili selekcionirani pravac delovanja m iz skupa mogućih delovanja, a na osnovu primljenih i obradjenih informacija kao i primenjenog algoritma. Ostali organizacioni blokovi višeg nivoa predstavljaju takodje jedinice za donošenje odluka na osnovu ulaza x_m , dajući izlaz x_{m-1} za blok nižeg nivoa. Na taj način, kompleksni problem je dekomponovan na podprobleme koji se rešavaju postepenim određivanjem pojedinih parametara odlučivanja za konačne odluke O_n bilo koje organizacione jedinice CIM-preduzeća. Često se proces odlučivanja odvija u uslovima neizvesnosti koja se odnosi na nepotpune informacije ili posledice sprovođenja alternativnih akcija. Inteligentne komponente CIM-sistema smanjuju neizvesnost u sistemu odlučivanja učenjem (dopunom baze podataka i mehanizmom zaključivanja o izvedenim činjenicama na bazi poznatih). Algoritam donošenja odluka koristi, kao informacioni resurs, integrisanu bazu podataka ili faktičke i analitičke

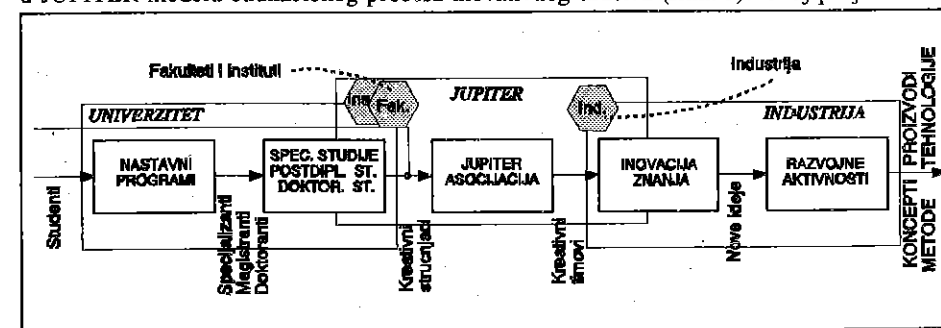
informacije. U procesu donošenja odluka ne uzima se u obzir samo istorija i sadašnjost (zadatak baze podataka sa upitima za pretraživanje), već i ispitivanje budućih stanja sa analitičkim određivanjem posledica u različitim scenarijima planiranja (zadatak ekspert sistema sa bazom znanja).



Slika 2. Donošenje odluka u interakciji hijerarhijskih nivoa

3. ISTRAŽIVANJA ZA RAZVOJ CIM-SISTEMA

Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije finansira istraživanja na strateškom projekt C.5.03.64.138 koji čine dvanaest komplementarnih podprojekata [4]. Učesnici u istraživanju su Mašinski fakultet - Beograd, LOLA korporacija, Mašinski fakultet - Kragujevac, Institut "Mihajlo Pupin", Mašinski fakultet - Kraljevo, Mašinski fakultet - Niš, Tehnički fakultet - Čačak i Tehnološko-metalurški fakultet - Beograd kao i 11 industija - korisnika istraživanja. Iako je osnovni zadatak strateških projekata da uspostavi dugoročne razvojne koncepte industija koje su korisnici ovih istraživanja, koncepcija ovog projekta je da se dodje do primenjenih rešenja ili da se definišu proistekli razvojni i inovacioni projekti u JUPITER-modelu edukacionog procesa inovativnog društva (slika 3). Ovaj projekt

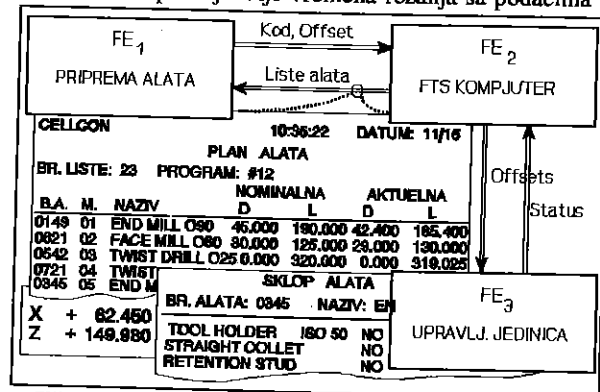


Slika 3. Model edukacionog procesa inovativnog društva i JUPITER asocijacija

respektuje trenutna postsankciona ograničenja i potrebe za revitalizacijom opreme, software-a, baza podataka, informacionih i komunikacionih sistema kao i neophodne tehnološke promene privrede. Standardizacija podrazumeva primenu specifikacija JUS ISO 9000 (model CIM/TQM preduzeća), ISO 10503 (modeli CIM/STEP i CIM/CED preduzeća). U narednom poglavlju se daje primer CIM-medjuprostora projektovanog u ovom projektu.

4. RAZVOJ I PRIMENA CIM-SISTEMA

Razmena informacija izmedju organizacionih jedinica koje su locirane na svim nivoima usvojenog modela podacima/znanjem vodjenog CIM-preduzeća (slika 2) odvija se vertikalnim i horizontalnim informacionim tokovima (IT). Tako na primer, informacioni tok za poslovanje alatima obuhvata aktivnosti svih nivoa kao što su klasifikacija i identifikacija alata, nabavka alata, projektovanje i izrada nestandardnih alata, skladištenje i optimizacija zaliha, određivanje ekonomskih uslova rezanja za materijale alata i radnog predmeta, podešavanje i kodiranje alata, distribucija alata i praćenje alata u eksploataciji. Mnoge od spomenutih aktivnosti se odnose na oblast upravljanja proizvodnjom (identifikacija, nabavka, skladištenje). Podaci obradljivosti zapisani su u banku tehnoloških podataka koja se koristi u automatskom projektovanju tehnoloških procesa. Podešavanje alata za NC/CNC programe prethodi distribuciji prema listama potrebnih alata za obradu određenih delova na određenim mašinama. U fleksibilnim tehnološkim sistemima (FTS) postoji kontrola oštećenja i zatupljenja alata, kao i upoređivanje vremena rezanja sa podacima o postojanosti alata.



Slika 4. Transfer podataka izmedju funkcionalnih entiteta

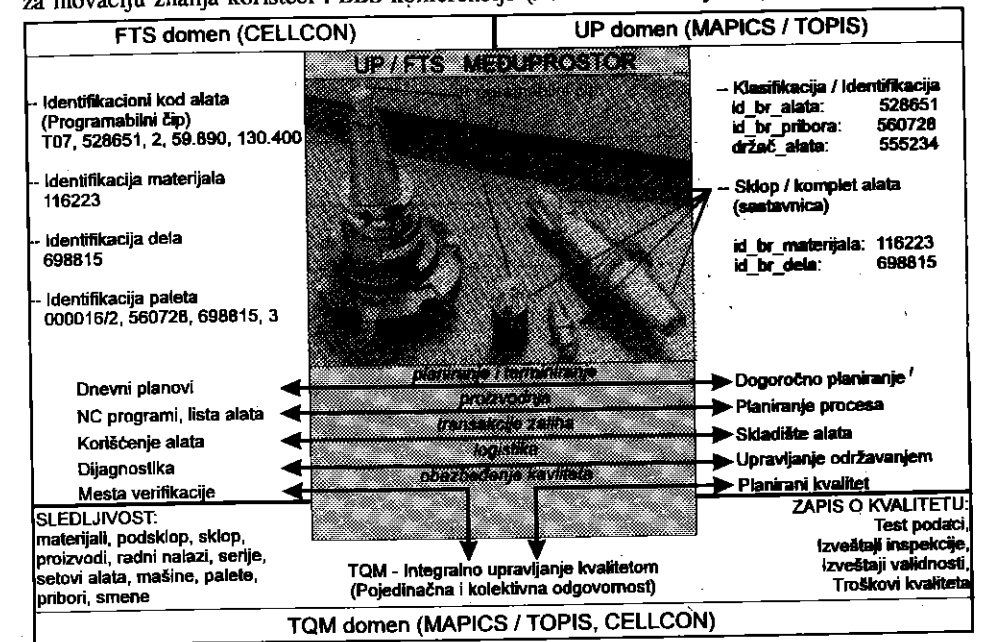
radnih stanica kao posebnih funkcionalnih entiteta CIM-sistema. Ove se informacije prosledjuju funkcionalnom entitetu FE₁ koji je sposoban za precizno podešavanje i zapisivanje potrebnih parametara. Izmerene vrednosti se zapisuju u plan alata i prosledjuju upravljačkoj jedinici (FE₃) posredstvom funkcionalnog entiteta FE₂.

Pored standardnih medjuprostora za CIM integraciju neophodan je razvoj specijalizovanih medjuprostora koji će povezati dve ili više CIM komponente. Medjuprostor koji povezuje FTS domen i kompleksni domen upravljanja proizvodnjom (UP), uključujući i TQM-koncept integralnog obezbedjenja kvaliteta, prikazan je na slici 5. Na osnovu jedinstvenog označavanja svih činilaca poslovanja izvršena je njihova identifikacija i kodiranje za rad u FTS-sistemu, kako bi se dobio izveštaj o sledljivosti elemenata u procesu proizvodnje. Osnovni elementi za integraciju su LOLA CELLCON ćelijski kontroler i MAPICS- (LOLA Institut) ili TOPIS- (Mašinski fakultet Beograd) moduli za upravljanje proizvodnjom. Na osnovu projektovanog medjuprostora i integralne baze podataka/znanja dobijaju se izlazni izveštaji o ostvarenom kvalitetu proizvoda sa uzročnicima lošeg kvaliteta na bazi sledljivosti (materijal, mašina, alat, smena i drugo) [6] kao jednog od zahtev serije standarda ISO 9000.

5. EDUKACIJA ZA CIM-SISTEME

Edukacija za CIM-sisteme je neophodna kako bi se ljudski resursi CIM-preduzeća prilagodili novim radnim sadržajima usvajajući kroz nastavu i trening neophodna znanja.

Oblici edukacije su dodiplomska nastava, specijalistička i postdiplomska nastava i seminari za inovaciju znanja koristeći i BBS konferencije (Bulletin Board System).



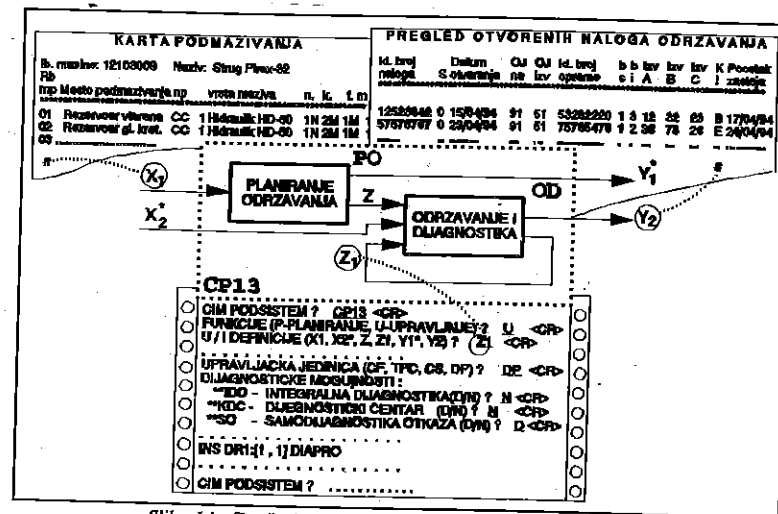
Slika 5. FTS/UP/TQM CIM-medjuprostor sa elementima TOPIS, MAPICS i CELLCON

Polazeći od teorijskih postavki iz tačke 1, ilustruje se primer realnog modeliranja CIM-podsistema CP13: Održavanje i dijagnostika referentnog JUPITER-modela CIM-sistema u kome je, kao studentski zadatak iz TEMPUS projekta, trebalo komponovati funkcije planiranja i upravljanja i navesti značenje svih definisanih ulaza i izlaza. Kaskadnim komponovanjem sa povratnom vezom (slika 6) moduli PO (planiranje održavanja) i OD (održavanje i dijagnostika) čine CIM-podsystem CP13. Informacioni ulazi, izlazi i povratna sprega imaju sledeća značenja: X₁ -- dokumentacija i preporuke isporučioaca opreme i delova; X₂* -- kvarovi, slučajni otkazi; Z -- nalozi za intervencije, pregledi stanja; Z₁ -- dijagnostika i odgovarajuće popravke; Y₁* -- definisani planovi, rezervni delovi, oprema, resursi; Y₂ -- izveštavanje (troškovi, zalihe, zastoji, raspoloživost opreme, statističke analize). Na istoj slici prikazan je deo programa za primer komponovanja podsistema CP13 pri instalisanju CIM-sistema za konkretnu proizvodnu organizaciju kao i moguća značenja ulaza X₁ i izlaza Y₂.

6. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Razvoj CIM-sistema za potrebe domaće industrije u relaciji "Istraživanje - Razvoj - Primena - Obrazovanje" uspešno se ostvaruje kroz strateški projekt MNT-138 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije. Polazeći od teorijskih postavki, dolazi se do praktičnih rezultata za korisnike različitih grana industrije. Time se ostvaruje transfer znanja iz oblasti proizvodnog mašinstva u drge oblasti što je i jedan od projektnih zahteva.

Navedena relacija se ostvaruje kroz integralni JUPITER-model edukacionog procesa inovativnog društva. JUPITER asocijacija će koordinirati razvoj CIM-sistema domaće industrije, a na primerima medjunarodnih asocijacija (na primer, CASA/SME) u ovom radu



Slika 14. Značenja ulaza/izlaza u komponovanju podsistema

D. KVALITET

Kvalitet D1÷D13

D. QUALITY

Quality D1÷D13

promoviše vrednovanje uspešnih realizacija CIM-sistema domaćih industrija. Za uspešnu primenu CIM-sistema od posebnog je značaja edukacija za nove radne sadržaje na CIM radnim mestima. Medjunarodni projekti istraživanja u nastavi su način da se standardizuju elementi univerzitetske nastave. TEMPUS projekti Katedre za proizvodno mašinstvo integrisali su aktivnosti tehnološkog menadžmenta i integralnog upravljanja kvalitetom kroz CIM-tehnologije definišući model CIM/TQM preduzeća.

7. LITERATURA

- [1] Spasić, Ž., Marković-Dimitrijević, Lj., Pilipović, M., Informaciona integracija preduzeća - CIM-integracija menadžmenta i kvaliteta, Naučna knjiga, Beograd, 1994.
- [2] Hensley, T., et al., Industry Leaders and Manufacturing Excellence: The CASA/SME Industry Lead Award Winners, SME Blue Series, Dearborn, USA, 1996.
- [3] Mesarović, M.D., Takahara, Y., General System Theory: Mathematical Foundations, Academic Press, New York, 1995.
- [4] Spasić, Ž., Vraneš, S., Lukić, Lj., Pijevac, T., Komadinčić, V., Tošković, N., CIM-modeli poslovno-proizvodnih sistema: Od strateškog koncepta do primene, Pozivno predavanje i prezentacija rezultata projekta 138, Infoten'96, Donji Milanovac, 1996.
- [5] Bućan, M. et al., Projekt softvera za mašinu za podešavanje alata UPH-300/500 PC, Projektna dokumentacija, LOLA korporacija, Beograd, 1993.
- [6] Spasić, Ž., Pilipović, M., Bućan, M., Kalajdžić, M., FMS and Production Control Integration in a CIM Enterprise, NAMRC XXIV, Ann Arbor, USA, 1996.

Ž. Spasić

CIM-Systems in the Relation "Research - Development - Implementation - Education"

Abstract. Development of CIM-systems (CIM - Computer Integrated Manufacturing) is one of the priority direction of technology development of domestic industry. Strategic goal of an enterprise is concerned to the successful integration of all computerized activities with the low risk in investment of equipment for advanced technologies. The paper presents the integral way for CIM-system development in the relation given in the title. Starting from the two referent models (JUPITER and LOLA IBM), CIM-interface design is concerned to the integration of two domains of known enterprise: Production Control and Flexible Manufacturing System. Education is also one important activity for new working contents in all CIM working places for the innovative engineers of the future. TEMPUS projects leads our faculties to the international standards of the university education.



Dejan Cupać, Branko Popović¹

PROJEKTOVANJE BAZE PODATAKA TROŠKOVA KVALITETA²

Rezime

Osnovna strategija politike upravljanja kvalitetom i njenih taktika su praćenje troškova kvaliteta i njihovo racionalno smanjenje. U Sistemu kvaliteta troškovi su prisutni u postupcima operativnog upravljanja i u postupku provjere upravljanja. Pri planiranju, evidentiranju i optimizaciji troškova u Sistemu kvaliteta neophodno je da se koriste savremena sredstva informacione tehnologije.

1. UVOD

Upravljanje kvalitetom proizvoda ostvaruje se u izvesnom podsistemu projektovanog, osnovanog i atestiranog Sistema kvaliteta. Ovaj podsistem upravljanja kvalitetom ostvaruje svoje ciljeve putem izvođenja dokumentovanih postupaka upravljanja.

Postupci upravljanja u Sistemu kvaliteta obuhvataju operativno upravljanje, proveru upravljanja, kao i preispitivanje upravljanja. Operativno upravljanje omogućava provođenje operativnog kontrolisanja primenom postupaka i preventivnih mera. Postupci operativnog upravljanja omogućavaju koordinaciju raznovrsnih aktivnosti efikasnog Sistema kvaliteta. Preventivne mere operativnog upravljanja sprečavaju pojave problema u upravljanju, a ne umanjuju sposobnost reagovanja na otkaze i njihovo otklanjanje. Provera upravljanja obuhvata postupke proveravanja i ocenjivanja efikasnosti sistema kvaliteta razmatranjem operativnih troškova (preventive i gubitaka) kao i eksternih troškova kvaliteta. Preispitivanje upravljanja je nezavisno proveravanje sistema kvaliteta.

Efikasnost upravljanja kvalitetom zasniva se na racionalnom smanjenju troškova kvaliteta koji nastaju kao posledica proizvodnih procesa. Ako se prate troškovi kvaliteta onda je moguće i njihovo smanjenje a time i upravljanje kvalitetom. Polazeći od ovih postavki konsultanti sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu projektuju i uvode sisteme u značajnijim industrijskim preduzećima u našoj zemlji. Projektovanje je ograničeno na metaloprerađivačku industriju i na najvišu kategoriju atesta, prema modelu ISO 9001 [10].

U ovom radu naznačeni su polazni elementi u projektovanju Baze podataka troškova kvaliteta koje se izvodi u pomenutim preduzećima, pored ostalih baza podataka: reklamacija merne, kontrolne i ispitne opreme, stručnih kadrova kao i postupaka rada. Istraživanja u vezi sa projektovanjem baze podataka troškova kvaliteta potpomognuto su od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Srbije.

2. GREŠKA KVALITETA

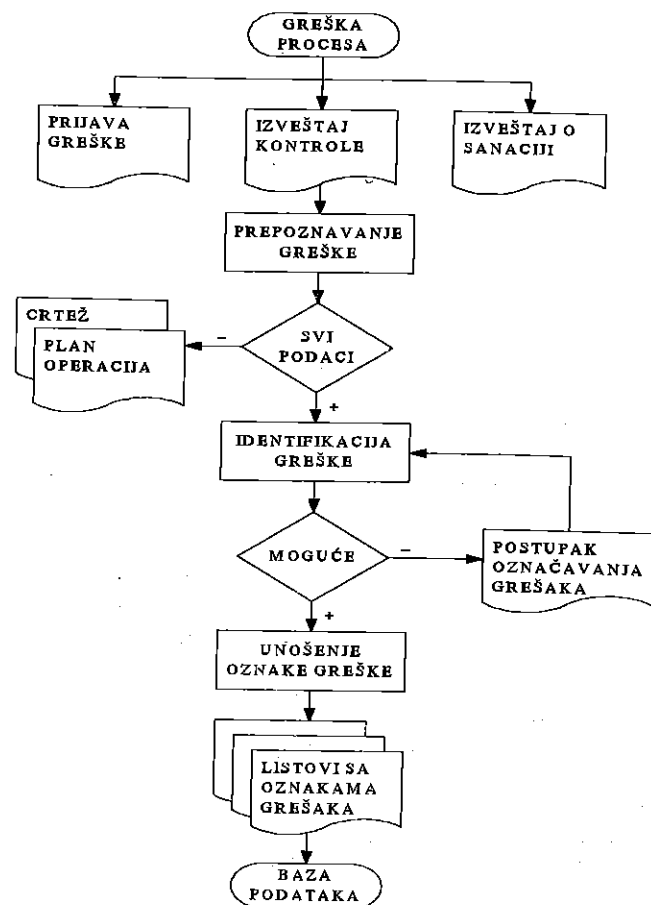
U proizvodnim procesima pored izvesnosti ishoda neminovno nastaju i neželjene greške kvaliteta koje uzrokuju troškove: sredstava, vremena i mase materijala. Ovi troškovi

¹ Dejan Cupać, dipl. ing., saradnik, dr Branko Popović, redovni profesor, Institut za industrijske sisteme, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

² Saopštenje sa fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu iz projekta "Projektovanje i izrada Baze podataka za Sistem kvaliteta" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije

grešaka kvaliteta pripadaju operativnim troškovima, i mogu smanjiti evidentiranjem i selekcijom uz primenu baze podataka sa troškovima.

Greška kvaliteta se uočava, dokumentuje, otklanja i proverava. Uočavanja greške kvaliteta viši se opisivanjem u prijavi greške prema slici 1. Prijava greške je dokument u kome se nalazi detaljan opis uočene greške kvaliteta, a ispunjava ga kontrolor u ulaznoj, procesnoj i izlaznoj kontroli, kao i kontrolor obezbeđenja kvaliteta. Detaljan opis uočene greške kvaliteta sadrži: procenjenu vrstu greške, radni sistem u kome se pojavila greška, nosioca greške, lokaciju greške i mogućnost eliminisanja greške.



Slika 1. Shema identifikovanja greške kvaliteta

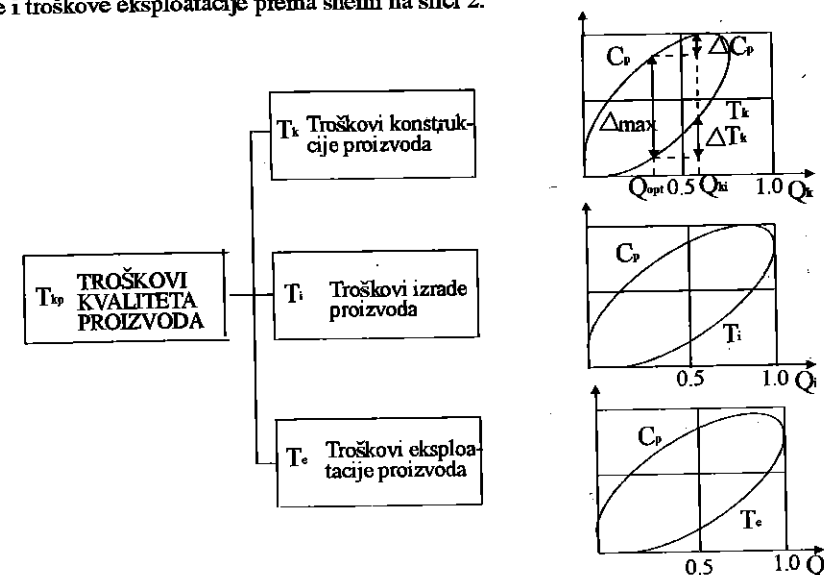
Greška kvaliteta se dokumentuje u izveštaju kontrole. Izveštaj kontrole o grešci kvaliteta sadrži: proveru detaljnog opisa greške kvaliteta, laboratorijski nalaz i plan potrebnih sanacionih mera koji omogućavaju eliminisanje greške.

Greška kvaliteta se otklanja sanacijom u radnom sistemu u kome je nastala ili u nekom drugom proizvodnom sistemu a posle provere izrađuje se izveštaj o sanaciji. Izveštaj o sanaciji greške kvaliteta sadrži detaljan opis izvršene sanacije kao i elemente utrošenih sredstava i vremena.

Posle uočavanja, dokumentovanja, otklanjanja i proveravanja greške kvaliteta viši se identifikacija grešaka. Identifikacija grešaka obuhvata označavanje grešaka odgovarajućom oznakom za obradu u informacionom sistemu.

3. TROŠKOVI KVALITETA

Pri uočavanju, evidentiranju i optimizaciji troškova u Sistemu kvaliteta treba da se naglasi da kvalitet proizvoda čine osnovni kvaliteti: Q_k - konstrukcije [1], Q_i - izrade [2], [3] i Q_e - eksploatacije proizvoda [8],[11]. Svaki od ovih osnovnih kvaliteta uzrokuje određene troškove, tako da troškove kvaliteta proizvoda obuhvataju: troškove konstrukcije, troškove izrade i troškove eksploatacije prema shemi na slici 2.



Slika 2. Troškovi kvaliteta proizvoda

Troškovi konstrukcije proizvoda (T_k) eksponencijalno rastu sa porastom kvaliteta konstrukcije (Q_k) i predstavljaju izvestan deo prodajne cene proizvoda (C_p). Troškovi izrade rastu nešto sporije kao i troškovi eksploatacije proizvoda, ali i oni doprinose povišenju prodajne cene proizvoda [5], [6], [7]. Vrednosti kvaliteta Q_k , Q_i i Q_e postavlja Politika kvaliteta i njene taktike pri čemu se treba da zadovolji iznos kvaliteta proizvoda, prema formuli:

$$Q = \frac{Q_k + Q_i + Q_e}{\sum_{i=1}^m K_i}$$

gde su: Q_k - kvalitet konstrukcije proizvoda,
 Q_i - kvalitet izrade proizvoda,
 Q_e - kvalitet eksploatacije proizvoda,
 $i = 1, 2, \dots, m$, broj karakteristika kvaliteta i
 K_i - koeficijent i-te karakteristike kvaliteta proizvoda.

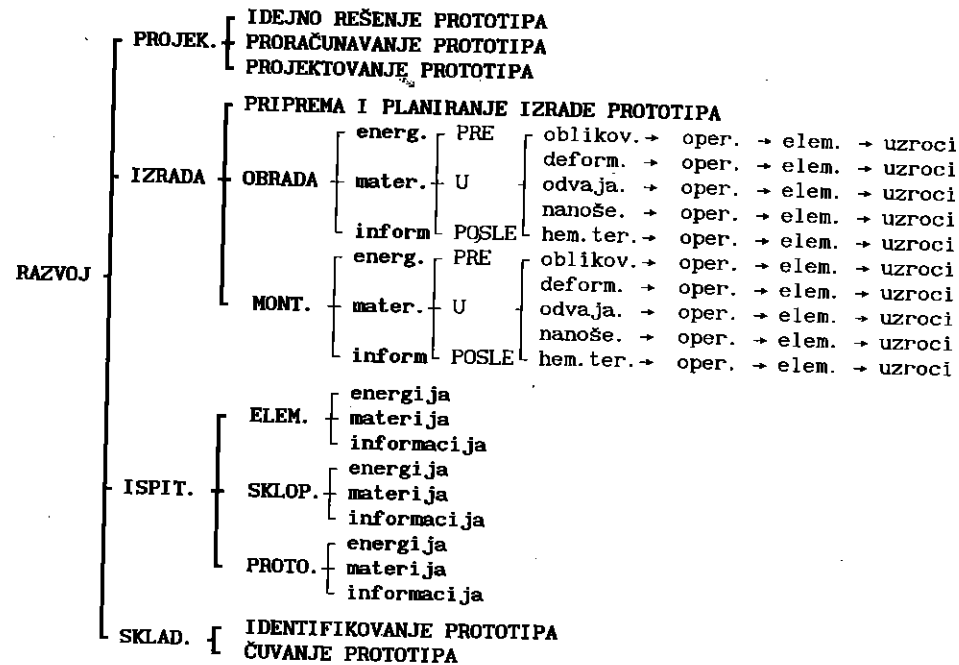
Optimalan kvalitet konstrukcije, izrade ili eksploatacije uvek daje najveća vrednost razlike između prodajne cene i troškova kvaliteta. Tako optimalan kvalitet konstrukcije Q_{opt} daje najveća vrednost razlike:

$$\Delta_{max} = C_p - T_k,$$

a još viši kvalitet konstrukcije Q_{k1} , daje samo neznatni porast cene proizvoda ΔC_p , uz znatno povišenje troškova konstrukcije ΔT_k .

4. OZNAČAVANJE TROŠKOVA

Greška kvaliteta i njeni pripadajući troškovi treba da se označe na poseban način kako bi mogla da se koristi u bazi podataka. Označavanje se viši primenom posebne oznake koja omogućava utvrđivanje tačnog odnosa između uzroka i posledica. Oznaka se zasniva na utvrđivanju hijerarhijskog odnosa između pojedinih nivoa koji počinju od elementarnih uzroka, a nastaju u razvoju prototipova prikazane su na slici 3. Obuhvaćeno je ukupno devet nivoa a u još detaljnijoj analizi može se ići i do dvanaest nivoa.



Slika 3. Podloge za označavanje troškova koji nastaju pri razvoju prototipova

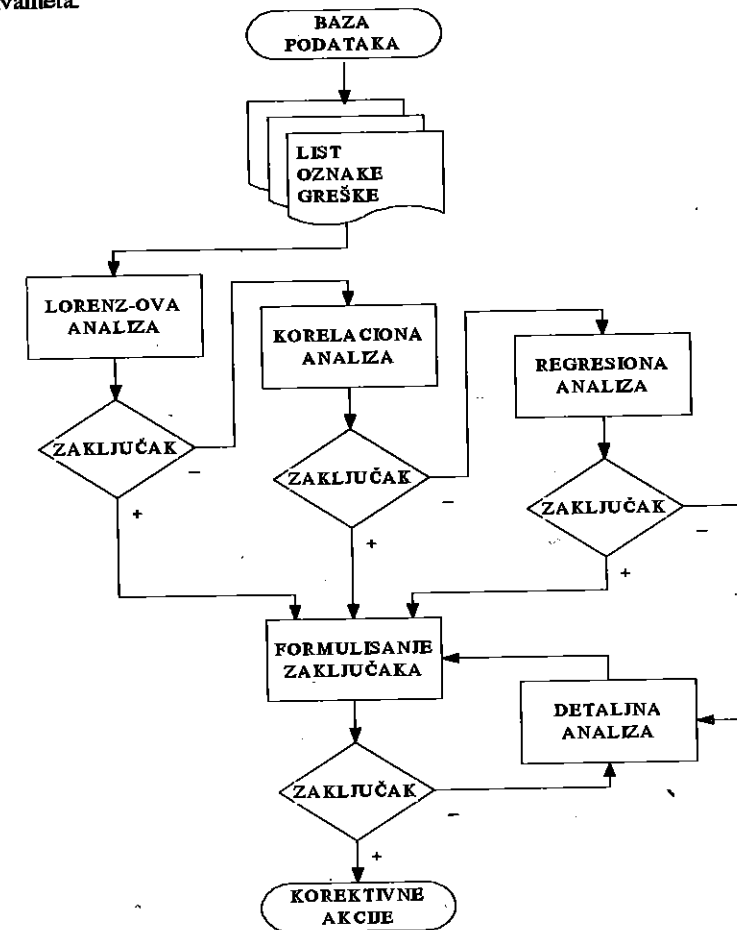
Primenjujući datu identifikaciju grešaka kvaliteta i koristeći usvojene podloge za označavanje troškova kvaliteta mogu da se definišu konačne upravljačke akcije. Formulisanje upravljačkih akcija primenjuje shemu koja je prikazana na slici 4. Polazi se od prikupljenih listova sa oznakom grešaka i prvo se primenjuje Lorenz-ova analiza. Ako se može odmah doneti zaključak viši se formulisanje upravljačkih akcija a ako to nije moguće nastavlja se obrada podataka koja obuhvata korelaciju, a zatim i regresionu analizu [4], [9].

Ako formulisanje upravljačkih akcija nije još uvek moguće ponovo se provodi detaljna analiza svih dobijenih podataka. Dobijeni rezultati omogućuju izdvajanje grešaka kvaliteta koje imaju najveći značaj odnosno frekvenciju pojave. Za takvu grešku kvaliteta treba primeniti upravljačku akciju, koju definiše odeljenje kvaliteta u Sistemu kvaliteta.

