

**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEDJUNARODNIM UČEŠĆEM
28TH. CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING WITH
INTERNATIONAL PARTICIPATION**



**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**

KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.

POKROVITELJI

SAVEZNO MINISTARSTVO ZA RAZVOJ, NAUKU I ŽIVOTNU SREDINU, BEOGRAD

MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU REPUBLIKE SRBIJE, BEOGRAD

PRIVREDNA KOMORA JUGOSLAVIJE, BEOGRAD

REGIONALNA PRIVREDNA KOMORA KRALJEVO, KRALJEVO

JUGOBANKA KRALJEVO

LOLA INSTITUT, BEOGRAD

MAGNOHROM, KRALJEVO

INDUSTRIJA HIDRAULIKE I PNEUMATIKE "PRVA PETOLETKA", TRSTENIK

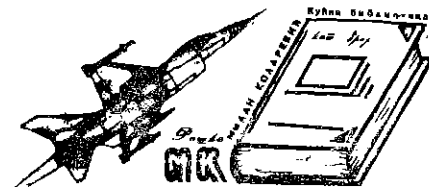
FABRIKA REZNOG ALATA, ČAČAK

FABRIKA VAGONA, KRALJEVO

PETAR DRAPŠIN, MLADENOVAC

SANDVIK COROMANT, PREDSTAVNIŠTVO BEOGRAD

**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEDJUNARODNIM UČEŠĆEM
28TH. CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING WITH
INTERNATIONAL PARTICIPATION**



**ZBORNİK RADOVA
PROCEEDINGS**

KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.

**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEDJUNARODNIM UČEŠĆEM
28TH. CONFERENCE OF PRODUCTION ENGINEERING WITH
INTERNATIONAL PARTICIPATION**

**ČLANOVI ZAJEDNICE
ORGANIZING INSTITUTIONS**

- Mašinski fakultet , Beograd • Lola institut, Beograd • Tehnički fakultet, Čačak • Mašinski fakultet Kraljevo • Mašinski fakultet , Kragujevac • Mašinski fakultet , Niš • Institut za proizvodno mašinstvo - FTN, Novi Sad • Institut za industrijske sisteme- FTN, Novi Sad • Mašinski fakultet , Podgorica • Mašinski fakultet , Priština

**ORGANIZATOR
ORGANIZER**



Mašinski fakultet Kraljevo
Univerziteta u Kragujevcu
Dositejeva 19.
36 000 Kraljevo

Tel./ faks (+381 36) 336 866, 339 794, 336 763, 23 647
E-mail: maskv@ptt.yu

**MESTO ODRŽAVANJA
SYMPOSIUM VENUE**

Kraljevo – Mataruška Banja
28. – 29. septembar, 2000, godine.

SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

I	Beograd	1965.	XV	Novi Sad	1981.
II	Zagreb	1966.	XVI	Mostar	1982.
III	Ljubljana	1967.	XVII	Budva	1983.
IV	Sarajevo	1968.	XVIII	Niš	1984.
V	Kragujevac	1969.	XIX	Kragujevac	1985.
VI	Opatija	1970.	XX	Beograd	1986.
VII	Novi Sad	1971.	XXI	Opatija	1987.
VIII	Ljubljana	1973.	XXII	Ohrid	1989.
IX	Niš	1974.	XXIII	Zagreb (nije održano)	1991.
X	Beograd	1975.	XXIV	Novi Sad	1992.
XI	Ohrid	1977.	XXV	Beograd	1994.
XII	Maribor	1978.	XXVI	Podgorica	1996.
XIII	Banja Luka	1979.	XXVII	Niš	1998.
XIV	Čačak	1980.	XXVIII	Kraljevo	2000.

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 dodeljuje 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 Strezo 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 Kujanić, 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. Vuko Domazetović, dipl. ing.
Prof. dr Milenko Jovičić, dipl. ing.
- **Za 1996. godinu**
Prof. dr Milisav Kaljđžić, dipl. ing.
Prof. dr Dragoslav Zelenović, dipl. ing.
- **Za 1998. godinu**
Prof. dr Ratko Gatalo, dipl. ing.
Prof. dr Vučko Mečanin, dipl. ing.

NAUČNI ODBOR SCIENTIFIC COMMITTEE

dr Vučko Mečanin, red. prof, Mašinski fakultet Kraljevo, predsednik

• prof. dr Mihailo Milojević, Mašinski fakultet Kraljevo • prof. dr Ratko Gatalo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad • prof. dr Milisav Kaladžić, Mašinski fakultet, Beograd • prof. dr Miodrag Lazić, Mašinski fakultet Kragujevac • prof. dr Ilija Ćosić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad • prof. dr Vuko Domazetović, Mašinski fakultet, Podgorica • Ljubomir Lukić, Lola institut, Beograd • prof. dr Ratomir Ječmenica, Tehnički fakultet, Čačak • prof. dr Vojislav Stoilković, Mašinski fakultet Niš • prof. dr Svetozar Đekić, Mašinski fakultet, Priština • prof. dr Novak Nedić, Mašinski fakultet Kraljevo • Prof. dr Ranko Rakanović, Mašinski fakultet Kraljevo

ODBOR INDUSTRIJE PRERADE METALA COMMITTEE FOR METAL PROCESSING INDUSTRY

dr Mihailo Milojević, red. prof, Privredna komora Jugoslavije, predsednik

• Aleksandar Matović, FRA, Čačak • Danilo Ivanović, Regionalna privredna komora Kraljevo • Dobrosav Andrić, Prvi partizan, Užice • Dragan Goljović, Ekonom, Ušće • Dragan Kuzmanović, DOMIS, Čačak • Dragan Subotić, Valjaonica bakra, Sevojno • Dragoljub Vukadinović, Metalac, Gornji Milanovac • Petar Jovanović, Magnohrom, Kraljevo • Ljubivoje Todorović, Privredna komora Jugoslavije • Ljubomir Petrović, FAD, Gornji Milanovac • Ratomir Ljujić, Sloboda Čačak • Slobodan Milošević, IMK "14. oktobar", Kruševac • Velimir Radivojević IHP "Prva petoletka", Trstenik • Vitomir Pijevac, FAP, Priboj • Vukoje Vukojević, LOLA kovačnica, Lešak • Pančić Dragan, Fabrika vagona, Kraljevo

ORGANIZACIONI ODBOR ORGANIZING COMMITTEE

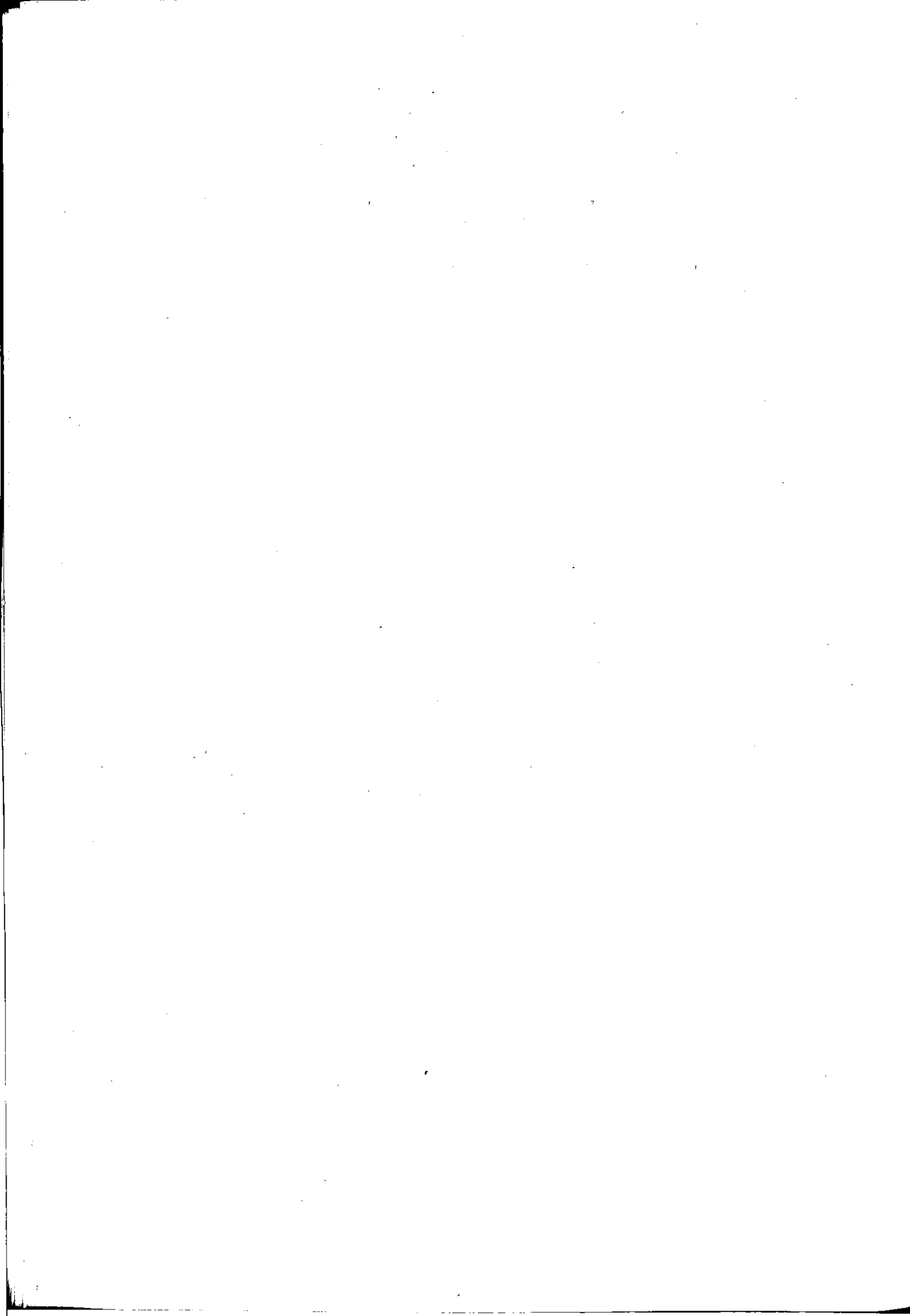
dr Ljubodrag Djordjević, van. red. prof, Mašinski fakultet Kraljevo, predsednik

• prof. dr Tihomir Pantelić, Mašinski fakultet Kraljevo • prof. dr Ljubomir Lukić, Mašinski fakultet Kraljevo • docent dr Arandjel Babić, Mašinski fakultet Kraljevo • docent dr Miomir Vukićević, Mašinski fakultet Kraljevo • dr Zoran Petrović, Mašinski fakultet Kraljevo • Goran Miodragović, Mašinski fakultet Kraljevo



DOBITNICI
POVELJE I PLAKETE
"Prof. dr PAVLE STANKOVIĆ"

- Za 1996. godinu
 - Prof. dr Milisav Kalajdžić
 - Prof. dr Dragutin Zelenović
- Za 1998. godinu
 - Prof. dr Ratko Gatalo
 - Prof. dr Vučko Mečanin



Prof. dr Milisav Kalajdžić, dipl. ing.



Osnovni biografski podaci Rodjen je 31. oktobra, 1941. godine u Mialtovićima. Osnovnu i osmogodišnju školu i gimnaziju završio u periodu od 1948 - 60. u Milatovićima, Kaoniku i Čačku. Na Mašinskom fakultetu u Beogradu diplomirao 1964. godine. Od 1964 do 1975 radi kao mladji saradnik, saradnik i samostalni saradnik u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd (danas LOLA Institut). U periodu od 1968 do 1969. godine odslužio vojni rok. Doktorsku disertaciju odbranio 11. decembra 1971. godine na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Od 1968. do 1973. radi kao honorarni asistent na predmetima Mašinska obrada i Mašine alatke na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Docent Univerziteta u Beogradu je u periodu od 1975.-80, vanredni profesor od 1980. - 87, dok je u zvanje redovnog profesora izabran 1987. godine.

Pedagoška aktivnost Od 1975. godine držao nastavu iz Mašinske obrade, Mašina alatki, Tehnologije mašinogradnje I i II, Tehnologije mašinogradnje, projektovanja nosećih struktura, Automatizacije proizvodnje i dr. na redovnim, vanrednim i posle diplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Beogradu, Novom Sadu, Zenici, Podgorici i na Odeljenjima Mašinskog fakulteta Beograd u Užicu, Valjevu, Kraljevu, VTA - Žarkovo. Rukovodilac preko 250 diplomskih radova, mentor više magistarskih i doktorskih radova, član preko 450 komisija za odbrane diplomskih radova i vuše komisija za magistarske i doktorske radove. 1981. godine izdao udžbenik Tehnologija mašinogradnje koji je uz dorade do 1998. godine doživeo šest izdanja.

Naučno istraživačka aktivnost Od 1965. do 2000. godine objavio samostalno ili u koautorstvu preko 150 radova, od toga preko 15 u inostranstvu. U periodu 1971. - 2000. godina objavio 17 monografija, knjiga i udžbenika. Sa grupom od 10 saradnika, 1998, objavio Priručnik iz tehnologije mašinske obrade rezanjem, koji je doživeo dva izdanja. Od 1965 - 2000. objavio oko 150 radova ograničene cirkulacije: elaborati i naučno-istraživački projekti IAMA i na Mašinskom fakultetu u Beogradu. U većem broju projekata kao nosilac i rukovodilac istraživanja. U periodu od 1965. - 2000, uglavnom rukovodio i učestvovao u istraživačkim timovima u realizaciji projekata za: ILR-Beograd, Prvomajska - Zagreb, LŽT - Kikinda, Potisje - Ada, Pobjeda - Novi Sad, Majeвица - Bačka Palanka, HIP - Pančevo, IMR - Beograd, DMB - Beograd, Alatnica - Zmaj - Beograd, Jugoturbina - Karlovac, Industrija alata - Trebinje, jelšingrad - Banja Luka, Matroz - Sremska Mitrovica, Željezara - Nikšić, MZT - Skopje, TE - Kosovo, Megal - Bujanovac, MIN - Niš, Jastrebac - Niš, 14. oktobar - Kruševac, Fabrika vagona - Kraljevo, Sloboda, Čačak, Krušik - Valjevo, Petar Drapšin - Mladenovac, Sarlah - Pirot, Prvi partizan - Užice, idr. Rukovodilac je strateškog projekta (1994. - 1997. godine) koji je finansiralo MINT Fond za strateški razvoj Srbije, pod brojem S.5.03.65.293 i nazivom : "*Fleksibilni tehnološki sistemi i fleksibilna automatizacija u industriji prerade metala*". Rukovodilac je i koordinator integralnog projekta koji finansira MINT Fond za strateški razvoj Srbije, pod brojem 11E08PT1 i nazivom : "*Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju obezbedjenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašinogradnji*". Ovaj projekat ujedinjuje programe i istraživanje sa MF u Beogradu, MF u Kraljevu, MF u Nišu, FTN Novi Sad, TF Čačak, LOLA Institut, Institut IPM, 14. oktobar - Kruševac i dr.

Medjunarodna informacija U periodu od 1965. - 1998. obišao poznate univerzitete, institute i fabrike u zemljama Zapadne i Istočne Evrope, bivšeg SSSR-a, SAD i Japana. Učesnik u više medjunarodnih simpozijuma sa radovima. Od 1980. do 1990. godine je član - korespondent CIRP-a, da bi 1990. na 40-toj Generalnoj ansambleji CIRP-a koja je održana u Berlinu, biran za redovnog člana. CIRP je medjunarodna organizacija sa ograničenim članstvom gde se izbor vrši prema strogim naučnim kriterijumima.

Ostalo Od 1991. neposredni je inicijator i rukovodilac u: Nastanku i izgradnji Centra za nove tehnologije, Nastavku završetka opremanja laboratorija CeNT-a, Nastavku i redefinisaju rada JUPITER - sistema, Nastavku i bližem uspostavljanju saradnje sa drugim fakultetima i institutima. Član i/ili predsednik raznih komisija, stručnih žirija i programskih odbora. 1992. godine sazvao i obnovio rad IO Zajednice institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije i postao Prodekan za finansije Mašinskog fakulteta u Beogradu. U periodu od 1979. do 1981. godine, predsednik je Saveta Mašinskog fakulteta u Beogradu. Od 1991. godine Šef je Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

A large, dark, rectangular area of heavy noise or redaction, obscuring the text underneath.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

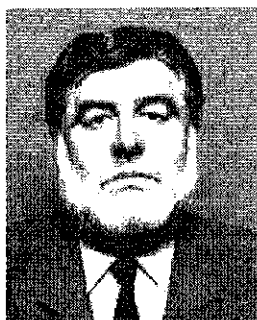
Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Faint, illegible text located below the redacted area.

Prof. dr RATKO GATALO, dipl. ing.



Rođen je 1941. godine u Potocima, srez Mostar, Bosna i Hercegovina. Industrijsku srednju tehničku školu-mašinski odsek, završio u Novom Sadu. Diplomirao na proizvodnom odseku Mašinskog fakulteta u Novom Sadu 1964. godine. Poslediplomske studije za stepen magistra nauka završio je na smeru za proizvodno mašinstvo na Mašinskom fakultetu u Beogradu 1973. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu 1978. godine.

Radni vek započeo je u preduzeću "Ge-Ge" u Adi 1964. godine. Radio je kraće vreme kao samostalni projektant u Birou za projektovanje livnica u preduzeću Centralna remontna radionica DTD u Novom Sadu.

Od 1967. godine radi kao asistent na Katedri za mašinsku obradu i mašine alatke na Mašinskom fakultetu u Novom Sadu. 1973. godine, izabran je u zvanje docenta na

predmetu Mašine alatke na Mašinskom fakultetu (sada Fakultetu tehničkih nauka) u Novom Sadu, 1980. godine izabran je za vanrednog profesora na predmetu Automatsko upravljanje mašinama, a 1986. godine u zvanje redovnog profesora na predmetima Automatsko upravljanje mašinama, Mašine alatke na istom Fakultetu.

U periodu od izbora u zvanje docenta do danas izvodio je predavanja na predmetima Mašine alatke i Automatsko upravljanje mašinama, CAD/CAPP/CAM postupci, Automatski fleksibilni tehnološki sistemi, Automatska automatizacija postupaka projektovanja. Na poslediplomskim studijama izvodio je predavanja iz predmeta Automatizacija projektovanja proizvoda i tehnoloških procesa, Savremeni obradni sistemi i Odabrana poglavlja iz automatskih fleksibilnih tehnoloških sistema. Pored toga, postavio je i razvio predmet Automatizacija mašina alatki na Višoj tehničkoj školi u Subotici i predmet Računarska grafika na Tehničkom fakultetu u Zrenjaninu.

Naučna i stručna delatnost profesora Gatala usmerena je pretežno na područje mašina alatki i automatskog upravljanja mašinama alatkama i u okviru toga na problematiku automatizacije postupaka projektovanja i programiranja mašina alatki. Njegov dosadašnji naučni i stručni opus sadržan je u preko 210 naučnih i stručnih radova objavljenih u časopisima i zbornicima radova u zemlji i inostranstvu, preko 50 elaborata naučnoistraživačkih projekata i tema, 3 naučne publikacije monografskog karaktera, 1 udžbenik, 2 skripte, jednom priručniku i preko 60 stručnih radova u vidu projekata, elaborata, studija, specijalizovanih publikacija i sl.

Gatalo dr Ratko je bio nosilac i glavni istraživač niza naučnoistraživačkih projekata tokom višegodišnjeg perioda, u području stvaranja prvog jugoslovenskog sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i nosioca informacija za NUMA: SAPOR-S sistema, koji je dobio vrhunska priznanja na nizu specijalizovanih izložbi i sajмова

Profesor Gatalo je sa saradnicima razvio niz originalnih rešenja programskih sistema za automatizovano projektovanje u području proizvodnog mašinstva i time doprineo ugledu i afirmaciji Fakulteta tehničkih nauka kako u zemlji tako i inostranstvu.

Pored toga zapažena je aktivnost profesora Gatala u vođenju preko 100 diplomskih radova, kao i vođenju i učešću u komisijama za odbranu oko 30 magistarskih i 20 doktorskih teza, na matičnom i drugim fakultetima u zemlji.

U toku rada na Fakultetu obavljao je funkciju šefa Laboratorije za proizvodno mašinstvo, šefa Katedre za obradu metala skidanjem strugotine, u više navrata, Direktora Instituta za proizvodno mašinstvo, Prodekana za nastavu Fakulteta tehničkih nauka i Rukovodioca Mašinskog odseka Fakulteta.

Poslednjih deset godina, je šef Katedre za tehnologiju i sisteme skidanjem materijala i rukovodilac Laboratorije za mašine alatke, fleksibilne tehnološke sisteme i automatizaciju postupaka projektovanja.

Svojim dosadašnjim nesebičnim i samopregornim radom doprineo je da današnji laboratorijski kapaciteti Katedre i Instituta za proizvodno mašinstvo ni malo ne zaostaju ni za laboratorijama u najpoznatijim istraživačkim centrima slične namene u svetu.

Pored niza društvenih aktivnosti koje je obavljao, značajan je njegov doprinos u organizaciji takmičenja metalčkih radnika Jugoslavije.

Profesor Gatalo je aktivno učestvovao sa radovima na velikom broju Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, kao i u radu Izvršnog odbora Zajednice proizvodnog mašinstva u svojstvu predstavnika Instituta za proizvodno mašinstvo FTN u Novom Sadu. Poseban doprinos dao je u organizaciji VII (1973), XV (1981) i XXIV (1992) Savetovanja proizvodnog mašinstva održanih u Novom Sadu, kao član Organizacionog i/ili Programskog odbora savetovanja.

Za doprinos razvoju Fakulteta, profesoru Gatalu su dodeljene dve zahvalnice i jedna plaketa Fakulteta tehničkih nauka.

Za aktivnost i postignute rezultate na naučnom polju Pokrajinski komitet za nauku i informatiku SAP Vojvodine dodelio je 1984. godine profesoru Gatalu plaketu za dostignuća u oblasti nauke, a Oktobarska nagrada grada Novog Sada dodeljena mu je 1991. godine za višegodišnji izuzetan doprinos primeni naučnoistraživačkih rezultata u industriji i obrazovanju naučnog kadra.

Prof. dr VUČKO MEČANIN, dipl. ing.



Dr. Vučko Mečanin dipl.inž. rođen je 1934. godine u Kotraži, orština Lučani. Školovao se u rodnom mestu, Čačku, i Kragujevcu.

Diplomirao je na Mašinskom fakultetu u Mostaru 1966. godine. Nakon toga zapošljava se u preduzeće UNIS-"IGMAN" Konjic gde je radio kao: Samostalni konstruktor tehnolog, Šef konstruktivno-tehnološkog odseka, Načelnik tehničke službe, i Tehnički direktor UNIS-ove Tvornice mašina.

Poslediplomske studije završio je na Mašinskom fakultetu u Ljubljani na katedri za Obradne sisteme i kompjutersku tehnologiju gde je i magistrirao 1977.god.

Doktorirao je na Mašinskom fakultetu u Mostaru 1981. god., na temi: "Optimizacija parametara obrade na kompjuterski upravljanim mašinama sa posebnim osvrtom na obradne centre".

Nastavom se bavi od 1978. godine kada je izabran za docenta Mašinskog fakulteta u Mostaru na kome je držao nastavu iz Mašina alatki sa klasičnim i kompjuterskim upravljanjem u zvanju: docenta, vanrednog i redovnog profesora.

Na Mašinskom fakultetu u Mostaru rukovodio je poslediplomskim studijama u dva navrata 1980. i 1984. godine. Bio je šef katedre za proizvodno mašinstvo, član Naučno-nastavnog veća Mašinskog fakulteta i član Naučno-nastavnog veća Univerziteta u Mostaru, gde je bio predsednik Komisije za razvoj.

Na poslediplomskim studijama na Mašinskim fakultetima u Mostaru i Banjaluci, držao je nastavu iz predmeta: "Metode optimizacije".

U periodu od 1985. do 1989. godine držao je nastavu na Tehničkom fakultetu u Čačku iz Automatizacije proizvodnih linija i Tehnološke pripreme automatizovane proizvodnje.

Od 1990. godine zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Kraljevu u zvanju redovnog profesora, gde drži nastavu iz predmeta: Tehnoekonomska optimizacija, i Računarski integrisane tehnologije.

Na Mašinskom fakultetu u Srpskom Sarajevu drži nastavu iz Automatizacije proizvodnih sistema i Mašina alatki sa kompjuterskim upravljanjem.

Rukovodilac je poslediplomskih studija od 1995. godine, a na poslediplomskom studiju drži predavanja iz Tehnoekonomske optimizacije i Projektovanja tehnoloških procesa.

Bio je šef katedre za proizvodno mašinstvo, šef je centra za proizvodne tehnologije.

Objavio je više od 90 stručnih i naučnih radova iz područja proizvodnog mašinstva, učestvovao na više domaćih i međunarodnih naučnih skupova i bio član više komisija magistarskih i doktorskih radova.

Član je Izvršnog odbora Zajednice Proizvodnog mašinstva Jugoslavije od 1980. godine. Na skupovima proizvodnog mašinstva objavio je 18 radova.

Bio je predsednik Zajednice proizvodnog mašinstva i Organizacionog odbora XVI Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije održanog u Mostaru 1982. godine.

Organizovao je i predsednik je međunarodne naučne konferencije HEAVY MACHINERY - HM '93; HM '96 i HM '99, koje su održane u Vrnjačkoj Banji i Kraljevu.

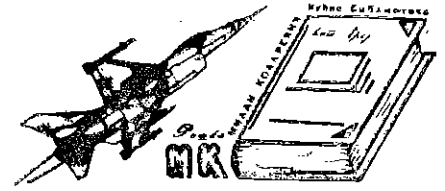
Napisao je pet univerzitetskih udžbenika:

- Alatne mašine sa numeričkim i kompjuterskim upravljanjem,
- Automatske proizvodne linije,
- Tehnološki procesi automatske proizvodnje,
- Optimizacija obradnih procesa u mašinogradnji, i
- Programiranje obradnih procesa na CNC mašinama.

Učestvovao je ili rukovodio na više naučnoistraživačkih projekata i zaslužan je za razvoj proizvodnih tehnologija bivše i sadašnje Jugoslavije.

Prodekan je za naučno-istraživački rad na Mašinskom fakultetu u Kraljevu.

SADRŽAJ



UVODNI RADOVI

M. Kalajdžić PROIZVODNE TEHNOLOGIJE - NOSILAC RAZVOJA INDUSTRIJSKO- PRIVREDNOG KOMPLEKSA	II
M. Milojević INŽENJERI – STVARAOCI PROIZVODA I TEHNOLOGIJA	VIII
Gatalo, R., Navalušić, S., Zeljković, M., Tabaković, S. PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROJEKTOVANJU PROIZVODA	XIV
V. Mečanin OPTIMIZACIONI PROCESI U PROIZVODNIM TEHNOLOGIJAMA	XXVII
N. Nedić AUTOMATSKO UPRAVLJANJE MEHANIZAMA I MAŠINA SA TRENJEM	XXXVII
M. Šarenac KADROVI I RAZVOJ METALSKE INDUSTRIJE	XLVII
Lj. Lukić, M. Milojević MESTO I ULOGA ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNIH INSTITUTA U TEHNOLOŠKOM RAZVOJU SRBIJE	LVI

1. OBRADA METALA REZANJEM

Tanović Lj. ISTRAŽIVANJA U OBLASTI OBRADLJIVOSTI TVRDOG METALA	1.1
Šidjanin L., Kovač P., Fišl J., Gabrić Z. MIKROSKOPSKA ISPITIVANJA KORENA STRUGOTINE LEGURA BAKRA I KERAMIKE	1.6
Филатов Ю. Д., Горбачев Г. Ф., Сидорко В. И., Крамар В. Г., Скрыбин В. В. ПОЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	1.11
Ješić D. HABANJE REZNOG ALATA U OVISNOSTI O STRUKTORNOM STANJU NODULARNIH LIJEVOVA NL 370 I NL 500	1.17
Milikić D., Sekulić M., Gostimirović M., Uzelac S. STRUKTURA SILA REZANJA PRI OBRADI BUŠENJEM	1.22
Jovanović G., Rančić B., Manić M., Damjanović Z. EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE SILE RÉZANJA KOD UZDUŽNE OBRADÉ NA STRUGU	1.29
Kuzinovski M., Stamboliska Z., Trajkovski S. DURABILITY OF THE CERAMIC CUTTING PLATES AT TURNING OPERATIONS WITH INCREASED SPEED OF CUTTING	1.35

2. OBRADA DEFORMISANJEM

- Bogdanov LJ., Đorđević LJ., Radovanović M.**
PRILOG O TEHNOLOŠKIM MOGUĆNOSTIMA IZRADE TEŠKIH MATRICIRANIH
OTKOVAKA U POSTOJEĆIM KOVAČNICAMA U SRBIJI 2.1
- D. Adamović, M. Stefanović, V. Lazić**
MODELIRANJE TRIBOLOŠKIH PROCESA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA
SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA 2.7
- T. Vujinović, S. Aleksandrović, M. Stefanović**
UTICAJ PROMENLJIVOG KONTAKTNOG PRITISKA NA DRŽAČU
NA OBRADIVOST PREVUČENIH LIMOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM 2.13
- P. Janković, J. Vukićević Milovanović**
IDENTIFIKACIJA FAKTORA SPECIFIČNIH ZA ODREĐIVANJE VREDNOSTI
SILE KOD PROSECANJA I PROBIJANJA POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA 2.19
- V. Stoiljković, S. Ranđelović, S. Mladenović**
GEOMETRIJSKI MODEL ALATA ZA OBLIKOVANJE CEVI NESTIŠLJIVIM
FLUIDOM 2.25
- Rančić B**
ODREĐIVANJE RADNOG PRITISKA PRI IZVLAČENJU KUTIJASTIH
DELOVA OD LIMA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM 2.31
- J. Vukićević Milovanović**
UTICAJ ODNOSA DEBLJINE LIMA I PREČNIKA OTVORA NA ODVIJANJE
PROCESA PROBIJANJA 2.37
- D. Adamović, M. Stefanović, V. Lazić**
MODELIRANJE TRIBOLOŠKIH PROCESA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA
SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA 2.43
- S. Aleksandrović**
IZBOR PROMENLJIVE SILE DRŽANJA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU 2.49
- Milutinović Mladimir, Vilotić Dragiša, Vujović Vlado, Čupković Đorđe**
PRILOG ISTRAŽIVANJU PARAMETARA PROCESA IZRADE KONUSNIH
ŽIGOVA UTISKIVANJEM 2.55
- Plančak M., Vilotić D., Skakun P.**
MOGUĆNOSTI IZRADE ZUPČANIKA HLADNIM DEFORMISANJEM 2.61
- D. Vilotić, M. Plančak, M. Popović, S. Arambašić**
PARAMETRI PROCESA PRI SABIJANJU VALJKA SFERIČNIM KALUPIMA 2.67
- V. Mandić**
ISPITIVANJE KONTAKTNIH USLOVA U MODELNIM EKSPERIMENTIMA
SA PLASTELINOM 2.73
- Yu. A. Kharlamov**
THE INFLUENCE OF PARTICLE VELOCITIES ON THE STRUCTURE
OF THERMAL SPRAY COATINGS 2.80
- M. Vukčević, P. Hartley, V. Domazetović, M. Janjić**
TRODIMENZIONALNO MODELIRANJE PROCESA DEFORMISANJA
METODOM KONAČNIH ELEMENATA 2.86

3. PROIZVODNE TEHNIKE

- P. B. Petrović**
DINAMIČKI MODEL LINEARNOG VIBRACIONOG KONVEJERA 3.1
- D. Temeljkovski, V. Avramović, S. Ranđelović, Lj. Spasić**
REKONSTRUKCIJA SISTEMA UPRAVLJANJA PRESAMA 3.7
- M. Radovanović**
CO₂ LASERSKE MAŠINE ZA SEČENJE 3.13
- Romček, A., Borojev, LJ., Zeljković, M., Gatalo, R.**
RAZVOJ TURBINSKIH BRUSNIH VRETENA SA AEROSTATIČKIM
ULEŽIŠTENJEM ZA UNUTRAŠNJU OBRADU BRUŠENJEM 3.19
- Lj. Đorđević, S. Đurić**
MOGUĆNOSTI PRIMENE "ZELENOG GASA" U MAŠINOGRADNJI 3.24
- Živković M., Antić B., Trifunović D.**
REVITALIZACIJA ELEMENATA HIDROINSTALACIJA MAŠINA
GRADJEVINSKE, RUDARSKE I TRANSPORTNE MEHANIZACIJE 3.29
- Z. Petrović**
ODREĐIVANJE ZNAČAJNOSTI PARAMETARA DIJAGNOSTIČKOG
PROCESA POMOĆU NEURONSKIH MREŽA 3.35
- S. Savićević, M. Kalajdžić**
AUTOMATIZOVANO ODREĐIVANJE PARAMETARA ZAVOJNE LJUSKE NA
CILINDRIČNOJ LJUSCI 3.41
- D. Djelović**
FAKTORI KOJI DETERMINIŠU IZBOR SREDSTAVA LUČKE MEHANIZACIJE
KAO ELEMENATA TEHNOLOGIJE IZVRŠENJAMANIPULACIJA SA TERETOM 3.47

4. OPTIMIZACIJA I UPRAVLJANJE

- M. B. Jevtić**
NOVA VTP TEORIJA 4.1
- M. Popović, M. Kalajdžić**
METODE OPTIMIZACIJE NOSEĆIH STRUKTURA PRESA 4.6
- Z. Miljković**
AUTONOMNOST ROBOTA BAZIRANA NA EMPIRIJSKOM UPRAVLJAČKOM
ALGORITMU 4.12
- M. Djapić, V. Milačić**
KORIŠĆENJE TEROJE FUNKCIJA UVERENJA ZA PREDSTAVLJANJE
NEODREĐENOG ZNANJA 4.19
- M. Bulatović**
VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM
SISTEMA 4.25
- L. Romić**
ULOGA MENADŽMENTA U PROJEKTNOM USMERENIM UPRAVLJAČKIM
PROCESIMA 4.32

V. Pavlovski, M. Kuzinovski, V. Gečevska OPTIMIZACIJA RADNIH REŽIMA OBRADE STRUGANJEM KOMPARACIJOM RAZLIČITIH REZNIH MATERIJALA	4.37
R. Petrović, R. Jankov PRIMENA KOMPJUTERSKOG PROGRAMA "AKSIP" PRI MATEMATIČKOM MODELIRANJU KLIPNO-AKSIJALNIH PUMPI	4.42
S. Cvetković, V. Milovanović MARKOV MODEL I PETRIJEVE MREŽE	4.50
D. Temeljkovski, V. Avramović, S. Randjelović REKONSTRUKCIJA SISTEMA UPRAVLJANJA PRESAMA	4.55
V. Zeljković, G. Petkowska - Banović SOFTVERSKI PODRŽANA FMEA ANALIZA	4.61
V. Zeljković, N. Radovanović PRAKTIČNO ODREĐIVANJE POUZDANOSTI SOFTVERA	4.67
I. Latinović, L.J. Lukić, V. Pezo MONITORISANJE STANJA ALATA NA ALATNIM MAŠINAMA KORIŠĆENJEM FAZI NEURALNIH MREŽA	4.73
I. Latinović, S. Sredanović NUMERIČKO UPRAVLJANJE ALATNIM MAŠINAMA KORIŠĆENJEM STEP (KORAČNIH) MOTORA	4.83
M. Zdravković, D. Marković DALJINSKI NADZOR I REGULACIJA POTROŠNJE PRIRODNOG GASA	4.88
P. Dašić OPTIMIZACIJA REŽIMA REZANJA PRI OBRADI METALA REZANJEM REZNIM ALATIMA OD KERAMIKE	4.92
5. KVALITET	
V. Stoiljković SIX SIGMA U MAŠINSTVU	5.1
M. Dinić, M. Kolarević, T. Pantelić PLAN POBOLJŠANJA SISTEMA KVALITETA U PPT HIDRAULIKA AD	5.9
T. Pantelić, M. Kolarević PROJEKTOVANJE SISTEMA KVALITETA U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA	5.15
Hodolić J., Stević M., Kovačić R. CE ZNAK - ZNAK KVALITETA ZA PRISTUP TRŽIŠTU UJEDINJENE EVROPE	5.20
Savić B. ANALIZA KVALITETA KONCEPCIJE DVOŠTEPENIH UNIVERZALNIH ZUPČASTIH REDUKTORA	5.26
M. Djapić, Lj. Lukić, V. Komadinić, Lj. Djordjević SPECIFIČNOSTI UNAPREDJENJA KVALITETA NA ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNIM POSLOVIMA	5.31

M. Kolarević, T. Pantelić
ISTRAŽIVANJE MEĐUZAVISNOSTI KARAKTERISTIKA KVALITETA I TROŠKOVA
KVALITETA PROIZVODA 5.37

B. Rakić
NOVA PROIZVODNA FILOZOFIJA I KVALITET 5.43

6. CAD/CAM/CAPP/CAE

R. Puzović, M. Kalajdžić
RAZVOJ BAZE PODATAKA U SISTEMU ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH
PROCESA PRIMENOM RAČUNARA 6.1

N. Čović, S. Živanović, M. Glavonjić
OSNOVNA KONCEPCIJA JEDNOG PROTOTIPA TROOSNE MAŠINE SA
PARALELNOM KINEMATIKOM 6.7

S. Sekulić
NEOPHODNOST IMPLEMENTACIJE ZNANJA O TEHNOLOŠKIM
STRUKTURAMA PRI PROJEKTOVANJU TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA
U USLOVIMA NEPREKIDNIH TOKOVA 6.14

Z. Milojević, S. Navalušić, R. Gatalo, M. Zeljković
NADGRADNJA CAD SISTEMA OPŠTE NAMENE ZA PROJEKTOVANJE
PROIZVODA 6.20

O. Lužanin, R. Gatalo, J. Hodolić
INTEGRACIJA SAVREMENOG CAD SISTEMA U PROCES RAZMENE PODATAKA
NA BAZI STEP MODELA PROIZVODA PRIMENOM INTEGRISANOG PROGRAMSKOG
INTERFEJSA (API) 6.26

Ž. Zeljković, R. Gatalo, M. Zeljković
TEHNOLOŠKI MODULI PO PRINCIPIMA EKSPERTNIH SISTEMA U SAPOR-S
SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NC MAŠINA ALATKI 6.34

G. Devedžić, Z. Stošić
KONCEPTUALNI OKVIR PRIMENE FAZI SKUPOVA I NEURONSKIH MREŽA
U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE OMR 6.40

A. Babić, G. Miodragović, M. Milojević
KOCEPTUALNO MODELIRANJE PROIZVODA I PROCESA U PROJEKTOVANJU
VAGON CISTERNE 6.47

7. NEKONVENCIONALNE METODE, MONTAŽA, ZAVARIVANJE, MATERIJALI

I. Čosić, Z. Anišić
METODOLOGIJA ZA OCENU I POVIŠENJE POGODNOSTI PROIZVODNOG
PROGRAMA ZA MONTAŽU 7.1

L. Šidjanin, B. Sabo, D. Stojaković, J. Dakić
METALOGRAFSKA ISPITIVANJA TEKKE PROBA 7.9

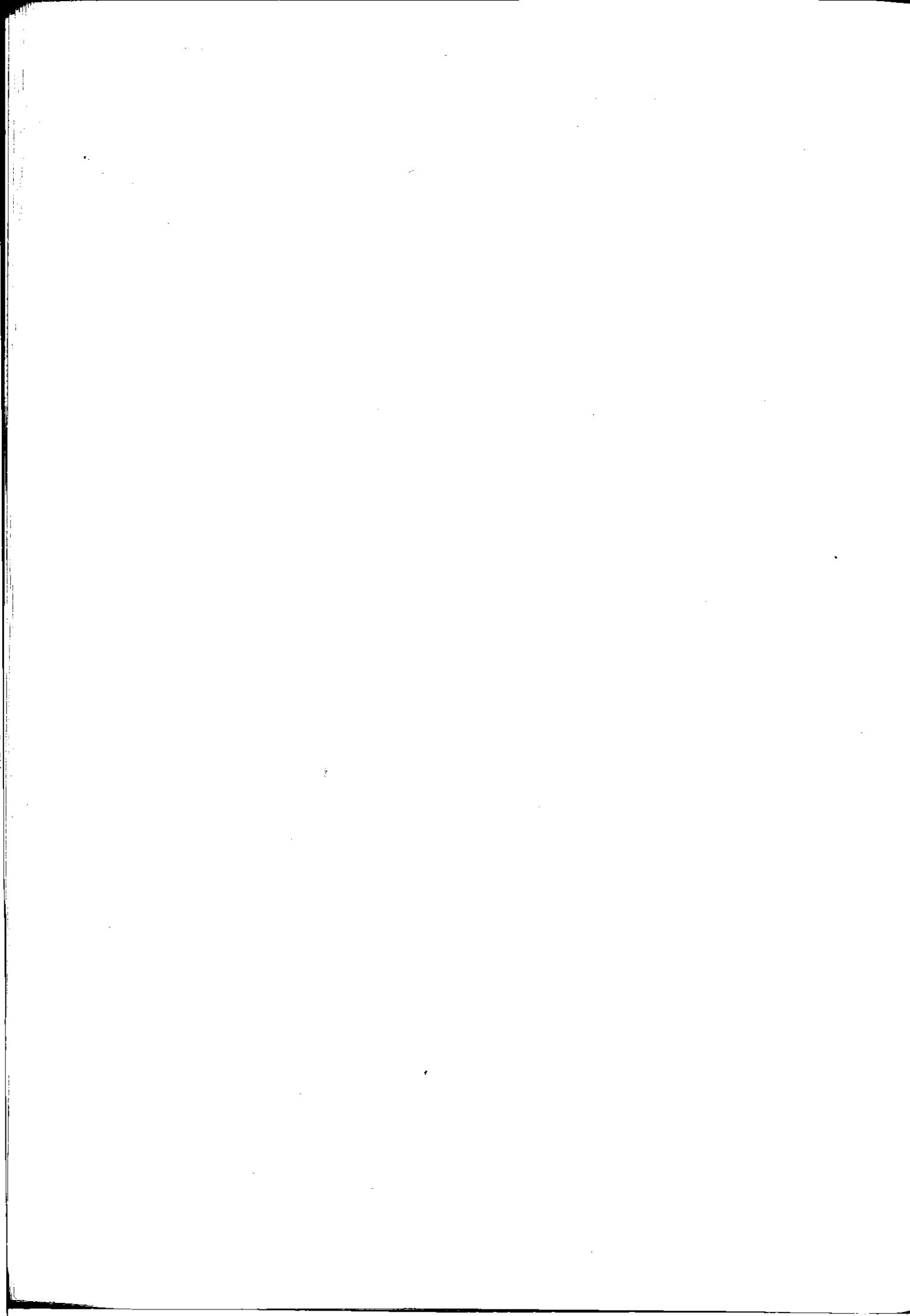
A. Pilipenko, L. Polonsky
VIBRATION CUTTING OF GAS-THERMAL COATINGS 7.15

B. Nedić, D. Čučuzović, Ž. Vasiljević MOGUĆNOSTI PRIMENE LASERA PRI PROIZVODNJI KAROSERIJSKIH DELOVA	7.19
D. Lazarević, V. Krstić, A. Lazarević NANOŠENJE PREVLAKE POMOĆU PLAZME	7.24
B. Škorić, D. Kakaš TRIBOLOŠKA KARAKTERIZACIJA TVRDIH PREVLAKA DEPONOVANIH PLAZMA TEHNIKOM NA KONSTRUKTIVNOM ČELIKU	7.30
K. Gerić, S. Sedmak OTPORNOST PREMA RASTU PRSLINA U ZONI UTICAJA TOPLOTE	7.36
S. Djurić, Lj. Djordjević REVITALIZACIJA OŠTEĆENIH ČELIČNIH KONSTRUKCIJA	7.42
S. Marković, S. Ćirić-Kostić REGENERACIJA OŠTEĆENIH MAŠINSKIH ELEMENATA NAVARIVANJEM	7.49
Smolencev V. P., Smolencev G. P., Koptev I. T. NEW METHODS AND TECHNOLOGY ELECTROCHEMICAL MARKINGS	7.56
Lj. Moravčević, M. Nikolić RAZVOJ EJEKTORA ZA POVEĆANJE KOEFICIJENTA ATHEZIJE PESKARENJEM ŠINA ZA ELEKTROMOTORNE VOZOVE SERIJE JŽ 412 / 416	7.59



**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.**

UVODNI RADOVI





PROIZVODNE TEHNOLOGIJE - NOSILAC RAZVOJA INDUSTRIJSKO-PRIVREDNOG KOMPLEKSA

prof. dr Milisav Kalajdžić¹⁾

Rezime

Polazeći od redefinicije proizvodnog mašinstva (i šire proizvodnog inženjerstva) i proizvodnih tehnologija, u radu se posebno, moderno definišu tehnologije uopšte, da bi se istakao njihov značaj u industrijsko - privrednom kompleksu. Navode se agilni tehnološki sistemi koji predstavljaju osnovu nove tehnološke paradigme za naredni vek. Ističe se, pored ostalog, i uticaj promena u korisničkim sektorima na razvoj proizvodnih tehnologija, sa zaključnim napomenama koje se odnose na smernice za razvoj i istraživanja u narednom periodu obnove i reinženjeringa industrije prerade metala.

Ključne reči: proizvodno inženjerstvo, proizvodne tehnologije, tehnološki razvoj

1. UVOD

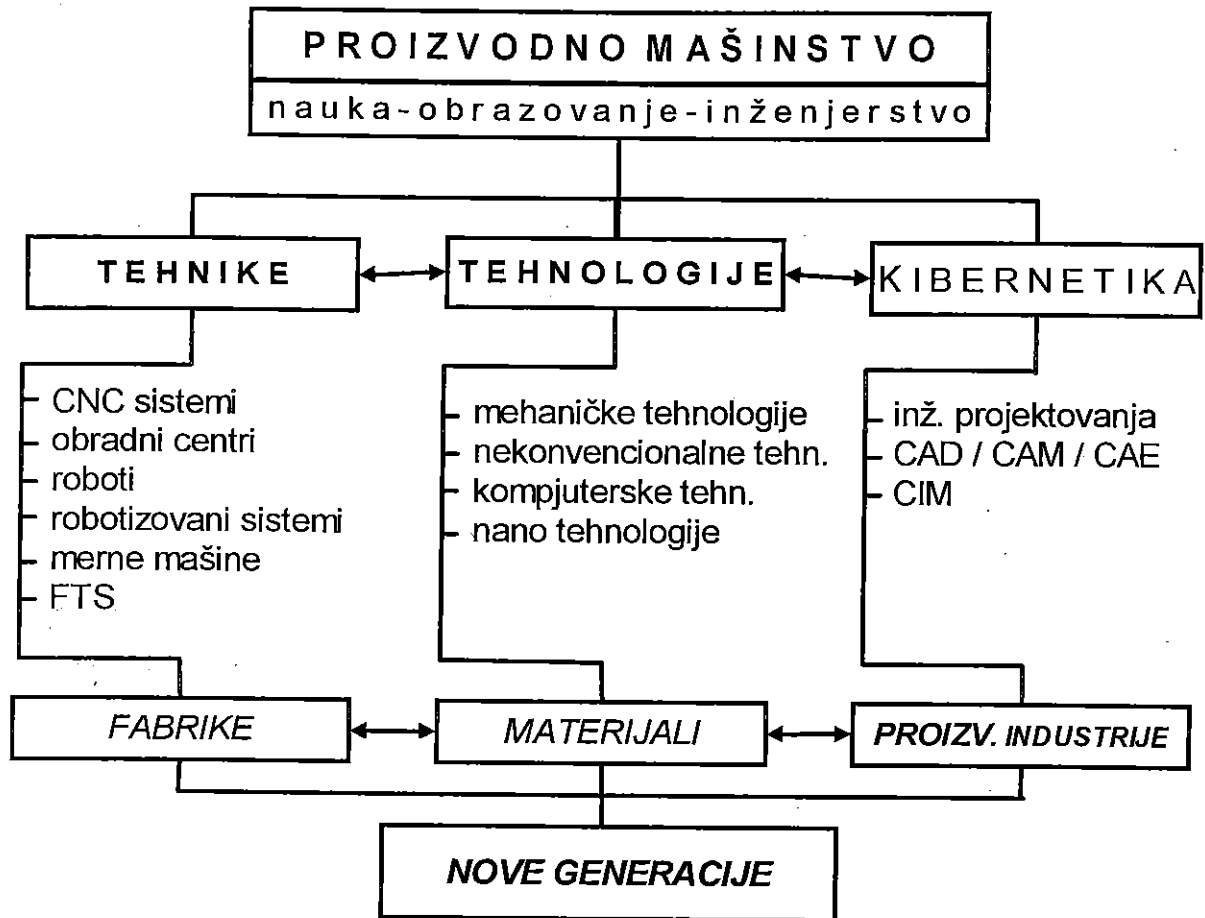
Termin proizvodno mašinstvo pojavio se kod nas tek početkom 60-tih godina, jedva nešto pre održavanja prvog savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije (1965). Ovaj termin je preuzet po uzoru na *production engineering* koji se koristi u Evropi i Japanu, dok je u Americi ekvivalentan termin *manufacturing engineering*, a obuhvata sve industrijske aktivnosti.

Proizvodno mašinstvo je zajednički sadržalac celokupnog mašinstva u fizičkoj realizaciji različitih dobara, a odnosi se na sredstva i metode proizvodnje, prevashodno u industriji prerade metala. Tu se, pre svega, misli na mašine alatke, alate, pomoćne pribore, transportnu, upravljačku i drugu opremu, kao sredstva, i na metode, tj. na pripremu i sprovođenje eksploatacije sredstava u postupcima koji prethode obradi delova, samoj obradi delova, u kontroli, spajanju i montaži, u održavanju proizvodnih sredstava, i dr. S druge strane, proizvodno mašinstvo je važan faktor i u obezbeđenju odgovarajuće vremenske funkcije kvaliteta sredstava i prerađivanja kapaciteta izvan industrije prerade metala, i to preko izvršnih funkcija modernizacije i održavanja.

Dakle, proizvodno mašinstvo je generalni kompleks aktivnosti neophodnih u dobijanju industrijskih, inženjerskih proizvoda.

Značaj proizvodnog mašinstva sve više izbija u prvi plan, jer je nosilac razvoja industrije inženjerskih proizvoda - te se može govoriti o *proizvodnom inženjerstvu*, kao pretpostavci razvoja industrije uopšte, što je, dalje, pretpostavka za ekonomski i društveno-socijalni program razvoja.

¹⁾ Redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Katedra za proizvodno mašinstvo, 27 marta 80, 11000 Beograd, Tel.: +381 11 3370 - 314, Fax: +381 11 3370- 364, e-mail: milsog@alfa.mas.bg.co.yu



Slika 1 – Proizvodno mašinstvo (tehnike, tehnologije, kibernetika)

Proizvodno inženjerstvo obuhvata tri osnovne oblasti koje moraju biti integrisano pokriveno, i to:

- proizvodne tehnike,
- proizvodne tehnologije, i
- proizvodna kibernetika.

Proizvodne tehnike obuhvataju i odnose se na širok spektar mašina alatki (posebno CNC mašine i obradni centri), robota, robotizovanih sistema za rukovanje materijalom, sisteme za automatizovanu montažu, mašine za merenje i kontrolu, fleksibilne tehnološke sisteme (FTS), upravljačke jedinice, pogonske sisteme i druge komponente i elemente. Isto tako, proizvodne mašine se odnose i na visoko produktivne alate, pribore i transportne i skladišne sisteme. Savremene proizvodne mašine moraju omogućiti novu generaciju fabrika.

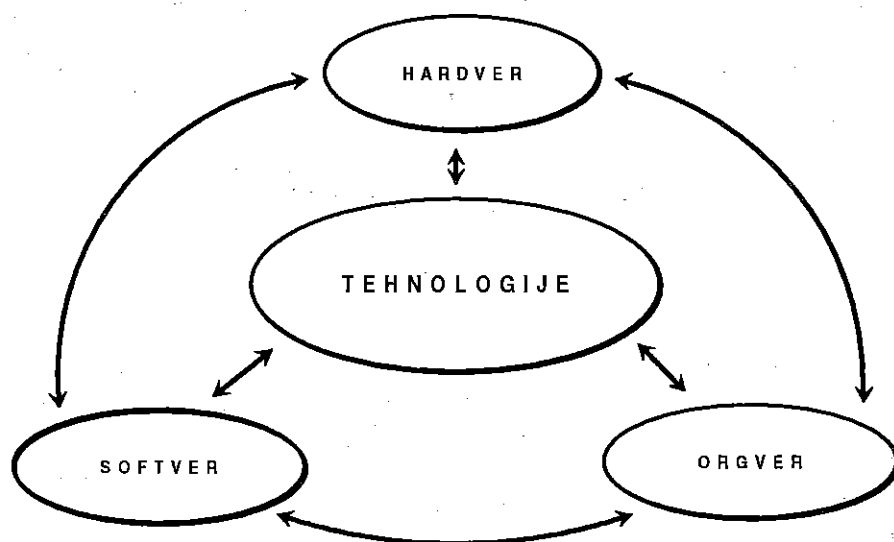
Proizvodne tehnologije baziraju na čitavom sistemu tehnologija, počevši od konvencionalnih mehaničkih tehnologija u novim uslovima, i to se odnosi na korišćenje kompjuterskih tehnologija za simulaciju procesa i projektovanje procesa. Nove (visoke) tehnologije su dobile i značaj sa, bržim razvojem nekonvencionalnih tehnologija (elektroerozione, elektrohemijske, laserske tehnologije), kao i razvojem mikro i nano tehnologija, koje su u dinamičkoj sprezi sa novom generacijom konstrukcionih materijala.

Proizvodna kibernetika obuhvata inženjerska projektovanja (CAD, CAM, CAE) u oblasti proizvoda, proizvodnje, organizacije, planiranja i upravljanja tehnološkim sistemima na bazi kompjutera. Ovaj deo proizvodnog mašinstva predstavlja osnovu za poslovno

integrirane sisteme u industriji. U ukupnoj integraciji proizvodnih učesnika i tehnologija, ovde se posebno ističe značaj integracije informacionih i proizvodnih tehnologija sa ciljem realizacije nove generacije proizvodnih industrija.

2. ZNAČAJ PROIZVODNIH TEHNOLOGIJA

Ako se proizvodno mašinstvo vezuje za industriju inženjerskih proizvoda, onda se mogu i šire postaviti ciljevi koji se kreću u krugu proizvodno inženjerstvo-nauka-obrazovanje. Ova oblast je danas najpopularnija u svetu, gde njen dinamičan razvoj, koji je već postigao kulminaciju, počinje posle energetske krize napuštanjem Tejlorizma i prelaskom na koncept kompjuterske integracije.



Slika 2 – Tehnologije kao aktivna interakcija između hardvera, softvera i orgvera

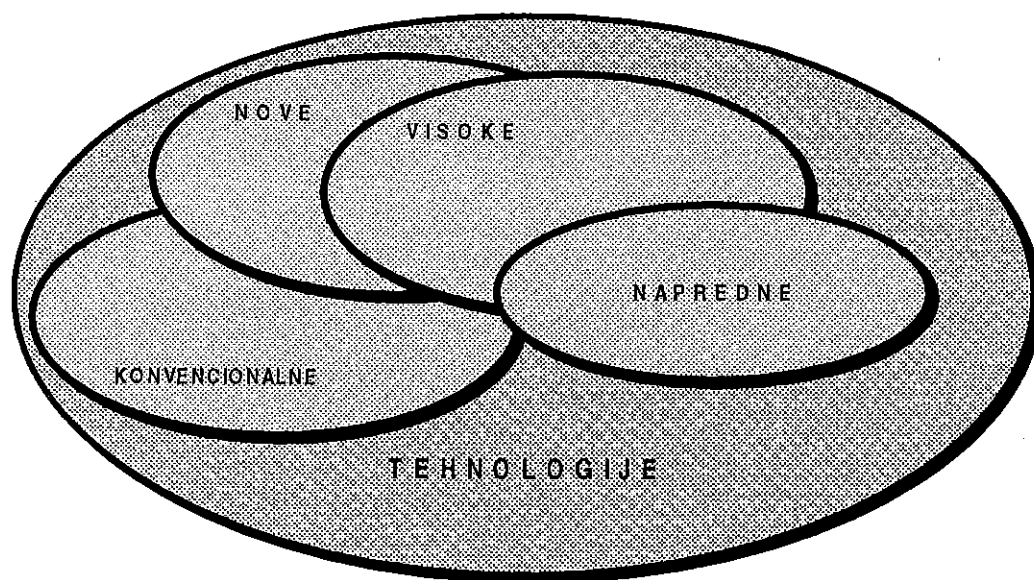
Tehnologije se danas mogu moderno i generično definisati kao aktivna interakcija između hardvera, softvera i orgvera. Što znači, da se moraju posedovati sredstva (hardver), metode i znanja (softver) i odgovarajuća pokretačka aktivnost sa programom (orgver), slika 2.

Međutim, ako se govori o tehnologijama uopšte, a posebno o proizvodnim tehnologijama u okviru metaloprerađivanja, onda se saglasno nivoima procesa, danas može govoriti o sledećim tehnologijama (vidi sliku 3), i to:

- konvencionalne,
- nove,
- visoke, i
- napredne (agilne) tehnologije.

Konvencionalne tehnologije se odnose na tehnologije koje se realizuju u okviru obradnih i tehnoloških sistema sa ručnim upravljanjem, zatim u okviru automatskih sistema sa krutim mehaničkim upravljanjem, agregatnih sistema, i sl. To je danas, uslovno usvojen termin, i obično neopravdano, za mnoge to su tehnologije niskog nivoa, što uopšte ne mora biti tačno.

Nove tehnologije često se pominju, definišu, analiziraju i sl. u kontekstu sa visokim tehnologijama. Međutim, svaka osvojena tehnologija, koja predstavlja pozitivan doprinos u razvoju proizvoda, pogona, fabrike, industrijsko – privrednog kompleksa i društva uopšte, i ukoliko je saglasna sa ekonomskom celishodnošću, predstavlja novu tehnologiju.



Slika 3 – Strukturni razvoj tehnologija

Visoke tehnologije podrazumevaju visok nivo hardvera, softvera i orgvera, a odnose se na tehnologije u okviru CNC - sistema (kompjuterski numerički upravljanih sistema), DNC - sistema (distributivno numerički upravljanih sistema), FTS – sistema (fleksibilnih tehnoloških sistema), ITS - sistema (inteligentih tehnoloških sistema), transfer linija sa visokim nivoom upravljanja, i dr. Visoke tehnologije danas podrazumevaju i nano tehnologije, itd.

Napredne (ili agilne) tehnologije danas su poseban predmet istraživanja u okviru proizvodnih tehnologija, a odnose na brzu izradu prototipova, i obuhvataju livenje u vakuumu i to specijalnih plastičnih masa, stereolitografiju, tehnologiju elektrolučnog oslojavanja i tehnologiju livenja alata od lakotopljivih legura. Iskustva poznatih firmi u svetu, i to uglavnom onih koje obuhvataju industrije motora i motornih vozila, pokazuju da je smanjenje troškova pri primeni ovih tehnologija reda deset puta, a vremensko smanjenje reda 100 puta.

3. ISTRAŽIVAČKA I TRANSFER MREŽA ZNANJA I TEHNOLOGIJA

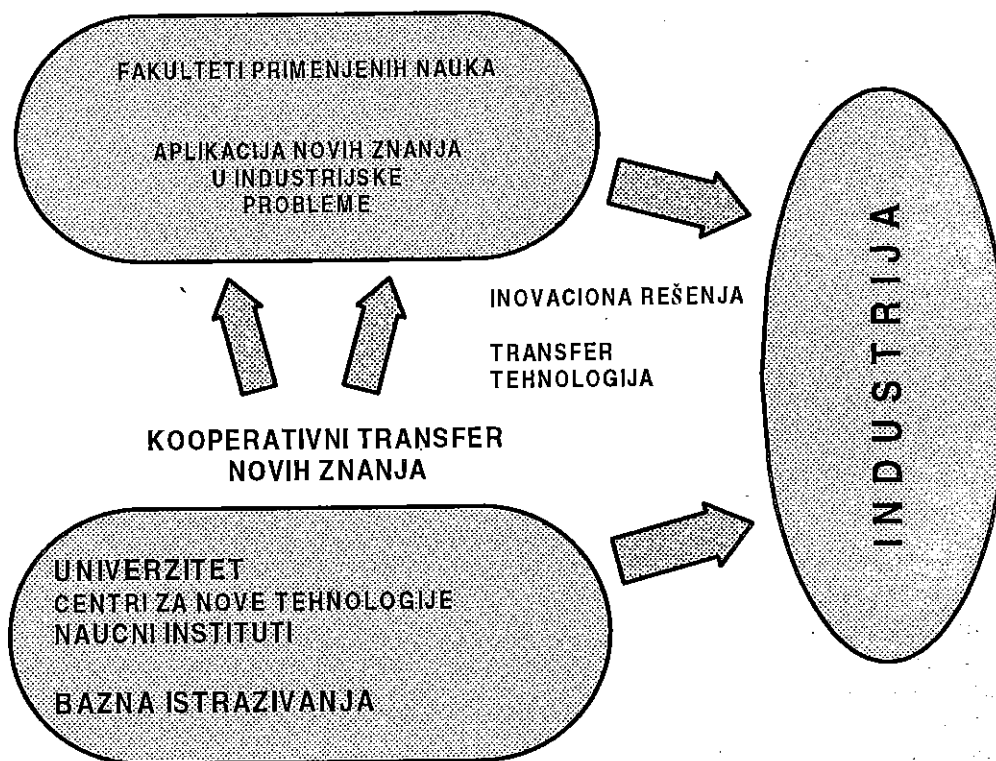
Jedna moguća istraživačka i transfer mreža znanja i tehnologija prikazana je na slici 4 (mod

ifikovano prema Š3Ć), koja se koristi i u razvijenim zemljama. to znači da se osnovna ili bazna istraživanja moraju izvoditi na univerzitetima i u naučnim institutima. Tu se stvaraju nova znanja koja se kroz kooperativni pristup transferišu u industriju, direktno ili preko primenjenih istraživanja. Ova se istraživanja izvode na fakultetima i industrijskim institutima, odakle preko inovacionih rešenja, odnosno transfer tehnologija nalaze industrijsku aplikaciju u osvajanju, pre svega novih proizvoda.