5. TOKOVI INFORMACIJA

Informacioni sistem kvaliteta omogućuje upravljanje kvalitetom u preduzeću koristeći svoju informacionu mrežu unutar niza informacionih mreža proizvodnog sistema. Informaciona mreža sistema povezuje postavljene zahteve za informacijama sa izvorima podataka, u svakom procesu odlučivanja a ona se prostire kroz sve proizvodne procese. Informacioni sistem kvaliteta izvršava zadatke: određivanja, prikupljanja, obrade, analize,

prenošenja i tumačenja svih informacija o kvalitetu proizvoda, obuhvaćenih dokumentacijom sistema kvaliteta.

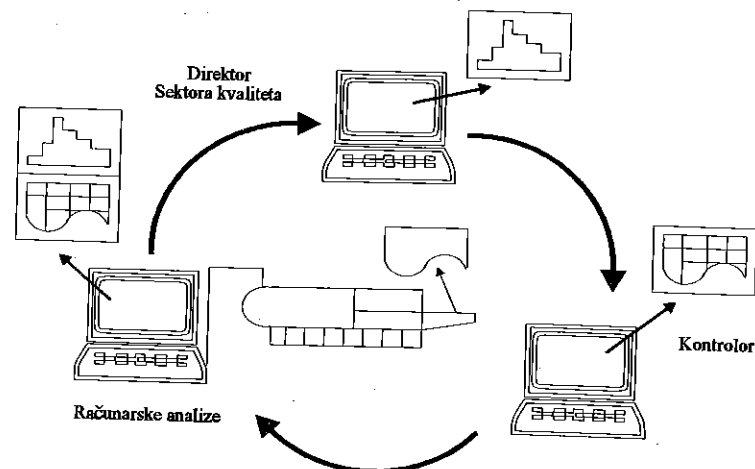


Slika 4. Shema formulisanja upravljačkih akcija

Informacioni sistem u Sistemu kvaliteta rešava informacione zadatke u podsystemima upravljanja kvalitetom i obezbeđenja kvaliteta. Prikupljanje podataka viši se u podsystemu upravljanja kvalitetom (Slika 5). Kontrolori u ulaznoj, procesnoj, izlaznoj kontroli i kontrolori obezbeđenja kvaliteta prijavljuju i evidentiraju nastale greške kvaliteta. Svi prikupljeni podaci se obrađuju i dokumentuju u odeljenju računarskih analiza koje pripada podsystemu obezbeđenja kvaliteta. Obradeni podaci se nalaze pred direktorom Sektora kvaliteta i on može u svakom trenutku da preduzima određene upravljačke akcije kojima deluje na smanjenje grešaka kvaliteta i njima prouzrokovanih troškova u Sistemu kvaliteta.

6. ZAKLJUČAK

Efikasnost upravljanja kvalitetom zasniva se na racionalnom smanjenju troškova kvaliteta koji nastaju kao posledica proizvodnih procesa. Ako se prate troškovi kvaliteta onda je moguće i njihovo smanjenje a time i upravljanje kvalitetom. Za efikasno praćenje troškova kvaliteta neophodno je koristiti savremena sredstva informacione tehnologije. Projektovanje odgovarajuće baze podataka troškova kvaliteta omogućuje pravovremeno formulisanje adekvatnih upravljačkih akcija.



Slika 5. Tok informacija o troškovima kvaliteta

LITERATURA:

- [1] J.M. Juran, L.A. Seder, F.M. Gryna, Quality Control Handbook, McGraw-Hill Book Co, New York-London (1974)
- [2] D.C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, New York (1985)
- [3] Statistical Process Control, American Society for Quality Control, Milwaukee (1986)
- [4] B. Popović, B. Kamberović, Upravljanje kvalitetom, Zbirka rešenih zadataka sa objašnjenjima, Naučna knjiga, Beograd (1987)
- [5] L.K. Chan, S.W. Cheng, F. A. Spiring, A New Measure of Process Capability: Cpm, Journal of Quality Tehnology, 20(1988)162-175
- [6] R.A. Booyles, The Taguchi Capabiliti Index, Journal of Quality Technology, 23(1991)17-26
- [7] N.L. Johnson, S. Kotz, W.L. Peam, A Unified Treatment of Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, 24(1992)11-32
- [8] B. Popović, Obezbedenje kvaliteta proizvoda (Quality Assurance), Beograd, Nauka (1992)
- [9] B. Popović, Ulazna kontrola kvaliteta (Incoming-material Control), Naučna knjiga, Beograd (1993)
- [10] B. Popović, B. Vukić, Projektovanje Sistema kvaliteta u proizvodnom mašinstvu, V Međunarodna naučno-stručna konferencija MMA '94, Zbornik radova, Novi Sad (1994)
- [11] W. Masing, Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag, Munchen-Wien (1994)

QUALITY COSTS DATABASE DESIGN

Abstract

Quality costs and their rational decrease are available in the basic strategies of quality control and applicable quality tactics. In the quality system costs are present at operating management procedures and particularly at management inspection. During planning, registering and optimization of costs which appear in the quality system it is necessary to use modern means of information system

D. Čolović, S. Ilić, B. Milenković

KOMPJUTER KAO SREDSTVO ZA ISPUNJENJE ZAHTEVA STANDARDA KVALITETA

Rezime

Ocena kvaliteta dobavljača (pravljenje liste nepodobnih dobavljača) i procena pouzdanosti predstavljaju značajan faktor za uspešno poslovanje. Zato je kod izbora dobavljača neophodno upotrebiti pogodnu metodu za procenu njihove pouzdanosti.

- ** U ovom radu posmatrana su dva dobavljača (Firma 1 i Firma 2) za potrebe FETP-a. Procena pouzdanosti izvršeno je na osnovu (programskog paketa 'UZORAK') prihvatljivog nivoa kvaliteta A_c i nadenog (broj za odbijanje Re) saglasno standardu JUS N.NO.029. Na osnovu broja isporuka za vraćanje pristupa se eksternoj proveru dobavljača direktno u preduzeću koje isporučuje robu. Naš zadatak je da verifikujemo da li je poslovanje preduzeća isporučilaca usaglašeno sa zahtevima dogovorenim u ugovoru. Šire gledano, to su: provere sistema kvaliteta (u upotrebi je termin - ocenjivanje), provere tehničkih mogućnosti / sposobnosti (ocenjivanje sposobnosti), verifikacione provere, provere nadzora itd.
- ** Postupak interne provere u FETP-a.

1. UVOD

Kada uvođenje sistema kvaliteta postaje obaveza svake firme neophodno je uvesti i metode za zaštitu kvaliteta svojih proizvoda kao i kontrolu kvaliteta samih ulaznih materijala. U ovom radu je prezentirana jednostavna metoda za procenu pouzdanosti dobavljača koja je primenjena u FETP-a u skladu sa zahtevima standarda JUS N.NO.029. Na osnovu rezultata ove metode pristupa se direktnoj proveru dobavljača preko programa INTERNE PROVERE sistema kvaliteta prema zahtevima standarda JUS ISO 9001. Međutim, kvalitet ulaznog materijala direktno utiče na kvalitet finalnih proizvoda i može se označiti kao najznačajniji faktor u kriterijumu izbora dobavljača. U ovom radu je prikazana metoda za procenu pouzdanosti dobavljača, kao i Interne provere sistema kvaliteta u samom FETP-a u skladu sa zahtevima standarda JUS ISO 9001.

2. POSTUPAK

Podaci o prispelim isporukama prikupljeni su iz Dnevnog izveštaja o kvalitetu prispelog materijala. Rangiranje analiziranih dobavljača izvršeno je na osnovu broja vraćenih isporuka i broja isporuka sa primedbama po godini/mesecu.

D. Čolović, S. Ilić, B. Milenković, Magnohrom - Fabrika elektrotermičkih proizvoda, Dositejeva b.b, 36000 Kraljevo

Standard JUS N.N0.029 propisuje planove i postupke uzimanja uzoraka za kontrolu prema atributima. Kada potrošač odredi neku AQL-vrednost¹ za izvesnu manu ili grupu mana, on naznačuje dobavljaču da će njegov plan kontrole za uzimanje uzoraka prihvatiti veliku većinu partija koje dobavljač šalje, pod uslovom da prosečna vrednost procenta neispravnih jedinica proizvoda u procesu (ili mana na stotinu jedinica) u ovim partijama nije veća od naznačene AQL-vrednosti. Planovi uzimanja uzoraka koje propisuje ovaj standard (program UZORAK) su tako definisani da verovatnoća prihvatanja određene vrednosti AQL-vrednosti zavisi od veličine uzorka i u principu je veća za uzorke sa većim brojem jedinica proizvoda nego za uzorke sa malim brojem jedinica, za istu AQL-vrednost.

¹AQL- Prihvatljivi nivo kvaliteta

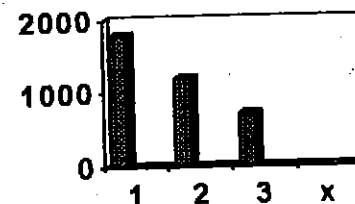
Plastični kazan	1785	1785	PRIMITI	
Plastični kazan	230	230	PRIMITI	
-----	1185		ODBACITI	
-----	885	702	100%	702 PRIMITI
-----	1485	1485	PRIMITI	
Plastični kazan	615		ODBACITI	
Plastični kazan	750	750	PRIMITI	

Tabela 1.

Ventilator	2000	2000	PRIMITI	
-----	1472	1102	100%	370 ODBACITI
-----	744		ODBACITI	
Ventilator	760	760	PRIMITI	
Ventilator	1240		ODBACITI	

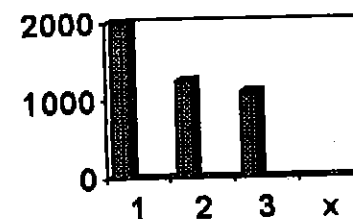
Tabela 2.

Na početku kontrolisanja Planom kontrole predviđena je normalna kontrola. Kada se započne kontrolisanje normalnom, pooštrenom ili redukovanom kontrolom, kontrolisanje treba da se odvija bez promene za svaku vrstu mana ili neispravnih jedinica proizvoda, redom od partije do partije, izuzev ako je promena nužna, što se određuje na osnovu pravila u tač. 1.1.



1. Primljeno
2. Odbijeno
3. Primljeno sa odstupanjem

sl.1 Odnosi se na Tabelu 1.



sl.2 Odnosi se na Tabelu 2.

Tačka 1.1 Pravila za promenu kontrole

1.1.a) Promena od normalne na pooštrenu kontrolu

Kada se pri normalnoj kontroli od 5 uzastopno kontrolisanih partija (ne računaju se partije koje se drugi put kontrolišu, npr. posle popravke) odbace 2 partije, tada se sa normalne prelazi na pooštrenu kontrolu.

1.1.b) Prekidanje kontrolisanja

Ako se na 3 uzastopno pregledanih partija neprekidno ostaje na pooštrenoj kontroli, mora se prekinuti kontrolisanje prema ovom standardu, da bi se popravio kvalitet isporučenog materijala.

3. I TADA SE PRISTUPA SAMOJ PROVERI DOBAVLJAČA. Pričemu je postupak interne provere samog proizvođača, postupak Interne provere u samom FETP-a potpuno isti.

Prilikom provere/ocene sistema kvaliteta koriste se :

Zapis: Upitnik za proveru sistema obezbeđenja kvaliteta



Obrazac :Upitnik sadrži:

- pitanja za svaku tačku, a u okviru nje i za svaku podtačku elementa sistema kvaliteta počev od tačke 4.1 do 4.20;
- pitanja sastavljena prema JUS ISO 9001, čime se obezbeđuje rizik da proveravač nameće svoje mišljenje po pitanju zahteva, značenja i primene standarda sistema kvaliteta;

c.) nedvosmislene odgovore , koje je lako oceniti ocenom od 1 do 5.

Primer:

- ocena 5 - odlično stanje bez potrebnih izmena
- ocena 4 - jako dobro stanje, malo potrebnih izmena
- ocena 3 - zadovoljavajuće stanje, sa potrebnim poboljšanjem
- ocena 2 - nezadovoljavajuće stanje
- ocena 1 - stanje bez ikakvog stanja kvaliteta.

Na set pitanja (već pripremljena) u okviru tačke 4.1 - t.4.20 biramo jedan od ponuđenih odgovora. Program će sam oceniti Sistem kvaliteta i proceniti slaba mesta u Sistemu kvaliteta.

Primer za t.4.1 - ODGOVORNOST RUKOVODSTVA (Tačka 4.1 JUS ISO 9001)

1. Da li ste definisali i dokumentovali svoju politiku kvaliteta, ciljeve i obaveze za kvalitet?

Odgovor:

SREDNJA OCENA: 2.56

Politika kvaliteta je definisana i ne sprovodi se u potpunosti. Svoje obaveze prema kvalitetu rukovodstvo izvršava kada nastanu problemi (bez planiranja). Politika kvaliteta još uvek nije esencijalni deo politike preduzeća.

Inicijativa za sprovođenje interne provere može da potekne od: direktora Fabrike, Odbora za kvalitet, Sektora za obezbeđenje kvaliteta i rukovodioca Sektora/sluzbi. Za sprovođenje interne provere odgovorna je Sluzba za interne provere.

DOKUMENTI ZA VEZU

- Poslovnik o kvalitetu,
- Kontrolne liste,
- Izveštaj o neusaglašenosti sa predlogom korektivnih mera,
- Procedure sistema kvaliteta i
- Uputstva sistema kvaliteta.

Interna provera sistema kvaliteta je ispitivanje čiji je cilj utvrđivanje koliko se u praksi primenjuje sistem kvaliteta definisan DOKUMENTIMA ZA VEZU.

INTERNE PROVERE u FETP-u se sprovode :

- kada direktor fabrike i rukovodioci sektora uoče neusaglašenosti, u odnosu na priznat sistem kvaliteta.
- Kada, na osnovu zapisa Evidencija o nesaglašenosti sistema za obezbeđenje kvaliteta, Sektor za obezbeđenje kvaliteta proceni da se priznati sistem kvaliteta ne primenjuje u većem delu Fabrike.

Postupak sprovođenja internih provera

- priprema interne provere,
- izrada plana za internu proveru.

• 4. PRIPREMA INTERNE PROVERE

- Odluka direktora ili Odbora za kvalitet za sprovođenje interne provere,
- Izbor Tima (glavnog proveravača i proveravača),
- Odluka direktora o imenovanju Tima.

4.1 Izrada plana za internu proveru

Tim za internu proveru sistema kvaliteta, na svom uvodnom sastanku pravi kontrolne liste koje sadrže pitanja koja će biti postavljena prilikom interne provere (sa strane treba ostaviti mesta za odgovor, zapažanja, primedbe i slično).

Pitanja u kontrolnim listama treba formulirati tako da se na njih može dati jasan i nedvosmislen odgovor.

Planom za internu proveru treba definisati i :

- Predmet provere
- Način provere (dokumentacija, materijal, oprema, osoblje...)
- Metod provere
- kriterijum šta zadovoljava, nezadovoljava
- Vremenski raspored provere (satnica).

5. REALIZACIJA INTERNE PROVERE

Realizacija interne provere se ostvaruje prema planu za internu proveru iz tačke 4.1 i vremenskom rasporedu provere.

5.1 Izveštaj sa interne provere

Nakon sprovedene interne provere, Tim za internu proveru organizuje zaključni sastanak na kome se sačinjava izveštaj sa interne provere.

Izveštaj sadrži :

- izveštaj o neusaglašenosti sa predlogom korektivnih mera (popunjavaju se obrasci).
- istaknuta opšta ocena.

Izveštaj sa intrene provere potpisuju proveravači, nakon čega se izveštaj sa predloženim korektivnim merama dostavlja Odboru za kvalitet.

5.2 Praćenje realizacije korektivnih mera

Odbor za kvalitet prati realizaciju svake predložene korektivne mere, i u slučaju da nije realizovana u roku, definiše novi rok i utvrđuje razloge zbog kojih određena korektivna mera nije sprovedena. Sve aktivnosti vezane za praćenje realizacije korektivnih mera Odbor za kvalitet evidentira u zapisnicima Odbora za kvalitet. Sluzba za interne provere, na osnovu zapisnika Odbora za kvalitet popunjava izveštaj o neusaglašenosti sa predlogom korektivnih mera - rubriku Predlog korektivne mere i dostavlja ih rukovodiocima radnih jedinica kod kojih je utvrđena neusaglašenost, radi otklanjanja istih u datom roku.

6. LITERATURA

1. JUS N.N0.029
2. JUS ISO.9001

7. ZAKLJUČAK

Serijski JUS ISO 9000 kao skup standarda će pre ili posle, morati da se primeni. Taj pogled je čvrsto i prvenstveno motivisan komercijalnim /markentiškim/ poslovnim razlozima za svoja ubeđenja.

Drugi pogled: Druga grupa (vizionarski) posmatra SQ9000 standarde kao nešto što je više od modela za obezbeđenje kvaliteta. Oni govore o JUS ISO seriji kao o prilici za razvijanje filozofije totalnog kvaliteta (TQM).

Po standardu ISO 9000 neophodno je vršiti interne audite, da se uoče slabe tačke i na osnovu toga planira dalja optimizacija Sistema kvaliteta. Sam postupak ocene stanja se proglašava za nauku, pa se organizuju obuke za ocenjivače sistema kvaliteta, ili pak biraju konsultanti za obavljanje tog posla. Interni audit je normalna (prirodna) aktivnost u okviru optimizacije Sistema kvaliteta. Njega treba da obavljaju ljudi iz same firme, jer je oni najbolje poznaju i mogu da najrealnije ocene stanje. Interni audit ne zahteva da proveravač apsolutno sve zna, već da ima sve potrebne informacije na raspolaganju.

- COMPUTER AS A MEANS OF MEETING QUALITY STANDARD REQUIREMENTS - Summary

Series JUS ISO 9000 as a set of standards will sooner or later, have to be applied. That point of view is strongly and primarily motivated by commercial (marketing) business reasons for its convictions.

The second point of view: The second group (in a visionary manner) consider SQ 9000 standards as something more than a model for security of quality. They speak about JUS ISO series as an opportunity for developing the philosophy of total quality (TQM).

According to ISO 9000-standard, it is necessary to perform internal audits in order to note weak points and, on the basis of that, to plan further optimization of the System of Quality. The very procedure of the evaluation of state is proclaimed to be science, and therefore the trainings for the auditors of the System of Quality are organized or the consultants for performing that operation are chosen. The internal audit is a normal (natural) activity within the optimization of the System of Quality. It should be realized by the personnel of the company because they know it best and can evaluate the state in the most real way. The internal audit does not require that the auditor should know absolutely everything but that he should have all necessary information at his disposal.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

J. Dutina, Z. Krivokapić, M. Zindović, I. Dedić, B. Đurović, R. Perunović

UNAPREĐENJE I UVODENJE SISTEMA KVALITETA U H. I. "RADOJE DAKIĆ", PODGORICA

Rezime: U ovom radu opisani su program, organizacije i metode unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta u H.I. "Radoje Dakić" Podgorica. Program obuhvata uobičajene faze, a organizacija i metoda rada su, počev od snimka, analize i ocjene postojećeg stanja, po obimu i detaljima privremeni stanja sistema i raspoloživim resursima te se donekle razlikuju od uobičajene prakse. U radu su izloženi praktični problemi organizacije, timskog rada, uočavanja nesuglasnosti kao i metode i rezultati rešavanja uočenih problema.

1. UVOD

Unapređenje i uvođenje sistema kvaliteta u H.I. "Radoje Dakić", Podgorica realizuje se u saradnji sa Agencijom Vlade Crne Gore za prestrukturiranje privrede i strana ulaganja prema Projektnom zadatku sledećeg sadržaja:

1. Donošenje odluke o uvođenju sistema kvaliteta u skladu sa zahtjevima serije standarda JUS ISO 9000.
2. Formiranje Odbora za kvalitet H.I. "Radoje Dakić" i odbora za kvalitet dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti iz sastava H.I. "Radoje Dakić".
3. Određivanje Koordinacionog tima i lica odgovornog za uvođenje sistema kvaliteta.
4. Donošenje deklaracije o kvalitetu H.I. "Radoje Dakić" i izjava o kvalitetu dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti.
5. Snimanje, analiza i ocjena postojećeg stanja.
6. Izbor modela sistema kvaliteta (JUS ISO 9001, 9002, 9003).
7. Izrada programa za unapređenje i uvođenje sistema kvaliteta u skladu sa zahtjevima serije standarda JUS ISO 9000.
8. Upoznavanje rukovodstva i svih učesnika u realizaciji sa Programom unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta.
9. Izrada plana obuke i realizacija obuke u skladu sa realizacijom Programa unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta.
10. Projektovanje dokumentacije sistema kvaliteta:
 - procedure,
 - pravilnici,
 - uputstva,
 - zapisi o kvalitetu i ostali dokumenti.

Dr Jovan Dutina, Mašinski fakultet, Podgorica i Fakultet za proizvodnju i menadžment, Trebinje
Dr Zdravko Krivokapić, Mašinski fakultet, Podgorica
Milojica Zindović, Ilija Dedić, Bajo Đurović, Rajko Perunović, H.I. "Radoje Dakić", Podgorica

11. Izrada poslovnika o funkcionisanju u oblasti kvaliteta pojedinih funkcija H.I. "Radoje Dakić", dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti.

12. Uvođenje i primjena projektovanih rješenja u skladu sa napredovanjem projektovanja dokumentacije sistema kvaliteta.

13. Interna provjera sistema kvaliteta i korektivne mjere za postizanje ciljeva.

14. Prijava za dobijanje sertifikata za sistem kvaliteta:

- izbor akreditacionog tijela,

- podnošenje zahtjeva za ocjenu sistema kvaliteta.

15. Saradnja sa timom ocjenjivača i preduzimanje korektivnih mjera za uklanjanje eventualnih neusaglašenosti.

16. Dobijanje atesta za uveden sistem kvaliteta.

17. Održavanje i unapređivanje sistema kvaliteta.

Projektni zadatak realizuje se pod rukovodstvom Odbora za kvalitet zajedničkim radom Ekspertskog tima konsultanata iz Agencije Vlade Crne Gore za prestrukturiranje privrede i strana ulaganja, Koordinacionog tima i timova izvršilaca iz dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti H.I. "Radoje Dakić".

2. ORGANIZACIJA REALIZACIJE PROJEKTA

Holding industrija "Radoje Dakić" u svom sastavu ima H.I. "Radoje Dakić" kao krovno preduzeće, devet dioničarskih društava i pet društava ograničene odgovornosti.

Odbor za kvalitet H.I. "Radoje Dakić" čine: Generalni direktor (predsjednik Odbora), direktori dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti (dvanaest članova) i članovi Koordinacionog tima (četiri člana) od kojih je jedan lice odgovorno za kvalitet.

Odbor za kvalitet sastaje se, u principu, jednom mjesečno. Svako dioničarsko društvo i društvo ograničene odgovornosti ima svoj odbor za kvalitet čiji predsjednik je, obavezno, direktor društva, a lice odgovorno za kvalitet je jedan član odbora.

Ekspertni tim konsultanata učestvuje u realizaciji Projektnog zadatka kroz:

- pripremu metoda i tehnika za unapređenje i uvođenje sistema kvaliteta,

- obuku izvršilaca za primjenu metoda i tehnika za projektovanje i uvođenje projektovanih rješenja u svim fazama realizacije Projektnog zadatka,

- stručnu pomoć timovima izvršilaca iz dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti,

- učesće u kolacioniranju i definitivnom uobličavanju projektovanih rješenja,

- verifikaciju uvođenja projektovanih rješenja i

- otklanjanje eventualnih neusaglašenosti na koje ukaže tim ocjenjivača iz akreditacionog tijela.

Koordinacioni tim obavlja sledeće zadatke:

- stvara uslove za rad ekspertnog tima konsultanata i timova izvršilaca iz dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti,

- koordinira rad odbora za kvalitet i timova izvršilaca,

- učestvuje u izradi i realizaciji Programa za unapređenje i uvođenje sistema kvaliteta i

- prati realizaciju Projektnog zadatka, podnosi izvještaje i provodi zaključke odbora za kvalitet H.I. "Radoje Dakić".

Timovi izvršilaca iz dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti, nakon obuke, rade na realizaciji Programa za unapređenje i uvođenje sistema kvaliteta u okviru funkcije za koju su zaduženi, a uz primjenu metoda i tehnika koje predlaže ekspertni tim konsultanata. Timovi izvršilaca za svoj rad odgovorni su odgovarajućem odboru za kvalitet, a ekspertni tim konsultanata, koordinacioni tim i odbori za kvalitet dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti odboru za kvalitet H.I. "Radoje Dakić".

3. REALIZACIJA PROJEKTOG ZADATKA

Planirano je da se Program unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta realizuje u roku od 30 mjeseci, a do sada je utrošeno 9 mjeseci rada. U tom periodu završene su stavke od 1. do 9. sadržaja Projektnog zadatka i otpočet rad na projektovanju dokumentacije sistema kvaliteta i uvođenju projektovanih rješenja.

Snimanjem i analizom postojećeg stanja obuhvaćeni su organizacijska struktura i opis svih zadataka koji se obavljaju u okviru najniže organizacijske cjeline na za tu svrhu pripremljenom obrascu. Obrazac za snimak i analizu postojećeg stanja sadrži identifikaciju organizacijske cjeline i popis svih zadataka (ili grupa zadataka), a za svaki zadatak unose se sledeći elementi: redni broj zadatka, ulaz potreban za realizaciju zadatka (informacije i objekti), davalac ulaza, procedura za izvršenje zadatka (opis toka izvršenja zadatka), izlaz kao rezultat rada (informacija ili objekat-proizvod) i primalac izlaza. Posebno su urađeni hodogrami svih dokumenata koji se kod izvršenja pojedinih zadataka koriste ili su rezultat rada na određenom zadatku. Snimak i analiza postojećeg stanja korisno su poslužili za implementaciju timskog rada, formalizovanje postupaka, sagledavanje neusaglašenosti sa zahtjevima serije standarda JUS ISO 9000 i izbor modela koji treba da se primijeni u određenom dioničarskom društvu i društvu ograničene odgovornosti.

Ocjenu postojećeg stanja obavili su timovi izvršilaca po unaprijed pripremljenim "ček listama" koje sadrže popis zahtjeva na koje je trebalo da se da odgovor da li je zahtjev ispunjen ili nije. Usaglašavanje odgovora provedeno je sa ekspertnim timom konsultanata i koordinacionim timom, a ocjenu su verifikovali i usvojili odgovarajući odbori za kvalitet dioničarskih društava i društava ograničene odgovornosti.

Program unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta i obuke izvršilaca urađen je u obliku mrežnog plana sa popisom aktivnosti za otklanjanje neusaglašenosti, nosiocem aktivnosti, vremenima potrebnim za realizaciju i kalendarom aktivnosti. U okviru izrade programa pokazalo se da timovi izvršilaca postavljaju velike zahtjeve u pogledu vremena i resursa koji su im potrebni za realizaciju određenih aktivnosti, zbog čega se rok od 30 mjeseci dovodi u pitanje. Složena situacija u pogledu zapošljavanja postojećih proizvodnih kapaciteta uveliko otežava rad na uvođenju sistema kvaliteta i predstavlja prepreku na čijem uklanjanju se sada intenzivno radi uz korištenje savremenih metoda menadžmenta i angažovanje svih raspoloživih kadrova.

4. DOKUMENTI SISTEMA KVALITETA

U pristupu izradi dokumenata sistema kvaliteta odlučeno je da se radi na izradi pravilnika, procedura, uputstava i zapisa o kvalitetu, a zatim (sa izvjesnim vremenskim pomakom) na izradi Poslovnika o kvalitetu. Analizom postojećeg stanja ustanovljen je niz organizacijskih

problema i funkcionisanje neformalne organizacijske strukture te je zaključeno da je neophodna revizija Pravilnika o organizaciji i sistematizaciji zadataka i svih pravilnika vezanih za sistem kvaliteta. U pet dioničarskih društava izabran je model JUS ISO 9001, u četiri model 9002, a u društvima ograničene odgovornosti model JUS ISO 9003.

Ustanovljen je određen broj obaveznih procedura (koji nije konačan) uz očekivanje da će u toku rada doći do izvjesnih razdvajanja nekih procedura na dvije ili više odnosno sažimanja dvije ili više procedura u jednu. U dioničarskim društvima i društvima ograničene odgovornosti koja koriste model 9002 ili model 9003 reduciran je broj procedura.

Preliminarni spisak obaveznih procedura sadrži:

R.Br.	NAZIV PROCEDURE	ISO 9001
01.	Izrada održavanje opisa radnih mjesta	4.1.2.
02.	Preispitivanje sistema kvaliteta od strane rukovodstva	4.1.3.
03.	Rad kolegijuma	4.1.3.
04.	Izrada i održavanje poslovnika o kvalitetu	4.2.1.
05.	Izrada procedura i uputstava	4.2.1.
06.	Izrada radnih postupaka	4.2.1.
07.	Izrada plana kvaliteta	4.2.2.
08.	Ugovaranje i preispitivanje ugovora	4.3.1.
09.	Rad marketinga	4.4.1.
10.	Planiranje razvoja proizvoda i proizvodnih kapaciteta	4.4.2.
11.	Podjela aktivnosti u razvoju i projektovanju-ulazni zahtjevi za projekat	4.4.3.
12.	Projektovanje-izlazni podaci o projektu	4.4.4.
13.	Projektovanje tehnoloških projekata	4.4.5.
14.	Verifikacija projekta	4.4.5.
15.	Izmjena/ modifikacija projekta	4.4.6.
16.	Izrada prototipa	4.4.6.
17.	Izrada nulte serije	4.4.6.
18.	Izrada internih standarda	4.4.6.
19.	Izrada, odobravanje i izdavanje dokumenata	4.5.1.
20.	Izmjena/ modifikacija dokumenta	4.5.2.
21.	Ocjena i izbor podugovarača	4.6.2.
22.	Nabavka proizvoda, gotovih dijelova i materijala	4.6.3.
23.	Verifikacija nabavljenih proizvoda, gotovih dijelova i materijala	4.6.4.
24.	Verifikacija, skladištenje i održavanje proizvoda isporučenog od kupca	4.7.
25.	Identifikacija proizvoda	4.8.
26.	Zapisi o identifikaciji proizvoda	4.8.
27.	Izrada i donošenje plana proizvodnje	4.9.
28.	Operativno planiranje	4.9.
29.	Terminiranje proizvodnje	4.9.
30.	Lansiranje proizvodnje	4.9.
31.	Praćenje stanja proizvodnje	4.9.
32.	Kontrola specijalnih procesa	4.9.2.