Vodeće svetske sile zasnivaju svoju moć na visokom tehnološkom razvoju, jer su na vreme izvršile duboke naučno-tehnološke promene.

U ovom domenu poseban značaj imaju kadrovski resursi koji treba da u domenu

inženjerstva, nauke i obrazovanja omoguće širu internacionalizaciju cele tehnološke infrastrukture.



Slika 4 – Istraživačka i transfer mreža znanja i tehnologija

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Ekonomska blokada SR Jugoslavije, kao i njena razaranja u toku agresije prouzrokovali su, pored ostalog i katastrofalan pad proizvodnje u industriji prerade metala. U većini industrijskih organizacija došlo je i do zastarevanja proizvodne opreme i, nažalost, do rasturanja proizvodnog i visokostručnog i kreativanog kadra. Međutim, u sferi proizvodnih tehnologija, i u tehnološki razvijenim zemljama sveta došlo je do strukturalnih promena, gde proizvodnja mašina alatki opada.

Najveći uticaj na ove promene ima proizvodnja u korisničkim sektorima. Naime, automobilska, vojna i druge industrije ustupaju mesto drugim (nove generacije računarske i biro opreme, opreme za proizvodnju hrane u raznim fazama, ekološke opreme i dr.). Verovatno bi pad proizvodnje naše industrije mašina alatki postojao u ovom periodu zbog navedenih promena, i da katastrofalni pad proizvodnje nisu ubrzale sankcije.

Napominje se umesto zaključka, da oporavak cele industrije prerade metala može da se ostvari neophodnim reprogramiranjem uz reaktiviranje i pokretanje proizvodnih tehnologija. Odnosno, čini se da bez "tehnološke kičme" Srbije, koja je bazirana na proizvodnim industrijama (Vojvodina-Beograd-Kragujevac-Užice-Trstenik-Kruševac) i njenog oporavka ne može biti ni tehnološkog razvoja, kao osnovnog preduslova za značajno povećanje društvenog proizvoda. Neophodno je u narednom periodu, uz sticanje, pored ostalog, i pogodnih društveno-ekonomskih uslova, izvršiti strukturne transformacije koje će omogućiti dinamizirano osvajanje novih tehnologija i novih proizvoda.

Literatura

- [1] M. Kalajdžić, Proizvodno mašinstvo: nauka - obrazovanje - inženjerstvo, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, knj. Uvodni referati, Beograd, 1994, str. 7-38,
- [2] Y. Koren, U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G.Pritschow, G. Ulsoy, H. Van Brussel, Reconfigurable Manufacturing Systems, Keynot Papers, Annals of CIRP Vol. 48/2/1999, pp 527-540 .
- [3] G. Schweitzer, Tehnology in Switzerland - on the Way to Intelligent Machines, Specijal Lecture, Internal Documents and Reports, CIRP, 1999 General Assembly, Montreux, Switzerland, pp 9-16,
- [4] M. Kalajdžić, Osnovna i primenjena istraživanja u proizvodnom inženjerstvu, 26 JUPITER KONFERENCIJA, Zbornik radova, uv. ref., Beograd, 2000, str.PS1-S9
- [5] M.Kaljdžić, M.Glavonjić, Rekonfigurabilnost tehnološkog sistema, 7 Međunarodna konferencija Fleksibilne tehnologije, MMA 2000, Zbornik radova,Novi Sad 2000, str.129-130

PRODUCTION TECHNOLOGIES – RECIPIENT OF
INDUSTRIAL-ECONOMIC COMPLEX DEVELOPMENT

Summary

Starting from the redefinition of production mechanical engineering (in the wider sense production engineering) and production technologies, this paper especially defines technologies in general in a modern way in order to stress their importance in industrial-economic complex. Agile technological systems are stated which present the basis of new technological pradigm for the next century. Besides, the influence of changes in users sectors is stressed to development of production technologies with conclusions refering to directives for development and researches in the following period of restoration and reengineering of metal processing industry.

Key words: production engineering, production technologies, technological development

INŽENJERI I STVARAOCI PROIZVODA I TEHNOLOGIJA

prof. dr Mihailo Milojević¹⁾

REZIME

Proizvodi i tehnologije odlučujuće utiču na uspehe preduzeća na tržištu. Otuda je od posebnog interesa stvaranje ovih po zahtevima kupaca, po zahtevima tržišta.

Obrazovanje, usavršavanje i praktičan rad projekatana proizvoda i tehnologija je izuzetan interes industrijskih preduzeća i celine privrede.

Ovaj rad ima ambiciju da doprineše rasvetljavanju ovih inženjerski i industrijski važnih pitanja.

Ozbiljan interes naše zemlje je ostvarivanje većeg društvenog proizvoda, ostvarivanje većeg uspeha privređivanja.

Uspešnost svake privrede je predodređena brojem poslovno uspešnih preduzeća.

Po pravilu poslovnu uspešnost ostvaruju kompetentna preduzeća.

U kompetentna industrijska preduzeća spadaju preduzeća koja imaju:

- jake i savremene menadžment timove koji snažno, odlučno i umešno upravljaju resursima preduzeća, vodeći ih uspešno na tržištu koje greške ne oprašta;
- jake i umešne tržišne timove koji kratkoročno i dugoročno analiziraju tržišta, vode na njima uspešne bitke za poslove prilagođavajući se uvek potrebama kupaca i informišući svoja preduzeća o promenama na tržištima o svojim sagledavanjima, analizama;
- jake, stručne i iskusne razvojno - projektantske timove, sposobne da sagledavaju tržišta, da inoviraju postojeće proizvode i tehnologije, da projektuju nove proizvode i tehnologije, da projektuju nove proizvode i tehnologije i da, predlažu i projektuju nove programe, konkurentne na tržištima.
- savremenu organizaciju i odgovarajuće tehnološke kapacitete koji mogu uspešno realizovati tržišne i konkurentne tehnologije;
- konkurentnu proizvodnu i finansijsku efikasnost preduzeća i sposobnost ostvarivanja projektovanog i ugovorenog kvaliteta proizvoda;
- dobre poslovne rezultate. Oni su uglavnom posledica prednjeg.

Poslovna uspešnost naših preduzeća u ovim sankcijskim godinama, u godinama ograničenja u poslovanju, ne iskazuje dovoljno vernu kompetentnost naših preduzeća.

^{1) 1)} predsednik Privredne komore Jugoslavije, Terazije 23, 11 000 Beograd

Ovo tim pre što sankcijama ograničenja na pogađaju podjednako sva preduzeća.

No, svakako preduzeća koja su poslovno uspešna u ovim uslovima, mogu se nazvati kompetentim i više od toga.

Takvih preduzeća ima u industriji proizvodnog mašinstva, industriji prerade metala.

Postoji svakako ozbiljna potreba da se u industriji u mašingradnji pre svega, analizira kompetentnost preduzeća.

Ovde ima mesta analiziranju, pre svega, inženjerskih oblasti rada u preduzećima mašingradnje, radi našeg uvida u stanje u tim oblastima, a i radi potrebe odlučujućeg uticaja inženjerskih poslova u mašingradnji, kako bi ova postala konkurentski jača, programski atraktivnija.

Ima verovanja da zadnjih deset godina u većini preduzeća mašingradnje nisu jačali:

- tržišni timovi
- razvojno projektantski timovi
- proizvodne tehnologije
- proizvodno - finansijska efikasnost

Ako je ovo dovoljno tačno, onda naša mašingradnja ima ozbiljne zadatke.

U ovom radu ćemo se baviti pitanjima stvaranja proizvoda, odnosno pitanjima razvojno-projektantskih timova. Za to ima dovoljno razloga. novih proizvoda i programa je malo.

projektantski timovi nisu ačali, nisu se dovoljno podmlađivali i bitno unapređivali metode rada. Važi ovo i za projektovanje tehnologija.

Škole projektovanja proizvoda i tehnologija u preduzećima dakle nisu napredovale.

Škole projektovanja proizvoda u školama, institutima i fakultetima, ne malobrojnim, čini nam se da su preokupirane sa proceduralnim pitanjima projektovanja i praćenjem ponekih kretanja u svetu iz ove oblasti.

Pri tome se vrše nekritički prevodi pojedinih stručnih pojmova i čine pokušaji uvođenja u našu inženjersku terminologiju raznih pojmovno i jezički neadekvatnih reči.

Često se u našoj praksi dovode u pitanje jedinstvo odnosno razdvojenost procesa projektovanja proizvoda i tehnologija.

Ovo u tretmanu degradira proces projektovanja složenih proizvoda.

Sve su ovo ozbiljni razlozi da se preduzeća, instituti i inženjerske škole adekvatnije i odgovornije okrenu ovim osnovnim inženjerskim disciplinama.

Neadekvatna, neatraktivna ponuda proizvoda i tehnologija neće dovesti kupce u naše fabrike, neće povećati uposlenost industrije.

Stvaranje proizvoda i tehnologija u preduzeću, u grupi preduzeća, između domaćih i stranih preduzeća su centralna inženjerska industrijska pitanja.

Bez tih sposobnosti, bez kadrova koji mogu menjati stanje, stvarati, a ne samo opisivati, sporo i teško ćemo menjati našu industrijsku zbilju.

A menjati je moramo brzo.

U našoj stručnoj praksi je pojam projektovanje vrlo širok pojam. Pojam projektovanja proizvoda je takođe širok pojam. On može da označava projektovanje jednostavnih proizvoda kao što su osovinice, zavrtnji, podloške, delovi od lima...

On može da označava i projektovanje složenih proizvoda kao što su vagoni, bageri, obradnih centri.

Procesi projektovanja jednih i drugih su bitno različiti. Otuda su nužna adekvatna znanja, adekvatne škole projektovanja. Neodmerena uprošćivanja u procesu formiranja kadrova za ove poslove mogu biti i štetna.

Na slici 1. je prikazan opšti proces projektovanja jednostavnih proizvoda, jednostavnih mašinskih delova.

Ovde je moguće, povezati, preklopiti proces projektovanja jednostavnog mašinskog dela i tehnologije njegove izrade. Moguće je direktno povezati projektovanje ovih delova, njihove tehnologije i samu izradu.

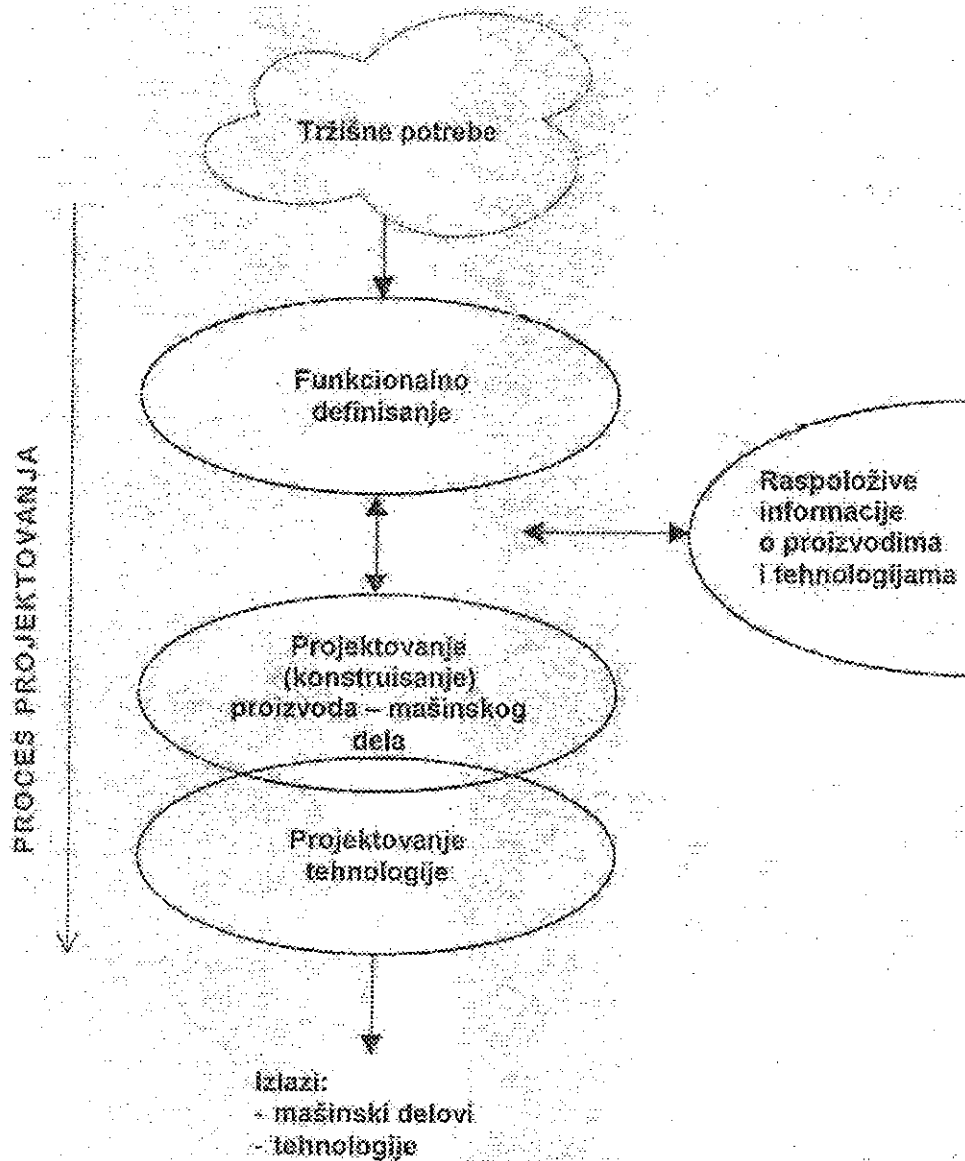
Proces projektovanja složenih proizvoda, slika 2, je bitno drugačiji proces. On traži mnogo informacija, mnogo znanja, iskustvo i ozbiljan smisao za stvaranje, za projektovanje ozbiljnih proizvoda.

Bez pravih tržišnih informacija, bez prepoznavanja kupaca, odnosno budućih kupaca ne treba ići u projektovanje.

Paralelno sa ovim neophodne su informacije o aktuelnoj i potencijalnoj konkurenciji.

Osmišljavanje budućih proizvoda sa mogućnošću prihvatanja više funkcija, dakle proizvoda fleksibilno promenljivih, su zahtevi koji se ne mogu izbeći.

Postavljanje struktura mašinskih sistema traži uvažavanje prednjih zahteva i traži smislenu inženjersko strukturisanje sistema, koji će pouzdano obavljati funkcije, a pri tome biti dovoljno jevtini i jednostavni. Dakle nužno je ostvariti visoke zahteve tehnološkosti.

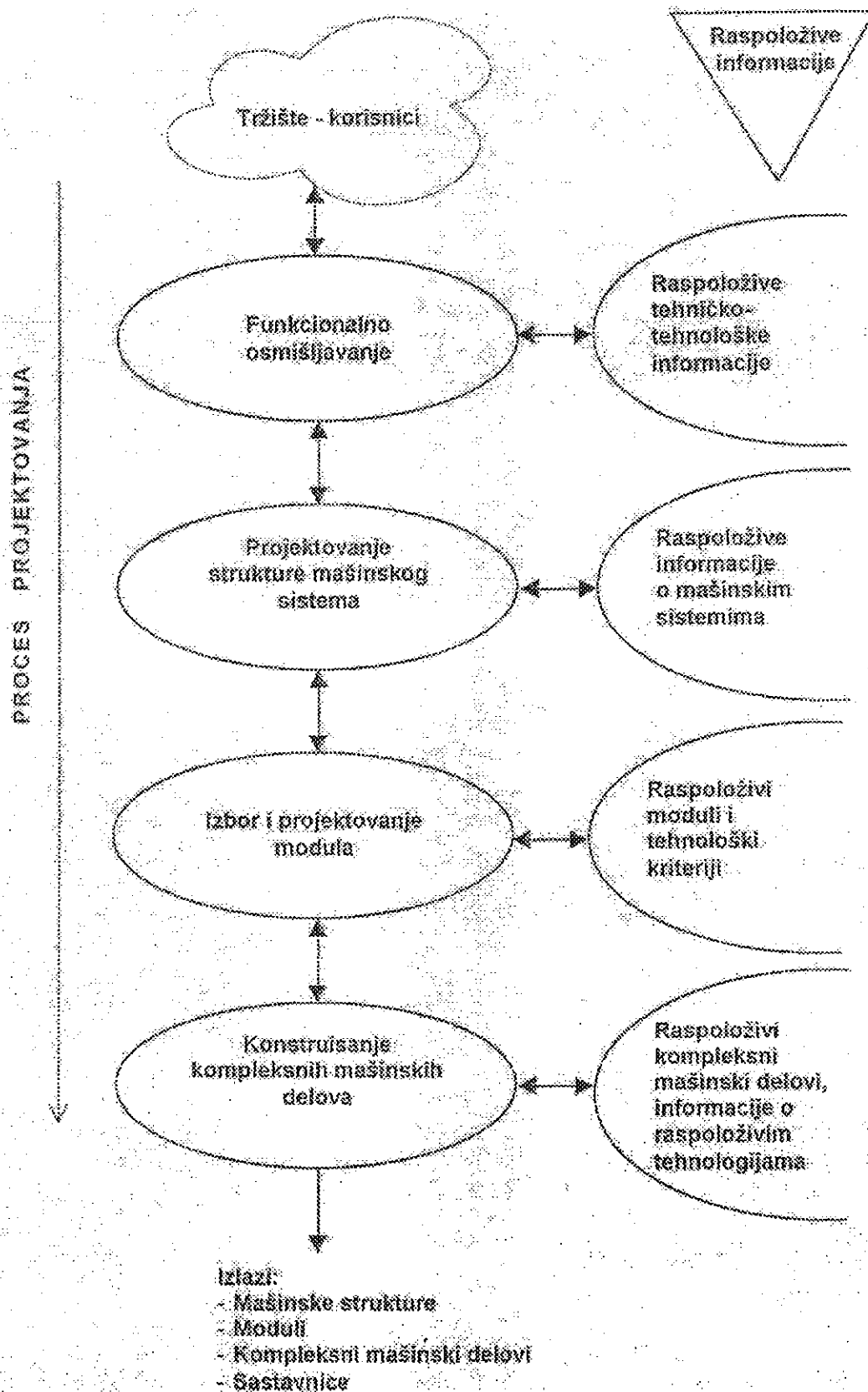


Slika 1: Proces projektovanja jednostavnih proizvoda

Za postavljene strukture mašinskih sistema neophodno je izvršiti odgovarajući izbor postojećih modula iz raspoloživog fonda modula i projektovati nepostojeće, a neophodne.

Na kraju ovog procesa su projektovanja, odnosno konstruisanja kompleksnih mašinskih delova, pri čemu je potrebno uvažavati zahteve geometrijske i tehnološke sličnosti sa postojećim delovima.

Proces projektovanja složenih proizvoda može biti različito automatizovan, od vrlo niskog do vrlo visokog nivoa, ali sadržaji procesa se bitno ne menjaju.



Slika 2: Proces projektovanja složenih proizvoda

Ovaj složeni proces projektovanja ima za izlaze:

- mašinske strukture
- module
- kompleksne mašinske delove
- sastavnice.

Oni imaju svoje dalje tehnologije tretiranja, koje je inženjerska praksa postavila.

Projektovanje tehnologije obrade kompleksnih mašinskih delova može biti po stepenu automatizovanosti vrlo različito, od klasičnog rada do vrlo visoko automatizovanog.

Izgleda da su još uvek najvišji dometi projektovanja tehnologija, računarom, odnosno postavljanje tehnoloških zahteva procesnom računaru koji upravlja složenim fleksibilnim obradnim sistemom koji obrađuje kompleksne mašinske delove. Radi se, dakle, o visokoj povezanosti projektovanja tehnologija i upravljanja procesima obrade.

ZAKLJUČNE NAPOMENE

Ovaj rad ima pretenzija sa ukaže na:

- stanje u industriji proizvodnog mašinstva
- stanje kadrova stvaralaca proizvoda
- stanje stvaranja, školovanja ovih kadrova
- neka pitanja u teoriji i praksi projektovanja kako se ne bi upadalo u greške
- nužnost promena kako bi se pojačala industrijska ponuda tržištu, povećala uposlenost i povećao uvoz

SUMMARY

Products and technologies have a crucial influence on the success of enterprises on the market. Therefore their creation according to the requests of the buyer and the requests of the market is of special interest.

Education, specialisation and practice of product and technology designers is in the special interest of industrial enterprises and the entire economy.

This work is aimed at contributing to the clarification of these engineeringly and industrially important issues.

PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U PROJEKTOVANJU PROIZVODA

Gatalo, R., Navalušić, S., Zeljković, M., Tabaković, S.¹

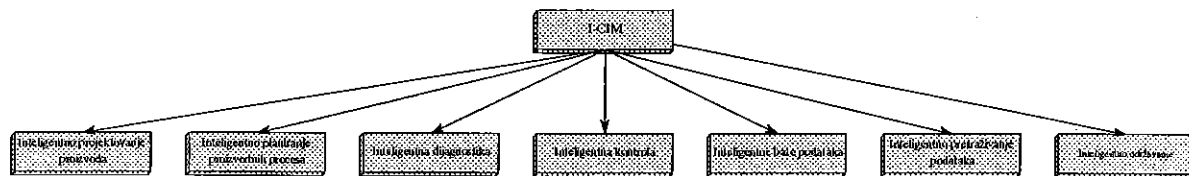
REZIME:

U radu je razmatran problem primene veštačke inteligencije u projektovanju proizvoda. Ukazuje se na značaj CAD sistema u integralnom I-CIM konceptu. Polazeći od usvojenog modela procesa projektovanja ističu se one faze procesa projektovanja u kojima se uspešno može primeniti koncept veštačke inteligencije i ekspertnih sistema. Na kraju se kroz određene konkretne rezultate primene ekspertnih sistema i neuronskih mreža u pojedinim sistemima za projektovanje proizvoda ukazuje na njihov značaj u unapređenju pojedinih faza u projektovanju proizvoda.

1.0 UVOD

Već više desetina godina prisutna je težnja da se ukupna proizvodnja unapredi kroz automatizaciju ne samo neposrednog proizvodnog procesa već i automatizaciju procesa projektovanja. Pri tome je primena računara osnova za automatizaciju. Poslednje decenije ceo proces automatizacije želi se unaprediti kroz primenu metoda i tehnika koje baziraju na veštačkoj inteligenciji. U procesu projektovanja proizvoda (CAD procesu) ove metode i tehnike stvaraju uslove za efikasnije, kvalitetnije i jeftinije projektovanje proizvoda i njegovu optimizaciju.

U novije vreme postoji posebna teorija posvećena konceptu kompletnih inteligentnih fabrika (I-CIM), kao teorijski model kome treba težiti. I-CIM koncepcija zapravo predstavlja sistem koji integriše osnovne segmente procesa proizvodnje u kojima je moguće znatno povećati učinak primenom metoda veštačke inteligencije. Tako obrazovan sistem čini inteligentni proizvodni sistem skraćeno I-CIM. Šematski prikaz I-CIM koncepcije je dat na slici 1.



slika 1. Šematisovan prikaz I-CIM koncepcije [5].

Ugradnjom veštačke inteligencije u ove oblasti dobija se relativno visok nivo automatizacije

¹ Gatalo dr Ratko red. prof., Navalušić dr Slobodan docent, Zeljković dr Milan docent, Tabaković Slobodan dipl.ing., Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

proizvodnog procesa uz znatno povišenu fleksibilnost.

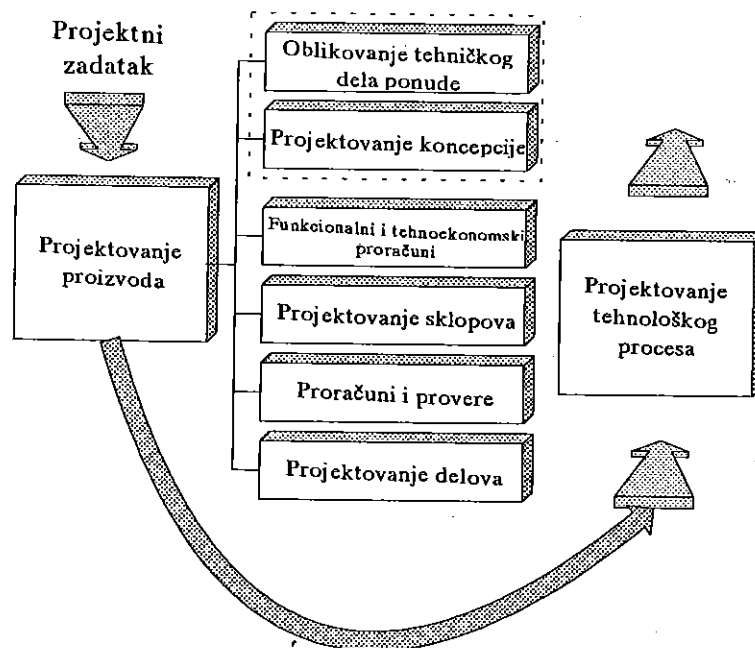
U takvim fabrikama je gotovo celokupni proizvodni proces prepušten na upravljanje inteligentnim računarskim sistemima.

Pri tome je najvažnija karika u I-CIM koncepciji inteligentno projektovanje proizvoda. Naime još od nastanka prvih programskih sistema za projektovanje proizvoda uz pomoć računara postoji težnja da se neke od metoda veštačke inteligencije uključe u takve sisteme. U prvo vreme su takve težnje postojale samo kao teoriske koncepcije nastale u istraživačkim institucijama isključivo zbog niskog stepena razvoja računarske tehnike, ali su usavršavanjem računara takvi sistemi stigli i do komercijalnog tržišta.

Mora se naglasiti da je u realizaciji ovog koncepta neophodno definisati i odgovarajući model projektovanja. U Š9C je prihvaćen model koji projektovanje smatra kao skup aktivnosti koje baziraju na indukciji, dedukciji, intuiciji, iskustvu i kreativnosti, kojima se rešava postavljeni problem sa donošenjem odgovarajućih odluka. Činjenica je da pomenute aktivnosti, na kojima bazira proces projektovanje, dosta teško formalizovati i da je njihova realizacija, prvenstveno, pod odgovornošću samog projektanta. Međutim, razvoj novih tehnologija, baziranih na veštačkoj inteligenciji, stvara uslove da se indukcija, dedukcija i iskustvo usmere ka veštačkom ekspertu dok su, za sada, intuicija i kreativnost u kompetenciji projektanta - čoveka.

KONCEPT INTELIGENTNOG PROJEKTOVANJA PROIZVODA

Proces projektovanja proizvoda, prikazan na slici 2., po modelu iz Š7C podrazumeva određen broj ključnih faza -modula. Iz modela se može zaključiti da pojedine faze, u procesu projektovanja proizvoda, imaju izlazni rezultat u vidu grafičke prezentacije, dok druge imaju proračunski karakter.



slika 2. Proces projektovanja proizvoda [7]

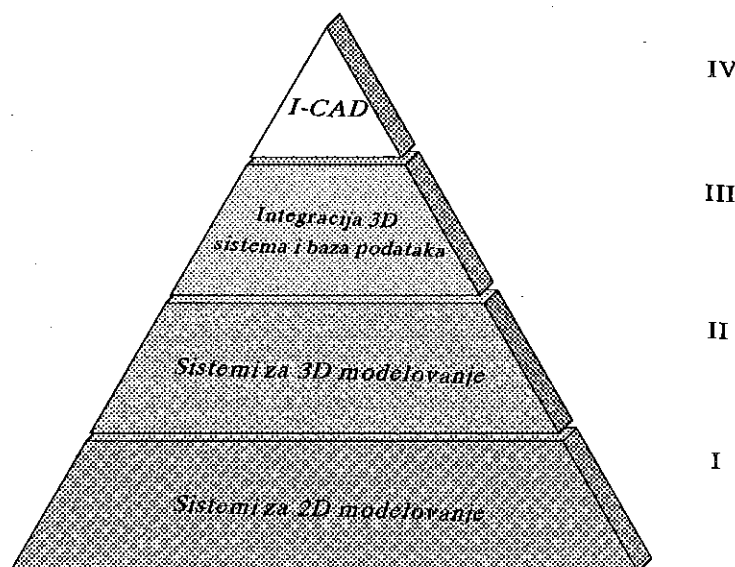
Faze sa proračunskim karakterom (funkcionalni, tehno-ekonomskii, optimizacioni proračuni, proračuni kinematike i čvrstoće, kao i proračuni vezani za ispitivanje ponašanja proizvoda) nisu predmet razmatranja u ovom radu. Uvažavajući ovu činjenicu, odnosno uzimajući u obzir

samo faze sa grafičkim izlazom, proces projektovanja proizvoda se može podeliti u tri faze:

- koncipiranje proizvoda
- konstruisanje proizvoda
- razrada konstruktivne dokumentacije

Svaka od pomenutih faza je definisana određenom strukturom, sadržajem i strategijom za dobijanje rešenja, pa je moguće, u svaku od njih, uvesti određeni nivo ekspertnosti. Sa druge strane, činjenica je da faza koncipiranja predstavlja najsloženiju projektantsku aktivnost sa veoma značajnim stepenom učešća intuicije i kreativnosti projektanta, pa je u ovoj fazi neophodna maksimalna ekspertnost. Preostale faze predstavljaju, u većoj ili manjoj meri, rutinske aktivnosti, pa nivo neophodne ekspertnosti opada.

Programski sistemi za projektovanje proizvoda putem računara su od svog nastanka imali zadatak da omoguće brže i efikasnije projektovanje proizvoda uz stvaranje uslova za formiranje odgovarajućih informacionih baza podataka. Na slici 3. su prikazane faze u razvoju CAD sistema od njihovog nastanka pa sve do I-CAD koncepta.

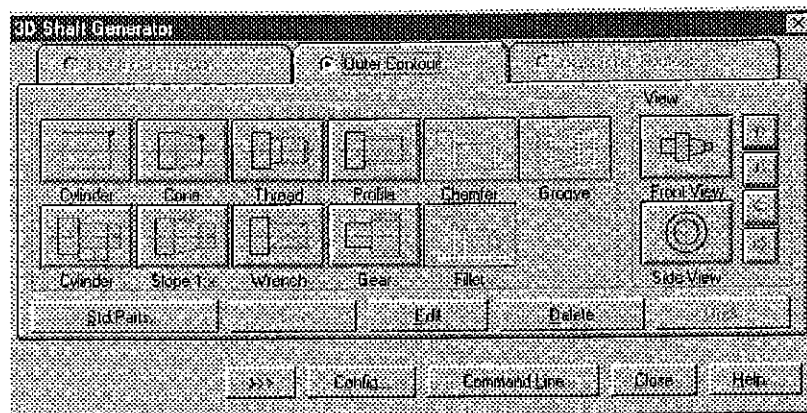


slika 3. Faze u razvoju CAD sistema

Ti sistemi su u prvo vreme nastali kao zamena za crtaće table omogućujući projektantu isključivo projektovanje u ravni (2D projektovanje). Pojavom grafički orjentisanih računarskih sistema su nastali CAD sistemi II generacije čija je uloga bila prostorno projektovanje (3D) pri čemu su se iz računarskog modela nahnadno izrađivali 2D crteži sa projekcijama modela koji su korišćeni za radioničku dokumentaciju. Ovakav koncept projektovanja omogućava upotrebu već fomiranih modela i u drugim programskim sistemima kao što su CAM ili CAPP sistemi.

Sledeću, III fazu u razvoju CAD sistema predstavljaju sistemi koji su danas najrasprostranjeniji na komercijalnom tržištu. To su CAD sistemi koji imaju integrisane baze podataka sa informacijama o velikom broju standardnih mašinskih elemenata i modulima koji omogućuju poluinteligentno projektovanje pojedinih mašinskih elemenata kao što su npr. vratila, ležajevi i sl. Naime u takvim sistemima projektant u dijalogu sa računarom, na osnovu eksploatacionih karakteristika mašinskog elementa dobija spisak mogućih rešenja problema sa kog odabira onaj koji je po njegovom mišljenju najbolji. Na slici 4. je prikazan dijalog prozor

za modeliranje vratila iz jednog od CAD sistema II generacije.



slika 4. Dijalog prozor za modeliranje vratila

Četvrta faza u razvoju CAD sistema predstavlja koncept I-CAD. Za sada se ovakvi sistemi još uvek nalaze u fazi razrade pojedinih njihovih delova u naučnim institucijama ili su u nekom delimičnom obliku razvijeni za pojedine kompanije i vojne ustanove. Konceptija I-CAD sistema podrazumeva integraciju CAD sistema sa sistemima nastalim na principima veštačke inteligencije a čija je uloga olakšavanje rada projektantu i preuzimanje određenog dela aktivnosti u projektovanju proizvoda među koje spada i deo odlučivanja u nekim fazama projektovanja.

Razvoj veštačke inteligencije, kao što je već napomenuto, značajno je uticao na tendencije i pravce u razvoju sistema za automatizovano projektovanje proizvoda. Sve su intenzivniji istraživački napor na povezivanju konvencionalnih CAD/CAM sistema sa odgovarajućim ekspertnim, odnosno razvoj „inteligentnih” CAD/CAM sistema, bez obzira što su ta dva pravca konvergentna pošto „inteligencija”, koju je neophodno obezbediti u oba slučaja, bazira na principima i metodama veštačke inteligencije.

Mogući pravci razvoja (slika 5.) „inteligentnih” CAD/CAM sistema ukazuju na razvoj [12]:

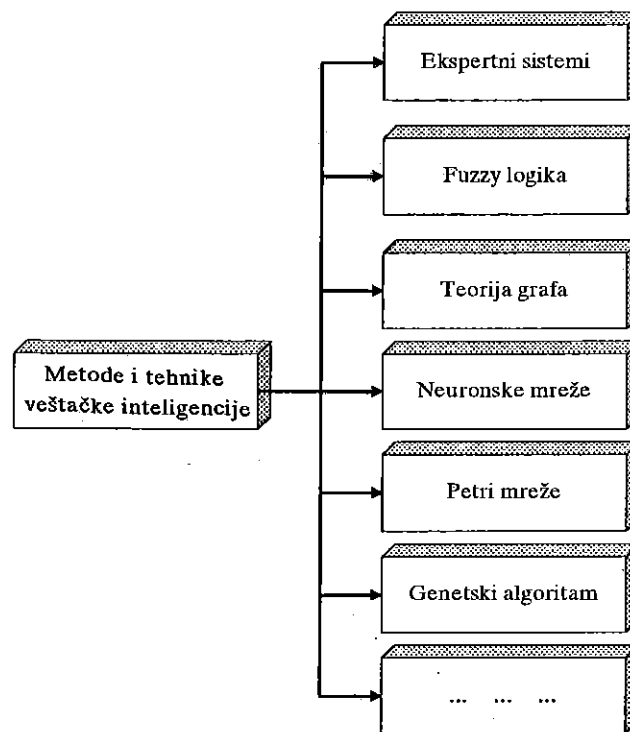
KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEMI		"INTELIGENTNI" POMOCNI SISTEMI	AUTONOMNI SISTEMI
DISKRETNi	KOOPERATIVNI		
OBEZBEDENJE EKSPERTNOG ZNANJA ZA SPEC. PRIMENE		PODRŠKA PROJEKTANTU U REŠAVANJU PROBLEMA	AUTONOMNO REŠAVANJE PROBLEMA SA PRETHOD. DEFINISANIM ZAHTEVIMA
PRIMERI PRIMENE:			ISTRAŽIVAČKI CILJEVI
<ul style="list-style-type: none"> - Razmena informacija - Analiza - Planiranje - Podrška kreativnosti - Generisanje alt. reš. - Konfiguracija 		<ul style="list-style-type: none"> - Simulacija, predviđanje - Integracija - Ocena, test - Dijagnost. grešaka - Komuniciranje - Veza sa soft. za numeriku 	<ul style="list-style-type: none"> - Teorija zahteva - Predstavljanje i primena znanja u projektovanju - Rešavanje problema uz pomoć teorije projekt. - Razvoj jezika za opis procesa projektovanja

slika 5. Pravci razvoja „inteligentnih” sistema [12]

- konsultativnih ekspertnih sistema - koji treba da obezbede ekspertno znanje za specifične namene
- „inteligentnih” - pomoćnih CAD/CAM sistema - koji treba da predstavljaju podršku projektantu u rešavanju određenih problema
- „inteligentnih” - autonomnih CAD/CAM sistema - za autonomno rešavanje problema sa prethodno definisanim zahtevima

Zbog toga je, kao prelazno rešenje, u razvoju I-CAD, razvijan koncept integracije ekspertnog i konvencionalnog CAD/CAM sistema. Po tom konceptu, ekspertni sistem treba da obezbedi one elemente procesa projektovanja koji ne mogu biti realizovani u konvencionalnom pristupu. To su specijalizovana znanja o konstrukcionim elementima, materijalima, određena projektantska iskustva i informacije o osnovnim ciljevima projektovanja. Sa druge strane, konvencionalni CAD/CAM prilaz obezbeđuje algoritam za 2D/3D modeliranje, generisanje odgovarajuće tehničke dokumentacije, programe za proračune, za generisanje upravljačkih informacija i dr. Integracioni faktor ovakvog povezivanja predstavlja neophodnost razmene informacije u oba pravca.

U teoriji veštačke inteligencije egzistira veliki broj metoda i tehnika koje se primenjuju u najrazličitijim naučnim oblastima (slika 6), od kojih neke imaju čisto teorijsku, a neke i veliku upotrebnost vrednost.



slika 6. Metode i tehnike veštačke inteligencije

Od velikog broja metoda i tehnika veštačke inteligencije koje se koriste za unapređenje mnogih tehničkih oblasti u sistemima koji se koriste za unapređenje procesa projektovanja proizvoda najviše se koriste:

- ekspertni sistemi
- neuronske mreže

1.1 Primena Ekspertnih sistema u I-CAD konceptu

Ekspertni sistemi su računarski programi u koje su ugrađena znanja iz određene oblasti u cilju rešavanja problema iz tih oblasti. Ovakvi sistemi se prezentuju već dvadesetak godina na naučnim skupovima na kojim se prikazuju naučni rezultati iz oblasti proizvodnog mašinstva i projektovanja proizvoda. Zadatak ovakvih sistema je da od projektanta preuzmu deo zaključivanja u segmentima projektovanja koji spadaju u rutinske inženjerske delatnosti. U I-CAD koncepciji se najčešće upotrebljavaju ekspertni sistemi koji vrše analize funkcionanosti i oblika tj. tehnološkičnosti obradka.

Već je napomenuto da je razvoj elemenata veštačke inteligencije i primena ekspertnih sistema u raznim domenima uslovio i razvoj ekspertnih CAD i CAM sistema. Za razliku od konvencionalnih ekspertni CAD i CAM sistemi podrazumevaju u svojoj strukturi, određeno znanje i odgovarajuće mehanizme zaključivanja [16]. Mehanizmi zaključivanja preuzimaju upravljanje procesom projektovanja, a logika i neophodni podaci predstavljaju znanje. Predloženi koncept [16], ekspertnog sistema CAD/CAM sistema podrazumeva vezu geometriskog modelera ne samo sa bazom podataka, nego i sa bazom znanja i mehanizmima zaključivanja, što predstavlja i ključnu tačku razvoja ovakvih sistema [16]. Buduća rešenja u ovoj oblasti, uslovljena sigurno i konceptom konkurentnog inženjerstva, moraju sa jedne strane da budu moćan inteligentni alat projektanta a sa druge strane okruženje za integraciju upravljanja bazama podataka i bazama znanja.

Koncept povezivanja ekspertnog CAD/CAM sistema, se može bazirati na premisi da se crtež dela ne može efektivno formirati bez intenzivnog korišćenja tehnoloških i standardnih informacija. Projektant u crtež dela unosi značajan deo svoga znanja o tome kako taj deo treba biti proizveden. Rezultat toga je da crtež dela predstavlja „banku” tehnoloških informacija. Međutim te informacije se nedovoljno efikasno koriste u procesu planiranja. Po pravilu projektovanje i planiranje rade različiti ljudi koji u nedovoljnoj meri razmenjuju neophodne informacije. Predloženi koncept obezbeđuje simultanu izradu crteža dela i planiranja procesa.

Povezivanje ekspertnih i CAD/CAM sistema predstavlja polaznu fazu u razvoju „inteligentnih” CAD/CAM sistema i daje jedan novi kvalitet sistemima za automatizovano projektovanje. Uvođenjem ekspertnosti, naročito u fazi koncipiranja koja predstavlja najsloženiju fazu procesa projektovanja i delom fazi konstruisanja proizvoda stvaraju se uslovi za brže, tačnije i kvalitetnije dobijanje željenih rezultata. Sa druge strane aktivnosti u fazi konstruktivne razrade detalja se efikasno realizuju primenom već razvijenih CAD/CAM sistema. Sve ovo ukazuje na opravdanost navedenog rešenja.

1.2 Primena Neuronskih mreža u I-CAD konceptu

Na osnovu saznanja o funkcionisanju ljudskog mozga su nastale veštačke neuronske mreže. Njihova najvažnija osobina je da na određeni način funkcionišu prema navedenim principima asocijativnog razmišljanja. Za razliku od klasičnih računara gde centralni procesor obavlja jednu po jednu instrukciju koja je predviđena programom, u neuronskim mrežama postoji više procesorskih jedinica iz kojih izlazni rezultati po principima paralelnog distributivnog procesiranja prelaze na druge jedinice. Procesorske jedinice koje sačinjavaju neuronske mreže su najčešće veoma jednostavne i mogu obavljati jednu ili nekoliko računskih operacija. Povezivanje ovih jedinica se vrši tako da ima mnogo više veza nego samih procesorskih jedinica. Snagu neuronske mreže predstavlja broj veza između procesorskih jedinica i on je analogan broju instrukcija koje u sekundi obavlja računar sa klasičnom arhitekturom. Formiranjem neuronskih mreža ostvaren je jedan od snova konstruktora računara. Veštačke

neuronske mreže se ne programiraju već se obučavaju - uče. Pre uvođenja u upotrebu potrebno je utrošiti određeno vreme na obučavanje neuronske mreže što se svodi na ažuriranje težinskih koeficijenata veza. Na primer, ako se neuronska mreža obučava da prepozna neki objekat potrebno je na ulaz dovesti nekoliko varijacija tog objekta i podešavati za taj, određeni, ulaz koeficijente veza tako da se na izlazu dobije određeni rezultat.

Teorija neuronskih mreža je našla svoje mesto i u I-CAD konceptu. Sistemi nastali na osnovu teorije neuronskih mreža se u CAD sistemima mogu koristiti za npr. prepoznavanje skeniranih crteža i njihovo prevodenje u oblik zapisa koji imaju crteži, prepoznavanje objekata kod skeniranja nekog mašinskog elementa u sve tri dimenzije i na osnovu toga dobijanja 3D modela i u sličnim delatnostima.

2. DOSADAŠNJI REZULTATI U PRIMENI I-CAD KONCEPCIJE

Do sada je u svetu razvijen veći broj sistema čija je uloga automatizacija procesa projektovanja proizvoda. Ti sistemi su u ranijem periodu uglavnom građeni kao nezavisni ekspertni sistemi čija je uloga da preuzmu deo aktivnosti u procesu projektovanja kojima je kao modul bio priključen segment za iscrtavanje rezultata. Takva koncepcija gradnje sistema veštačke inteligencije se u današnje vreme smatra zastarelom pa se ekspertni sistemi ili neki drugi sistemi veštačke inteligencije grade kao sistemi koji se mogu integrisati u neki od postojećih CAD sistema novije generacije i tako znatno poboljšati njegove karakteristike u određenim delatnostima.

U svetskim okvirima su veoma česti naučni radovi na temu primene ekspertnih sistema ili veštačkih neuronskih mreža u procesu projektovanja proizvoda. Dosadašnja istraživanja pokazuju da se ekspertni sistemi mogu uspešno primenjivati u projektovanju proizvoda koji imaju relativno standardnu proceduru projektovanja pri kojoj se od projektanta traži mali stepen kreativnosti a pri tome mu oduzima dosta vremena. Dosadašnja iskustva pokazuju da su ekspertni sistemi pogodni za automatizaciju projektovanja proizvoda tipa:

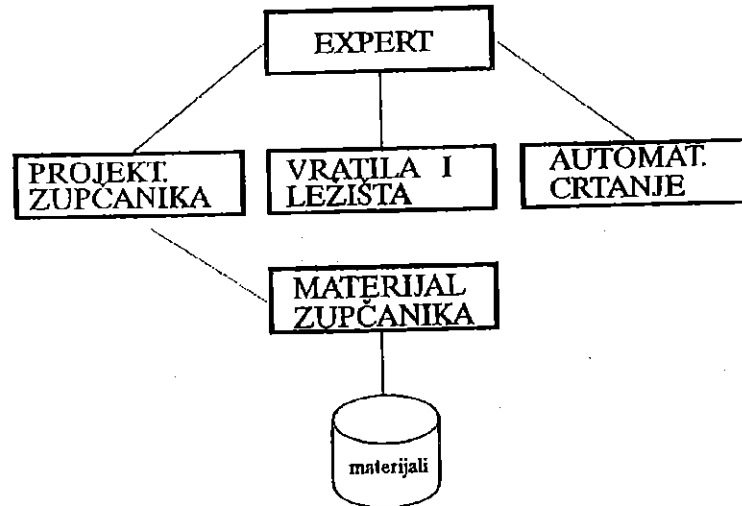
- sklopova zupčastih prenosnika
- hidrostatičkih ležajeva
- mašina alatki
-

odnosno, proizvoda kod kojih je moguće razviti odgovarajuću bazu sa mogućim koncepcionim rešenjima, koju su formirali odgovarajući eksperti. Postojanje pomenute baze, koja predstavlja „generator” informacija, omogućava efikasnu upotrebu ekspertnog sistema. Ekspertni sistem je u mogućnosti da, na osnovu ulaznih zahteva, definiše moguće varijante koncepcionog rešenja, a na osnovu odgovarajućih koncepcionih proračuna (koji bi se mogli nazvati i primarnom inženjerskom analizom) vrednuje moguće varijante i, za date polazne uslove, izabere najbolju.

Svaka klasa proizvoda, pa čak i proizvodi u okviru jedne klase, zahteva specifičan pristup i metodologiju projektovanja. Ova činjenica ukazuje da se razvoj savremenih CAD/CAM sistema ipak mora usmeriti/ograničiti na određenu klasu proizvoda.

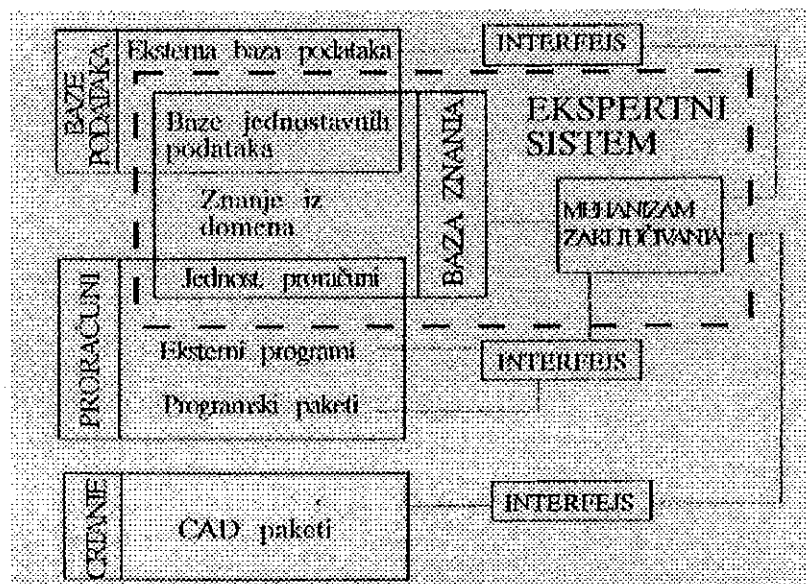
Sistem za automatizovano projektovanje zupčastih prenosnika (EGRD) [19], čiji je uprošćen model prikazan na slici 7., predstavlja tipičan primer novog trenda u razvoju CAD sistema.

Klasičan pristup projektovanju zupčastih prenosnika obogaćen je uvođenjem elemenata ekspertnih sistema u fazi projektovanja zupčanika. Na taj način se, u zavisnosti od polaznih podataka, na najefikasniji način bira potreban broj zupčastih parova i najpogodniji tip zupčanika. Razvijene baze ležajeva i materijala zupčanika, takođe, omogućavaju veoma efikasan izbor ovih, izuzetni značajnih, elemenata zupčastih prenosnika.



slika 7. Model sistema EGRD [19]

Sistem KBIS-PTS [13], čija struktura je prikazana na slici 8., omogućava automatizovano projektovanje zupčastih prenosnika kroz sve faze, počev od faze koncipiranja do faze razrade konstruktivne dokumentacije. U fazi koncipiranja sistem definiše moguća rešenja - koncepte prenosnika, uzimajući u obzir tipove zupčanika, broj stepeni, orijentaciju vratila i dr. Nakon toga sistem procenjuje moguće koncepte i izabira najbolji. Za odabrani koncept sistem definiše preliminarne dimenzije, izabira komponente prenosnike, proverava njihovu čvrstoću i povezuje ih u sklop.



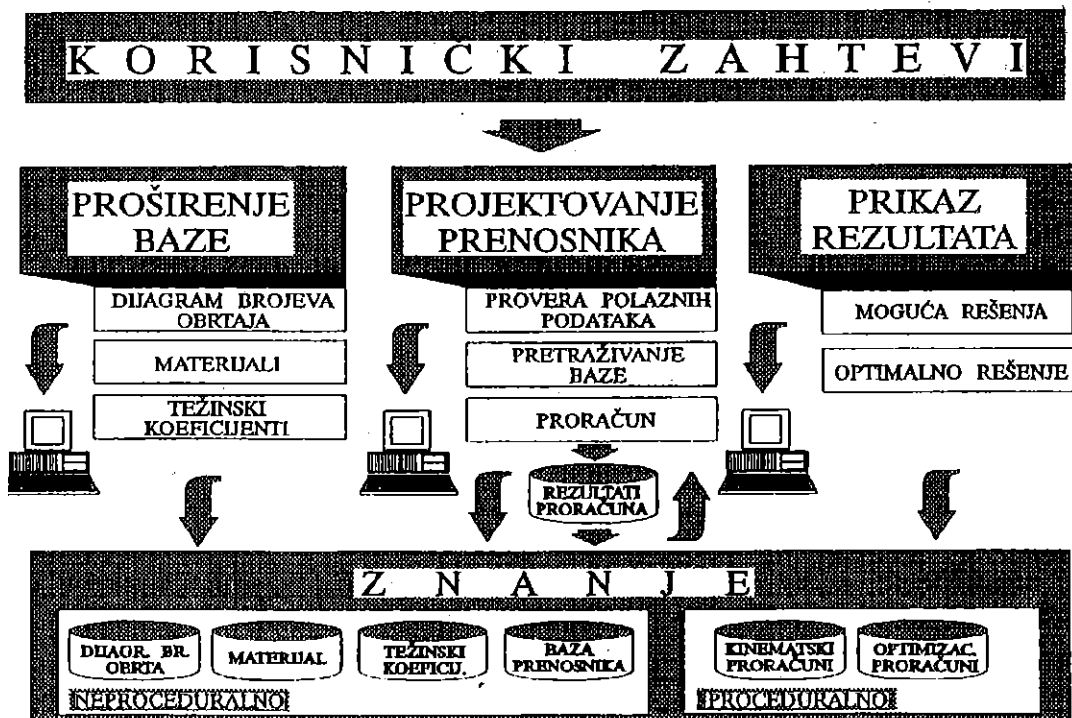
slika 8. Struktura sistema KBIS-PTS [13]

Sistem za automatizovano projektovanje prenosnika, ograničen na prenosnik za glavno

kretanje mašina alatki [9] bazira na tezi da dijagram brojeva obrtaja, koji definiše opštu strukturnu sliku prenosa kretanja od ulaznog do izlaznog vratila, praktično, predstavlja koncepciono rešenje prenosnika. Na osnovu ve činjenice baziraju i osnovne karakteristike sistema:

- faza koncipiranja realizovana primenom ekspertnih sistema
- faze konstruisanja i konstruktivne razrade realizovanje konvencionalnim CAD tehnologijama
- povezivanje ekspertnog i konvencionalnog dela izvedeno preko zajedničke baze podataka
- u ekspertnom delu sistema znanje je predstavljeno na proceduralni i deklarativni način
- kod proceduralnog znanja korišćeni elementi kinematskog proračuna zupčanika i vratila i višekriterijalne optimizacije
- kod deklarativnog znanja formirane su baze realnih rešenja dijagrama brojeva obrtaja, materijala i težinskih koeficijenata optimizacionih funkcija
- neophodna programska rešenja realizovana primenom objektno orijentisanog pristupa.

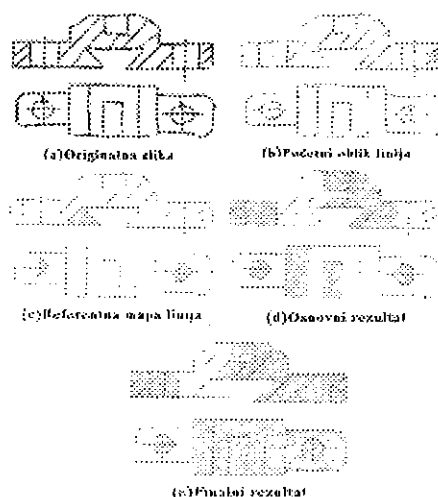
Na slici 9. prikazana je globalna struktura modula za koncepcijsko projektovanje prenosnika.



slika 9. Koncept modula za koncipiranje prenosnika [9]

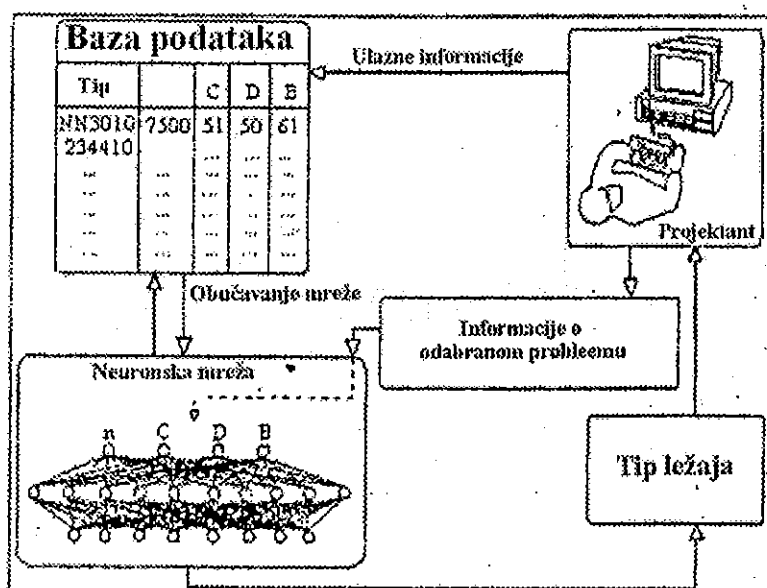
Pored značajne uloge ekspertnih sistema u projektovanju proizvoda se sve češće sreću sistemi bazirani na neuronskim mrežama koje su veoma pogodne za upotrebu u sistemima čiji je zadatak da prepoznaju i modifikuju pojedine oblike.

Pre nekoliko godina su se na tržištu pojavili sistemi na bazi veštačkih neuronskih mreža koji imaju ulogu u procesu prevođenja skeniranih crteža u oblik u kome se oni mogu iskoristiti u konvencionalnim CAD sistemima [5]. Tu je veoma važno uočiti gde se pojedine linije završavaju i izvršiti njihovu korekciju. Takav postupak je gotovo nemoguće podvesti pod klasični algoritam i pravi rezultati su dobijeni tek upotrebom veštačkih neuronskih mreža. Na slici 10. je prikazan postupak rada jednog takvog programa.



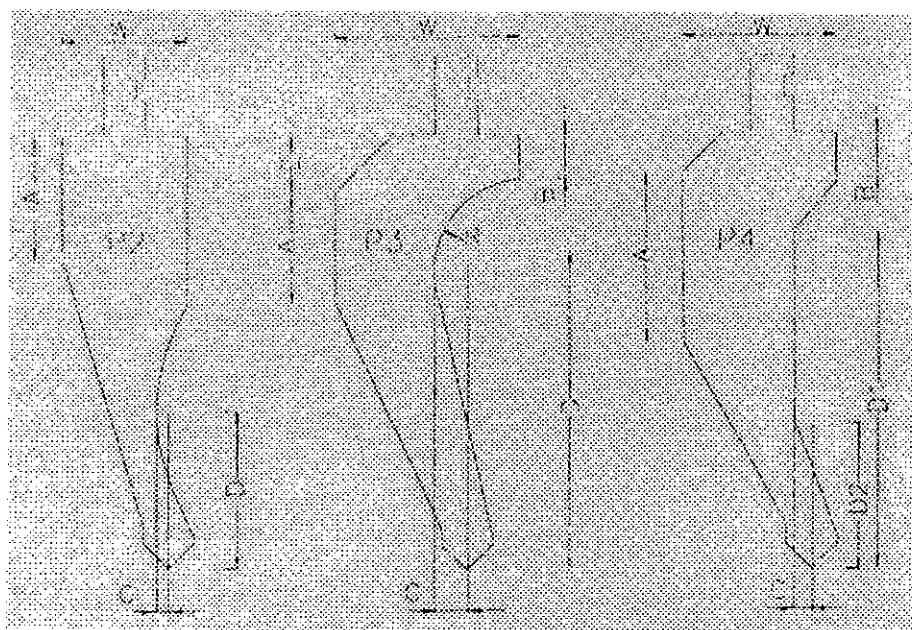
slika 10. Faze prepoznavanja skeniranog tehničkog crteža [5]

Neuronske mreže takođe imaju primenu u sistemima za izbor ležajeva u procesu projektovanja sklopova [24]. U takvim sistemima programski sistem zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama na osnovu informacija o problemu koje dobija od projektanta odabira odgovarajući ležaj iz baze podataka. Na slici 11. prikazan je postupak izbora ležišta za mašine alatke.



slika 11. Proces izbora ležišta za mašine alatke [24]

Slično kao u predhodnom slučaju veštačke neuronske mreže se mogu koristiti i za projektovanje kompletnih alata [29] korišćenjem programskih sistema koji omogućavaju da se na osnovu ulaznih parametara prvo odaberu moguće varijante alata, a zatim i definišu izlazni parametri alata. Takvi sistemi zu najčešće zasnovani na višenivovskim neuronskim mrežama. Na slici 12. dat je primer izlaznih rezultata za alate za savijanje limova.



slika 12. Primeri alata za savijanje limova projektovanih uz pomoć sistema na bazi veštačkih neuronskih mreža [24]

3. ZAVRŠNA RAZMATRANJA

Savremena kretanja na tržištima pokazuju da se od proizvođača zahteva da na tržište u što kraćem periodu plasiraju što je moguće jeftiniji i kvalitetniji proizvod. Takvi zahtevi tržišta su primorali proizvođače da primenom najsavremenijih projektantskih alatki značajno smanje period projektovanja proizvoda koji se pokazao kao najduži period u procesu nastanka proizvoda. Osim vremenskih ograničenja proizvođači su primorani i na višestruku optimizaciju proizvoda da bi postigli konkurentnu cenu proizvoda uz odgovarajući dizajn i kvalitet. U takvim uslovima je neminovan ubrzan razvoj CAD sistema. Kao što je već napomenuto budući pravac razvoja je integracija metode veštačke inteligencije, kao faktor ubrzanja procesa projektovanja i optimizacije proizvoda, u savremene CAD sisteme uz gradnju baza podataka za standardne delove. Veštačka inteligencija osim toga ima svoju ulogu u projektovanju pojedinih proizvoda (dat je primer sa hidrostatičkim uležištenjima) u vidu nezavisnih ekspertnih sistema koji pomažu inženjerima da nađu optimalne parametre pojedinih proizvoda.

Na osnovu naučnih radova koji se u velikom broju svake godine objavljuju u svetu na temu primene veštačke inteligencije u projektovanju i optimizaciji proizvoda može se zaključiti da je veštačka inteligencija nezaobilazna stepenica u budućem razvoju proizvodnog mašinstva i mašinstva uopšte.