33.	Proizvodni proces	4.9.
34.	Proces ugradnje	4.9.
35.	Dnevna njega proizvodne opreme	4.9.1.
36.	Otklanjanje slučajnih kvarova	4.9.1.
37.	Plansko održavanje	4.9.1.
38.	Održavanje po dijagnostici stanja	4.9.1.
39.	Kontrolisanje i ispitivanje	4.10.
40.	Prijemno kontrolisanje	4.10.1.
41.	Kontrolisanje i ispitivanje u toku procesa	4.10.2.
42.	Utvrđivanje radnih sposobnosti opreme	4.10.2.
43.	Uslovni prijem	4.10.2.
44.	Završno kontrolisanje i ispitivanje	4.10.3.
45.	Vođenje zapisa o kontrolisanju i ispitivanju	4.10.4.
46.	Utvrđivanje opreme za kontrolisanje, mjerenje i ispitivanje	4.11.
47.	Kontrola opreme za kontrolisanje, mjerenje i ispitivanje	4.11.
48.	Etaloniranje	4.11.
49.	Održavanje opreme za kontrolisanje, mjerenje i ispitivanje	4.11.
50.	Kontrolla i održavanje softvera	4.11.
51.	Označavanje proizvoda	4.12.
52.	Utvrđivanje statusa kontrolisanja i ispitivanja	4.12.
53.	Kontrola neusaglašenog proizvoda	4.13.
54.	Dorada	4.13.1.
55.	Ponovno klasiranje	4.13.1.
56.	Ponovno kontrolisanje (popravljenih/ doradenih proizvoda)	4.13.1.
57.	Korektivne mjere	4.14.
58.	Prikupljanje i obrada reklamacija kupaca	4.14.
59.	Izveštaji o neusaglašenosti	4.14.
60.	Iznalaženje i korekcija neusaglašenog proizvoda i procesa	4.14.
61.	Istraživanje i korekcija neusaglašenog sistema kvaliteta	4.14.
62.	Programi preventivnih mjera	4.14.
63.	Provjera poslije preventivnih mjera	4.14.
64.	Rukovanje proizvodom	4.15.2.
65.	Skladištenje proizvoda	4.15.3.
66.	Pakovanje i označavanje proizvoda	4.15.4.
67.	Čuvanje proizvoda	4.15.4.
68.	Isporuka proizvoda	4.15.5.
69.	Identifikacija zapisa o kvalitetu	4.16.
70.	Prikupljanje zapisa o kvalitetu	4.16.
71.	Održavanje zapisa o kvalitetu	4.16.
72.	Planiranje interne provjere kvaliteta	4.17.
73.	Interna provjera kvaliteta	4.17.
74.	Provjera osposobljenosti zaposlenih	4.18.
75.	Planiranje obuke	4.18.

76. Obuka zaposlenih	4.18.
77. Zapis o obuci	4.19.
78. Servisiranje u garantnom roku	4.19.
79. Servisiranje po isteku garantnog roka	4.19.
80. Korištenje podataka iz eksploatacije proizvoda	4.19.
81. Verifikacija servisiranja	4.19.
82. Primjena statističkih metoda u prijemu robe	4.20.
83. Primjena statističkih metoda dok je proces u toku	4.20.
84. Verifikacija proizvoda primjenom statističkih metoda	4.20.

Rad na izradi i implementaciji procedura je u toku i odvija se u skladu sa sledećom PROCEDUROM ZA IZRADU PROCEDURA:

01. Procedura za izradu procedura dostavlja se:

- Članovima odbora za kvalitet i
- Direktorima organizacijskih cjelina.

1. PREDMET

1.1. Ovom procedurom utvrđuje se : format, područje primjene postupak izrade, odobravanje, izmjena, dostavljanje i kontrola svih procedura u okviru sistema kvaliteta H.I."Radoje Dakić" i koristi se uzorak za izradu svih procedura i uputstava za rad.

2. PODRUČJE PRIMJENE

2.1. Ova procedura namijenjena je za izradu procedura i uputstava u H.I."Radoje Dakić" i koristi se u svim organizacijskim cjelinama bez izuzetka.

3. VEZA SA DRUGIM DOKUMENTIMA

3.1. Postupak označavanja dokumenata sistema kvaliteta u H.I."Radoje Dakić".

4. DEFINICIJE

4.1. Procedura

-Dokument u kojem se do detalja opisuje predmet, područje primjene i način obavljanja određene aktivnosti.

4.2. Uputstvo za rad

-Dokument u kojem je u koracima (fazama) propisano kako i sa čime se obavlja određeni zadatak na određenom (samo jednom) radnom mjestu.

4.3. Lice odgovorno za kvalitet

-Lice odgovorno za kontrolu procedura i uputstava u D.D ili D.O.O. uključujući zapise o odobrenjima, deponovanim potpisima, registr, distribuciju , reviziju, liste dostavljanja i primjenu.

4.4. Član odbora za kvalitet

-Lice koje je odgovorno za kvalitetno obavljanje određene funkcije u dioničarskom društvu ili društvu ograničene odgovornosti.

4.5. Rukovodilac organizacione jedinice

-Lice koje pokreće izradu procedure u okviru organizacione jedinice čijim radom rukovodi.

4.6. Autori

-Lica koja pišu procedure i uputstva

5. PROCEDURA

5.1. Izrada procedure

5.1.1. Inicijativu za izradu procedure može da pokrene svaki izvršilac koji učestvuje u realizaciji procesa na koji se procedura odnosi, a rukovodilac organizacijske cjeline dužan je da inicira izradu odgovarajućih procedura.

5.1.2. Procedure pišu lica koja učestvuju u realizaciji procesa na koji se procedura odnosi.

5.1.3. Lice odgovorno za izradu procedure određuje predsjednik odbora za kvalitet.

5.2. Format procedure

5.2.1. Procedura se piše na formularu standardnog formata A4 H.I."Radoje Dakić"

5.2.2. Naslovna stranapopunjava se sledećim podacima:

- Naziv preduzeća, D.D. ili D.O.O. u gornjem lijevom uglu,
- Organizaciona jedinica i naziv procedure u sredini gornjeg dijela stranice
- Oznaka procedure i broj stranice od ukupnog broja stranica u gornjem desnom uglu.
- Lista dostavljanja ispod riječi "Dostavljeno"
- Tabela izmjena koja sadrži broj revizije, stranu, datum, opis revizije, autora i lice koje je

odobrilo reviziju.

-Izdanje u donjem lijevom uglu označeno velikim počev od A ,

-Broj izmjene počev od 0 i datum u donjem lijevom uglu,

-Autor procedur i lice koje je proceduru odobrilo u sredini donjeg djela strane i

-Broj kopije u donjem desnom uglu.

5.3. Sadržaj procedure

5.3.1. Predmet obuhvata cilj i namjenu dokumenta i ukazuje na proces na koji se procedura odnosi.

5.3.2. Područje primjene obuhvata oblast, organizacijsku jedinicu i radno mjesto na koje se procedura odnosi.

5.3.3. Veza sa drugim dokumentima obuhvata spisak dokumenata na koje se u proceduri na bilo koji način poziva.

5.3.4. Definicije koje nisu standardizovane a od značaja su za realizaciju procedure.

5.3.5. Postupak koji obuhvata detaljan opis metoda izvršenja procesa sa odgovorima na pitanja: šta, zašto, kako, ko, sa čime, gdje i kada se radi.

5.3.6. Procedura se može izraditi u obliku pisanog teksta, kao tabela ili u obliku dijagrama toka ili kao kombinacija najviše dva od pomenutih oblika.

5.3.7. Dokumentacija čini spisak priloga na koje se procedura poziva i mora da joj se pridoda.

5.4. Način izdavanja

5.4.1. Procedure se pišu na PC računaru u MS WORD-u i originali čuvaju u zaštićenoj formi.

5.4.2. Kada se napiše prva verzija procedure -izmjena "0" tekst se dostavlja odboru za valitet na razmatranje i preispitivanje.

5.4.3. Autor- lice odgovorno za pisanje procedure preko registra prikuplja usvojene imjedbe, ugrađuje ih u proceduru i štampa kao izdanje A, revizija 1. (izdanje za korištenje).

5.4.4. Na naslovnoj strani procedure autor se potpisuje u rubrici "Izradio".

5.5. Odobranje

5.5.1. Proveru teksta procedure vrši lice odgovorno za kvalitet i potpisuje se na naslovnoj strani u rubrici "provjerio".

5.5.2. Kada su potpisane rubrike "Izradio" i "Provjerio", primjenu procedure odobrava član odbora za kvalitet zadužen za funkciju na koju se procedura odnosi.

5.5.3. Ako se procedura odnosi na dvije ili više funkcija onda njenu primjenu odobrava predsjednik odbora za kvalitet.

5.6. Revizija

5.6.1. Inicijativu za reviziju procedure može da pokrene svaki izvršilac koji učestvuje u realizaciji procesa na koji se procedura odnosi.

5.6.2. Inicijativa se podnosi licu odgovornom za kvalitet, koje je dužno da inicijativu razmotri i predlog dostavi odboru za kvalitet u roku od sedam dana.

5.6.3. Odbor za kvalitet razmatra predlog, a o odluci obavještava podnosioca inicijative u roku od 30 dana.

5.6.4. Revizija procedure označava se brojem. Kada broj revizije dostigne 10 ili kada je revizijom obuhvaćeno dvije ili više strana procedura se ponovo izdaje.

5.6.5. Izdavanje procedure označava se velikim slovom počev od A.

5.7. Kontrola dokumenata

5.7.1. Nakon odobranja primjene procedure autor original sa svim prilogima dostavlja licu odgovornom za kvalitet.

5.7.2. Lice odgovorno za kvalitet otvara i održava dosije za svaku proceduru koji obavezno sadrži original, zapise o odobrenju, zapise o reviziji i liste dostavljanja.

5.8. Distribucija

5.8.1. Kopije procedura ovjerene pečatom sa listom dostavljanja distribuira lice odgovorno za kvalitet. Primaoci, prijem ovjeravaju potpisom.

Izrada procedura izrada procedura organizovana je tako što uzorne procedure rade dioničarska društva koja imaju najviše iskustva u realizaciji određenih procesa, a zatim ostala društva procedure prilagođavaju svojim potrebama i definitivno ih usvajaju. Očekuje se da će proces unapređenja i uvođenja sistema kvaliteta na taj način biti znatno skraćen.

PROMOTING AND ESTABLISHING THE QUALITY SYSTEM IN H.I. "RADOJE DAKIĆ", PODGORICA

Resime: In this paper we have described the program, organisation and methods in promoting the quality system in H.I. "Radoje Dakic", podgorica. The program covers the usual stages, whereas the organisation and methods, starting with profound analysis and estimations of the already existing status, are adjusted to the status of system and available resources in their size and details and therefore they differ from the usual practice. The practical problems of organisation as well as the problems of team work, identifications of collisions, methods and results in resolving the identified problems, have been explained in this paper.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION
ENGINEERING

D. Milanović, S. Pavićević

ZNAČAJ MENADŽERSKIH AKTIVNOSTI ZA REALIZACIJU TEHNOLOŠKIH INOVACIJA PREMA STANDARDU JUS ISO 9000

Rezime

Ostvarivanje sistema kvaliteta JUS ISO 9000, koji predstavlja zadovoljenje korisnikovih potreba, često uslovljava inovacije proizvoda i procesa, tj. tehnološke inovacije. Istraživanjem tržišta i posebnih korisničkih zahteva, određuju se pravci tih aktivnosti za čije ostvarivanje su odgovorni svi zaposleni, a u prvom planu menadžment preduzeća. Usled toga menadžment preduzeća mora preduzeti određene aktivnosti koje će dovesti do realizacije postavljenih uslova.

Odgovornost od početne ideje, do krajnje realizacije proizvoda na tržištu, u skladu sa zahtevima kupaca definisanih kroz određeni standard, jedan je od glavnih zadataka menadžmenta preduzeća.

Težište ovog rada je uspostavljanje veze tehnoloških inovacija i standarda JUS ISO 9000 i određivanje uloge menadžmenta u njegovom ostvarivanju kroz tehnološke inovacije.

1. UZAJAMNA POVEZANOST TEHNOLOŠKIH INOVACIJA I KVALITETA

Današnje vreme koje se odlikuje velikim i brzim promenama uslovljava i tržišnu nestabilnost samog preduzeća. Zadatak menadžment preduzeća je ne samo da prati ove promene mikro i makro okruženja, već i da ih na određeni način i predvidi. Stalne promene potreba, zahteva kupaca i sve brži razvoj tehnike i tehnologije uslovljavaju stalna poboljšanja na već postojećim proizvodima, kao i potrebu za sve većim brojem novih.

Kvalitet treba shvatiti kao sposobnost da se zadovolje potrošači. Danas je ovo jedino moguće ostvariti samo konstantnim inoviranjem, prevashodno proizvoda i procesa. Tražnja za nekim proizvodom ili uslugom je uvek direktno povezana sa kvalitetom osim, ako je reč o zaštićenom tržištu ili monopolskom proizvodu. U slučaju smanjenja tražnje ili kada se želi povećanje tržišnog učešća kao dve moguće opcije javljaju se promene u ceni ili povećanju kvaliteta. Prva opcija, od ove dve, je najčešće u nadležnosti top menadžmenta. Dosadašnja iskustva pokazuju, da promene u ceni vrlo retko dovode do željenog efekta. Odatle se može zaključiti da kvalitet predstavlja presudni činilac tražnje.

Doc. Dragan D. Milanović, dipl. ing. maš. Snežana Pavićević,
Mašinski fakultet u Beogradu

Neka istraživanja pokazuju da preduzeće sa visokim kvalitetom i visokim tržišnim učešćem ostvaruju pet puta veću stopu dobiti od preduzeća sa niskim kvalitetom i malim tržišnim učešćem. To dovodi do zaključka, da je pogrešno razmišljanje većine rukovodećeg kadra, da povećanje kvaliteta utiče na smanjenje produktivnosti. Ovakva tvrdnja je istinita jedino u slučaju ako se kvalitet u suštini zasniva na kontroli i opravki na kraju ciklusa proizvodnje. Pravo shvatanje kvaliteta od strane generalnog menadžmenta, a koje će biti opšte prihvaćeno kod svih zaposlenih, dovešće do poboljšanja kvaliteta i produktivnosti kroz dinamične inovacije. Povećanje kvaliteta putem inovacija vodi kompenzaciji negativnih efekata, a samim tim i podizanju produktivnosti. Kontinualno poboljšanje kvaliteta treba da bude zasnovano na poboljšanju postojećih proizvoda ili procesa, ili uvođenju novih. Određena tehnološka poboljšanja kao rezultat imaju i niže troškove proizvodnje kao i niže cene proizvoda. Naravno, uzimajući u obzir tržišnu zakonitost, da je cena proizvoda većeg kvaliteta i veća, jasno se dolazi do objašnjenja gore navedenog istraživanja.

Menadžment preduzeća mora da primeni proizvodne i operacione metode menadžmenta kao i druge proceduralne pristupe za ugradnju obezbeđivanja kvaliteta u sam sistem, bilo da je reč o ISO 9000 ili nekom drugom sistemu kvaliteta. Ovaj pristup omogućava da organizacija ostvari, dokumentuje i očuva uspešan sistem kvaliteta i na taj način prezentira se potrošačima kao organizacija koja je sposobna da zadovolji njihove potrebe za kvalitetom.

2. MENADŽMENT U FUNKCIJI TEHNOLOŠKIH INOVACIJA KROZ OBEZBEĐENJE STANDARDA

Pod pretpostavkom da je menadžment preduzeća obezbedio organizacione preduslove kvaliteta ISO 9000 u okviru samog preduzeća, koji ne predstavljaju ništa drugo nego zdravorazumsku vrstu aktivnosti koja formalizuje postojeće sisteme u organizaciji (omogućavajući ovim smanjenjem personalne neizvesnosti i varijacije procesa), težište kontrole kvaliteta predstavlja tržište. Menadžment preduzeća preko svojih marketinških menadžera, koristeći različite metode, treba da izvrši analizu dobijenih informacija o mišljenjima kupaca i korisnika. Na osnovu ovih informacija, odnosno na osnovu mišljenja "šta kupac smatra za kvalitet" počinje da se ocrtava proizvod. Zadatak menadžmenta, a posebno top menadžmenta, je da sagleda ovako dobijene informacije i da ih po mogućstvu usaglasi sa proizvodnim i personalnim mogućnostima. Ovo je najvažniji i osnovni zadatak menadžmenta u svakom preduzeću, ali u praksi često zaboravljan i zaobilazan, predstavlja jedan od osnovnih razloga neuspeha velikog broja tehnoloških inovacija.

Generalni menadžment mora biti odgovoran kako za funkcionisanje uspostavljenog sistema kvaliteta, tako i za ostvarivanje inovacionih procesa u okviru preduzeća. Uspostavljeni kvalitet u okviru preduzeća mora biti u saglasnosti sa kvalitetom konkurenata. To znači da proizvodi i njihov kvalitet moraju da budu u skladu sa proizvodima konkurenata da bi se obezbedilo odgovarajuće tržišno učešće preduzeća, osim u slučaju zatvorenog tržišta ili monopolističkog proizvoda kada se ne može govoriti o konkurenciji.

Da bi se obezbedila dobra organizacija razvoja proizvoda treba da se ispune sledeći zahtevi:

-jasno definisana odgovornost za svaku aktivnost u razvoju novih proizvoda prenetu na određene izvršiocne,

-jedan ili više multidisciplinarnih i multifunkcionalnih timova,
-precizno i jasno postavljeni zadaci svakom timu i adekvatna ovlašćenja za trošenje resurasa,

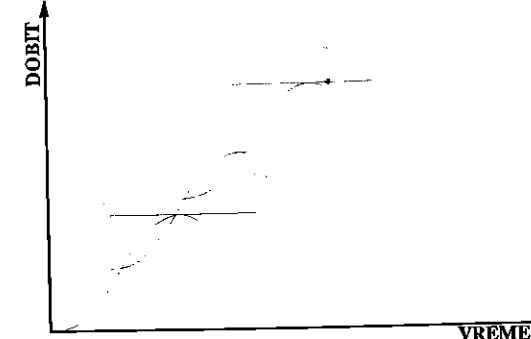
-potpuna i adekvatna pomoć od strane top menadžmenta.

Sledeći korak u ostvarivanju neke tehnološke inovacije nakon okvirnog uobličavanja novog proizvoda ili procesa (shvatajući da svaka promena na proizvodu uslovljava promene u procesu i obrnuto), predstavlja organizovanje inovacionog procesa u okviru preduzeća. Konkretna ideja, odnosno invencija, može doći od istraživačko razvojne funkcije u preduzeću, ili zaposlenih izvan nje, od samih kupaca, poslovnih partnera, naučno-istraživačkih laboratorija, itd. Zbog toga otvorenost menadžmenta preduzeća prema svim ovim izvorima, kao i visoka poslovna kultura i klima u preduzeću, mogu dovesti do ubrzavanja inovacionih procesa u preduzeću i ostvarivanja značajne konkurentske prednosti na tržištu. Međutim, ovo je samo jedan od preduslova za ostvarivanje uspešnog inovacionog procesa, tj. tehnološke inovacije.

Za ostvarivanje određenog standarda u preduzeću potrebno je da ono bude relativno stabilan sistem. Da bi se ova stabilnost obezbedila neophodno je vršiti planiranje proizvoda, koje obuhvata i planiranje uvođenja novih proizvodnih procesa. To uključuje kako kratkoročne, tako i dugoročne implementacije. Loš menadžment preduzeća često problem gubitka interesovanja za svoje proizvode ne nalazi u nepostojanju dugoročnih i kratkoročnih planova, već ovaj problem rešavaju povećanjem produktivnosti, smanjenjem troškova proizvodnje i cene proizvoda, ne shvatajući da "sniženje cena najčešće predstavlja traženje nevolja na pogrešnom mestu, pa su i efekti jednaki onima koje termofor ima za lečenje kijavice" (1, str. 170). Menadžment preduzeća često se u svojoj poslovnoj politici opredeljuje za redizajniranje proizvoda, lansiranje novih metoda prodaje i distribucije i dr. što nosi manji stepen rizika, jeftinije i brže uvođenja novih proizvoda i ulaganja u inventivni rad. Međutim, ovo predstavljaju samo kratkoročna rešenja, koja na duži vremenski period mogu i negativno uticati na poverenje potrošača i na gubitak konkurentskog kvaliteta.

Permanentno povećanje zahteva potrošača, uslovljeno sve većim standardom i obrazovanjem stanovništva, praćeno i brziim napretkom tehnike i tehnologije, utiče i na stano povećanje tržišnog kriterijuma kvaliteta, posredno uslovljavajući brzo zastarevanje proizvoda. Jedno od osnovnih pravila treba da bude, da vreme uvođenja novog proizvoda ne sme biti diktirano samo od strane tržišta, već i od strane preduzeća.

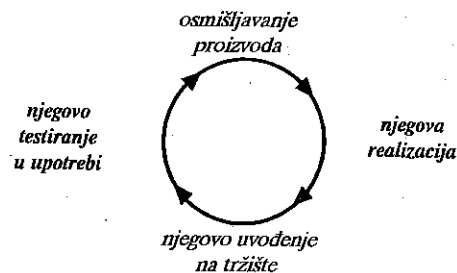
"Najbolje je lansirati novi proizvod u trenutku kad je stari dostigao maksimalnu profitabilnost" (1, str. 177).



Slika 1. Životni vek proizvoda i uvođenje novog

Današnji razvoj sistema kvaliteta ide u pravcu da se proizvod permanentno testira u toku njegove upotrebe. Na osnovu ovakvog pristupa razvijen je model neprekidnog poboljšavanja proizvodnje poznat u japanskoj industriji pod imenom "Demingov ciklus" (2, str. 38). Ovaj model uslovljava kontinualan rad na poboljšanju i inoviranju proizvoda čim se novi proizvod pusti u promet. Vreme trajanja ovog ciklusa zavisi i od same vrste proizvoda.

Šema 1. Demingov ciklus



Zadatak vrhovnog menadžmenta je i praćenje svake faze Demingovog ciklusa. Sve veća obrazovanost zaposlenih u preduzeću i sve veća njihova specijalnost uslovljava da menadžment preduzeća funkcioniše više kao koordinator, kontrolor i savetnik svojih podređenih. Zbog toga je potrebno uspostaviti visoki nivo poslovne etika u preduzeću koja obuhvata visoki stepen odgovornosti u izvršavanju određenog posla, motivisanost za njegovo izvršavanje, čime se obezbeđuje i visoki kvalitet.

Timski rad na kome se u poslednje vreme toliko insistira ne predstavlja ništa novo u poslovnoj praksi. "Draker smatra da se može predvideti da će se za nekoliko godina vratiti u modu najtradicionalniji model tima, model kod koga prvo dolazi istraživanje, zatim se ideja prenosi do inženjeringa koji je razvija, da bi se na kraju ušlo u fazu proizvodnje." (3, str. 59). Važan zadatak top menadžmenta je formiranje ovih timova koji ujedno predstavlja opšti problem upravljanja znanjem. Proizvodnja fundamentalnih znanja kao što praksa često pokazuje nije u direktnoj vezi sa njenim produktima. Ovo pokazuje i primer britanskih timova koji su napravili velike korake u otkrivanju fundamentalno novih znanja ispred bilo kog drugog, ali na polju ekspertize nemaju nekog značajnijeg uspeha. Objašnjenje može biti i u tome, što britanske kompanije ne vrednuju u dovoljnoj meri svoje tehnički orijentisane ljude. Nasuprot ovome, Japan i ako nije specijalizovan na planu naučnih unapređenja, za kratko vreme preuzeta znanja komercijalnicu.

Govoreći o transferu tehnologije i o standardima, koji obezbeđuju brzi protok informacija i znanja iz različitih oblasti, još uvek, ali u mnogo manjoj meri su primat samo visoko razvijenih zemlja. Uključivanje u svetske tokove znanja, odnosno informacija, predstavlja samo preduslov za inovativno ponašanje čija krajnja uspešnost zavisi od sposobnosti menadžmenta i celokupnog personala da te informacije učine produktivnim. Uz sve ovo, menadžeri da bi na pravi način mogli da obave svoje aktivnosti moraju imati u vidu da produktivnost znanja ima kako kvalitativnu tako i kvantitativnu dimenziju. Sintetizujući različita područja znanja i stvarajući timove, kako od intelektualaca, tako i od onih koji to nisu a poseduju neke druge važne osobine, tj. kvalitete. Menadžment da bi donosio prave odluke u radnoj grupi koja je zadužena za odabir inovacionih projekata i njihovo ocenjivanje, mora biti sastavljena od predstavnika

iz više službi (komercijalne, prodajne, marketinške, tehničke, nabavne i proizvodne). Izmjena koncepcije postojećeg proizvoda, ili koncepcija potpuno novog proizvoda, takode mora biti posao više službi (istraživanja, razvoja, studija, analiza).

Ono što često predstavlja veliku prepreku menadžerima preduzeća za sprovođenje inovativnih aktivnosti je i strah od mogućih pogrešnih odluka. Odluke o tehničkim inovacijama često se donose na osnovu nekompletnih informacija i informacija koje mogu biti varijabilne. Opređenje menadžmenta na sakupljanje što potpunijih informacija može uticati na vremensko zaostajanje u odlučivanju a odluka doneta sa zakašnjenjem, bila ona i najbolja može biti pogrešna. Zbog toga treba razgraničiti i odvojiti sistem donošenja odluka i njihovo ocenjivanje od njihovog fizičkog sprovođenja. Preduzeće koje želi da obezbedi stalan kvalitet svojih proizvoda ne može se ni zamisliti bez uključivanja i podrške svih struktura u preduzeću inovativnim aktivnostima. Sve ove aktivnosti da bi se praktično i ostvarile moraju biti inicirane i podržane od generalnog direktora ili od direktora nespornih ovlašćenja, direktno povezanih sa najvišim rukovodstvom.

Inovacije možemo podeliti u dve grupe:

a) Tehnološki gurane ili tzv. "push" inovacije. To su inovacije nastale u "mozgovima preduzeća" i koje nisu uslovljene tržišnim zahtevima. Kod ovakvih inovacija jednu od glavnih osnova njihovog uspeha predstavlja promocija i njihova distribucija.

b) Tržišno vučene ili tzv. "pull" inovacije, koje su uslovljene tržišnim potrebama. One osim što su uslovljene zahtevima kupaca uslovljene su i aktivnostima konkurenata. Mnogo su manje rizične, a stopa uspeha je mnogo veća.

Bez obzira na koji tip inovacija se preduzeće opredeli, da li na tržišno vučene, koje su zasnovane na već afirmisanim potrebama i zahtevima potrošača ili na tehnološki gurane, čiji kvalitet tek treba afirmisati na tržištu, u osnovi one ipak proističu od tržišnog shvatanja kvaliteta. Progres o kome je reč ne treba da bude shvaćen uvek kao skup metodoloških inovacija, već kao konstanta evolucije načina razmišljanja u interakciji sa izučavanjem i poboljšavanjem.

3. ZAKLJUČAK

U osnovi svakog preduzeća koje želi da obezbedi kvalitet mora da leži strpljenje. To uključuje i kontinualan rad na inovacijama i spremnost na rizike. Zbog toga se i vrlo jasno uočava razlika između zapadnog pokušaja kopiranja japanskog menadžmenta koji nije uspeo, možda upravo zbog toga, što se previše žurilo da se postigne uspeh. "Kada se ima namera da se sustigne neko ko trči, treba imati u vidu ne samo njegovu poziciju, nego i njegovu brzinu." (2, str. 15).

Ostvarivanje kvaliteta putem standarda JUS ISO 9000, ili nekog drugog standarda, mora biti zasnovano na tržišnom shvatanju kvaliteta. Pravu ocenu kvaliteta nekog proizvoda daju tek potrošači, čije mišljenje se permanentno mora pratiti i analizirati. Na osnovu određenih analiza tržišne uspešnosti proizvoda i sopstvenih mogućnosti preduzeća kontinuirano se radi na poboljšanju već postojećih i uvođenju novih proizvoda u proizvodni program preduzeća. Istovremenim praćenjem aktivnosti konkurenata i na osnovu informacija o tehničko-tehnološkim i naučnim dostignućima, formira se ideja o novom proizvodu. Praktično ostvarivanje tehnoloških inovacija zavisi od već ugrađenog kvaliteta u sistem samog preduzeća. Na menadžmentu preduzeća leži odgovornost za obezbeđenje kvaliteta u sistemu uključivanjem svih zaposlenih u njegovu ostvarivanje. Kroz ovakvo angažovanje obezbeđuje se i inventivnost zaposlenih na

tehnološkim inovacijama. Istovremeno, odlučivanje, planiranje, vođenje i kontrola pravca razvoja tehnoloških inovacija, kroz sve faze od ideje do realizacije i praćenja na tržištu, zadatak su menadžmenta na najvišem nivou.

4. LITERATURA:

- [1] Van Mesdag, "Razmišljajte marketinški", Privredni pregled, Beograd, 1991.
- [2] Jean-Marie Gogue, "Upravljanje kvalitetom", Poslovna politika DD, Beograd, 1994.
- [3] Piter F. Draker, "Postkapitalistički direktor", Direktor, Beograd, 11/1994.
- [4] Kasturi Rangan, "...Channel Selektion for New Industrial Product", Jurnal of Marketing, juli 1993.
- [5] Gene H. Milas, "Guidelines for Organizing Employee TQM Teams", IE Solution, Tehnology Park/Atlanta, februar 1996.
- [6] Momčilo Milisavljević, "Kvalitet u funkciji preduzeća", Marketing, broj 1, proleće, Beograd, 1994.

IMPORTANT OF MANAGERIAL ACTIVITIES FOR TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IMPLEMENTATION IN ACCORDANCE WITH JUS ISO 9000.

Abstract

Implementation of JUS ISO 9000 quality system representing meeting of customer needs is very often condition by product and process innovation, that is to say by the technological innovations. The direction of these activities is defined upon carrying out of both the market research and special customer's requirement. All employees and above all the management are responsible for the fulfillment of the above actives.

One of the most important management tasks is the responsibility from the very idea up to and introducing of the product on the market in accordance with the customers' requirements defined in a certain standard.

The purpose of this paper is to establish relation between the technological innovation and JUS ISO 9000 and to define the management role in its implementation through technological innovation.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Ass. Robert Molnar, dipl. inž.
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin
Dr Petar Dimitrijević, dipl. inž.
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin
Peči Zoli, dipl. inž.

POSTUPAK UVOĐENJA SISTEMA KVALITETA U SLUŽBU ODRŽAVANJA

Rezime:

Pod pojmom kvaliteta više ne možemo podrazumevati tradicionalnu kontrolu kvaliteta proizvoda sa ograničenim efektima u proizvodnji. Funkcija kvaliteta u preduzeću treba biti usmerena na obezbeđenje kvaliteta poslovnih procesa koji omogućavaju kvalitet proizvoda, ali i kvalitet poslovanja u celini. Novi koncept kvaliteta treba da podrazumeva preventivan pristup blagovremenoj ugradnji visokog nivoa kvaliteta a ne samo njegovoj kontroli. Sve ovo se može postići pomoću sistema kvaliteta celog preduzeća, novog sredstva za efikasno upravljanje kvalitetom. Veoma važan segment u sistemu kvaliteta preduzeća predstavlja sistem kvaliteta u Službi održavanja.

UVOD

Ukupna politička, ekonomska, tehničko-tehnološka i kulturna zbivanja u Evropi poslednjih godina odvijaju se u znaku Ujedinjene Evrope. Ostvarenje slobodnog kretanja ljudi, roba, kapitala i ideja u evropskom prostoru, bez ograničenja, ima opšte istorijsko značenje i trajno će obeležiti kraj XX veka. Ujedinjena Evropa predstavlja potpuno racionalan cilj koji se ostvaruje zahvaljujući sprovođenju nadnacionalnih programa industrijski najrazvijenijih zemalja zapadne Evrope, usmerenih na uklanjanje međusobnih fizičkih, tehničkih i poreskih barijera i formiranje jedinstvenog tržišta kao osnove za postojanje Evropske zajednice. Ovo znači da će unutrašnje međudržavne granice biti potisnute na spoljne granice Zajednice kojima će se ona graničiti prema svetu. Za sposobne to znači pojednostavljen ulazak i poslovanje unutar cele Zajednice, za sve ostale to će biti nesavladiv zid za njihove proizvode i usluge. Spoljne granice EZ-a pri tome dobijaju potpuno novi sadržaj u čemu dominantnu ulogu imaju tehničke barijere u čijoj osnovi su kvalitet i evropski (EN) standardi. Osnovna karakteristika zahteva za kvalitet i EN standarde jeste da su oni potpuno identični za proizvode, usluge i proizvođače iz zemalja članica EZ-a kao i za one izvan nje. Tehničke barijere se drugim rečima mogu predstaviti kao tehnički evropski nivo koji treba dostići ako se želi konkurentan pristup tržištu EZ-a. Na tržištu EZ-a kao i na celokupnom svetskom tržištu od tri osnovna faktora za uspeh firme (kvalitet, rok i cena) kvalitet je danas najvažniji.

Svako preduzeće koje ima ambicija da izbori svoje mesto na tržištu kako na domaćem tako i na stranom, nema izbora u pogledu odluke da svoj sistem kvaliteta uskladi ili ne sa zahtevima serije standarda ISO 9000.

Pre početka izrade analize postojećeg stanja sistema kvaliteta na nivou preduzeća rukovodstvo se mora odlučiti za model sistema kvaliteta, koji će odgovarati karakteristikama organizacije datim uslovima.

U uvodu svakog od tri međunarodna standarda (ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003) grupisani su izvesni elementi u tri različita modela zasnovana na funkcionalnoj ili organizacionoj sposobnosti zahtevanoj za proizvod ili uslugu od strane isporučioaca:

a) ISO 9001 - koristi se kad isporučilac treba da obezbedi usaglašenost sa utvrđeni zahtevima tokom nekoliko faza koje mogu obuhvatiti projektovanje, razvoj, proizvodnju, ugradnju i servisiranje.

b) ISO 9002 - koristi se kada isporučilac treba da obezbedi usaglašenost sa utvrđenim zahtevima tokom proizvodnje i ugradnje.

c) ISO 9003 - koristi se kada isporučilac obezbedi usaglašenost samo u završnoj kontroli i ispitivanju.

Osim gore navedenih funkcionalnih kriterijuma, a u odnosu na zahteve ISO 9004, sledećih šest faktora smatraju se osnovom za izbor odgovarajućeg modela za proizvod ili uslugu:

a) Složenost procesa projektovanja - Ovaj faktor se odnosi na složenost izrade projekta za proizvod ili uslugu kada takav proizvod ili uslugu tek treba projektovati.

b) Usavršenost projektovanja - Ovaj faktor obuhvata obim u kojem je celokupan projekat poznat i dokazan proverom performansi ili u eksploataciji.

c) Složenost proizvodnog procesa - Ovaj faktor obuhvata:

1. Raspoloživost svih proverenih proizvodnih procesa
2. Potrebu za razvojem novih procesa
3. Broj i raznolikost zahtevanih procesa
4. Uticaj procesa na funkcionisanje proizvoda ili obavljanje usluga

d) Karakteristike proizvoda ili usluga - Ovaj faktor obuhvata složenost proizvoda ili usluga, broj međusobno povezanih karakteristika i uticaj svake karakteristike na funkcionisanje proizvoda ili obavljanje usluga.

e) Bezbednost proizvoda ili usluga - Ovaj faktor zavisi od rizika nastanka otkaza i posledica koje nastaju zbog otkaza.

f) Ekonomičnost - Ovaj faktor obuhvata troškove i kupca i isporučioaca predhodnih faktora u odnosu na troškove nastale zbog neusaglašenih proizvoda.

Postupak izbora modela zasniva se na sistematskom razmatranju do sada opisanih faktora, uz pridavanje odgovarajuće pažnje ekonomskom faktoru.

Analiza postojećeg stanja sistema kvaliteta u Službi održavanja

Cilj analize jeste utvrđivanje usaglašenosti i stepena razvoja postojećeg stanja kvaliteta i pripreme detaljnog programa rada na realizaciji programa unapređenja kvaliteta do usaglašenosti sa izabranim standardom (npr. ISO 9002).

Postupak analize odvija se sledećim redosledom:

1. Izrada liste kontrolnih pitanja u odnosu na zahteve standarda ISO 9002 koji se odnose na službu održavanja.

2. Potrebno prilagođavanje pitanja u cilju što detaljnije analize i dobijanje što jasnijeg uvida u pravo stanje sistema kvaliteta u Službi održavanja.

3. Snimanje stanja - obavlja se proverom na licu mesta i razgovoru sa odgovornim stručnim radnicima na osnovu čijih odgovora na listi kontrolnih pitanja se dolazi do procene stanja.

U cilju što adekvatnije analize izrađuje se lista kontrolnih pitanja u odnosu na zahteve standarda (ISO 9001/2/3) koja se odnose na Službu održavanja. Zaglavlje liste ima sledeći oblik:

Taska	ZAHTEV JUS ISO 9002	Oцена
-------	---------------------	-------

a pitanja su u vezi:

organizacije; ovlašćenja i odgovornosti; sredstava i kadrova za verifikaciju; predstavnike rukovodstva; sistem kvaliteta; preispitivanje ugovora; kontrole dokumenata; nabavke - ocene

podugovarača; podataka o nabavci, verifikacije nabavljenih proizvoda; identifikacije i sledljivosti proizvoda, kontrole procesa (opštih i specijalnih); kontrole ispitivanja (prijemno odeljenje); kontrole i ispitivanja u toku procesa; završne kontrole i ispitivanja; opreme za kontrolisanje, merenje i ispitivanje; statusa kontrolisanja i ispitivanja; kontrole neusaglašenosti proizvoda; preispitivanja neusaglašenosti i njihovog otklanjanja; korektivnih mera; zapisa o kvalitetu; internih provera kvaliteta; stručnog osposobljavanja; i statističkih metoda.

Ocenjivanje postojećeg stanja sistema kvaliteta na osnovu kontrolnih pitanja (zahteva) prilagođenih aktivnostima Službe održavanja

Pitanja su podeljena po grupama, i u vezi su sa aktivnostima Službe održavanja:

AKTIVNOST	ZAHTEVI ISO 9002
AKTIVNOST I	Organizacija i kontrola rada Službe održavanja
AKTIVNOST II	Koordinacija sa ostalim Službama
AKTIVNOST III	Izbor uređaja, uređaja i aparata
AKTIVNOST IV	Planiranje remonta i preventivnog održavanja
AKTIVNOST V	Remont, preventivno i tekuće održavanje mašina, uređaja, aparata, opreme i instalacije
AKTIVNOST VI	Prijem, montaža i puštanje u rad nove opreme i mašina
AKTIVNOST VII	Nabavka rezervnih delova
AKTIVNOST VIII	Opšti sektor
AKTIVNOST IX	Kontakti sa spoljnim (inostranim i domaćim) partnerima (montaži, servisici, dobavljači)
AKTIVNOST X	Periodična kontrola i validacija uređaja, instalacija, alata, zadrživača i merno regulacione opreme
AKTIVNOST XI	Poručivanje, prijem i manipulacija tehničkim gasovima, fluidima
AKTIVNOST XII	Saradnja pri kreiranju i ispitivanju ambalaze
AKTIVNOST XIII	Uskladjivanje rada službe sa važećim standardom
AKTIVNOST XIV	Čuvanje rezervnih delova i potrošnih materijala
AKTIVNOST XV	Izrada i čuvanje tehničke i druge dokumentacije
AKTIVNOST XVI	Planiranje i izvođenje obuke članova službe

Projektovanje i praćenje sistema održavanja tehničke opreme prema zahtevima JUS ISO 9002/4 standarda

Svako preduzeće projektuje svoj sopstveni sistem održavanja tehničke opreme. Cilj je da se projektuje takav sistem održavanja koji će za svu tehničku opremu da osigura što je moguće manje vreme zastoja a time će se dobiti najveća moguća operativna gotovost kompletne tehničke opreme. Operativna gotovost je verovatnoća da posmatrana tehnička oprema obavlja svoju radnu funkciju na zadovoljavajući način u realnim uslovima. Da bi se postigla što je moguće veća operativna gotovost potrebno je ostvariti što je moguće veće srednje vreme između otkaza i što je moguće manje srednje vreme zastoja

Osnovne karakteristike sistema održavanja i njihovi elementi:

Da li je projektovani sistem održavanja tehničke opreme uspešan ili ne proverava se tokom vremena uz pomoć gore navedenih kriterijuma. Kriterijum je usvojena zadovoljavajuća operativna gotovost i usvojeni zadovoljavajući prihvatljivi troškovi.

SISTEM ODRŽAVANJA TEHNIČKE OPREME		
VRSTE ODRŽAVANJA	VIDOVI ODRŽAVANJA	PODRŠKA ODRŽAVANJE
1. DNEVNO ODRŽAVANJE	1. PREVENTIVNO ODRŽAV.	1. KADROVSKA
2. NEDELJNO ODRŽAVANJE	2. KOREKTIVNO ODRŽAV.	2. REMONTNA OPREMA
3. MESEČNO ODRŽAVANJE		3. ALAT
4. GODIŠNJE ODRŽAVANJE		4. PROSTOR
		5. REZERVNI DELOVI
		6. ORGANIZACIJA
		7. DOKUMENTACIJA

Izrada potrebne dokumentacije; Procedura toka projektovanja i sprovođenja održavanja tehničke opreme

Procedura za održavanje tehničke opreme osigurava minimalno moguće vreme zastoja a time i najveću moguću operativnu gotovost. Ove procedure se odnose na plansko i tekuće održavanje tehničke opreme. Rukovodilac Službe kvaliteta je odgovoran za pravilnu primenu ove procedure.

1. Određivanje nivoa i vida održavanja

- 1.1. Služba kvaliteta je odgovorna za održavanje i kontrolu zapisa o vrsti i vidu podrške održavanju.
- 1.2. Služba kvaliteta je odgovorna za vođenje predhodnih podataka o održavanju tehničkih sredstava. Ovi podaci će pokazati potrebno održavanje i datume izvršavanja.
- 1.3. Indikacija održavane opreme biće uspostavljena uz pomoć nalepnica koje se stavljaju na svu održavanu opremu.
- 1.4. Postupke tekućeg održavanja može izvršavati rukovalac tehničkom opremom uz odgovarajući alat koji se nalazi uz posmatranu opremu.
- 1.5. Rukovalac tehničkom opremom koji izvršava postupke operacionog održavanja dužan je da vodi zapis o izvršenom poslu, a jednu kopiju zapisa da prosledi u službu održavanja svom predpostavljenom.
- 1.6. Pretpostavljeni rukovaoca tehničkom opremom je dužan da obezbedi da se dobijeni podaci unesu u bazu podataka.
- 1.7. Rukovodilac Službe održavanja formira ekipe za vršenje srednjeg i generalnog remonta.

2. Izrada alokacionih karata održavanja

- 2.1. Rukovodilac Službe održavanja određuje ekipu za izradu alokacionih karata za sve što sačinjava tehničku opremu.
- 2.2. Alokacione karte moraju da sadrže relevantne podatke u vezi načina održavanja
 - vrstu održavanja za svaki deo posmatrane mašine
 - vid održavanja koji se na tom nivou sprovodi
 - opis posla (šta se tačno radi u okviru pojedinih aktivnosti)
 - koliko osoba i kakve kvalifikacije su potrebne da bi se određena aktivnost sprovela
 - remontna oprema i alati koji su pri tome potrebni
 - dokumentacija koja se koristi
 - rezervni delovi koji su neophodni
 - odgovorno lice za izvršenu aktivnost
- 2.3. Alokacione karte se trebaju čuvati na jednom mestu.
- 2.4. Za čuvanje alokacionih karata odgovoran je rukovodilac Službe održavanja.

3. Izbor elemenata podrške održavanju

- 3.1. Tim inženjera Službe održavanja vrši analizu alokacionih karata o optimizaciji svih elemenata podrške održavanju.
- 3.2. Optimizaciju vršiti tako da za svaki deo tehničke opreme bude obezbeđeno održavanje onako kako se zahteva u njegovoj alokacionoj karti održavanja. Pri tome moraju biti zadovoljeni ciljevi sistema održavanja: zadovoljavajuća operativna gotovost i zadovoljavajući troškovi održavanja.

4.(5.) Izmene elemenata podrške

4.1. Rukovodilac Službe održavanja određuje period provere efikasnosti sistema održavanja.

Ako se pokaže da je sistem dobar usvaja se, ali ako se pokaže da sistem održavanja ne ispunjava zadate uslove mora da dođe do izmene nekih ili svih elemenata koji sačinjavaju podršku održavanju.

6. Praćenje sistema održavanja

- 6.1. Sve liste preventivnog održavanja i liste otkaza obavezno je uredno voditi za svaku mašinu ili deo tehničke opreme i za taj posao odgovoran je šef ekipe koja vrši pregled i održavanje.
- 6.2. Lista preventivnog održavanja predstavlja spisak svih aktivnosti preventivnog održavanja. Ona sadrži: datume, opise sprovedenih aktivnosti preventivnog (planskog) održavanja i nivoe na kojima su te aktivnosti izvršene.
- 6.3. Listama otkaza se evidentira: vreme otkaza mašine, uslovi rada u trenutku otkaza, način otkaza, uzrok, mesto otkaza, način opravke, broj ljudi, njihova kvalifikacija i potpis ovlašćenog lica.
- 6.4. Vreme zastoja se može razložiti na: vreme aktivne opravke, vreme čekanja na rezervne delove, administrativni zastoj i drugo.
- 6.5. Na osnovu liste otkaza šef ekipe zadužene za održavanje izrađuje periodični izveštaj o otkazima tehničke opreme.
- 6.6. Po jedan primerak gore navedene dokumentacije ide rukovodiocu Službe održavanja i Službi upravljanja kvalitetom.

7. Analiza periodičnih izveštaja o otkazima

- 7.1. Analizu periodičnih izveštaja vrše rukovodilac Službe održavanja i ekipa inženjera na poslovima održavanja. Ako analiza pokaže da je sistem održavanja u proteklom periodu ispunio očekivanja nema nikakvih izmena i sistem se dalje prati. U suprotnom sistem održavanja se menja delimično ili u potpunosti.
- 7.2. U sastav periodičnog izveštaja ulaze liste preventivnog održavanja, lista otkaza i alokacione karte tehničke opreme.

8. Imena elemenata sistema održavanja

- 8.1. Ako analiza pokaže da je vreme zastoja tehničke opreme nedozvoljeno veliko i da su troškovi zbog zastoja isuviše veliki moraju da se preispitaju svi elementi održavanja uključujući i broj nivoa održavanja.
- 8.2. Nove elemente određuje tim inženjera na čelu sa rukovodiocem Službe održavanja. Ovi elementi se prate i proveravaju dok se u preduzeću ne dođe do sistema održavanja koji će za jedan duži period davati zadovoljavajuće rezultate.
- 8.3. Obezbeđenje praćenja i upravljanja troškovima održavanja obavezno vodi nezavisna ekipa. Ova ekipa daje podatke za troškove zbog zastoja i za troškove održavanja.

Izrada potrebne dokumentacije

Dokumentaciju (procedure, uputstva i zapise) izrađuju mašinski i elektro inženjeri, odnosno članovi radnog tima na uvođenju sistema kvaliteta.

Dokumentaciju je potrebno pisati tako da se poštuju načela usvojenog standarda, ISO 9002.

Dokumentacija treba biti: razumljiva i jasna, usaglašena sa drugim dokumentima, usaglašena među korisnicima i u skladu sa standardom. Osim toga treba voditi računa o formi dokumenta i o tome da se dokument može realno primeniti.

Tok izrade dokumentacije:

1. Izrada algoritma (dijagrama) toka aktivnosti. Ovaj dijagram treba da sadrži podatak koja su "izlazna" dokumenta pojedinih procedura.

2. Izrada matrice odgovornosti za pojedine poslove.

3. Usaglašavanje do sada navedenog sa svim učesnicima i rukovodiocima organizacionog dela.

4. Izrada tekstualnog dela procedure.

5. Izrada uputstava, zapisa, priloga i sl.

Ovako pripremljen materijal pregleda i overava šef Službe obezbeđenja kvaliteta, a odobrava direktor sektora ili generalni direktor. Dokument stupa na snagu danom odobravanja odmah se primenjuje. Za umnožavanje i distribuciju odgovorna je Služba obezbeđenja kvaliteta.

Korisnici dokumenta su dužni da:

- postupaju po uputstvima datim u dokumentu
- da ga čuvaju na određenom mestu
- da ga zaštite od oštećenja ili oštećen dokument vrate Službi i zamene
- da vode brigu o ažurnosti
- da zajedno sa Službom obezbeđenja kvaliteta vrše izmene
- da nevažeca dokumenta vrate Službi obezbeđenja kvaliteta

ZAKLJUČAK

Potrebni su temeljno obrazovanje, veliko znanje, dobra praksa i značajno vreme pa da se izvrši promena shvatanja samog pojma kvaliteta od tradicionalne i konzervativne tehničke kontrole u samom procesu proizvodnje ka kulturi kvaliteta. Uvođenje sistema kvaliteta je dugogodišnji proces koji zahteva uporan rad, menjanje dosadašnjeg načina razmišljanja i stila rada.

Nije potrebno ispitivati ono što je već ispitano, ni dokazivati ono što je već dokazano. Uvođenje i primena standarda ISO 9000 mora da postane osnovni prioritet privrede, jer svako kašnjenje znači zaostajanje za konkurenciju i gubitak stečenih pozicija.

Služba održavanja u preduzećima, mora obezbediti što je moguće veću operativnu gotovost tehničke opreme da bi ona mogla da obavlja svoju radnu funkciju na zadovoljavajući (propisan način).

LITERATURA

1. Dimitrijević, P., Upravljanje kvalitetom konformnosti, Priručnik I i Priručnik II, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1995.
2. Heleta, M., Kvalitetom u Evropu, ***, Sarajevo, ***
3. Standardi serije ISO 9000
4. Časopis: "KVALITET", Poslovna politika, Beograd, 1986-1995.

Abstract:

With the quality notion we can not further include implicitly the traditional products' control with the limited effects in production. The quality function in a company necessitates to be headed to provide the quality of business processes that enable products quality, but as well the quality of doing business as a whole. The new quality concept means the preventive acces to the timely building into the high quality level, not only its control. All this can be done by the quality system of the whole company, the new means for the effective quality management. Very important segment in the company quality system is the quality system in the Maintenance Department.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL LEVEL OF ENGINEERING WORKS AND THEIR PRODUCTS

Prof. Ing. Juraj Muránsky, CSc.,

Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice, Slovakia

Summary

Human activities, including the engineering works and their products in it, considerably affect the natural environment. Environmental Impact Assessment (EIA) requires the qualitative and quantitative prediction, assessment and evaluation of the impact of human activities on the environment in terms of appropriate indicators. Various type of methods and models, implemented on computers are major type of tools for the prediction and analysis of these impacts. This approach has been applied to the evaluation of the environmental level of engineering works and their products in the East - Slovakian region. The presented paper contains some of the final results of the research project N°1/990372/93 entitled as "Evaluation and Design of the Environmental Level of Engineering Works and their Products". The project has been supported by the Slovak Grant Agency for Science.

1. INTRODUCTION

The ecological debt of enterprises, directed by the Ministry of Economy of Slovakia, is 72,5 bil. SK (Slovak Crowns) at the present time. The share of engineering enterprises from this amount represents 6 bil. SK, and its settlement is not possible for well-known reasons. The activity of the most of contemporary engineering works and their products in Slovakia have negative impact on its environment. (E.g. in the East - Slovakian it is 70 % resp. 60 % - according to the results of our research in years 1991 - 1992). It is supposed too that the need of ecological investments will be increased in the near future, because the legislation in this field will be perfected. (E.g. acceptance of EIA - Environmental Impact Assessment standard in Slovakia). The following strategy and philosophy results from these facts: do not deteriorate the present state of the environment of Slovakia. Any engineering product and any manufacturing technology and engineering factory with negative impact on environment can not be carried out in Slovakia in future years, and the being ones must be evaluated and environmentally innovated. These considerations, corresponding with the accepted strategy, have been the most important starting points for the scientific goals of our research in this field.

2. EVALUATED OBJECTS AND THEIR ECOLOGICAL PARAMETERS

2.1 Engineering products

The number of engineering products and their direct contacts with the environment have been the most significant criteria for their selection. The selected groups of these engineering products are as follows:

- motor vehicles (vans, lorries, personal cars, etc.),
- agricultural machines,
- machines for civil engineering,
- road - building and up - keeping machines,
- machines for forestry.

A motor vehicle is a typical engineering product. Its ecological parameters can be the following ones :

- kerb weight (kg),
- pass by noise (dB/A),
- exhaust emissions :
 - = CO (g/km),
 - = HC (g/km),
 - = NO_x (g/km),
- surface of chrome plating parts (m²),
- consumption of fuel for v=90 km/h (1/100 km),
- drag coefficient Cd,
- applied colours (shades, etc.),
- elimination degree of interference (I. basic degree; II. improved and III. progressive one),
- surfaces coated with water - based coats (%),
- aluminium and its alloys application (total weight of the Al parts - kg),
- plastics application (total weight of the plastic parts - kg),
- recycling possibility of the applied plastic parts :
 - = immediately after removal (%),
 - = easy (%),
 - = satisfactory (%),
 - = difficult (%),
 - = impossible (%)

The typical ecological parameters are specified for the other engineering products too, in a similar way.

2.2 Engineering works

The ecological level of engineering works has been evaluated according to twelve different parameters in average. The following factors and parameters each of 48 engineering factories in the East - Slovakian region have been investigated, analysed and evaluated in this area :

- solid particles, SO₂, NO_x and CO concentrations (according to the air quality modelling by means of the Sutton's formulas for local conditions and the whole region),
- dumping site landfill evaluation,
- biochemical and chemical oxygen demand, non - soluble and soluble solids and crude oil products in the sewage.

3. AN OVERVIEW OF THE APPLIED EVALUATION AND MODELLING METHODS

For the total evaluation of the environmental level of the objects given above, a special evaluation method has been developed. Its basic principles can be expressed by the following formulas :

$$ZC = \sum_{j=1}^{m_1} \frac{G_j(P_j - V_j)}{P_j \sum_{j=1}^{m_1} G_j} 100 + \sum_{j=m+1}^{m_2} \frac{G_j(V_j - P_j)}{P_j \sum_{j=m+1}^{m_2} G_j} \quad (1)$$

where

j - index of variables, if

$j = 1, 2, \dots, m_1$ or $j = m+1, m+2, \dots, m_2$,

ZC - evaluation number of the evaluated object,

G_j - significance factor ($0, 1 \leq G_j \leq 1$),

P_j - requirements on the object,

V_j - properties of the evaluated object,

$$ZC = \max\{ZC_i\}_{i=1}^n \quad (2)$$

where

i - index of the object, if $i = 1, 2, \dots, n$

and n - number of the objects compared.

The formula (2) is the criterion of optimization for the case that it is necessary to compare more objects reciprocally.

Sutton's formula for the air quality modelling (by a special programme), in its basic form is :

$$c(x, y, z) = \frac{M}{2\pi U \cdot \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp - \left[\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)} \right] \cdot \left\{ \exp - \left[\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)} \right] + \exp - \left[\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)} \right] \right\} \quad (3)$$

where

$c(x, y, z)$ - concentration of an air pollutant (g/m³) in the point (x, y, z) of the evaluated area,

M - emission source efficiency (g/s),

h - effective height of source (stack height) - (m),

U - wind speed (m/s) in the source height,

$\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ - Gaussian parameters of the dispersion variance in connection to the air pollutant concentration in the direction of y and z axis and distance x from the emission source.

For the surface water quality modelling the Streeter - Phelps equations have been applied. According to these equations the oxygen concentration in surface water has been investigated, when the water has been contaminated by the biological and chemical pollutants of the very different kinds, emitted by the evaluated engineering works. More detail description of the applied simulation model and its programme is not possible, because of the limited range of this paper. Detail information is given in (2).

A special method has been elaborated too for the dumping site landfill evaluation of the engineering works. This method is detailly explained in (2) again.

4. SOME OF THE RESULTS ACHIEVED

The final results have been elaborated in the alpha - numerical and graphical form. Because the graphical form of the results are the most illustrative ones, some of diagrams and tables are given in the following parts of this paper. Some further explanation is not necessary, because they are quite detailly commented.

5. THE FUTURE RESEARCH ACTIVITIES

According to the ISO standard N° 14001 and EIA procedures each of engineering product, manufacturing technology, engineering factory and system must be checked by these standards before their realisation (in the near future) Their environmental level make possible to propose their improvement and innovation, to reduce their use and in some cases even to stop their production or functioning. It is one of the ways, how to repair environment in Slovakia. A huge quantity of well - qualified work will be demanded, if we want to respect these strategic aims. Starting from these points of view, an automated system of environmental auditing (ASEA) is elaborated at the FME - Košice, Slovakia. The system is an interactive one and it makes possible to accelerate the evaluation procedures (except administrative activities) almost from 7 to 20 times.

6. CONCLUSION

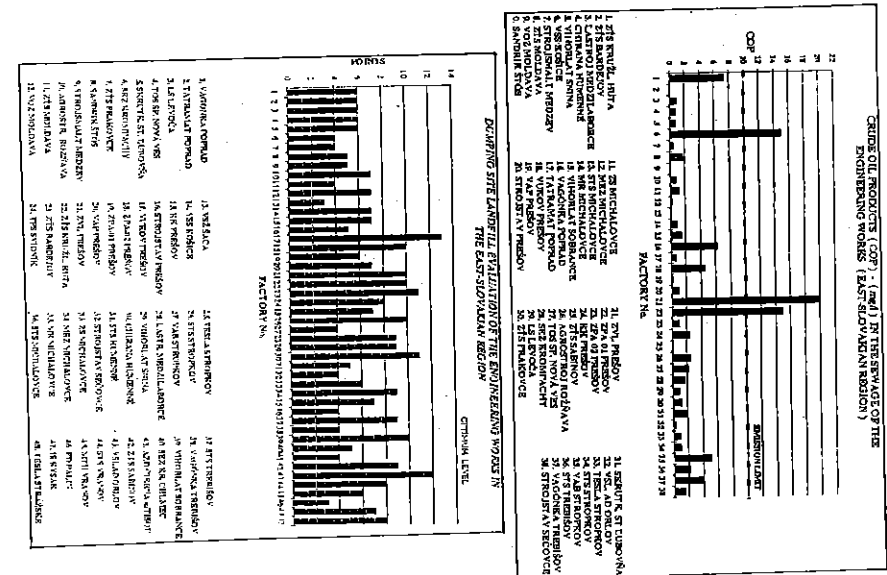
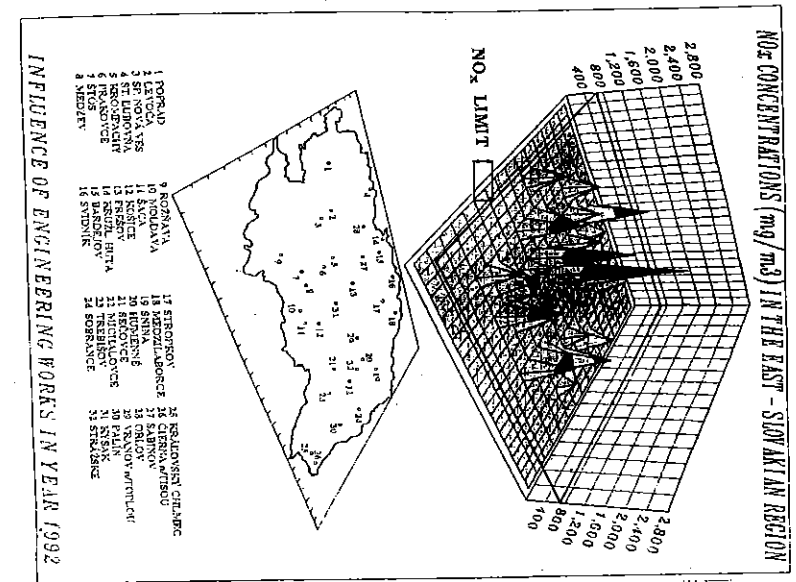
It is evident that providing more detail information has been rather difficult, because of the limited range of this paper. Probably it will be possible during the conference, when this paper will be presented.

REFERENCES

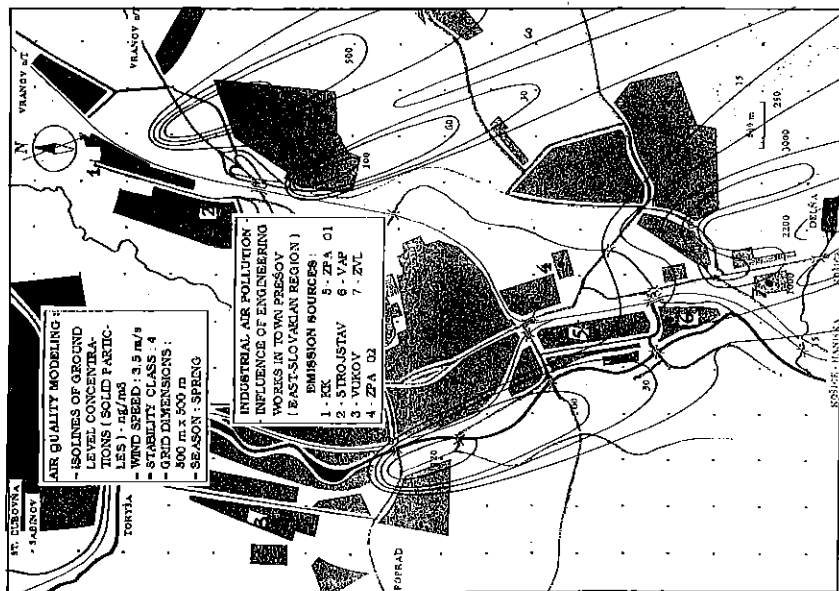
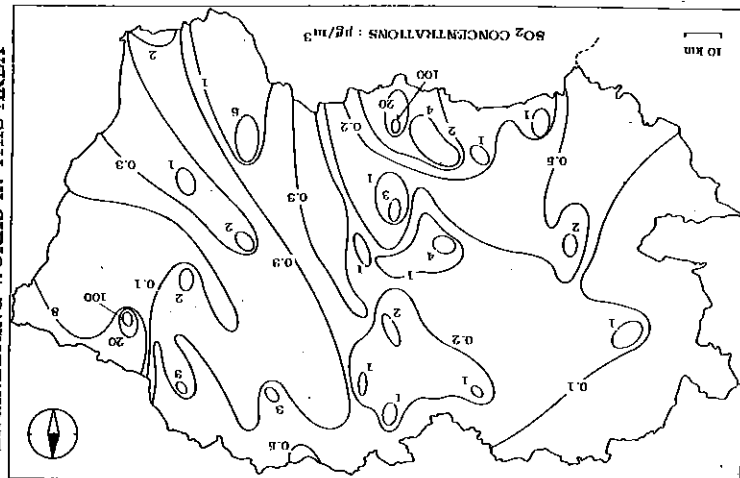
- (1) Muránsky, J. : Evaluation of the ecological level of motor vehicles. Proc. of the 25th Int. Symp. ISATA '92, Vol. IV., Florence, AA Ltd., Croydon, 1992
- (2) Muránsky, J. : Evaluation and Design of the Environmental Level of Engineering Works and their Products (Final Report), ES - TU, Košice, 1993

PRODUCT NAME	ZC	CODES OF THE NOT FULFILLED REQUIREMENTS
TRUCK MIXER AM-369	- 70	2,4,5,7,8,10
PETROL TRUCK CA-39	- 24	2,4,7,8,10
LOGGING CABLE WAY	58	9,10
CONCRETE MIXER MBM 250	- 72	1,2,5,10,13
CARAVAN	0,63	7,8,9,10,11,12
TRACTOR TRAILER AGRO 1	34	5,10
GARDEN TRACTOR MT-8	- 334	2,3,7,8,10
ROAD MARKING CAR ZV-25	- 47	1,5,7,8,10

NOTE: ZC ≥ 0 THE PRODUCT FULFILLS THE AVERAGE ENVIRONMENTAL LEVEL
ZC < 0 THE OPPOSITE CASE



AVERAGE SO₂ CONCENTRATIONS IN THE EAST-SLOVAKIAN REGION (Y. 1992) - INFLUENCE OF THE ENGINEERING WORKS IN THIS AREA



T. Pantelić *, P. Dašić **

ISTRAŽIVANJE POUZDANOSTI PROIZVODA PRI NJEGOVOJ MODERNIZACIJI

Rezime

U radu se prikazuje matematički model za procenu pouzdanosti složenog proizvoda pri njegovoj modernizaciji. Ciljna funkcija u modelu je minimizacija disperzije pouzdanosti proizvoda a ograničenje predstavljaju raspoloživa materijalna sredstva.

1. UVOD

Unapređenje kvaliteta proizvoda, u savremenim uslovima poslovanja, sve više postaje glavni faktor razvoja preduzeća i njegovog održavanja na tržištu. Pri tome se kvalitet ne može posmatrati izolovano, već u međuzavisnosti sa ekonomičnošću izrade proizvoda i fleksibilnošću preduzeća za prilagodavanje tržišnim zahtevima.