4. LITERATURA

- [1] Milačić, B.: Teorija projektovanja tehnoloških sistema, Mašinski fakultet Beograd, 1980.
- [2] Teti, R., Kamara, S., R., T.: Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems, Vol. 46/2/1997, Annals of the CIRP
- [3] Jocković, M., Ognjanović, Z., Stankovski, S.: Veštačka inteligencija - inteligentne mašine i sistemi, Krug Beograd, 1997.
- [4] Ham, I.: Future Perspective of CIM - Proposal of I-CIM Concept, The Japan Society for Precision Engineering, Chiba, 1994.
- [5] Wang, Z., Tsumura, K., Saito, Y.: Recognition of Hand - written Mechanical Drawing by Multi-Level Neural Network (MLNN), The Japan Society for Precision Engineering, Chiba, 1994.
- [6] Yin Y. H., Zhu J. Y., Wei Z. X.: Intelligent Strategy of Force & Position Parallel Control for a Robot, CIRP, 1997.
- [7] Gatalo R.: Prilog razvoju integralnog sistema za automatsko projektovanje rotacionih obradaka i njihove tehnologije u metaloprerađivačkoj industriji - doktorska disertacija, IPM - FTN Novi Sad, 1978.
- [8] Yamazaki K., Hanaki Y., Mori M., Tezuka K.: Autonomously Proficient CNC Controller for High-Performance Machine Tools Based on an Open Architecture Concept, CIRP, 1997.
- [9] Navalušić S.: Sistem za automatizovano projektovanje i konstruisanje sklopova u okviru integralne koncepcije automatizovanog projektovanja proizvoda i njihove tehnologije izrade, Doktorska disertacija, FTN - Novi Sad, 1996.
- [10] Manić, M.: Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa pri rezanju u obradi rotacionih delova, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Niš, 1995.
- [11] Novaković D.: Automatizacija modularnog projektovanja numerički upravljanih fleksibilnih tehnoloških struktura na bazi mašina za obradu struganjem, Magistarski rad, FTN Novi Sad, 1994.
- [12] Spur, G.: Knowledge engineering in manufacturing, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol.9, No. 4/5, pp. 303-309, 1992.
- [13] Daizhong S., Jambunathan K.: A Prototype Knowledge-Based Integrated System for Power Transmission Design, Advancement of Intelligent Production, 7th ICPPE/4ICHT, edited by Eiji Usui, Elsevier Science B.V., pp. 45-50, 1994.
- [14] Fung, R.Y.K., Popplewell, K.: A Neural Network for Cost Estimation in Manufacturing, The Japan Society for Precision Engineering, Chiba 1994.
- [15] Warnecke G., Kluge R.: Control of Tolerances in Turning by Predictive Control with Neural Networks, The Second World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Budapest, 1997.
- [16] Navalušić S., Zeljković M., Gatalo R.: System for automated gearbox design based on principles of expert system building, The Japan Society for Precision Engineering, Chiba, 1994.
- [17] Navalušić, S., Gatalo, R., Milojević, Z.: New Trends in Product Design Based on the "Intelligent" CAD Systems, IX Workshop on Supervising and Diagnostics of Machinery Systems, Karpacs, Poland, 1998.
- [18] Bojanić, P.: Stanje i perspektive CAD sistema u estetskom projektovanju proizvoda, 26 JUPITER konferencija, Beograd 2000.
- [19] Boronkay T.G.: EGRD - expert gear reducer designer, 6th International conference on CAD/CAM, robotics and factories of the future, planetarni. 386-391, London, UK, 1991.
- [20] Arai, E., Iwata, K.: Development of integrated product model for CIM, Manufacturing systems, Vol. 16 (1987), No.3
- [21] Bojanić, P.: CAD/CAM sistemi - aktuelno stanje i pravci budućeg razvoja, 8.

- jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Beograd, 1995.
- [22] Heizel, U., Stehle, T.: Application of Fuzzy - Logic for the determination of the thermal behavior of Machine Tools, VII Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, Karpacz, Poland, 1996.
- [23] Revilla, J., Arana, R.: Thermal Deformations Compensation by Neural Network, VII Workshop on Supervising and Diagnostics of Machining Systems, Karpacz, Poland, 1996.
- [24] Rowe, W. B., Cheng, K., Ives, D.: An Intelligent Design System for Recessed Hydrostatic Journal Bearings, *Wear*, 159, 95-105.
- [25] Navalusić, S., Gatalo, R., Konjović, Z., Jovičić, V.: Projektovanje prenosnika mašina alatki bazirano na primeni ekspertnih sistema, 22. Jupiter konferencija, Beograd 1996.
- [26] Navalusić, S., Gatalo, R.: „Inteligentni” CAD sistemi u projektovanju proizvoda, 23. Jupiter konferencija, Beograd 1997.
- [27] Krsmanović, C., Bojanić, P., Glavonjić, M., Gatalo, R., Kalajdžić, M.: Dostignuća i tendencije u razvoju automatizovanog projektovanja proizvoda u mašinskom inženjerstvu i industriji, *Mašinstvo za XXI vek*, Novi Sad 1995.
- [28] Spasić, Ž., Hodolič, J., Pilipović, V., Stoilković, V., Arsovski, S.: Na putu ka inteligentnoj računarskoj integriranoj proizvodnji, *Mašinstvo za XXI vek*, Novi Sad 1995.
- [29] Kowal, Z., Winiarski, Z., Jędrzejewski, J.: Artificial Intelligence in Shaping of Thermal Properties of Machine Tools, VII Workshop on Thermal Behavior, Intelligent Diagnostic and Supervising of Machining Systems, Wrocław Technical University, 1996.
- [30] Franke, V., Backes, F., Geiger, M.: Automated Construction Methods for Press Brake Tools, 4th Int. Workshop on Learning in Intelligent Manufacturing Systems 437-461., Budapest 1996.
- [31] Dongbiao, Zh., Jianying, Zh.: A Fuzzy Variable-Structure-Adaptive Control Design for Robot Manipulators, *Annals of the CIRP* Vol. 44/1/1995, 363-368.
- [32] Soundar, R., T., Ching-Yao, K., Gallagher, G., M., Kasturi, R.: 3-D Interacting Manufacturing Feature Recognition, *Annals of the CIRP*, 44/1/1995, 133-136.
- [33] Brucker, M., Keller, D., Reissner, J.: CAD of Profiles from Round and Square Bars, *Annals of the CIRP*, 37, 1: 247-250

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PRODUCT DESIGN

Reviewed in this paper is application of artificial intelligence in product design. The importance of CAD systems in integral I-CIM concept is emphasized. Based on the adopted model for design process, the authors point out the design phases which are most convenient for application of the concept of artificial intelligence and expert systems. Finally, the importance of expert systems and neuronic networks in product design is stressed out using examples of their application in some experimental design systems.

OPTIMIZACIONI PROCESI U PROIZVODNIM TEHNOLOGIJAMA¹⁾

Prof. dr Vučko Mečanin dipl. inž.²⁾

REZIME:

Optimizacioni procesi obradnih procesa i obradnih sistema u proizvodnim tehnologijama imaju veoma veliki uticaj na njihovo odvijanje, stabilnost i ekonomiku. Oni omogućavaju izbor najboljih od mogućih rešenja u smislu: projektovanja, definisanja parametara, izbora oblika i veličine, pouzdanosti i slično i o tome se u radu govori.

1. UVODNE NAPOMENE

Razvoj obradnih sistema i obradnih procesa u proizvodnim tehnologijama obrade metala rezanjem i deformisanjem postavlja u novije vreme veoma velike zahteve u pogledu iznalaženja optimalnih rešenja pri projektovanju obradnih sistema i obradnih procesa.

Ovo posebno dolazi do izražaja razvojem i primenom obradnih sistema sa kompjuterskim upravljanjem obuhvatajući sve tipove i nivoe obradnih procesa.

S obzirom na to, da je cilj svakog proizvodnog procesa da obezbedi maksimalne tehničko-tehnološke i ekonomske efekte, to se čine veoma veliki naponi da se razviju i primene procedure pomoću kojih će se, uz primenu računara, na pouzdan način, doći do najboljih od mogućih rešenja.

Metode i procedure pomoću kojih se iz skupa mogućih, iznalaze optimalna rešenja obradnih sistema i obradnih procesa, nazivamo metodama i procedurama optimizacije. Optimizacioni procesi su grana nauke novijeg datuma, a puni zamah u razvoju i primeni vezan je za razvoj i primenu računara. Moglo bi se reći da nema ozbiljnijih pristupa optimizacionim procesima bez primene računara.

Optimizacioni procesi obuhvataju veoma širok spektar problema i može se reći, da ne postoji ni jedna oblast ljudske delatnosti, sistem ili proces koji se na neki način ne može optimirati. Kada su u pitanju optimizacioni procesi u proizvodnim tehnologijama proizvodnog mašinstva, o čijim se problemima optimiranja u radu govori. Optimizacija se može primeniti na:

- probleme projektovanja,
- planiranja,

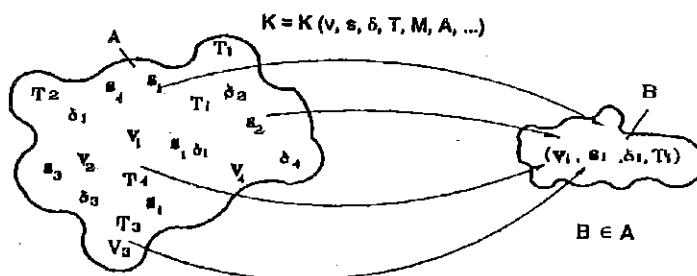
¹⁾Rad je deo naučnoistraživačkog projekta Istraživanje i razvoj proizvoda i tehnologija teške mašinogradnje S.5.33.71.0059 čije je finansiranje obezbedilo Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

²⁾ Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo

- upravljanja,
- transporta i
- poslovanja

U području projektovanja obradnih sistema, mašina i komponenata, optimizacija omogućava izbor najboljih rešenja u smislu funkcionalnih karakteristika, dimenzija, izgleda, komponovanja, troškova i održavanja.

Ako se posmatra, naprimer, obradni sistem kao objekt optimizacije [1], [2],..., optimizacionim procedurama dobiće se najpovoljnije rešenje u smislu proizvodnosti, fleksibilnosti, širine spektra obradaka, pouzdanosti, troškova i slično.



Slika 1.1. Princip iznalaženja optimalnih iz skupa mogućih rešenja

Optimizacijom obradnih procesa dobijaju se optimalni parametri obradnih procesa koji omogućavaju njihovo odvijanje u prostoru maksimalnih ekonomskih i tehničkih efekata. Zatim, omogućen je izbor najpovoljnije varijante tehnološkog i proizvodnog procesa, kvaliteta proizvoda i pouzdanosti odvijanja procesa.

U području planiranja dolazi se do optimalnih rešenja u smislu planiranja proizvodnje, zaliha, tokova materijala i alata, rasporeda obradnih sistema (mašina) u proizvodnim procesima i slično.

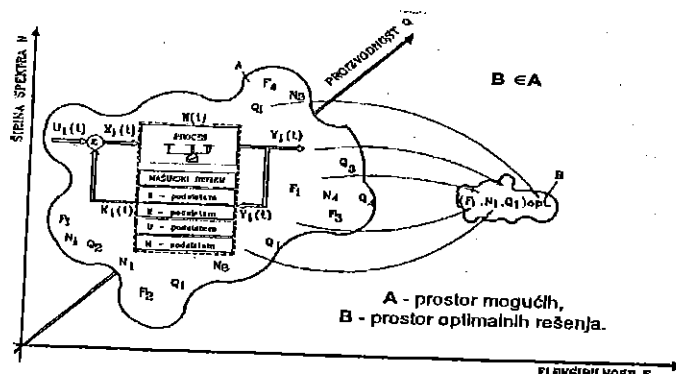
U području upravljanja, optimiraju se tokovi informacija u obradnim i proizvodnim procesima i obradnim sistemima na svim nivoima. Konkretnije, u obradnim procesima optimiziraju se tehnološke informacije i interakcije unutar obradnih procesa, a u obradnim sistemima optimiraju se elementi, lokacija i interakcije unutar obradnog sistema.

Locirajući probleme optimizacije na obradne procese proizvodnog mašinstva i proizvodnih tehnologija, potrebno je istaći, da se kao preduslov bilo kakvoj optimizaciji postavlja poznavanje zakonitosti obradnih procesa i obradnih sistema. To proizilazi otuda, što se pri optimizaciji javljaju i određena ograničenja od strane obradnog sistema, alata i predmeta koji se obrađuje.

Osim toga, za optimizacione procese potrebno je poznavanje niz naučnih disciplina kao što su:

- teorija matematičkog modeliranja,
- metode optimizacije,
- teorija upravljanja,
- teorija i tehnika računara,

• teorija i tehnika programiranja i slično.
Tek ako se vlada navedenim disciplinama i ako se poseduje odgovarajuća računarska oprema, može se ozbiljnije govoriti o optimizacionim procesima.



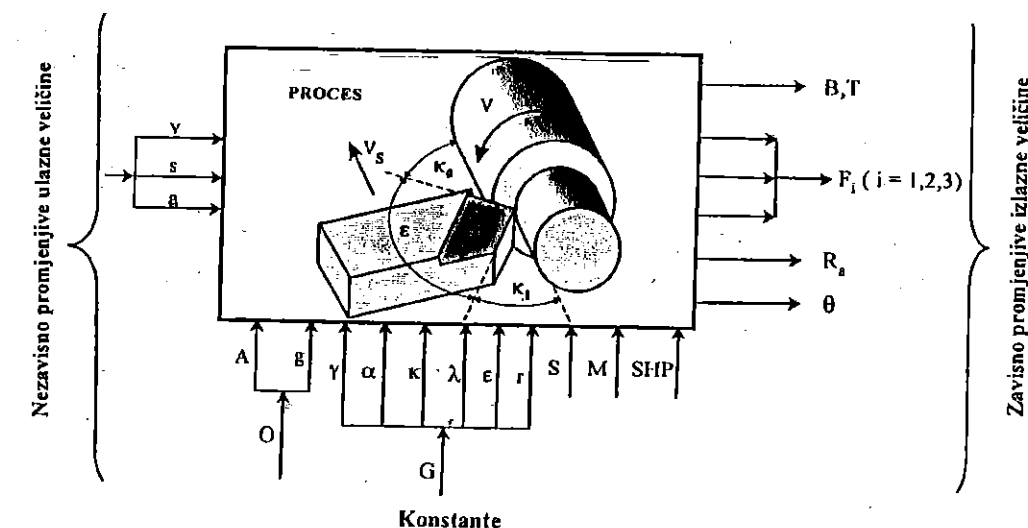
Slika 1.2. Iznalaženje optimalnog obradnog sistema

2. MODELI OPTIMIZACIJE

Optimizacioni modeli su matematički izrazi preko kojih se opisuju pojave unutar obradnih procesa ili obradnih sistema i njihove interakcije. Oblici i struktura izgradnja optimizacionih modela definisanih kroz funkcije cilja i funkcije ograničenja, različiti su i zavise od objekata optimizacije. Mogu biti u obliku algebarskih jednačina, običnih diferencijalnih i parcijalnih diferencijalnih jednačina i slično.

Optimizacioni modeli kao proizvod matematičkog modeliranja imaju presudan uticaj na rezultate optimizacije, pouzdanosti odvijanja obradnih procesa, pojava u obradnim sistemima, ili generalno sistemima. Zato se njihovoj strukturalnoj izgradnji poklanja izuzetna pažnja i podležu proveri adekvatnosti.

Sobzirom da je matematičko modeliranje u suštini definisanje funkcionalnih zavisnosti između ulaznih i izlaznih parametara procesa ili sistema, to je potrebna njihova identifikacija. Princip identifikacije [2,3,4.], prikazan je na slici 3.1.



Slika 2.1. Identifikacija parametara procesa pri obradi struganjem

Odnos između ulaznih i izlaznih veličina obradnog procesa, može se prikazati u obliku funkcionalnih zavisnosti:

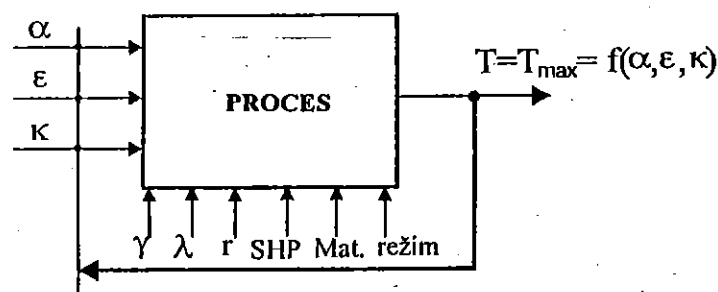
$$\begin{aligned}
 F_i &= f_i(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, k) \\
 B &= f(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \\
 T &= f(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \\
 R_a &= f(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \\
 \Theta &= f(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \\
 O &= f(v, s, a, A, \alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r)
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

gde su:

- A- presek strugotine ($A = a \cdot s$);
- g - vitkost strugotine ($g = a / s$);
- v - brzina rezanja;
- s - pomak;
- a - dubina rezanja;
- G- geometrija reznih elemenata alata ($\alpha, \gamma, \kappa, \lambda, \epsilon, r$);
- M- materijal obratka;
- SHP- sredstvo za hlađenje i podmazivanje;
- F_i- komponente sile rezanja;
- B- veličina habanja alata;
- T- postojanost alata;
- R_a- hrapavost obrađene površine;
- Θ- temperatura procesa rezanja.

Pri formiranju modela obradnih i optimizacionih procesa potrebno je voditi računa o broju elemenata, odnosno o broju uticajnih faktora. Prevelik broj gradi složene matematičke modele što izaziva teškoće u računskom i optimizacionom procesu. U svakom slučaju modeli moraju obuhvatiti najuticajnije faktore bez obzira na njihovu složenost.

Kada se govori o matematičkim modelima, treba reći, da oni mogu biti deterministički i stohastički. Deterministički mogu biti stacionarni i nestacionarni, dok stacionarni mogu biti linearni i nelinearni.



obrada struganjem:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot s^y \cdot \delta^x} \rightarrow T = \left(\frac{C_v}{v \cdot s^y \cdot \delta^x} \right)^{1/m}$$

obrada bušenjem:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{x_0}}{T^m \cdot s^{y_0}} \rightarrow T = \left(\frac{C_v \cdot D^{x_0}}{v \cdot s^{y_0}} \right)^{1/m} \tag{2.2}$$

$$T = C_v \cdot v \cdot s^y \cdot \delta^x \cdot a^D \cdot VB^H \text{ (min.)}$$

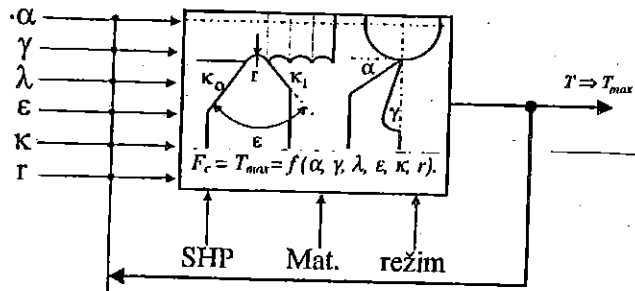
$$\tag{2.3}$$

$$T_e = \frac{1-m}{m} \left(t_s + \frac{K_A}{KMR} \right) \text{ (min.)}; \quad T = \frac{1-m}{m} \cdot t_s \text{ (min.)} \quad (2.4)$$

glodanje:

razvrtnje:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s_1^y \cdot \delta_1^x \cdot z^u \cdot B^r} \rightarrow T = \left(\frac{C_v \cdot D^q}{v \cdot s_1^y \cdot \delta_1^x \cdot z^u \cdot B^r} \right)^{1/m}; \quad v = \frac{C_v}{T^m \cdot s^y \cdot t^u} \rightarrow T = \left(\frac{C_v}{v \cdot s^y \cdot t^u} \right)^{1/m} \quad (2.5)$$



Slika 2.2 Identifikacija parametara i modeli postojanosti alata

Ne ulazeći dublje u razmatranja problematike matematičkog modeliranja treba naglasiti da modeli mogu biti izgrađeni na bazi poznatih zakonitosti koje postoje između ulaznih i izlaznih parametara procesa ili sistema, i na bazi eksperimentalnih istraživanja.

Locirajući probleme modeliranja na područje proizvodnih tehnologija, konkretnije, na procese obrade rezanjem, prikazaćemo značajnije optimizacione modele [1,2,3,4,5,6,...].

Modeli postojanosti alata u obliku (2.2) do (2.5) važe za obradu sa jednim alatom. Za simultane obrade sa više alata oni imaju drugi oblik, te se čitalac upućuje na [1] i [6]. Za iznalaženje optimalne postojanosti na CNC mašinama uz pomoć računara, u [1] i [2] prikazan je model i program računskog i optimizacionog postupka.

Optimizaciju obradnih procesa u jednom kompleksnijem pristupu [1,2,3,...], moguće je izvršiti prema modelu:

$$K = KMO \cdot \left[\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (t_{ij} + t_{pij}) + \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{t_{zij}}{T_{ij}} \left(t_{zij} + \frac{K_{Aij} + K_{PAij} + K_{PJ}}{KMO} \right) \right] + \frac{K_{PN} + K_{PR} + K_S}{NS} \quad (2.6)$$

u kome su:

- KMO- troškovi mašine i operatora u din./min.;
- t_{ij} - vreme rezanja i-tog alata j-tog postupka obrade u min.;
- t_{pij} - pomoćno vreme i-tog alata j-tog postupka obrade u min.;
- T_{ij} - postojanost i-tog alata j-tog postupka u min.;
- t_{zij} - vreme zamene pohabanog alata u min.;
- K_{Aij} - troškovi alata po periodu postojanosti din./per.post.;
- K_{PA} - troškovi pripreme alata u din./p.postojanosti;
- K_P - troškovi podešavanja alata u din./p.postojanosti;
- K_{PM} - troškovi pripreme mašine u din.;
- K_{PR} - troškovi programiranja obrade u din.;
- K_S - troškovi simulacije obradnog procesa u din.;
- NS - broj obrađivanih komada (veličina serije) u kom.

Za optimizacioni proces, potrebno je model (2.6) transformisati na modele postupaka obrade uvođenjem analitičkih izraza elementarnih procesa. U tom slučaju, za proces obrade struganjem naprimer, biće:

$$F_c = K = KMO \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{D_i L_i a_i n_i}{1000 v_i s_i \delta_i} + t_{pi} \right) + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_i L_i a_i}{C_{vi}^{1/m}} \left(t_{zi} + \frac{K_{Ai} + K_{PAi} + K_{PI}}{KMO} \right) \right] \cdot v_i^{1-m} \cdot s_i^{m-1} \cdot \delta_i^{m-1} \quad (2.7)$$

uz ograničenja:

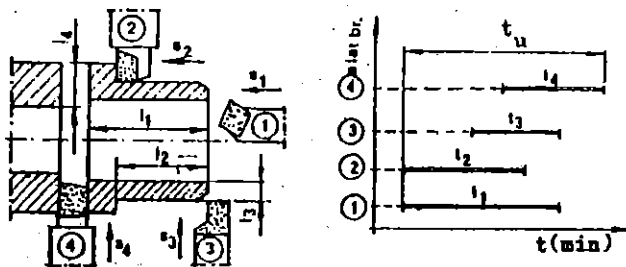
1. $v_i \cdot s_i^{y_i} \cdot \delta_i^{x_i} \leq C_r / T_c^m$ - ograničenje po reznim mogućnostima alata;
2. $v_i \cdot s_i^{y_{PI}} \cdot \delta_i^{x_{PI}} \leq 6120 \cdot p \cdot \eta / C_{PI}$ - ograničenje po snazi glavnog kretanja;
3. $s_i^{y_{P3}} \cdot \delta_i^{x_{P3}} \leq 6120 \cdot p_s \cdot \eta_s / (C_{P3} \cdot K_{P3} \cdot v_s)$ - ograničenje po snazi pom. kretanja;
4. $s_i^{y_{PI}} \cdot \delta_i^{x_{PI}} \leq F_a \cdot E_a \cdot B_a \cdot H^3 / (C_{PI} \cdot K_{PI} \cdot 40 L_i^3)$ - ograničenje krutosti alata;
5. $s_i^{y_{PI}} \cdot \delta_i^{x_{PI}} \leq K_p \cdot F_p \cdot E_p \cdot D_p / (C_{PI} \cdot K_{PI} \cdot L_p^3)$ - ograničenje po krutosti predmeta;
6. $s_i \leq (8H \cdot r)^{1/2}$ - max. pomak u odnosu na kvalitet obrade;
7. $s_i \geq s_{min}$ - min. pomak;
8. $v_i \leq D_i \cdot n_{min} / 318$ - min. brzina rezanja;
9. $v_i \geq D_i \cdot n_{max} / 318$ - max. brzina rezanja;
10. $\delta_i \geq \delta_{i min}$ - min. dubina rezanja;
11. $\delta_i \leq a_i$ - max. dubina rezanja.

Za optimizaciju obradnih procesa u simultanim obradama sa više alata, kao što je obrada na automatskim strugovima (automatima), specijalnim i agregatnim mašinama i automatskim proizvodnim linijama [1,6] definisan je optimizacioni model u obliku:

$$F_c = K = KMO \left[t_u + \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{T_i} \left(t_{si} + \frac{K_{Ai}}{KMO} \right) \right] \rightarrow \min. \quad (2.8)$$

$$v = C_y \cdot T^m \cdot s^F \cdot a^D \cdot VB^H \quad (\text{m/min.})$$

$$T_{xopt.} = \frac{B_x \cdot s_x}{L_x} \left(-1 - \frac{1}{G} \right) \sum_{i=1}^m \frac{L_i}{s_i} \left(\frac{s_i^F \cdot a_i^D \cdot VB^H}{s_x^F \cdot a_x^D \cdot VB_x^H} \right)^{1/G} \cdot \varphi \cdot (1+G) \cdot \left(t_{si} + \frac{K_{Ai}}{KMO} \right) \quad (2.9)$$



Slika 2.3. Princip i vremena simultane obrade sa više alata

Pri obradi na automatskim proizvodnim linijama, model obradnih i optimizacionih procesa prema [6,7,...] ima oblik:

$$F_c = K = KLR \left[(t_{lim} + \sum_{i=1}^n t_{pi}) + \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{t_{ij}}{T_{ij}} \left(t_{zij} + \frac{K_{Aij}}{KLR} \right) \right] \rightarrow \min \quad (\text{din/kom}) \quad (2.10)$$

u kome su:

KLR - troškovi linije i poslužioaca u din/min.;
 t_{lim} - vreme obrade na limitirajućoj operaciji u min.
 (operacija sa najdužim vremenom trajanja);
 t_{pi} - vremena pomoćnih zahvata u min.;
 t_{ij} - vreme obrade i-tog alata j-tog postupka u min.;
 T_{ij} - postojanost i-tog alata j-tog postupka u min.;
 t_{zj} - vreme zamene pohabanih alata u min.;
 K_{Aij} - troškovi alata i pripreme alata u din/per.post.;
 j - broj postupaka obrade;
 i - broj alata u obradi.

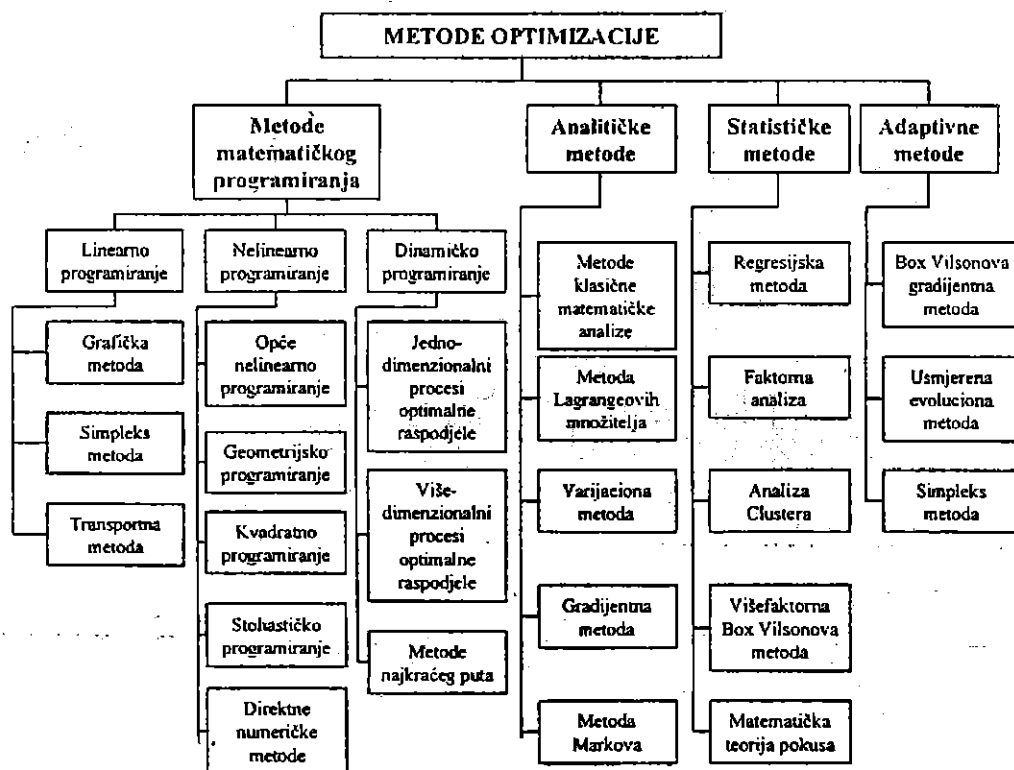
Transformacija modela optimizacije (F_C) i funkcija ograničenja (g_i) se radi prostora izostavljaju, sa naglaskom, da je postupak sličan transformaciji u (2.7).

Primer kompleksne optimizacije prema modelu (2.7) dat je u [1] i [2], te se čitalac upućuje na te izvore. To isto se odnosi i na metode optimizacije i primenu računara i slično.

3. METODE OPTIMIZACIJE

Za optimizaciju obradnih procesa stoji na raspolaganju čitav niz metoda i postupaka, sa razvijenim algoritmima i kompjuterskim programskim paketima. Korisnicima ostaje, da prouče objekt optimizacije, valjano definišu funkciju cilja i funkcije ograničenja, nabave računarski sistem i softver, i time su stvoreni uslovi za optimizacione procese.

Metode optimizacije opisane su detaljno u [2,4,6,..]. Na slici 3.1., data je prema [6] njihova klasifikacija. Na slici 3.2. prema [1,2], prikazane su nelinearne metode aplikativne na području obradnih procesa.



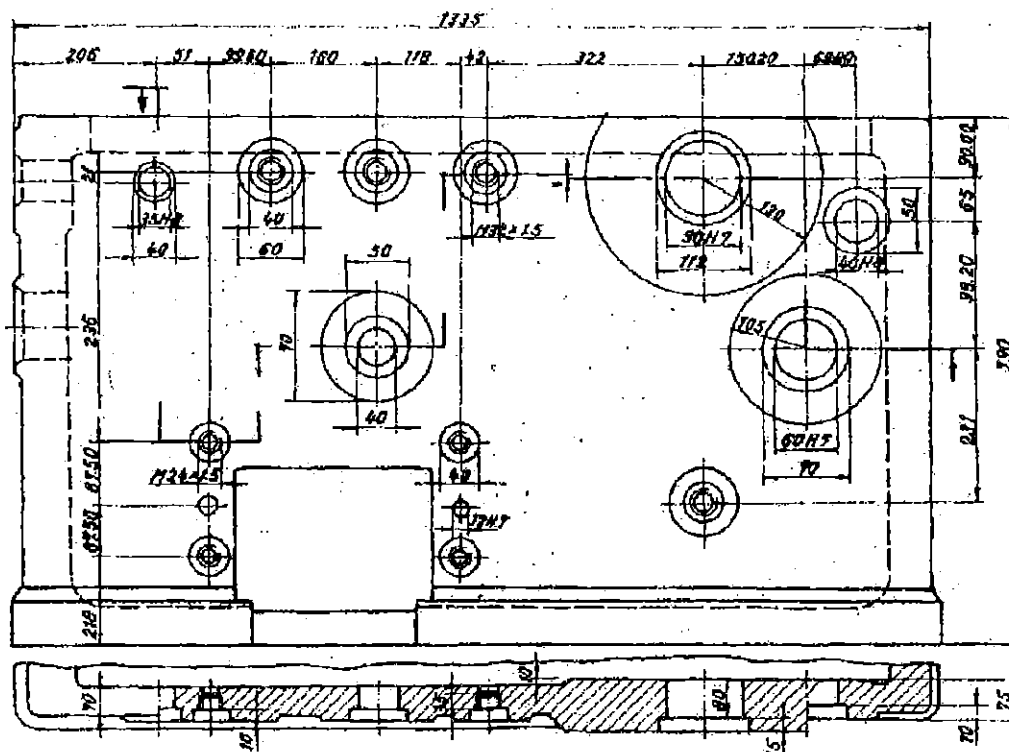
Slika 3.1. Klasifikacija optimizacionih metoda

Karakteristike metoda	METODE LINEARNIH APROKSIMACIJA						METODE TRANSF. FUNKCIJA (Metode kaznenih funkcija)			Metode direk. pretraživanja
	NLP	Rose-na (Proj. grad.)	Poopš teni gradij. metod	David-Fletch. Powella	Dopustivih prav.	Usmer. gradij.	Metod Rosenbrocka	Devlsona	Komb. metod	
Oblici funkcija cilja F(x)	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL
Ogranič. u vidu jedn.	LINL	L	L	L	Ne	LINL	Ne	Ne	L	LINL
Ogranič. u vidu nejedn.	LINL	L	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL	LINL
Početna tačka pri optimizaciji	DIN	D	DIN	D	DIN	DIN	Unutr.	Unutr.	Unutr.	DIN
Optimiranje nekonveksnih funkcija	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Brzina konvergencije	Niska	Visoka	Niska	Srednja	Visoka	Visoka	Srednja	Visoka	Visoka	Srednja
Postoje li međurešenja	+ -	+	+ -	+	+	+	+ -	+	+	+ -
Primena u obradnim procesima	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Slika 3.2. Metode NLP prikladne za optimizaciju obradnih procesa i obradnih sistema

4. PRIMER OPTIMIZACIJE

Kao ilustracija optimizacionih procesa, daje se primer kompleksne optimizacije prema metodologiji razvijenoj u [1,2]. Prikazana je optimizacija obrade složenih struktura na obradnim centrima.



Slika 4.1. Izgled složene strukture za koju je izvršena optimizacija parametara i procesa obrade.

OPTIMALNE VREDNOSTI PARAMETARA OBRADJE IZ PRIMERA PO SVIM POSTUPCIMA OBRADJE I SVIM ALATIMA U OBRADI

STRUGANJE

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
K3	17.92	17.92	7.58	7.92	7.58	11.92	22.58	26.92
K4	5.05	5.05	5.25	5.25	5.25	5.09	5.17	5.09
K5	6.06	6.06	72.76	6.06	6.06	72.76	24.25	72.76
T.	29.02	29.02	85.59	19.22	18.89	89.77	52.00	104.77
PP	80.60	80.60	99.09	77.40	77.29	100.45	88.11	105.35
V	128.72	141.35	119.26	121.92	60.00	118.01	59.90	121.48
S	0.22	0.22	0.28	0.28	0.19	0.28	0.19	0.24
DL	5.50	3.00	5.00	6.00	0.10	4.50	0.50	6.99
Q1	0.52	0.20	0.00	0.00	92.43	2.71	81.15	0.00
Q2	1304.92	1386.74	1299.83	1252.60	1514.80	1322.75	1507.84	1319.96
Q3	313.03	314.36	313.01	313.42	315.93	313.30	315.72	313.18
Q4	66.83	67.56	201.08	198.45	102.69	101.97	102.57	27.26
Q5	1.65	0.92	1.83	3.17	0.03	1.64	0.15	1.63
Q6	0.20	0.20	0.27	0.27	0.17	0.27	0.17	0.23
Q7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q8	126.21	139.16	113.67	114.88	54.34	113.81	56.13	119.33
Q9	374.42	297.64	1000.23	1286.88	1072.08	762.49	694.81	507.45
Q10	5.48	2.98	4.98	5.98	0.08	4.48	0.48	4.97
Q11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
TU	12.23	5.55	13.61	4.51	27.27	9.35	15.67	16.11

BUŠENJE

	A1	A2	A3
K3	21.35	12.10	4.40
K4	10.21	10.21	10.21
K5	3.67	3.67	3.67
T.	35.23	25.98	18.28
PP	208.37	201.22	194.86
V	22.24	21.03	24.67
S	1.00	1.00	0.36
Q1	0.04	0.00	1.48
Q2	41217.23	51047.22	79965.24
Q3	7.45	9.44	15.75
Q4	1.26	0.43	0.00
Q5	20.33	19.62	23.92
Q6	360.15	260.73	123.76
Q7	0.99	0.99	0.35
Q8	0.00	0.00	0.64
TU	17.60	8.50	6.07

GLODANJE

	A1
K3	7.21
K4	12.61
K5	50.13
T.	69.95
PP	66.87
V	95.93
S	0.25
DL	5.00
Q1	0.02
Q2	770.97
Q3	3.88
Q4	0.22
Q5	0.00
Q6	76.12
Q7	3866.34
Q8	4.90
Q9	0.00
TU	445.42

RAZVRTANJE

	A1	A2	A3
K3	136.54	610.54	760.54
K4	2.52	2.52	2.52
K5	34.77	4.04	4.04
T.	173.83	617.10	767.10
PP	74.62	159.12	187.71
V	22.31	22.03	21.52
S	2.00	2.00	2.00
DL	0.10	0.10	0.10
Q1	0.00	0.0	0.00
Q2	1.97	1.97	1.97
Q3	0.00	0.00	0.00
Q4	21.56	19.83	19.01
Q5	0.00	0.00	0.00
Q6	0.00	0.00	0.00
Q7	128.63	418.22	481.82
TU	3.56	8.39	10.38

REZANJE NAVOJA

	A1	A2
K3	40.19	59.19
K4	12.61	12.61
K5	4.04	4.04
T.	56.84	75.84
PP	9.61	10.27
V	78.95	103.38
Q1	0.00	0.00
Q2	784.35	702.33
Q3	77.44	101.37
Q4	222.94	299.13
TU	4.46	3.99

**UKUPNI TROŠKOVI OBRADJE
SLOŽENE STRUKTURE
612,66 din.**

5. ZAKLJUČAK

Optimizacioni procesi u proizvodnim tehnologijama imaju veoma značajno mesto, jer obezbeđuju odvijanje obradnih procesa u prostoru optimalnih tehnološko - ekonomskih efekata.

Ovo posebno dolazi do izražaja razvojem i primenom obradnih sistema sa visokim ili potpunim stepenom automatizacije kao što su sistemi sa kompjuterskim upravljanjem koji pri projektovanju obradnih procesa ne trpe inprovizovana rešenja. Osim toga, to su veoma skupi sistemi čije optimalno iskorišćenje zahteva i optimalne pristupe pri eksploataciji, a to, bez sumnje obezbeđuju optimizacioni procesi pri projektovanju proizvoda i tehnologija.

5. LITERATURA

- [1] Mečanin V., Optimizacija parametara obrade na numerički upravljanim mašinama sa osvrtom na obradne centre, Disertacija, Mašinski fakultet Mostar, 1981.
- [2] Mečanin V., Optimizacija obradnih procesa u mašinogradnji, Mašinski fakultet Kraljevo, 1996.
- [3] Stanić J. Uvod u teoriju tehnoekonomske optimizacije, Mašinski fakultet Beograd, 1988.
- [4] Jurković M., Matematičko modeliranje inženjerskih procesa i sistema, Mašinski fakultet Bihać, 1999.
- [5] Mečanin V., Ispitivanje obradivosti čelika u proizvodnim uslovima, Tehnika - Mašinstvo 11/78, Beograd 1978.
- [6] Paviani D.A., A New Method for the Solution of the Nonlinear programming Problem, The University of Texas, Austin 1969.
Himmelblau D.M., Applied Nonlinear Programming Mc Graw. Hil Book, New York 1972.

ABSTRACT

Optimization processes of manufacturing processes and manufacturing systems in production technologies have a very big influence on their realization, stability and economy. They enable selection of the best solutions out of the possible ones in the sense of design, definition of parameters, selection of shapes and size, reliability, etc., which is the subject of this paper.

AUTOMATSKO UPRAVLJANJE MEHANIZAMA I MAŠINA SA TRENJEM¹⁾

Prof. dr Novak N. Nedić, dipl. inž. maš.²⁾

REZIME

U radu se daje pregled rezultata postignutih u rešavanju problema analize i projektovanja servomehanizama i servomašina sa trenjem, kao i problema koje treba rešavati u budućnosti. Ovaj pregled je baziran na pregledu rezultata postignutih u fundamentalnom rešavanju fenomena trenja.

1. UVOD

Trenje je prisutno u svim mehanizmima i mašinama gde postoji relativno kretanje delova. Mada fenomen trenja ima i pozitivnu stranu (primer kočnica i dr.), u sistemima automatskog upravljanja trenje se uglavnom pojavljuje kao problem. Postoji ogroman broj (više hiljada) referenci, koje datiraju od XVII veka do danas, koje razmatraju fenomene trenja iz različitih uglova (mehanike, akustike, fizike, inženjerstva, podmazivanja, tribologije, upravljanja i dr.) i njegova aktuelnost se ni danas ne smanjuje sa svih ovih aspekata [1-9]. Naime, problem razmatranja trenja, kao jednog od najznačajnijih problema (tako prost, a tako složen problem) u nauci i tehnologiji, se prožima kroz probleme njegovog razumevanja, opisivanja, odnosa trenja i kontakta, modeliranja, numeričke simulacije, umanjenja, kompenzacije, upravljanja, merenja i dr. Sve ovo čini da problem trenja u servomehanizmima i servomašinama (mašine alatke, roboti i dr.) zadire u sve ove probleme, tj. nemoguće je probleme upravljanja u ovim komponentama i sistemima razmotriti izolovano. Otuda se u ovom radu, prvo iznosi problem fenomena trenja, njegovog matematičkog modeliranja i simulacije, a onda problem analize i projektovanja upravljanja servomehanizama i servomašina sa trenjem. S tim što se mora ukazati na nemogućnost sveobuhvatnosti svih navedenih problema u jednom ovakvom radu i od strane jednog autora, ali u radu će ipak biti data sinteza većine problema koji su od interesa šireg kruga istraživača i industrije.

2. FENOMEN TRENJA, MODELIRANJE I SIMULACIJA

Ne postoji jedinstvena definicija trenja u literaturi.

Kulon je prepoznao da postoji otpor trenja kada se dešava "hrapav" kontakt [3]. Amontons i Kulon su otkrili da postoji proporcionalna veza između sile trenja i normalnog opterećenja, nezavisno od kontaktne površine i brzine klizanja. Postoji takođe prilaz u definisanju trenja kao svojstva materijala u klizećem paru. Međutim, danas je očigledno, da problem nije tako prost, niti za suvo trenje posebno niti za trenje generalno. Otkriveno je i otkriva se da postoji

¹⁾ Rad je delimično finansiran od MNTS kroz projekat 11E08PT1

²⁾ Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, 36 000 Kraljevo

mного faktora koji utiču na određivanje sile trenja, među kojima su: oblik i struktura površine kontakta, oblik deformisanja kontakta (elastičan ili plastičan), "trošenje" materijala u kontaktu, atmosferski uslovi, vlažnost, stanje filma u podmazivanju, postojanje zazora, temperatura i dr. Ovim problemom se bave tribolozi i mehaničari. Tribolozi se bave više sa mikro i makro aspekta kontakta i "okoline" kontakta, a mehaničari sa aspekta mehaničkog kontakta i trenja, kao i otkrivanjem veze trenja sa vibracijama, bukom i "haosom". Postoji više teorijskih i eksperimentalnih rezultata koji su međusobno kontradiktorni. Čak ni Kulonovom zakonu trenja se ne podvrgavaju slučajevi tačkastog i linijskog kontakta. Međutim, definicija trenja kao sile koja se suprostavlja relativnom kretanju između dve kontaktne površine je široko prisutna, i prihvatljiva sa aspekta ovog rada.

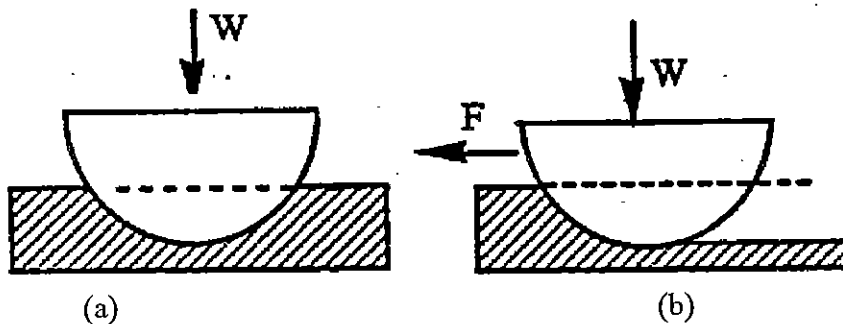
Određivanje (opisivanje, modeliranje) sile trenja je veoma složen problem i zavisi od mnogo faktora. Ne postoji opšti model koji se može primeniti u svakom posebnom slučaju.

Sila trenja zavisi od mehanike kontakta, koja se obično razmatra za sledeće slučajeve:

- sila trenja za metal- metal kontakt i
- sila trenja za metal- elastomer kontakt.

U oba slučaja sila trenja se može razložiti u dve komponente. Sila trenja (F_{tr}) za slučaj metal-metal je jednaka zbiru sile trenja "sečenja" (F_{trs}) i sile trenja "oranja" (F_{tro}) (Sl.1) [10].

$$F_{tr} = F_{trs} + F_{tro} \quad (1)$$



Sl. 1. Deformacija mekšeg metala od strane tvrdog metala (a) stacionarno stanje (b) stanje u kretanju

Postoji veliki broj teorijskih i eksperimentalnih modela za određivanje ovih komponenti sile trenja [4]. Sila trenja za slučaj metal- elastomer (F_{tr}) je jednaka zbiru sile trenja "prijanjanja" (F_{trp}) i sile trenja deformacije (F_{trd}) tj.

$$F_{tr} = F_{trp} + F_{trd} \quad (2)$$

I u ovom slučaju postoji veliki broj istraživačkih radova za određivanje komponenti ovih sila.

U svakom od ova dva slučaja kontakta, neophodno je imati u vidu da kontakt može biti:

- suv i
- podmazan.

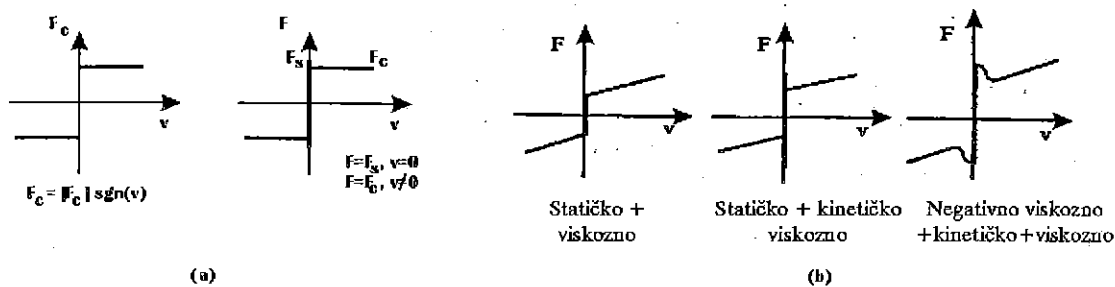
Sve ovo ukazuje na složenost određivanja sile trenja u posebnom slučaju, odnosno sve ovo ukazuje na slučajnu prirodu sile trenja. Međutim, imajući u vidu složenost matematičkog razmatranja stohastičkog modela sistema, u primeni su uglavnom prisutni deterministički modeli [8]. Ti modeli su uglavnom grupisani prema glavnim faktorima koji utiču na njenu vrednost. Kako se u slučaju razmatranja servosistema mora poznavati dinamička priroda sile trenja, to će se ovde samo razmatrati dinamički modeli sile trenja u funkciji parametara od znatnog uticaja.

Postoje četiri glavna faktora (parametra) koji imaju bitan uticaj na određivanje sile trenja i to su:

- brzina
- vreme

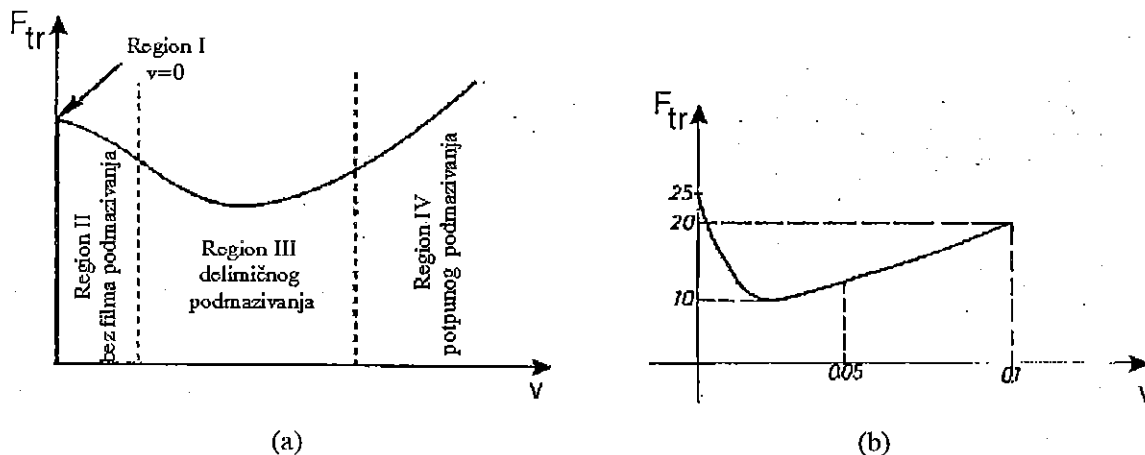
- temperatura
- normalno opterećenje.

Zavisnost sile trenja od brzine je ilustrovana na Sl. 2. [9,11].



Sl.2. Dinamički modeli trenja (a) bez viskoznog trenja (b) sa viskoznim trenjem

Istraživanja pokazuju [12] da se u modelu trenja zavisnog od brzine mogu razlikovati više režima u zavisnosti da li je kontakt "suv" ili "podmazan" (Sl.3), što je potvrđeno u istraživanju autora ovog rada [8] u posebnom slučaju na bazi eksperimenta. Istraživanja mnogih autora i autora ovog rada pokazuju da sila trenja ima različite vrednosti u zavisnosti od brzine (npr. da li brzina raste ili opada) tj. trenje je višestruko vrednosni nelinearni proces.



Sl.3 Model trenja u funkciji podmazivanja (a) [55] i (b) [8]

Postoje različiti analitički modeli sile trenja u funkciji brzine, koji su dobijeni eksperimentalnim putem, među kojima je i model [13]

$$F_{tr} = c_n v_{rel}^n + c_{n-1} v_{rel}^{n-1} + \dots + c_0 \quad (3)$$

gde su:

v_{rel} - relativna brzina kliznih površina

c_n, \dots, c_0 - konstante koje se moraju odrediti eksperimentalno.

Više autora je potvrdilo zavisnost sile trenja (statičke i dinamičke sile trenja) od vremena [14-16]. Ova zavisnost se izražava preko statičkog i dinamičkog koeficijenta trenja.

Postoje različiti izrazi za određivanje koeficijenta statičkog trenja i oni imaju deterministički karakter. Rabinowicz [14] je predložio sledeći izraz:

$$\mu_s - \mu_d = \gamma \cdot t_s^\beta \quad (4)$$

gde su: μ_s - statički koeficijent trenja, μ_d - dinamički koeficijent trenja, γ i β su konstante, $\beta < 1$.

Slučajna priroda dinamičkog koeficijenta trenja je dokazana u više istraživanja [15-16].

Njegova slučajnost se opisuje različitim zakonima verovatnoće.

Zavisnost sile trenja od temperature u kontaktu kliznih površina je takođe potvrđena od strane više istraživanja. Ne postoji opšti izraz koji izražava ovu zavisnost; nego se on opisuje za pojedinačne slučajeve u zavisnosti od brzine, podmazivanja, materijala u kontaktu i sl.

Sila trenja se povećava ako se povećava normalno opterećenje, što se pokazuje izrazom :

$$F_r = k_1 \cdot N^n \quad (5)$$

gde su: n - je obično konstanta manja od jedan, dok pri ekstremnom opterećenju nije konstanta, k_1 - konstanta.

Zavisnost koeficijenta trenja od normalnog opterećenja izražava zavisnost [10]

$$\mu_1 = k \cdot p^{-\nu} \quad (\nu \in (0,2 - 0,3))$$

(6)

Sa stanovišta upravljanja, ovde je bitno uočiti (izraz 5) da je sila trenja u linearnoj zavisnosti od "manjeg" opterećenja dok je u nelinearnoj zavisnosti od "većeg" opterećenja.

Prisustvo trenja u relativnom kretanju delova mehanizama i mašina dovodi do različitih fenomena koji se dešavaju pri radu ovih uređaja- mašina, među kojima su :

- "stani - kreni" kretanje
- prigušenje
- vibracije
- haotično ponašanje
- buka

"Stani -kreni" kretanje je nepoželjno u mehaničkim sistemima. Ono je posledica,

negativnog nagiba krive zavisnosti trenja od brzine kretanja ($\frac{\partial F_t}{\partial v} < 0$) i elastičnosti u

kontaktnu kliznih površina. Ovo kretanje je nepredvidivo zato što nagib krive trenje - brzina nije konstantan nego se menja slučajno u zavisnosti od uticaja navedenih faktora.

Fenomen prigušenja u sistemu uprisustvu "suvog trenja" je veoma složen problem. Tondl [17] je ispitivao uticaj suvog trenja na stabilnost ravnotežnog stanja linearnog sistema sa jednim stepenom slobode kretanja i negativnim brzinskim prigušenjem opisanog sa jednačinom :

$$m\ddot{x} + F_t \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} - c\dot{x} + kx = 0 \quad (7)$$

Ravnotežno stanje je stabilno pri $\frac{c}{\sqrt{km}} < 1$. Saglasno ovome sledi da suvo trenje može stabilizovati ravnotežno stanje položaja ako koeficijent njegovog prigušenja ne prelazi polovinu vrednosti kritičnog prigušenja.

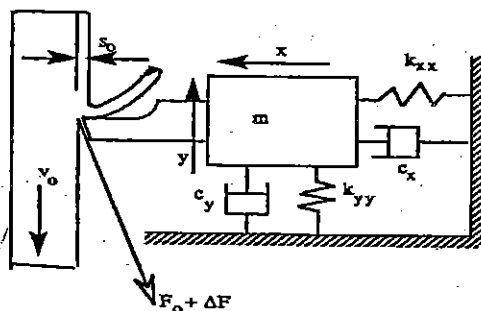
Vibracije u sistemu, kao posledica trenja, su i danas potpuno nerazjašnjen fenomen na liniji vibracije sa konstantnim ili brzinski zavisnim trenjem. Uglavnom se razlikuju, kod nelinearnih sistema, tri vrste vibracija i to:

- sopstvene oscilacije
- parametarske oscilacije
- kombinovane oscilacije (sopstvene + parametarske oscilacije)

Kao posledica fenomena trenja "kreni -stani" je fenomen "nedefinisanog" odnosno haotičnog kretanja sistema sa trenjem [18]. Ova pojava se posebno ispoljava u zglobovima mehanizama sa zazorom [8,19]. Analiza sistema sa više stepeni slobode kretanja sa trenjem i zazorom traži posebna istraživanja.

Fenomen trenja vezan za buku je veoma dobro poznat u istraživačkom i industrijskom smislu. Buka visokih frekvencija je poznata kao "cijukanje" (squeal), a buka niskih frekvencija kao "krečanje" (chatter). Kvantitativna analiza za predviđanje buke nije razvijena i ne postoji jedinstvena teorija koje generalizuju analizu fenomena buke. Istraživački rezultati se uglavnom baziraju na eksperimentalnim testovima fizičkih modela. Problem je što pojava

buke zavisi od niza faktora kao što su : temperatura, normalno opterećenje, brzina i drugi uslovi. Posebno interesantan problem u domenu mašina alatki je model sa dva stepena slobode strugarskog noža (Sl.4.) [20] .



Sl.4. Model strugarskog noža sa dva stepena slobode kretanja

Simulacije sile trenja na analognom računaru se može obaviti "dovoljno tačno" korišćenjem "metode poređenja" i "elektronskog prekidača". Pri digitalnom simuliranju sile suvog trenja problem je mnogo složeniji. Ne postoji opšta metoda za simulaciju ove sile na digitalnom računaru. Obično su prisutne približne metode koje ne uzimaju u obzir zavisnost sile od brzine kretanja. Model trenja dat na slici sl.2a je teško realizovati zbog postojanja uslova $\dot{x}=0$. Autori rada [21] su predložili metod "klizajući model" koji je složen za primenu. Modeli simulacije sa linearizacijom imaju problem kako izabrati širinu intervala linearizacije. Autor ovog rada [8] je predložio metodu koja dovoljno tačno simulira trenje a nije složena za upotrebu.

3. ANALIZA SERVOMEHANIZAMA I SERVOMAŠINA SA TRENJEM

Zbog svoje složenosti i strogosti zahteva, analiza servomehanizama i servomašina sa trenjem je neophodna etapa u projektovanju svih sistema. Iz istih razloga, potrebno je obaviti:

- teorijsku i
- eksperimentalnu analizu.

Osnovu za teorijsku analizu svih sistema čini dinamički model sile trenja u sistemu. Ovde je , potrebno razlikovati:

- mehanizme i mašine sa jednim stepenom slobode kretanja i
- mehanizme i mašine sa više stepeni slobode kretanja.

Ovde postoji nekoliko problema i to:

- Da li je usvojen stohastički ili deterministički nelinearni model sile trenja?
- Kojim parametrima predstaviti dinamički model trenja?
- Kako odrediti parametre modela?
- Kako parametri zavise od konkretne primene?
- Kakav je međusobni uticaj kod mehanizama i mašina sa više stepeni slobode kretanja?

U istraživačkoj praksi je prisutno da se model trenja predstavlja kao deterministički nelinearan model za nezavisni stepen slobode kretanja. Otuda se, za analizu ovih sistema primenjuju sledeće metode:

1. metod opisnih funkcija
2. metod fazne ravni
3. metod numeričke analize (analiza pomoću simulacije)
4. metod direktnog rešavanja jednačina

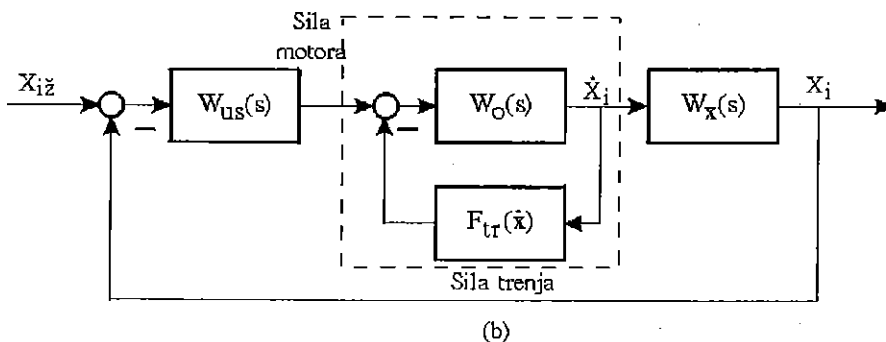
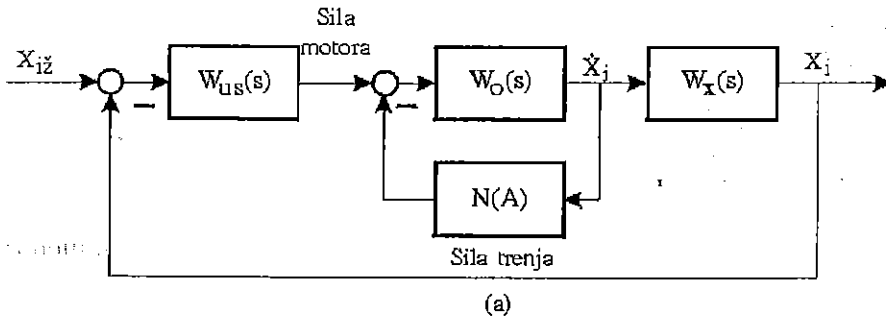
Glavni cilj ovih analiza je otkrivanje postojanja graničnog kruga i ispitivanje njegove stabilnosti. Ova analiza zavisi od:

- dinamičkog modela trenja
- zadatka sistema
- oblika i strukture upravljačkog sistema.

1. Opisne funkcije

Primena opisnih funkcija u analizi kretanja mehanizama i mašina sa trenjem ima dugu istoriju [5,22]. U istraživačkoj praksi su prisutne dve primene ove metode na analizi sile trenja, i to:

- Opis samo sile trenja preko opisne funkcije (Sl.5a)
- Opis objekta upravljanja sa silom trenja zajedno preko opisne funkcije (Sl.5b).



Sl.5. Primena opisne funkcije na jednostruke pozicione servosisteme sa trenjem (a) samo na silu trenja i (b) na objekt i silu trenja zajedno

U literaturi su prisutna različita "proširenja" ovih funkcija u različitim kombinacijama dinamičkog modela trenja i upravljačkog sistema (PD, PID). U [23] je izvršena analiza primene različitih opisnih funkcija sa dva oblika sile trenja na jednostruko pozicionom servosistemu sa PID upravljanjem, koja pokazuje rezultata u predviđanja graničnog kruga (tabela 1.).

Metod	Model trenja	
	Kulonovo trenje	Kulonovo trenje + Statičko trenje
Tačna analiza	nikada	uvek
Opisna funkcija bez objekta	nikada	nikada
Opisna funkcija sa objektom	uvek	ponekad

Tabela 1. Predviđanje graničnog kruga servosistema sa PID upravljanje pomoću tri metode sa dva modela trenja

Analiza servosistema, na prvi način, zbog jednostavnosti funkcije trenja (neparna-jednostruka funkcija) je lakša, ali je drugi način realniji situaciji.

2. Fazna ravan

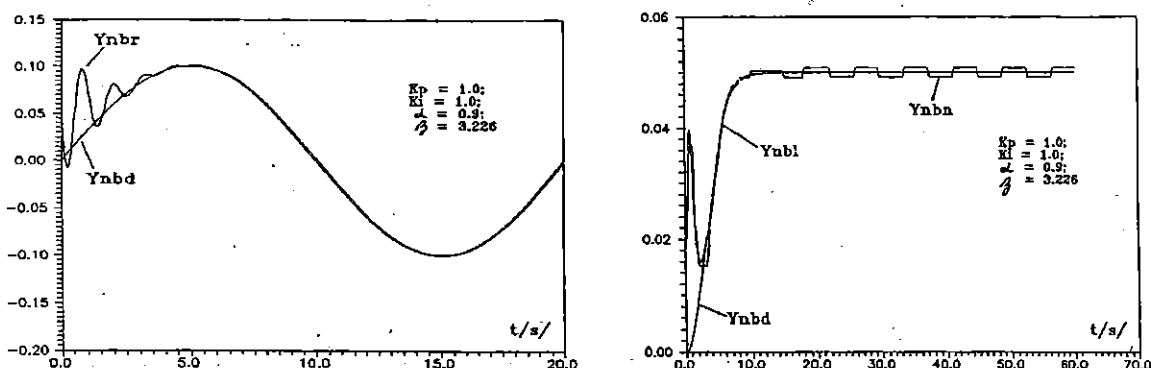
Opšte je poznato da je metod fazne ravni najpogodniji za sisteme drugog reda. Otuda se ovaj metod na servosisteme sa trenjem može lako primeniti, ali samo sa upravljanjem P i PD, dok se kod sistema sa PID upravljanjem uvećava red za jedan i onda to predstavlja vizuelni problem. Više istraživanja je pokazalo da sistem sa Kulonovim trenjem i PD upravljanjem ne pokazuje pojavu graničnog kruga. Očigledno je da u primeni ove metode model trenja mora biti složeniji od modela Kulonovog trenja.

3. Numerička analiza

Metod numeričke analize omogućava rešavanje složenijih sistema sa trenjem, nego što to omogućavaju predhodne metode. One omogućavaju proveru kako adekvatnosti modela tako i tačnost približnih metoda. Međutim problem u primeni ove metode leži u:

- digitalnoj simulaciji sile trenja [8]
- nepohodnosti eksperimentalne verifikacije rezultata.

Primer primene ove metode je dat na primeru pneumatskog pozicionog servocilindra sa trenjem (pri Karnopovim modelom trenja) [24]. Ovde je pokazana mogućnost pojave graničnog kruga (Sl.6.).



Sl.6. Ponašanje pneumatskog pozicionog servocilindra bez trenja i sa trenjem

4. Direktno rešavanje modela

U istraživačkoj praksi kod servosistema sa trenjem ovaj metod se retko primenjuje. Ako se primenjuje onda je to najčešće radi uporedne analize regulatora uz primenu različitih metoda.

Iz predhodnog se zaključuje da ne postoje opšte metode za analizu servosistema sa trenjem. U tabeli 2. su dati sumirajući rezultati predviđanja graničnog kruga servosistema sa trenjem sa različitim modelima, upravljanjem i zadacima upravljanja [25].

Model trenja	Zadatak upravljanja			
	Pozicioniranje		Praćenje	
	PD	PID ili Lag	PD	PID ili Lag
Kulonovo trenje	NE	NE	NE	?
Kulonovo trenje + Statičko trenje	NE	DA	DA	DA

Tabela 2. Mogućnost predviđanja graničnog kruga analitičkim metodama

4. SINTEZA SERVOMEHANIZAMA I SERVOMAŠINA SA TRENJEM

Projektovanje servosistema sa trenjem je veoma složen problem. Ne postoji opšti metod za rešavanje ovog problema. Pošto, trenje ima, uglavnom, negativan uticaj na kretanje sistema, onda se pri projektovanju ovih sistema postavlja pitanje kako kompenzovati negativno dejstvo sile trenja. U osnovi postoje dva načina za to:

- adekvatnim mehaničkim projektovanjem (kroz izbor odgovarajućih mehanizama, materijala, sredstava za podmazivanje i dr.)
- izbor odgovarajućih algoritama upravljanja.

Prvi način, je veoma široko prisutan u industrijskoj praksi, ali on ima "svoju" cenu i u nekim slučajevima ograničenu primenu. Otuda se, u savremenim primenama teži ovaj problem rešiti kroz sintezu odgovarajućih algoritama upravljanja. Ovaj način zahteva dodatno znanje i rešavanje problema vezanih za određenu primenu, tj. ne postoji opšti algoritam upravljanja.

Postoje dva glavna zadatka servomehanizama i servomašina, a to su:

- pozicioniranje i
- praćenje.

Zadatak uravljanja definiše algoritam upravljanja.

Formiranje algoritma upravljanja za kompenzaciju sile trenja, vrši se na dva načina i to:

- bez poznavanja dinamičkog modela sile trenja
- sa poznavanjem dinamičkog modela sile trenja.

Sinteza upravljanja, bez poznavanja dinamičkog modela sile trenja, se bazira na sledećim algoritmima upravljanja:

- algoritam praćenja [25-26]
- algoritam sa visokim PD pojačanjima
- algoritam sa povratnom spregom po ubrzanju [8]
- integralno upravljanje
- impulsivno upravljanje
- tehnika inverzne opisne funkcije
- nelinearno upravljanje
- upravljanje momentom
- upravljanje sa promenljivom strukturom.

Poseban oblik kompenzacije trenja predstavlja signal visoke frekvence i male amplitude, poznat kao diter.

Sinteza upravljanja na bazi dinamičkog poznavanja modela sile trenja se bazira na sledećim algoritmima upravljanja:

- direktna kompenzacija
- adaptivno upravljanje
- upravljanje sa učenjem.

5. ZAKLJUČAK I BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Projektovanje servomehanizama i servomašina sa trenjem, osobito ako su zahtevi strogi u pogledu tačnosti i ponovljivosti, odnosno praćenju, je veoma složen problem. Ne postoje opšte metode koje ovaj problem rešavaju. Ovaj rad je sumirao dosadašnje rezultate postignute u istraživačkoj i industrijskoj praksi, koji omogućavaju rešavanje ovog problema pod određenim "grupnim" ili "pojedinačnim" uslovima, s tim što sinteza ovih uređaja-mašina zahteva i eksperimentalnu verifikaciju.

Buduća istraživanja moraju obuhvatiti rešavanje problema navedenih u ovom radu.

- Model trenja mora biti potpunije razjašnjen (teorijski i eksperimentalno).

- Veza podmazivanja i fenomena trenja mora biti potpunije razjašnjena.
- Modeli za simulaciju trenja moraju biti definisani i adekvatni za primenu.
- Sistemi sa više stepeni slobode kretanja sa trenjem moraju biti bliže analizirani.
- Stohastički model trenja treba biti definisan.
- Potpunija analiza različitih algoritama upravljanja za ove sisteme.

A b s t r a k t

This paper surveys analysis tools and design methods for automatic control of mechanisms and machines with friction, as well as problems for future research. The survey is based on review of friction phenomenon on problems.

LITERATURA

1. Amontons G., (1699) "De la Resistance Cause dans les Machines", Memoires de l'Academie Royale A, 275-282.
2. Desaguliers, J.T., (1725) "Some Experiments Concerning the Cohesion of Lead", Phil. Trans. Roy. Soc. London 33, 345.
3. Coulomb, C.A. (1785) "Theorie des Machines Simples", Memorie de Matematique et de Physics de l'Academie Royale, 161-342.
4. Tabor D., (1981), "Friction- The present State of Our Understanding", ASME J. Lubrication Technology 103, 169-179.
5. Tou J. i Schultheis P.M., (1953) "Static and Sliding Friction in Feedback Systems", Journal of Applied Physics.
6. Merrit H. i Cavin J.T., (1962) "Friction Load on Hydraulic Servos", Proc. of the Nat. Conf. on Indu. Hydr.
7. Karnopp D., (1985) "Computer Simulation of Stick-Slip Friction in Mechanical Dynamic Systems", J. Dyn. Syst. Meas. and Control, ASME 107(1) :100-3
8. Nedić N.N.,(1986) "Sinteza hidrauličkog servomehanizma sa upravljanjem pomoću računara za precizno ostvarivanje trajektorija industrijskih robota", doktorski rad, Mašinski fakultet, Beograd.
9. Ibrahim R.A., (1994) "Friction-induced vibration, chatter, squeal, and chaos", App. Mech. Rev vol 47, no 7.
10. Bowden F.B. i Tabor D., (1950) "The Friction and Lubrication of Solids", Part I, Oxford: Charendon Press.
11. Nedić N. N., " Analiza i sinteza elektrohidrauličkih i elektropneumatskih servosistema servomehanizama veoma visoke tačnosti i ponovljivosti", naučna monografija, Mašinski fakultet Kraljevo (u štampi).
12. Barwell F.T., (1984) "Advanced in Friction and Wear Mechanisms ", Tribology International 17(6), 299-307.
13. Brockley C.A. i K.O.P.L., (1970) " Quasi- Harmonic Friction- Induced Vibration", ASME Journal of Lubrication Technology, 90, 35-41.
14. Rabinowicz E., (1951) "The Nature of Static and Kinetic Coefficients of Friction", J. Appl. Phys. 22(12), P. 1373.
15. Rabinowicz E., (1955) " Autocorrelation Analysis of Sliding Process", J. Appl. Phys. 27, 131-135.
16. Rabinowicz E., Rightmire B.G., Tedholm C.E., Williams R.E., (1955) "The Statistical Nature of Friction", Trans. ASME 77, 931-934.
17. Tondl A., (1975) "Quenching of Self-Excited Vibrations: Equilibrium Aspects", J. Sound and Vibrations 42, 251-260 .
18. Popp K. i Stelzer P., (1996) " Stick-Slip Vibration and Chaos", Phil. Trans. Royal Soc. London A. 332, 89-105.

19. Moon F.C., Li G.X., (1990) "Experimental Study of Chaotic Vibration in a Pin-Jointed Space Truss Structure", AIAA Journal 28, 915-921.
20. Grabec I., (1988) "Chaotic Dynamics of Cutting Process", Int. J. Machine Tools Manufact. 28 (1), 19-32.
21. Heller R., Tuten J.M., Kadalo P.S., Law E.K., (1997) "Analogy and Digital Computer Simulation of Coulomb Friction", Inter. Report.
22. Brandenburg G., Schafer N., (1988) "Influence and Partial Compensation of Simultaneously Acting Backlash and Coulomb Friction in a Position and Speed-Controlled Elastic Two - Mass System", Proc. 12 th IMACS World Congress, Paris: IMACS, pp 220-223.
23. Amin B., Armstrong - Helourry B., (1993) "A Note on Servos with PID Control and Static Friction", Report EE-93-3, Department of Elec. Eng. Univ. of Wisconsin-Milwaukee.
24. Nedić N.N., Pršić H.D., (1994) "Pneumatic position control using natural tracking law", IFAC Workshop on Trends in Hydraulic and Pneumatic Components and Systems, Chicago. I.L.
25. Kubo T., Anwor G., Tomizuka M. (1986) "Application of Nonlinear Friction Compensation to Robot Arm Control" Proc. 1986. Int Conferenc of Robotis and Autom. San Francisco, IFEE, pp. 722-727.
26. Grujić Lj.T., (1985) "Phenomenons, Concepts and Problems of Automatic Tracking : Continual Stationary Systems with Variable Inputs", Proceedings of the First International Seminar " Automat and Robot", SAUM and IEE, pp. 309-330, Belgrade.

KADROVI I RAZVOJ METALSKE INDUSTRIJE

Prof.dr Momir Šarenac¹⁾

Apstrakt

U radu se daje ocjena sadašnjeg stanja metalske industrije na prostorima SR Jugoslavije i Republike Srpske sa aspekta obrazovanja kadrova. Ukazuje se na neke uticajne faktore koji su doveli do veoma teškog stanja u metalnoj industriji. Potencira se značaj znanja kao osnovnog resursa koji bi mogao omogućiti izlazak iz krize metalske struke i ukazuje se na potrebu inoviranja nastavnih planova i programa kao sistemске mjere za podizanje znanja na potreban nivo.

1. UVOD

Za razvoj svakog društva neophodni su odgovarajući resursi. To su razvijena poljoprivreda, rudarstvo, šumarstvo, klimatski ambijent, vodoprivreda itd.

Znanje kao resurs ima potencijalne mogućnosti veće od bilo kojeg prirodnog resursa. Dobro je poznato da je mašinstvo generator razvoja i kičma većine tehničkih rješenja i tehnologija. Globalizacija tržišta i beskompromisna borba za pridobijanje kupca i ispunjavanje njegovih zahtjeva doveli su mašinsku industriju u poziciju da mora višiti stalnu inovaciju svojih proizvoda. Pristup većeg broja zamalja na svjetskom tržištu i stalno ubrzavanje tehnološkog napretka zahtijeva od proizvođača mašinskih dijelova i opreme veliku fleksibilnost u oblikovanju proizvoda i/ili usluga. Dominacija zahtjeva kupaca podrazumijeva da savremeni proizvodi ispune njihova očekivanja, a ona se ogledaju u: tehničkom rješenju, radnoj sposobnosti, pouzdanosti, gabaritnim dimenzijama, ekološkom aspektu, cijeni i vremenu promocije na tržištu.

Brze promjene karakteristika savremenih proizvoda zahtijevaju brz i efikasan odgovor proizvođača na zahtjev kupaca, a za to je neophodno odgovarajuće znanje proizvođača.

2. ZNANJE KAO USLOV ZA OPSTANAK METALSKE INDUSTRIJE NA SVJETSKOM TRŽIŠTU

Kako smo već ranije kazali znanje je resurs koji će dominirati na početku III milenijuma. Za razliku od prirodnih resursa znanje mogu steći i one zemlje i oni narodi koji nemaju prirodne resurse, ali pod uslovom da blagovremeno poduzmu odgovarajuće mjere, odnosno da izgrade sistem kako bi znanje podigli na nivo konkurentnosti na globalnom planu.

Ima više definicija znanja, a čini nam se da ni jedna ne može potpuno zadovoljiti sva shvatanja. Navodimo, zbog skučenog prostora, samo Platonovo razmišljanje o znanju. [6]

Platon: "Jedino moć znanja pojedinca može izdići do slobode".

Platon govori o četiri vrste znanja: saznanje, razum, vjera i slutnja.

On dalje kaže: "Udjel u jasnosti ima nauka i mišljenje (saznanje) i vjerovanje i naslućivanje (mnijenje).

¹⁾ Mašinski fakultet Srpsko Sarajevo, V. Karadžića bb

Mnijenje je uvijek u odnosu na postojanje, a znanje u odnosu na biće." "Mišljenje je jedno, a znanje drugo."

Platon kaže: "Sva mišljenja koja se ne temelje na znanju ustvari su bez vrijednosti."

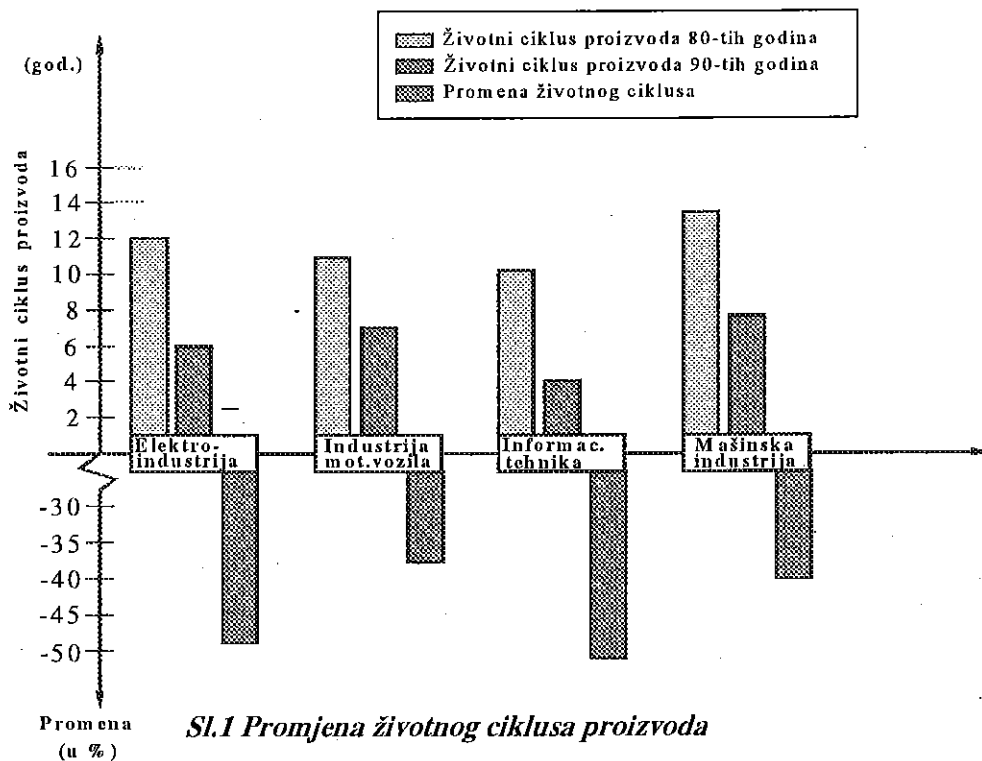
On daje i definicije znanja:

1. "Znanje je percepcija čime se ono relativizuje"
2. "Znanje je pravo shvatanje - uvjerenje"
3. "Nemoguće je znati šta je pogrešno shvatanje prije nego što neko pouzdano ne shvati šta je znanje"
4. "Znanje je pravo shvatanje spojeno sa objašnjenjem"
"No upravo je to ono zašto sam u neprilici i ne mogu kod sebe naći zadovoljavajući odgovor; tj. šta je zapravo znanje!?"

Brze promjene na svjetskom tržištu skraćuju životni ciklus proizvoda, a to kao posledicu ima zahtjev na visoki nivo znanja kompanije ili industrije kao cjeline kako bi udovoljila novim zahtjevima i potrebama.

Na sl.1 prikazana je promjena životnog ciklusa proizvoda nekih karakterističnih industrijskih grana.

Opstanak proizvoda na tržištu zavisi od njegovih karakteristika i blagovremene pojave, odnosno promocije.

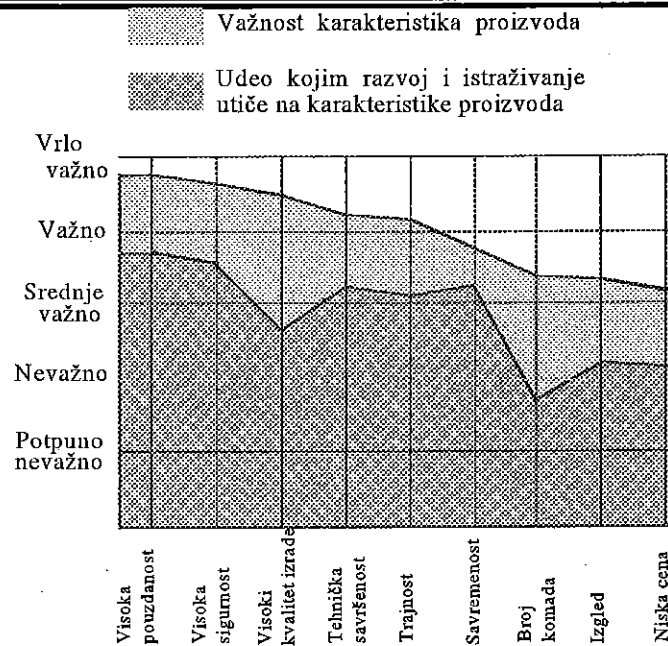


Sl.1 Promjena životnog ciklusa proizvoda

Sudbina svakog proizvoda rješava se već u fazi razvoja. Na sl.2 prikazan je uticaj razvoja i istraživanja na osnovne karakteristika proizvoda.

Brz razvoj nauke i tehnike dovodi do prave eksplozije znanja iz različitih oblasti. Kod tehnoloških rješenja, koja kao rezultat istraživanja daju konkretne proizvode, dolazi do prave poplave normi, propisa, standarda i procedura kojima inženjeri moraju ovladati u vrlo kratkom vremenu. Smatra se da konstruktori oko 50% vremena troše na prikupljanju, sredjivanju i ovladavanju informacijama. Metalska industrija treba da za dugoročno održanje konkurentskih sposobnosti i obezbjedjivanje inovacionih tehnologija pronadje i primijeni nove proširene i prilagodljive metode i postupke za poboljšanja, prije svega, u procesu razvoja proizvoda koji podrazumijevaju integralni, interdisciplinarni, humano orjentisani i cjelovit postupak za optimizaciju procesa razvoja proizvoda - INTEGRALNI RAZVOJ PROIZVODA (IRP).

Znanje se stiče u školama, provjerava u praksi i proširuje i nadograđuje tokom radnog angažovanja.



Sl.2 Uticaj razvoja na karakteristike proizvoda [1]

3. OPŠTA PROBLEMATIKA STUDIJA MAŠINSTVA

Osnovna obilježja sadašnjeg naglog razvoja tehnike i tehnologije ogledaju se u sve većem broju tehnoloških rješenja i inovacija na ogromnom broju proizvoda čiji su stvaraoci diplomirani mašinski inženjeri, sa jedne strane, dok je interes mladih ljudi za studijama tehnike, mašinstva posebno, sve manji. Sasvim je logično da se postavi jedno pitanje: Možemo li sa današnjim trendom interesovanja i upisa na mašinske fakultete pratiti globalnu svjetsku ekspanziju tehničko-tehnoloških inovacija i razvoja novih proizvoda?

Odgovor na postavljeno pitanje ne može se naći ni lako ni jednostavno.

Čini se da bi do boljeg i tačnijeg odgovora mogli doći praveći komparaciju sa sličnim primjerima sa drugim narodima i državama. Na ovim prostorima treba uzeti u obzir bar nekoliko uticajnih faktora za izbor zanimanja mlade generacije: okruženje, atraktivnost industrije, transformacija vlasništva, globalizacija tržišta, dužina školovanja, šanse za zaposlenje, težina studija, društveni status i širok izbor drugih profila studija.

Do sada nisu vršena neka ozbiljna istraživanja koja bi dala bar djelimične odgovore na pitanje zašto se mladi nerado odlučuju za studije tehnike. Uz dosta napora i domišljanja mašinski fakulteti održavaju minimum interesa za studij mašinstva kod mlade generacije.

Na pragu 21. vijeka mnoga dosadašnja shvatanja biće na ozbiljnoj probi. Na probi će biti i shvatanja značaja inženjerskih znanja. Već se nazire ozbiljna prijetnja zamiranju inženjerskih disciplina u zemljama u tranziciji. Mlade generacije nisu uzele u obzir sve relevantne činjenice na osnovu kojih bi procijenili atraktivnost struke kojom će se baviti u vrijeme svog radnog angažovanja. Ima slučajeva da ni oni koji odlučuju nisu dobro procijenili značaj tehničkih disciplina i njihovu ulogu u globalnoj raspodjeli moći i bogatstva. Danas vodeću ulogu u svijetu imaju industrijski najrazvijenije zemlje. Ta moć je proizvod i prirodnih resursa, ali najviše proizvod znanja, u prvom redu inženjera i tehnologa. Donji prag rezultata stvaralaštva svakog naroda u globalnim dostignućima trebao bi da bude bar proporcionalan broju stanovnika u odnosu na ukupnu populaciju. Pitanje odnosa između potreba i mogućnosti uključivanja svake zemlje i svakog naroda u opšti trend razvoja biće presudno za opstanak privrede, a on zavisi umnogome i od broja ljudi iz struke. U tab.1 dat je pregled broja studenata u odnosu na ukupan broj stanovnika nekih zemalja svijeta [5].

BROJ	DRŽAVA	BROJ STANOVNIKA	STUDENTI	PROCENAT STUDENTSKE POPULACIJE
1.	ŠVEDSKA	8,633,000	341,421	3,95%
2.	KANADA	22,429,000	795,730	3,55%
3.	JUŽNA KOREJA	43,827,000	1,364,374	3,11%
4.	SAD	256,558,000	7,117,000	2,77%
5.	NORVEŠKA	4,316,000	111,606	2,59%
6.	ŠPANJA	39,622,000	945,005	2,41%
7.	AUSTRIJA	17,811,000	420,640	2,36%
8.	KUBA	10,948,000	250,600	2,29%
9.	IZRAEL	4,612,000	98,821	2,14%
10.	HOLANDIJA	15,203,000	325,000	2,14%
11.	FRANCUSKA	57,050,000	1,208,783	2,12%
12.	JAPAN	125,001,000	2,581,000	2,06%
13.	NJEMAČKA	79,978,000	1,603,161	2,00%
14.	ITALIJA	58,003,000	1,147,984	1,98%
15.	GRČKA	10,083,000	197,808	1,96%
16.	MEKSIKO	94,011,000	1,786,200	1,90%
17.	SJEVERNA KOREJA	22,652,000	417,300	1,84%
18.	FINSKA	5,021,000	92,246	1,84%
19.	SSSR(BIVŠA)	297,165,000	5,387,841	1,81%
20.	SINGAPUR	2,828,000	50,756	1,79%
21.	BUGARSKA	8,875,000	126,964	1,43%
22.	JUGOSLAVIJA (BIVŠA)	24,265,000	342,643	1,41%
23.	SRBIJA	9,947,000	135,357	1,36%
24.	JUGOSLAVIJA(SADAŠ.)	10,571,000	142,384	1,34%
25.	CRNA GORA	624,052	7027	1,12%
26.	EGIPAT	56,986,000	659,945	1,16%
27.	MADJARSKA	10,537,000	100,868	0,96%
28.	POLJSKA	37,876,000	362,013	0,96%
29.	BRAZIL	160,999,000	1,418,916	0,88%
30.	RUMUNJA	23,632,000	164,500	0,70%
31.	VELIKA BRITANIJA	57,861,000	360,809	0,62%
32.	SAUD.ARABIJA	19,403,000	115,006	0,59%
33.	INDONEZIJA	200,591,000	1,179,489	0,59%
34.	KINA	1,188,629,000	1,959,000	0,16%
35.	NIGERIJA	93,906,000	55,068	0,06%
	UKUPNO	3,056,367,000	32,806,487	1,07%
	PROSJEK	98,592,000	1,058,274	1,07%

Tabela 1 Tabelatni prikaz broja studenata u nekim zemljama svijeta

Podaci iz tab.1 ukazuju na globalni uticaj stručnog kadra na opšti razvoj zemalja i na životni standard. Ako se još uzme u obzir i broj imigranata koji iz velikog broja zemalja useljavaju u npr. Kanadu, SAD, Švedsku, V. Britaniju i Njemačku onda nije teško procijeniti kakva će biti moć tih zemalja u narednom periodu.

U tab.2 dat je pregled strukture studenata u SR Jugoslaviji i Njemačkoj za pojedine vremenske intervale.

U tab.3 data je struktura upisa studenata na I godinu studija na Univerzitetu u Srpskom Sarajevu.

Ako se izvrši grupisanje studenata prema naučnim oblastima da bi se moglo izvršiti poredjenje sa SR Jugoslavijom ili npr. sa Njemačkom onda se dobije struktura prikazana u tab.4

Područje na kojem djeluje Univerzitet u Srpskom Sarajevu ima oko 550 000 stanovnika i značajne kapacitete iz oblasti metaloprerađivačke i drvne industrije. Ovo područje ima i dugu industrijsku tradiciju, ali uprkos svemu interes za studije mašinstva je veoma slab.

Radi poredjenja navodimo slučaj Fakulteta za strojništvo u Mariboru koji uprkos i formalnom raspadu velikih proizvodnih subjekata kao što su TAM i METALNA upisuje značajan broj studenata na studije mašinstva. U tab.5 prikazana je struktura studenata na Univerzitetu u Mariboru.

RED BR.	FAKULTET	97/98 UPISANO	%	98/99 PLAN	%	98/99 UPISANO	%	99/00 PLAN	%
1.	PRAVNI	180	13.40	170	9.09	222	16.55	260	12.78
2.	EKONOMSKI	242	18.02	430	272	20.29	20.29	450	22.11
3.	FILOZOFSKI	205	15.26	365	220	16.41	16.41	360	17.69
4.	UČITELJSKI	103	7.67	200	130	9.69	9.69	180	8.85
5.	MAŠINSKI	27	2.01	100	10	0.75	0.75	100	4.91
6.	ELEKTROTEHNIČKI	35	2.61	70	43	3.22	3.22	70	3.44
7.	FAK.ZA PROIZV. I MENADŽM.	75	5.58	80	71	5.29	5.29	80	3.93
8.	TEHNOLOŠKI	75	5.58	100	52	3.88	3.88	130	6.39
9.	MEDICINSKI	80	5.96	75	66	4.92	4.92	75	3.69
10.	STOMATOLOŠKI	61	4.56	55	55	4.10	4.10	55	2.70
11.	POLJOPRIVREDNI	80	5.96	70	44	3.28	3.28	70	3.44
12.	FAK.ZA FIZ.KULTURU	106	7.89	80	80	5.96	5.96	80	3.93
13.	DUHOVNA AKADEMIJA	48	3.58	50	28	2.08	2.08	50	2.46
14.	MUZIČKA AKADEMIJA	6	0.45	13	33	2.46	2.46	50	2.46
15.	LIKOVNA AKADEMIJA	20	1.49	12	064	15	1.12	25	1.23
16.	VIŠA ŠKOLAZA SPOLJNU TRG.	-	-	-	-	-	-	400	-
UKUPNO		1343	100%	1870	100%	1341	100%	2035	100%

Tabela 3 Struktura upisa studenata na Univerzitetu u Srpskom Sarajevu [2]

RED. BR.	NAUČNA OBLAST	FAKULTETI (98/99)	%
1.	PRAVNE, PRIR. I SOC. NAUKE	PRAVNI, EKONOMSKI	36,80
2.	INŽENJERSKE NAUKE	MAŠINSKI, ELEKTROTEHNIČKI, TEHNOLOŠKI, FAK.ZA PR. I MENADŽ.	13,14
3.	AGRAR, ŠUMARSTVO I PREHRAMBENE NAUKE	POLJOPRIVREDNI	3,28
4.	JEZIK, KULTURA I SPORT	FILOZOFSKI, UČITELJSKI, DUHOVNA AKADEMIJA, FAK. ZA FIZIČKU KULTURU	34,14
5.	UMJETNOST I UMJETNIČKE NAUKE	LIKOVNA AKADEMIJA, MUZIČKA AKADEMIJA	3,50
6.	MATEMATIKA I PRIRODNE NAUKE	--	0,00
7.	MEDICINSKE NAUKE	MEDECINSKI, STOMATOLOŠKI	9,00
UKUPNO			100,00

Tabela 4 Struktura studenata Univerziteta u Srpskom Sarajevu prema naučnim oblastima

FAKULTETI	Redovni	Vanredni	UKUPNO	Apsolventi
Ekonomsko-poslovni fakultet	2309	2185	4494	275
Fakultet za elektrotehniku, računarstvo i informatiku	965	138	1103	151
Gradjevinski	102	775	877	95
Fakultet za hemiju i hemijsku tehnologiju	236	74	310	36
Mašinski	845	155	1000	248
Fakultet za organizacijske nauke	1148	1655	2803	855
Pedagoški	2466	896	3362	1024
Pravni	777	328	1105	222

Poljoprivredni	407	64	471	87
Viša zdravstvena škola	305	226	531	84
Interdisciplinarni -privredno inženjerski	388	1	389	94
<i>UKUPNO</i>	10621	5824	16445	3171

Tabela 5 Struktura studenata na Univerzitetu u Mariboru

Iz tabele 5 se vidi da ovaj univerzitet ima oko 19500 studenata što na broj stanovnika koji gravitira Mariboru (oko 600 000) iznosi 3,25% populacije. Da napomenemo da Univerzitet u Ljubljani ima oko 30 000 studenata i da Slovenija planira da otvori i treći univerzitet u Kopru.

Na osnovu broja studenata i broja stanovnika Slovenija se po procentu studentske populacije nalazi medju prvih pet zemalja u svijetu.

Struktura upisanih studenata u I semestar školske 98/99 prikazana je u tabeli 6

Red. br.	Fakultet	Br. upisanih	%
1.	Ekonomsko-poslovni	2056	28,0
2.	Elektrotehnika računarstvo i informatika	486	6,6
3.	Gradjevinski	519	7,1
4.	Fakultet za hemiju i hemijsku tehnologiju	165	2,3
5.	Mašinski	405	5,5
6.	Organizacijske nauke	1593	21,7
7.	Pedagoški	1226	16,7
8.	Pravni	389	5,3
9.	Poljoprivredni	218	3,0
10.	Viša medicinska škola	189	2,5
11.	Interdisciplinarni-privredno inženjerstvo	98	1,3
<i>UKUPNO</i>		7344	100%

Tabela 6 Struktura studenata upisanih u I godinu studija na Univerzitetu u Mariboru šk. 98/99

Prema podacima iz tabele 6 u grupu inženjerskih nauka upisuje se 19,2% studenata što je veoma blizu procentu u Njemačkoj (tab.2) i prognozama strukture studenata u Jugoslaviji za 2000. godinu. Pada u oči relativno mali procenat studenata koji upisuju pravo; samo 5,3%, dok je taj procenat u Jugoslaviji i u Republici Srpskoj mnogo veći. Na studije mašinstva u Mariboru upisuje se 77,8% kandidata koji su u srednjoj školi imali prosječnu ocjenu 4 ili 5.

Na studij elektrotehnike upisuje se 58,8% kandidata sa istim ovim prosjekom, dok je ovaj procenat na studiju prava 97,2%. Na Fakultetu za organizacijske nauke upisuje se samo 27,3% srednjoškolaca sa ocjenom iz srednje škole 4 ili 5.

Nemamo podataka o prosječnim ocjenama iz srednjih škola studenata koji upisuju mašinstvo na našim fakultetima.

Iz tabele 3 se vidi da se na području koje pokriva Univerzitet u Srpskom Sarajevu upisuje relativno mali broj studenata, samo oko 1350, dok bi u poredjenju sa područjem Maribora ovaj broj trebao da bude bar tri puta veći. Iz ove tabele vidi se da se samo oko 13% studenata upisanih u I semestar odlučuje da studira tehničke discipline.

4. Nastavni planovi i programi

Zbog ograničenog prostora, dajemo samo neke od bitnih odrednica, u prvom redu, nastavnih planova mašinskih fakulteta na području SR Jugoslavije i Republike Srpske za usmjerenja Proizvodnog mašinstva. Radi uporedne analize nastavnih planova sve nastavne predmete podijelili smo u pet osnovnih grupa i to:

I grupa: matematika, fizika, informatika, materijali i elektrotehnika

II grupa: mehanika, otpornost materijala, mašinski elementi, osnovi konstruisanja, tehničko crtanje, mjerna i regulaciona tehnika, termodinamika i mehanika fluida

III grupa: opšte tehničke discipline; proizvodne tehnologije, energetika, radne i transportne mašine, projektovanje, analiza i optimizacija sistema, organizacija i upravljanje i automatizacija

IV grupa: stručne inženjerske discipline uže oblasti; motori, motorna vozila, grijanje, klimatizacija, procesna tehnika i sl.

V grupa: netehničke discipline; sociologija, ekonomika, društveno-političke discipline i sl.

Pitanje ukupnog fonda časova za studije mašinstva i raspodjele tog fonda po pojedinim oblastima ili predmetima bila je, i ostala, vječita tema i suprostavljanje mišljenja među profesorima na jednom fakultetu ili između pojedinih fakulteta.

U tabeli 7 dat je pregled fonda časova po pojedinim grupama za fakultete u Jugoslaviji i Republici Srpskoj.

FAKULTET	Ukupan fond časova	Matematika	Mehanika	Fizika	Elektrotehnika	Računari	Materijali	Mašinski elementi	Mehanika fluida	Termodinamika
Beograd	3480	380	435	120	150	90	120	150	-	90
Novi Sad	3300	330	420	60	120	90	120	135	120	120
Niš	2805	240	270	-	120	180	105	180	-	-
Podgorica	3360	405	435	75	120	180	120	180	75	75
Kraljevo	3390	360	330	75	75	60	60	150	-	90
Kragujevac	3405	420	450	-	120	75	90	150	120	90
Srpsko Sarajevo	3530	390	435	120	150	150	120	165	75	75
Banja Luka	3630	405	405	120	150	195	120	150	-	60

Tabela 7 Pregled fonda časova osnovnih nastavnih predmeta po fakultetima u Jugoslaviji i Republici Srpskoj [3]

Napomene: 1. Kod nekih fakulteta predmet Mehanika fluida se ne sluša, ali je uveden predmet Pneumatika i hidraulika

2. Fond časova iz Računara nije apsolutno uporediv jer se dio gradje kod nekih fakulteta sluša na drugom mjestu

U tabeli 8 dat je fond časova za grupe predmeta I i II po fakultetima u Jugoslaviji i RS.

FAKULTET	Ukupan fond časova	Fond časova grupe I	% grupe I	Fond časova grupe II	% grupe II	% grupe I+II
Beograd	3480	860	24,7	885	25,4	50,1
Novi Sad	3300	780	23,6	945	28,6	52,2
Niš	2805	645	23,0	630	22,5	45,5
Podgorica	3360	900	26,8	945	28,1	54,9
Kraljevo	3390	735	21,6	990	29,1	50,7
Kragujevac	3405	630	18,6	840	24,8	43,4
Srpsko Sarajevo	3530	930	26,3	1020	28,9	55,2
Banja Luka	3630	990	27,3	860	23,7	51,0

Tabela 8 Uporedni pregled fonda časova za grupe I i II po fakultetima u Jugoslaviji i Republici Srpskoj

Smatramo da predmetni sadržaji koji se izučavaju u grupama I i II treba da iznosi bar 55% ukupnog gradiva sa tendencijom porasta za par procenata. Ovo tumačimo stavom da sadržaji iz navedenih grupa čine okosnicu struke, a da preostali fond časova predstavlja uže specijalnosti kojima temeljna znanja daju opet prve dvije grupe predmeta.

Da napomenemo da smo izvršili široku anketu među diplomiranim inženjerima mašinstva koji rade u Republici Srpskoj sa osnovnim ciljem da dodjemo do određenih sugestija kod inovacije nastavnih planova i programa. Anketa je sadržavala oko 30 pitanja sa ponudjenim odgovorima koje je anketirani

upisivao na određeni način. Odgovori su dali korisne sugestije za inoviranje plana i programa. U ovom radu dajemo samo prikaz mišljenja anketiranih oko nedostajućih znanja inženjera mašinstva. U tabeli 9 dati su odgovori na postavljeno pitanje

Red prioriteta	OBLAST
1.	Računari i informacione tehnologije
2.	Engleski i njemački jezik
3.	Automatizacija proizvodnih sistema
4.	Upravljanje kvalitetom
5.	Materijali
6.	Menadžment

Tabela 9 Prioriteti nedostajućih znanja

Mišljenja smo da nastavni sadržaji treba da omoguće studentima sticanje novih znanja i primjenu savremenih tehnologija kroz razumijevanje fundamentalnih inženjerskih disciplina i visok stepen umješnosti korišćenja vještina.

Dakle, nastavni sadržaji treba da omoguće:

- ovladavanje osnovnim inženjerskim znanjima
- razumijevanje i brzo prihvatanje promjena u mašinskoj i srodnim strukama
- visoku efikasnost primjene stručnih znanja
- mobilnost pri promjeni proizvodnog programa
- kreativnost
- osjećaj potrebe za timskim radom
- korišćenje tuđih znanja za rješavanje konkretnog zadatka
- prenošenje sopstvenog znanja i dostignuća na druge
- korišćenje Interneta
- zaštitu čovjeka i okoline od nehumanog inženjerstva
- poštovanje struke i ličnosti.

Studije mašinstva treba napraviti tako da budu atraktivne za mlade generacije koje će im dati sigurna i kvalitetna znanja i da budu ubijedjeni da se po znanju mogu mjeriti sa inženjerima iz drugih zemalja.

Mišljenja smo da se kod nastavnih programa treba postići:

- izlaganje suštine nastavnog predmeta, a ne faktografija
- izbjegavanje ponavljanja, osim gdje je neophodno
- usmjeravanje na zaključivanje po razumijevanju
- kritički odnos prema saznanjima
- njegovanje eksperimentalnih ispitivanja
- upućivanje na literaturu

Sama tehnologija izvođenja nastavnog procesa ima bitan uticaj na uspjeh studija mašinstva.

Prema kriterijumima velikih nacionalnih kompanija kvalitet studija cijeni se prema: [4]

orijentaciji studija ka potrebama industrije, kvalitetu profesora (predavač ili istraživač), kvalitetu i uspješnosti prenošenja teorijskog znanja, saradnji fakulteta i industrije, internacionalizaciji obrazovanja (Bolonjska deklaracija), učešću u istraživačkim projektima, obimu i kvalitetu studentskih aktivnosti, kvalitetu studentskog standarda i kvalitetu administracije.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Mašinstvo je struka koja je na prostorima predhodne Jugoslavije imala respektabilnu tradiciju. Godine 1988 i 1989 Jugoslavija je zauzimala 15-to mjesto u svijetu po obimu proizvodnje alatnih mašina (oko 16 000 komada i vrijednosti oko 300 000\$).

Promjenama 90-tih godina mašinstvo kao struka zahvata prepoznatljiva kriza koja kulminira baš u ovo vrijeme. U takvim uslovima mogućnosti metalske industrije padaju na najniži nivo, a interes mladih za studiranje mašinstva svakim danom je sve slabiji. Kroz slične procese prošle su mnoge zemlje Evrope, a najteži posledice osjetile su istočno-evropske države.

Prerada metala na prostorima Jugoslavije i Republike Srpske ima mogućnost da zaposli veliki broj radnika, a ova industrijska grana može obezbijediti proizvode visokog kvaliteta i za druge industrije. Bez intenzivnog razvoja mašinstva uključivanje u globalni razvoj nije moguće.

Smatramo da je najgore vrijeme za metalnu industriju iza nas i da je krajnje vrijeme da se izvrši rehabilitacija struke i reinženjering obrazovanja kao bitan faktor revitalizacije privrede i društva u cjelini.

ABSTRACT

In this paper is given the review of the current stage in metal industry in the Federal Republic Yugoslavia and Republic of Srpska from the aspect of education of the specialists. It is signified on the some influence factors which are restored metal industry to the very scarcely condition. It is accentuated the importance of the knowledge as the basic capacity which could be enable getting out of crisis in metal industry and it is signified on the necessity for the innovate of the curriculum as the methodical criterion for the rising of the knowledge on the necessary notch.

6. LITERATURA

1. M. Šarenac: Znanje kao resurs u razvoju zemlje
Zbornik radova IRMES'2000, Kotor, 2000. godine
2. M. Šarenac: Univerzitet kao garancija opstanka
Glas intelektualca br.7-8. Srpsko Sarajevo, 1999. godine
3. M. Šarenac: Aktuelnost nastavnih planova mašinskih fakulteta sa stanovišta
L. Lukić: deternisane politike tehnološkog razvoja - slučaj Republike Srpske
B. Marković: Zbornik radova Tehnologija, kultura, razvoj, Palić, 1998. godine
4. D. Vasilić-Melling: Engineering education for the 21st centry.
Zbornik radova Strategija razvoja mašinstva i obrazovanja mašinskih inženjera za XXI vek, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1997. godine
5. N. Cekić: Obrazovanje inženjera Jugoslavije na pragu XXI veka. Tehnika 9-10, Beograd, 1997. godine
6. V. Jokić: Uvod u filozofiju, II izdanje
NLO "Univerzitetska riječ" Nikšić, 1989. godine.

MESTO I ULOGA ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNIH INSTITUTA U TEHNOLOŠKOM RAZVOJU SRBIJE

Ljubomir Lukić, Mihailo Milojević¹⁾

Rezime

Istraživačko razvojni instituti su generatori naučnih saznanja i direktna veza nauke i industrijske prakse. Oni integrišu interdisciplinarna razvojna rešenja, povezujući više različitih sistema u jedinstvenu funkcionalnu celinu, primerenu tehnološkim mogućnostima naše industrije a prema zahtevima tržišta. Instituti obezbeđuju kontinuitet od početne ideje, do potpune realizacije i tržišne verifikacije proizvoda, okupljaju inventivni stručni kadar, predstavljaju oslonac velikim poslovnim sistemima za saradnju sa fakultetima i glavni nosilac partnerstva u međunarodnoj naučno tehničkoj i poslovnoj saradnji.

Spektar istraživačko razvojnih instituta, koji su nastali u okviru industrijskih poslovnih sistema, predstavlja veoma važan faktor u budućem tehnološkom razvoju Srbije. Značaj, mesto i uloga instituta u sprovođenju Strategije naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije, prikazan je u radu kroz neke primere izvedenih kompleksnih i integralnih projekata LOLA Instituta.

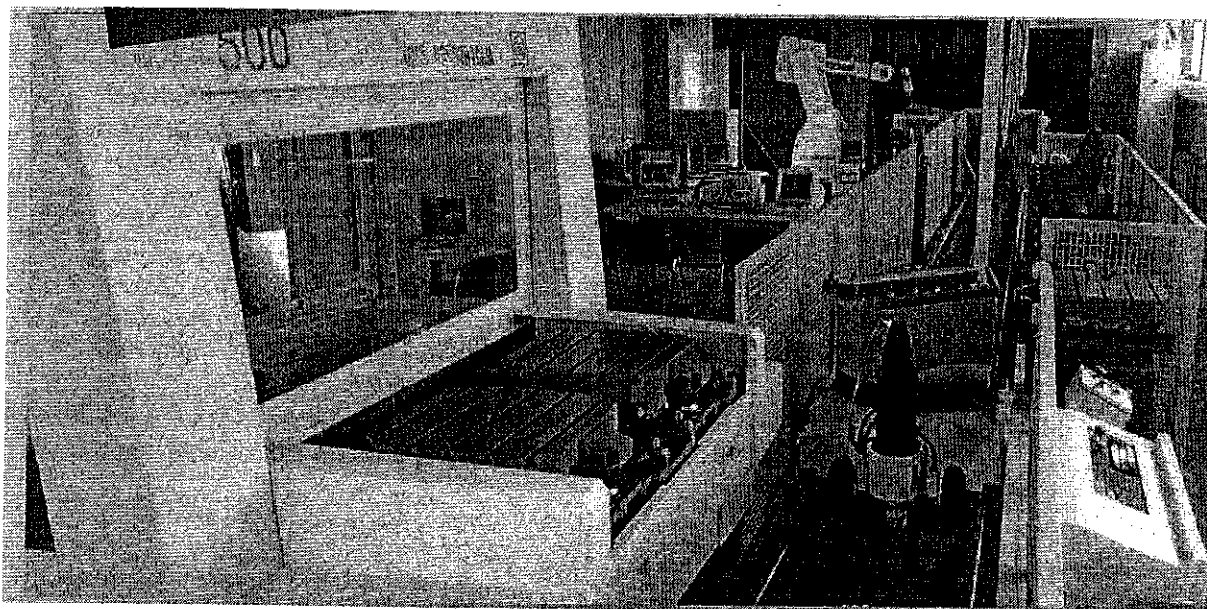
1. UVOD

Globalna definicija proizvodnog mašinstva je postavljena šesdesetih godina, i ona je obuhvatila tadašnja shvatanja, šta je oblast, šta su razvojni pravci i koje naučne discipline čine proizvodno mašinstvo. Poslednjih decenija dolazi do intenzivnog razvoja komplementarnih naučnih oblasti, koje u svojim segmentima doprinose da se integracijom pojedinih modula generišu složeni mašinski sistemi i proizvodi. To je prvenstveno oblast elektronike, upravljačkih sistema, automatike, informatičkih tehnologija, računarskih sistema, novih tehnologija i novih materijala, tako da se definicija proizvodnog mašinstva menja i proširuje. Interdisciplinarnost postaje važan aspekt u istraživačko razvojnim projektima u oblasti proizvodnog mašinstva, simultano inženjerstvo i kontinuitet od koncepcije do potpune realizacije. Razvojni potencijal u našoj industriji nije zadovoljavajući i takav pristup je neophodan da bi instituti koji se bave primenjenim i razvojnim istraživanjima doprineli tehnološkom razvoju Srbije.

¹⁾ prof. dr Ljubomir Lukić, direktor LOLA Instituta u Beogradu, naučni savetnik
prof. dr Mihailo Milojević, predsednik Privredne komore Jugoslavije

2. ZNAČAJ INSTITUTA U TEHNOLOŠKOM RAZVOJU SRBIJE

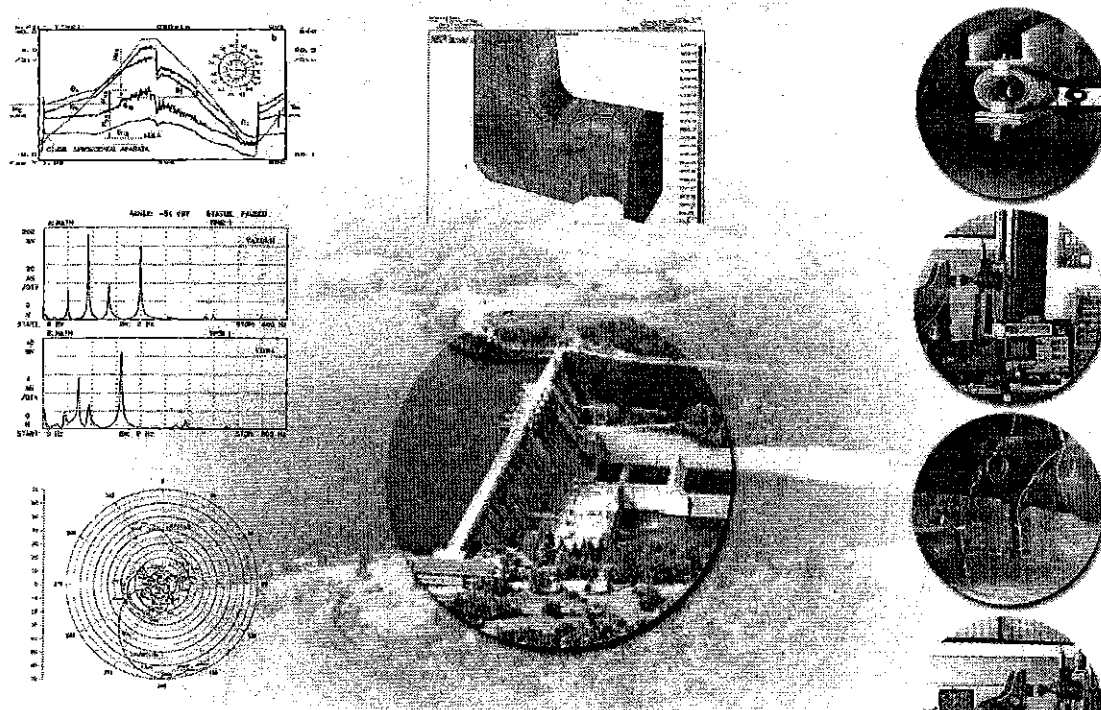
Veoma važno mesto pripada institutima u međuprostoru fakulteti – privreda, a pogotovo onim institutima koji su razvijeni i koji posluju u sastavu velikih industrijskih i privrednih sistema. Pogotovo zbog toga, što su to naučno istraživačke institucije koje realizuju projekte isključivo za potrebe tržišta i koji bez većih teškoća ostvaruju kontinuitet na liniji nauka – razvoj – proizvodnja, za razliku od fakulteta i samostalnih instituta. Pored toga, industrijska preduzeća imaju različite proizvodne programe, osvojen širok spektar proizvodnih tehnologija za proizvodnju sopstvenih proizvoda, i prirodno u svoje institute mogu selektovati najsposobnije kadrove, inventivne i kreativne, različitih stručnih specijalnosti. Takvi instituti su sposobni da konstituišu, organizuju i realizuju složene interdisciplinarnе i integralne projekte. U takvim projektima se stvaraju uslovi za transfer znanja iz oblasti proizvodnog mašinstva u druge oblasti tehnike. LOLA Institut posluje poslednjih petnaest godina, realizujući kompleksne i integralne projekte razvoja alatnih mašina, robotike i fleksibilnih proizvodnih sistema (sl.1), u okviru kojih su razvijena bazna znanja i ostvareni ključni rezultati za druge projekte u oblasti proizvodnog mašinstva, za potrebe industrije, elektroprivrede, naftne i gasne industrije, železničko transportnih preduzeća, Vojske Jugoslavije, i projekte specijalne namene, kao što su akceleratorске tehnologije.



Slika 1.- Laboratorija za fleksibilnu automatizaciju i CIM LOLA Instituta

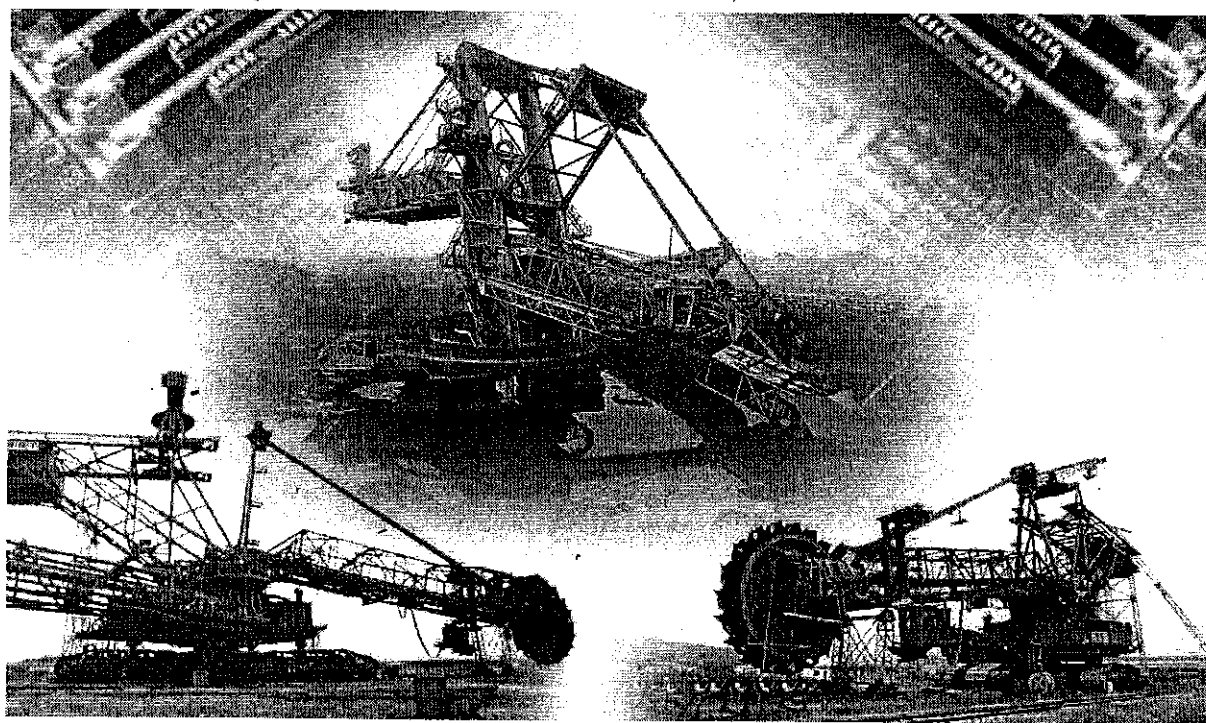
3. PRIMERI REALIZOVANIH REŠENJA LOLA INSTITUTA NA BAZI TRANSFERA ZNANJA IZ OBLASTI PROIZVODNOG MAŠINSTVA U DRUGE OBLASTI TEHNIKE

Analitičke i eksperimentalne metode ispitivanja alatnih mašina, koje su usavršene kroz dugogodišnju implementaciju na kapitalnim mašinskim postrojenjima, primenom savremene merne i računarske opreme, uspešno su primenjene na ispitivanjima stanja hidroagregata na svim hidroelektranama u Jugoslaviji (sl.2). Uglavnom sve naše hidroelektrane su u eksploataciji oko trideset godina i tehnička dijagnostika sa definisanjem optimalnog režima rada, tokom remontnih intervencija, suštinski doprinosi produžavanju veka i maksimalnom iskorišćenju postrojenja.



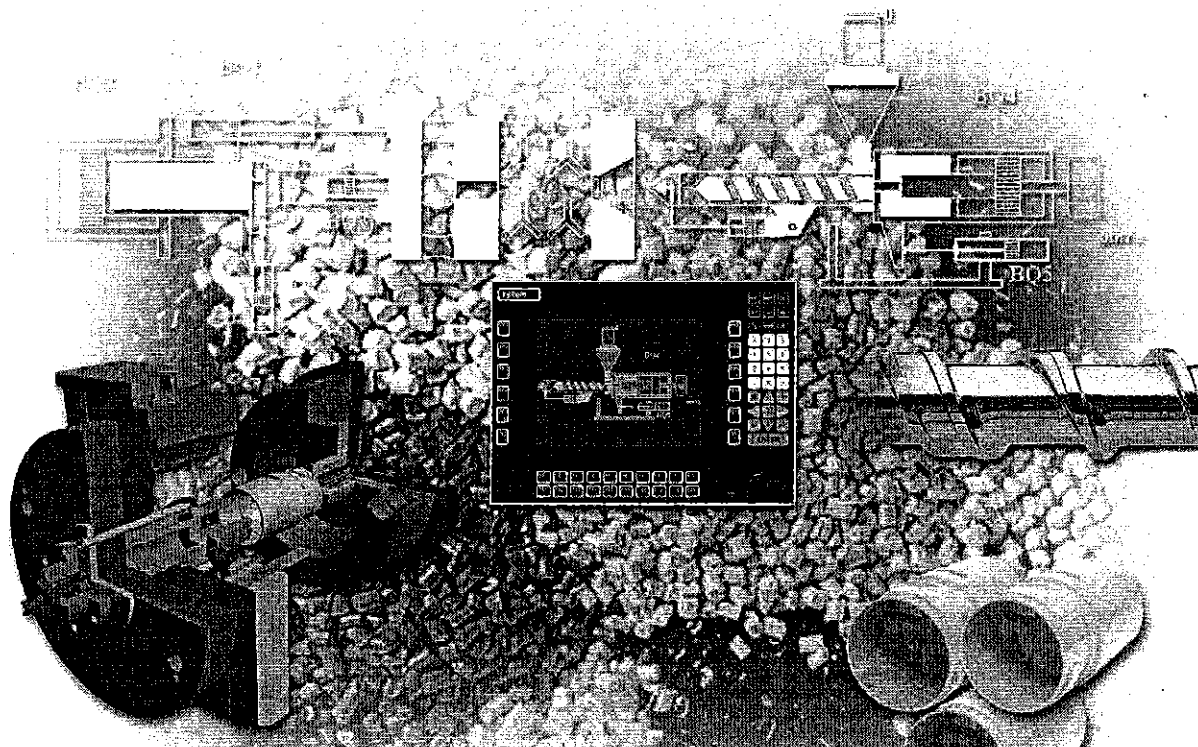
Slika 2.- Sistemska ispitivanja i tehnička dijagnostika na hidroelektranama

Računarsko upravljački sistemi, senzori, kontroleri, elektromotorni pogoni, monitoring i nadzorni sistemi koji su imali inicijalni početak u razvoju robotskih sistema, doveli su i do programa potpune automatizacije i primene računarsko upravljačkih sistema na bagerima za površinske kopove uglja. Realizovani su kapitalni projekti bagera, transportera i odlagača kapaciteta do 3000 m³/sat na površinskim kopovima Kolubare i Kostolca (sl.3).



Slika 3.- Postrojenja bagera, transportera i odlagača SrS2000 na površinskom kopu Tamnava i Drmno

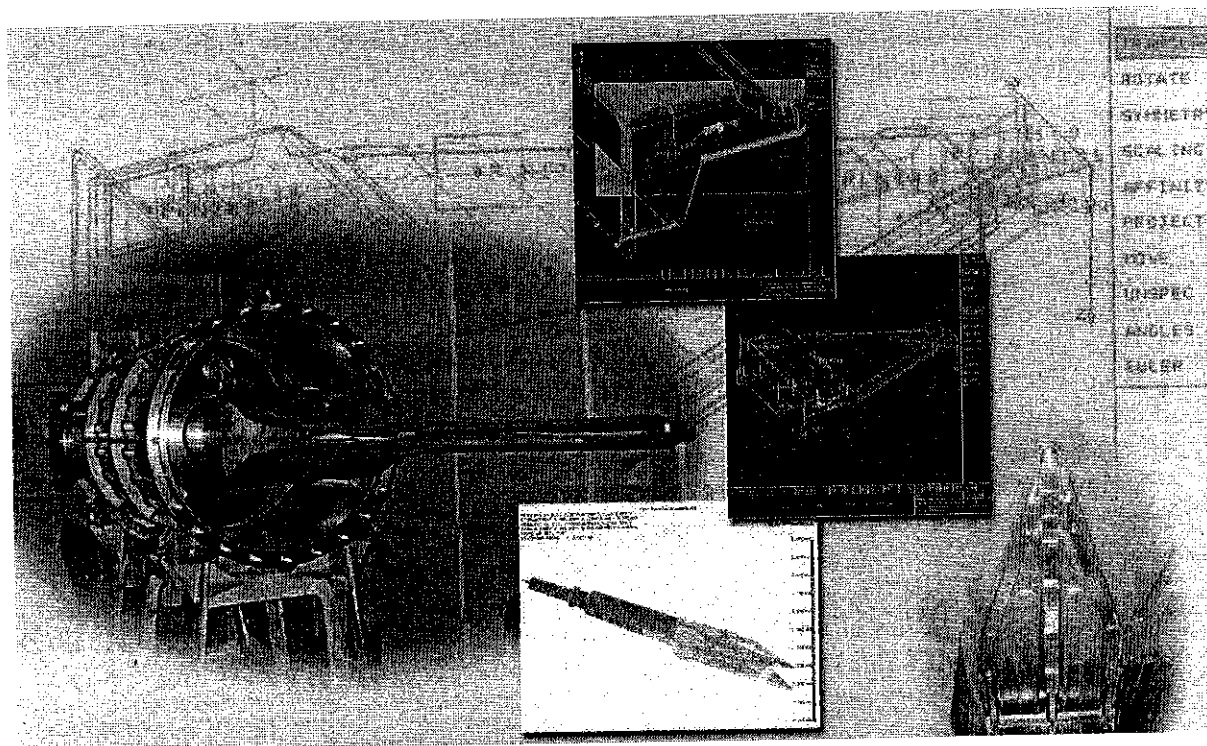
Posebna interdisciplinarnost i integralnost, kao i transfer znanja iz oblasti alatnih mašina iskazana je u realizaciji projekata u oblasti tehnoloških sistema za izradu delova od plastike, koje je LOLA Institut uspešno realizovao (sl.4). Da bi se proizveli delovi od visokokvalitetne plastike, neophodno je posedovati kvalitetnu mašinu za plastiku, a da bi se upravljalo procesom livenja neophodno je imati kontroler koji može upravljati mašinom, kontrolisati i uspostaviti optimalne tehnološke parametre livenja. Da bi se izlio obradak neophodno je imati kvalitetan alat sa upravljivim sistemom hladjenja. Da bi se sve to razvilo i osvojilo, neophodno je primeniti moderne metode proračuna i projektovanja, kao i savremene CAD/CAM sisteme za simulaciju procesa. Postignuti su razvojni rezultati i praktično realizovani u svim ovim segmentima, čime su stvoreni uslovi za intenzivniji tehnološki razvoj u oblasti prerade plastike.