U uslovima našeg privrednog okruženja u preduzećima u čijem proizvodnom programu dominiraju kompleksni proizvodi, u pogledu shvatanja i rešavanja ključnih problema vezanih za kvalitet, vladala je višegodišnja inercija. Težnja rukovodećih stuktura je bila: zadržati što više zaposlenih čak i kada su proizvodne aktivnosti i efektivnost rada bili vrlo niski. Usled nedovoljne iskorišćenosti proizvodnih resursa, u narednom periodu treba očekivati intenzivniji rad na osavremenjavanju i inoviranju postojećih složenih proizvoda, koji okupljaju veći broj preduzeća radi njihove realizacije. Pri sprovođenju proizvodnog procesa inoviranog proizvoda, potrebno je na određen način inovirati i kontrolna ispitivanja, kako pojedinih elemenata, podsklopova i sklopova, tako i proizvoda u celini. Polazeći od složene strukturne kompozicije proizvoda i ograničenih materijalnih sredstava namenjenih za kontrolna ispitivanja pri njegovom inoviranju, u narednom tekstu se istražuje postupak za utvrđivanje dozvoljenih granica disperzije pokazatelja o pouzdanosti kompleksnih proizvoda kao celine.

* Prof. dr Tihomir Pantelić, Mašinski fakultet, Kraljevo
 ** Mr Predrag Dašić, Viša tehnička mašinska škola, Trstenik

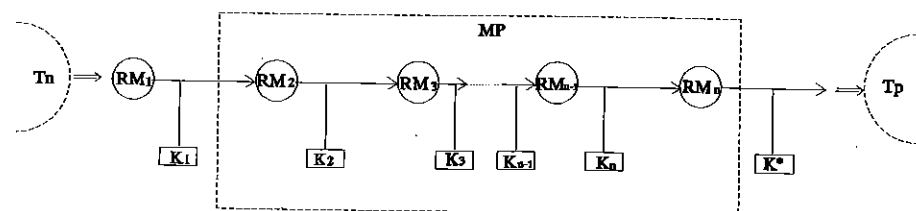
2. UTVRĐIVANJE OPTIMALNOG RASPOREDA KONTROLNIH MESTA

Analiza sistema kontrole kvaliteta u preduzećima koja proizvode složene proizvode, sa aspekta relevantnosti dobijenih rezultata pokazuje da pojedinačna kontrolna mesta (u kontrolnom lancu) imaju nejednak značaj. Na nekim kontrolnim mestima dobijaju se pokazatelji koji suštinski otkrivaju karakteristike proizvoda u celini ili pojedinih njegovih komponentata, dok na drugim, ti pokazatelji su beznačajnog karaktera.

Zato inovacionim projektima složenih proizvoda treba obuhvatiti i kontrolu kvaliteta ali na taj način koji obezbeđuje da se neophodna verodostojnost informacije o kvalitetu ostvari kako pri najmanjim troškovima materijalnih sredstava i vremena, tako i pri minimalno mogućim veličinama uzoraka kontrolnih ispitivanja.

Radi ostvarenja prethodno iskazanog, neophodno je rešiti dva osnovna zadatka: (1) na optimalan način razmestiti mesta kontrole kvaliteta, (2) odrediti složenost i vrednost svake osnovne faze kontrole i ispitivanja proizvoda. Ostvarenje navedenih zadataka na optimalan način, zahteva formalizaciju uzastopnosti ciklusa proizvodnje sa etapama kontrole.

Pretpostavimo proces izrade složenog inoviranog proizvoda u montažnom proizvodnom pogonu u vidu uzastopnih izvršavanja radnih operacija na odgovarajućim radnim mestima (sl. 1)



sl. 1

Skup radnih mesta $\{RM_1, RM_2, \dots, RM_n\}$ ima elemente koji odgovaraju radnim operacijama (respektivno) i njihov redosled se ne može menjati. U redosled radnih mesta treba inkorporirati redosled svih faza kontrole kvaliteta, pri čemu se pod fazom kontrole podrazumeva mesto radnika u kontroli između dva uzastopna radna mesta. Na taj način nastaje skup

$$K_k = \{K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n\} \quad (1)$$

Poseban značaj se pridaje završnoj funkcionalnoj kontroli inoviranog proizvoda pa ta faza nosi simbol K^* .

U svakoj fazi kontrole kvaliteta montažnog pogona (MP) moguće je kontrolisati realizovani kvalitet više montažnih operacija (elementarnih). Potrebno je da se pronade takav podskup pozicija elementarnih montažnih operacija

$$PK_k = \{K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{ir}\} \subset \{K_1, K_2, \dots, K_n\} \quad (2)$$

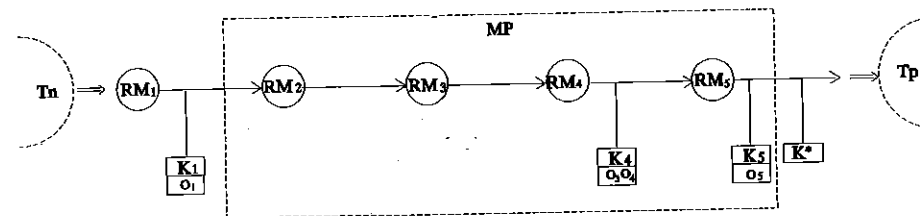
koji obezbeđuje da ukupni gubici od lošeg kvaliteta koji se pojavljuje bude minimalan.

Ako se sa P_{ij} označi verovatnoća otkrivanja lošeg kvaliteta ($L_i, i=1, n$), posle obavljene i -te operacije u j -toj etapi kontrole a sa G_{ij} vrednost otklanjanja lošeg kvaliteta i -tog oblika otkrivenog u j -toj etapi, i zatim uvođenjem logičke funkcije sa dve promenljive (A_{ij}) čiji su iskazi:

- pri $j=1, 2, \dots, n$ kvalitet obavljanja i -te montažne operacije kontroliše se u j -toj etapi,
- pri $j=n+1$ - kvalitet obavljanja i -te montažne operacije ne kontroliše se nigde,

postavljeni problem je moguće rešiti primenom metode redosleda koja je u operacionim istraživanjima dovoljno proučena, pa delom zbog toga a delom i zbog ograničenog prostora za ovaj rad, njena primena neće biti detaljno interpretirana.

Postavljeni skupovi (1) i (2), verovatnoća otkrivanja lošeg kvaliteta (L_i), i evaluirana vrednost gubitaka (G_i) omogućuju da se putem upoređenja različitih varijanata kontrolnih ispitivanja individualnog proizvoda, utvrdi ona varijanta pri kojoj su ukupni gubici usled lošeg kvaliteta minimalni. Utvrđivanje te varijante predstavlja bazu za postavljanje optimalnog rasporeda neophodnih kontrolnih faza kakav je, na primer, ilustrovan na sl. 2, čiji šematski prikaz svedoči o tome da je optimalna varijanta



sprovedenja kontrolnih ispitivanja sledeća: ulazna kontrola materijala, gotove robe i sastavnih komponentata inoviranog proizvoda koje se dobijaju od kooperanata, obavlja su u fazi K_1 prema kojoj je usmereno tržište nabavke (T_n) (operacija O_1); montažna operacija O_2 obavljena na RM_2 se ne kontroliše; montažne operacije O_3 i O_4 kontrolišu se u fazi ispitivanja K_4 ; montažna operacija O_5 kontroliše se u fazi ispitivanja K_5 ; završno ispitivanje finalnog proizvoda u uslovima koji u potpunosti ili približno odgovaraju eksploatacionim, obavlja se na kontrolnom mestu K^* , i usmereno je ka tržištu prodaje (T_p).

3. PROCENA POUZDANOSTI INOVIRANOG PROIZVODA NA OSNOVU ISPITANIH KOMPONENATA

Sprovedenje kontrolnih ispitivanja prema utvrdjenim fazama, omogućava da se dođe do podataka o kvalitetu svih ispitanih sklopova, podsklopova i elemenata. Smatrajući da je strukturna kompozicija inoviranog proizvoda poznata i da predstavlja određenu kombinaciju statistički nezavisnih sklopova, potrebno je proceniti njegovu pouzdanost za korišćenje u uslovima eksploatacije.

Ako se posmatra i -ta komponenta proizvoda, procena njene pouzdanosti može da se izrazi kao:

$$p_i = \frac{t_i}{n_i} \quad (3)$$

gde je:

n_i - broj komponentata u uzorku koji je ispitivan
 t_i - broj komponentata koje nisu otkazale za vreme ispitivanja.

Očigledno, da će pouzdanost finalnog proizvoda biti neka funkcija pouzdanosti svih sastavnih komponentata, tj.:

$$P = f(p_1, p_2, \dots, p_k) \quad (4)$$

Pri određivanju programa ispitivanja komponentata neophodno je da se uzimaju u obzir raspoloživa sredstva namenjena tom ispitivanju, pa se pojavljuje ograničenje u sledećem obliku:

$$\sum_{i=1}^k c_i \cdot n_i \leq S \quad (5)$$

Ciljna funkcija je svodenje na minimum disperzije procenjene pouzdanosti inoviranog proizvoda, što se može napisati kao:

$$\min \sigma_p = \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{n_i} \quad (6)$$

gde L_i predstavlja verovatnoću da će se u slučajno izabranom uzorku komponentata, otkriti loš kvalitet.

Izrazi (5) i (6) mogu biti preobraženi u povoljniji oblik uvođenjem sledećih oznaka:

$$\alpha_i = \frac{L_i}{\sum_{i=1}^k c_i}, \quad s = \frac{S}{\sum_{i=1}^k c_i}, \quad \lambda_i = \frac{c_i}{\sum_{i=1}^k c_i}$$

Tako se postavka problema svodi na matematički model oblika:

$$\min \sigma_p = \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{n_i} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i n_i \leq s$$

Imajući u vidu dobro poznatu nejednačinu iz statističke obrade uzoraka [4, str. 84]

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^k \alpha_i n_i} \leq \prod_{i=1}^k n_i^{\alpha_i} \leq \sum_{i=1}^k \alpha_i n_i$$

koja je ostarljiva pri ograničenjima $\alpha_i > 0$ i $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$, posle određenih transformacija, moguće je matematički model (7) iskazati na sledeći način:

$$\min \sigma_p = \max \sum_{i=1}^k \alpha_i n_i$$

$$\sum_{i=1}^k \lambda_i n_i \leq s \quad (8)$$

$$n_i \geq 0$$

Na taj način postavljeni problem se svodi na klasu zadataka linearnog programiranja, dobro proučenu u operacionim istraživanjima.

Rešavanje modela (8) a potom i analiza rešenja svodi se na sledeći zaključak:

Problem procene pouzdanosti inoviranog proizvoda na osnovu poznatih podataka dobijenih ispitivanjem njegovih sastavnih komponentata, uz respektovanje ograničenja (5), svodi se na procenu rezultata ispitivanja samo jedne, ali najmanje pouzdane komponente.

4. ZAKLJUČAK

Za procenu pouzdanosti modernizovanog proizvoda, u ovom radu je učinjem takav pristup da se najpre, na optimalan način utvrde mesta sprovođenja kontrolnog ispitivanja u toku faze proizvodnje proizvoda, a zatim da se, na osnovu tako ostvarenih pokazatelja, procene dozvoljene granice pouzdanosti finalnog proizvoda u uslovima njegove eksploatacije.

U osnovu ovakvog pristupa uvek je kao ograničenje postavljan ekonomski kriterijum, sa pretenzijom da se doprinese validnom izboru konane varijante koja minimizira disperziju pouzdanosti modernizovanog proizvoda i koja uvek predstavlja kompromis između težnje da se obezbedi visok nivo kvaliteta i da se minimiziraju troškovi svih kontrolnih ispitivanja.

5. LITERATURA

- [1] Гумбель, Статистика экстремальных значений (пер. с англ.), Мир, 1965.
- [2] Juran, J. M., Quality Control Handbook, New York, 1962.
- [3] Pantelić, T., Prilog istraživanju pouzdanosti mašinskih sistema u garantnom roku, Naučno-stručni skup, IRMES '95, knjiga II, str. 63.
- [4] Скрипник, В. М., Греции, А. Л., Альтернативные испытания малых выборок, на надежность, Наука и Техника, Минск, 1986.
- [5] Dašić, P., Pantelić, T., Computer Analyzing of Reliability of Cutting Tools, International Conference - ROTRIB '96, Bucuresti, 10th to 12th September 1996.

EXAMINATION OF RELIABILITY OF PRODUCT IN ITS MODERNIZATION

Abstract

This paper presents the mathematical model for the evaluation of reliability of complex product in its innovation. The target function in the model is the dispersion minimization of reliability of product, and available material means represent the limitation.



M.J. Perović, R Šofranac*

JEDAN PRISTUP RAZVOJU SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆU

Rezime

U ovom radu autor polazi od podudarnosti i prožimanja "CIM" sistema i sistema kvaliteta i na tako uspostavljenim relacijama definiše metodu za projektovanje sistema kvaliteta (SQP).

Ovaj metod se bazira na BSP i HIPO metodi dopunjene sa zahtjevima standarda i odgovornošću. Ova metoda obezbeđuje sistemski pristup razvoju sistema kvaliteta u preduzeću.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Sistem kvaliteta je svjetski transformacioni proces koji je zahvatio preko sto zemalja. Ovaj proces se pojavio u poslednjoj četvrtini dvadesetog vijeka kao način da se omogući globalizacija odnosno internacionalizacija poslovnih, kulturnih i drugih procesa. Internacionalizacija razvoja, proizvodnje i tržišta proizvoda je danas postala neophodnost a sistem kvaliteta postaje znak povjerenja, koji omogućava komuniciranje s kraja na kraj planete. Zato je sistem kvaliteta usaglašen sa međunarodnim standardima serije ISO 9000 danas predmet pažnje u tolikom broju zemalja, ustvari svih onih koji žele da budu dio internacionalnog tržišta.

Napredna preduzeća razvijenih zemalja su u poslednjih četvrtinu vijeka prošla kroz više transformacionih talasa:

Prvi talas transformacije je nastao pod uticajem energetske krize početkom sedamdesetih godina.

Drugi talas transformacije podrazumijeva segmentaciju velikih i srednjih preduzeća na upravljive cjeline kako bi se povećala efikasnost upravljanja.

Treći talas transformacije preduzeća nastao je pod uticajem dalje privatizacije posebno velikih državnih i javnih poslovnih sistema.

Četvrti talas ja nastao kao potreba ujedinjenja u Evropsku uniju sa okosnicom na sistem kvaliteta.

Ukazujući na ova četiri transformaciona talasa namjera je bila da se potencira kontinuiranost i sveobuhvatnost procesa kao uslov za uspjeh. Preduzeća u našoj zemlji,

* Prof. dr Milan J. Perović, Centar za kvalitet Mašinskog fakulteta Podgorica
Mr Rajko Šofranac, Centar za kvalitet Mašinskog fakulteta Podgorica

bar većina, nijesu prošla kroz ova četiri talasa transformacije, što proces uvodjenja, unapredjenja i održavanja sistema kvaliteta čini specifičnim i po mnogima obelježjima i sadržajima kompleksnijim nego što je to u naprednim preduzećima razvijenih zemalja.

Naime, naša preduzeća ulaze u ove procese sa relativno niskim nivoom organizovanosti a da nijesu prošla kroz prethodne transformacione procese i većina je bez uvedenog informacionog sistema. Takvo stanje organizovanosti traži nešto drugačiji pristup uvodjenju, unapredjenju i održavanju sistema kvaliteta u preduzećima.

U ovom radu se pokušava dati odgovor na pitanja kako pristupiti uvodjenju sistemu kvaliteta i kako doći do potrebnog broja informacija za taj sistem u uslovima koji karakterišu većinu naših preduzeća. U radu se ukazuje na mogućnost da se metode i tehnike koje se primjenjuju u koncipiranju CIM sistema, primijene u projektovanju sistema kvaliteta.

2. PROŽIMANJE KONCEPTA SISTEMA KVALITETA I KONCEPTA CIM SISTEMA

Preduzeća u našoj zemlji uvode sistem kvaliteta (S.Q.) u vrlo nepovoljnim uslovima. Većina preduzeća je iz sankcija izašla osiromašena, bez proizvodnog programa, bez tržišta a i prije sankcija većina preduzeća su bila u krizi. Ta kriza se ogleda u nedovoljnoj tržišnoj orijentisanosti, nedostatku razvojnog koncepta, bez kontrole upravljanja, nedovoljna organizaciona sredjenost i nedostatak informacionog sistema. Za razliku od naprednih preduzeća iz razvijenih zemalja, preduzeća u našoj zemlji uglavno nijesu prošla ni jedan od prethodna tri transformaciona talasa. Zato se postavlja osnovno pitanje da li u takvoj situaciji započinjati transformacioni proces uvodjenja i unapredjenja sistema kvaliteta.

Ovaj rad polazi od toga da proces uvodjenja sistema kvaliteta treba započeti a loše preduslove za to treba uzeti u obzir pri planiranju aktivnosti.

Ovdje se razmatra mogućnost korišćenja metoda i tehnika CIM sistema za projektovanje i uvodjenje sistema kvaliteta. Pri tome se polazi od osnovnih karakteristika CIM sistema.

CIM sistem predstavlja koncept integracije svih procesa u poslovnom sistemu. Zato u akronimu CIM poseban značaj ima I (Integrated) a M se odnosi na proizvodnju (Manufacturing) u širem smislu riječi. Pojam CIM je dalje evoluirao u tri izvedena značenja: HOCIM, koji naglašava značaj ljudskih resursa CIE, koji naglašava sveobuhvatnost poslovnog (E-Enterprise) sistema i CIB, koji naglašava biznis, tj. integraciju svih poslovnih funkcija.

Arhitektura CIM sistema obezbjeđuje sveobuhvatnost, dinamičnost, fleksibilnost, višedimenzionalnost, multidisciplinarnost, slojevitost i komunikativnost. Sledstveno tome modeli CIM sistema koji su do sada razvijeni, proizilazeći jedan iz drugoga, ove karakteristike sve više su razvijali (CASA/SME model, AWF model, Helbergov model, CIM/OSA model). Naravno, modeli se stalno usavršavaju što je i razumljivo, s obzirom da se CIM koncept nalazi u početnoj fazi razvoja.

CIM - modeli (CIM/OSA) definišu pristup projektovanju (opštost), primjeni i poslovanju i to sa aspekta:

1. funkcije - procesa,
2. resursa - sredstava,
3. procedura - informacije,
4. struktura - organizacije,
5. odgovornosti - odlučivanje (hijerarhija upravljanja i tokovi odlučivanja).

Ovih pet komponenti CIM sistema se praktično u cjelini nalaze u definiciji sistema kvaliteta (JUS - ISO. 9004 - 4.4.1.), koja glasi: sistem kvaliteta čine organizaciona struktura, odgovornosti, postupci, procesi i sredstva za sprovođenje upravljanja kvalitetom.

CIM		SQ ↔ TQM
Funkcije - procesi	↔	Funkcije - procesi
Resursi - sredstva	↔	Resursi
Procedure - informacije	↔	Postupci - procedure
Organizacione strukture	↔	Organizacione strukture
CIM menadžment	↔	Odgovornosti

Isti pristupi konceptu CIM i konceptu sistema kvaliteta upućuju na prožimanje ova dva koncepta i na mogućnost korišćenja istih modela za projektovanje i implementaciju oba koncepta. Oba koncepta upućuju na:

- masovnost učesnika u projektovanju i primjeni,
- masovnost obuke za projektovanje i primjenu,
- globalni pristup u projektovanju a lokalni u implementaciji,
- informacija kao sredstvo integracije i uslov za dokumentovanost,
- hijerarhiju odlučivanja i odgovornosti, što opet upućuje da metode i tehnike koje su razvijene za jedan koncept možemo koristiti za razvoj drugoga.

3. METODA PROJEKTOVANJA SISTEMA KVALITETA OSLONJENA NA METODE RAZVOJA CIM - SISTEMA

Za planiranje i implementaciju CIM sistema razvijeno je više pristupa i metoda a najčešće su to kombinacije raznih metoda za projektovanje i implementaciju informacionih sistema i fleksibilnih proizvodnih sistema. Ove metode (BSP, HIPO, ISAC, SDM i dr). Ove metode na konzistentan način rješavaju projektovanje i razvoj CIM-a, a ovdje ćemo ih implementirati za rješavanje pristupa sistema kvaliteta. Na taj način bi se dosadašnji arhaičan način u planiranju sistema kvaliteta zamijenio sistemskim pristupom.

Između više metoda ovdje se analiziraju dvije: BSP i HIPO kao primjerene za planiranje i implementaciju sistema kvaliteta.

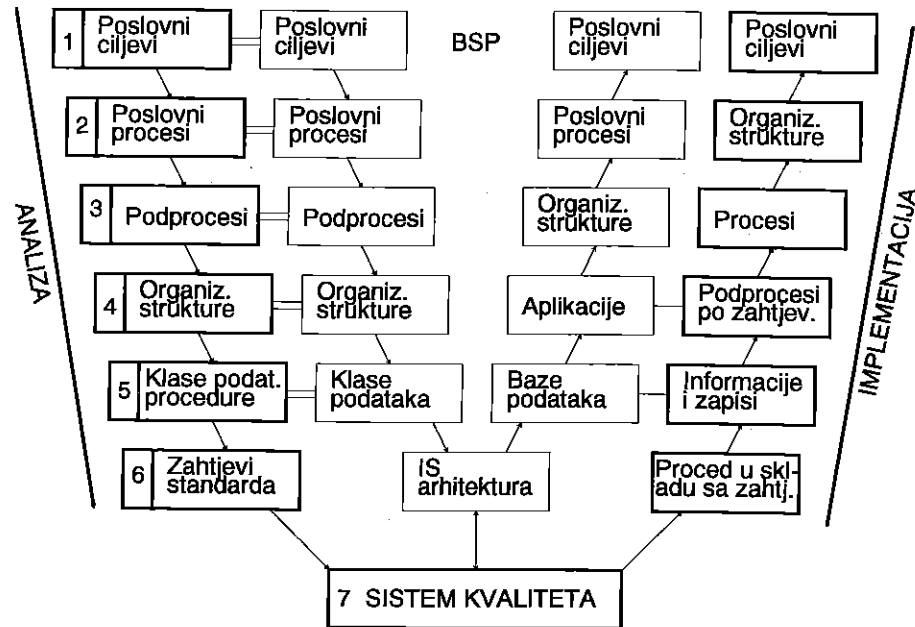
3.1. Primjena BSP metode u planiranju sistema kvaliteta

BSP (Business System Planning) metoda promovisana od IBM-a na sistemski način definiše pristup projektovanju i implementaciji informacionog sistema. Ova metoda se upotrebljava za projektovanje i implementaciju CIM sistema. Pošto smo utvrdili identičnost pristupa CIM sistemu i sistemu kvaliteta, ovdje se utvrđuje primjerenost

primjene ove metode na projektovanje i implementaciju sistema kvaliteta.

Metoda BSP sa TOP-DOWN analizom i Bottom-Up realizacijom ima za sistem kvaliteta posebno dva važna segmenta:

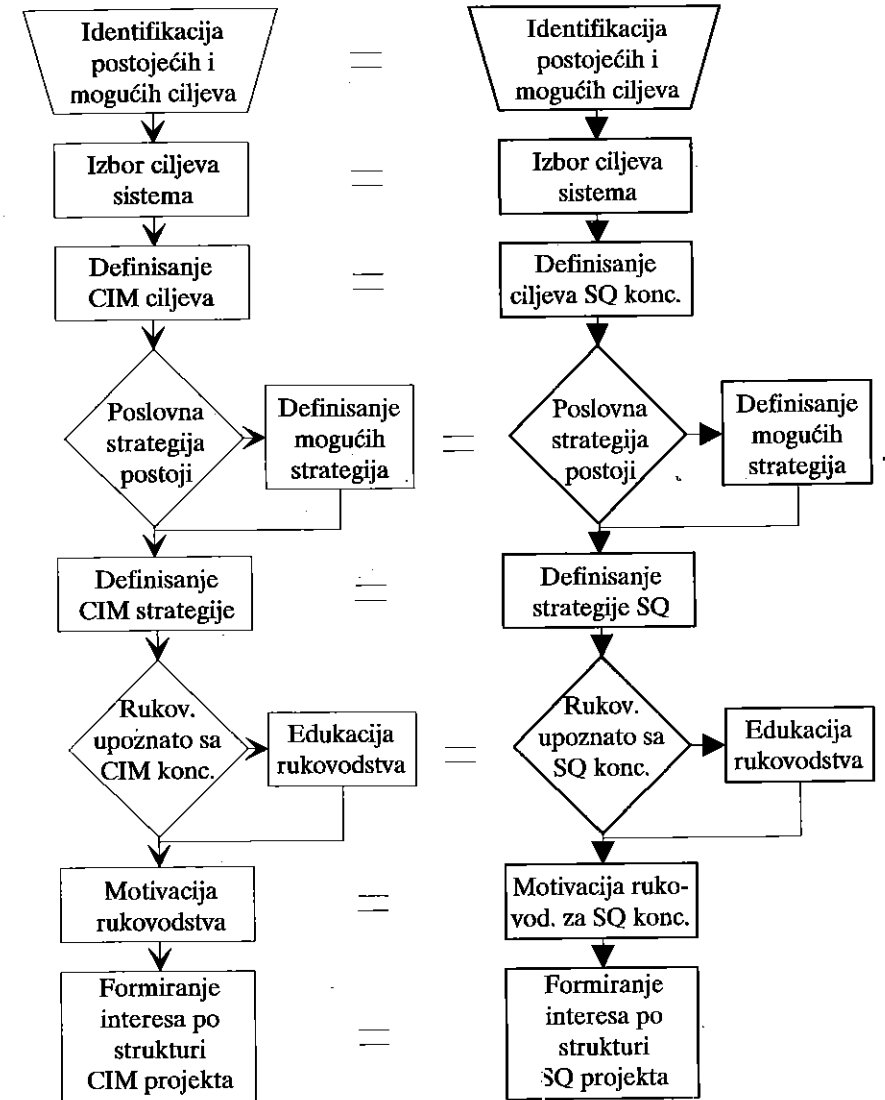
- definisanje ciljeva
- dekompoziciju sistema - procesa
- definisanje informacija - klasa podataka
- definisanje organizacije



Sl.1.

Na sl.1. data je grafička uporedna interpretacija BSP metoda za planiranje i implementaciju informacionog sistema u okviru CIM-a i metode za planiranje i implementaciju sistema kvaliteta (SQP). Iz dijagrama se uočava podudarnost ova dva pristupa, s tim što su kod SQP uključeni zahtjevi standarda serije ISO 9000.

Ako se analiziraju pojedine etape planiranja odnosno implementacije kod CIM-a i kod SQ onda je ova podudarnost više izražena. Uzmimo prvu fazu definicija ciljeva iz (1) podudarnost je potpuna, sl.2. Slično uporedjenje se može uraditi i za ostale faze razvoja oba sistema.



Tok aktivnosti na prvoj fazi razvoja CIM-a

Tok aktivnosti na prvoj fazi razvoja S.Q.

Sl.2

3.2. Primjena HIPO metode u razvoju S.Q.

U ovom radu se HIPO (Hierarchy - Input - Process Output) metoda uzima kao dopuna BSP metode pa tako služi kao dopuna i S.Q.P. metodi. Koristeći tehnologiju HIPO metode - hijerarhijsku strukturu procesa, dekomponuju se poslovni procesi na podprocese. Tehnologija Input-Process-Output koristi se u fazi analize i u fazi realizacije sistema. U fazi planiranja za analizu procesa i podprocesa kroz pregledne i detaljne dijagrame a u fazi realizacije takodje preko preglednih a detaljnih dijagrama se definišu podprocesi i procesi pa se onda agregacijom definiše organizaciona struktura.

Za potrebe razvoja S.Q. sistema HIPO metoda se dopunjava sa odgovornošću (R) za proces odnosno za informacije (HIPO + R).

Ispunjavajući zahtjeve standarda definišu se oni podprocesi odnosno procesi koji se tim zahtjevima traže. Zato se u sistemu odnosa koji su definisani matricama relacija procesi - organizaciona struktura i procesi - klase podataka dodaju još tri matrice: procesi - zahtjevi standarda i procesi - procedure i procedure - zahtjevi.

Kombinacijom BSP i HIPO metoda i dopunama sa zahtjevima i odgovornošću definiše se konzistentna metoda planiranja i implementacije sistema kvaliteta.

4. ZAKLJUČAK

Postavke iznijete u ovom radu su rezultat istraživanja Centra za kvalitet Mašinskog fakulteta u Podgorici i CIM centra u Kragujevcu. Istraživanja i praktična primjena ukazuju na korisnost ove metode mada se očekuje da kroz dalji rad ova metoda bude usavršena u smislu pojednostavljenja i lakše a svrsishodnije praktične primjenjivosti.

Podudarnost u planiranju i realizaciji sistema kvaliteta i CIM sistema - informacionog sistema ukazuje na potrebu da se u našim preduzećima oba procesa uvode istovremeno, ili pak da se priprema za uvodjenje jednog koriste za drugi sistem.

Literatura:

1. S. Arsovski, Z. Arsovski, M. Perović, Razvoj CIM sistema, CIM centar, Kragujevac 1995. god.
2. P.L. Johnson, ISO 9000 - u susret novim međunarodnim standardima.
3. JUS - ISO standardi serije 9000.

APPLICATION OF DEVELOPMENT METHOD OF "CIM" SYSTEM IN SQ PROJECTING

Abstract

The author of this project draws the parallel between the concept of "CIM" system and "SQ" system and from that relation suggests the "SQP" method for "SQ" projecting. This method is based on "BSP" and "HIPO" methods supplemented by Standards' requests and responsibilities. This kind of methods provides a systematical approach to the development of "SQ" in the company.



SISTEMSKI PRILAZ U RAZVOJU I KONSTRUKCIJI PROIZVODA

Dr Branko Petrović¹

REZIME:

Porast složenosti tehničkih sistema i zahtev da se oni razviju i osvoje u što kraćem periodu ima određene implikacije i na dizajniranje adekvatne strukture procesa njihovog razvoja i konstrukcije. Ti procesi su višeznačno determinisani, pri čemu su osnovne determinante: (1) ciljevi i zadaci koje procesi razvoja i konstruisanja moraju ostvariti; (2) proizvod (objekt) koji se u tom procesu dizajnira; (3) konstruktor (subjekt) koji upravlja i realizuje procese i (4) tehnička sredstva (računar) koja služe kao pomagala u tim procesima. U radu se istražuje pojedinačni i interaktivni uticaj pojedinih determinanti na strukturu procesa razvoja i konstruisanja proizvoda.

1. UVOD

"Primarna preokupacija bilo koje kompanije mora da bude kvalitet njenih proizvoda i usluga."

ISO 9000

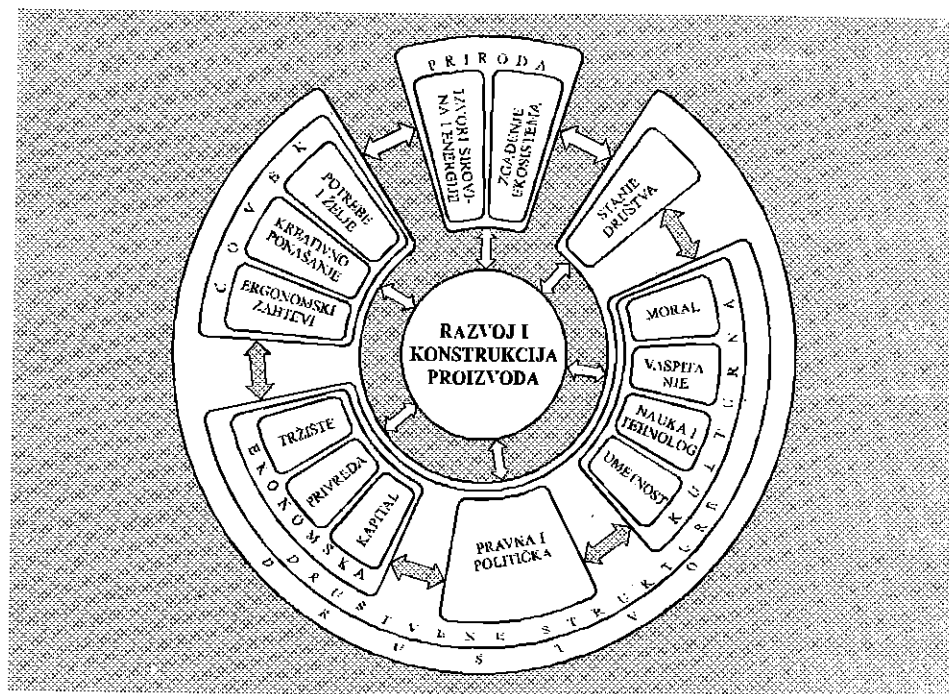
Kod istraživanja složenih predmeta pojavljuju se dva nepovoljna slučaja. Prvi da se radnik nedopustivo simplifikuje i u krajnjem slučaju svodi na monovarijablni problem ili drugi, da se u istraživanju uzima 'suma' varijabli, među kojima se teško mogu identifikovati one, koje imaju dominantan uticaj na proučavani predmet. Kod istraživanja složenih problema je neophodno iz 'bezbroja' varijabli izabrati uži skup, koje s odabranog stanovišta istraživanja najbolje reprezentuju predmet istraživanja. Sistemski prilaz i sistemski postupci su najčešće korišćene naučne meode, koje mogu pomoći u takvim situacijama.