Slika 4.- Program proizvodnih sistema za izradu delova od plastike

Uključenje LOLA Instituta u program akceleratorских tehnologija, kroz realizaciju ciklotrona »Tesla« u Vinči, definitivno je dalo potvrdu da proizvodno mašinstvo predstavlja globalizaciju inženjerstva. Primenom znanja iz oblasti proizvodnog mašinstva razvijen je merni sistem za merenje magnetnog polja ciklotrona u medijalnoj ravni, a na bazi dvoosnog CNC upravljačkog sistema za alatne mašine. Proračun stabilnosti magnetne strukture ciklotrona (240 tona gvozdja na dva oslonca) pod dejstvom sila zemljine teže, elektromagnetnih sila i seizmičkih dejstava uz mikronsku tačnost, realizovan je metodama koje se primenjuju u modalnoj analizi alatnih mašina. Inflektor i radiofrekventni rezonator (sl.5) predstavljaju najsloženije mehaničke sklopove ciklotrona koji su uspešno realizovani i dobili pozitivne ocene najkompetentnijih evropskih eksperata.

Realizacija kapitalnih projekata u širem spektru tehničkih i inženjerskih poduhvata pripada proizvodnom mašinstvu. Realizacija kapitalnih projekata od kojih su navedeni samo neki, daje zadatak da se u narednom periodu modifikuje stara definicija proizvodnog mašinstva, i da se formuliše adekvatno naučnim pravcima za treći milenijum.



Slika 5.- Radiofrekventni rezonator ciklotrona »Tesla« u Vinči

4. ULOGA INSTITUTA U PRIVREDNOM I TEHNOLOŠKOM RAZVOJU SRBIJE

Samo u oblasti proizvodnog mašinstva postoje dva naučna instituta u Srbiji koji posluju u okviru privrednih sistema, i to LOLA Institut u sastavu LOLA korporacije i Institut za bakar u okviru kompleksa RTB Bor. Postoje i instituti u sastavu preduzeća, kao što su Institut Goša u Beogradu, Institut IRIN u Nišu, Institut Zastava automobili u Kragujevcu, Institut IMK »14. oktobar« u Kruševcu, Institut industrije kablova u Jagodini, MIN Institut u Nišu, Institut Sartid 1913 u Smederevu i Zorka Institut u Šapcu. Velika industrijska preduzeća imaju svoje istraživačko razvojne jedinice, kao što su Prva Petoletka u Trsteniku, Sever u Subotici, IMR u Rakovici, Krušik u Valjevu i Mahgnohrom u Kraljevu. Ovi instituti i istraživačko razvojne jedinice su izuzetno važan razvojni potencijal Srbije, i snaga koja mora da iznese revitalizaciju industrije i njen budući razvoj. Oni moraju biti nosioci razvoja proizvoda za svetsko tržište, kreatori razvojnih programa svojih preduzeća, nosioci uvođenja novih tehnologija, glavni nosioci inostrane kooperativne privredne i razvojne saradnje sa preduzećima iz razvijenih zemalja sveta, generatori saradnje sa fakultetima i drugim institutima, selektori inventivnih i kreativnih kadrova i kreatori savremene organizacije svojih preduzeća u skladu sa svetskim trendovima.

5. ZAKLJUČAK

U realizaciji strategije naučnog i tehnološkog razvoja Republike Srbije, naučnoistraživački instituti, koji rade u sastavu industrijskih preduzeća i privrednih sistema, predstavljaju značajan resurs, i glavni oslonac u revitalizaciji i reinženjeringu domaće industrije. Takođe u procesu transfera novih tehnologija u naše fabrike, instituti i naučno istraživačke jedinice, treba da obave ključnu ulogu i doprinesu razvoju novih proizvoda i osvajanju novih tehnologija konkurentnih na svetskom tržištu. Kroz prikaz nekoliko realizovanih veoma

složenih integralnih projekata LOLA Instituta, i rezultata koji su ostvareni, dokazana je činejnica da je proizvodno mašinstvo – globalizacija inženjerstva i da treba razmišljati o novoj definiciji proizvodnog mašinstva kao naučne oblasti.

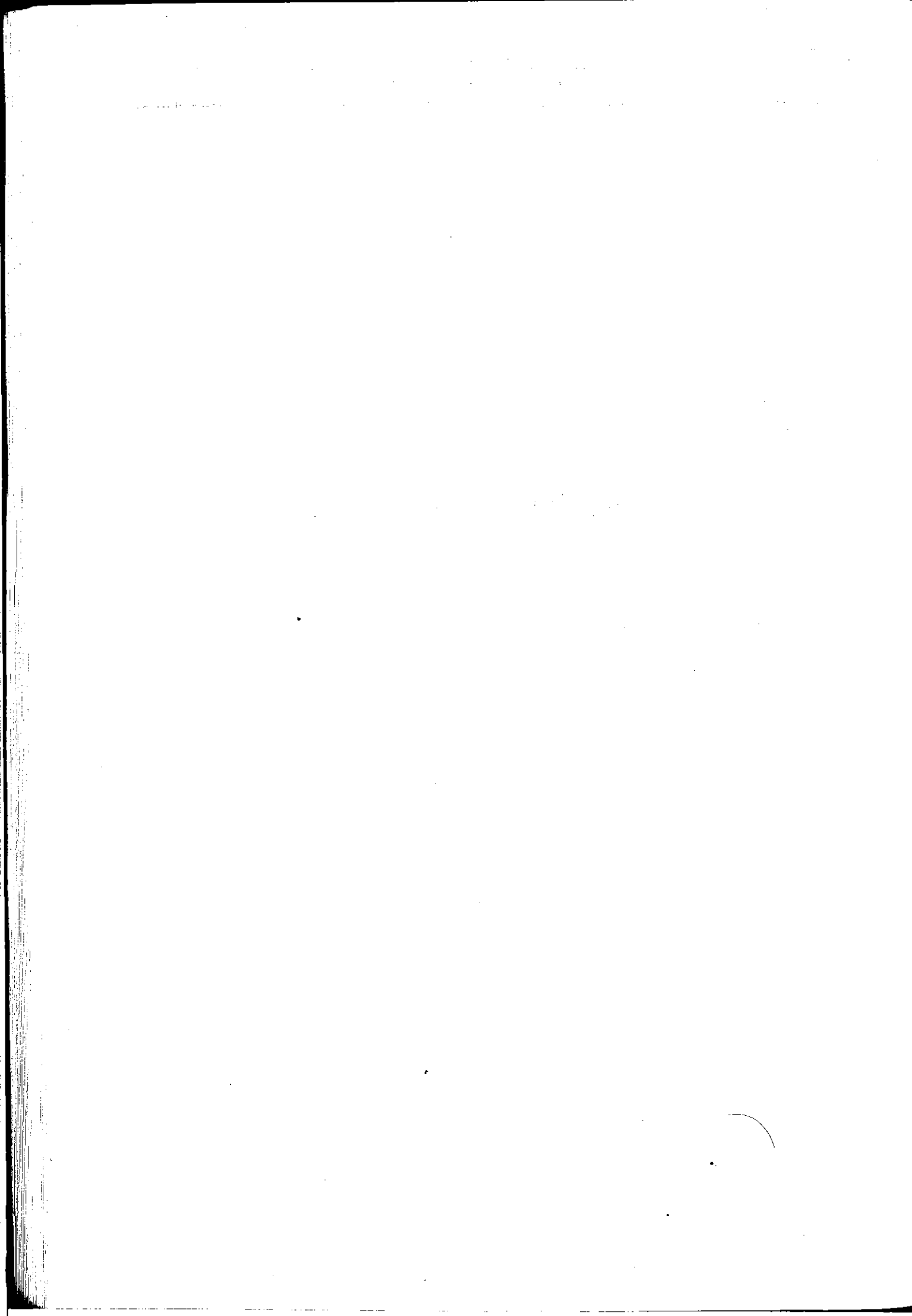
6. LITERATURA

1. 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.
2. Lukić, Lj., Milojević, M., Albijanić, R., Pijevac, T., Radovanović, N.: Interdisciplinarni pristup istraživanju i razvoju u oblasti fleksibilne automatizacije, Zbornik radova 26. međunarodnog savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Podgorica-Budva (1996), str. 565-570.
3. Milojević, M., Lukić, Lj.: Savremeni pristup projektovanju mašina alatki na bazi spektra tehnoloških karakteristika, 27. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš (1998).
4. Albijanić, R., Kalajdžić, M., Bošković, V., Lukić, Lj.: Modal Analysis in the Dynamic Behavior Identification of the Vital Hydrounit Components, International Modal Analysis Conference – IMAC XV, Orlando, USA (1997).



**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.**

1. OBRADA METALA REZANJEM



ISTRAŽIVANJA U OBLASTI OBRADLJIVOSTI TVRDOG METALA¹⁾

Lj. Tanović²⁾

Rezime:

Obradljivost tvrdih metala dijamantskim tocilima obuhvata kompleks tehnoloških pokazatelja koji zavise od hemijskog sastava, strukture i fiziko-mehaničkih svojstava tvrdog metala, karakteristika tocila, režima i metoda brušenja kao i korišćenja sredstva za hlađenje i podmazivanje.

U radu je razmatran uticaj poprečnog pomaka na promenu specifičnog utroška dijamanta pri korišćenju tocila sa organskim vezivom B8 i metalnim MO13 na uzorcima tvrdog metala grupe M i K. Upravo je analizirana i promena efektivne snage brušenja, kao i parametra hrapavosti Ra.

Istraživanja imaju prvenstveno za cilj da utvrde prednost dijamantskog brušenja, kvalitet obrađene površine, eksploataciona svojstva, fenomene kontakta dijamantsko zrno – tvrdi metal, habanje tocila i zahteve u pogledu vezivnog materijala tocila.

1.0 UVOD

Rezna sposobnost dijamantskog tocila, kao i alata od drugih supertvrdih materijala definiše se pokazateljima kao što su: postojanost, (relativni i specifični utrošak dijamanta), koeficijent rezne sposobnosti dijamanta, koeficijent brušenja, proizvodnost, efektivna snaga i otpor brušenja, temperatura, a takođe i kvalitetom obrađene površine. Adekvatan izbor tocila za brušenje tvrdog metala podrazumeva adekvatan izbor kvaliteta dijamantskog zrna, njegovu krupnoću, koncentraciju i vezivno sredstvo. Izborom dijamantskog zrna nedovoljne čvrstoće dolazi do neprekidnog krzanja i drobljenja, što ima kao posledicu neekonomičnost. Za razliku od njih, zrna velike čvrstoće podložna su procesu zatupljenja i izvaljivanju u celosti iz veziva. Fizičko-mehaničko svojstvo veziva je veoma značajno za stabilnost zrna u reznom sloju, reznu sposobnost, postojanost tocila i kvalitet obrađene površine. Ne manji značaj imaju termička svojstva sa intenzitetom toplotnog prenosa i njegovom raspodelom između obratka i tocila. Zahvaljujući promeni osnove veziva legirajućim elementima, korigovanjem antifrikcionih svojstava, moguće je regulisati toplotni proces pri dijamantskom brušenju. Danas se pri brušenju tvrdog metala koriste tocila sa organskim i metalnim vezivom. Tvrdoća organskog veziva (B8) je oko 50 HRB a koeficijent trenja po tvrdom metalu P10 je $\mu = 0.09$, dok je kod metalnog veziva (MO13) tvrdoća 97 HRB a koeficijent trenja po K20 je $\mu = 0.041$. Metalna veziva su bazirana na Cu-Sn i Cu-Al-Zn, pri čemu se u cilju smanjenja čvrstoće kod veziva Cu-Sn uvodi staklo i do 19%. Istraživanja pokazuju da se sila izvaljivanja zrna iz veziva kreće u dijapazonu 7.8 do 9.5 N kod ove grupe. Kako ne bi došlo do zatupljenja tocila

¹⁾ Rezultati rada na projektu 11E08PT1 „Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju razvoja fabrika budućnosti i obezbeđenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašingradnji”.

²⁾ Dr Ljubodrag Tanović, dipl.maš.inž., vanr.prof., Mašinski fakultet, 11000 Beograd, 27. marta 80, taneZalfa.mas.bg.ac.yu.

u osnovi metalnog veziva se nalazi 30% tvrde krte faze, to jest rad tocila u režimu samooštrenja [2,3].

Povećanje krupnoće dijamantskih zrna dovodi do smanjenja broja dinamičkih zrna po jedinici abrazivne površine a time veći presek reznog sloja što rezultira povećanu hrapavost obrađene površine.

Tocila za obradu tvrdog metala u većini slučajeva izrađuje se sa koncentracijom dijamanta 100%, a to podrazumeva prisustvo količine od 4.4 karata dijamanta po 1 cm^3 abrazivnog sloja tocila.

2.0 USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA I DOBIJENI REZULTATI

Proces brušenja je izvođen na reznim pločicama od tvrdog metala grupa M (M10, M20, M40) i K (K05, K10, K20 i K30) u Institutu supertvrdih materijala Nacionalne akademije nauka Ukrajine u Kijevu. U tabeli 1 prikazana su fizičko-mehanička svojstva obrađivanog materijala.

Uslovi izvođenja eksperimenta:

- Mašina – brusilica, model ZA64D ($P = 3 \text{ kW}$),
- Tocilo – 12A2 125×5×3×32 AC2 100/80–B8–100%,
12A2 125×5×3×32 AC6 100/80–MO13–100%,
- Režim brušenja – $V_s = 16 \text{ m/s}$, $V_w = 2 \text{ m/min}$, $Sp = 0.01 - 0.10 \text{ mm/dh}$,
- Obradak – dimenzije 7×5×32 mm,
- SHP – 3% rastvor Na_2CO_3 .

Tabela 1.

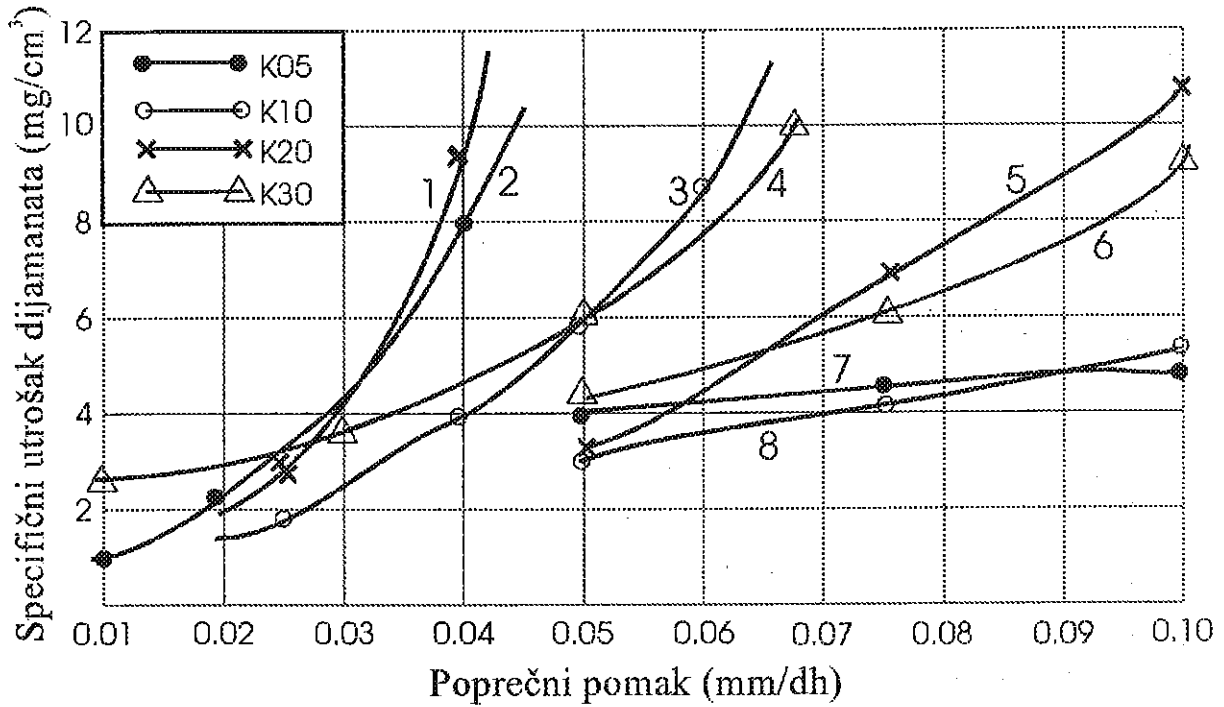
Marka tvrdog metala	05	K10	K15	K20	K25	K30	K35
Pokazatelj							
Gustina, g/cm^3	14.7	14.8	14.6	14.6	13.0	13.6	12.5
Tvrdoća, HRA	90.5	90.1	89.5	87.5	88.5	89.0	89.0
Fazni sastav, WC	88	88	89	89	72	66	37
Rastvor TiC–TaC–WC	–	–	–	–	18	21	50
Faza Co	12	12	11	11	10	13	13
Dimenzije WC, μm	0.5	0.5–1.0	1.0–2.0	3.0–5.0	1.0–2.0	1.0–2.0	1.0–2.0
Sadržaj pora do 50 μm , %	0.2	0.2	0.2	–	0.2	0.2	–

Rezultati ispitivanja obradljivosti navedenih marki tvrdog metala prikazani su na slici 1–2 preko specifičnog utroška dijamanta (odnos mase utrošenog dijamanta i zapremine skinutog materijala) u funkciji poprečnog pomaka (produktivnosti).

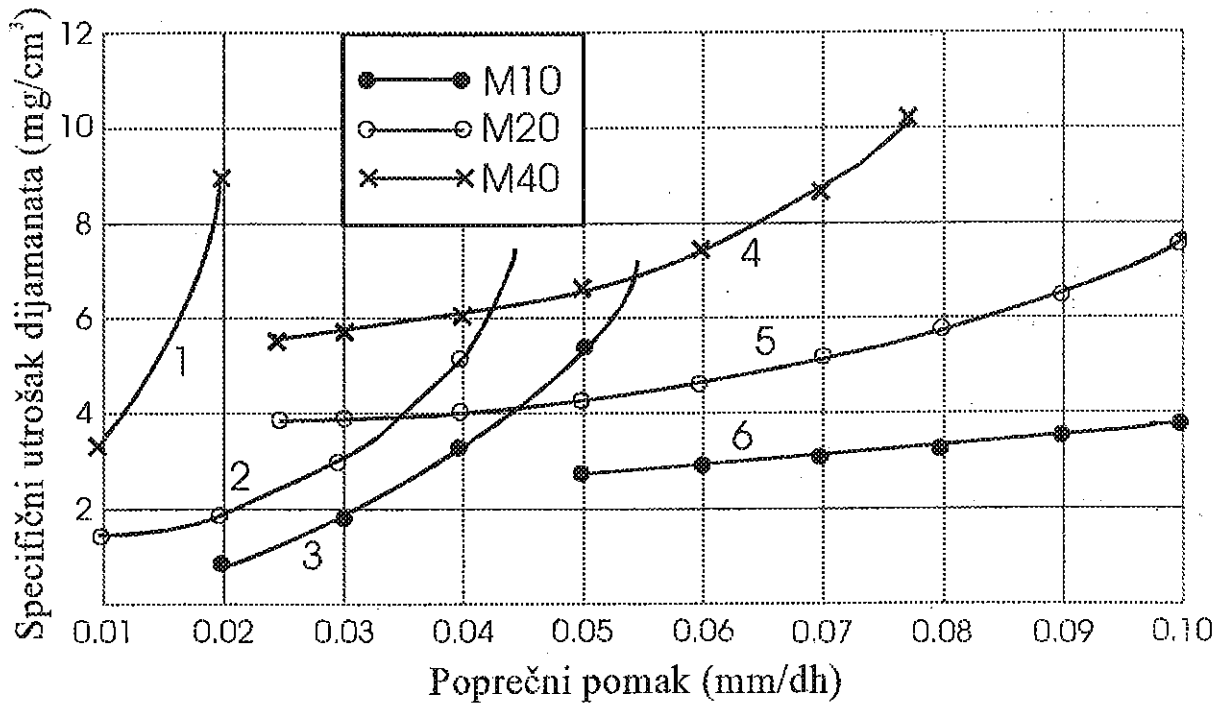
Analiza zavisnosti (sl.1) pokazuje da pri brušenju dijamantskim tocilima, kako sa organskim, tako i sa metalnim vezivom tvrdih metala grupe K sa različitim zrnašću faze WC, specifični utrošak dijamanta nije direktno zavisna. Uticaj obrađivanog tvrdog metala na specifični utrošak dijamanta u većoj meri je zastupljen pri brušenju sa povećanim pomakom kod tocila sa organskim nego metalnim vezivom.

Pri brušenju tvrdog metala grupe M dijamantskim tocilima sa organskim i metalnim vezivom, specifični utrošak dijamanta se povećava sa povećanjem tvrdog rastvora TiC–TaC–WC. to se objašnjava poboljšanjem mehaničkih svojstava kao posledica prisustva navedene karbidne faze. Povećanje kobalta u tvrdom metalu dovodi do smanjenja njegove tvrdoće, veće dubine

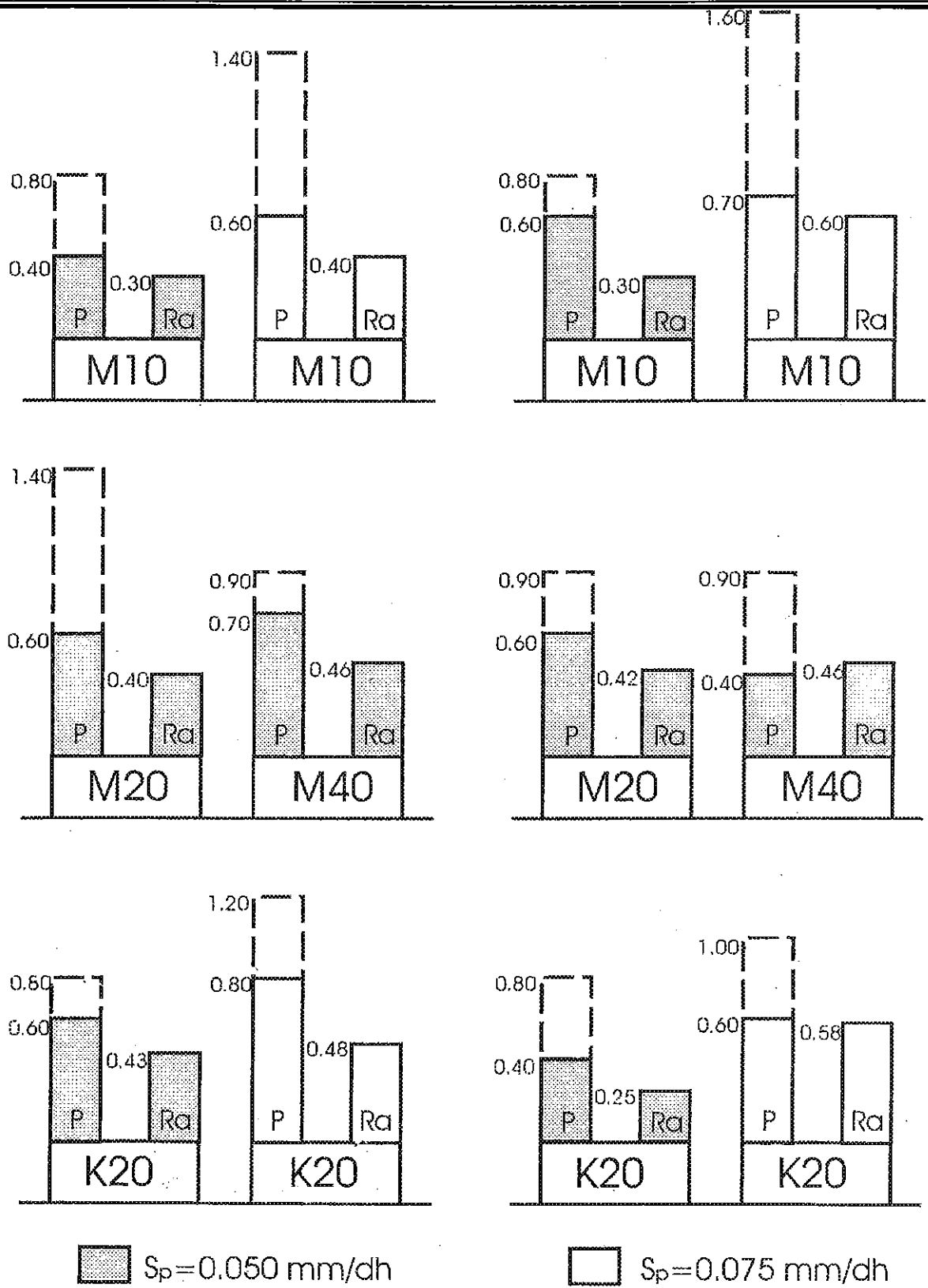
prodiranja dijamantskog zrna i porasta sile rezanja (sl.2). Specifični utrošak dijamanata je u manjoj meri zastupljen pri brušenju tocilima sa metalnim u odnosu na organsko vezivo.



Slika 1. Zavisnost specifičnog utroška dijamanata od poprečnog pomaka pri brušenju tvrdog metala grupe K, za vezivo: B8 - 1,2,3,4; MO13 - 5,6,7,8.



Slika 2. Zavisnost specifičnog utroška dijamanata od poprečnog pomaka pri brušenju tvrdog metala grupe M, za vezivo: B8 - 1,2,3; MO13 - 4,5,6.



(a)

(b)

Slika 3. Promena efektivne snage brušenja P [kW] i parametara hrapavosti Ra [μm] u zavisnosti od pomaka S_p pri brušenju različitih sorti tvrdog metala točilom sa organskim vezivom B8 (a) i metalnim MO13 (b).

Analiza rezultata istraživanja efektivne snage brušenja i parametara hrapavosti Ra prikazana je na slici 3. Pri obradi tvrdih metala točilima sa organskim i metalnim vezivom efektivna snaga brušenja varira u određenom dijazonu što se objašnjava promenom stanja rezne površine točila u procesu sa povećanjem pomaka Sp raste i snaga brušenja. Krupnoća zrna karbida volframa i marka tvrdog metala grupe M ima veliki uticaj na snagu brušenja. Hrapavost obrađene površine u mnogome je zavisna od izbora točila i režima brušenja. Povećanje poprečnog pomaka dovodi do povišenja hrapavosti obrađene površine s tim da je uticaj manji pri brušenju sa organskim u odnosu na metalno vezivo.

3.0 ZAKLJUČAK

- Istraživanje obradljivosti tvrdog metala grupe K i M dijamantskim točilima treba da posluži formiranju normativnih pokazatelja njegove eksploatacije.
- Povećanje poprečnog pomaka kod točila sa organskim vezivom pokazuje veći uticaj specifičnog utroška dijamanta u odnosu na točilo sa metalnim vezivom. Kod tvrdog metala marke K10, pri $Sp = 0.05$ mm/dh, $q_r = 5.8$ mg/cm³ (vezivo B8) a kod MO13 $q_r = 3$ mg/cm³, to jest dva puta veći. Pri obradi tvrdog metala M10 ($Sp = 0.05$ mm/dh, B8) specifični utrošak dijamanta je $q_r = 5.5$ mg/cm³. Promena veziva na MO13 pri istim uslovima uslovljava $q_r = 2.6$ mg/cm³, to jest manji utrošak dijamanta.
- Povećanje pomaka $Sp = 0.05 - 0.075$ mm/dh uslovljava porast efektivne snage brušenja $P_{MAX} = 0.8 - 1.40$ kW (M10); $P_{MAX} = 0.80 - 1.20$ kW (K20) pri korišćenju točila sa organskim vezivom. Pri istim uslovima uočava se i porast parametra hrapavosti Ra do 30%. Korišćenje točila sa metalnim vezivom dovodi do porasta parametra hrapavosti Ra i to: $Ra = 0.30 - 0.60$ μm (M10); $Ra = 0.25 - 0.58$ μm (K20).

4.0 LITERATURA

- [1] Malkin, S., Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives, John Wiley & Sons, New York.
- [2] Zaharenko, I.P., Osnovf almaznoy obrabotki tverdosplavnogo instrumenta, Naukova dumka, Kiev, 1981.
- [3] Rf'bickiy, V.A., Almaznoe {lifovanie tverdf'h splavov, Naukova dumka, Kiev, 1980.
- [4] Tonshoff, H.K., Arendt, C., Ben Amor, R., Cutting Hardened Steel, Annals of the CIRP, Vol 49/2, 2000, s. 1-19.

RESEARCHES IN THE FIELD OF HARD METAL MACHINABILITY

Summary

Machinability of hard metals by the use of the grinding wheels include complex of technological indicators which depend on chemical composition structure and physical-mechanical characteristics of hard metal, grinding wheels, regime and grinding methods as well as the use of cooling and lubrication agents.

This paper considers the influence of cross-feed on the change of specific diamond consumption when using grinding wheels with organic binder B8 and metal MO13 on samples of hard metal of the M and K group. At the same time, the change of effective grinding power as well as roughness parameter Ra is analysed.

Researches aim to find out the phenomena of diamond grain-hard metal contact at first place, wearing of the grinding wheel and requirements in the field of binding material of the grinding wheel.

MIKROSKOPSKA ISPITIVANJA KORENA STRUGOTINE LEGURA BAKRA I KERAMIKE

L. Šidjanin, P. Kovač, J. Fišl, Z. Gabrić¹⁾

Rezime

U radu su ispitivani koren strugotine legura bakra i keramike. Koren strugotine dobijen je glodanjem primenom metode brzog zaustavljanja ("quick-stop" method) koja je razvijena na Institutu za proizvodno mašinstvo, FTN u Novom Sadu.

Proces stvaranja strugotine kod legura bakra je proces intenzivne plastične deformacije praćen delimičnim ili potpunim lomom usled koalescencije unutrašnjih mikrošupljina i mikroprslina koje se stvaraju u primarnoj zoni smicanja, odnosno u njenoj neposrednoj blizini. Na taj način formiraju se kvazikontinuirane ili diskontinuirane strugotine.

Za razliku od legura bakra pri rezanju keramike, Ti_3SiC_2 proizvedene na Department of Materials Engineering, Drexel University USA, u primarnoj zoni smicanja se umesto standardne strugotine stvara strugotina u vidu praha na način uočen pri obradi grafita. Veoma pažljivom obradom koren strugotine je ipak dobijen i na njemu se vidi da je strugotina u vidu praha rezultat isključivo dejstva mehanizma loma ne samo u primarnoj i sekundarnoj smicajnoj zoni nego i na neobrađenoj površini.

UVOD

U inženjerskoj praksi kada se kaže mašinska obrada rezanjem podrazumeva se pre svega proces pri kom dolazi do formiranja strugotine. Najveći deo te obrade je namenjen oblikovanju metala i legura, ali se ranije koristilo i u smislu obrade drveta i kostiju a danas i mnogih drugih materijala koa što su plastika i keramika.

Tokom godina istraživači su težili da izrade model koji će predvideti ponašanje materijala pri obradi rezanjem posmatranjem "post factum" stanja uzimajući u obzir brzinu i silu rezanja i geometriju tečenja u okolini alata [1-3]. Iako ti modeli postižu visok stepen sofisticiranosti, oni ipak ignorišu osobine materijala ili u najboljem slučaju uzimaju u obzir najjednostavnije podatke kao što su zavisnost napon-deformacija pri zateznom opterećenju ili tvrdoća, koji najčešće predstavljaju jedine pristupačne podatke. Verovatno je to bit, poteškoća pri opisu ponašanja materijala u toku obrade.

Ovaj rad predstavlja deo kotinuiranog programa istraživanja uticaja sastava i mikrostrukture materijala u procesu formiranja strugotine u toku obrade koji je iniciran na Institutu za proizvodno mašinstvo, FTN, u Novom Sadu.

¹⁾ Prof. Dr. Leosava Šidjanin, Prof. Dr. Pavel Kovač, Mr. Julija Fišl, Dipl. Ing. Zoran Gabrić
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.

MATERIJAL I EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

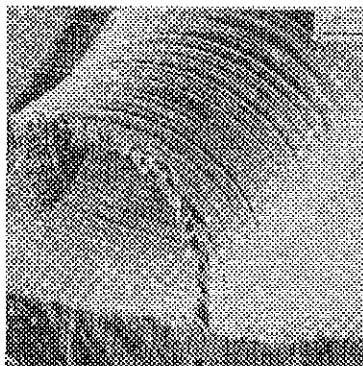
Materijali koji su korišćeni pri ispitivanju su: i) α/β mesing sa 39% Zn; ii) kalajna bronza sa 14% Sn livena u pesku i centrifugalno livena; i iii) Ti_3SiC_2 keramika proizvedena na Departement of Materials Engineering, Drexel Univerisity [4], USA.

Svi testovi rezanjem izvedeni su bez podmazivanja, na vazduhu, koristeći "quick-stop" metod koji su razvili autori ovog rada [5], koji je dovoljno brz da "zamrzne" stanje u procesu rezanja. Pri izradi uzoraka je korišćena vertikalna glodalica snage 12kW.

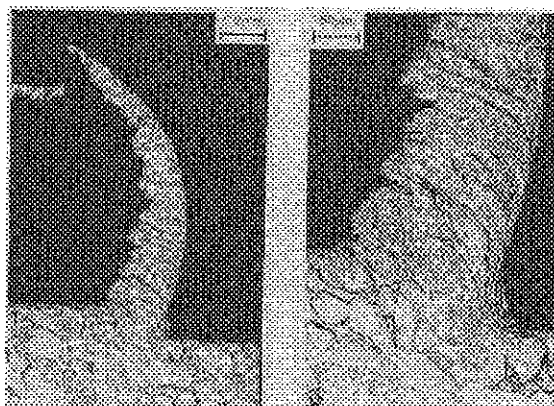
Za mikrostrukturnu analizu, uzorci su pripremani za svetlosno i skening elektronsko mikroskopsko posmatranje standardnom metalografskom tehnikom i ispitivani su Leitz-ovim svetlosnim mikroskopom (LM) i Jeal JSM 35 skening elektronskim mikroskopom (SEM) pri naponu od 25 kW.

REZULTATI I DISKUSIJA

Proces obrade rezanjem α/β mesinga i kalajne bronzne sa parametrima rezanja koji se standardno koriste u inženjerskoj praksi je u suštini proces intenzivne plastične deformacije i loma u materijalu. Pri tim standardnim brzinama rezanja, dobija se kvazikontinuirana i diskontinuirana strugotina, sa i bez formiranja naslaga (BUE), slika 1(a-c) i 2(a-d). Kod α/β mesinga i kalajne bronzne centrifugalno livene dobija se kvazikontinuirana strugotina (slika 1(a-c) i 2(c,d)) dok se kod kalajne broze livene u pesku dobija diskontinuirana (lomljena) strugotina (slika 2a,b).

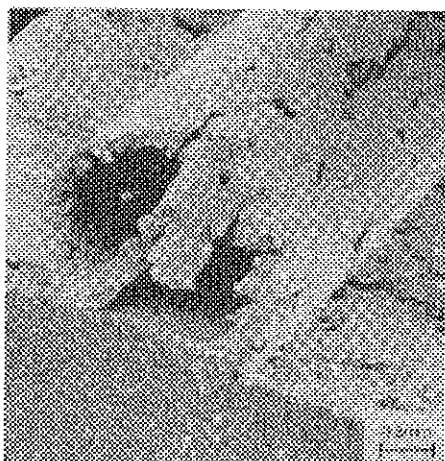


a) Uzorak korena strugotine (SEM)

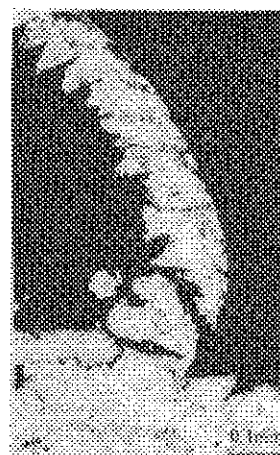


b,c) Uzorak korena strugotine dobijen "quick stop" metodom (LM)

Slika 1(a-c) Obrada α/β mesinga

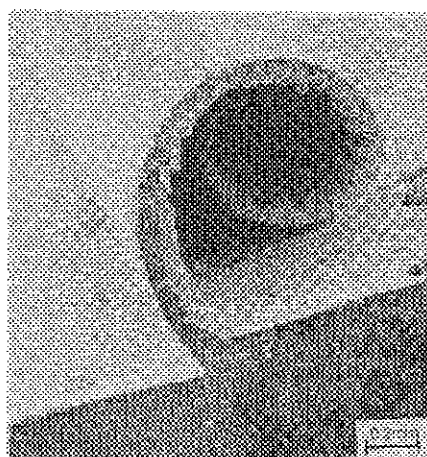


a) Uzorak korena strugotine (SEM)

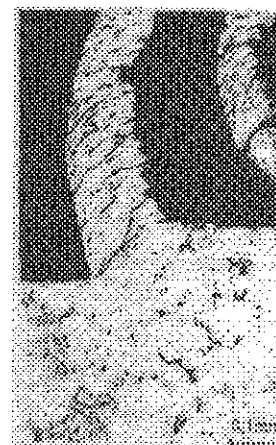


b) Uzorak krena strugotine dobijen "quick stop" metodom

a,b) Kalajna bronza livena u pesku



c) Uzorak korena strugotine (SEM)



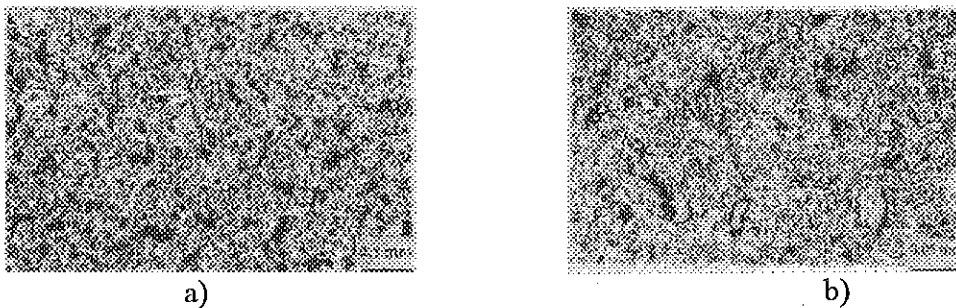
d) Uzorak krena strugotine dobijen "quick stop" metodom (LM)

c,d) Kalajna bronza centrifugalno livena

Slika 2(a-d) Obrada rezanjem kalajne bronze

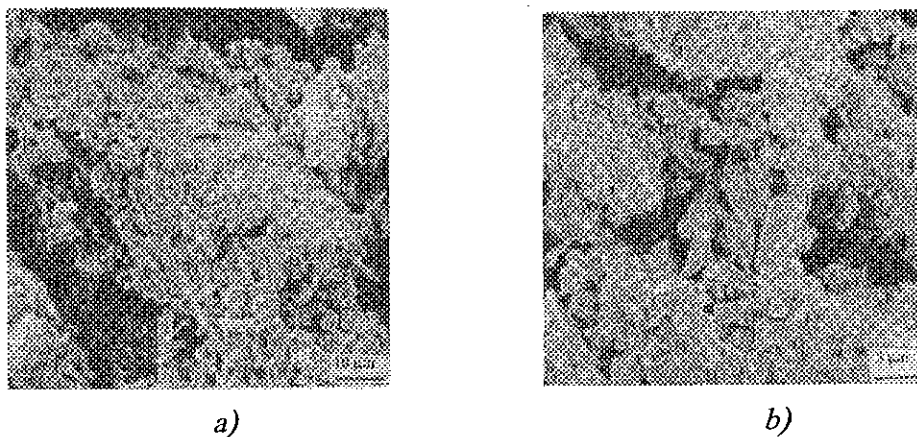
Kod kontinuiranih uzoraka strugotina, strugotina se formira uz proces intenzivne plastične deformacije koja je praćena mestimičnim mehanizmom loma stvarajući interne mikrošupljine i mikroprslina unutar ili u blizini primarne zone smicanja. Kod α/β mesinga mikrošupljine i mikroprslina se stvaraju na graničnoj površini α/β faza dok kod kalajne bronze u eutektoidu na česticama δ faze. Kod kalajne bronze livene u pesku zbog sporijeg hladjenja u odnosu na centrifugalno livene, količina eutektoida je veća, a raspored je u vidu zatvorene mreže. Prisustvo mreže eutektoida omogućava koalescenciju mikrošupljina nastalih na δ fazi, odnosno omogućava stvaranje diskontinuirane strugotine, slika 2(a,b).

Na slici 3(a,b) prikazana je mikrostruktura Ti_3SiC_2 keramike u nagriženom stanju snimljena svetlosnim mikroskopom.

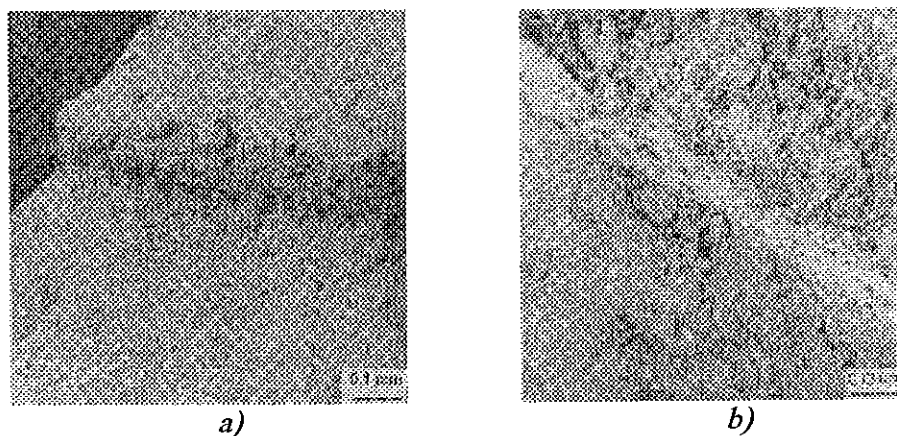


Slika 3(a,b) Mikrostruktura Ti_3SiC_2 u nagriženom stanju (LM)

U slučaju obrade keramike Ti_3SiC_2 , javlja se strugotina u vidu praha, slika 4(a,b).



Slika 4(a,b) Uzorak strugotine keramike Ti_3SiC_2 u vidu praha (SEM)



Slika 5(a,b) Uzorak korena strugotine keramike Ti_3SiC_2 (SEM)

Medjutim, veoma pažljivom obradom rezanjem ipak je dobijen uzorak korena strugotine, slika 5(a,b).

Za razliku od uzoraka α/β mesinga i kalajne bronzne kod uzoraka Ti_3SiC_2 keramike pod dejstvom napona u zoni smicanja dolazi do loma materijala bez prethodne intenzivne plastične deformacije. Lom se javlja i u primarnoj i u sekundarnoj zoni smicanja koja prati proces obrade, ali je takodje uočen i na neobradjenoj površini uzorka kao posledica pritiska koji vrši alat, slika 6(a,b). Usled toga i obradjena i neobradjena površina uzorka učestvuje u formiranju strugotine u vidu praha.



a) b)
Slika 6(a,b) Uzorak korena strugotine keramike Ti_3SiC_2 (SEM)

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata mogu se doneti sledeći zaključci:

1. Pri obradi α/β mesinga i kalajne bronzne formira se kvazikontinuirana i diskontinuirana strugotina sa i bez BUE. Formiranje strugotine sa značajnom plastičnom deformacijom praćeno je parcijalnim (delimičnim) ili potpunim lomom unutar ili u blizini zone smicanja.
2. U toku obrade Ti_3SiC_2 keramike uočena je strugotina u vidu praha. Međutim, veoma pažljivom obradom, postiglo se da se u ovom slučaju dobije uzorak krena strugotine koji pokazuje da je koren strugotine nastao usled loma bez prethodne plastične deformacije.

LITERATURA

1. M.E. Merchant. And H. Ernest.: "Chip Formation, Friction and Finish", The Cincinnati Machine Co., Cincinnati, Ohio 1954, 4.
2. M. Kronberg: "Machining Sciences and Application, Mechanic of Metal Cutting", Pergamon Press, Oxford, 1966, 3-45.
3. N.N. Zorev, Metal Cutting Mechanics, Pergamon Press, Oxford, 1966, 245-256.
4. M.W. Barsoum and T.El-Raghz, J.Am.Ceram.Soc., 1996, 79 [71] 1953-1956.
5. L. Šidjanin and P. Kovač, Mater.Sci. Technol., 1997, 13, 439-444.

ABSTRACT

This paper describes microstructural observation which have been made on quick-stop sectioned samples of the chip formation, either on metals (brass and tin bronze), or on Ti_3SiC_2 ceramic fabricated by Department of Materials Engineering, Drexel University, USA. All milling tests were carried out dry, using one "quick-stop" method developed by the authors. For microstructural analysis samples were prepared by standard metallographic technique and examined with a Leitz light microscope and Jeol JSM 35 scanning electron microscope (SEM) operating at 25kV.

Machining, in the practical cutting test speed range, of α/β brass with 39% Zn and tin bronze with 14%Sn, showed quasi-continuous and discontinuous chips with and without built-up edge (BUE) formation. In those specimens, the chip formation is due to large strain deformation process accompanied by partial fracturing due to internal cracking and voiding within or near the primary shear zone.

In addition to above results, when Ti_3SiC_2 was machined with the same practical cutting tests, only powder-like chips were noted. However, when very careful machining was performed the chip pattern was also observed. The fracture is not only present in primary and secondary shear zone following machining, but it was also observed in the uncut surfaces of the sample as a consequence of the tool pressure.

Филатов Ю. Д., Горбачев Г. Ф., Сидорко В. И., Крамар В. Г., Скрыбин В. В.¹⁾

ПОЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резюме

Приведены результаты исследования закономерностей процесса полирования алюмосиликатных материалов на основе изучения гидромеханического взаимодействия инструмента и детали и кластерной модели износа взаимодействующих поверхностей. Показано, что при уменьшении расхода технологической среды производительность полирования существенно возрастает без заметного ухудшения качества обработанных поверхностей.

Ключевые слова: процесс полирования, алюмосиликатные материалы, гидромеханическое взаимодействие, полировальный инструмент, кластерная модель износа, расход технологической среды, производительность полирования.

1. ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени большинство изделий из структурно-неоднородных алюмосиликатных материалов (природных строительных и поделочных камней, плавленого базальта, ситаллов, синтетических камней и т.п.) полируются при помощи суспензий и паст на основе алмазов, оксида хрома и диоксида церия. При такой технологии обработки указанных материалов производительность процесса полирования - низкая, а качество обработанных поверхностей не удовлетворяет требованиям мировых стандартов. При этом расход полировальных порошков в зависимости от обрабатываемого материала и размеров изделия оценивается величинами до 100 г на 1 кв. метр. Однако, несовершенство указанной технологии обработки алюмосиликатных материалов не ограничивается экономическими проблемами, связанными с большой трудоемкостью полирования, энерго- и материалоемкостью, а обуславливает еще более существенные проблемы, связанные с экологией. Это - использование и утилизация токсичных полировальных порошков (оксида хрома и др.), а значит и необходимость осуществления мер по защите здоровья работающих и уменьшению загрязнения окружающей среды.

В последние годы Институтом сверхтвердых на основе исследования механизма процесса полирования кремнеземсодержащих материалов, в частности кварца и оптического стекла,

¹⁾Филатов Ю. Д., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
Горбачев Г. Ф., кандидат физ.-мат. наук, заведующий отделом Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,
Сидорко В. И., кандидат технических наук, главный инженер Института сверхтвердых материалов НАН Украины,
Крамар В. Г., аспирант Института сверхтвердых материалов НАН Украины,
Скрыбин В. В., аспирант Института сверхтвердых материалов НАН Украины

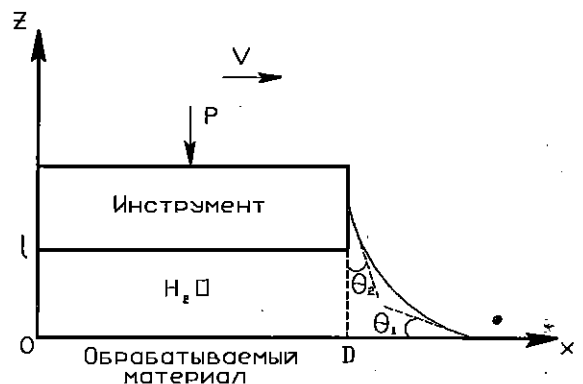
разработан высокоэффективный прецизионный инструмент со связанным полировальным порошком на основе оксидов редкоземельных металлов. При полировании алюмосиликатных материалов этот инструмент обеспечивает возможность получения поверхности идеального качества. Однако, производительность этого процесса - недостаточна, а использование указанного инструмента на интенсивных режимах - невозможно из-за его низких прочностных характеристик.

Таким образом, несмотря на имеющуюся принципиальную возможность получения высококачественной поверхности алюмосиликатных материалов, разработка инструмента и технологии полирования, обеспечивающих достаточную производительность обработки является актуальной проблемой.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Кластерная модель износа поверхностей инструмента и обрабатываемой детали [1] разработана применительно к равновесному процессу полирования кремнеземсодержащих материалов инструментом со связанным полировальным порошком. В этом случае давление p_g внутри технологической жидкости (СОТС), находящейся в зазоре между инструментом и деталью на площади их контакта, в точности равно номинальному давлению прижима инструмента к обрабатываемой детали p_a . В связи с этим непосредственное применение кластерной модели к неравновесному процессу полирования, когда $p_g \neq p_a$, в общем случае неправомерно.

Рассмотрим гидродинамическое взаимодействие плоских поверхностей инструмента и детали в процессе полирования (рис. 1). Схема полирования кремнезем- и глиноземсодержащих природных и искусственных материалов (оптических деталей, изделий из строительных и поделочных камней, ситаллов и керамического гранита и т.п.) такова, что фактически можно считать, что через зазор между поверхностями инструмента и обрабатываемой детали течет жидкость (СОТС).



Поведение жидкости при обтекании поверхности рассмотрено в гидромеханике. Рис.1 Схема взаимодействия инструмента и обрабатываемой детали

[2]. Известно, что при больших числах Рейнольдса формируется пограничный слой, состоящий из ламинарного, переходного и турбулентного участков.

Для процесса полирования указанных деталей характерны следующие условия: угловая скорость вращения инструмента $\omega_2 = 30 \text{ с}^{-1}$ (частота - около 300 об/мин), давление прижима инструмента к обрабатываемой детали $p_a = 0,05 \text{ МПа}$, диаметр инструмента $D = 0,16 - 0,32 \text{ м}$, в качестве СОТС используется вода (динамическая вязкость при нормальных условиях $\eta = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, кинематическая вязкость $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$). Число Рейнольдса для указанных условий течения жидкости в соответствии с формулой Блазиуса [2]: $Re_L = U L / \nu$, в которой U - скорость движения жидкости, $L = D$. При $Re_L \geq Re_{кр} = 3,5 \cdot 10^5$ формируется переходной пограничный слой, то есть наблюдается переход от ламинарного течения к турбулентному. Это означает, что при скоростях, удовлетворяющих неравенству $U \geq Re_{кр} \nu / D$, поток жидкости через зазор между инструментом и обрабатываемой деталью - турбулентный (для $D = 0,16 \text{ м}$, $U \geq 1,88 \text{ м/с}$, что

соответствует круговым зонам инструмента с радиус-вектором $r > r_0 = 62,5$ мм; для $D = 0,25$ м, $U \geq 1,4$ м/с, $r > r_0 = 47$ мм; для $D = 0,32$, $U \geq 1,1$ м/с, $r > r_0 = 36$ мм).

Таким образом, исходя из гидромеханических соотношений, показано, что в процессе полирования, возникают условия для турбулентного течения СОТС через зазор между инструментом и обрабатываемой деталью. При уменьшении количества СОТС из-за сильной завихренности потока жидкости и понижения давления при больших местных скоростях в ее потоке, может наблюдаться и явление гидродинамической кавитации [2].

Из этого следует, что при неравновесном процессе полирования в жидкости возникают разрывы сплошности, непрерывная водяная пленка в зазоре инструмента и обрабатываемой детали превращается в дискретный набор капель. Это приводит к изменению условий взаимодействия СОТС с поверхностями инструмента и обрабатываемой детали.

Рассмотрим гидродинамическую схему контакта поверхностей инструмента и обрабатываемой детали применительно к неравновесному процессу полирования (рис.2.) по аналогии с [1]. Определяя полную силу, искривляющую поверхность жидкости вследствие ее поверхностного натяжения и вязкости, как $F = - \pi RT$, а давление под искривленной поверхностью как $p_g = F / \pi r_i$ ($T = \sigma (\cos \vartheta_1 + \cos \vartheta_2) - 2 \eta V$, R -радиус пятна контакта, V -скорость поступательного перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности; ϑ_1, ϑ_2 - углы смачивания СОТС

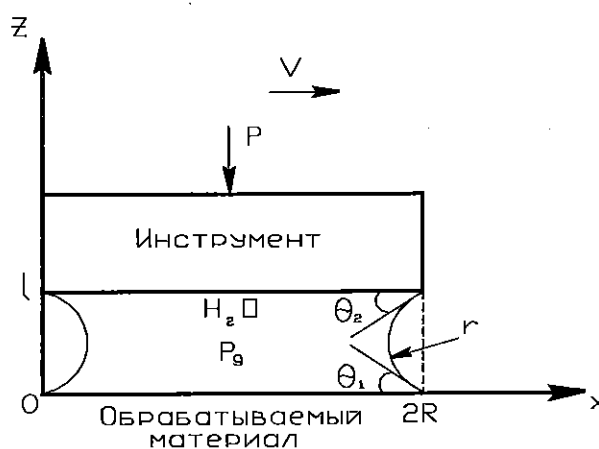


Рис. 2 Схема взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью в неравновесном процессе полирования

поверхностей детали и инструмента; σ - коэффициент поверхностного натяжения СОТС) и и находя радиус искривления r ; поверхности отдельной капли СОТС из геометрических соображений, можно показать, что давление жидкости под искривленной поверхностью капель, находящихся в зазоре толщиной l между элементарными участками контактирующих поверхностей, определяется формулой:

$$p_g = - (R T / l^2) \{ (\sin \vartheta_1 + \sin \vartheta_2) / \operatorname{tg} [(\vartheta_1 + \vartheta_2) / 2] \}^2 \quad (1)$$

С другой стороны, исходя из равенства сил, действующих на инструмент за счет принудительного прижима и со стороны жидкости, при допущении об равенстве размеров всех капель жидкости, можно показать, что при произвольном числе капель k справедливо соотношение:

$$p_g / p_a = (R_2 / R)^2 k^{-1} \quad (2)$$

где $R_2 = D/2$ - радиус инструмента.

Рассмотрим теперь движение СОТС в зазоре между вращающимся инструментом и обрабатываемой поверхностью детали при допущении о несжимаемости жидкости (плотность $\rho = \operatorname{const}$), для чего воспользуемся уравнениями Навье-Стокса и неразрывности [2]:

$$dU / dt = F_m - (1 / \rho) \operatorname{grad} p + \nu \nabla^2 U \quad (3)$$

$$\operatorname{div} U = 0, \quad (4)$$

где: F_m - массовые силы, p - давление, ∇^2 - оператор Лапласа, t - время.

В связи с тем, что в данном случае движение нельзя считать стационарным, воспользуемся уравнением для траектории движения капли жидкости под действием центробежной силы ($F_m = \omega_2^2 r$) [3] в полярной системе координат с полюсом, расположенным в точке пересечения оси вращения инструмента с поверхностью обрабатываемой детали, которое может быть представлено в виде: $r = (d/2) \exp [n\omega_2 t]$ (d - диаметр центрального отверстия инструмента, n - параметр, зависящий от ω_2). Тогда $U = dr/dt = n\omega_2 r$, $dU/dt = (n\omega_2)^2 r$ и уравнение (3) при обозначении $\lambda = (1 - n^2) \omega_2^2 \rho$ и $\text{grad } p = dp/dr = \Delta p/r$, с учетом осесимметричности задачи в цилиндрической системе координат можно записать в виде:

$$\partial/\partial r (r \partial U/\partial r) + (\lambda/\eta) r^2 - (\Delta p/\eta) = 0 \quad (5)$$

Интегрируя (5) при граничных условиях: если $r = d/2$, то $U = n\omega_2 d/2$, если $r = D/2$, то $U = n\omega_2 D/2$, и учитывая, что движение жидкости в данном случае происходит, главным образом, за счет центробежных сил (при отсутствии вращения инструмента течение жидкости происходит в ламинарном режиме, без напора), а не за счет перепада давления, можно получить решение уравнения в виде:

$$U(r) = [\lambda(D^3 - d^3)/72\eta + n\omega_2(D-d)/2][\ln(2r/d)/\ln(D/d)] + \lambda(d^3/8 - r^3)/9\eta + n\omega_2 d/2 \quad (6)$$

Анализ полученной зависимости показывает, что скорость капельной жидкости при движении в направлении от центрального отверстия к периферии инструмента возрастает. Площадь сечения потока жидкости, определяемая как $S(r) = 2\pi r l(r)$, также возрастает. При непрерывном стационарном течении жидкости, из уравнения расхода [2] следовало бы, что толщина слоя жидкости при увеличении r уменьшается. Для характеристики объема жидкости в различных зонах контакта инструмента и обрабатываемой детали введем величину эффективной толщины капли в соответствии с формулой: $l^* = (d/2)(l_0 U(d/2)/r U(r))$.

Используем формулу (6) для расчета расхода СОТС в процессе полирования плоской поверхности по рассматриваемой схеме. Расход жидкости находим, исходя из формулы $Q(r) = S^*(r)U(r)$, воспользовавшись усредненными значениями в соответствии с теорией осреднения, используемой в математических моделях турбулентных течений и предусматривающей усреднение скоростей по времени. Мы же проведем усреднение по координатной переменной - r . Тогда:

$$Q = [4\pi/(D-d)]^{D/2} \int_{d/2}^{D/2} U(r) l^* r dr \quad (7)$$

В результате расчета на ПЭВМ показано, что при $n = 1$, $l = 1$ мкм, $d = 50$ мм, $D = 160$ мм, величина расхода СОТС составляет величину порядка 7 мл/мин. При таком расходе жидкости у центрального отверстия инструмента условия течения СОТС будут точно такими же, как в равновесном процессе полирования, поток будет непрерывным, давление внутри жидкости будет равным давлению прижима инструмента к обрабатываемой детали, $l = l_0$. В зазоре на площади контакта поток будет прерывный, состоящий из отдельных капель, давление жидкости внутри которых p_g . Для расчета величины этого давления определим объем жидкости в зазоре W как произведение расхода Q на время движения капель от центрального отверстия ($t = 0$, $r = d/2$) до края инструмента T ($t = T$, $r = D/2$). Из уравнения для r следует, что величина T равна $T = \ln(D/d)/n\omega_2$. С другой стороны объем жидкости W может быть определен как произведение объема одной капли (рис. 2), форму которой можно считать цилиндрической, на число капель k , то есть $W = \pi R^2 l k$. Отсюда следует, что произведение $k R^2$, входящее в формулу (2), равно $Q T / \pi l_0$, а давление внутри жидкости определяется формулой:

$$p_g / p_a = \pi D^2 l_0 \omega_2 n / 4 Q \ln(D/d) \quad (8)$$

Из формул (7) и (8) следует, что p_g / p_a зависит от l_0 , а оценка численного значения этого отношения для рассматриваемых условий полирования плоской поверхности дает величину порядка 4,4.

Таким образом, исходя из анализа движения капельной жидкости, получено выражение для p_g , а значит и возможность анализа неравновесного процесса полирования при помощи кластерной модели. Определив расстояние l из формулы (1) через p_g , можно перейти к параметру p_a , определяющему силовой режим процесса полирования.

При выводе уравнения, определяющего число кластеров, отрывающихся с поверхностей обрабатываемой детали и инструмента $n_{кл}$ [1], необходимо учесть то обстоятельство, что величина ξ (отношение энергии связи $E_{св}$ к энергии кластера $E_{кл}$) в неравновесном процессе полирования может заметно отличаться от 1. С учетом этого можно показать, что:

$$n_{кл} = (\omega_{123} S / 4 \pi^3 l^2) \xi \exp[-\xi] t \quad (9)$$

где: ω_{123} - константа Лифшица, S - номинальная площадь контакта, t - время полирования.

Учитывая, что при $l = l_0$, $p_g =$ и $n_{кл} = n_{кл}^0$ (равновесный процесс), для числа кластеров, отрывающихся с поверхности в неравновесном процессе полирования, можно получить уравнение $n_{кл} = n_{кл}^0 \xi (l_0/l)^2$, в котором l определяется из выражения для p_g .

Зависимость $n_{кл}$ от l имеет две характерные области (рис. 3): 1 - при $l > l_0$ - это равновесный процесс полирования, при увеличении p_a $n_{кл}$ и, соответственно, производительность полирования обрабатываемой поверхности возрастают; 2 - при $l < l_0$ - это процесс полирования неравновесный, $n_{кл}$ возрастает при увеличении p_g ($p_a = const$), то есть при уменьшении l .

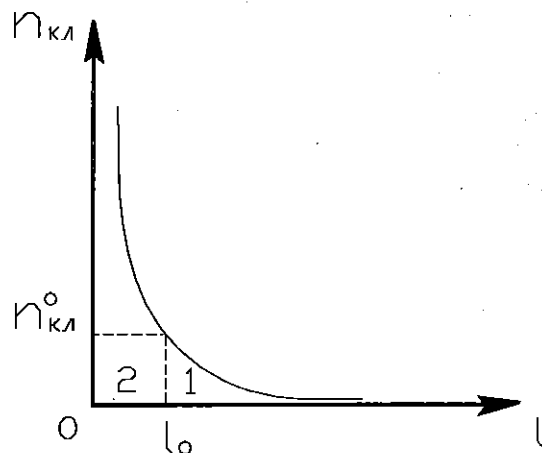


Рис. 3 Зависимость числа кластеров от l .

Рассмотрим закономерности неравновесного процесса полирования применительно к обработке кремнезема, используя результаты, полученные в [1]. Принимая

$E_{св} = 3,9$ эВ, $E_{кл} = 5,29$ эВ, $R = l_0/2$, $V = 0,16$ м/с (длина штриха 20 мм при частоте возвратно-поступательного перемещения - 24 дв.хода в мин), $p_a = 0,05$ МПа и воспользовавшись расчетным значением для концентрации кластеров в равновесном процессе полирования $n_{кл} = 2 \cdot 10^{17}$ 1/м² при $l_0 = 1$ мкм, можно получить, что $l = 0,7$ мкм и $n_{кл} = 2,8 \cdot 10^{17}$. Для этих условий уравнение для числа кластеров можно подать в виде: $N = 1,5 \cdot 10^5 / l^2$. В равновесном процессе полирования производительность съема обрабатываемого материала составляет величину 0,2 мкм/мин или 3,3 нм/с, за один оборот инструмента (за 0,3 с) при размере кластеров 10 нм [1] снимается приблизительно 1 нм, то есть приблизительно 0,1 площади обрабатываемой поверхности соответствует площади отрывающихся кластеров. При уменьшении l можно достичь такого увеличения числа отрывающихся кластеров (до $N = 1,7 \cdot 10^{18}$ 1/м²с), что кластеры будут отрываться послойно. Для этого необходимо l уменьшить до 0,3 мкм и достичь повышения производительности съема обрабатываемого материала в 8 раз. Дальнейшее уменьшение l приведет к тому, что кластеры будут отрываться с более глубоких слоев и на обрабатываемой

поверхности образуются каскады дефектов.

3. ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе кластерной модели показано, что в неравновесном процессе полирования интенсивность съема обрабатываемого материала пропорциональна l^2 , определяется условиями контактирования инструмента и детали и физико-химическими свойствами СОТС. Из этого следует, что для интенсификации процесса полирования наряду с использованием оптимальных составов полировального инструмента [5], толщину слоя жидкости в зазоре между инструментом и деталью необходимо уменьшать, что может быть обеспечено за счет увеличения номинального давления прижима инструмента к детали p_a или за счет уменьшения расхода СОТС. Первый путь (интенсификация режимов) приводит к линейному росту производительности полирования обрабатываемого материала с увеличением p_a и ограничивается прочностными характеристиками инструмента. Второй путь (уменьшение расхода СОТС) обеспечивает существенный рост производительности обработки, однако при неконтролируемом уменьшении количества СОТС возможно образование на обработанной поверхности каскадов дефектов и "прижогов".

ЛИТЕРАТУРА

1. Філатов Ю. Д. Наукові основи прецизійного полірування поверхонь деталей з кремнеземвміщуючих матеріалів: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Київ.- 1996.- 35 с.
2. Шашин В. М. Гидромеханика.- М.: Высшая школа.- 1990.- 384 с.
3. А. С. 688323 СССР, МКИ В 24 D 5/00. Торцевой шлифовальный круг / Филатов Ю. Д., Рогов В. В., Бурман Л. Л.- Опубл. 30.09.79, Бюл. № 36.
4. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики.- М.: Наука.- 1972.- 736 с.
5. Филатов Ю.Д. Полирование поверхностей деталей из природного камня // Вісник ЖГТІ./ Технічні науки.- 1999.- № 10.- С. 90-92.

HABANJE REZNOG ALATA U OVISNOSTI O STRUKTURNOM STANJU NODULARNIH LIJEVOVA NL 370 I NL 500¹

Sažetak

Habanje alata nastaje kao posljedica opterećenja koja se javlja u kontaktnim površinama alata, strugotina i obratka. To su u stvari mehanička i termičko strukturna opterećenja koja istovremeno djelujući na materijal reznog alata izazivaju različite procese habanja alata. Habanje alata kao jedna krajnje negativna pojava u određenim procesima izaziva čitav niz negativnih posljedica

1. UVOD

Nodularni lijev je pseudobinarna legura željeza i ugljika sa većim dijelom ugljika izlučena u obliku kuglastog grafita.

Osnovni cilj proizvodnje nodularnog lijeva je dobijanje materijala koji zbog prisustva grafita ima dobru obradivost uz istovremeno dobra mehanička svojstva kao što su čvrstoća, žilavost, istežljivost i dobra otpornost na trošenje.

Ova svojstva proizilaze iz toga što je grafit prisiljen da se ne izlučuje u prirodnom termalnom obliku već u nodularnom obliku. Izlučene lamele grafita (feritni i feritno-perlitni oblik) znatno snižuju mehanička svojstva osnove, jer imaju veliki odnos površine prema volumenu, pa se tu koncentriraju naprezanja, uglavnom pri vrhovima grafitnih lamela. Kod nodularnih oblika grafita, što je slučaj kod NL, najmanji je odnos površine prema volumenu i najmanje se slabi efektivni presjek odljevka, a i koncentracija naprezanja znatno je manja. Grafit može biti izlučen u obliku lamela ili u obliku nodule čiji je osnovni cilj nodulacija.

Proces habanja alata većim dijelom pripadaju abrazivnom mehanizmu trošenja koji se javlja vrlo često. Prema nekim istraživanjima abrazivno trošenje prisutno je u 50% slučajeva. Ovim mehanizmom dolazi do oštećenja kontaktnih površina a to je oštećenje uvjetovano prisustvom abrazivnih čestica u zoni kontakta, koje imaju mikro režuće svojstvo. Površina nakon abrazivnog habanja liči na površinu na kojoj je vršeno mikro rezanje.

Abrazivne čestice mogu biti produkt trošenja brusnih ploča, oksidi, metalna struktura (npr. kod izrazito feritne osnove nodularnog lijeva NL 380, pojava uključaka i slab proces nodulacije). Mehanizam abrazivnog habanja djeluje kada je mikro tvrdoća abraziva veća od mikro tvrdoće materijala ili samo nekog dijela njegove strukture. Stoga i otpornost abrazije ovisi o međusobnom odnosu mikro tvrdoća abraziva i materijala, odnosno njegovih strukturnih konstituenata.

¹ Dr. sc. Dušan Ješić, Tribotehnik, Rijeka, Titov trg 6/4

2. KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA I UPOREDNE VRIJEDNOSTI NODULARNIH LIJEVOVA

Eksperimentalna istraživanja vršena su na dva materijala različitih kemijskih sastava, strukture i mehaničkih osobina: NL 370 i NL 500. Rezultati kemijske analize prikazani su u tablici br. 1, a mehaničke osobine u tablici br. 2.

Tabela br. 1 Kemijski sastav nodularnih lijevova NL 370 i NL 500

Materija l	Kemijski sastav (%)						
	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni
NL 370	3.36	2.39	0.28	0.046	0.067	-	1.24
NL 500	3.85	2.90	0.076	0.03	0.025	-	1.50

U tablici br. 1 prikazan je kemijski sastav ispitivanih nodularnih lijevova i utvrđeno je da se nalazi u granicama koje predviđaju standardi za ovu vrstu materijala.

NL 370 ima izrazito feritnu osnovu, a NL 500 ima feritno-perlitnu osnovu ali pretežito veći sadržaj perlita.

Razjašnjavanje utjecaja faktora koji bitno utječu na proces habanja alata je bila i ostala jedan od najvažnijih ciljeva na području rezanja.

Neki od ovih faktora, kao što su mikrostruktura materijala NL obratka, još uvijek su nedovoljno proučene pri svim tehnološkim utjecajima i režimima obrade.

Obično se karakteristike materijala obratka promatraju preko njegovih strukturnih i mehaničkih osobina prije svega zatezne čvrstoće.

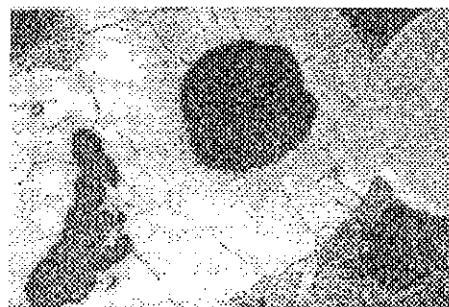
Tablica br. 2 mehaničke osobine nodularnog lijeva za NL 370 i NL 500

Materija l	Mehaničke osobine				
	Rm u MPa	Rp u MPa	Ao u %	Struktura	HB 30
NL 370	375	320	12.2	Feritna	152
NL 500	520	375	7.8	Feritno perlitna	190

Medjutim, za sve obuhvatniju analizu utjecaja kvaliteta materijala obratka na intezitet, brzinu i karakteristike procesa habanja, neophodno je da se, pored kemijskog sastava materijala obratka, uzme u obzir i mikrostruktura koja ima pri procesu habanja dominantan utjecaj na postojanost reznog alata. Jedna takva analiza bit će prikazana i u ovom radu.

Promatrajući strukturološku osnovu vidljivo je da je u osnovnoj strukturi pored pretežitog sadržaja meke strukture feritna nalazi i nešto perlita i veliki broj različitih uključaka i relativno različite krupnoće nodula grafita.

Prilikom promatranja strukturološke osnove vidljivo je da približno ista veličina grafitnih kuglica i da su pravilno raspoređene s vidljivim početnim sadržajem strukture perlita s veoma malim zaostacima nepoželjnih uključaka.



Slika br. 1 Nodularni lijev NL 370 izrazito feritne osnove povećano 100 puta nagriženo 3% nital

Korišten alat za obradu NL 370 i NL 500 su keramičke rezne pločice sljedećih radnih geometrijskih karakteristika.

Kutevi alata: $\alpha=6$, $\gamma=-6$, $\lambda=-4$, $\kappa=70$, $\epsilon=90$

Dimenzije pločice: 12x12x8mm

Kriterij postojanosti alata: $VB=0.75$ mm

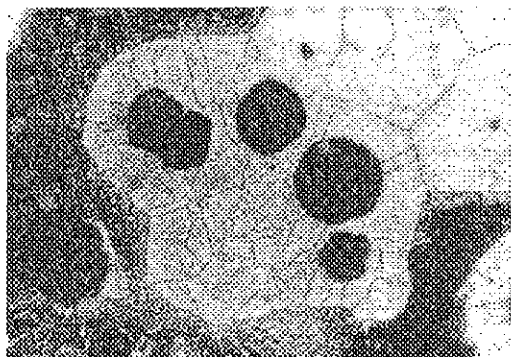
Proizvodjač reznog alata: Degussa

Ispitivanja su provedena na univerzalnom alatnom stroju "Potisje-Morando PA-601". Sva ispitivanja su obavljena bez primjene sredstava za hladjenje i podmazivanje.

Praćenje habanja alata s vremenom, za različite brzine rezanja, vršene su mjerenjem srednje širine pojasa habanja na lednoj površini VB.

Mjerenje je vršeno alatnim mikroskopom "Zeiss" sa mogućnošću povećanja od 10 do 30 puta točnosti očitavanja 0,01 mm.

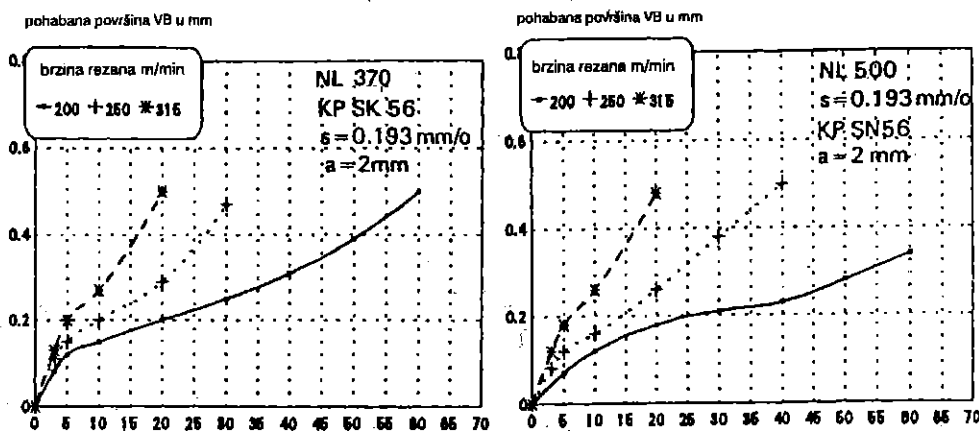
Ispitivanja morfologije grudne i ledjne površine pohabanog alata je važno, a izvršeno je na scanning elektronskom mikroskopu (SEN) SSM-75 koji radi pod naponom od 25kV.



Slika br. 2 predstavlja nodularni lijev NL 500 feritno perlitne osnove povećan 500% nagrižen 3% nital

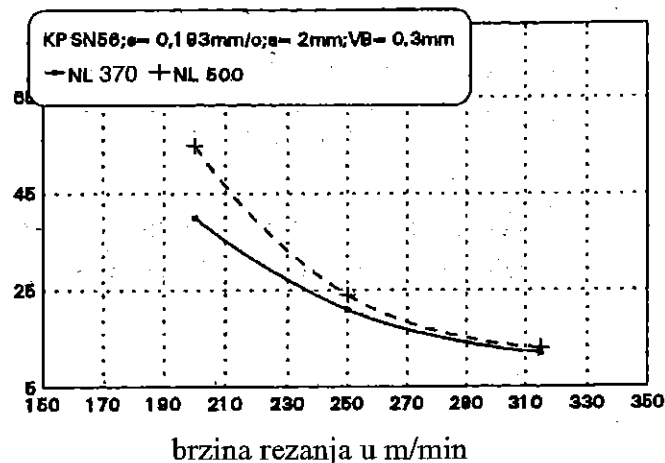
3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Rezultati promjene širine pojasa habanja (VB) sa vremenom rezanja (t) za dva ispitana materijala obratka, prikazani su na slici br. 3. Mjerenje širine pojasa materijala obratka izvedeni su pod potpuno istim uvjetima obrade radi što lakšeg sagledavanja različitih oblika krivih habanja i vremena zatupljenja alata.



Slika br. 3 prikazuje eksperimentalne krivulje trošenja alata

Dobiveni podatci o širini pojasa habanja (VB) za kriterijum habanja $VB=0.3$ mm određeni su eksperimentalnom funkcijom $T=f(v)$ i dijagrama postojanosti V-T prikazani su na slici 4.



Slika br. 4 eksperimentalni dijagram brzine rezanja u m/min

Prilikom obrade korišteno je više alata s različitim geometrijama a najkarakterističniji prikazuje slika br. 5



Slika br. 5 Karakterističan izgled jednog od pohabanih alata

4. ANALIZA DOBIVENIH REZULTATA

Rezultati praćenja širine pojasa habanja na alatima pokazuju da su uobičajeni oblici krivih habanja, što se vidi i na dijagramu a po izboru i srednjih brzina rezanja koje su karakteristične (vidi sliku br. 3). Prilikom obrade primjećeno je da pri obradi NL 370 dolazi do bržeg zatupljenja alata, a to je karakteristično za ovu grupu višefaznih materijala koji imaju dosta uključaka i kod kojih je slab proces nodulacije grafita što dovodi do pojave "brazde" na kraju trošenja alata ledjne i čeone površine. Pri obradi NL 370 izrazito feritne osnove od prvih minuta obrade počinje se stvarati pojačana brazda kraj ledjne površine, a nešto slabija na kraju trošenja čeone površine oštrice alata. Brazda na ledjnoj površini ovisna je o uvjetima rada, naglo raste i poprima karakterističan dubok klinasti oblik dok brazda na kraju čeone površine raste nešto sporije i poprima svoj karakterističan udubljeni povijeni oblik.

U ovom radu dijagram postojanosti alata i prikazana krivulja za NL 370 treba uzeti kao informativnu, a njenu uvjerljivost dokazati daljnim eksperimentiranjem i mjerenjem.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovi dobivenih rezultata mogu se donijeti sljedeći zaključci:

1. Na intezitet, brzinu i karakter reznog alata pri svim uvjetima obrade dominantan utjecaj imaju vrsta i karakteristike materijala obratka, to jest kemijski sastav, mikrostruktura metalne osnove, mehanička svojstva, a naročito zaostali uključci u materijalu koji se obrađuje.
2. Izrazito habanje alata prisutno je kod NL 370 i drugih nodularnih lijevova s izrazitom feritnom osnovom. S povećanim brojem uključaka, a naročito SiO_2 koje se pretvara u brusno sredstvo koje nanešeno struganjem stvara brazdu postepeno ali različitim intezitetom.

NL 500 ima relativno povoljniju metalnu osnovu (feritno-perlitnu), s boljim procesom nodulacije i manjim sadržajem uključaka.

3. Najpogodniji za obradu skidanjem strugotine su izotermički poboljšani nodularni lijevovi s feritno-perlitnom osnovom i izrazito perlitni. Stanje materijala nije bitno. Struktura metalne osnove kao i zavisnost količine zaostalog austenita od temperature izotermičkog poboljšanja i vremena zadržavanja nisu od bitnog razmatranja u ovom radu.

Izotermički poboljšani nodularni lijev prokaljiv je po čitavom presjeku i otuda i potiču podatci iz literature i preporuke koje bi isto trebalo potvrditi eksperimentiranjem i obradom više različitih strojnih elemenata dobivenih različitim temperaturama i vremenima popuštanja kao i pripadajućim strukturološkim osnovama.

LITERATURA

- (1) G. Barbezat, H. Mayer, SULZER GGG-1000, Austempered Ductile Iron. 2nd International Conference on Austempered Ductile Iron (ADI) March, 1986.
- (2) M. A. Zaccone, D. E. Bowman, Applications of Austempered Ductile Iron in the Heavy Equipment Industry, Proceedings of the 1st International Conference on Austempered Ductile Iron, Chicago, April 2-4, 1984, 227-252 (ASM)
- (3) Dušan Ješić, dipl. ing. str., Rijeka, Croatia, EMW94, INFLUENCE OF NODULAR CAST IRONS STATE CUTTING TOOL WEAR, STUDY OF METAL CUTTING AND FORMING PROCESSES, Udine, Spetember 28-30/1994.

WEARING OF CUTTING TOOLS IN DEPENDENCY OF STRUCTURAL SITUATION OF NODULAR CAST IRONS NL 370 AND NL 500

Summary

Tool wear arises as a consequence of loading which appears on contact surfaces of tools, shavings and working piece. These are actually mechanical and thermal loadings that by simultaneous action on cutting tool material also cause different wear processes.

Tool wear as one of extremely negative phenomenon in certain processes, causes the whole series of unwanted consequences, quality of machined surface and machining accuracy.

STRUKTURA SILA REZANJA PRI OBRADI BUŠENJEM¹⁾

Milikić D., Sekulić M., Gostimirović M., Uzelac S.²⁾

Rezime

Poznato je da su u strukturi sila rezanja pri bušenju zavojnim burgijama, pored „čistog” rezanja, u znatnoj meri sadržane i sile trenja između strugotine i površine žljeba, strugotine i obradjene površine, fazeta burgije i obradjene površine, kao i sila prodiranja poprečnog sečiva. U radu je izneta detaljna analiza pomenutih uticaja na vrednost obrtnog momenta, glavne sile rezanja i sile pomoćnog kretanja pri bušenju koja može biti od velike koristi za pravilno sagledavanje ovog složenog postupaka obrade.

Ključne reči: Zavojna burgija, sile rezanja, trenje strugotine, trenje fazeta

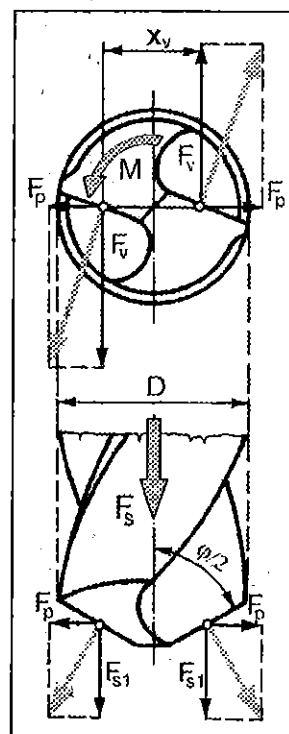
UVOD

Analizom plana delovanja sila rezanja pri bušenju, slika 1., dolazi se do zaključka da na zavojnu burgiju deluju: *obrotni moment* M , koji prave dve *glavne sile rezanja* F_v i *sila pomoćnog kretanja – aksijalna sila* F_s koja se dobija kao zbir dve sile pomoćnog kretanja F_{s1} , dok se sile prodiranja F_{p1} međusobno poništavaju, s obzirom da su glavna sečiva identična i da su simetrično raspoređena u odnosu na osu burgije.

Sile rezanja pri bušenju ne sadrže samo vrednosti potrebne za savladavanje otpora „čistog” rezanja na glavnim sečivima burgije, već u velikoj meri i veličine koje su potrebne za savladavanje i drugih otpora pri bušenju [1], kao što su:

- **Otpor trenja** na obimu burgije između fazete i obradjene površine, zbog nesimetričnosti glavnih sečiva, toplotne deformacije burgije ili izvijanja, poprečnog oscilovanja i dr.;
- **Otpor prodiranja** poprečnog sečiva burgije koje, zbog izrazito negativnog grudnog ugla i male brzine rezanja, uglavnom istiskuje materijal prema glavnim sečivima, a vrlo malo ga reže.

Ovome treba dodati i određeni otpor trenja koji se javlja između



Slika 1. Plan delovanja sila rezanja pri bušenju

¹⁾ Rad je deo potprojekta "Razvoj tehnoloških podloga za savremenu primenu postupaka obrade rezanjem" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

²⁾ Prof. dr Dragoje Milikić, dipl. ing., Asis. mr Milenko Sekulić, dipl. ing., Doc. dr Marin Gostimirović, dipl. ing., Asis. mr Srdjan Uzelac, dipl. ing., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Trg Dositeja Obradovića 6., 21000 Novi Sad, Jugoslavija, Tel.: +381 21 450-366, Fax: +381 21 54-495, E-mail: dmilic@uns.ns.ac.yu.

strugotine i površine žljeba burgije, kao i strugotine i obradjene površine otvora. Može se pretpostaviti da u normalnim uslovima bušenja njegova vrednost nije velika, da je promenljiva i da se teško može tačno odrediti. U vezi uticaja prethodno pomenutog trenja na obimu burgije i rada poprečnog sečiva na vrednost obrtnog momenta i aksijalne sile u literaturi postoje veoma oprečni podaci [1,5,6].

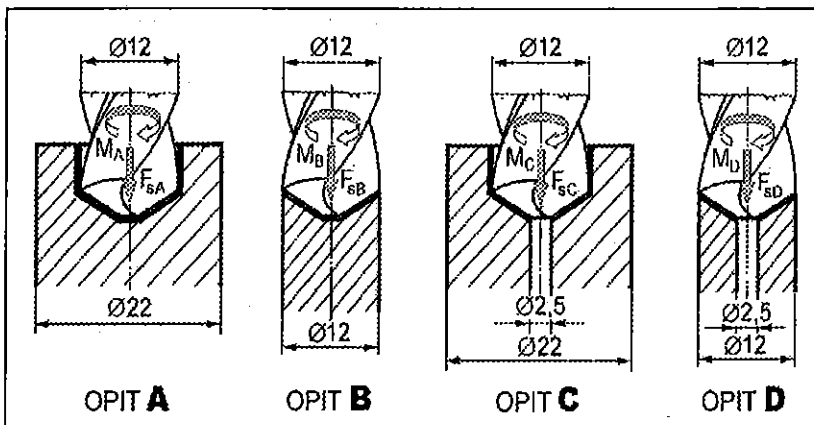
Preger [5] analizira ovaj problem i pri tome konstatuje da u strukturi *obrnog momenta* M pri bušenju glavna sečiva učestvuju sa 85%, trenje strugotine i fazeta burgije sa 10%, a rad poprečnog sečiva sa 5%. U strukturi *aksijalne sile* F_s ($F_s = 2 F_{s1}$) 50% otpada na rad glavnih sečiva burgije, 46% na rad poprečnog sečiva, a 4% na trenje koje vrše strugotina i fazete burgije.

Prema istraživanjima König-a [1] u strukturi *obrnog momenta* M glavna sečiva učestvuju sa 58%, učešće trenja strugotine i fazete iznosi 30%, a rad poprečnog sečiva 12%. Kod *aksijalne sile* F_s 54,5% čine glavna sečiva, 23% otpada na trenje strugotine i fazeta, dok rad poprečnog sečiva učestvuje sa 22,5%.

Struktura *glavne sile rezanja* F_v i veličina *kraka delovanja* x_v se ne navodi kod prethodo citiranih autora, ali se ona može indirektno odrediti primenom metoda o kojima će biti reči i u ovom radu.

Na osnovu prethodno iznetih podataka može se uočiti da bitan deo ukupnog obrtnog momenta i aksijalne sile otpada na trenje i rad poprečnog sečiva burgije. Osim toga, neslaganja ovih podataka su vrlo velika, pa je to bio osnovni razlog da se sprovedu istraživanja koja će detaljno analizirati strukturu svih otpora koji se javljaju pri obradi bušenjem.

POSTAVKA EKSPERIMENTA



Slika 2. Plan eksperimenta sa četiri opita i podacima i merenim veličinama

poprečnog sečiva na obrtni moment i aksijalnu silu.

Eksperiment *B* predstavlja bušenje prethodno zabušenog priprema čiji prečnik odgovara prečniku burgije. Na taj način je eliminisan uticaj trenja na obimu burgije, dok uticaj rada poprečnog sečiva burgije ostaje nepromenjen u odnosu na eksperiment *A*. Eksperiment *C* predstavlja bušenje materijala u kome je prethodno izbušen otvor prečnika koji odgovara dužini poprečnog sečiva burgije. Kod ovog eksperimenta je eliminisan uticaj rada poprečnog sečiva burgije, dok je uticaj trenja na obimu burgije ostao isti kao u eksperimentu *A*.

Da bi se izmerile vrednosti obrtnog momenta M i aksijalne sile F_s i odredila glavna sila rezanja F_v , koja se ne može direktno meriti pomoću dinamometra, postavljen je eksperiment sa četiri opita, kako je prikazano na slici 2. [2].

Eksperiment *A* predstavlja bušenje zavojnom burgijom u punom materijalu gde se u potpunosti ostvaruje uticaj trenja na obimu burgije i rad

Eksperiment *D* predstavlja bušenje pripremljena čiji je prečnik jednak prečniku burgije i kod koga je prethodno izbušen otvor čiji je prečnik jednak poprečnom sečivu vrha zavojne burgije. Kod ovog eksperimenta izvršeno je eliminisanje uticaja trenja na obimu burgije i istiskivanja materijala na jezgru burgije.

USLOVI ISPITIVANJA

Eksperimentalna ispitivanja prikazana u ovom radu sprovedena su u Laboratoriji za obradu skidanjem materijala FTN-Institut za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, pri sledećim opštim uslovima:

Mašina alatka: Vertikalna glodalica „Prvomajska” FSS-GVK-3 snage pogonskog elektromotora od 14 kW, koja poseduje relativno visoku krutost pri obradi.

Rezni alat: Alat koji je korišćen u svim eksperimentima bila je standardna zavojna burgija $\varnothing 12$ mm sa cilindričnom drškom od brzoreznog čelika izradjena po JUS K. D3. 020. Ovakav izbor diktiran je činjenicom da se ova dimenzija burgije vrlo često koristi u proizvodnji.

Materijal obratka: Materijal opitnih uzoraka bio je č 1531 (oznaka po DIN-u C_K 45), koji spada u grupu ugljeničnih čelika za poboljšavanje i takodje se često koristi u praksi. U zavisnosti od termičkog stanja, zatezna čvrstoća ovog čelika se kreće u granicama 60÷90 daN/mm².

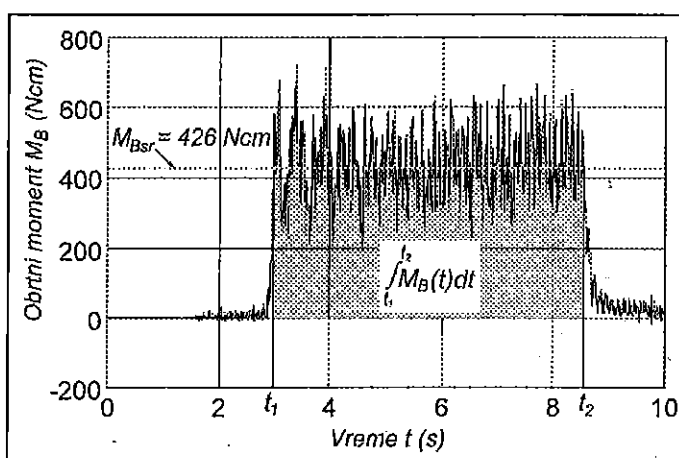
Režim obrade: Režim obrade je usvojen na osnovu preporuka iz literature, tako da je za prečnik burgije od 12 mm i materijal pripremljena č 1531 usvojen broj obrtaja burgije 560 ob/min (odgovara brzini rezanja od 21,11 m/min). Brzina pomoćnog kretanja je varirana u granicama 25÷125 mm/min, što odgovara pomacima 0,044÷0,222 mm/ob.

Hladjenje i podmazivanje: Sva ispitivanja su sprovedena bez primene sredstava za hladjenje i podmazivanje kako bi pojave koje su praćene došle do punog izražaja.

Merna instrumentacija: Za merenje obrtnog momenta i aksijalne sile korišćen je dvokomponentni dinamometar „KISTLER” 9271A sa pojačivačem tip 5001. Za registrovanje izmerenih veličina i automatsku obradu podataka korišćen je PC-računar sa A/D pretvaračem ED300-monitor i brzinom semplovanja (uzorkovanja) podešenom na 200 podataka u sekundi. Za obradu i prikazivanje izmerenih podataka korišćeni su programski paketi: Labtech Notebook, Matlab, Origin i Excel.

REZULTATI ISPITIVANJA

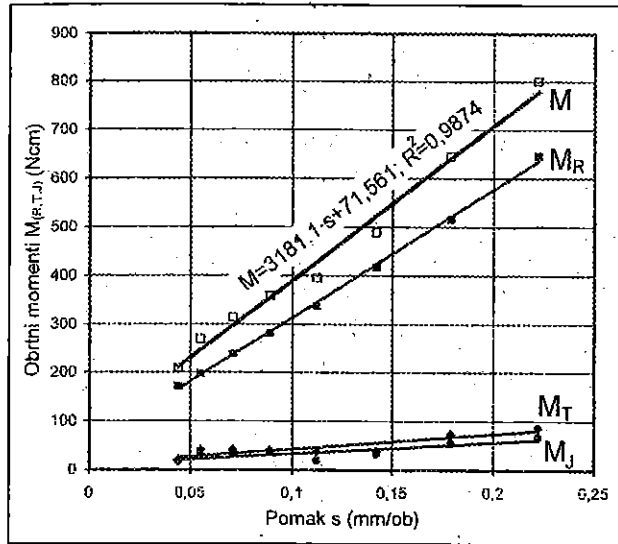
Vrednosti obrtnih momenata M , i aksijalne sile F_s , određene su kod sva četiri opita na osnovu snimljenih funkcija $M = M(t)$, ilustracija prikazana na slici 3., i $F_s = F_s(t)$. U cilju dobijanja što pouzdanijih rezultata merenja, svaki eksperiment je ponovljen dva ili više puta.



Slika 3. Primer promene obrtnog momenta pri bušenju u zavisnosti od vremena rezanja sa ilustracijom određivanja srednje vrednosti

Korišćenjem specijalizovanih matematičkih programa izvršena je transformacija izmerenih podataka u grafički prikaz, a potom i određivanje srednjih vrednosti obrtnog momenta M i aksijalne sile F_s za svaki od dijagrama. Pri određivanju srednjih vrednosti izmerenih veličina korišćeni su sledeći izrazi:

$$M_{sr} = \frac{t_1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} M(t) dt ; F_{sr} = \frac{t_1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} F_s(t) dt$$



Slika 4. Promena vrednosti komponenti obrtnog momenta pri bušenju u zavisnosti od pomaka

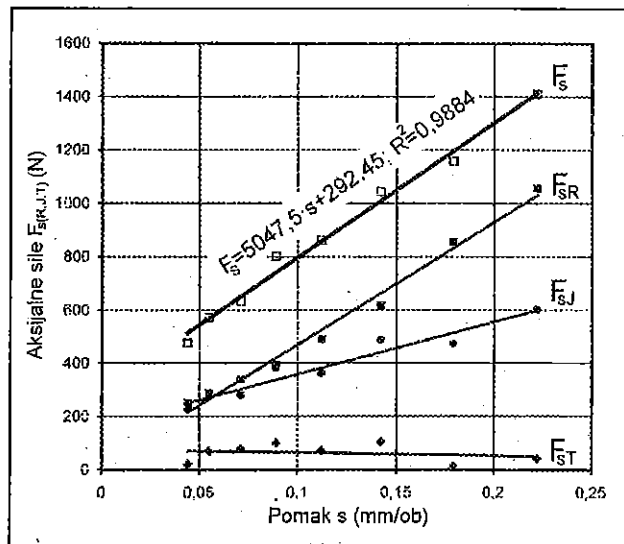
poprečnog sečiva $F_{sJ} = F_{sA} - F_{sC}$. Ukupna aksijalna sila burgije može se takođe dobiti prostim sabiranjem parcijalnih sila, odnosno: $F_s = F_{sT} + F_{sR} + F_{sJ}$.

Na dijagramima, slika 4. i 5., prikazana je promena ovako dobijenih vrednosti komponenti obrtnog momenta i aksijalne sile u zavisnosti od pomaka burgije. Vidi se da su to sve linearne zavisnosti koje se mogu vrlo dobro predstaviti jednačinom prave sa visokim koeficijentom regresije. U cilju analize strukture obrtnog momenta pri obradi bušenjem sačinjena je tabela 1. u koju su, za različite vrednosti pomaka, unete vrednosti momenata trenja, momenata „čistog” rezanja i momenata koji nastaju na poprečnom sečivu, kao i ukupnih obrtnih momenata dobijenih prostim sabiranjem prethodna tri i direktnim merenjem pomoću dinamometra. Na isti način je sačinjena i tabela 2. u kojoj su prikazani podaci vezani za sile pomoćnog kretanja—aksijalne sile.

Na osnovu tako dobijenih vrednosti obrtnog momenta i aksijalne sile bilo je moguće odrediti željene parcijalne obrtne momente i aksijalne sile.

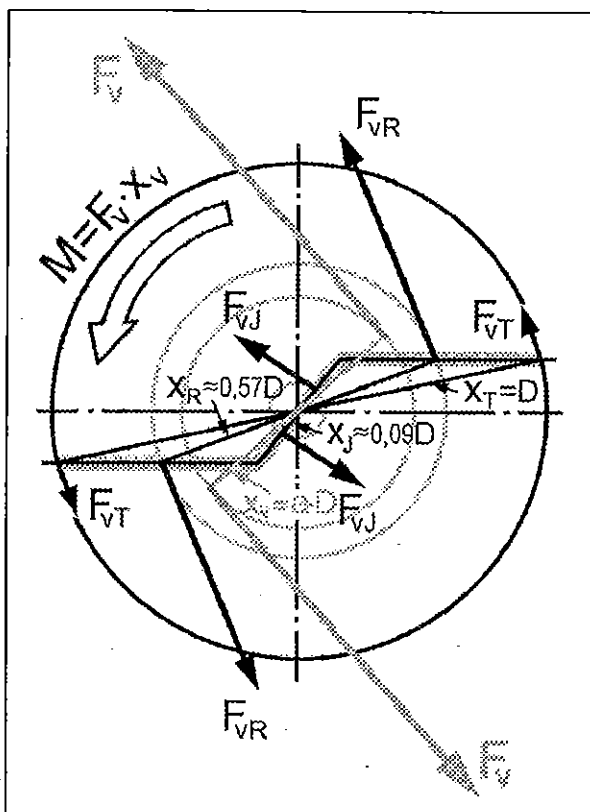
Moment trenja na obimu burgije se dobija na osnovu eksperimenata A i B, tako da je: $M_T = M_A - M_B$ moment „čistog” rezanja se dobija eksperimentom D, pa je: $M_R = M_D$, dok se moment na poprečnom sečivu dobija na osnovu eksperimenata A i C, pri čemu je: $M_J = M_A - M_C$. Ukupan obrtni moment na obimu burgije se može dobiti sabiranjem parcijalnih momenata, odnosno: $M = M_T + M_R + M_J$.

Vrednosti aksijalne sile trenja se dobijaju na osnovu izraza: $F_{sT} = F_{sA} - F_{sB}$, sile čistog rezanja $F_{sR} = F_{sD}$ a sile koja odgovara radu



Slika 5. Promena vrednosti komponenti aksijalne sile pri bušenju u zavisnosti od pomaka

Glavna sila F_v pri bušenju se može, isto kao i obrtni moment M , rasčlaniti na silu trenja F_{vT} , silu „čistog” rezanja F_{vR} i silu na jezgru F_{vJ} , slika 6. Vrednosti ovih sila se mogu izračunati na osnovu prethodno određenih obrtnih momenata i kraka njihovog delovanja. Tako je sila trenja na obimu burgije $F_{vT} = M_T : x_T$, sila koja odgovara „čistom” rezanju na glavnim sečivima burgije $F_{vR} = M_R : x_R$ a sila na jezgru burgije: $F_{vJ} = M_J : x_J$.



Slika 6. Plan delovanja tangencijalnih sila rezanja i njihovih obrtnih momenata na vrhu zavojne burgije

Ukupna sila na obimu burgije se ne može izračunati iz obrtnog momenta M , jer je nepoznata vrednost kraka x_v njenog delovanja. Ona se ne može odrediti ni prostim sabiranjem sila F_{vT} , F_{vR} i F_{vJ} jer one nemaju isti pravac delovanja, što se jasno može videti sa slike 6. Zbog toga je za određivanje ove sile razvijena posebna jednačina Š2Č koja bazira na položaju i veličini sila koje je sačinjavaju i učešća parcijalnih obrtnih momenata u ukupnom obrtnom momentu, što je inače predmet ovoga rada.

Na osnovu podataka o strukturi ukupnog obrtnog momenta, koji su sredjeni i prikazani u tabeli 1. ovog rada i vrednosti kraka delovanja parcijalnih sila, označenih na slici 6., za proračun glavne sile rezanja se dobija jednačina oblika:

$$F_v = 1,12 F_{vT} + 1,10 F_{vR} + 0,73 F_{vJ} \quad (1)$$

Primenom prethodno navedene metodologije, sačinjena je tabela 3. u koju su, za različite vrednosti pomaka, unete vrednosti sila trenja, sila „čistog” rezanja i sila koje nastaju na poprečnom sečivu, kao i vrednosti glavne sile rezanja izračunate na osnovu jednačine (1).

U tabelama 1., 2. i 3. izračunato je procentualno učešće parcijalnih obrtnih momenata, aksijalnih sila i glavnih sila rezanja, a na osnovu toga i prosečne vrednosti za dati dijapazon pomaka burgije.

Tabela 1. Struktura obrtnog momenta M pri obradi bušenjem

POMAK BURGIJE (mm/ob)	TRENJE		„ČISTO” REZANJE		RAD POP. SEČIVA		OBRJNI MOMENT M		
	$M_T = M_A - M_B$		$M_D = M_R$		$M_J = M_A - M_C$		$\square M =$ $M_T + M_R + M_J$	izmer eno	razlik a
	(Ncm)	% $\square M$	(Ncm)	% $\square M$	(Ncm)	% $\square M$	(Ncm)	(Ncm)	%
0,044	26	12,32	165	78,20	20	9,48	211	208	-1,44
0,055	29	11,79	194	78,86	23	9,35	246	252	2,38
0,071	34	11,41	237	79,53	27	9,06	298	294	-1,36
0,089	40	11,27	284	80,00	31	8,73	355	345	-2,90
0,112	47	10,98	345	80,61	36	8,41	428	391	-9,46
0,142	56	10,71	424	81,07	43	8,22	523	465	-12,47
0,179	67	10,45	522	81,44	52	8,11	641	578	-10,90
0,222	81	10,41	635	81,62	62	7,97	778	684	-13,74
prosek:	11,00%		prosek:	80,00%	prosek:	9,00%			

Tabela 2. Struktura sile pomoćnog kretanja – aksijalne sile F_S pri obradi bušenjem

POMAK BURGIJE (mm/ob)	TRENJE		„ČISTO” REZANJE		RAD POP. SEČIVA		AKSIJALNA SILA F_S		
	$F_{sT} = F_{sA} - F_{sD}$		$F_{sR} = F_{sD}$		$F_{sJ} = F_{sA} - F_{sC}$		$\square F_{s-}$ $F_{sT} + F_{sR} + F_{sJ}$	izmere na	razlika
	(N)	% $\square F_s$	(N)	% $\square F_s$	(N)	% $\square F_s$	(N)	(N)	%
0,044	70	13,18	213	40,11	248	46,70	531	476	-11,55
0,055	69	11,44	264	43,78	270	44,78	603	572	-5,42
0,071	67	9,50	337	47,80	301	42,70	705	632	-11,55
0,089	65	7,63	420	49,30	367	43,08	852	802	-6,23
0,112	62	6,40	525	54,18	382	39,42	969	860	-12,67
0,142	59	5,07	663	57,01	441	37,92	1163	1044	-11,40
0,179	54	3,86	832	59,43	514	36,71	1400	1157	-21,00
0,222	49	2,92	1030	61,38	599	35,70	1678	1410	-19,01
prosek:	7,50%		prosek:	51,50%		41,00%			

Tabela 3. Struktura glavne sile rezanja F_V pri obradi bušenjem

POMAK BURGIJE (mm/ob)	TRENJE		„ČISTO” REZANJE		RAD POP. SEČIVA		GLAVNA SILA F_V (N)
	$F_{vT} = M_T : 1,2$		$F_{vR} = M_R : 0,684$		$F_{vJ} = M_J : 0,108$		jednačna (1)
	(N)	% F_V	(N)	% F_V	(N)	% F_V	$F_V = 1,12 \cdot F_{vT} + 1,10 \cdot F_{vR} + 0,73 \cdot F_{vJ}$
0,044	22	5,11	241	56,87	185	43,65	424
0,055	24	4,89	284	57,43	213	43,13	494
0,071	28	4,77	346	58,28	250	42,05	595
0,089	33	4,74	415	59,09	287	40,85	703
0,112	39	4,66	504	59,98	333	39,64	841
0,142	47	4,56	620	60,57	398	38,90	1023
0,179	56	4,46	763	60,97	481	38,46	1252
0,222	68	4,46	928	61,33	574	37,92	1514
prosek:	4,50%		prosek:	59,50%		40,50%	

Da bi se stekao bolji pregled prethodno dobijenih rezultata, napravljena je tabela 4. u kojoj su rezultati prikazani po analiziranoj veličini i ispitivanom uticaju.

Tabela 4. Struktura sile rezanja i obrtnog momenta pri obradi bušenjem zavojnim burgijama

ANALIZIRANE VELIČINE	UTICAJ TRENJA	„ČISTO” REZANJE	UTICAJ POPREČNOG SEČIVA
OBRTNI MOMENT M	11,0%	80,0%	9,0%
GLAVNA SILA REZANJA F_V	4,5%	59,5%	40,5%
AKSIJALNA SILA F_S	7,5%	51,5%	41,0%

ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznetih rezultata dobijenih u ovim istraživanjima, mogu se izvući sledeći zaključci:

1. *Trenje* koje se javlja između fazeta burgije i obradjene površine ima najveći uticaj na *obrtni moment* (11%), nešto manji na *aksijalnu silu* (7,5%), a najmanji na *glavne sile rezanja* (4,5%), što se može objasniti velikim krakom na kome deluje sila trenja.

2. Rad *poprečnog sečiva* burgije ima skoro podjednak uticaj na *glavnu silu rezanja* (40,5%) i *aksijalnu silu* (41,0%), dok na *obrti moment* najmanje utiče (9,0%), što se može objasniti vrlo malim krakom na kome deluje tangencijalna sila na jezgru.
4. Pada u oči da je uticaj *poprečnog sečiva* na *glavnu* i *aksijalnu silu* izuzetno veliki, što ide u prilog od ranije prisutnom mišljenju da se ovde ne vrši rezanje materijala već samo njegovo gnječenje i istiskivanje prema glavnim sečivima koja ga zahvataju i režu.
5. Dobijeni rezultati se veoma dobro slažu sa navedenim podacima Preger-a Š5Ć, kao i nekim koje daje König Š1Ć, što pokazuje da su eksperimenti sprovedeni u ovom radu vrlo dobro planirani i izvedeni.
6. Razlike između obrtnih momenata i aksijalnih sila dobijenih prostim sabiranjem pojedinih komponenti i direktno izmerenih vrednosti (opit A), prikazane u poslednjoj koloni tabela 1. i 2., su neznatne i potpuno su prihvatljive za ovakav tip eksperimenta.

LITERATURA

- [1] König, W.: *Fertigungsverfahren*, Band 1 (2. Auflage, 1984.), Band 2 (1980.), Band 3 (1979.), VDI - Verlag, Düsseldorf.
- [2] Laposavić, N.: *Sile rezanja pri bušenju zavojnim burgijama*, Diplomski rad, FTN, Novi Sad, 1997.
- [3] Milikić, D., Sekulić, M., Uzelac, S., Gostimirović, M.: *Razvoj eksperimentalno-računskog modela za određivanje sila rezanja pri bušenju* – VI međunarodna konferencija FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE MMA '97, Zbornik radova I, Novi Sad, juni 1997., str. 91-102.
- [4] Milikić, D.; Sekulić M.; Uzelac S.; Gostimirović, M.: *Uticaj trenja na obimu burgije i rada poprečnog sečiva na veličinu obrtnog momenta i aksijalne sile*, VII Međunarodna konferencija MMA 2000, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, juna 2000. godine.
- [5] Preger, K., Th.: *Zerspantechnik*, 3. verbesserte Auflage, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1972.
- [6] Spur, G.; Stöferle, Th.: *Handbuch der Fertigungstechnik*, Band 3/1 Spanen (1979.), Band 3/2 Spanen (1980.), Hanser - Verlag, München.

STRUCTURE OF CUTTING FORCES IN DRILLING

Abstract: It is known that in structure of cutting forces in drilling with twist drills, beside cutting force there is significant amount of friction forces between chip and flute surface, between chip and machined hole, between facet and machined hole and cutting force on transversal blade on drill. In this paper is presented detailed analysis of mentioned influences on value of torque, main cutting force, feed force in drilling, which can be of great use for correct understanding of this complex machining process.

Key Words: Twist drill, cutting forces, friction of the chip, friction of the facet

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE SILE REZANJA KOD UZDUŽNE OBRADNE NA STRUGU

Jovanović G., Rančić B., Manić M., Damnjanović Z.¹⁾

Rezime

U literaturi starijeg datuma uvedena je pretpostavka da je odnos komponenata sile rezanja kod spoljašnje uzdužne obrade na strugu; to jest glavnog otpora rezanja F_1 , otpora prodiranja F_2 , otpora pomoćnog kretanja F_3 ; približno jednak $5 : 2 : 1$. Razvoj merne tehnike omogućio je merenje, odnosno ekasperimentalno određivanje komponenata sile rezanja. Na osnovu eksperimentalnih rezultata, ostvarenih u ovom radu, došlo se do zaključka da pretpostavljeni odnos komponenata sile rezanja ne važi uvek i da u znatnoj meri zavisi od geometrije reznog dela strugarskog noža i zatupljenosti reznog klina.

1. UVOD

Pri određivanju koraka pomoćnog kretanja u odnosu na čvrstoću noža kod uzdužne spoljašnje obrade na strugu uvodi se pretpostavka, da otpor prodiranja F_2 iznosi približno 40%, a otpor pomoćnog kretanja F_3 približno 20% od glavnog otpora rezanja F_1 , [1], [2]. U stvarnosti, ovi odnosi važe samo za određenu geometriju reznog dela strugarskog noža i stanja zatupljenosti rezne ivice.

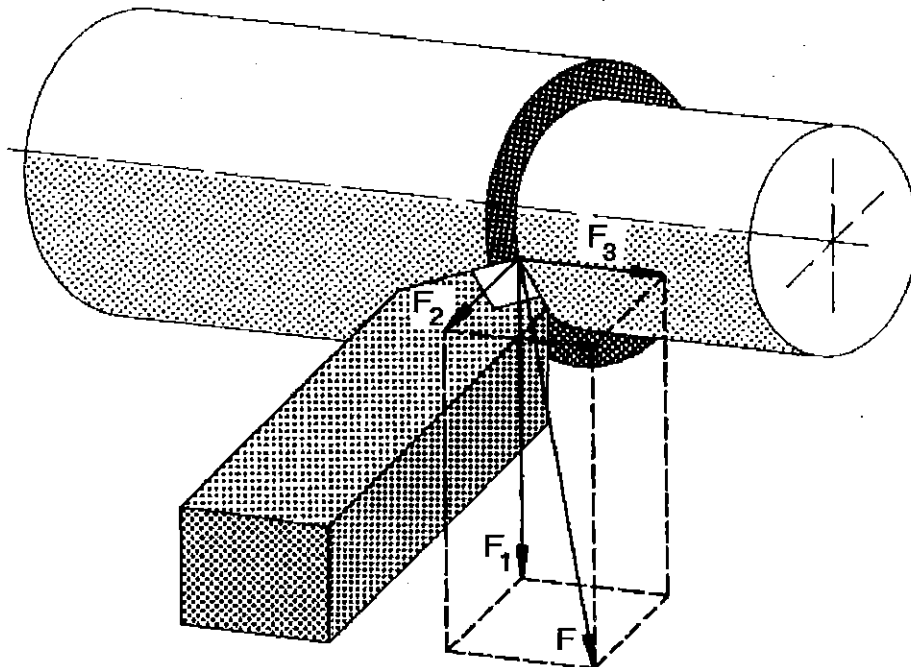
Poznavanje sile rezanja kod struganja omogućuje da se, [3]: izvrši dimenzionisanje reznog alata i pomoćnog pribora, odrede elementi merodavnog režima obrade, odredi energetski bilans mašine alatke, proračunaju i dimenzionišu elementi kinematskog sistema mašine alatke, izvrši proračun grešaka obrade i dr.

Ako se uzme u obzir, da se ista operacija može da ostvari strugarskim noževima različitog oblika tela noža (kvadratnog, pravougaonog i kružnog poprečnog preseka), odnosno različite geometrije reznog dela noža, i to od različitog materijala (brzorezni čelik, pločice od tvrdog metala ili keramike) i pri različitim načinima stezanja, značaj poznavanja sile rezanja postaje još jasniji. U specijalnim slučajevima, intenzitet sile rezanja ili amplituda dinamičke komponente sile rezanja, služe kao upravljački signal kod adaptivno upravljanih obradnih sistema. Isto tako, porast neke komponente sile rezanja može da posluži kao kriterijum zatupljenja reznog alata.

2. SILE REZANJA

¹⁾ Gordana Jovanović, dipl. inž. maš., Mašinska tehnička škola "15. maj", ul. Beogradska br. 22, 18000 Niš. Prof. dr Bojan Rančić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, ul. Beogradska br. 14, 18000 Niš. Docent dr Miodrag Manić, dipl. inž. maš., Mašinski fakultet, ul. Beogradska br. 14, 18000 Niš. Zvonko Damnjanović, dipl. inž. maš., D.P. "Standard", ul. 1. maja br. 24, 19210 Bor.

Dva glavna faktora svake obrade skidanjem strugotine, pa i struganja, jesu tehnološka brzina rezanja i sila rezanja.



Slika 1. Komponente otpora rezanja kod uzdužnog struganja

Rezni klin strugarskog noža, koji je jednosečni alat, deluje na obradak i vrši skidanje strugotine. Materijal obratka se suprotstavlja tom skidanju strugotine odgovarajućim otporom rezanja, koji se, u opštem slučaju (sl. 1), može razložiti na tri komponente:

- glavni otpor rezanja F_1 ,
- otpor prodiranja F_2 i
- otpor pomoćnog kretanja F_3 .

Sile, koje imaju isti intenzitet, a suprotno su smeru u odnosu na komponente otpora rezanja, tj. sile kojima rezni klin alata deluje na obradak, predstavljaju komponente sile rezanja i imaju nazive analogne otporima rezanja. Glavna sila rezanja je kolinearna sa brzinom rezanja, sila prodiranja je normalna na obrađenu površinu, dok je sila pomoćnog kretanja kolinearna sa brzinom pomoćnog kretanja.

Dakle, sila rezanja je mehanička veličina kojom rezni klin alata deluje na obradak u procesu skidanja strugotine. Intenzitet i pravac sile rezanja zavise od, [3]:

- obradivosti materijala obratka,
- mehaničkih svojstava i hemijskog sastava materijala obratka i materijala alata,
- elemenata režima obrade,
- geometrije alata,
- statičkih i dinamičkih karakteristika mašine i
- ostalih tehnoloških uslova obrade.

Sile rezanja se posmatraju i definišu kao statičke veličine za konkretne uslove obrade, premda su, u suštini, dinamičke veličine. Dinamička komponenta sile rezanja zavisi, u prvom redu, od dinamičkog ponašanja obradnog sistema u toku trajanja procesa rezanja.

Sile pri rezanju, određuju se iz obrazaca dobijenih grafoanalitičkom obradom podataka, ili u novije vreme primenom višefaktornog eksperimenta, dobivenih merenjem pomoću dinamometra, a brojne vrednosti dobivene pomoću njih, u većini slučajeva mogu da posluže za dovoljno tačnu procenu veličine otpora rezanja.

Komponente otpora rezanja se određuju primenom proširenog obrasca:

$$F_i = C_{k_i} \cdot t^{x_i} \cdot s^{y_i} \cdot k_{Fi} \quad [N] \quad i=1,2,3; \quad (1)$$

gde su:

C_{k_i} - konstanta, (bira se iz tabele), [1];

t [mm] - dubina rezanja,

s [mm/o] - korak,

x_i, y_i - parametri obradivosti, (biraju se iz tabela), [1].

k_{Fi} - opšti popravni koeficijent u odnosu na glavni otpor rezanja, koji uzima u obzir razliku stvarnih uslova obrade u odnosu na tablične i koji zavisi od kvaliteta materijala alata, kvaliteta materijala obratka, napadnog ugla, ugla nagiba glavnog sečiva, radijusa na vrhu noža stanja površine pripremljena, a koji se bira iz odgovarajuće tabele, [2]

$$k_{Fi} = \prod_v k_{F_{vi}} = k_{F_k} \cdot k_{F_M} \cdot k_{F_Y} \quad (2)$$

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

3.1. Plan eksperimenta

U istraživanjima, vezanim za obradu rezanjem metala, koriste se jednačine u obliku eksponencijalnih funkcija, na primer:

$$F = C \cdot t^x s^y \quad (3)$$

to jest, koeficijenti C_{k_i} i k_{Fi} iz jednačine (1) se ujedinjuju u jednu konstantu C .

Za određivanje konstante C i eksponenata x i y u ovoj jednačini najčešće se primenjuje metoda najmanjih kvadrata, [4]. Bez detaljnijeg objašnjavanja ove metode, napominje se, da je potrebno da oblik istraživane zavisnosti ili jednačine prethodno bude određen (jednačina (3)), a na osnovu detaljnog razmatranja rasporeda eksperimentalnih tačaka na grafiku.

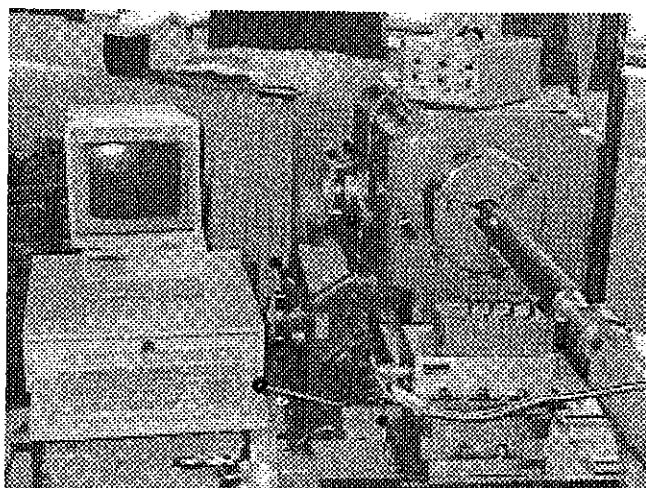
Eksperiment je planiran tako tako da se koraci i dubine rezanja menjaju tokom eksperimenta, dok brzina rezanja i broj obrtaja tokom eksperimenta ostaju konstantni ($n = 265$ o/min). Planirano je da prečnik obrade bude $d = 60$ [mm] i da se vrši uzdužna obrada na materijalu Č.1731 ($R_m = 700+1000$ [N/mm²], HB = 220). i to pločicom od tvrdog metala (TNMM 2204 04), sa držačem noža (tip PTG NR 25 × 25 mm).. U Tabeli 1 date su vrednosti koraka (s) i dubine rezanja (t) pri kojima je planiran i izvršen ekperiment.

Tabela 1. Uslovi eksperimenta i eksperimentalne vrednosti komponenata sile rezanja

s [mm/o]	t [mm]	F ₁ [N]	F ₂ [N]	F ₃ [N]
0.071	0.75	169	44.7	94
0.071	1.50	328	89	226
0.071	3.00	690	121	492
0.071	4.50	1010	210	694
0.178	0.75	380	130	230
0.178	1.50	735	155	454
0.178	3.00	1445	200	938
0.178	4.50	2212	248	1525
0.258	0.75	555	199	281
0.258	1.50	1102	255	655
0.258	3.00	2020	279	1269
0.258	4.50	3164	390	2068

3.2. Merno mesto

Za eksperimentalna istraživanja, u Laboratoriji za mašine alatke i mašinsku obradu na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu, organizovano je merno mesto. Fotografija mernog mesta, sa primenjenom mernom opremom, prikazana je na slici 2.



Slika 2. Fotografija mernog mesta i merne opreme

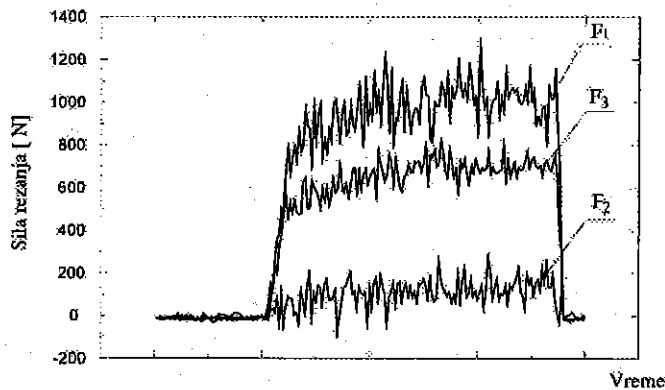
Obrada je vršena na strugu ("Potisje", tip PA-C-30), na kome je postavljen trokomponentni dinamometar ("Kistler", tip 9265A3). Signal sa dinamometra je, preko mernog pojačivača ("Kistler", tip 5007A), dovođen do mernog računarskog sistema ("Hewlett Packard", tip HP 9000/300). Datoteke sa mernog računarskog sistema (radi u Basic 4.0 i nije kompatibilan sa personalnim računarima), su pomoću posebnog programa prebačene u memoriju personalnog računara. Pomoću programa Origin 4.0, vršena je obrada podataka, a obrada dijagrama je vršena u programu Coreldraw 7.0.

Detaljniji podaci o merenju mogu se naći u literaturi [3], [5] i [6].

3.3. Prikaz i analiza eksperimentalnih rezultata

Na osnovu izvršenih merenja snimljeni su dijagrami promene otpora rezanja. Izgled nekih dijagrama promene otpora rezanja za određene korake i dubinu rezanja $t = 4.5$ mm prikazani su na slici 3. Vrednosti za sile rezanja F_1 , F_2 , i F_3 , koje su za odgovarajuće uslove

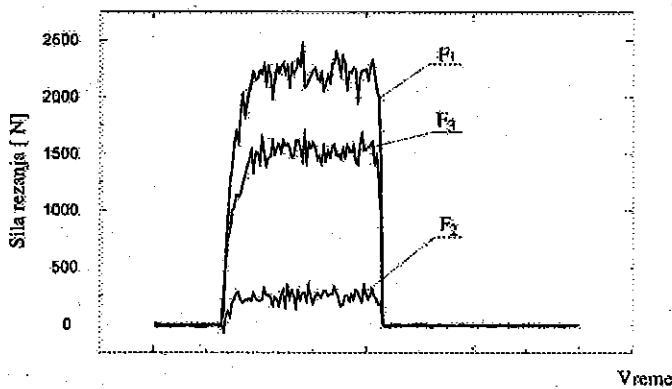
eksperimenta prikazane u Tabeli 1, predstavljaju srednje vrednosti očitane sa dobijenih dijagrama.



Dijagram 1:

$$s = 0.071 \text{ [mm/o]}$$

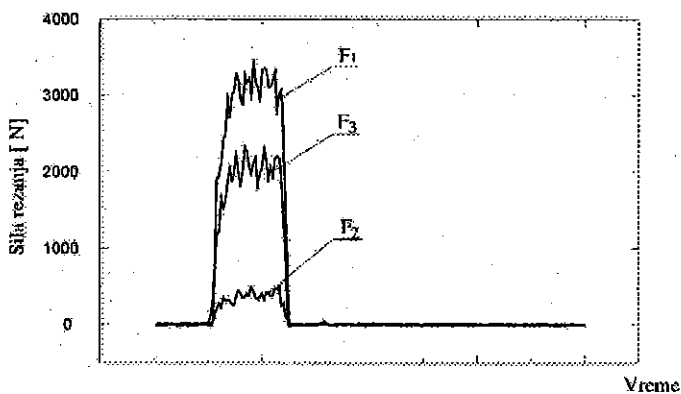
$$t = 4.50 \text{ [mm]}$$



Dijagram 2:

$$s = 0.178 \text{ [mm/o]}$$

$$t = 4.50 \text{ [mm]}$$



Dijagram 3:

$$s = 0.285 \text{ [mm/o]}$$

$$t = 4.50 \text{ [mm]}$$

Slika 3. Dijagrami promene komponenta otpora rezanja

Za očitane vrednosti sila rezanja sa dijagrama, a na osnovu postupka rešavanja metodom najmanjih kvadrata, dobijene su eksperimentalne vrednosti koeficijenata iz jednačine (3), koje su prikazane u Tabeli 2. Teorijske vrednosti ovih koeficijenata, koje su takođe prikazane u Tabeli 2, očitane su iz literature [1], a za materijal Č.1731.