Složenost je jedno od osnovnih obeležja proizvoda tehnike, ali i procesa njihovog razvoja i konstruisanja. Metodologije razvoja i konstrukcije proizvoda, posebno u mašinstvu, mada su još uvek pod velikim uticajem empirije i zdravorazumnog rasuđivanja, predstavljaju jednu od operacionalizacija sistemskog prilaza i sistemskih postupaka. Cilj je ovoga rada, da se primenom sistemskog prilaza uradi sistematika osnovnih uticaja i osnovnih determinanti razvoja proizvoda, te odredi njihov uticaj na razvoj i konstrukciju.

2. OSNOVNI UTICAJI NA RAZVOJ I KONSTRUKCIJU PROIZVODA

Razvoj i konstrukcija proizvoda pojavili su se u prirodnoj i društvenoj sredini kao rezultat čovekove aktivnosti. Zbog velike složenosti prirode i društva ne može se analizirati direktno njihov uticaj na razvoj i konstrukciju proizvoda kao sisteme - celine, nego se mora uraditi potreban nivo dekompozicije, da bi se segmentirao onaj nivo komponenti tih sistema, sa kojima je moguće uspostaviti direktnu korespondenciju (slika 1.).

¹ Saradnik IIS Istraživačkog i tehnološkog centra u Novom Sadu.



Slika 1. Strukturni model pojava koje utiču na razvoj proizvoda [1]

Kod razmatranja **uticaja prirode** na razvoj i konstrukciju proizvoda pojavljuju se: uticaj **raspoloživih sirovina i energije**, posmatranih sa aspekta trošenja i smanjenja poznatih i procenjenih rezervi i uticaj **zagađenja životne sredine** usled tehnološkog razvoja, a to znači usled razvoja, proizvodnje i korišćenja proizvoda (TS). Uz ta dva osnovna uticaja, postoji i uticaj **prirodnih katastrofa**, koje su također uticale i utiču na razvoj proizvoda.

Struktura **uticaja društva** na razvoj i konstrukciju proizvoda je složenija. Prvo, to je **uticaj čoveka** kao korisnika i kreatora razvoja i konstrukcije proizvoda. Drugo, to je **uticaj društvenih struktura**: (1) **ekonomske** (tržište, privreda, finansije); **političko-pravne** (privredno pravo, standardizacija) i **kulturne** (moral i tradicija, vaspitanje i obrazovanje, nauka i tehnologija, umetnost). Pri tome se ne sme zaboraviti, da sistemski prilaz proučavanju razvoja i konstrukcije proizvoda zahteva da se prikazane pojave, koje utiču na razvoj proizvoda, moraju shvatati kao celina. Na primer, nije dovoljno samo postojanje potreba i želja (motiva) pa da bi se u nekoj sredini razvio i proizveo neki proizvod, jer da bi se to desilo mora postojati određeni naučni, privredni i finansijski potencijal.

Kao rezultat kompleksnog istraživanja pojava, koje su u interakciji sa razvojem proizvoda [2] može se sa velikom sigurnošću tvrditi, da su **osnovni faktori razvoja proizvoda vezani uz kulturnu strukturu društva** (moral i tradicija; vaspitanje i obrazovanje; nauka i tehnologija; umetnost i estetika). Ni rasa, niti nacija i vera, ni veličina države, ni globalna politička organizacija države, ni prirodna bogatstva, ni veličina nacionalnog tržišta nemaju taj uticaj na uspešnost razvoja proizvoda, kao što ga ima kultura. A toj pojavi se u teoriji do sada nije davao odgovarajući značaj.

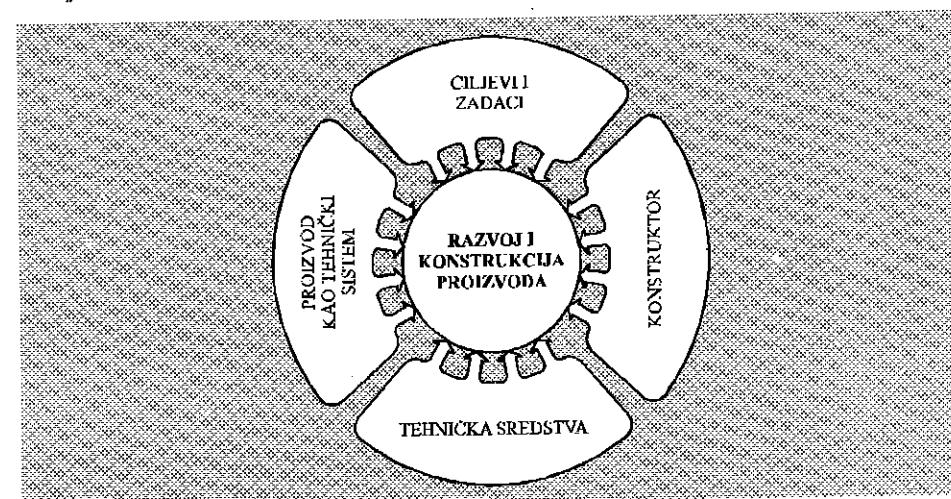
3. OSNOVNE DETERMINANTE RAZVOJA I KONSTRUKCIJE PROIZVODA

Razvoj i konstrukcija proizvoda spadaju u klasu veštačkih sistema, jer je u njegovom nastanku, opstanku i razvoju neizbežna i ključna uloga čoveka. Osnovna karakteristika veštačkih sistema je da im čovek određuje svrhu i ciljeve. To znači da je prva determinanta tih procesa **CILJEVI I ZADACI** koje oni moraju ostvarivati.

Unutar veštačkih sistema, razvoj i konstrukcija pripadaju društvenim (socijalnim) sistemima. Čovek je deo strukture tih sistema, odnosno on je subjektivitet u tim sistemima. To znači da je druga determinanta razvoja i konstrukcije proizvoda **KONSTRUKTOR**.

Svako ponašanje čoveka je motivaciono. Osnovne motivacione energije čoveka su nepodmirane potrebe i nezadovoljene želje. U procesu podmirivanja svojih potreba čovek se služi različitim predmetima, koji su ili ciljni objekt ili pomagala u tom procesu. Razvojem potreba i želja čovek sve manje nalazi izvornih predmeta u prirodi, koji mogu, bez bilo kakve dorade, poslužiti u procesu podmirivanja njegovih potreba. To znači da čovek te izvorne predmete iz prirode podvrgava sve brojnijim i različitim promenama njihovih svojstava i stanja pre nego li počnu služiti u procesu podmirivanja potreba. Tako transformisani predmeti prirode su **PROIZVODI** - treća determinanta razvoja i konstrukcije proizvoda. Značajno je napomenuti da se lanac transformacija prirodnih predmeta sve više posložava, tako da je sve teže uspostaviti korespondenciju između proizvoda i potreba i želja čoveka.

Dalje, razvoj i konstrukcija proizvoda, unutra socijalnih sistema spadaju u podrazred mešovitih socijalnih sistema, što znači da u njegovoj strukturi, uz čoveka, postoje i različita pomagala, naravno, ponajprije kao tehnički sistema, ali i različite metode i tehnike rada. To znači da je četvrta determinanta razvoja i konstrukcije **TEHNIČKA SREDSTVA**, unutar kojih danas najveće značenje imaju računari.



Slika 2. Osnovne determinante razvoja i konstrukcije proizvoda [4]

U ovom radu nije moguće detaljnije analizirati uticaj pojedinih determinanti na strukturu i sadržaj razvoja i konstrukcije proizvoda, nego se mogu izneti samo osnovne konstatacije, kao rezultati višegodišnjeg istraživanja.

Ciljevi i zadaci. Prvo, osnovnom strategijom i filozofijom poslovanja proizvođača mora se odrediti segment **razvojne politike i strategije**. Da li preduzeće očekuje tržišni uspeh svog programa proizvoda u usluga korištenjem tuđih ostvarenja (otkrića, pronalazaka, tehničkih unapređenja) ili stvaranjem novih mogućnosti (oslanjanjem na sopstvene rezultate u istraživanju i razvoju). Drugo, struktura razvoja i konstrukcije proizvoda bitno je drugačija za novi proizvod, bez obzira u kom nivou okoline se može govoriti o novitetu (svet, država, privredna grana, preduzeće), ili u slučaju ponovljenog proizvoda, kada se radi o prilagođavanju izvedbenih svojstava proizvoda postavljenim zahtevima.

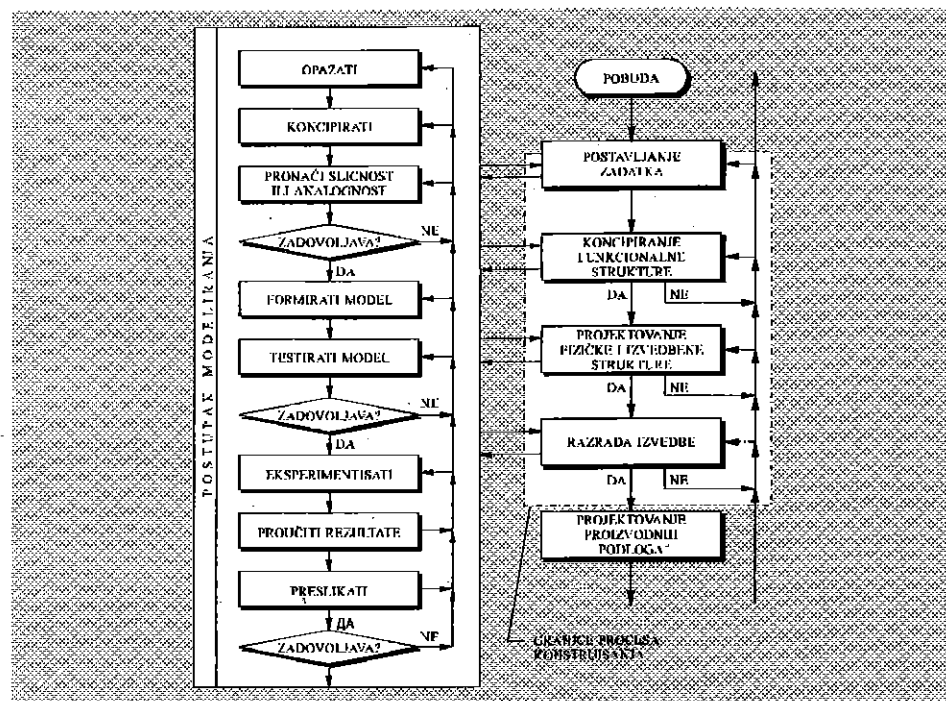
Konstruktor. Pored metodčke, potrebno je temeljito saznati i psihološku stranu konstruisanja. Do sada se nauka o konstruisanju bavila s tim kako konstruktor treba na idealan način konstruisati; no isto toliko je važno saznati kako se psihološki odvija rešavanje tehničkih problema. Tek kada se obadva pristupa međusobno povežu, može se proces konstruisanja sveobuhvatno razumeti i optimalno postaviti. (V. Hubka) [3]

Dobar hirurđ se ne može postati samo učenjem na fakultetu, nego se to postaje najpre u hirurđkim salama. Takođe, ni dobar konstruktor ne postaje samo učenjem u školi i na fakultetu, nego se to postaje

u konstrukcionim biroima. Još uvek se o konstruisanju mora govoriti, kao zanatu i veštini, a manje kao profesiji koja je rezultat nekog redovnog školovanja i studiranja. Uz to, kao i u muzici ili slikarstvu, moraju postojati i određene predispozicije, talenat. Selekcija mora prethoditi obrazovanju i vežbanju (treniranju) za poziv stručnjaka koji će se baviti razvojem i konstrukcijom proizvoda.

Ono što povećava izgleda na dugoročni tržišni uspeh firme jeste **supstitucija imitativnog ponašanja stručnjaka koji se bave razvojem kreativnim ponašanjem**. Osnovne determinante kreativnog ponašanja su: znanje, motivacija, urođene sposobnosti te društvena i kulturna okolina.

Uticao znanja na kreativnost proizlazi iz činjenice, da se tražena pojava pre pronalazi u velikim skupovima nego li u malim. To znači da tamo gde je veći početni skup znanja veća je verovatnoća pojave kreativnih rešenja. **Uticao motivacije** se ogleda u tome što se bilo koje ponašanje čoveka, pa tako i kreativno, može tretirati kao proces podmirivanja čovekovih potreba i želja. Ako se usvoji teorija potreba A. Maslova, da bi se čovek kreativno ponašao, kod njega mora biti izražena potreba za aktualizacijom ličnosti. **Uticao urođenih sposobnosti** ukazuje, da se verovatnost kreativnog ponašanja bitno uvećava s porastom opšteg koeficijenta inteligencije i faktora imaginacije čoveka. Ovu činjenicu treba uzavati prilikom generalnog vodenja kadrovske politike u nekom društvu, da se pomogne i omogući pojedincu da kroz proces socijalizacije, obrazovanja i rada realizuje ono što urođeno nosi samo kao mogućnost. **Uticao društvene i kulturne okolne** na kreativnost je višestruk. Istraživanja pokazuju da se kreativnije ponašaju osobe koje su slobodnije. To znači, da pre svega vaspitanje (institucionalno i funkcionalno) i obrazovanje moraju stvarati ponajpre produktivne, slobodne ličnosti, kao preduslov kreativnosti.



Slika 3. Konstruisanje proizvoda kao postupak modeliranja osnovnih sistemskih svojstava proizvoda [5]

Proizvod. Uticaj proizvoda na strukturu i sadržaj razvoja i konstruisanja je prvo određen činjenicom, da se primenom sistemskog prilaza proizvod tretira kao **tehnički sistem**. To znači da se proces razvoja i konstrukcije proizvoda može tretirati kao **postupak modeliranja sistemskih svojstava proizvoda** (funkcije, načina delovanja, izvedbe) i pripadajućih struktura (slika 3.). Drugo, razvoj i konstrukcija pojedinačnog i masovnog proizvoda nisu isti. Kod masovnog proizvoda u toku

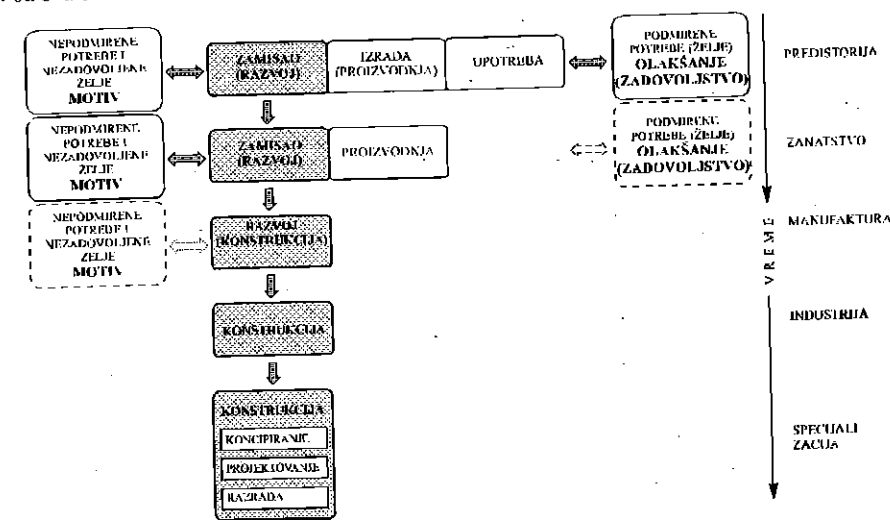
njegovog razvoja dolazi do konstruisanja - izrade - ispitivanja - promocije modela - prototipova - proizvoda nulte serije - proizvoda probne serije. U slučaju pojedinačnog proizvoda sve je to proizvod redovne serije. Treće, sadržaj pojedinih aktivnosti razvoja i konstrukcije proizvoda bitno ovisi o prirodi (fizici) proizvoda.

Tehnička sredstva. U poslednjih tridesetak godina, u zemljama nemačkog govornog područja uložen je ogroman napor, da se primenom sistemskog prilaza i sistemskih postupaka, razvije **nauka o konstruisanju** (Methodisches Konstruieren). Postoji više različitih škola, od kojih su neke našle svoje pobornike i kod nas. Rodonačelnici tih škola su, po pravilu, stariji profesori, koji su se pri kraju svog radnog veka susreli sa primenom računara u konstruisanju, tako da su te teorije ostale po strani CAD-a (Computer Aided Design). Računar se u toj nauci smatra jednim od sredstava racionalizacije, a ne novi strukturni deo procesa konstruisanja, koji bitno menja način rada i otvara sasvim nove mogućnosti.

U SAD i drugim zemljama engleskog govornog područja, upravo se počelo od te činjenice, da uvođenjem računara u proces konstruisanja nastaje potpuno novi sistem, koji donosi bitne promene i u području grafičkog predstavljanja proizvoda (3D modeli); u analizi konstrukcija (proračun polja napona ili temperaturnih polja u prostornim strukturama primenom numeričkih metoda, kinematička i dinamička analiza mehanizama); u organizaciji i upravljanju konstruktorskim bazama podataka (struktura baza, upravljanje podacima, umrežavanje) i kroz primenu sistema veštačke inteligencije (sistemi zasnovani na znanju).

6. UMETO ZAKLUČAKA - POGLED U BUDUĆNOST

Razmatrajući, šta se dešava kroz istoriju s fazom zamisli (razvoj i konstrukcija proizvoda), uočavaju se sledeće etape razvoja. U predistoriji, početkom svesne, svrshodne, stvaralačke delatnosti čoveka, sve faze životnog veka proizvoda bile su na nivou pojedinca. On je najpre odabirao, pa zatim zamišljao i izrađivao predmete, koji su posredno (kao sredstvo za rad, alatke) ili neposredno (hrana, odeća) podmirivali njegove potrebe. Interakcije između faza životnog veka proizvoda bile su neposredne i snažne. Praktično **pojedinaac je raspolagao svim znanjima i sredstvima čovečanstva**, jer su ona bila veoma skromna.



Slika 4. Geneza razvoja i konstrukcije proizvoda

Rastom znanja i veština, pojedinac je povećavao efikasnost svoga rada, počeo je stvarati **višak proizvoda** (hrane, odeće, oruđa) koji je prevazilazio njegove potrebe. To je bio uzrok prve podela rada, pojave zanatstva, ali i pojave vlasti (mehanizma za prisvajanje viška proizvoda). Umešnji pojedinci počeli su, da izrađuju samo određenu grupu predmeta, ili su obavljali razne usluge, koje su razmenjivali za proizvode koje nisu izrađivali. To je značilo, da pojedinac više nije zamišljao i izrađivao

neke predmete samo da ih on upotrebljava, nego prvenstveno, da u procesu razmene za njih dobije sva potrebna dobra za podmirenje svojih rastućih potreba.

Razvojem potreba, potrošnje, znanja i veština dolazi do daljeg razdvajanja osnovnih faza životnog veka proizvoda. Glavni majstor analizira potrebe i želje svojih mušterija, zamišlja (kreira) odgovarajuće proizvode, a pomoćnici ih pod njegovom kontrolom izrađuju. U procesu izrade dolazi do podele posla, pojedinac više ne izrađuje celi proizvod, nego samo neki deo, polako gubi osećaj za celinu (svrhu) i što je možda značajnije, gubi predstavu o sebi kao stvaraocu.

Porast potrošnje prvenstveno uzrokuje pojavu industrijskog načina proizvodnje, koji karakteriše sve veća specijalizacija. U konstrukciji proizvoda pojedinac kreira proizvode na osnovu zadatka, koji mu je postavio neko drugi. Specijalizacija u konstrukciji proizvoda dovodi do toga, da najveći broj konstruktora, takođe, gubi osećaj celine, ne doživljava sebe kao kreatora, stvaraoca. Naravno, sve veća specijalizacija značila je i sve veću efikasnost u konstrukciji i proizvodnji.

Sigurno je da s dostignutim stepenom razvoja nije završen razvoj. Dalja specijalizacija bi verovatno još više potencirala uočene protivrečnosti i zakočila dalji razvoj. Uvođenje kompjuterske tehnologije u razvoj, konstrukciju i proizvodnju otvara nove mogućnosti, ne samo kvantitativnog rasta rezultata. Ona omogućuje da dođe do integracije poslova konstruktora, tehnologa, kontrolora i planera proizvodnje. Kompjuterska tehnologija omogućuje pojedincu da ovlada sa znatno većim znanjem i sredstvima, nego pre. To, prvo, otvara prostor, da se čovek približi umecu prirode, koja, na primer, svu raznolikost biljnog i životinjskog sveta gradi iz dvadesetak molekula. U konstrukcionim biroima širom sveta, još uvek se, svakim danom, za dvadesetak proizvoda, u nekom području, konstruiše i proizvodi sva raznolikost sastavnih elemenata. Zatim, možda je u budućnosti moguće postizanje jednog novog jedinstva svih faza životnog veka proizvoda i procesa zadovoljenja potreba na nivou pojedinca. To znači da bi jedan vrlo visoki naučnotehnoški i moralni nivo ponovo omogućio pojedincu, da raspolaze svim znanjima i sredstvima čovečanstva u procesu zadovoljenja svojih individualnih potreba. Ostaje pitanje šta nakon toga?

Literatura

- (1) Petrović, B. Sistemski prilaz i sistemski postupci u tehnici. FTN - IIS i Istraživački i tehnološki centar. Novi Sad, 1995.
- (2) Petrović, B. Razvoj i konstrukcija proizvoda (u pripremi).
- (3) Hubka, V., Ropohl, G.: Was ist ein technisches System?. VDI - Z 22./1986. Düsseldorf
- (4) Petrović, B., Kostelić, A.: Multivariable Approach to Design Process Modeling. Proceeding of the 12th ICED 90. Dubrovnik - Cavtat, 1990.
- (5) Petrović, B. Mogućnosti matematske formalizacije strukture proizvoda i odlučivanja u procesu konstruiranja. Doktorska disertacija - Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1988.

INHALTSANGABE:

Das Wachstum der Komplexität der technischen Systeme und die Forderung sie je eher zu entwickeln und erobern hat bestimmte Implikationen auch auf die Gestaltung der entsprechenden Struktur des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses. Diese Prozesse sind mehrdeutig bestimmt, wo die fundamentalen Determinanten sind: (1) die Ziele und Aufgaben, die Entwicklungs- und Konstruktionsprozess realisieren muss; (2) der Produkt (Objekt), das in diesem Prozess entwickelt und konstruiert wird; (3) der Konstrukteur (Subjekt), der diesen Prozess leitet und realisiert und (4) technische Mittel (Computer), die in den Prozess als Hilfsmittel dienen. In der Arbeit wird der einzelne und interaktive Einfluss der einzelnen Determinanten auf die Struktur der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess geforscht.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

Branko Popović, Aleksandar Maksimović¹

PROJEKTOVANJE I UVOĐENJE SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆIMA METALSKE INDUSTRIJE²

Rezime

Institut za industrijske sisteme, Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, vrši projektovanje i uvođenje Sistema kvaliteta, prema familiji standarda ISO 9001 u značajnijim domaćim industrijskim preduzećima. Izbor se vrši između preduzeća koja imaju metaloprerađivačku delatnost, izvoznu orijentaciju kao i sopstveni razvoj i konstrukciju. U ovom saopštenju se iznose neki elementi projektovanja uz specifične karakteristike koje postoje u domaćoj metalnoj industriji.

1. UVOD

Odavno je već poznato da je familija standarda ISO 9000 (EN 29000) potpuno izmenila uslove na svetskom tržištu i da se od 1. januara 1993. godine počinju sve češće traže proizvodi iz atestiranih Sistema kvaliteta [4]. Ovo je još jedan dodatni problem, u današnjoj situaciji teških uslova proizvodnje, koji zahteva da preduzeća: koriste kapacitete u uslovima smanjene proizvodnje, obezbede nabavku potrebnih materijala sa oskudnog tržišta i prodaju svoje izradene proizvode na veoma ograničenom tržištu.

Sistem kvaliteta u preduzeću može da dobije atest samo ako je uveden i ako ispunjava sve mnogobrojne uslove iz standarda, što se ocenjuje posle rigorozne provere od strane domaćih ili stranih ovlašćenih institucija. Dobar Sistem kvaliteta može da se osnuje samo u procesu planskog projektovanja i sistematskog uvođenja [8]. Proces je svakako složen, dugotrajan (1+3 godine), spor, skup i zahteva uključivanje svih zaposlenih. To je uglavnom i razlog što je manji broj naših preduzeća dobio domaći atest "Priznati proizvođač" i što nijedno naše preduzeće još nije dobilo strani atest "Quality Sistem Certificate".

Polazeći od ove situacije Institut za industrijske sisteme vrši projektovanje i uvođenje Sistema kvaliteta, prema standardu ISO 9001, u izvesnim značajnijim domaćim industrijskim preduzećima, na jedan studiozan i sveobuhvatan način. Institut se isključivo opredelio za rad u preduzećima koja imaju: metaloprerađivačku delatnost, izvoznu orijentaciju kao i sopstveni razvoj i konstrukciju. U ovom saopštenju se iznose samo neki interesantniji elementi projektovanja i uvođenja Sistema kvaliteta [9].

¹ Dr Branko Popović, redovni profesor, Aleksandar Maksimović, asistent, Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

² Saopštenje sa Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu sa rezultatima iz naučno-istraživačkog projekta "Projektovanje i izrada Baza podataka za Sistem kvaliteta u metalnoj industriji", koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije.

2. PROJEKTOVANJE SISTEMA KVALITETA

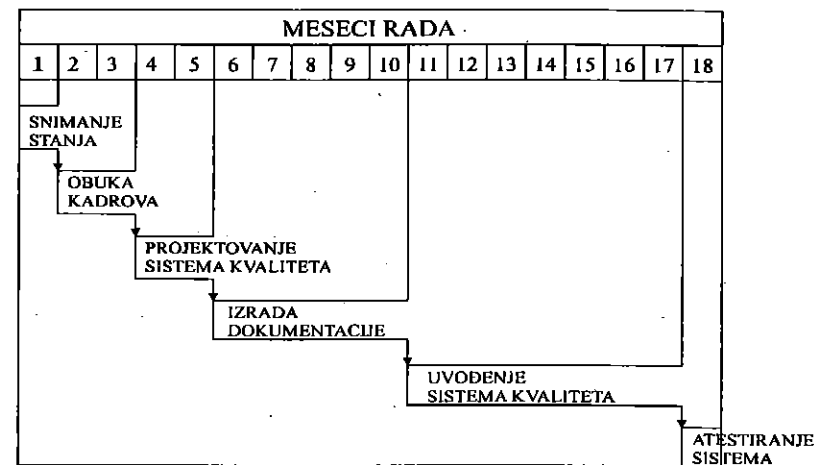
Projektovanje organizacione strukture definiše položaj i sadržaj funkcije Sistema kvaliteta, sa podsistemima Upravljanja i Obezbeđenja kvaliteta [6]. Izrada dokumentacije obuhvata brojne postupke rada i obezbeđenja kvaliteta odnosno kompletiranje Priručnika za upravljanje kvalitetom i Priručnika za obezbeđenje kvaliteta.

Uvođenje funkcije Sistema kvaliteta podrazumeva uhodavanje i rad obučanih stručnih kadrova sa izradenom dokumentacijom, na projektovanim radnim mestima. Konačno atestacija Sistema kvaliteta vrši se od strane domaće i strane institucije.

Projektovanje Sistema kvaliteta kao što je prikazano na slici 1, obuhvata planiranje i izvođenje šest sledećih etapa: 1. snimanje stanja, 2. obuka stručnih kadrova, 3. projektovanje organizacione strukture, 4. izrada dokumentacije, 5. uvođenje kao i 6. atestacija kod domaće i strane institucije. Snimanje stanja omogućava upoznavanje konsultanata sa kompleksom i mnogobrojnim detaljima organizacije proizvodnje u preduzeću kako bi mogao da se izabere odgovarajući model obezbeđenja kvaliteta, prema familiji standarda ISO 9000.

Obuka stručnih kadrova na instruktivnim seminarima obuhvata projektante koji će saradivati sa konsultantima, kontrolore koji dobijaju internu kvalifikaciju kao i rukovodeći kadar, ukupno oko 10% zaposlenih. Preostali broj od 90% ukupno zaposlenih obučava se kasnije na organizovanoj Školi kvaliteta [9], u okviru preduzeća.

Smatra se da je projektovanje Sistema kvaliteta veoma teško bez eksternih konsultantske organizacije, kako zbog nedostatka znanja, autoriteta i iskustva tako i zbog subjektivnog internog prilaza.



Slika 1. Etape u Projektovanju Sistema kvaliteta

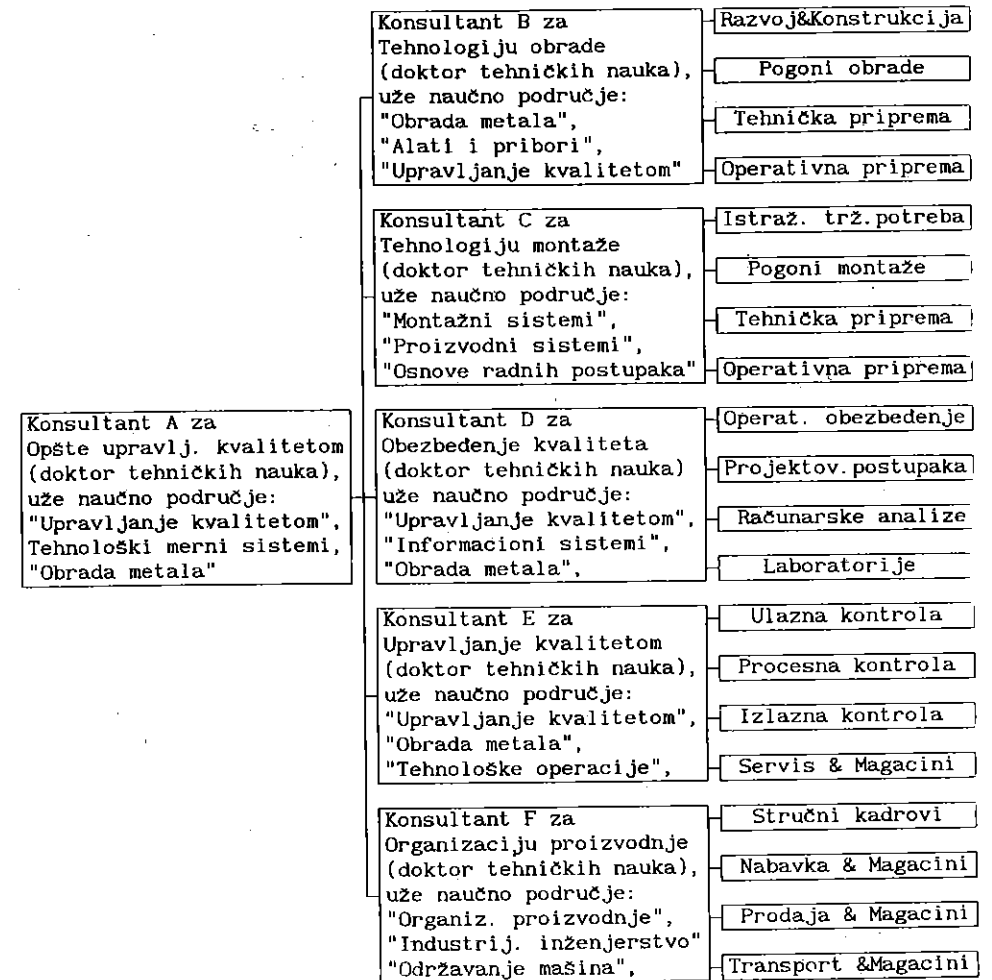
Projektovanje i uvođenje Sistema kvaliteta obavlja zajednički projektantski tim koji se formira od obučanih projektanata na seminarima i od konsultanata iz Instituta. Konsultantski tim se stvara na principima koji polaze od specifičnih zahteva, u pogledu: nastavne discipline, naučnog stepena i užeg naučnog područja.