Tabela 2. Teorijske i eksperimentalne vrednosti koeficijenata

i	C _{ki} teorijski	C _{ki} eksperimentalno	X _i teorijski	X _i eksperimentalno	Y _i teorijski	Y _i eksperimentalno
1	1840	2118	1.0	1.016	0.78	0.855
2	1030	564	0.9	0.412	0.75	0.816
3	630	1064	1.1	1.08	0.55	0.762

4. ZAKLJUČAK

Upoređivanjem teorijskih, [1], i eksperimentalnih vrednosti postaje očigledno da se podudaranje rezultata javlja samo kod glavnog otpora rezanja. Zbog toga se u najnovijoj literaturi (na primer [7]) daju samo podaci za C , x i y za glavni otpor rezanja.

Velika odstupanja se uočavaju za sile F_2 i F_3 (pri zadatim uslovima obrade sila F_2 je čak manja od sile F_3). U cilju dobijanja što tačnijih podataka, potrebno je izvršiti veći broj merenja, pri različitim uslovima obrade, čime bi se tačnije odredile vrednosti koeficijenata.

5. LITERATURA

- [1] Stanković P., Mašinska obrada - obrada metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1974.
- [2] Nikolić D., Stanić J., Jovanović T., Gajović V., Mašinska obrada - Priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem, Privredni pregled, Beograd, 1983.
- [3] Stanić J., Kalajdžić M., Kovačević R., Merna tehnika u tehnologiji obrade metala rezanjem, Građevinska knjiga, Beograd, 1983.
- [4] Jašcericin P.I., Eremenko M.L., Žigalko N.I., Osnovi rezania materialov i režušcij instrument, Višejšaja škola, Minsk, 1981.
- [5] Marinković V., Radovanović M., Priručnik za laboratorijske vežbe iz obrade materijala rezanjem, Mašinski fakultet-Univerzitet u Nišu, Niš, 1994.
- [6] Rančić B., Praktikum za laboratorijske vežbe iz inženjerske metrologije sa teorijskim osnovama, Mašinski fakultet-Univerzitet u Nišu, Niš, 1999.
- [7] Kalajdžić M. i dr., Tehnologija obrade rezanjem - priručnik, Mašinski fakultet-Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1999.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CUTTING FORCE COMPONENTS AT EXTERNAL ALONGSIDE TREATMENT ON THE LATHE

Abstract

In the older literature was introduced hypothesis that the ratio of cutting force components at external alongside treatment on the lathe; that is main cutting resistance F_1 , penetrate resistance F_2 , support motion resistance F_3 ; approximately is 5 : 2 : 1. Development of measure technic made possible measuring, that is experimentally determination cutting force components. On the experimental results, achieved in this in this work, was drawn the conclusion that assumed ratio of cutting force components is not always valid and to a great extent depends on cutting part geometry of lathe tool and obtuseness of cutting edge.

DURABILITY OF THE CERAMIC CUTTING PLATES AT TURNING OPERATIONS WITH INCREASED SPEED OF CUTTING

Mikolaj Kuzinovski*, Zaklina Stamboliska**, Strezo Trajkovski*

REZIME

Prestavljena je funkcija trajnosti keramičkih reznih pločica, koja ZAVISI od rezacke dubine a , posmaka f i rezacke brzine v , uzimajući u obzir stepen zatupljenosti preko pokazatelja KE i VB_B . Struganje je izvedeno na numerički upravljanoj strugu TUR 50 SN-DC sa snagom od $P=18,5$ kW i područje kontinualne promene brojeva obrtaja $n=50-2250$ o/min i obradivanog materijala C1630. Funkcija trajnosti je određena primenjujući četvorofaktorni potpuni plan eksperimenta 2^4+4 . Istraživanja su izvedena reznim pločicama AC5 SNGN 120704 ($Al_2O_3+10\% ZrO_2$) firme HERTEL. One su postavljene u rezni držac CSRNR 25x25 M13H3 iste firme, koji daje reznoj ivici sledeću stereometriju: $\kappa=75^\circ$, $\kappa_1=15^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\lambda=-6^\circ$, $\epsilon_r=90^\circ$, $\gamma_f=20^\circ$, $b_f=0.2$ mm.

1. INTRODUCTION

Innovation of the newer cutting materials has conditioned acquaintance of the mathematical models for description of the wear mechanism and durability of the cutting plates as a function of the conditions and time of machining. This acquaintance has an important role in the:

- selection of the optimal machining regimes for the cutting process and cutting geometry, where the processes and cutting plates show best results;
- governing of the product's quality through prediction of the wear process and determination of the moment of cutting plates exchange with the aim to avoid appearance of larger deviations in dimension, shape and roughness of the work piece from the previously determined one, which has special significance in the automated machining,
- development of the shape and production technology of the cutting plates and in the improvement of their cutting properties with the aim to satisfy temporary production requirements.

In the group of the new cutting materials belong cutting materials of ceramic. Ceramic cutting plates, compared with the other cutting materials, retain their physico-mechanical properties, great hardness and wear resistance on the significantly higher temperatures, which enables use of increased speeds of cutting. Cutting speed is the reason for more intensive influence of the cutting process on the change of the cutting tool state, and at that way it directly effect on the technological effects of the machined surface.

The appraisalment of the state of wear on the cutting cutter is performing using the wear

* University "Sv. Kiril i Metodij", Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, Macedonia

indicators, which can be considered in three groups [1,3,5]:

- geometry indicators, which characterize the stereometric properties of the cutting coter and they are presented on the fig.1.1 [1,3],
- technology indicators, which are referred on the accuracy of dimensions, shape, position and on the roughness of the machined surface,
- energy indicators, which characterize the change of the energy relations in the process of decohesion (increase of the cutting resistance and need for greater power, increase of the cutting temperature, appearance of vibrations in the system of machine tool-fixture-work piece-cutting tool).

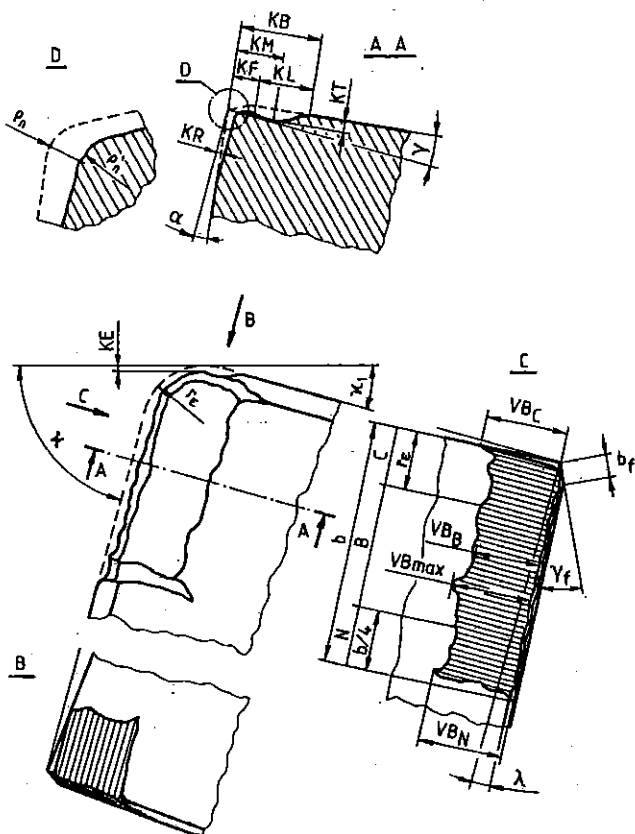


Figure 1.1 Geometry indicators of the cutting coter wear during machining with turning [1,3]

machining processes of cutting, point to special significance of the functions for description of the wearing process of the cutting plates (VB_B , $KE=Cv^x f^y a^z t^q$), and significance of the extended Taylor equations for definition of the cutting plate durability $T=T(v, f, a, VB_B, KE)$, where the criteria of obtuseness, VB_B and KE , are included.

It is very important to be mentioned that during realization¹ of the cutting operations on numerically controlled cutting machines [6], difficulties arise in determination of the total cutting time of the separate cutting tools and also in determination of the rest of the time that lefts on disposal of the cutting edge after the realization of certain operation, because frequently one and the same cutting tools are switching into the cutting process several times during realization of one NC program tools and mostly with variable cutting parameters.

Adoption of the limiting values of the wear indicators (familiar as criteria for cutting tool obtuseness) has special meaning. Here we are speaking about [1,3,5]:

- physical criteria, which are directly depended of the coming up to the limiting values of the energy indicators of the cutting coter wear,
- technological criteria, which are referred on the limiting values of the parameters that defined technological quality of the product,
- economical criteria, which intrude allowed geometrical values for the cutting coter wear indicators so that minimal costs during exploitation of the cutting tools or minimal price of the product can be accomplished.

All of these activities, which are present during realization of the

¹Temporary methods for researching the 3-D geometric structure characteristics of the machined surfaces, science- research project financed by the Ministry of science of R. Macedonia, No. 40068498, 1998-2000

2. EXPERIMENTAL CONDITIONS

Durability trials are carried out on a numerical control lathe TUR 50SN-DC with power $P=18,5$ kW and range of steeples change of the rotation numbers $n=50-2250$ o/min (fig. 2.1), with application of SNGN 120704 cutting plates from AC5 ($Al_2O_3+10\%ZrO_2$) ceramic from the HERTEL firm. They were placed into the cutting holder CSRNR 25x25 M12H3 from the same firm, which gives to the cutting edge the following stereometry: $\kappa=75^\circ$, $\kappa_l=15^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\lambda=-6^\circ$, $\varepsilon_r=90^\circ$, $\gamma_f=-20^\circ$, $b_f=0.2$ mm.

C1630 (DIN C55) with hardness within the 200 to 217 HB was applied as a work material. Initial dimensions of the work piece were $\phi 210 \times 485$ mm and the machining was performed within the range of diameters $\phi 210$ to $\phi 134$ mm (fig. 2.2), which has provided stable process of cutting. Technological parameters v , f , a and t were varied following table 2.1 without use of coolant. Mathematical models of the process of cutting plate obtuseness are designed using four factor total experimental design from first order (2^4+4).

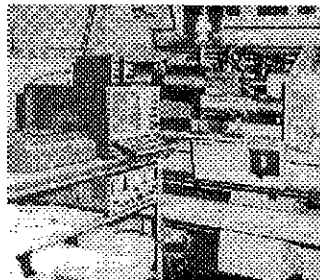


Figure 2.1 Experimental installation for carrying out durability trials

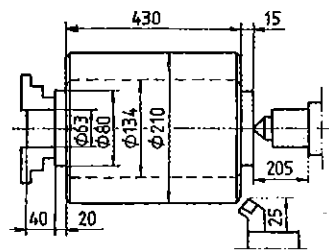


Figure 2.2 Dimensions and way of positioning of the work piece.

Table 2.1

CHARACTERISTICS OF INPUT VARIABLES					
No.	Mark	Level code	Maximal 1	Mean 0	Minimal -1
1.	v (mm/min)	x1	650.000	441.588	300.00
2.	f (mm/vr.)	x2	0.320	0.226	0.160
3.	a (mm)	x3	1.600	1.131	0.800
4.	t (min)	x4	8.000	2.828	1.000

Introduction of the time of machining t , as input independent variable, has provided estimation not only of the mathematical model for description of wear indicators, as function of time t , but at the same time, estimation of the "Taylor" durability equation as function of v , f and a for different criteria VB_B and KE of the cutting edge wear. Measurement of the flank wear land VB_B in the zone B was carried out using stereoscope microscope and micrometer table, conjugated with inductive transducer and digital indicator Vistronic-C1 [3]. Measurement interval of ± 1.0 mm was adopted for VB_B estimation, with value of the measurement scale of $1 \mu\text{m}$.

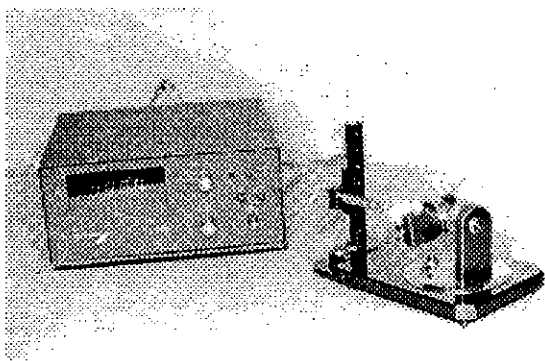


Figure 2.3 Fixture for radial wear measurement

Radial wear KE was measured on the specially designed fixture (fig. 2.3), conducted with inductive transducer and digital indicator Vistronic-C1 [3]. Measurement interval of ± 0.2 mm was adopted for KE estimation, with value of the measurement scale of $0.1 \mu\text{m}$.

3. FUNCTIONS OF CERAMIC CUTTING PLATE OBTUSENESS

During the experimental investigation, change of the VB_B and KE (fig. 1.1) of the ceramic cutting plates were traced. Graded function is adopted to describe these changes:

$$VB_B, KE = C \sqrt[3]{f^2 a^2 t} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Selected plan and experimental results are shown on the table 3.1.

Table 3.1

FOUR-FACTOR EXPERIMENTAL DESIGN FROM FIRST ORDER											
No	Real and coded plan-matrix- input independent variables									Results	
		v (m/min)		f (mm/vr)		a (mm)		t (min)		VB_B (mm)	KEsr (μm)
1.	1	300.000	-1	0.160	-1	0.800	-1	1.000	-1	0.070	2.900
2.	1	650.000	1	0.160	-1	0.800	-1	1.000	-1	0.130	9.600
3.	1	300.000	-1	0.320	1	0.800	-1	1.000	-1	0.080	3.300
4.	1	650.000	1	0.320	1	0.800	-1	1.000	-1	0.150	10.800
5.	1	300.000	-1	0.160	-1	1.600	1	1.000	-1	0.075	3.400
6.	1	650.000	1	0.160	-1	1.600	1	1.000	-1	0.150	9.100
7.	1	300.000	-1	0.320	1	1.600	1	1.000	-1	0.080	3.200
8.	1	650.000	1	0.320	1	1.600	1	1.000	-1	0.165	11.800
9.	1	300.000	-1	0.160	-1	0.800	-1	8.000	1	0.228	16.750
10.	1	650.000	1	0.160	-1	0.800	-1	8.000	1	0.400	33.580
11.	1	300.000	-1	0.320	1	0.800	-1	8.000	1	0.268	19.505
12.	1	650.000	1	0.320	1	0.800	-1	8.000	1	0.425	35.380
13.	1	300.000	-1	0.160	-1	1.600	1	8.000	1	0.230	16.000
14.	1	650.000	1	0.160	-1	1.600	1	8.000	1	0.434	35.000
15.	1	300.000	-1	0.320	1	1.600	1	8.000	1	0.270	20.100
16.	1	650.000	1	0.320	1	1.600	1	8.000	1	0.489	38.100
17.	1	441.588	1	0.226	0	1.131	0	2.828	0	0.200	11.740
18.	1	441.588	1	0.226	0	1.131	0	2.828	0	0.170	12.630
19.	1	441.588	1	0.226	0	1.131	0	2.828	0	0.160	10.060
20.	1	441.588	1	0.226	0	1.131	0	2.828	0	0.180	11.000

Using the methodology for selection of adequate mathematical model, which is described in [2,3,4], it was enabled to obtain four kinds of mathematical models: without mutual interaction, with or without appraisal of the factor's significance and with mutual interaction, also with or without appraisal of the factor's significance.

Mathematical models without mutual interaction and without appraisal of the factor's significance are adopted for description of VB_B and KE in the future analysis. The aim was that in all future analysis, all of the varied input variables (v , f , a and t) to take place, so that its influence on the process of obtuseness of the major back side and radial wear can be defined.

The form of estimated mathematical models is the following:

$$VBB = 0.00105v^{0.795} f^{0.169} a^{0.0984} t^{0.543} \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$KE = 0.00506 v^{1.194} f^{0.174} a^{0.0474} t^{0.714} \quad (\mu m) \quad \dots \quad (3.3)$$

Taylor's extended equations of durability for different criteria of wear VB_B and KE can be obtained with transformation of the adopted models (3.2) and (3.3), e.g.:

$$T_{VB_B} = \frac{306083 VB_B^{1.842}}{v^{1.464} f^{0.311} a^{0.181}} \quad (\text{min}) \quad \dots \quad (3.4)$$

$$T_{KE} = \frac{1642.30 KE^{1.401}}{v^{1.672} f^{0.244} a^{0.0664}} \quad (\text{min}) \quad \dots \quad (3.5)$$

Graphical interpretation of the equations (3.4) and (3.5) is shown on the Fig.3.1 and Fig.3.2.

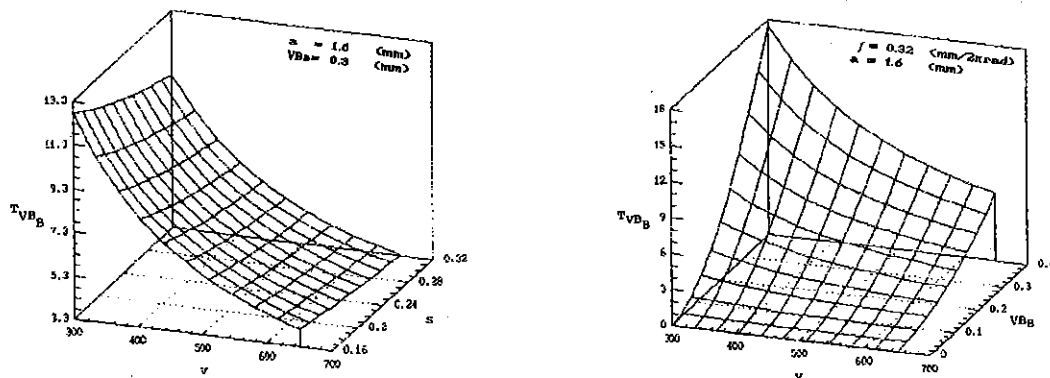


Figure 3.1 Graphical interpretation of the model 3.4

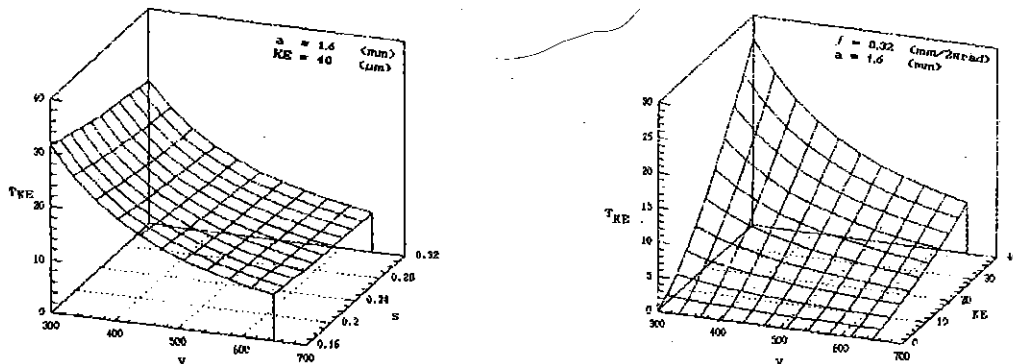


Figure 3.2 Graphical interpretation of the model 3.5

Following the equations (3.4) and (3.5) and graphical interpretation (fig.3.1 and fig. 3.2) it emerges that cutting speed v has dominant influence, while feed f and depth of cut a have far lower influence on the cutting plates durability. Introducing the wear criteria in to the Taylor durability equations (3.4) and (3.5) conditions are created for selection of optimal parameters of cutting, v , f and a , from a technological point of view. Criteria of KE is important for adopted accuracy of dimensions, while achievement of the wanted roughness of the machined surface is in a direct correlation with the state of the cutting tool, e.g. VB_B and VB_C (fig.1.1).

4. CONCLUSION

Following conclusions can be brought out under the base of performed investigation and analysis of the obtained experimental results and mathematical models that describe process of cutting plate obtuseness and durability:

- Wear of the cutting cutter as a function of parameters and time of cutting can be satisfactory described with graded function;
- The most significant parameter that influence cutting plate wear (VB_B and KE) within the range of the cutting parameters, and for which investigation were carried out, is the cutting speed v , than the feed f , time t and depth of cut a ;
- Presented durability functions (3.4) and (3.5) can be applied for estimation of limits of the area of allowed solutions in relation to optimal parameters of cutting or in relation to economical criteria for cutting tool obtuseness;
- Introducing additional functional dependency of the cutting edge wear on the cutting parameters and time of machining ($VB_B, KE=C v^p f^q a^r t^s$), it is possible to estimate not only the total time of cutting for the cutting edge, but also the grade of its obtuseness and estimation of the rest of the time left from the cutting plate durability $T=T(v, f, a, VB_B, KE)$. But, we have to make a complement that wearing traces, which were generated in the previous machining operation, has dominant influence on the process of wearing that will occur in the next cutting operations with parameters of cutting different than than previous. So it would not be possible the total durability, in changeable conditions of cutting, to be estimated as a "simple" sum of the separate times.

REFERENCE:

1. ISO 3685-1977(E), Tool-life testing with single-point turning tools
2. Kuzinovski M. Identifikacija na istrazuvackite procesi so primena na metodite na planiranje na eksperimentite, Zbornik na trudovi br.9. Masinski fakultet- Skopje, 1990
3. M. Kuzinovski, Investigation of the physical phenomena and technological effects during turning with increased speed of cutting, Doctorate, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje, 1991
4. Kuzinovski M., Pavlovski V., Zebrovski H., Cihosz P., Stamboliska Z.,... : Razvoj na metodika i laboratoriska oprema za izveduvanje na analiticko eksperimentalni istrazuvanja vo oblata na obrabotkata so rezenje. Ministerstvo za nauka. 1995-1997 god.
5. Cook N. H. Prediction of tool life and optimal machining conditch. "Wear", 1980, 62, No1, pp.223-231
6. J. Balamucki, P. Cichosz, J. Koch, M. Kuzinovski, Z.Szubert, J.Werynski, K.Zaba, H.Zebrowski. OPRACOWANIE SYSTEMU GOSPODARKI NARZEDZIOWEJ W ZINTEGROWANYM WYTWARZANIU. State Committee for Scientific Research KBN, 1994 -1997. No 350112, Poland

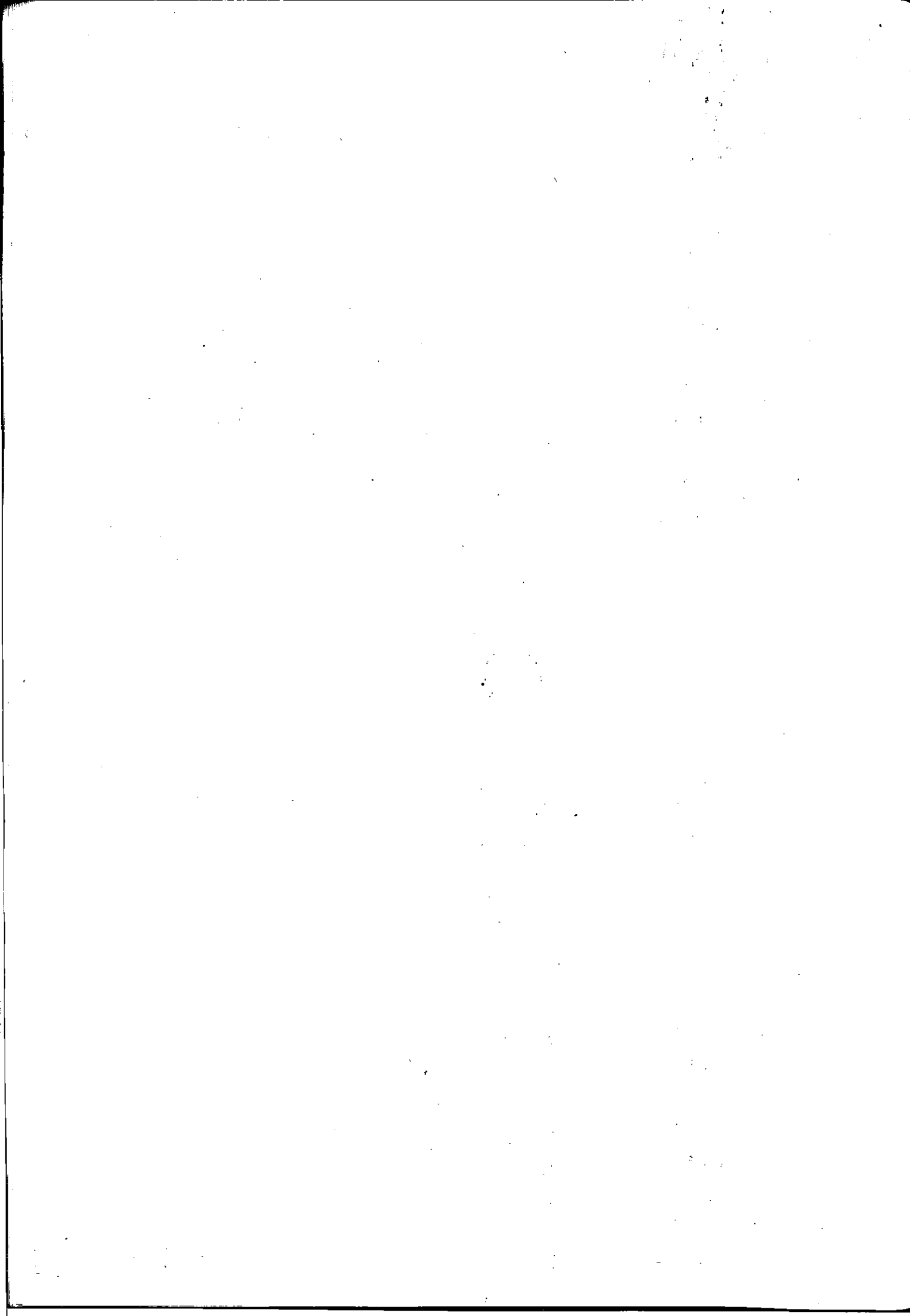
ABSTRACT

In this paper, the function of ceramic plates durability, which depends on the depth of cut a , the feed f , and the cutting speed v , taking into account the stage of cutting plate obtuseness by radial wear KE and obtuseness on the main back surface VB_B , is presented. Turning was performed on a numerical control lathe TUR 50 SN-DC with the power of $P=18,5$ kW, the interval of steeples change of the rotation numbers $n=50-2250$ o/min and C1630 as work material. Durability function is determined with application of multifactor experimental design 2^4 . Cutting plates SNGN 120704 type AC5 ($Al_2O_3+10\% ZrO_2$)-HERTEL, that were used in the experiment, were placed in the cutting holder CSRNR 25x25 M13H3, from the same firm, giving to the cutting tool the stereometry of $\kappa=75^\circ$, $\kappa_1=15^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $\lambda=-6^\circ$, $\epsilon_r=90^\circ$, $\gamma_f=-20^\circ$, $b_f=0.2$ mm.



**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.**

2. OBRADA METALA DEFORMISANJEM



PRILOG O TEHNOLOŠKIM MOGUĆNOSTIMA IZRADE TEŠKIH MATICIRANIH OTKOVAKA U POSTOJEĆIM KOVAČNICAMA U SRBIJI

Bogdanov LJ., Đorđević LJ., Radovanodvić M.¹

Rezime

U svetu optimalno se rade matricirani otkovci do caa 320 kg. Tehnološki proces kovanja teških otkovaka je veoma složen sa aspekta režima zagrevanja, kovanja, termičke obrade i kontrole kvaliteta. U svakoj kovačnici je neka komponenta nesavršena ("usko grlo") i onemogućava mogućnost izrade kompletnih kvalitetnih otkovaka. Ovaj rad je prilog za korišćenje postojećih kapaciteta uz male inovacije i doinvestiranja za izradu radilica motora, prednjih osovinu kamiona, glavčina velikih točkova, rukavaca, kućišta vagonskih osovinu itd.

1. UVOD

Kovanje čelika kao tehnološki proces još uvek nije detaljno ispitano zbog složenosti samog procesa i zbog uticaja mnogih činilaca. Za identifikaciju uticajnih faktora potrebno je teoretsko znanje, praktično iskustvo i skupa oprema za ispitivanje. Pojam "teških" otkovaka u većini slučajeva podrazumeva izradu otkovaka u kalupu težih od 20 kg. naročito preko 60 kg. Uobičajena serijska izrada otkovaka u kalupima je do 320 kg. Izuzetno izrada težih otkovaka spada u tretman "specijalni otkovci". Pod pojmom "teški otkovci" neki praktičari podrazumevaju otkovke složenih oblika a koji po masi su u dijapazonu 20+160 kg. (rukavci, manje radilice, prednje osovine kamiona, kućišta vagonskih točkova i dr.).

Serijska proizvodnja traktora, vagona kamiona, automobila itd. uslovljava i razvoj izrade otkovaka sa aspekta:

- izbora načina zagrevanja
- izbora konstrukcije alata i
- izbora opreme za kovanje

Od veličine serije zavisi tehnologija izrade. Proces kovanja može se obaviti u jednogravurnim i višegravurnim alatima što zavisi od komplikovanosti t.j. prema stepenu složenosti. Udeo mehanizacije i automatizacije procesa je važan činilac. Najkvalitetnije kovanje je ako se obavi iz jednog grejanja. Svako dogrejanje ili ponovno grejanje utiče na kvalitet otkovka, moguće je ako je proces automatizovan i mehanizovan u većem stepenu. Teški otkovci su uglavnom

¹ dr Ljubomir Bogdanov, viši naučni saradnik MIN Institut Niš, dr Ljubodrag Djordjević, van. prof. Maš. fakultet Kraljevo, dr Miroslav Radovanović, docent, Maš. fakultet Niš

sa zahtevima visoke dinamičke izdržljivosti i kao takvi ne smeju imati defekte bilo koje vrste. Istorija osvajanja proizvodnje teških otkovaka ukazuje na prisutnost definisanja i rešavanje tih problema. Izrada otkovaka bez dubokih površinskih i ostalih defekata, zahteva kvalifikovanu konstrukciju veoma skupih kovačkih alata, kvalitetnu izradu alata, pravilnu eksploataciju i održavanje istih, nužna je savršenija metoda zagrevanja materijala za kovanje, pravilan izbor mašina za kovanje, naučnu organizaciju rada i iskusne kadrove koje treba stalno usavršavati.

2. OSVRT NA RAZRADI TEHNOLOGIJE KOVANJA

Tehnološka struktura tehnologije kovanja implicitno se može ocenjivati preko koeficijenta iskorišćenja materijala za kovanje. Zbog nesavršenosti procesa kovanja koeficijent iskorišćenja materijala u većini otkovaka ide u granicama od 0.65+0.78 (odnos mase otkovaka prema masi uložnog materijala). Tehnološki proces kovanja može se posmatrati kao tradicionalni (postojeći-zatečeni) i progresivan (inovirani ili novi). Kovanje na Maksi presama spada u progresivne metode, a na čekićima i frikcionim presama a zastarele metode, ali zbog postojećih kapaciteta još uvek su u primeni. Osnovna tendencija razvoja svake tehnologije kovanja je sa ciljem:

- smanjiti utrošak materijala (gubitke svih vrsta)
- kovati otkovke sa manjim dodacima za mehaničku obradu
- usavršiti proces sa većim stepenom mehanizacije i automatizacije pojedinih zahvata uvažavajući tehnološki redosled procesa kovanja

Komponente procesa kovanja po operacijama su:

- skladištenje materijala
- sečenje materijala
- grejanje, kovanje, krzanje
- termička obrada
- čišćenje-peskarenje
- brušenje, dorada, ispravljanje (po potrebi)

Treba napomenuti da sečenje materijala lomljenjem (smicanjem) je sa aspekta gubitka materijala veoma rentabilno, ali svi čelici se ne smeju lomiti zbog pojava prskotina usled stvaranja veoma složenog naponskog stanja u materijalu. Predzagrevanjem materijala pre lomljenja širi se nomenklatura čelika koji se mogu lomiti. Prateća pojava kod lomljenja je ugao smicanja (do 1°30') i tolerancija po dužini min 1.6mm, pa i više. Veoma je visoka produktivnost sečenja ide do 600 kom./h – profila većih dimenzija. Kod kovanja otkovaka izduženih oblika (poluge, klipnjače i dr.) sa primenom kovačkih valjaka za pripremno kovanje (REKWALC) produktivnost rada se može povećati do 1.7 puta a ekonomika metala do 15%.

3. SAVREMENI REZULTATI U SVETU KOD KOVANJA RADILICA MOTORA I PREDNJIH OSOVINA KAMIONA

Kovanje radilica i prednjih osovina je složen tehnološki proces. U prvom redu radilice kovane su na čekićima. Ima proizvođača gde ih kuju na frikcionim presama, a u zadnje vreme je na Maksi presama.

Vredno je napomenuti tehnologiju kovanja radilica za kamion ZIL130 (Rusija). Ista spada u novije proizvođače a kovačnica je najveća u svetu.

- Sila prese za kovanje u kalupu	125MN
- Proizvodnja otkovaka na čas	75 kom/h
- Broj radnika u brigadi	16 radnika/smenu
- Ugrađena snaga cele linije	6300 KWh
- Gabaritni prostor tehn. linije	72x24 m
- Masa ugrađene opreme	2122 t

Ostali interesantni parametri kovačnice:

- kapacitet kovačnice	315 000 t/god.
- Broj pozicije otkovaka	400 poz./god.
- Površina kovačnice	180 000 m ²
- Broj radnika (tehnički personal)	800 radnika
- Broj linija Maksi presa (10+120MN)	64
- Broj linija HKM	13

Linija je automatizovana a pojedine faze procesa su kompjuterizovani (transport između operacija, zagrevanje materijala kontrola i dr.) [1], [2].

Većina ostalih kovačnica poseduju kapacitete za kovanje radilica i prednjih osovina kao zaokružena tehnološka baterija. Produktivnost je manja, troškovi su veći ali kvalitet kovanja je na visini i odgovara tehničkim uslovima koje propisuje naručilac.

4. OCENA STANJA POTREBA OTKOVAKA RADILICA I PREDNJIH OSOVINA U SRBIJI

Iz grupe teških otkovaka posebno su izdvojeni radilice i prednje osovine zbog svoje specifičnosti i komplikovanosti.

Vrste radilica prikazani su na sl. 1 gde se vide veličine od jednog do 6 kolena pod uglom od 180° i 120°.

Uslovi koji obezbeđuju mogućnost najboljeg oblikovanja metala pri različitim operacijama u našim kovačnicama su veoma različiti. Ovaj problem može se posmatrati kao mogućnost kovanja otkovaka sa optimalnom produktivnošću, zadovoljenja uslova kvaliteta, bezbednosti rada itd.

Prema zahtevima međunarodnih standarda svi otkovci podležu poštovanju tehnološke procedure u pogledu ispunjavanja tehničkih uslova isporuke i to:

Opseg primene: uglavnom radi se o standardima za materijale i veza sa internim standardima proizvođača otkovaka za prijem materijala, skladištenje i lansiranje u proizvodnju.

Veza sa drugim strukturama: radi se o posebnim standardima za određene veličine i parametre (strukture promene, veličina zrna itd.).

Zahtevi: Svi zahtevi su definisani na crtežu otkovka: dodatak za obradu, dozvoljena odstupanja geometrijskih mera, pomeranje kalupa, hrapavost površina, dozvoljeni ostatak okrzotine, dozvoljena iskrivljenost itd.

Oznake: Tačno su definisani oblici oznaka, dimenzije i mesto; važna je oznaka proizvođača i naručioca kao i mesto za prenos broja šarže. Mogući su zahtevi i za prenošenje rednog broja otkovaka itd.

Stanje isporuke: Na crtežu otkovka definiše se stanje isporuke otkovka. Ovde se uglavnom misli na termičko stanje isporuke (žareno, normalizovano, poboljšano itd.) i način čišćenja, zaštite i pakovanja.

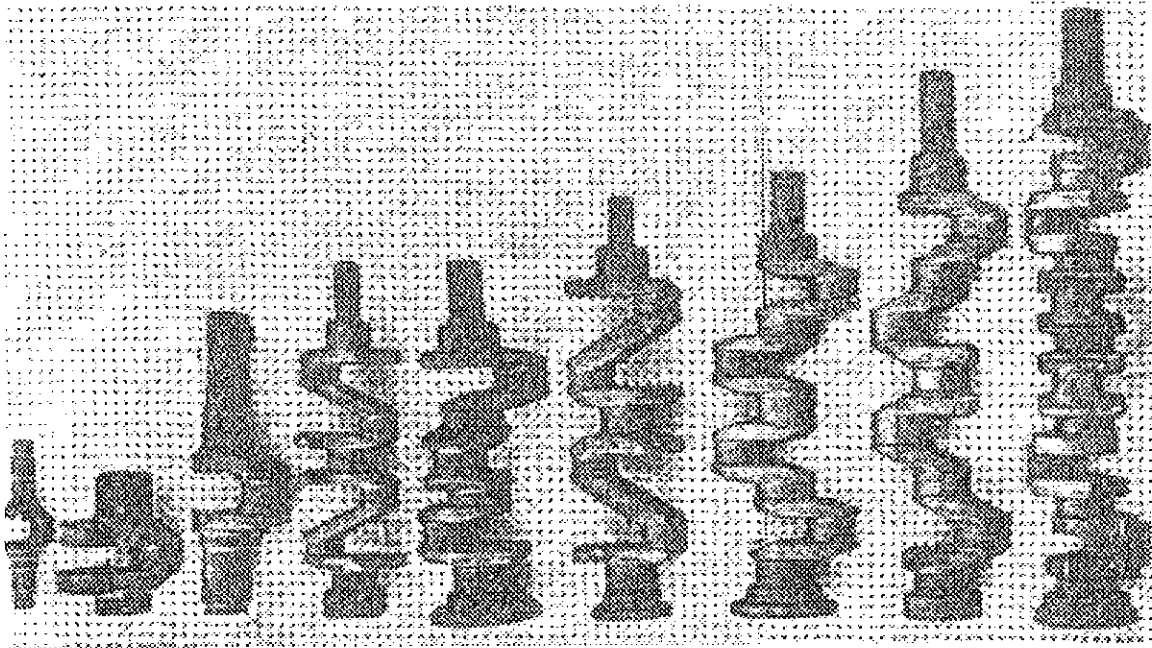
Kontrola i ispitivanje: Ovo je veoma važna aktivnost. Svi parametri procesa podležu strogoj kontroli i evidenciji (režim zagrevanja, odstupanje mera, tvrdoća itd.) kao dobar sistem

pokazao se statistički metod kontrole u uslovima veliko serijske proizvodnje.

Detaljna mehanička i hemijska ispitivanja obavljaju se kod osvajanja otkovka a češće i kod promena šarži i isporučioaca materijala.

Kontrola prskotina i unutrašnjih defekata obavlja se ultrazvukom i bajcovanjem, ferofluxom i drugim metodama.

Metalografska ispitivanja (strukture, veličina zrna) obavljaju se detaljno kod osvajanja prvih otkovaka ili kod promene tehnologije izrade.



Slika 1. Familija radilica od 1+6 kolena za motore i kompresore

Klasifikacija grešaka: Primarne greške čine odstupanje geometrijskih mera, nepopunjenost kalupa višak materijala itd. i one ugrožavaju funkcionalnost i korišćenje steznih alata pri mašinskoj obradi.

Sekundarne greške su šavovi, preklopi, prskotine, pregorela mesta i dr. One su veoma opasne i nedopustive.

Kriterijum za odbijanje prijema otkovka je ocena svih grešaka preko dozvoljenih mera i isti daje veoma iskusan tehnolog kovanja. Iz ove skraćene procedure može se zaključiti da kovanje radilica i preostalih oblika je veoma složen i komplikovan proces i takav program mogu raditi samo veće kovačnice.

O tehnologiji kovanja radilica može se ukratko reći da proces kovanja zahteva pripremno kovanje u kalupu i završno u kalupu, a kod prednjih osovina (sl. 2) prethodno slobodoručno kovanje ili na automatu (Lasco) i završno kovanje u kalupu. Najveći potrošači ovih otkovaka su: FAP Priboj, i IMR Rakovica, DMB Beograd, IMT Beograd i dr.

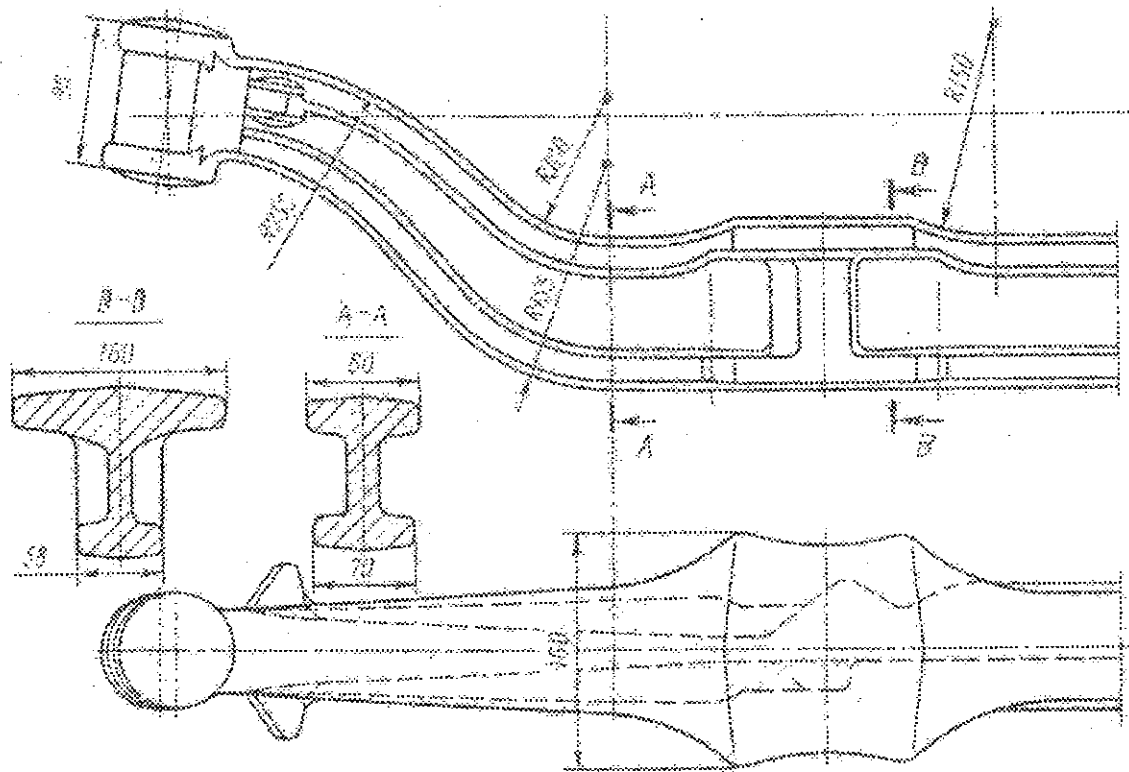
Potrebna mašina za kovanje radilica za pripremno kovanje je čekić 320 kJ a za završno 400 kJ i da su vezani u bateriji; potrebna sila prese za krzanje je 1200kJ.

Postojeći kapaciteti kovanja u Srbiji su:

1. Kovačnica MIN-Niš
2. Kovačnica 14 oktobar Kruševac
3. Kovačnica Zastava Kragujevac
4. Kovačnica ILR Lešak
5. Kovačnica Proleter Arilje
6. Kovačnica FV Kraljevo
7. Kovačnica Zmaj Zemun

8. Kovačnica PPT Župski Aleksandrovac
9. Kovačnica IMT "Jaša Tomić"
10. Kovačnica Lemind Leskovac

Teške otkovke od caa 60kg mogu kovati kovačnice 1, 2, 3, 6 ali pojedine faze procesa nisu zaokružene.



Slika 2. Prednja osovina za kamion

Najveći problem je termička obrada (poboljšanje). Može to da se obavi sa univerzalnim pećima ali kvalitet je nestabilan, pa je primena ograničena samo za male serije. U uslovima suženog tržišta neki teški otkovci mogu se raditi kvalitetno ali bi troškovi bili veći zbog transporta i istrošenosti kapaciteta. Problem treba rešiti razradom procesa kovanja po operacijama i koristiti mogućnosti postojećih kapaciteta. Kompjuterom obrađena dokumentacija može se informacionim sistemom prenositi brzo i dislocirano obavljanje pojedinih operacija može se pratiti pouzdano.

5. ZAKLJUČAK

Mogu se osvojiti teški otkovci sa postojećim kapacitetima u organizovanoj proizvodnji u kooperaciji usluga. Treba do investirati pojedina "uska grla" što će naučno stručna analiza to definisati i opravdati. Ukoliko potraju sankcije (zatvoreno tržište) nužno je osloniti se na sopstvene snage bez obzira na povećane troškove.

Ovde se misli za kovanje većih radilica četvero i šestoro cilindričnih motora (ukoliko su čekići manjih udarnih energija proces se može obavljati iz više udaraca, ali je opterećenje alata veće i vek alata je manji. Za osvajanje radilica i prednjih osovina neophodna je bliska i čvršća saradnja isporučioaca i korisnika otkovaka.

Sa postojećim kapacitetima i malih inovacija mogu se kovati radilice za motore do 3 cilindara ("dvojka i trojka"). Četvorocilindrična radilica uz veće investicije za zaokružnje kovačke baterije moguće je kovati, ali treba rešiti termičku obradu (poboljšanje). Klasična termička obrada u postojećim komornim pećima je moguća, ali nepouzdana za stabilnost procesa. Za kovanje šestocilindrične radilice i prednje osovine kamiona treba nova oprema u nekoj većoj postojećoj kovačnici. Veličina serije je veoma bitna za opredeljenje izbora tehnologije kovanja.

LITERATURA

1. V.I. Semendiň -, I.L. Akaro, N.N. Volosov - Progressivne tehnologi oborudovanie i avtomatizaci kuznečno-štandovočnogo proizvodstvo Kamaza, Moskva Mašinostrenie, 1989.god.
2. Kuznečno-šampovačnoe proizvodstvo, Mašinostrenie, 1984.god.
3. DIN norme za kovanje
4. P.Popović, Lj. Bogdanov i dr. - Metode i alati za zapreminsko oblikovanje i kovanje, Niš 1980.god.

SUPPLEMENT ABOUT THE TECHNICAL POSSIBILITIES IN MANUFACTURE HARD DIE FORGING AT THE EXISTANT BLACKSMITH SHOPS IN SERBIA

Summary

In the world optimal production of die forging is up to caa 320 kg. Tehnical process of forging hard forging is very complicated from the aspect of: warming, forging, thermal treatment, and control of quality. In every blacksmith shop some of the component is imperfect and enables the possibility of manufacture the completed forging with quality. This work is a supplement about the possible use of the existant capacities with small inovations and invetments in manufacture the crank shafts, front axles of trucks, large wheel hub, housing of carload axles, ect

MODELIRANJE TRIBOLOŠKIH PROCESA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA

D. Adamović¹, M. Stefanović², V. Lazić³

Rezime

U radu je dat pregled najčešće korišćenih tribo-modela dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida sa njihovom analizom u pogledu predstavljanja realnih procesa i izučavanja uticaja triboloških uslova pri obradi metala deformisanjem u hladnom stanju. Za izabrani tribo-model provlačenja epruvete od lima između parova sa nagnutim kontaktnim površinama, prikazana su istraživanja koeficijenta trenja u uslovima graničnog podmazivanja odnosno "stalno niskog trenja".

1. UVOD

Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida primenjuje se za izradu cilindričnih delova kod kojih je dubina veća od prečnika, a debljina dna veća od debljine zida, kao što su čaure, tankozidne cevi a naročito konzerve za hranu i piće, čija se godišnja proizvodnja u svetu broji na stotine miliona komada. Pomenuti delovi se izrađuju od materijala koji imaju dovoljno veliku plastičnost u hladnom stanju, kao što su niskouglenični čelici, aluminijum, mesing i drugi. U zadnjih nekoliko godina ovaj način obrade našao je primenu i u elektro-optičkoj industriji pri proizvodnji optičkih i magnetnih diskova za dobijanje ogledalaste površine, s obzirom da je puno jeftiniji od mehaničke obrade.

U procesu obrade dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida značajnu ulogu imaju tribološki uslovi, odnosno ostvarene sile trenja. Od veličine i raspodele kontaktnih napona zavisi naponsko-deformaciono stanje plastično oblikovanog komada, mogućnost uspešnog deformisanja, kao i potrebna sila za izvodjenje deformisanja. S obzirom da se deformisanje metala odvija u uslovima visokih kontaktnih pritisaka, odsustvo maziva u takvim uslovima bi dovelo do neposrednog kontakta materijala obrade i alata, odnosno došlo bi do mikroprivarivanja ili nalepljivanja mekšeg materijala na tvrdji alat, a samim tim i do bitnog narušavanja obradnih uslova.

Glavni tribo-faktori pri obradi dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida su: brzina, stepen deformacije (zavistan od opterećenja i poluugla konusa matrice), stanje materijala u kontaktu (topografija površina, fizičke i hemijske karakteristike materijala) i vrsta maziva. Njihovom kombinacijom moguće je realizovati mešovito, odnosno granično trenje i na minimum svesti kontakt između alata i radnog dela (lima).

2. ANALIZA RAZNIH TRIBO-MODELA

Proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem zida shematski je prikazan na slici 1., sa opštim prikazom sila trenja u kontaktu komada i matrice, odnosno izvlačača. Dejstvo sila trenja u zoni

¹ Mr Dragan Adamović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac,
E-mail: adam@knez.uis.kg.ac.yu

² Dr Milentije Stefanović, red.prof., Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac,

³ Mr Vukić Lazić, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac

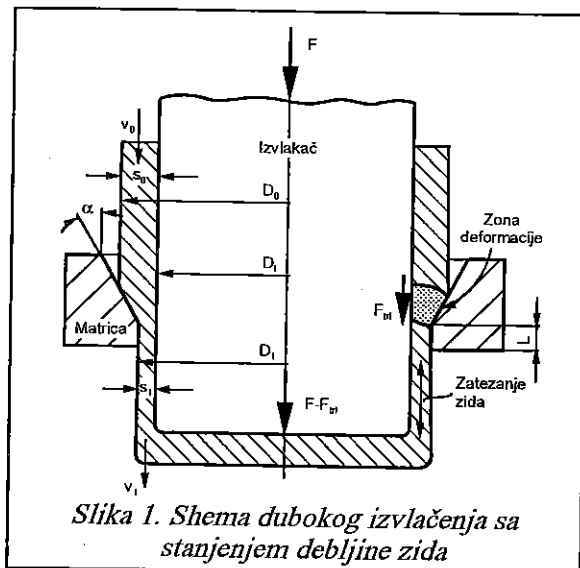
deformisanja je različito; na spoljašnjoj površini (između komada i matrice) ove sile (F_{tm}) povećavaju napone zatezanja, a na unutrašnjoj (između komada i izvlakača, sile F_{tr}) rasterećuju kritičan presek, umanjujući napone u zidu dela koji se izvlači. To je glavni razlog za postizanje visokih stepena deformacije i ostvarivanje znatnih priraštaja relativne dubine pri izvlačenju.

Stanjenje se izvodi u uslovima koji su bliski ravanskom deformacionom stanju. Povećanje trenja na strani izvlakača umanjuje kritični zatežući napon, ali se ukupna sila izvlačenja povećava. Pri tome sila F_{tr} ne sme toliko da poraste da se na kontaktnoj površini komada pojave gruba zadiranja i

mikro-privarivanja (ili prilepljivanja) čestica metala radnog komada na alat, što bi dovelo do oštećenja radnog komada i alata i otežalo skidanje radnog komada sa izvlakača.

Jasno je da je uticaj triboloških uticaja pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida izuzetno važan i predstavljao je predmet izučavanja niza istraživača proteklih godina, kako u realnim procesima tako i na tribo-modelima. Ispitivanje triboloških uslova u realnim procesima je znatno duže i skuplje, pa su stoga znatno zastupljenija ispitivanja na tribo-modelima.

Modeliranje triboloških uslova pri izvlačenju sa stanjenjem zida podrazumeva zadovoljavanje minimuma potrebnih kriterijuma s obzirom na: sličnost u



Slika 1. Shema dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida

naponsko-deformacionim karakteristikama, temperaturno-brzinskim uslovima, osobinama površine alata i materijala kao i stanju njihovog kontakta za vreme obrade.

Fizičko modeliranje, koje je najčešće osnova svakog tribo-istraživanja, podrazumeva izučavanje realnog procesa u laboratorijskim uslovima uz modifikovanje uslova realizacije procesa, geometrijskih veličina ili vrsta materijala koji se obraduju, u skladu sa zakonima sličnosti. Postavljeni uslovi pri modeliranju u potpunosti moraju da zadovoljavaju geometrijsku, mehaničku i fizičku sličnost procesa kojima su podvrgnuti original i model. Strogo zadovoljavanje ovih uslova pretpostavlja korišćenje materijala originala (sa istim karakteristikama ojačanja i topografije površine).

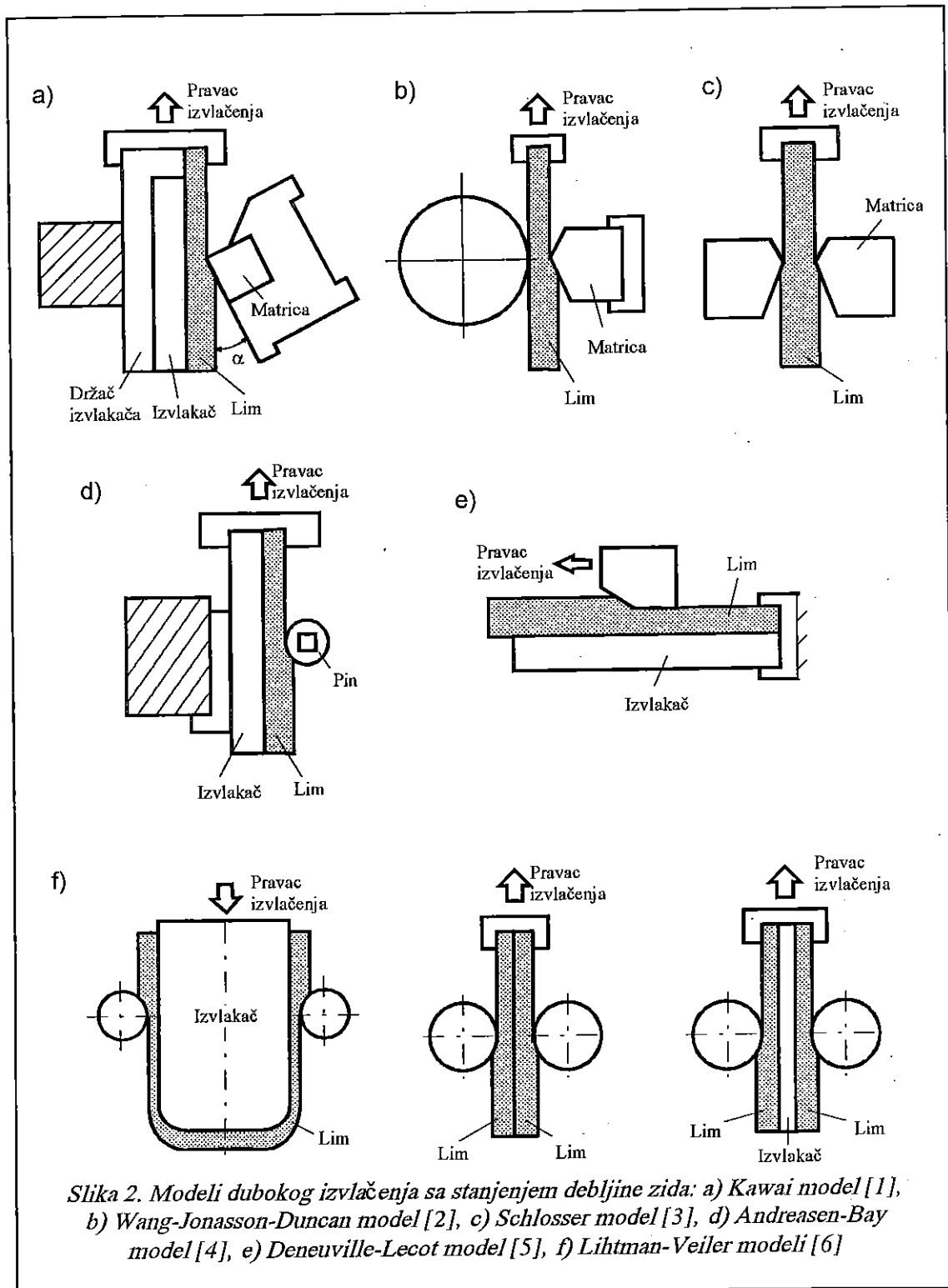
U literaturi je moguće pronaći čitav niz tribo-modela, uglavnom razvijenih za određene namene. Pregled tih modela prikazan je na slici 2. Zajedničko je za sve prikazane modele da potpuno ne oponašaju realan proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida u pogledu geometrije alata, naponsko deformacionog stanja ili stanja kontakta za vreme obrade. Uglavnom kod svih modela (sem modela pod e) nije moguće odrediti silu trenja, odnosno koeficijent trenja, između radnog komada i izvlakača, koji ima izuzetno veliku važnost u procesu izvlačenja sa stanjenjem, kako je već ranije napomenuto.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Za eksperimentalna ispitivanja u ovom radu realizovan je originalni model (slika 2) koji dvostrano simetrično oponaša zonu kontakta sa matricom i izvlakačem. Ovaj model omogućava ostvarivanje visokih kontaktnih pritisaka i uvažava fizičke i geometrijske uslove realnog procesa (materijal matrice i izvlakača, topografija kontaktnih površina, poluugao konusa matrice - α i dr.). Shema pomenutog tribo-modela sa prikazom sila koje deluju na radni komad, odnosno matricu i izvlakač kao i shema mernog lanca data je na slici 3.

Uredjaj za izvlačenje sa stanjenjem debljine zida instaliran je na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12. Konstruktivnim rešenjem, ovaj uredjaj se smešta u ram pribora za ispitivanje zatezanjem, pri čemu se glavni pogon mašine koristi za stvaranje sile provlačenja (sila F). Drugo dejstvo, pritisak na epruvetu (sila F_D), ostvaruje se

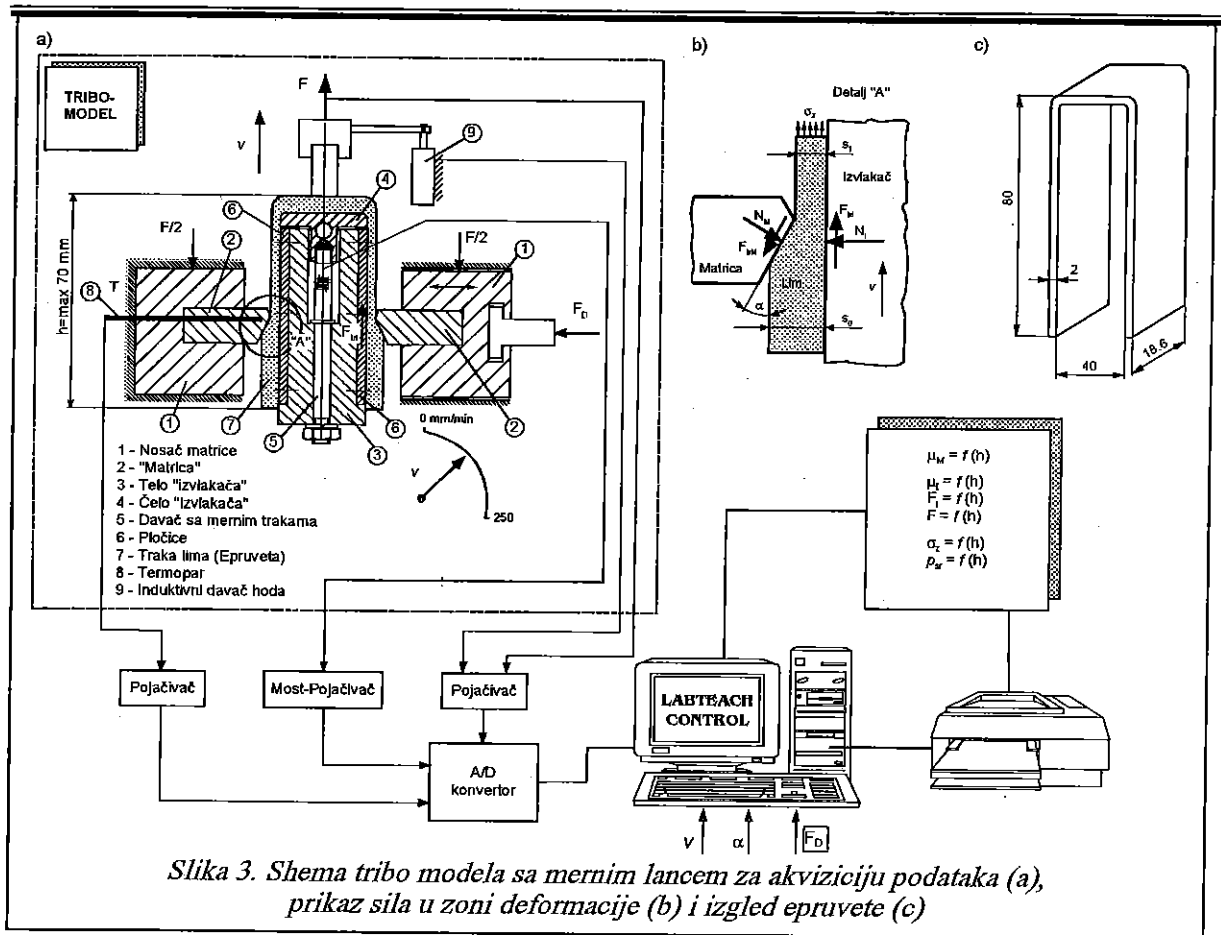
hidrauličnim putem, preko zasebne pumpe snage 0,75 kW, nominalne pritiskne sile 50 kN, sa



Slika 2. Modeli dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida: a) Kawai model [1], b) Wang-Jonasson-Duncan model [2], c) Schlosser model [3], d) Andreasen-Bay model [4], e) Deneuille-Lecot model [5], f) Lihtman-Veiler modeli [6]

vlastitim meračem sile.