Nastavna disciplina obuhvata predmet koji se drži na studijima [5], naučni stepen definiše potrebni kvalifikacioni nivo a užeg naučnog područja širinu prilaza konsultanata, kao što je shematski prikazano na slici 2.

U projektovanju i uvođenju Sistema kvaliteta polazi se od osnovne sheme sa funkcijama upravljanja i obezbeđenja kvaliteta koja je prikazana na slici 3. Ova polazna shema je ključna za razumevanje prilaza, koja je izradena još 1991. godine i koja je data u prvoj objavljenoj knjizi u ovom području [6].

Direktor preduzeća postavlja politiku kvaliteta koja predstavlja ulaz u Sistem kvaliteta, koji izvršava svoje zadatke u podsistemima Upravljanja i Obezbeđenja kvaliteta. Upravljanje kvalitetom provodi operativne postupke i aktivnosti ostvarenja zahteva kvaliteta, na ulazu (Ulazna kontrola), u proizvodnom procesu (Procesna kontrola) i na izlazu (Izlazna kontrola).

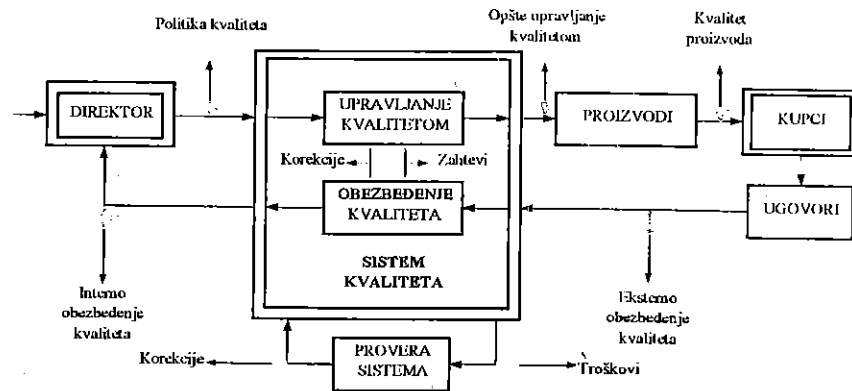
Obezbeđenje kvaliteta obuhvata sve planirane i sistematske mere koje omogućavaju sticanje odgovarajućeg poverenja da će se ispuniti zahtevi kvaliteta, koji su ugovoreni između proizvođača i potrošača. U povratnoj sprezi nalaze se eksterno i interno obezbeđenje kvaliteta.



Slika 2. Princip stvaranja konsultantskog tima

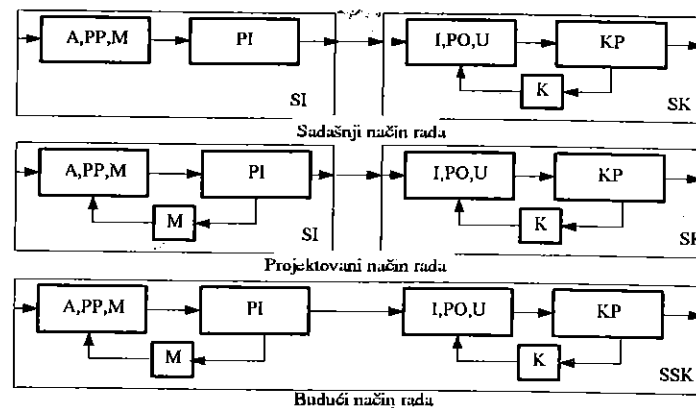
3. UVODENJE SISTEMA KVALITETA

Uvođenje projektovanog Sistema kvaliteta je posebno složen i težak zadatak koji zahteva veliko strpljenje i taktičnost. Uskladuje se izbor obučanih radnika, napisani postupci i svakodnevna delatnost. Uvođenje upravljanja kvalitetom je nešto lakše [7] u odnosu na uvođenje Obezbeđenja kvaliteta. Ipak, najveći su problemi u Procesnoj kontroli, koja u odnosu na Ulaznu i Izlaznu kontrolu ne kontroliše izradene primerke već procese.



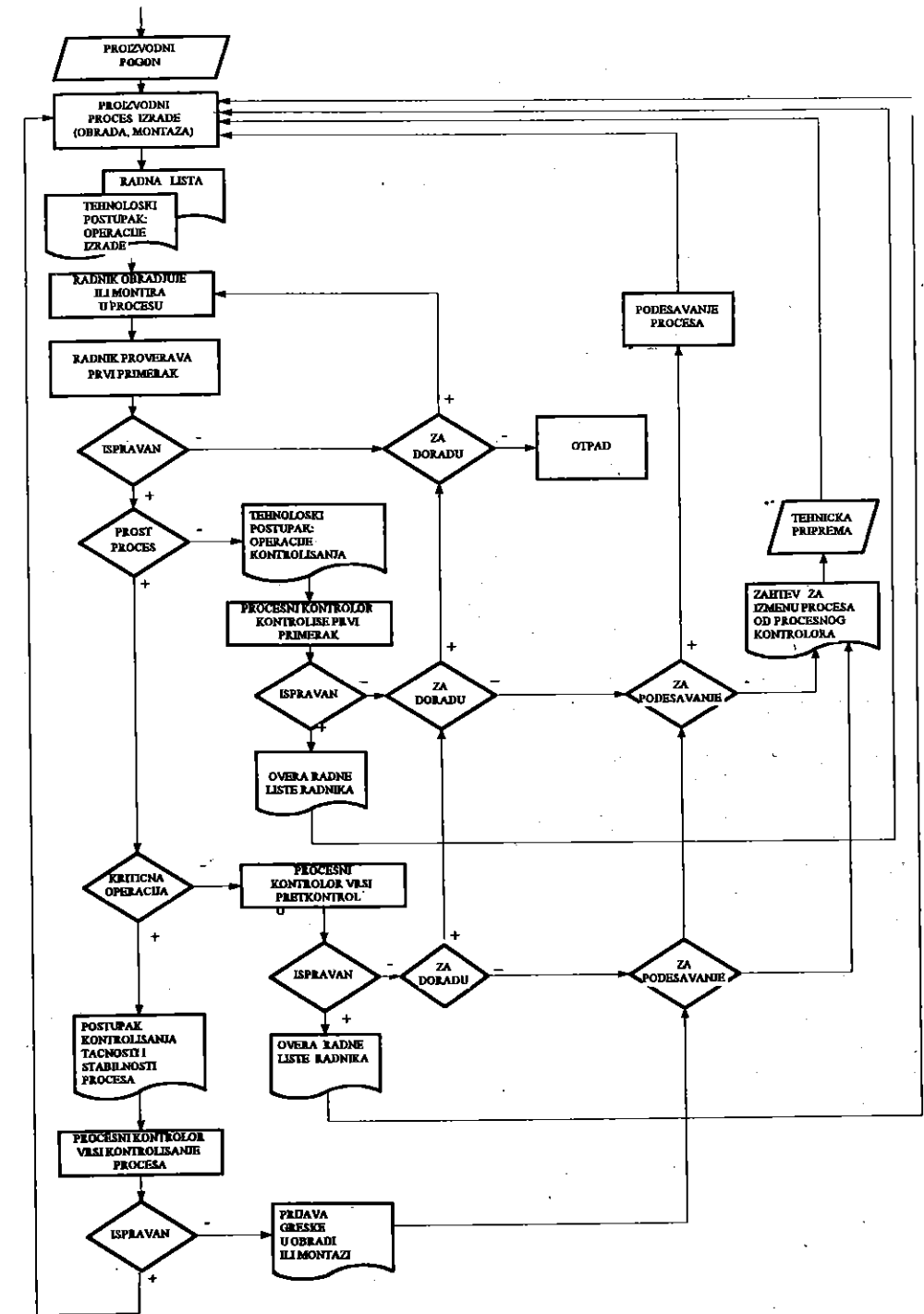
Slika 3. Shema funkcija upravljanja i obezbeđenja kvaliteta

U procesnoj kontroli radnik u sistemu izrade (SI) primenjuje alat (A), pomoćni pribor (PP) i mašinu (M) radi delovanja na predmet izrade (PI), a kontrolor u sistemu kontrole (SK) primenjuje instrument (I), pomoćnu opremu (PO) i kontrolni uređaj (U) radi kontrolisanja ispravnosti kontrolisanog predmeta (KP), prema shemi na slici 4.



Slika 4. Shema kontrolisanja procesa izrade (obrade i montaže)

Sadašnji način rada u nas ostvaruje se uz pasivan rad radnika u procesu i uz aktivno kontrolisanje (K) ispravnosti bez overe procesa, dok je merenje u procesu sasvim neobavezno. Zato je projektovan novi način rada uz aktivan rad radnika u procesu i obavezno merenje (M) i overavanje procesa od strane kontrolora. Naravno, budućnost pripada samo-kontrolisanju u sistemu samo-kontrole (SSK) kada će radnik vršiti merenje, kontrolisanje i overavanje procesa.



Slika 5. Shema rada procesnog kontrolora

Rad procesnog kontrolora detaljno je opisan algoritmom na slici 5. Radnik proverava prvi primerak i ako je prost proces i ako je kritična operacija kontrolor kontroliše tačnost i stabilnost procesa [2]. Ako je složeni proces kontrolor kontroliše prvi primerak, a ako nije složeni proces i ako nije kritična operacija kontrolor vrši pretkontrolu [3]. U slučaju ispravnosti procesa vrši se overavanje radne liste a u slučaju neispravnosti procesa izradeni primerci se šalju na doradu ili se proces mora da podešava.

4. ZAKLJUČAK

Pojava familije standarda ISO 9000 potpuno je izmenila uslove na svetskom tržištu jer se od 1. januara 1993. godine počinju sve češće da traže proizvođači iz atestiranih Sistema kvaliteta. Ovo je još jedan dodatni problem, u situaciji teških uslova proizvodnje, koji zahteva da preduzeća koriste kapacitete u uslovima smanjene proizvodnje, obezbede nabavku potrebnih materijala sa oskudnog tržišta i prodaju svoje izradene proizvode na veoma ograničenom tržištu.

Sistem kvaliteta u preduzeću može da dobije atest samo ako je dobar, odnosno ako ispunjava sve mnogobrojne zahteve iz standarda, što se ocenjuje posle rigorozne provere od strane domaćih ili stranih ovlašćenih institucija. Dobar Sistem kvaliteta može a se osnuje samo u procesu planskog projektovanja i sistematskog uvođenja. Ovaj proces je svakako složen, dugotrajan (1-3 godine), spor, skup i zahteva uključivanje svih zaposlenih.

Polazeći od ove situacije Institut za industrijske sisteme vrši projektovanje i uvođenje Sistema kvaliteta, prema standardu ISO 9001, u izvesnim značajnim domaćim industrijskim preduzećima, na jedan studiozan i sveobuhvatan način. Sva ova preduzeća imaju metalopreradivačku delatnost, izvoznu orijentaciju, kao i sopstveni razvoj i konstrukciju.

LITERATURA:

- [1] B. Popović, B. Kamberović, Upravljanje kvalitetom proizvoda, Naučna knjiga, Beograd (1985)
- [2] H. Rinne, H.J. Mittag, Statistische Methoden der Qualitätssicherung, Carl Hanser Verlag, Munchen-Wien (1989)
- [3] B. Popović, B. Kamberović, Upravljanje kvalitetom, Zbirka rešenih zadataka sa objašnjenjima, Naučna knjiga, Beograd (1987)
- [4] H. Zeller, The Best of Quality, International Academy for Quality, Carl Hanser Verlag, Munchen (1990)
- [5] D. Zelenović, I. Čosić, Montažni sistemi, Nauka, Beograd (1991)
- [6] B. Popović, Obezbeđenje kvaliteta proizvoda (Quality Assurance), Beograd, Nauka (1992)
- [7] B. Popović, Ulazna kontrola kvaliteta (Incoming-material Control), Naučna knjiga, Beograd (1993)
- [8] W. Masing, Handbuch Qualitätsmanagement, Carl Hanser Verlag, Munchen-Wien (1994)
- [9] B. Popović, Pojmovnik Sistema kvaliteta, Nauka, Beograd (1994)

DESIGN AND INTRODUCES QUALITY SYSTEMS IN METAL-WORKING FACTORIES

Institute of industrial system, Faculty of technical science in Novi Sad design and introduces Quality Systems, based on ISO 9001 standard group in important Yugoslav enterprises. The choice is made among metal-working the enterprises which are export-oriented as well as the ones with self-development and self-construction. In this abstract some elements of design with specifics characteristics which exist in metal - working factories, will be discussed.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

dr Slobodan Smiljanić *

PROIZVODNI ALATI U SISTEMU KVALITETA

Rezime

Sa stanovišta kvaliteta, odnosno sprečavanja neusaglašenosti, posebno mesto pripada proizvodnim alatima (steznim, reznim, mernim, kontrolnim i dr.). Postupak kvalitativnog prijema novih i rekonstruisanih alata, kao i kontrola kvaliteta alata u eksploataciji, od posebnog su značaja za ostvarenje zahtevanog kvaliteta proizvoda, u skladu sa serijom standarda JUS ISO 9000. U radu se, kao primer, prikazuje model obrasca čijom upotrebom se sačinjava izveštaj o kvalitativnom prijemu alata, kao i dijagram toka preporučljivih aktivnosti u postupku kontrole kvaliteta alata u toku serijske proizvodnje.

Ključne reči: proizvodni alati, kvalitet, neusaglašenost, kontrola kvaliteta.

1. UVOD

Aktuelni sistem kvaliteta zasnovan na seriji standarda JUS ISO 9000 (kratko SQ9000), koji se intenzivno generiše i implementira u našim preduzećima i institucijama, predstavlja radikalno konceptualno poboljšanje u odnosu na do sada primenjivani sistem obezbeđenja kvaliteta. Uvesti SQ9000 u sopstveno preduzeće, odnosno instituciju, znači ostvariti vredan poslovni uspeh, znači poboljšati izgled za sopstvenu uspešnu egzistenciju na dugi rok.

Alati u proizvodnim procesima (proizvodni alati) su najbrojnija grupa sredstava za rad. Bez proizvodnih alata ne može se proizvoditi, a bez ispravnih alata na svakom mestu proizvodnog procesa, i u svakom trenutku dešavanja proizvodnog procesa, nije moguće obezbediti zadovoljenje zahteva koji se od kupaca (tržišta) postavljaju pred proizvođača, odnosno njegove proizvode.

Ovaj rad pisan je u nameri da ukaže na važnost kontrole kvaliteta alata u svim fazama eksploatacije, od njihovog ulaska u preduzeće, pa do njihovog rashodovanja, u funkciji podrške procesu sprečavanja: neusaglašenosti proizvoda, preuranjenog habanja i potrošnje alata, zastoja i prekida u proizvodnji i dr. Informacije i rešenja koji se u radu izlažu oslonjeni su na dokumenta sistema kvaliteta generisana za potrebe konkretnih preduzeća u nas ("Zastava 21. oktobar" - Kragujevac), u čijoj izradi je učestvovao i autor ovog rada.

2. PROIZVODNI ALATI

To su alati koji se neminovno upotrebljavaju u procesima proizvodnje, u cilju da se proizvedu proizvodi u skladu sa tržišnim zahtevima. Postoji veliki broj vrsta proizvodnih alata, a u ovom radu navodimo samo neke, najčešće upotrebljavane vrste ovih alata.

2.1 Stezni alati

Namena ovih alata je da fiksiraju izradak u procesu obrade i spreče njegovo pomeranje pod dejstvom sila koje se javljaju u procesima obrade. Ovoj vrsti alata pripadaju raznovrsni stezni alati koji se koriste pri struganju, glodanju, bušenju i dr.

* Dr Slobodan Smiljanić, redovni profesor - Mašinski fakultet Kragujevac
34000 Kragujevac, Sestre Janjić 6, tel. 034/67-502/1. 648

2.2 Rezni alati

Upotrebljavaju se za obradu metala i nemetala skidanjem strugotine (rezanjem). Ovoj vrsti alata pripadaju alati za: bušenje, razvrtanje, brušenje, urezivanje i narezivanje navoja, struganje, glodanje, provlačenje i dr.

2.3 Alati za obradu deformisanjem

Namena im je da predmetu rada daju željeni oblik plastičnim deformisanjem i/ili odvajanjem. Ovoj vrsti alata pripadaju alati za: prosecanje i probijanje, savijanje, izvlačenje, presovanje, kalibriranje, kovanje i dr.

2.4 Alati za oblikovanje plastičnih masa

Namena im je da od prethodno pripremljene plastične mase formiraju proizvod željenog oblika. Ovoj vrsti alata pripadaju alati za: brizganje, upenjavanje, ekstrudiranje, toplo presovanje praškastih plastičnih masa i dr.

2.5 Montažni alati

Upotrebom ovih alata proizvode se raznovrsni podsklopovi, sklopovi i finalni proizvodi montažom elementa koji ih čine. Razlikujemo sledeće vrste ovih alata: stege, postolja, mehanizmi, zavijači, alati za ultrazvučno zavarivanje (sonotrode) i dr.

2.6 Merni alati

Uz pomoć ovih alata, direktnim i indirektnim merenjem, utvrđuju se vrednosti karakteristika proizvoda. Ovoj vrsti alata pripadaju: lenjiri sa skalom, pomična merila, mikrometri, komparatori, optički merni pretvarači, merne mašine, merni mikroskopi, interferometri i dr.

2.7 Kontrolni alati

Ovim alatima utvrđuju se eventualna odstupanja realnih karakteristika proizvoda od njihovih nominalnih veličina. Ovoj vrsti alata pripadaju: paralelna granična merila, tolerancijska merila ili kontrolnici, kontrolnici dužinskih ili međuosnih rastojanja, šabloni, kalibri, merne ploče, merni lenjiri bez skale i dr.

3. PRIJEM NOVIH I REKONSTRUISANIH ALATA

3.1 Kvantitativni prijem alata

Po završetku izrade alata, ili po završenoj rekonstrukciji alata, proizvođač alata dostavlja kupcu: (1) alat, (2) otpremni dokument, (3) kopiju konstrukcijske dokumentacije alata, (4) potvrdu o kvalitetu alata kojom garantuje da je alat urađen prema dokumentaciji i ugovornim zahtevima i (5) set izradaka (uzoraka).

U skladištu alata kupca vrši se kvantitativni prijem alata kojim se utvrđuje da li je: alat isporučen u skladu sa zapisom u otpremnom dokumentu, propisno upakovan i bez oštećenja. Skladištar skladišta alata sačinjava zapisnik o kvantitativnom prijemu alata i dostavlja više kopija ovog zapisnika funkciji nabavke.

3.2 Kvalitativni prijem alata

Po dobijanju zapisnika o kvantitativnom prijemu alata, funkcija nabavke (F9) daje nalog za kvalitativni prijem novog ili rekonstruisanog alata sledećim organizacijskim funkcijama: kontroli kvaliteta proizvoda (F15), projektovanju tehnologije (F5) i proizvodnji (F14), radi sprovođenja kontrole funkcionalnosti alata (kratko: KFA). Funkcija F14 i funkcija operativne pripreme rada (F12), sprovode pripreme za KFA, a zatim pozivaju predstavnike funkcija: F5, F15 i predstavnika proizvođača alata da pristupe KFA.

Ovako formirani tim eksperata sprovodi KFA izvršavajući sledeće aktivnosti:

- » postavljanje alata, podešavanje i kontrola podešavanja alata,
- » provera funkcionalnosti sistema *alat - mašina* (AM), bez materijala izratka,
- » funkcionalna provera sistema: *alat - materijal - mašina* (AMM),
- » definitivno podešavanje sistema AMM prema zahtevima tehnološke dokumentacije i
- » ocenjivanje sposobnosti sistema AMM za izradu uzoraka.

Nalaz KFA može biti dvojak: (a) **odobrava se izrada uzoraka** i (b) **ne odobrava se izrada uzoraka**.

Ako je nalaz: **ne odobrava se izrada uzoraka**, funkcija F5 definiše korektivne mere (misli se samo na one koje se odnose na alat) i nalaže proizvođaču alata da sprovede ove mere. Ponekad, nastane potreba da se prethodno opisani postupci ponove, sve dok se ne dobije zadovoljavajuće rešenje.

Ako je nalaz: **odobrava se izrada uzoraka**, F14 pristupa izradi propisanog broja uzoraka. Pri izradi uzoraka prati se ponašanje alata da bi se utvrdile eventualne nepravilnosti u radu alata a, zatim, i eliminisale. Proizvedene uzorke funkcija F15 podvrgava postupku potvrđivanja kvaliteta, sprovodeći vizuelnu, dimenzionalnu i funkcionalnu kontrolu. Ako se utvrdi da su sve zahtevane karakteristike uzoraka usaglašene daje se odobrenje za proizvodnju nulte ("0") serije, u suprotnom, sprovode se korektivne mere u organizaciji i pod rukovodstvom funkcije F5, sve dok se ne ostvare zahtevane karakteristike.

Postupak kvalitativnog prijema alata u fazi proizvodnje "0" serije sprovodi se po postupku koji je analogan prethodno opisanom za proizvodnju uzoraka, pa se zbog racionalnosti ovde neće opisivati.

U svim fazama prijema alata, o svim nalazima, događajima, korektivnim merama i činjenicama vodi se evidencija korišćenjem standardnih obrazaca propisanih dokumentima sistema kvaliteta. Kao primer, na slici 1 prikazan je obrazac "Izveštaja o kvalitativnom prijemu alata (novog ili rekonstruisanog)", koji je osnovni dokument funkcije nabavke (F9) za konačni prijem ili odbijanje alata.

4. KONTROLA KVALITETA ALATA U EKSPLOATACIJI


Pod alatom u eksploataciji podrazumevamo alat koji se upotrebljava u redovnoj serijskoj proizvodnji za proizvodnju izradaka i proizvoda.

Alati u eksploataciji kontrolišu se na tri načina:

- (1) **indirektnom kontrolom kvaliteta alata** (kontrola ispravnosti alata na osnovu usaglašenosti izratka koji se proizvodi primenom alata koji se kontroliše; alat je ispravan ako je deo koji se njime proizvodi usaglašen i, obratno, alat ima nedostatak ako je deo neusaglašen),
- (2) **direktnom kontrolom kvaliteta alata** (utvrđuje se usaglašenost funkcionalnih elemenata alata i alata u celini) i
- (3) **kombinovanom kontrolom kvaliteta alata** (utvrđivanje ispravnosti alata primenom indirektno i direktne kontrole kvaliteta alata).

Kontrolu kvaliteta alata u eksploataciji sprovode: funkcija F15, odnosno njene pot-funkcije: kontrola kvaliteta alata (F15.9), kontrola kvaliteta proizvodnih procesa (F15.5) i kontrola kvaliteta finalnih proizvoda (F15.6); funkcija F5, funkcija F12, funkcija rukovanja materijalom i alatom (F13), funkcija F14 i, po potrebi, funkcija održavanja sredstava za rad (F16).

Kontrola kvaliteta alata u eksploataciji obavlja se: (1) **u toku serijske proizvodnje**, (2) **posle završene serijske proizvodnje** i (3) **posle popravke alata**.

	F15	Izveštaj o kvalitativnom prijemu alata		Broj
		<input type="checkbox"/> Novi alat	<input type="checkbox"/> Rekonstruisan alat	
Podaci o alatu				
Oznaka alata	Vrsta alata	Proizvođač alata		
Podaci o delu				
Naziv dela	Broj crteža dela	Datum crteža	Datum poslednje izmene	
Oznaka materijala dela				
Dokumentaciona osnova za donošenje odluke o kvalitativnom prijemu alata				
1. Potvrda o kvalitetu alata izdata od proizvođača alata broj _____ od _____				
2. Izveštaj o kontroli funkcionalnosti alata broj _____ od _____				
3. Izveštaj o dimenzionalnoj i vizuelnoj kontroli proizvoda broj _____ od _____				
4. Izveštaj o dimenzionalnoj i vizuelnoj kontroli alata broj _____ od _____				
5. Postup rada od _____ izmena od _____ operacija _____				
Primedbe i napomene				
Odluka o kvalitativnom prijemu alata				
Izveštaj dostavljen:				
Projektovanju tehnologije (F5) - 2x				
Nabavci (F9) - 2x				
Kontroli kvaliteta alata (F15.9) - 1x				
Datum izrade izveštaja	Potpis kontrolora kvaliteta alata	Rukovodilac Kontrole kvaliteta alata		
		Datum	Potpis	

Slika 1 - Obrazac "Izveštaja o kvalitativnom prijemu alata" (primer)

4.1 Kontrola kvaliteta alata u toku serijske proizvodnje

Ovaj postupak započinje podešavač sredstava za rad iz funkcije F12 koji podešava sistem AMM prema pisanim uputstvima za podešavanje. Postupak podešavanja obuhvata:

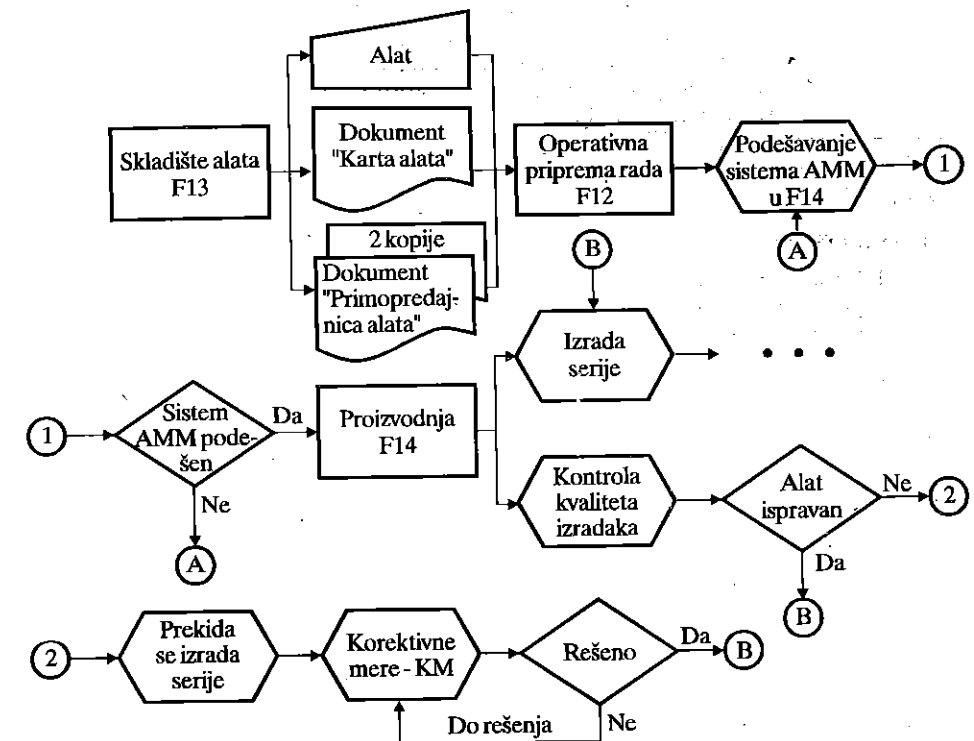
- » **neposredno podešavanje mašine** (nameštanje alata i drugih elemenata za kompletnu obradu, proveravanje sistema AM i dr.) i
- » **probnu proizvodnju** (puštanje sistema AMM u rad, kontrola funkcionisanja sistema AMM, kontrola toka operacije, doterivanje, korekcije i dr.).

Ukoliko je sistem AMM podešen, podešavač poziva funkciju F14 da pristupi serijskoj proizvodnji. Nepodešen sistem AMM podešavač sredstava za rad podešava sve dok ne utvrdi da je sistem podešen.

U toku serijske proizvodnje proizvodni radnik (funkcija F14) kontroliše usaglašenost izradaka sa zahtevima iz tehnološkog postupka rada. Na osnovu ove kontrole radnik identifikuje usaglašenost, odnosno neusaglašenost izradaka, i na osnovu ovog nalaza zauzima stav o ispravnosti upotrebljenog alata. Reč je, dakle, o indirektnoj kontroli alata u procesu proizvodnje.

Kada su izraci usaglašeni, odnosno alat ispravan, proizvodni radnik nastavlja serijsku proizvodnju, a ako su izraci neusaglašeni (kada postoji sumnja da je alat neispravan), proizvodni radnik obustavlja serijsku proizvodnju i pokreće postupak za sprovođenje korektivnih mera (KM). Postupak KM sprovodi se sve dok se ne stvore uslovi za nastavljavanje proizvodnje usaglašenih izradaka.

Radi ilustracije na slici 2 dat je dijagram toka postupka kontrole kvaliteta alata u toku serijske proizvodnje.



Slika 2 - Dijagram toka kontrole kvaliteta alata u toku serijske proizvodnje

4.2 Kontrola kvaliteta alata posle završene serijske proizvodnje

Potfunkcija F15.5 posle završene serijske proizvodnje izradaka, ili potfunkcija F15.6 posle završene serijske proizvodnje finalnih proizvoda, vrše dimenzionalnu i vizuelnu kontrolu (kratko: DVK) izratka i finalnog proizvođa prema zahtevima iz tehnološkog postupa rada ili prema planu i programu kontrole kvaliteta proizvoda.

Po završetku serijske proizvodnje funkcija F12 upućuje "Zahtev za kontrolni pregled/popravku alata" potfunkciji F15.9, koja u saradnji sa funkcijom F16 sprovodi postupak kontrolnog pregleda alata (kratko: KPA) i utvrđuje da li je alat: (1) **ispravan** (vraća se u skladište alata) ili (2) **neispravan** (upućuje se na popravku). Na ovaj način obezbeđuje se ostvarenje osnovne paradigme: **da u skladištu alata za serijsku proizvodnju mogu biti smešteni samo ispravni alati.**

4.3 Postupak kontrole kvaliteta alata posle popravke alata

Popravku alata vrši funkcija F16 prema dokumentu sistema kvaliteta "Postupak održavanja alata u eksploataciji". U toku popravke alata potfunkcija F15.9 na osnovu usmenog zahteva funkcije F16 kontroliše izvršene popravke na alatu, pri čemu kontroliše kvalitet obavljenih radova i kvalitet urađenih ili obrađenih elemenata alata. Ukoliko se pri kontroli popravki alata utvrdi da nisu izvršeni svi radovi, ili da nisu udovoljeni neki zahtevi iz konstrukcijske dokumentacije alata, potfunkcija F15.9 zahteva od funkcije F16 da obavi nove popravke, sve dok se ne dobije ispravan alat i takav smesti u skladište alata.

5. ZAKLJUČAK

Proizvodni alati značajno određuju stepen ispunjenja zahtevanog kvaliteta proizvoda. Zato je nužno da se u sistemu kvaliteta SQ9000 generišu i implementiraju standardizovani i pretežno determinisani postupci, čijom doslednom primenom se sprečava neusaglašenost u proizvodnom procesu, ili se neusaglašenosti svode na najmanju meru. U ovim nastojanjima dominantna ideja mora biti prevencija, tj. **akcija pre nastanka greške**, i to u svim fazama upotrebe proizvodnih alata i manipulisanja sa njima: od ulaska u preduzeće, kroz proizvodni proces, do njihovog rashodovanja.

LITERATURA

- [1] Naučnoistraživački projekat S.5.06.71.152 - "Razvoj i primena softvera za sistem kvaliteta prema zahtevima standarda JUS ISO 9000/10000 serije", potprojekt Pp1-T4: Modeliranje sistema kvaliteta u projektovanju i upravljanju konfiguracijom", Mašinski fakultet Kragujevac, 1995.
- [2] Dokumenti sistema kvaliteta generisani od "Centra za kvalitet" iz Kragujevca.

PRODUCTION TOOLS IN QUALITY SYSTEM

Abstract

From the standpoint of quality, namely prevention of nonconformity, the special place belongs to production tools (fastening, cutting, measuring, control, etc.). The procedure of qualitative acceptance of new and reconstructed tools, as well as control of tools quality in exploitation, are of the special importance for realization of required quality of products in accordance with the standard series YUS ISO 9000. In the paper illustratively presented the model of form by whose application the report is being made about qualitative acceptance of tools, as well as the flow chart of recommended activities in the control procedure of tool quality during the mass product.

Key words: Production tools, Quality, Nonconformity, Quality control.



26. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ
НЕЖЕСТКИХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Г.В.ТАРАНЕНКО, В.А. ТАРАНЕНКО *

(Севастопольский государственный технический университет)

Dr.Taranenko Viktor Anatoljevic, Taranenko Georgij Viktorovic
TEHNOLOGIČESKIJE METODI POVIŠENIJA BEZOPASNOSTI
METALLOOBRABOTKI NEŽESTKIH OSESIMMETRIČNIH DETALEJ NA ETAPU
PODGOTOVKI PROIZVODSTVA.

I.O ВВЕДЕНИЕ

Качественный выбор методов и способов достижения заданной точности обработки и стабильного обеспечения параметров качества деталей неразрывно связан с выбором средств обеспечения безопасности механической обработки. Рассмотрение структуры причинно-следственных связей технологии производства деталей позволило выделить ряд уровней: технологические процессы, в частности, процесс формообразования нежестких осесимметричных деталей точением; опасные производственные факторы (ОПФ) и вредные производственные факторы (ВПФ); причины, приводящие к возникновению ОПФ и ВПФ; следствия ОПФ и ВПФ; конструкторские методы повышения безопасности; технологические методы управления и достижения безопасности обработки (включают и организационные на стадии технологической подготовки производства).

В данной работе рассматриваются технологические методы обес-

* Виктор Тараненко, Академик Украинской Академии Информатики, д.т.н., профессор Севастопольского государственного технического университета (республика Крым, Украина);

Георгий Тараненко, дипл. инж., аспирант Севастопольского государственного технического университета.

печения и управления уровнем безопасности, в частности, организационные меры на стадии подготовки производства, позволяющие в процессе формообразования детали устранять причины возникновения некоторых ОПФ и ВПФ и, тем самым, обеспечивать безопасные условия металлообработки подобных деталей при достижении заданных параметров точности формы и качества поверхности.

2.0 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ УПРУГОДЕФОРМИРОВАННЫХ ВАЛОВ В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ

Один из технологических методов управления точностью и качеством обработки, обеспечивая при этом достаточные условия безопасности, предполагает нагружение заготовки растягивающей силой, что эквивалентно появлению дополнительной связи, обеспечивающей повышение статической жесткости детали за счет целенаправленного изменения упругодеформированного состояния последней. Такой технологический способ управления позволяет устранить причины возникновения ОПФ и ВПФ (существенные упругие деформации детали и возникновение вибраций; износ и разрушение инструмента; смещение технологических баз и др.), что обеспечивает условия достижения заданной точности формы и качества поверхности при обработке нежестких валов в различных отраслях промышленности, преимущественно в автоматизированных режимах [1]. При этом базирование заготовки в задней бабке осуществляется в кулачковых патронах или в цанговых зажимных механизмах.

Из всего рассмотренного многообразия мер по повышению безопасности обработки нежестких валов одно из важных мест занимает базирование и закрепление заготовки при обработке в упругодеформированном состоянии, при этом надежное закрепление исключает смещение базовых поверхностей и вырыв заготовки из зажимных элементов. Силы зажима заготовки в патроне должны обеспечивать достаточную жесткость контакта сопряжений поверхностей, предотвратить их смещение в процессе обработки, возникновение вибраций, а также из требований безопасности обработки исключить возможность вырыва заготовки.

Увеличение жесткости системы патрон-деталь и увеличение сил зажима способствует повышению точности и производительности обработки, но, в свою очередь, увеличение сил зажима может привести к значительным контактным деформациям и в месте сопряжения

поверхностей могут возникнуть три вида контактных деформаций: упругие, пластические и упруго-пластические [2]. Анализ расчетных значений величин контактных деформаций показал, что они в ряде случаев приводят к необходимости дополнительной обработки участка поверхности детали, находившегося в зоне зажима, или к отрезке этого участка с последующим использованием или утилизацией. Указанные участки можно отнести, как известно из теории базирования, к искусственным технологическим базам, которые специально создаются на детали, исходя из технологических соображений и после обработки могут быть удалены. Использование искусственных технологических баз и применение зажимных механизмов с геометрическим и силовым замыканием для обработки упругодеформированных валов исключает смещение поверхностей детали и зажимного механизма, снижает вероятность вырыва заготовки, что повышает безопасность обработки.

Анализ значений машинного времени на подготовку баз показывает, что эта величина по сравнению с машинным временем многопроходной обработки незначительна (например, при обработке нежесткого вала $d = 4$ мм, $L = 95$ мм, $t_M = 1,53$ мин., а время на подготовку искусственных технологических баз по всем шести вариантам 0,06 мин., что составляет не более 4% [3].

Анализ зависимости изменения полной себестоимости подготовки искусственных технологических баз при обработке нежестких валов с растяжением показал, что себестоимость подготовки баз для различных шести вариантов не превышает 5% - 10% полной себестоимости однопроходной обработки с приложением растягивающего усилия. Незначительное увеличение себестоимости за счет дополнительных затрат на подготовку технологических баз, обеспечивающих надежное закрепление деталей при обработке в упругодеформированном состоянии, окупается за счет сокращения числа проходов, повышения точности обработки и решения социальных факторов исключения причин возникновения производственного травматизма и последующих затрат из фондов социального страхования [3].

3.0 ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И СЕБЕСТОИМОСТИ ПОДГОТОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ

Множество сочетаний показателей (величина контактных деформаций, ширина проточки под зажимные элементы, машинное время на подготовку технологических баз, величина себестоимости подго-

товки баз, стоимость утилизированных отходов и др.), учитываемых при выборе схем базирования и закрепления, не является исчерпывающим и может изменяться в зависимости от применяемых и имеющихся в наличии зажимных механизмов, номенклатуры и размеров партии обрабатываемых деталей, используемого станочного оборудования и с учетом требований безопасности, исключающих причины возникновения ОПФ.

Решение поставленной задачи выбора технологического процесса обработки нежестких валов, выбора схем базирования и закрепления, предлагаемых мер и мероприятий по повышению безопасности при обработке упругодеформированных деталей относится к проблеме оптимизации процессов обработки деталей на станках.

В качестве показателя народнохозяйственной эффективности технологического процесса используются приведенные затраты, но, в нашем случае, когда сравниваемые варианты отличаются материалоемкостью, необходимо рассматривать полную себестоимость детали [4]:

$$\Pi_3 = E_H \cdot K + (C_1 + C_2) \cdot \Gamma,$$

где E_H - нормативный коэффициент окупаемости капиталовложений; K - капиталовложения (первоначальные затраты, в которых учитываются расходы на мероприятия по безопасности обработки, то есть затраты на создание средств защиты от возможного травматизма и причин возникновения опасных факторов; Γ - годовой выпуск изделий; C_1, C_2 - части полной себестоимости, зависящие от режима обработки и от материалоемкости, соответственно.

Можно рассматривать два вида оптимизации по этому критерию: вариантную и параметрическую.

Вариантная оптимизация включает в себя выбор оптимального варианта технологического процесса обработки деталей, поскольку обеспечить требуемое качество деталей при заданной производительности можно различными способами обработки, которые отличаются оборудованием, оснасткой, инструментами, заготовками с сохранением требуемого уровня безопасности. Целью вариантной оптимизации является выбор j -го варианта с наименьшими Π_3 , то есть $\min \Pi_{3j}$ при $1 \leq j \leq J$.

Капиталовложения зависят от применяемых при j -м варианте технических средств; часть себестоимости C_{2j} зависит от используемых заготовок, вспомогательных материалов для каждого вари-

анта многопроходной обработки или обработки в упругодеформированном состоянии при различных схемах базирования и не может быть определена однозначно, поэтому возникает задача вариантной оптимизации. Технологическая часть себестоимости C_{1j} зависит от режима обработки (V, S, t), межоперационных припусков и допусков на размеры, стойкости режущего инструмента и др., что приводит к задаче параметрической оптимизации. Параметрическая оптимизация это выбор оптимальных технологических параметров для конкретного способа обработки деталей. Пусть \bar{Y}_j - вектор, компонентами которого являются перечисленные в начале подраздела показатели базирования, а \bar{X}_j - вектор, компонентами которого являются технологические параметры для j -го варианта, при этом необходимо учитывать ограничения, определяющие замкнутые множества, которым принадлежит как вектор технологических параметров, так и вектор показателей базирования

$$\bar{Y}_j \in N_{0j}, \quad \bar{X}_j \in M_{0j},$$

где N_{0j}, M_{0j} - замкнутые множества допустимых значений векторов \bar{Y}_j, \bar{X}_j , соответственно.

В соответствии с принципом сопоставимости математическое выражение единой цели вариантной и параметрической оптимизации можно представить как

$$\min_{1 \leq j \leq J} [E_H \cdot K_j + \Gamma \cdot \min_{\bar{Y}_j \in N_{0j}} C_{2j}(\bar{Y}_j) + \Gamma \cdot \min_{\bar{X}_j \in M_{0j}} C_{1j}(\bar{X}_j)].$$

Так как в нашем случае рассматривается полная себестоимость изготовления детали математическое выражение единой цели вариантной и параметрической оптимизации можно записать как

$$\min_{1 \leq j \leq J} [\min_{\bar{Y}_j \in N_{0j}} C_{2j}(\bar{Y}_j) + \min_{\bar{X}_j \in M_{0j}} C_{1j}(\bar{X}_j)],$$

а для задачи только вариантной оптимизации при выборе наиболее выгоднейшей схемы базирования при обработке в упругодеформированном состоянии

$$\min_{1 \leq j \leq J} [\min_{\bar{Y}_j \in N_{0j}} C_{2j}(\bar{Y}_j)].$$

Решение поставленной задачи и все промежуточные расчеты параметров и себестоимости наиболее выгоднейшего варианта базирования и закрепления для обработки упругодеформированных валов при получении заданной конфигурации проводились на ЭВМ с помощью прикладной подпрограммы, входящей составной частью в элементы САПР технологических процессов механической обработки нежестких

осесимметричных деталей, что позволяет сократить сроки технологической подготовки производства.

4.0 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ причинно-следственных связей возникновения опасных производственных факторов и технологических параметров, обеспечивающих надежное закрепление упругодеформированных валов в процессе обработки точением, позволил выявить сочетание показателей, которые учитываются при выборе схем базирования и закрепления. Учет перечисленных показателей и оптимизация себестоимости подготовки технологических баз на стадии технологической подготовки производства позволяет оптимизировать технологию обработки жестких осесимметричных деталей, обеспечить достижение заданных параметров точности формы и качества поверхности обрабатываемых деталей при сохранении требуемого уровня безопасности обработки и исключить причины возникновения опасных производственных факторов и травматизм обслуживающего персонала.

5.0 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тараненко В.А., Митрофанов В.Г., Косов М.Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки жестких деталей. - М.: ВНИИТЭМП (Сер.6, Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Вып.2), 1987. - 64 с.
- [2] Кузнецов Ю.И., Кухарец А.В. Новые зажимные механизмы станков-автоматов. - К.: Техника, 1979. - 151 с.
- [3] Тараненко В.А. Оптимизация выбора схем базирования жестких валов при автоматической обработке с растяжением. // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. Вып.24. Респ. межвед. науч.-техн. сборник. Львов: Вища школа. 1985. - С.3-12.
- [4] Адаптивное управление технологическими процессами. / Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др. - М.: Машиностроение, 1980. - 536 с.

АННОТАЦИЯ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ ЖЕСТКИХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Г.В. ТАРАНЕНКО, В.А. ТАРАНЕНКО

В данной работе рассматриваются технологические методы обеспечения и управления уровнем безопасности, в частности, организационные меры на стадии подготовки производства, позволяющие в процессе формообразования устранять причины возникновения опасных производственных факторов и тем самым обеспечить безопасные условия металлообработки деталей при достижении заданных параметров точности и качества поверхности. Из проведенного анализа существующих методов повышения безопасности их обработки следует, что одно из важных мест занимает базирование и закрепление заготовки при обработке в упругодеформированном состоянии, при этом надежное закрепление должно исключить смещение базовых поверхностей и вырыв заготовки из зажимных элементов приспособлений. Рассматриваются методы базирования и закрепления жесткой заготовки при обработке в упругодеформированном состоянии с использованием искусственных технологических баз.



dr Radoljub Tomić

SISTEM OSIGURANJA KVALITETA PROIZVODA S ASPEKTA PRIPREMNIH FUNKCIJA I PODRŠKE PROIZVODNJI

Rezime

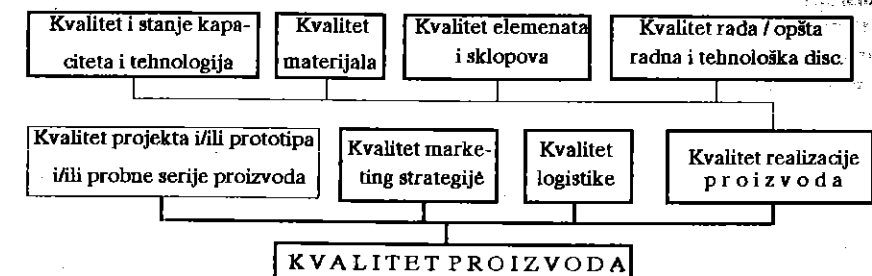
Efektivna proizvodnja, visok i stabilan kvalitet proizvoda mogu se ostvariti samo u uslovima adekvatnog planiranja, sistematizovanja i realizacije odgovarajućih aktivnosti u okviru sistema osiguranja kvaliteta (SOK) firme (isporučioa ili proizvođača). Ovde su diskutovani aspekti osiguranja kvaliteta proizvoda u razvoju, projektovanju, proizvodnji i eksploataciji. To je kompleksan model SOK-a, kojim se stvara odgovarajuća garancija da će proizvod obavljati svoju funkciju u radu na zadovoljavajuć način.

1. UVOD

Razlozi zbog kojih firme-isporučioi definišu, uvode i dokumentuju sistem kvaliteta proizvoda i usluga tiču se sve strožijih zahteva tržišta po pitanju plasmana proizvoda i usluga stabilnog kvaliteta. Dakle, pored zahteva po pitanju visokog kvaliteta proizvoda i usluga potrebno je da isporučioi pruže i odgovarajuće dokaze po pitanju kvaliteta procesa pripreme i realizacije proizvoda. U predmetnom smislu evidentni su sledeći najznačajniji faktori u vezi izbora modela za certifikaciju:

- zahtevi koji proizilaze iz zakona odnosno propisi o poslovanju,
- zahtevi kupaca koji su određeni ugovorima,
- prodaja proizvoda i usluga na svetskom tržištu,
- sticanje povoljnijih pozicija na tržištu i
- unapređenje internog poslovanja firme uz redukciju troškova kvaliteta.

Opšti model kvaliteta proizvoda prikazan je na slici 1.



Slika 1. Koncept kvaliteta proizvoda

Metodologija uspostavljanja sistema kvaliteta u našim firmama, u sadašnjem vremenu, je uglavnom bazirana na principima i zahtevima serije JUS ISO 9000. Nosioci razvoja sistema kvaliteta (SK) nisu u odgovarajućoj meri opismenjeni po pitanju kvaliteta a u većini slučajeva dostignuti nivo uhodanosti proizvodnje smatraju osnovom za koju treba samo pasivno definisati odgovarajuću dokumentaciju, te da će tako uspostavljen SK biti u skladu sa zahtevima JUS ISO 9000 na osnovu koga će se dobiti odgovarajući certifikat. Ova teza je sasvim pogrešna. SK nije cilj nego sredstvo unapređenja poslovanja. Dakle, potrebne su promene koje treba preduzeti po pitanju organizacije, dokumentacije, materijala, opreme i kadra, kako bi se obezbedio novi poslovni ambijent sa kompetentnim izvršiocima svih nivoa koji dosledno sprovode politiku kvaliteta, koji definišu i stvaraju, koji realizuju i kontrolišu realizaciju procesa po regulacionom principu, kojima je svest i odgovornost na visokom nivou, koji će biti motivisani za rad a za ostvarene rezultate biti adekvatno stimulisani, koji će biti svesni činjenice da nisu nezamenljivi i sl.

Odgovornost za definisanje i sprovođenje politike kvaliteta je na najvišem rukovodstvu firme, kako je i definisano u JUS ISO 9000. Rukovodstvo mora da shvati da je za dobar proizvod, uslugu ili proces praktično najbitnija kvalitetna priprema u domenu:

- obuke kadra svih nivoa koji učestvuju u realizaciji procesa i proizvoda,
- istraživanja tržišta,
- razvoja i definicije proizvoda,
- snabdevanja kvalitetnim materijalom,
- operativnog planiranja proizvodnje,
- realizacije proizvodnih aktivnosti,
- upravljanja kvalitetom (ne samo kontrola kvaliteta),
- promocije i plasmana proizvoda i
- postprodajne podrške.

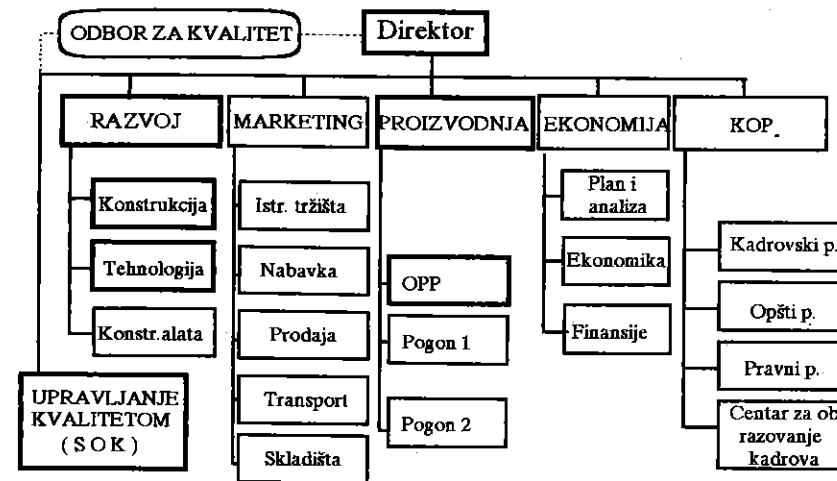
Obim rada ne dozvoljava šire elaboriranje u vezi svih napred navedenih pripremnih funkcija, pa će se ovde detaljnije izneti samo aspekti po pitanju razvoja, tehničko-tehnološke i operativno-planske pripreme, uz podršku koju pruža kontrola kvaliteta, imajući na umu da je funkcija kontrole izvan tehničko-proizvodnog sektora te da bi u uspostavljenom SOK-u trebala biti direktno vezana za direktora firme. Radi lakšeg razumevanja tehnoloških i informacionih tokova navešće se primer organizacije na osnovu SOK-a proizvodne firme MHK Energoinvest d.d. - Priština, slika 2.

Aspekti koji će biti izneseni u narednim glavama odnose se u prvom redu na planske i sistematske aktivnosti sadržane u poslovniku o kvalitetu. Kao što je za ukupno poslovanje firme najodgovornije najviše rukovodstvo, tako su za kvalitetnu pripremu i podršku proizvodnji najodgovornije funkcija razvoja, tehničke i operativne pripreme pa će o njima u ovom radu biti najviše reči.

2. OSIGURANJE KVALITETA U RAZVOJU I TEHNIČKOJ PRIPREMI

Osiguranje kvaliteta proizvoda u domenu angažovanja razvoja sastavni je deo akcije za osiguranje kvaliteta firme. Projektna definicija proizvoda sa zadatim kriterijumima i sve planske i sistematske aktivnosti razvoja, neophodne za stvaranje odgovarajuće garancije da će proizvod obavljati svoju funkciju-u radu i na zadovoljavajući

način moraju biti u skladu sa programom kvaliteta firme. Poslovníkom osiguranja kvaliteta definiše se sve ono što je bitno pri projektovanju proizvoda, konstrukcijskoj razradi i pripremi i podršci realizaciji proizvoda.



Slika 2. Moguća globalna organizacija proizvodne firme

Izlazni rezultati odnose se na tehničku dokumentaciju i odgovarajuće specifikacije. Posebnim dokumentom treba obraditi proceduru za izradu, numeraciju, arhiviranje, umnožavanje, distribuciju i ažuriranje dokumentacije. Prilozi poslovniku treba da budu svi obrasci i formulari kojima se služi razvoj sa instrukcijama u vezi popunjavanja istih.

Radi određenja sadržaja aktivnosti razvoja u raznim fazama definicije proizvoda, izrađuju se posebne procedure koje se odnose na crteže, proračune, specifikacije, eksploatacionu dokumentaciju itd.

Uputstva predstavljaju grupu dokumenata sa detaljnom razradom određenih zahvata u procesu realizacije aktivnosti razvoja.

Iz organizacione povezanosti na nivou firme, proizilaze i direktne odgovornosti razvoja. Razvoj je vezan direktno za direktora firme. Rukovodilac razvoja je odgovoran za projekte, nacрте, proračune, specifikacije materijala, postupke u skladu sa zahtevima specifikacija primenjenih normi i standarda.

Rukovodilac razvoja za svoj rad odgovara direktoru firme. Rukovodiocu razvoja su odgovorni rukovodioci službi konstrukcije i tehnologije. Posebne zadatke za službe i izvršioce u razvoju, definišu rukovodioci konstrukcije i tehnologije. Izvršioци za svoj rad odgovaraju rukovodiocima službi.

Unapređenje kvaliteta proizvoda obezbeđuje se obradom postojećih projekata (modifikacije u cilju racionalnije proizvodnje i poboljšanja performansi radi produženja moralnog veka proizvoda) i izradom novih, kao i razradom novih i doradom postojećih internih standarda, procedura i uputstava.

2.1. Dokumentacija

Obim, vrsta i sadržaj dokumentacije su sastavni deo ugovora. Još za vreme pregovora, a u ugovoru definitivno, se određuju primenljivi zahtevi koji se navode u narudžbi kupca, kao u osnovnom dokumentu, a u skladu sa tehničko-tehnološkim mogućnostima firme.

Projektna dokumentacija podrazumeva saglasnost sa određenim kriterijumima projektovanja, standardima i normama da bi se dobio zahtevani kvalitet.

Nacrti, proračuni i specifikacije materijala moraju se izraditi u skladu sa standardima i propisima definisanim ugovorom. Predmetna dokumentacija je u nadležnosti službe konstrukcije (SIK).

Na crtežima su naznačeni osnovni zahtevi za zavarivača, kontrolu, izabrane materijale i sl. Sastavni deo projektna dokumentacije su program i tablice kontrole kvaliteta. Dokumentaciju za upotrebu odobrava rukovodilac razvoja svojim potpisom i žigom "za izvođenje".

Programom i tablicama kvaliteta detaljno su definisani zahtevi za osnovne materijale, materijale za zavarivanje, kao i za zavarene spojeve i sl. Osnovni aspekti odnose se na vrstu ispitivanja, obim ispitivanja, metode ispitivanja, kriterijume prihvatljivosti, sadržaj i obim izveštaja o ispitivanju itd.

Sva dokumentacija se po potrebi usaglašava sa stručnjacima naručioca. Proračuni i nacrti, pored registarskog broja, nose i oznaku revizije (izdanja i izmene).

Rukovodilac sektora upravlja kvalitetom (UK) overava konačnu specifikaciju materijala. Odelenje razvoja kontrole (ORK) vrši, prema svom planu i na bazi pouzdanih alternativnih metoda, pregled nacrti i proračuna.

Konstruktivni crteži i specifikacije materijala se nakon overe dostavljaju arhivi radi umnožavanja i distribucije prema odgovarajućoj proceduri i utvrđenom planu.

Kopije dokumentacije se dostavljaju prema planu, koji se definiše za svaki ugovor odnosno proizvod, na primer:

- original ostaje u arhivi,
- službi Konstrukcije (kopija "0"),
- službi kontrole kvaliteta (kopija "1"),
- službi tehnologije (kopija "2"),
- službi Konstrukcije alata (kopija "3"),
- službi OPP (kopija "4") itd.

Za neke proizvode biće potrebno da se i drugim službama dostave odgovarajuće kopije "5", "6" itd. Takođe se može dogoditi da nema potrebe da se nekim od navedenih službi naznačene kopije dostavljaju. Dokumentacija se dostavlja zajedno sa dostavnim knjigom uz potpis ovlašćenog lica o prijemu u odelenju kome se dostavljaju dokumenti.

Operativno-planska priprema (OPP), konstrukcijsku i tehnološku dokumentaciju, zajedno sa materijalom lansira u proizvodnju u skladu sa prioritetom, dinamikom izrade proizvoda i planom angažovanja proizvodnih kapaciteta.

Posle izdavanja nekog dokumenta može se pojaviti potreba za njegovom revizijom zbog promena u projektu, zahteva kupca, tehnoloških ili drugih razloga.

Nakon što se izvrši revizija dokumenta, on se izdaje imaočima kontrolisanih kopija uz obavezno vraćanje starih dokumenata sa prethodnom revizijom u razvoj radi

uništenja. Na ovaj način se obezbeđuje da u upotrebi budu samo važeći dokumenti i sprečava se mogućnost gubljenja bilo kog dokumenta.

Definicija izrade određenog proizvoda sadržana je u tehnološkoj listi sa razrađenim operacijama. U tehnološkoj listi su određeni radno mesto na kome treba izvršiti operaciju, svi potrebni radni parametri i skice neophodni za sagledavanje jasnog izvršenja operacije. U tehnološkoj listi je predviđeno mesto za žig i potpis kontrolora gde se može videti da je operacija zadovoljavajuća.

2.2. Postupak u slučaju odstupanja proizvoda

Kada se razvoju, službi konstrukcije (ili projektnom birou), dostavi izveštaj o odstupanju proizvoda, tada odgovorni projektant ili konstruktor, u saradnji sa drugim specijalistima, predlaže jedno od mogućih rešenja:

- a) - bez dorade (BD); stanje odstupanja se verifikuje kartom izmene koja se po potrebi usaglašava sa predstavnikom kupca,
- b) - dorada (DO); odstupanje se može prevazići nakon dorade. Razvoj izdaje instrukciju za doradu,
- c) - odbaciti (ODB); nije moguća dorada i komad se odbacuje. Akciju provodi služba kontrole kvaliteta.

3. OPERATIVNO PLANSKA PRIPREMA

Kvalitet u planiranju i praćenju proizvodnje jasno pokazuje stepen zadovoljenja specifikacija postavljenih u procesu razvoja proizvoda. Planiranjem i praćenjem proizvodnje uspostavljaju se veze između podprocesa planiranja proizvodnje (planiranje kapaciteta, materijala, alata, aktivnosti realizacije i kooperacije), praćenja proizvodnje i održavanja mašina i opreme. OPP je mozak proizvodnje. Plan proizvodnje mora biti usklađen sa planom i dinamikom plasmana proizvoda kao i sa planom obezbeđenja sredstava za nabavku materijala i komponenata, uz racionalno korišćenje kapaciteta prema utvrđenim prioritetima. Na osnovu prezentiranog u gl.2, jasno je da će se za proizvodnju, pored kvalitetnog materijala, pripremiti i lansirati kvalitetna dokumentacija u skladu sa tipom proizvodne serije.

Direktor proizvodnje je odgovoran za planiranje proizvodnje, pripremu i proces proizvodnje u skladu sa programom SOK-a. Za realizaciju predmetnih poslova proizvodnje direktoru su odgovorni rukovodioci OPP i rukovodioci radnih jedinica i pogona gde se proizvod realizuje.

4. KONTROLA U PROCESU PROIZVODNJE I ISPITIVANJA

Najpre će se napomenuti da su kontrola dokumentacije i kontrola nabavke materijala (ocena dobavljača, kontrola narudžbi, ulazna kontrola) vrlo značajne i da prethode kontroli u procesu proizvodnje. Sposobnost da se identifikuje i sledi sav materijal koji se koristi u proizvodnom procesu je od kritičnog značaja za osiguranje kvaliteta. Osnovni aspekti kontrole u proizvodnji sadržani su u Programu kontrole i odnose se na norme, standarde, liste provera, obrasce za izradu izveštaja, drugu dokumentaciju radi dokaza o obavljenim ispitivanjima i uputstva kontrolorima u procesu proizvodnje. Programom kontrole se definišu i kontrolne tačke kojima prisustvuju predstavnici kupca. Predmetna problematika odnosi se na:

- planiranje i kontrolu u procesu planiranja i ispitivanja,
- kontrolu i ispitivanja u procesu proizvodnje,
- kontrolu specijalnih tehnoloških procesa,
- ispitivanje sa razaranjem i bez razaranja,
- kontrolu i baždarenje opreme i alata i
- finalnu kontrolu i ispitivanja.

Jasno je da se zahtevani kvalitet može postići samo ukoliko je kvalitetan rezultat rada svake od pripremnih funkcija uz negovanje timskog rada ali uz obavezno precizno definisane nadležnosti i odgovornosti svih učesnika u ostvarivanju sistema kvaliteta.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu su razmotriti osnovni aspekti organizacije i funkcionisanja pripremnih funkcija koji dominantno utiču na kvalitet tehničke dokumentacije svih nivoa, kao i na kvalitet procesa i proizvoda odnosno kvalitet kontrole u procesu proizvodnje. Istaknuto je da je osiguranje kvaliteta proizvoda sastavni deo akcije za osiguranje kvaliteta firme.

Već raspoloživi standardi i druga bitna dokumentacija, razvijeni od strane firme ili dobijeni po osnovu licenci treba da budu korišćeni u skladu sa vodećim dokumentom SOK-a, gde se moraju uspostaviti veze između dokumenata, neophodnih procedura i uputstava prema zahtevima JUS ISO 9000 i raspoložive dokumentacije (sadržaj dela raspoložive dokumentacije svakako je već u skladu sa JUS ISO 9000).

Pored pripreme procesa koji prethode proizvodnji, treba sprovesti i adekvatnu pripremu u prodaji, distribuciji i upotrebi proizvoda. Podprocesu procesa "proizvoda u upotrebi" odnose se na instaliranje i puštanje u pogon (posebno priprema za ugradnju i predaja proizvoda sa pratećom dokumentacijom), praćenje proizvoda u upotrebi, servisiranje u toku eksploatacije i povlačenje proizvoda iz upotrebe.

Konačno treba istaći, da se tek sa obukom korisnika ispunjavaju svi uslovi za ispravno korišćenje proizvoda, čime se otkazi zbog greške korisnika svode na minimum.

LITERATURA

1. Veljović A., Integracija zahteva sistema kvaliteta u poslovanju preduzeća, IT savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 1996.
2. Tomić R., Projektovanje mašinskih konstrukcija (u štampi), Priština, 1996.
3. Tomić R., Sistem kvaliteta prema JUS ISO 9000, Mašinski fakultet u Prištini, 1994.

SYSTEM OF QUALITY ASSURANCE OF PRODUCTS REGARDING TO PREPARATION FUNCTIONS AND PRODUCTION SUPORT

Abstract

Effective production, high and stable quality of products and services, only in adequate conditions of planing, systematization and realisation corresponding activities in the system of quality assurance (SQA) of the factory (supplier, producer) can be obtained. In this paper, the parameters of quality in development, design, production and service are considered. This is the complex model of SQA, which yields guarantee for target behaviour of realised products in operational conditions.