Savijena traka od lima 7 (epruveta, slika 3.c) postavlja se na "izvlakač". Na nju se deluje pomoću "matrica" 2 silom F_D . Matrice su postavljene u nosače, pri čemu je levi nosač nepokretan a desni pokretan zajedno sa matricom. Izvlakač se sastoji iz tela 3 i čela 4 koji su međusobno spojeni pomoću davača sa mernim trakama 5. Epruveta se provlači (kliza) između matrica, dejstvom sile F na čelo izvlakača, pri čemu dolazi do stanjenja debljine zida



Slika 3. Shema tribo modela sa mernim lancem za akviziciju podataka (a), prikaz sila u zoni deformacije (b) i izgled epruvete (c)

epruvete. Tokom provlačenja spoljašnja površina epruvete kliza po, nagnutoj za ugao α površini matrice, a unutrašnja površina epruvete kliza preko pločica 6 pričvršćenih na telo izvlakača.

Uredjaj je realizovan sa zbijenom konstrukcijom povišene krutosti, sa mogućnošću lake izmene kontaktnih - pritisnih elemenata (matrice 2 i pločice 6), lakim čišćenjem kontaktnih zona i pogodnim postavljanjem epruveta.

Pločice 6 i matrice 2 mogu da budu napravljene od različitih materijala kao i sa različitim hrapavošću a matrice i sa različitim uglom nagiba α .

Osnovna ideja pri realizaciji ovog uredjaja je bila da se omogući određivanje koeficijenta trenja, kako na strani matrice, tako i na strani izvlakača pri različitim kontaktnim uslovima.

Ukupna sila izvlačenja F predstavlja zbir sile trenja između izvlakača i radnog dela F_{tr} i sile koja deluje na dno čančeta F_z (slika 1), tj.:

$$F = F_{tr} + F_z \quad (1)$$

Ukupna sila izvlačenja F se meri na samoj mašini a sila trenja na strani izvlakača F_{tr} se registruje pomoću davača sa mernim trakama (slika 3).

Koeficijent trenja na strani izvlakača može se sračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$\mu_1 = \frac{F_{tr}}{2 \cdot F_D} \quad (2)$$

a koeficijent trenja na strani matrice pomoću izraza:

$$\mu_M = \frac{F \cdot \cos \alpha - 2 \cdot F_D \cdot \sin \alpha}{F \cdot \sin \alpha + F_D \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

Poznajući zavisnost sila F i F_{ul} od puta klizanja h moguće je na osnovu prethodnih formula odrediti i koeficijente trenja (μ_M i μ_l) u funkciji puta klizanja.

3.1 Uslovi ispitivanja

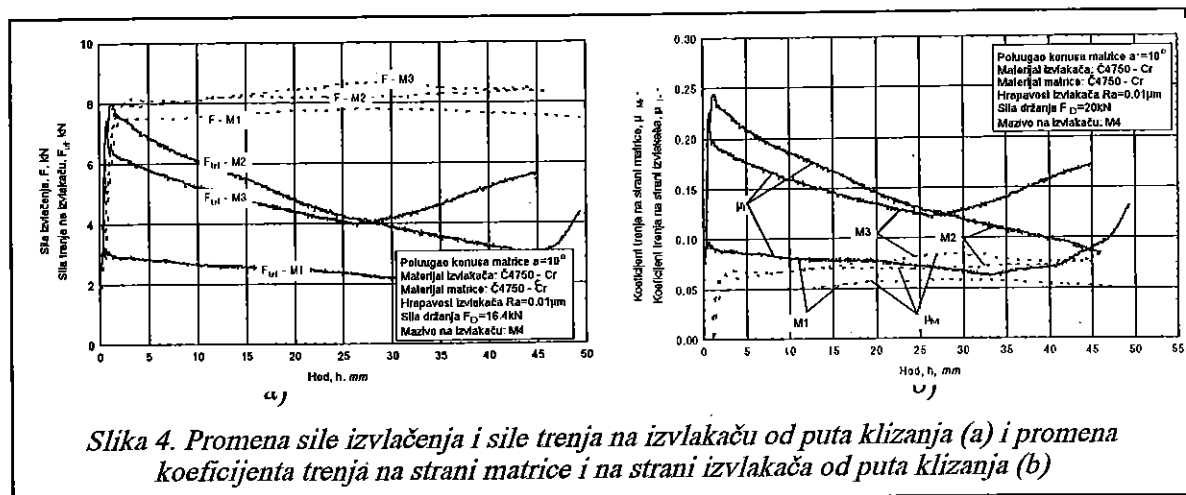
Ispitivani materijal je niskouglenični čelični lim, umiren aluminijumom, oznake č 0148 P3, pogodan za plastičnu obradu. Mehaničke karakteristike i karakteristike površine, kao i ostali važni podaci o ispitivanju, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike ispitivanog materijala i uslovi ispitivanja

		Materijal	Mehaničke karakteristike	Karakteristike površine
Alat	Matrica	č 4750 - Hromiran	60÷63 HRC	$R_a \approx 0.01 \mu m$
	Pločica izvlakača	č 4750 - Hromiran	60÷63 HRC	$R_a \approx 0.01 \mu m$
Epruveta		č 0148 P3 debljina: 2.0 mm širina: 18.6 mm	$R_p = 188 \text{ Mpa}$ $R_m = 314 \text{ Mpa}$ $A_{80} = 42.8 \%$ 104HV ₃₀	$R_a = 1.16 \mu m$ $R_t = 6.50 \mu m$ $R_p = 4.40 \mu m$ $S_m = 130 \mu m$
Stepen redukcije: 13.5%			Poluugao konusa matrice: $\alpha = 10^\circ$	
Put klizanja: max 70 mm			Temperatura ispitivanja: sobna	
Brzina provlačenja: 20 mm/min			Korišćena maziva: - fosfatirana površ. epruv. + MoS ₂ (M1) - ulje za duboko izvlačenje 1 (M2) - ulje za duboko izvlačenje 2 (M3) - ulje za duboko izvlačenje 3 (M4)	

3.2 Eksperimentalni rezultati

Karakteristični zapisi "ukupna sila izvlačenja - put klizanja" i "sila trenja na izvlakaču - put klizanja" dobijeni pri merenju pokazani su na slici 4.a (navedeni su samo neki rezultati širih istraživanja). Ukupna sila izvlačenja, praktično se vrlo malo menja za vreme ispitivanja pri korišćenju sva tri maziva. Za razliku od ukupne sile izvlačenja sila trenja na izvlakaču, pri korišćenju maziva M2 i M3, na većem delu puta znatno opada, dok je taj pad znatno manji pri



korišćenju maziva M1. Nagli porast sile trenja na izvlakaču izazvan je usled bočnog krivljenja epruvete, najverovatnije zbog neostvarivanja idealne paralelnosti između matrice i zbog neravnomernosti deformacije po celom preseku Š6Ć.

Promena koeficijenta trenja na strani matrice (μ_M) i koeficijenta trenja na strani izvlakača (μ_I) od puta klizanja, sračunatih prema formuli (2) i (3), prikazana je na slici 4.b). Najmanja vrednost koeficijenta trenja dobija se pri korišćenju maziva M1.

ZAKLJUČAK

Pri modelnim ispitivanjima izvlačenja sa stanjenjem, sprovedenim u radu, realizovan je stacionaran proces, sa "konstantno niskim trenjem", u uslovima visokog srednjeg kontaktnog pritiska ($p_{sr} > 1000$ MPa). Najniže vrednosti koeficijenta trenja registrovane su kod fosfatiranih površina lima i molibden-disulfida kao maziva.

Pokazanim modelom, uz sva ograničenja koja su navedena, može se uspešno simulirati zona kontakta lima i matrice kao i zona kontakta između lima i izvlakača, i izučavati uticaj pojedinih triboloških parametara (mazivo, materijali u kontaktu, topografija površine, specifični pritisak i sl.) u procesu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida.

LITERATURA

- [1] Kawai, N., Nakamura, T., Dohda, K.: *Development of Anti-Weldability Test in Metal Forming by Means of Strip-Ironing Type Friction Testing Machine*, Journal of Engineering for Industry, November 1982., Vol. 104/375
- [2] Wang X.J., Jonasson D., Duncan J.L.: *Ironing Dynamometer for Studying Wall Ironing in the Cupping Process*, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996, 201-217
- [3] Schlosser D.: *Beeinflussung der Reibung beim Streifenziehen von austenitischem Blech: verschiedene Schmierstoffe und Werkzeuge aus gesinterten Harstoffen*, Bänder Bleshe Rohre, 7/8, 1975., 302-306
- [4] Andreasen J.L., Bay N.: *A strip reduction Test for Measurement of Lubricate in Ironing*, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996, 435-444
- [5] Deneuille P., Lecot R.: *The study of friction in ironing process by physical and numerical modelling*, Journal of Materials Processing Technology, 45 (1994), 625-630
- [6] Вейлер С.Я., Лихтман В.И.: *Действие смазок при обработке металлов давлением*, Издательство АКАДЕМИИ НАУК СССР, Москва, 1960.

MODELING OF TRIBOLOGICAL PROCESSES IN IRONING

Abstract

In the paper is given a survey of the most frequently applied tribo-models for ironing, together with their analysis related to presentation of the real processes and studying influences of tribological conditions in cold metal forming. For the chosen tribo-model of drawing the sample, made of thin sheet, between pairs with skewed contact surfaces, presented are investigations of the friction coefficient in conditions of limiting lubrication, namely the "constantly low friction".

UTICAJ PROMENLJIVOG KONTAKTNOG PRITISKA NA DRŽAČU NA OBRADIVOST PREVUČENIH LIMOVA DUBOKIM IZVLAČENJEM

T. Vujinović, S. Aleksandrović, M. Stefanović¹⁾

REZIME

Kontaktни притисак на дрžaču, односно сила држања, при дубоком извлачењу у триболошком смислу значајно утиче на резултате процеса. У раду се излаже експериментално истраживање утицаја променљивог притиска на дрžaču у режиму растуће силе држања на дубоко извлачење цилиндричног комада од једнострано галвански pocинкованог каросеријског lima. Ефекти се sagledavaju преко дијаграма сила извлачења, дистрибуције главних деформација, утицаја на граничну деформабилност, квалитативних показатеља на комаду итд. Променљиви притисак дрžača дефинише претходно одређена зависност растуће променљиве силе држања, која се затим задaje током процеса на апаратури са специјалним мerno-управљачким компјутерским ureдјajem.

1. UVOD

U klasičnoj realizaciji procesa dubokog izvlačenja tankih limova sila držanja (F_D) ima konstantan intenzitet tokom procesa. Ona, kao parametar procesa ima sledeće osobine: predstavlja značajan faktor trenja na obodu komada, postoji mogućnost promene intenziteta tokom procesa, pored zateznih rebara promenljive visine predstavlja jedini parametar koji se može menjati tokom procesa [1].

Kod dubokog izvlačenja cilindričnih i prizmatičnih komada kvadratnog preseka dva osnovna izvora trenja su: zona držača i zaobljenje ivice otvora matrice. Potpunom eliminacijom trenja na radijusu matrice sila izvlačenja bi opala za oko 20%, a eliminacijom trenja na držaču i preko 50% [2]. Ovi podaci jasno ukazuju na razmere uticaja sile držanja na proces dubokog izvlačenja i njen značaj.

Iz tog razloga izvode se brojna istraživanja (na pr. [3]) vezana za oblast promenljive sile držanja (PSD). Cilj je poboljšati performanse procesa uticajima na trenje na držaču. To je najjednostavnije pokušati preko sile držanja i segmentno izvedenog držača gde se uvodi mogućnost promene trenja zavisno od pozicije na obodu [3]. Otvoreno je pitanje: kakav oblik promene intenziteta sile držanja dovodi do unapredjenja rezultata odgovarajućeg procesa dubokog izvlačenja? Istraživanja u svetskim centrima su, uglavnom, eksperimentalna sa često vrlo složenim merno-управљачким sistemima.

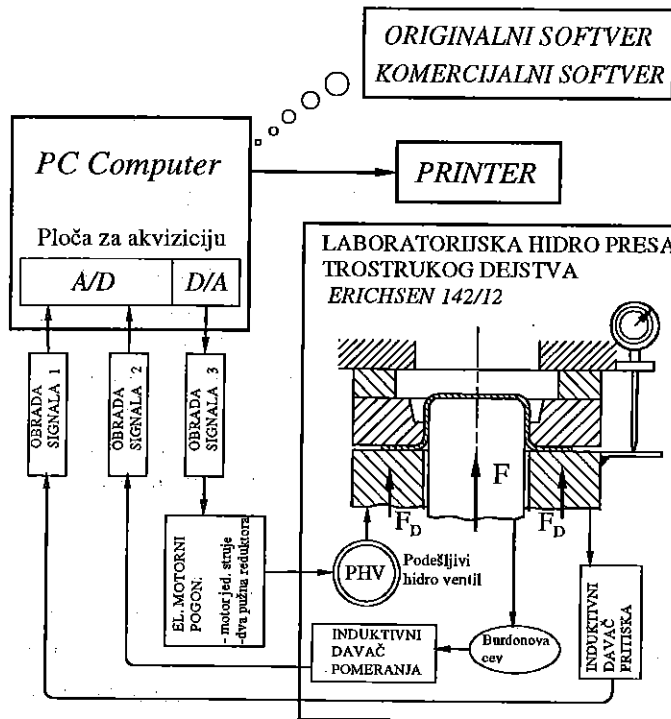
Pristup u ovom radu zasnovan je na primeni jednog tipa promene sile držanja i analizi

¹⁾ Dr Milentije Stefanović, red. prof., Mašinski fakultet Kragujevac
Mr Srbislav Aleksandrović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac
Mr Tomislav Vujinović, dipl. ing., Rudi Čajavec Banja Luka

ostvarenih efekata. Reč je o rastućem karakteru zavisnosti PSD od hoda izvlačka, odnosno vremena.

Na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu obavljaju se opsežna eksperimentalna istraživanja iz ove oblasti [4, 5]. Formirana je specijalna istraživačka aparatura (glava 2). Primenjuju se različiti materijali i kontaktne stanja, različite geometrije komada, varira se istorija deformisanja. Dobijeni rezultati ukazuju na značajne mogućnosti ovakvog pristupa, posebno u pogledu primene u tehnološkoj praksi gde se otvara prostor za uspešniju obradu novih (teže obradivih) materijala i složenijih geometrija komada.

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA



Sl. 1 Struktura eksperimentalne aparature

(dogradnje) u sistemu za ostvarivanje, merenje i upravljanje silom držanja. One se sastoje u sledećem: prvo, ugradnji elektromotornog pogona sa motorom jednosmerne struje i dva pužna reduktora na hidro ventil za regulaciju sile držanja, i drugo, ugradnji induktivnog davača za merenje sile držanja. Upravljanje elektromotornim pogonom je integrisano u merno-upravljački kompjuterski sistem (sl. 1). Upravljanje elektromotornim pogonom se vrši u zatvorenoj petlji (povratnom spregom) na osnovu zadate funkcionalne (ili druge) zavisnosti sile držanja i kontinualno merene ostvarene sile držanja. Centralni deo sistema za akviziciju čini PC računar sa ugradjenom 12-to bitnom AD/DA pločom. Na osnovu zadate i izmerene vrednosti intenziteta sile držanja određuje se vremenska zavisnost položaja osovinice ventila tokom procesa izvlačenja, a samim tim i promenljiva sila držanja. Uključivanjem i isključivanjem elektromotornog pogona u željenim trenucima preko posebno razvijene elektronske upravljačke jedinice dobija se promenljiva sila držanja do intenziteta, koji je programski definisan, a meri se direktno preko davača sile držanja. Zavisnost realno ostvarene PSD ima oblik stepenaste linije, sa odstupanjem od zadanog koje programski podešljivo. Softverski je omogućen izbor proizvoljnog tipa zavisnosti sile, bilo kao analitički zadatih funkcija, skupa diskretnih vrednosti ili kombinovano. Razvijeni softver opslužuje i ostale potrebe eksperimenta (merenje sile izvlačenja, vizuelno praćenje procesa, memorisanje svih potrebnih veličina itd.). Merni sistem omogućava i mehaničko merenje visine nabora na obodu sa tačnošću očitavanja 0,01 mm. Zbog veoma ograničenog prostora nije moguće dati

Eksperimenti, čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu, izvode se na pomenutoj laboratorijskoj aparaturi čija su dve osnovne celine: hidraulična presa za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12 i merno-upravljački kompjuterski sistem (sl. 1). Presa je trostrukog dejstva sa maksimalnim mernim opsegom sile glavnog dejstva 0-130 kN, sile držanja 0-32 kN i brzine deformisanja 0-200 mm/min. Maksimalni prečnik izvlačka je 50 mm, a maksimalni stepen izvlačenja 2,4. U originalnoj verziji mašina je opremljena induktivnim davačima sile i hoda za glavno dejstvo, uz manometre sa Burdonovim cevima za sva radna dejstva. Kontinualnu regulaciju sile držanja moguće je vršiti ručno pomoću podešljivog hidro ventila. Za potrebe ovog istraživanja izvršene su izmene

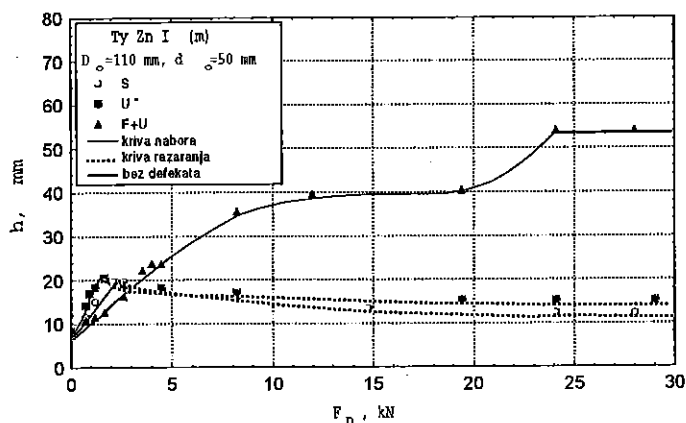
više detalja o ovom sistemu, koji se mogu naći u [5].

Analitička zavisnost sile držanja od hoda (rastućeg karaktera) definisana je u skladu sa istraživanjima publikovanim u radu [6]. Realizovane su serije merenja sa različitim materijalima i geometrijama u cilju dobijanja graničnih krivih nabora. Te krive predstavljaju, u suštini, zavisnosti minimalne sile držanja za sprečavanje nabora, od hoda. Analitičkom aproksimacijom definisana je rastuća funkcija koja aproksimira granične krive nabora u obliku formule:

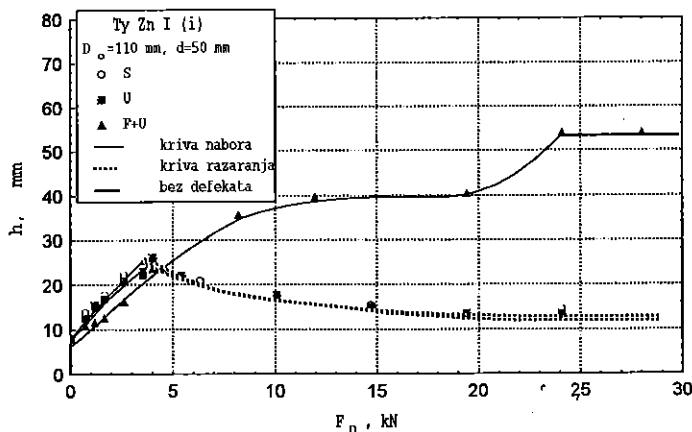
$$F_D = 1,175 \cdot F_{D_{\max}} \cdot \sin\left(\frac{\pi h}{2 h_{\max}}\right)$$

$F_{D_{\max}}$ je maksimalna konstantna sila držanja određena na osnovu empirijskih preporuka. h_{\max} je maksimalna dubina izvlačenja, a h trenutna vrednost dubine. Za potrebe eksperimenta umesto dubine uvedeno je vreme (t) sa pretpostavkom o linearnoj vezi dubine i vremena.

Konačno je izraz za silu držanja:

$$F_D = 1,175 \cdot F_{D_{\max}} \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{2 T_{\max}}\right)$$


Sl. 2 Granični dijagram nabora i razaranja (prevlaka ka matrici)



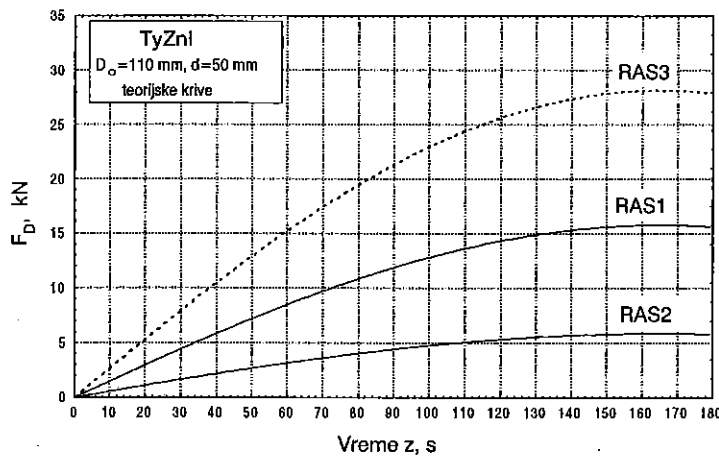
Sl. 3 Granični dijagram nabora i razaranja (prevlaka ka izvlačaču)

Maksimalno vreme trajanja procesa (T_{\max}) određuje se prethodnom probom, a do $F_{D_{\max}}$ se može doći na dva načina. Prvi način je da se konstantna sila držanja (KSD) usvoji na osnovu literaturnih preporuka, što je često jedina mogućnost. Potpuna univerzalnost takvog pristupa je diskutabilna. Ispravniji pristup odrazumeva formiranje graničnih dijagrama nabora i razaranja ($h-F_D$) za svaki konkretan slučaj obrade. Na taj način se identifikuje oblast nabora i razaranja i ispravnije bira KSD.

U planu eksperimenta predviđena je primena čistog dubokog izvlačenja (cilindrični komad sa ravnim dnom) u uslovima, s jedne strane, konstantne sile držanja i s druge, u uslovima PSD. Uticaj kontaktnih uslova obuhvaćen je primenom: suvih kontaktnih površina odmašćenih acetonom (oznaka S), ulja za duboko izvlačenje domaćeg proizvođača (U) i kombinacijom ulja i polietilenske folije (U+F). Osnovna geometrija je definisana: prečnikom izvlačača ($d=50$ mm), radijusom dna (6,5 mm) i radijusom matrice 3,5 mm. Step izvlačenja je odabran blizu graničnog. Pri takvom stepenu sa uljem i folijom proces se uspešno odvija do kraja, a primenom ulja ili suvog trenja to nije moguće. Za ovaj primer to je

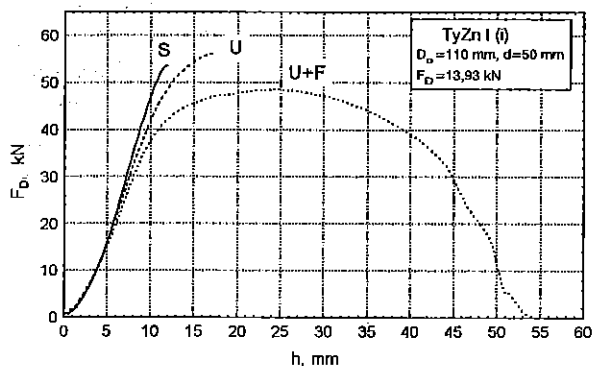
stepen 2,2 (prečnik razvijenog stanja 110 mm). Brzina deformisanja je konstantna (20 mm/min).

KSD na osnovu literaturnih podataka je usvojena kao odgovarajuća srednja vrednost devet

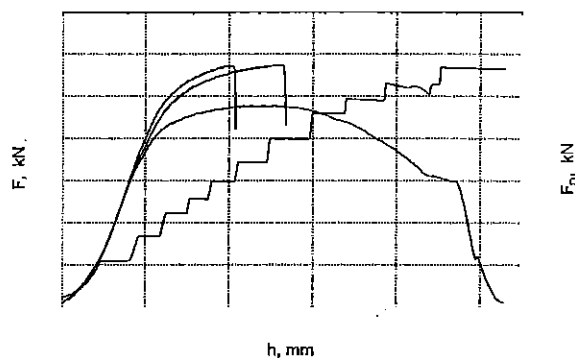


Sl. 4 Empirijsko-analitičke zavisnosti rastuće PSD

intenzivnog skidanja i lepljenja na površine alata. Naslaga je takva da se mora skidati posle samo jednog uradjenog komada. Maksimalne dubine izvlačenja su zbog toga manje (sl. 2). Ako se prevlaka okrene prema izvlaču intenzitet formiranja naslaga na alatu se višestruko smanjuje, uslovi trenja se poboljšavaju i dobija veća dubina (sl. 3). U daljem toku eksperimenta korišćen je samo drugi položaj prevlake.



Sl. 5 Sile izvlačenja pri konstantnoj sili držanja



Sl. 6 Sile izvlačenja i držanja i rastuća PSD

Usvojene su sledeće vrednosti KSD na osnovu sl. 3 : za suvo i mešovito trenje $F_D=5$ kN, a za primenu ulja i folije $F_D=24$ kN. Zapaža se da su usvojene nešto veće vrednosti u odnosu na maksimume krivih (S i U). Razlog je sigurno izbegavanje zone nabora, jer u zoni pikova krivih postoji težnja ka preklapanju pojava nabiranja i razaranja.

Na osnovu sve tri odredjene vrednosti KSD definisane su funkcije rastuće PSD (sl. 4). Zbog ograničenog prostora biće dati rezultati samo za rastuću zavisnost RAS1 definisanu na osnovu KSD $F_D=19,93$ kN. Analitički oblik rastuće funkcije PSD dat je u sledećem izrazu:

$$F_D=16116,2 \sin(0,5456 t), \text{ N}$$

Argument sinusne funkcije u prethodnom izrazu je u stepenima, a vreme t u sekundama.

Funkcija PSD primenjena je na sva tri kontaktna stanja (suvo, ulje i primena ulja i folije). Stvarni oblik ostvarene rastuće PSD vidi se na sl. 6.

2.1 Rezultati eksperimenta

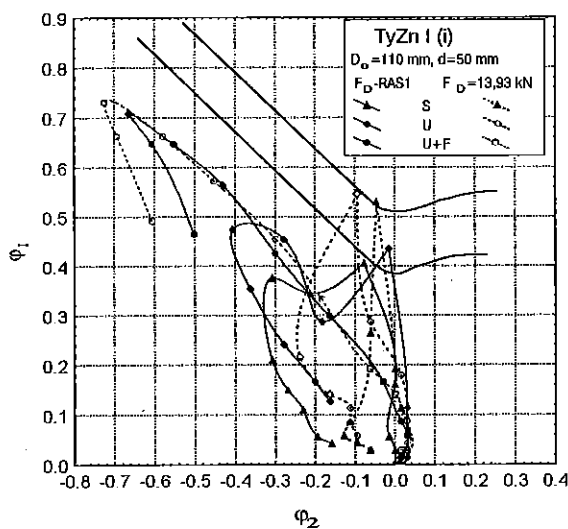
Efekti promene rastuće PSD prate se komparativno sa primeno KSD preko sledećih pokazatelja:

- kvalitativne karakteristike komada (dubina izvlačenja, pojava nabora, pojava razaranja itd.),
- distribucija deformacija u koordinatnom sistemu glavnih deformacija u ravni lima (φ_1 - φ_2) i njihov odnos prema krivama granične deformabilnosti,
- distribucije deformacije stanjenja zavisno od lokacije na komadu,
- dijagrama zavisnosti sila izvlačenja i sila držanja od hoda izvlačkača odnosno vremena.

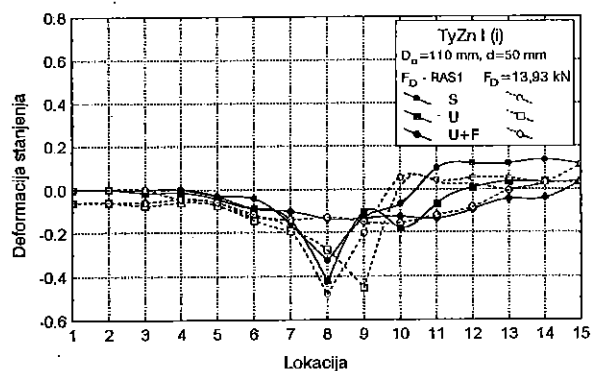
Učinak rastuće PSD tipa RAS1 (sl. 5 i sl. 6) na porast dubine izvlačenja je značajan. U odnosu na KSD, pri suvim površinama dubina je veća za 56,5% ; pri podmazivanju uljem povećanje iznosi 54%. čak i u slučaju primene ulja i folije proces je moguće dovesti do kraja, iako se pri dubini od 43 mm pojavljuju srednji nabori, koji se peglaju pri prolasku kroz otvor matrice. U uslovima primene ulja i folije trenje je svedeno na najmanju meru tako da uslovi odgovaraju hidrodinamičkom podmazivanju. Težnja ka pojavi nabora je veoma izražena, a razaranje skoro uvek izbegnuto. Potrebno je obezbediti dovoljan intenzitet sile držanja za sprečavanje nabora.

Na sl. 7 date su distribucije glavnih deformacija u ravni lima sa krivama granične deformabilnosti. Gornja kriva odgovara razaranju, a donja početku lokalizovanog deformisanja. Na sl. 8 prikazane su distribucije deformacije stanjenja. U oba slučaja komparativno su prikazane distribucije za KSD i PSD.

Distribucije deformacija na slikama 7 i 8 dopunjuju konstatacije iznesene u vezi povećanja dubina izvlačenja primenom rastuće zavisnosti PSD. U uslovima suvih površina i primene



Sl. 7 Glavne deformacije u ravni pri KSD i rastućoj PSD



Sl. 8 Deformacije stanjenja pri KSD i rastućoj PSD

ulja petlje distribucija na sl. 7 su ravnomernije, pomerene u levu stranu prema bezbednijoj oblasti sa aspekta granične deformabilnosti. U skladu s tim je izgled dijagrama distribucije stanjenja (sl. 8). Jačem trenju odgovara ravnomernije i, na mestu maksimuma, manje stanjenje. Pri veoma malom trenju (ulje i folija) jasno se vide očekivani efekti: praktično nema bitnijih promena u distribucijama bez obzira na korišćenu silu držanja (KSD ili PSD).

ZAKLJUČAK

Promenljiva sila držanja pri dubokom izvlačenju može da dovede do značajnih poboljšanja rezultata procesa. U ovom radu dat je primer primene rastuće zavisnosti sile držanja od hoda.

Pri pojačanom trenju rastuća sila držanja rezultira većom dubinom izvlačenja i povoljnijim distribucijama glavnih deformacija. Uporedjenja su vršena sa rezultatima primene konstantne sile držanja određene na osnovu uobičajenih literaturnih preporuka. Naročite mogućnosti promenljiva sila držanja stvara ako se koriste teže obradivi materijali ili složenije geometrije. Kod primenjenog lima sa galvanskom prevlakom, daleko manje formiranje naslaga na alatu registrovano je ako se strana sa prevlakom okrene prema izvlakaču.

LITERATURA

- [1] Wagner S.: Tribology in drawing car body parts, 11th International colloquium, Technische Academie Esslingen, Proc., Vol. III, pp. 2365-2372, 1998.
- [2] Emmens W.: Tribology of Flat Contacts and its Application in Deep Drawing, PhD-thesis, University Twente, Netherlands, 1997.
- [3] Siegert K. et al.: Closed-loop control system for blank holder forces in deep drawing, Annals of CIRP Vol. 44/1/1995., pp. 251-254.
- [4] Aleksandrović S., Stefanović M., Taranović D.: Variable contact conditions influence on formability of thin sheet metals by deep drawing, Journal for Techn. of Plasticity, Vol. 23, 1-2, pp. 31-41, Novi Sad, 1998.
- [5] Aleksandrović S.: Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.
- [6] Катков Н. П., Решетов В. Ф.: Определение оптимальных условий прижима фланца заготовки, Кузнечно-штамповочное производство, № 9, ст. 16-18, Москва, 1971.

INFLUENCE OF VARIABLE CONTACT PRESSURE (ON HOLDER) ON COATED SHEET METALS FORMABILITY BY DEEP DRAWING

ABSTRACT

Contact pressure on blank holder, that is blank holding force in deep drawing in tribological sense significantly influences the process results. The paper gives experimental research of variable pressure on blank holder influence in regime of increasing holding force on deep drawing of a cylindrical piece out of one-side zinc galvanized carbody sheet metal. The effects are observed through drawing forces diagrams, main strain distributions, influence on limit formability, qualitative indicators etc. Variable holder pressure is defined by previously determined dependence of variable blank-holding force, which is then given during the process on special measure-control device.

IDENTIFIKACIJA FAKTORA SPECIFIČNIH ZA ODREĐIVANJE VREDNOSTI SILE KOD PROSECANJA I PROBIJANJA POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

P. Janković, J. Vukićević Milovanović*

Rezime

Zamena metala polimernim kompozitnim materijalima ojačnim staklenim ili ugljeničnim vlaknima ne zahteva samo promenu u filozofiji projektovanja već utiče i na tehnologiju izrade. Obrada vlaknatih kompozita se u nekim aspektima razlikuje od obrade metala. Svojstva vlakana i matrice su potpuno drugačija i zajedno s orijentacijom vlakana određuju svojstva, a takodje i pogodnost mašinske obrade kompozita.

U radu su dati faktori koji utiču na vrednost sile probijanja (prosecanja) pri obradi polimernih materijala i kompozita na bazi polimera, kao i analiza njihovog uticaja.

1. UVOD

Kako se pri prosecanju (probijanju) dešava relativno pomeranje dela obratka u odnosu na ravan trake i kako je zona deformacije mala, može se uzeti da se ovde radi o smicanju, pri čemu u ravni, koja se prostire od reznih ivica prosekača do reznih ivica rezne ploče, dejstvuju najveći smičući naponi. Kako je ugao pod kojim je ta ravan nagnuta u odnosu na osu prosekača mali, sila prosecanja (probijanja) se može odrediti preko izraza:

$$F = A_s \cdot \tau_s = L(s - z)\tau_s \quad (1)$$

gde su:

L - dužina linije po kojoj se vrši prosecanje (probijanje),

s - debljina materijala,

z - dubina prodiranja prosekača u materijal (hod prosekača) i

τ_s - specifični otpor smicanju - stvarni smičući napon.

Pošto nas najčešće interesuje maksimalna vrednost sile prosecanja (probijanja), uvodjenjem niza pretpostavki, analiza se pojednostavljuje, pa se, za metale, maksimalna vrednost sile prosecanja daje u funkciji čvrstoće na smicanje (T_m).

Tako se za alate sa paralelnim reznim ivicama dobija izraz:

$$F_{\max} = L \cdot s \cdot T_m \quad (2)$$

U slučaju da čvrstoća smicanja T_m materijala nije poznata može se proceniti njena

* mr Predrag Janković, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš
Jelena Vukićević Milovanović, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu.

vrednost uzimajući u obzir vrstu materijala i odnos prečnika otvora i debljine materijala. Za odnos $d/s > 2$ čvrstoća na smicanje iznosi $0,7 \div 0,9$ od vrednosti zatezne čvrstoće materijala, odnosno uobičajeno je da je:

$$T_m \approx 0,8 \cdot R_m \text{ MPa.}$$

Za materijale sa većom zateznom čvrstoćom i manjom čvrstoćom na smicanje uzima se faktor 0,7, a za žilave materijale 0,9. Za manje dimenzije otvora ($d/s < 2$) povećava se vrednost smicajne čvrstoće (i do $2 \cdot R_m$, za $d/s = 0,7 + 1$).

Pored uticaja mehaničkih karakteristika materijala, u većoj meri nego što je to kod metala, pri prosecanju i probijanju polimernih materijala treba uzeti u obzir realne uslove procesa razdvajanja. Pri tome je nepohodno oceniti uticaj pojedinih faktora na potrebnu silu deformisanja.

Po analogiji s metalima (jednačina 1) može se napisati:

$$F = K \cdot \tau_s^0 \cdot A_s \quad (3)$$

gde su: τ_s^0 - otpor razdvajanju pri prosecanju-probijanju konture na alatu s oštrim reznim ivicama, s minimalnim zazorom-bliskim nuli i pri temperaturi $20 \pm 2^\circ\text{C}$ u MPa

A_s - površina smicanja, funkcija debljine materijala i obima konture u mm

K - bezdimenzionalni koeficijent - koji uzima u obzir uslove procesa i uticaj pojedinih tehnoloških faktora na otpor razdvajanju.

U opštem slučaju potrebna sila prosecanja i probijanja može se odrediti po formuli, koja uticaj pojedinih faktora na veličinu otpora razdvajanju pri prosecanju i probijanju ocenjuje nekim, odredjenim, bezdimenzionalnim koeficijentom.

Sam specifični otpor razdvajanju - biće obeležen sa τ_s - otpor smicanju, zavisi od mnogih faktora: vrste materijala, stanja materijala, brzine deformisanja, veličine zazora, zatupljenja reznih ivica, temperature i td. Uslovi procesa razdvajanja materijala pokazuju da τ_s ne može biti konstanta materijala - odredjena zavisnost izmedju mehaničkih karakteristika kompozitnog materijala i otpora razdvajanju nisu značajne. Veličina specifičnog otpora za nemetalne materijale odredjena je samo konstruktivno - tehnološkim uslovima odvijanja procesa probijanja i prosecanja.

U cilju istraživanja obradivosti kompozitnih materijala pri prosecanju i probijanju posmatraće se vrednost specifičnog otpora razdvajanju τ_s i odrediti uticaj pojedinih parametara obrade na njegovu vrednost.

2. FAKTORI SPECIFIČNI ZA OREĐIVANJE VREDNOSTI SILE PRI PROSECANJU (PROBIJANJU) POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

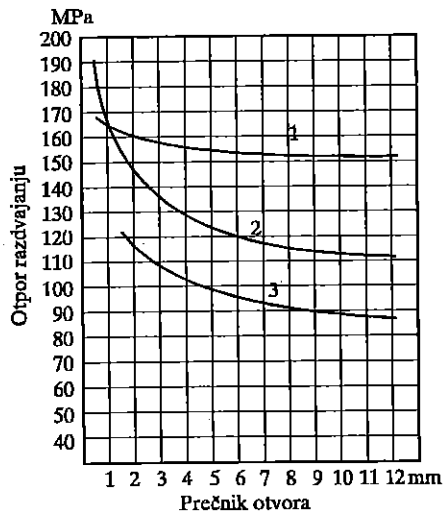
Istraživanjem je ustanovljeno da osnovni uticaj na otpor razdvajanju pri prosecanju (probijanju) PKM, sem faktora u vezi sa svojstvima materijala, imaju:

- a) veličina probijenih otvora,
- b) odnos prečnika probojca d_p prema debljini materijala s ,
- c) obolik čela probojca,
- d) radijus zaobljenja (zatupljenja) probojca i rezne ploče,
- e) veličina procepa (zračnosti) izmedju probojca i rezne ploče,

- f) oblik konture,
- g) temperatura materijala u trenutku probijanja,
- h) specifični pritisak pridržavanja,
- i) oblik prohodnog dela rezne ploče i
- j) brzina deformisanja.

2.1. Uticaj dimenzija otvora na otpor razdvajanju

Na osnovi niza opita odredjivanja sile pri probijanju otvora u nemetalnim materijalima ustanovljena je zavisnost otpora razdvajanju od dimenzija otvora (Sl. 1).



Slika 1. Zavisnost otpora razdvajanju τ_s pri probijanju nemetalnih materijala
 1 - staklotekstolit debljine $h=2,15$ mm 2 - pertinaks, $h=2$ mm; 3 - tekstolit A, $h=2,25$ mm

nastanku koncentracije napona potrebna je manja sila za početak rasta prskotina razaranja. U svim slučajevima ta dva faktora dejstvuju istovremeno i rezultat toga je određen stepen uticaja svakog od njih na početak rasta prskotina. Rezultat uticaja tih faktora na silu probijanja može se odrediti samo eksperimentalno.

2.2. Uticaj odnosa d/s na otpor razdvajanju

Primećeno je da što je veća debljina slojeva slojevitih plastičnih masa i drugih nemetalnih materijala to se oni lakše probijaju. U nizu literaturnih izvora utvrđeno je da pri povećanju debljine materijala otpor razdvajanju opada, a pri stanjenju raste. Ispitivanja pokazuju da se u tom slučaju kao glavni činilac ne javlja debljina probijenog materijala, već odnos prečnika ili dimenzija otvora prema debljini, koji određuje uslove toka procesa razdvajanja. Posmatranjem procesa razdvajanja, pri probijanju otvora malog prečnika (1,5-2 mm) u relativno debeloj plastici (do 8 mm), ustanovljeno je da razaranje materijala nastaje tek posle prodiranja probojca do znatne dubine. Po dostizanju neke kritične dubine prodiranja probojca pojavljuju se prskotine sa strane rezne ploče.

Do prodiranja probojca na kritičnu dubinu sva zapremina materijala koji se nalazi ispod probojca, na određen način se raspoređuje unutar preseka čitavog uzorka. To se u osnovi dešava za jedan broj sabijenih vlakana. Osim toga, deo materijala se premešta u stranu i naviše oko probojca obrazujući oreol.

Najbolji karakter procesa probijanja nalazi se u svim slučajevima kada je odnos $d_p/s < 1$.

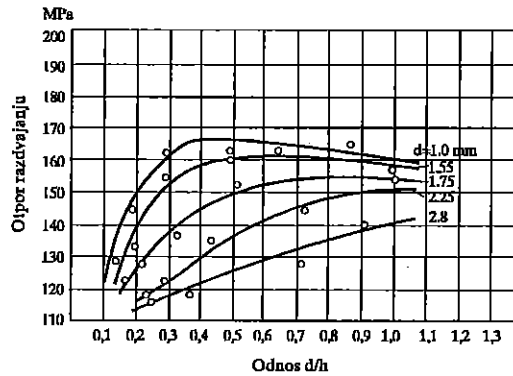
Opit pokazuje da pri probijanju malih otvora u slojevitim i vlaknastim polimernim kompozitima odlučujući uticaj na silu probijanja ima zona predrazaranja, koja kod malih zapremina deformisanja nastaje pri većim silama. Takav karakter zavisnosti prati statističku teoriju rasporeda spoljašnjih i unutrašnjih defekata.

Što je manja deformisana zapremina, time je manja verovatnoća da u njoj nastanu "opasne" prskotine u početnom trenutku deformisanja - one se pojavljuju pri većim opterećenjima. Treba uočiti neke osobenosti probijanja pravougaonih otvora u krutih nemetalnih materijala.

Izloženo pokazuje, da je potrebna sila, s jedne strane, određena verovatnoćom nastanka opasnih prskotina u deformisanoj zapremini, koja se smanjuje s umanjnjem obima, a samim tim i deformisane zapremine. Sa druge strane, pri

Treba primetiti, da se sa porastom odnosa d_p/s smanjuje vrednost kritične dubine prodiranja probojca u materijal.

Na taj način otpor razdvajanju, a sledstveno tome i potrebna sila probijanja, zavise pre svega ne od debljine materijala, već od odnosa d/s (Sl. 2). Iz grafika se vidi da veličina otpora razdvajanju nije direktno proporcionalna debljini materijala.



Slika 2. Zavisnost otpora razdvajanju τ_s od odnosa d_p/s za slojevite polimerne materijale (pertinaks debljine $h = 3-8$ mm, prečnik probijanog otvora $d_p = 0,9-2,8$ mm)

2.3. Uticaj oblika čela probojca na otpor razdvajanju

Zone predrazaranja imaju osnovi uticaj na karakter sile pri probijanju, a mogu nastati upotrebom stepenastih ili višestepenih probojaca. Njihova konstruktivna rešenja mogu biti različita.

Uticaj oblika čela probojca na otpor razdvajanju pri probijanju potvrđuje se i podacima o izradi elemenata zasecanjem ili cevastim probojcem pri običnoj reznoj ploči. Po pravilu otpor razdvajanju, u tom se slučaju, smanjuje na 10÷15 %, što se objašnjava uticajem koncentracije napona na reznim ivicama alata.

2.4. Uticaj zazora izmedju probojca i rezne ploče na otpor razdvajanju

Za razliku od metala, optimalna veličina zazora pri prosecanju (probijanju) nemetalnih materijala se određuje samo na osnovu kvaliteta otvora ili spoljašnje konture.

Ispitivanje zavisnosti sile pri probijanju otvora je pokazalo da se otpor razdvajanju neznatno smanjuje pri uvećanju veličine procepa.

Pri srazmerno većim zazorima, jednakim (1-2) s, pojave uočene pri probijanju su identične pojavama uočenim pri probijanju probojcima sa predrazarajućim ispustom.

Za slojevite i vlaknaste polimerne kompozite i termoplaste nije značajan raspon vrednosti zazora pri kojima je otpor razdvajanju najmanji. Takav karakter zavisnosti se objašnjava uticajem zone predrazaranja na proces razdvajanja. Pri uvećanju zazora menja se shema naponskog stanja u zoni probijanja. Ona se sve više približava svestranom istežanju s preovladjujućim savojnim i zatežućim naponoma. Usled toga prskotine u deformisanoj zapremeni počinju ranije da se razvijaju, što i dovodi do opšteg slabljenja materijala u zonama deformacije i razaranja.

2.5. Uticaj temperature probijanog materijala na otpor razdvajanju

Zavisnost otpora razdvajanju od temperature pri probijanju slojevitih termoreaktivnih i termoplastičnih materijala je izuzetno složena.

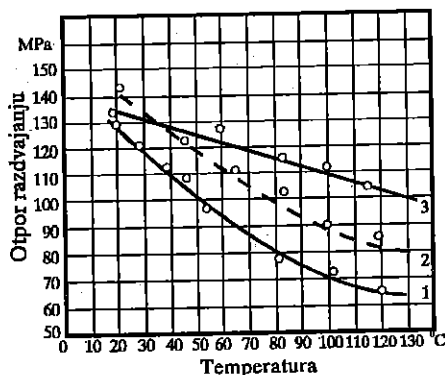
Tako, za slojevite i vlaknaste polimerne kompozitne materijale, sa jedne strane, pri povišenju temperature snižavaju se mehanička svojstva i jednovremeno u materijalu dešava dalji proces polikondenzacije, koji povećava čvrstoću i uvećava krtost smole, a sve se to odražava na otpor razdvajanju. Pri zagrevanju slojevitih termoplasta njihova se svojstva takodje suštinski menjaju.

S druge strane, u toku procesa probijanja dešava se hladjenje deformisane zone pod probojcem, što vodi ka povišenju mehaničkih karakteristika smole. Značajno se menja i karakter procesa probijanja. Rasprostiranje pukotina raspada i zone predrazaranja pri zagrevanju ima više lokalni karakter i proces probijanja podseća na proces bušenja.

Uračunavanje svih faktora, povezanih s temperaturom i ukazujući jednovremeni uticaj na otpor razdvajanju, moguće je samo eksperimentalnim putem.

Proces probijanja-prosecanja može se ostvariti ne samo zagrevanjem materijala već i zagrevanjem alata. U tom slučaju je pad τ_s^t u zavisnosti od temperature još intenzivniji.

Na Sl. 3. je prikazan grafik koji ilustruje zavisnost otpora razdvajanju pri probijanju od temperature alata u trenutku probijanja. Radi poredjenja na grafik je unesena i prava 3, koja pokazuje pad τ_s^t pri probijanju otvora u zavisnosti od temperature materijala. Takav se položaj objašnjava činjenicom, da pri prosecanju-probijanju u zagrejanom kalupu srazmerno prodiranju zagrejanog probojca u materijal zona oko probojca je u većoj meri progrejana, nego pri probijanju hladnim probojcem, što se i odražava na opšti otpor materijala probijanju.



Slika 3. Zavisnost otpora razdvajanju od temperature pri probijanju u zagrejanom alatu:

- 1 - pertinaks, $s = 2$ mm, $d_p = 5$ mm; 2 - pertinaks, $s = 2$ mm, $d_p = 3,25$ mm; 3 - pertinaks, $s = 2$ mm, $d_p = 3,25$ mm (materijal je zagrejan, alat hladan)

Ispitivanja pokazuju da u oblasti radnih temperatura (60-120°C) otpor razdvajanju se umanjuje za 20+30%.

3. ZAKLJUČAK

Ispitivanja pokazuju da, pored uticaja mehaničkih karakteristika materijala, u većoj meri nego što je to kod metala, pri prosecanju i probijanju polimernih materijala treba uzeti u obzir stvarne uslove procesa razdvajanja. To zhači da na vredost sile prosecanja, odnosno otpor razdvajanju, veliki uticaj imaju konstruktivno-tehnološki uslovi odvijanja procesa. Neki od ispitivanih faktora karakteristični su i pri obradi metala, dok nei ne pokazuju svoj uticaj pri probijanju metalnih materijala.

Karakterističan je uticaj zazora, čija se optimalna vrednost, kod prosecanja i probijanja polimernih kompozitnih materijala, određuje samo na osnovu kvaliteta površine otvora ili

spoljšanje konture.

Opiti pokazuju da stepen pridržavanja i konstrukcija izlaza matrice nemaju značajan uticaj na vrednost otpora razdvajanju.

Potrebnu silu, dobijenu po formuli (3), treba uvećati opštim popravnim koeficijentom jednakim 1,1+1,3, koji uzima u obzir nejednakost debljine materijala, izmenjene mehaničke karakteristike materijala, netačnost montaže, neravnomernost zazora i td.

Deformacioni rad pri prosecanju i potrebna snaga se odredjuju po formulama datim za metale.

LITERATURA

- /1/ Vukićević D, Janković P: *Specifičnosti obrade kompozitnih materijala razdvajanjem, JUPITER Konferencija, Beograd, 1997.*
- /2/ P. Janković, D. Vukićević: *Prednosti novih materijala, dimenzionisanje i granice njihove primene, 27. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, 1998.*
- /3/ Janković P: *Obradivost kompozitnih materijala razdvajanjem, Magistarski rad, Niš, 1998.*
- /4/ Janković P, Vukićević J: *Proces razdvajanja pri prosecanju i probijanju polimernih kompozitnih materijala, JUPITER Konferencija, Beograd, 1999.*

FACTORS SPECIFIC FOR FORCE DETERMINATION IN THE PROCESS OF PUNCHING OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Summary

Substitution of metal materials with fiber reinforced polymers causes changes in the designing and, also in production technology. Processing of fiber reinforced polymer composites differs from metalworking.

In this Paper some specific characteristics of punching of fiber reinforced polymer composite materials are shown.

GEOMETRIJSKI MODEL ALATA ZA OBLIKOVANJE CEVI NESTIŠLJIVIM FLUIDOM

V. Stoilković¹, S. Randelović², S. Mladenović³

Abstrakt

Oblikovanje cevi predstavlja tehnologiju koja podrazumeva velikoserijsku proizvodnju uz primenu poznatih tehnologija oblikovanja. Svaki dodatni zahtev za ispunjenje nekih specijalnih zahteva, u pogledu oblika cevi, gotovo uvek podrazumeva nestandardne tehnologije koje u mnogome poskupljuju gotov proizvod. Iz tih razloga nestišljiv fluid u ovim procesima, sa određenim ograničenjima može u mnogome da poboljša i ispuni zahteve koji se postavljaju pred gotov proizvod. Geometrijski model alata, uz prethodnu analizu parametara procesa oblikovanja, dat je u SolidWorks2000 sa mogućnošću dobijanja potpune tehnološke dokumentacije.

1. UVOD

Predložena tehnologija dobijanja kompenzacionih cevi pre svega zahteva detaljnu analizu parametara procesa izrade cevi, jer se radi o složenom postupku plastične deformacije gde se uz pomoć nestišljivog fluida dobija željeni profil cevi. Iz tih razloga analizira se potreban pritisak fluida unutar cevi, odnosno celokupne instalirane hidrauličke jedinice koja treba da omogući radni pritisak fluida. Polazi se od Laplasove jednačine za deformisanje lima po bez momentnoj teoriji i geometrijskih uslova koji su zadati samom geometrijom alata da bi se dobio pritisak unutar cevi. Da bi deformacija uopšte bila moguća obezbeđuje se i aksijalna sila sabijanja cevi u alatu kako bi se omogućila plastična deformacija prema zidovima alata. Ovakava detaljna analiza poslužila je za dimenzionisanje i projektovanje modela alata za navedenu tehnologiju koja je na osnovu 3D modela i potpune tehnološke dokumentacije realizovana do eksploatacionih uslova same proizvodnje.

2. ODREĐIVANJE POTREBNOG PRITISKA

Najvažniji zadatak u analizi procesa oblikovanja kompenzatora grupnom metodom predstavlja pravilno određivanje potrebnog pritiska u cevi za vreme oblikovanja. Na osnovu dobijene vrednosti pritiska vrši se proračun najvažnijih konstruktivnih elemenata alata i izbor materijala za pojedine delove alata. Potreban pritisak može se odrediti iz Laplasove jednačine

¹ Dr Vojislav Stoilković, redovni profesor na Mašinskom fakultetu u Nišu, Beogradska 14

² Mr Saša Randelović, asistent na Mašinskom fakultetu u Nišu

³ Srđan Mladenović, stručni saradnik na Mašinskom fakultetu u Nišu

Rad je rezultat rada na projektu Saveznog ministarstva za nauku i tehnologiju SR Jugoslavije: Integrisani sistemi za razvoj novih tehnologija oblikovanja lima nestišljivim fluidom, generisanje modela proizvoda primenom znanja i definisanje proizvodne opreme potrebne za implemtaciju razvijene tehnologije u proizvodnju INTEP

$$\frac{\sigma_p}{R_p} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = \frac{p}{s} \quad (1)$$

gde je:

$$R_\theta = \frac{\rho}{\cos \alpha_1} - \text{radijus krivine u tangencijalnom pravcu,}$$

R_r - radijus krivine u meridijanskom pravcu

Rešavanjem Laplasove jednačine po nepoznatoj veličini p dobija se:

$$p = \frac{s}{R_p} \sigma_p + \frac{s}{R_\theta} \sigma_\theta \quad (2)$$

Ako se izrazi za napon σ_p i σ_θ unesu u izraz dobija se opšti izraz za određivanje pritiska u obliku:

$$p = \frac{s \cdot \beta K \left(\frac{1 - \frac{R_0}{\rho}}{R_p} + \frac{1}{R_\theta} \right) - \frac{s R_0 F_a}{R_p \rho A}}{1 + \frac{s}{R_p} \left(1 + \frac{R_0}{\rho} \right) + \frac{s}{R_\theta}} \quad (3)$$

Umesto promenljivih radijusa R_p i R_θ može se u dobijeni izraz uvrstiti promenljivi ugao α_1 , ako se radijusi zamene izrazima koji su dati u analizi deformacionog stanja. Iz opšteg izraza (3) vidi se da je potreban pritisak veći ukoliko je debljina zida veća, a prečnik cevi manji. Povećanjem aksijalne sile sabijanja potreban pritisak se smanjuje. Pri porastu koordinate p , tj. visine rebara, raste i potreban pritisak. Na osnovu iznetog sledi da je pritisak u cevi promenljiva veličina i da se menja tokom procesa oblikovanja. Medjutim mnogo je jednostavnije da se oblikovanje vrši sa konstantnim pritiskom, u tom slučaju promenljiva je aksijalna sila sabijanja. Vrednost potrebnog pritiska određuje se iz uslova da je pritisak isti u svakom trenutku procesa oblikovanja, pa i na početku. Ako se početni uslovi:

$$p = R_0 \quad R_p = \infty \quad R_\theta = \frac{\rho}{\cos 0} = R_0 \quad K = K_0$$

zamene u izraz (3) dobija se uprošćen izraz za određivanje potrebnog pritiska u obliku

$$p = \frac{s \cdot \beta \cdot K_0}{R_0 + s} \quad (4)$$

koji pokazuje da pritisak zavisi samo od vrste materijala i dimenzija cevi. Sa porastom debljine zida cevi pritisak raste, a sa porastom prečnika cevi opada. Pritisak određen prethodnim izrazom dovoljan je za oblikovanje samo ako se zanemari očvršćavanje materijala cevi. Medjutim, s obzirom da se radi o obradi na hladno, očvršćavanje dolazi do izražaja i treba izvršiti korekciju u izrazu (4) tako što se K_0 zamenjuje stvarnim stecificnim deformacionim otporom K za određeni stepen deformacije. Konačni oblik uprošćenog izraza za određivanje potrebnog pritiska glasi:

$$p = \frac{s \cdot \beta \cdot K}{R_0 + s} \quad (5)$$

Ukoliko se ne raspolaže krivama očvršćavanja za dati materijal, može se koristiti neki od empirijskih izraza kojima se aproksimira stvarna kriva očvršćavanja. Najčešće se vrši linearna aproksimacija prema izrazu:

$$K = K_0 + \Pi \cdot \varphi_i \quad (6a)$$

i stepen aproksimacije prema izrazu:

$$K = C \cdot \varphi_i^n \quad (6b)$$

U izrazima oznake K_0 , n , C , Π predstavljaju konstante koje zavise od vrste materijala, dok se sa φ_i označen intenzivnost deformacije određen izrazom.

$$\varphi_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_p - \varphi_\theta)^2 + (\varphi_\theta - \varphi_n)^2 + (\varphi_n - \varphi_p)^2}$$

a u uslovima ravanskog deformacionog stanja pri:

$$\varphi_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot 2\varphi_\theta \approx \varphi_\theta \quad (7)$$

Rezultati teorijske analize koji su prikazani u ovom radu dobijeni su prema izrazima (6b) i (7) pri čemu su vrednosti specifičnog deformacionog otpora dobijene iz empirijskog izraza za legirani nerđajući čelik:

$$K = K_0 + 3,2(100 \cdot \varphi_i)^{0,84} \quad (8)$$

pri čemu je $K_0 = \sigma_v$, gde je σ_v - napon na granici tečenja. Pri izvodjenju eksperimenta u okviru ovog rada oblikovanje je vršeno sa konstantnim vrednostima pritiska za celo vreme procesa deformisanja.

3. ODREĐIVANJE AKSIJALNE SILE SABIJANJA CEVI

Pri grupnom oblikovanju rebara u alatu sa pokretnim segmentima kalupa aksijalna sila sabijanja se javlja kao jedina neupravljana veličina koja menja vrednosti u zavisnosti od drugih, upravljanih veličina kao što su pritisak fluida u cevi, hod alata i drugo. Medjutim zavisnost aksijalne sile od različitih uticajnih faktora može se odrediti i u analitičkom obliku. Pravilno određivanje aksijalne sile predstavlja osnovu za izbor prese na kojoj se oblikovanje može vršiti. U opštem slučaju aksijalna sila sabijanja može se predstaviti kao zbir sledećih komponenata:

F_{a1} - sila potrebna za savladjivanje otpora plastičnoj deformaciji koja se javlja u materijalu cevi;

F_{a2} - sila potrebna za savladjivanje otpora trenja koja se javlja između cevi i kalupa;

F_{a3} - sila potrebna za savladjivanje pritiska fluida u cevi na površinu tiskača;

Komponenta F_{a2} jednaka je nuli jer nema pomeranja delova cevi unutar kalupa, tj. $\mu = 0$.

Komponenta F_{a1} može se odrediti integracijom napona u meridijanskom pravcu po čeonj površini cevi (kružni prsten) preko koje se prenosi aksijalna sila sabijanja:

$$F_{a1} = \int_{R_u}^{R_u+s_0} \sigma_p \cdot 2\pi r dr \quad (9)$$

gde su granice integrala:

R_u - unutrašnji poluprečnik cevi,

$R_u + s_0 = \frac{d}{2}$ spoljašnji poluprečnik cevi,

Napon σ_p može se uzeti u obliku:

$$\sigma_p = \frac{\beta K}{2} - p \quad (10)$$

koji je dobijen iz uslova ravanskog deformacionog stanja:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_\theta + \sigma_n}{2}$$

gde su naponi σ_p i σ_n određeni izrazom:

$$F_{a1} = \pi \left(\frac{\beta K}{2} - p \right) (s_0^2 + 2s_0 R_u) \quad (11)$$

Analizom izraza (11) zaključuje se da aksijalna sila zavisi od vrste materijala i dimenzija cevi,

kao i od pritiska fluida za vreme oblikovanja. Sa porastom pritiska u cevi smanjuje se potrebna aksijalna sila, što se i moglo očekivati. Sa povećanjem dimenzija cevi takodje se povećava potrebna aksijalna sila. Ako se svi parametri fiksiraju na jednom nivou, aksijalna sila za vreme procesa mora da raste jer zavisi i od specifičnog deformacionog otpora K koji se menja u toku procesa. Komponenta F_{a3} određena je izrazom:

$$F_{a3} = p \cdot A = p \cdot R_u^2 \cdot \pi \quad (12)$$

Ova komponenta aksijalne sile raste srazmerno povećanju pritiska fluida u cevi i unutrašnjeg prečnika cevi. Ukupna aksijalna sila sabijanja iznosi:

$$F_a = F_{a1} + F_{a3}$$

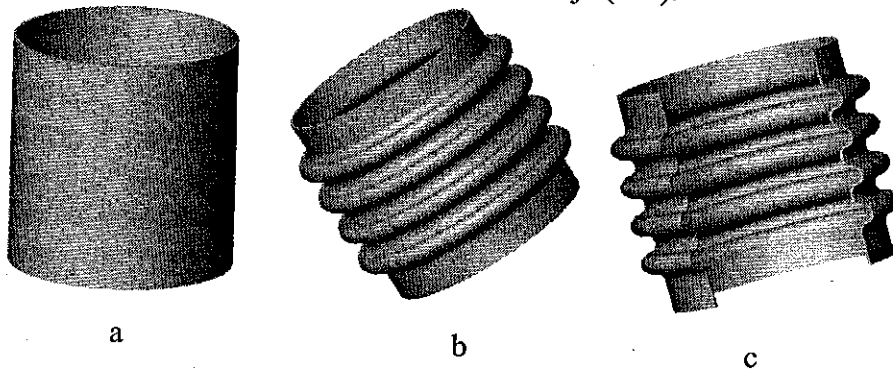
tj. unošenjem izraza (11) i (12) :

$$F_a = \pi \left(\frac{\beta K}{2} - p \right) (s_0^2 + 2s_0 R_u) + \pi \cdot p \cdot R_u^2 \quad (13)$$

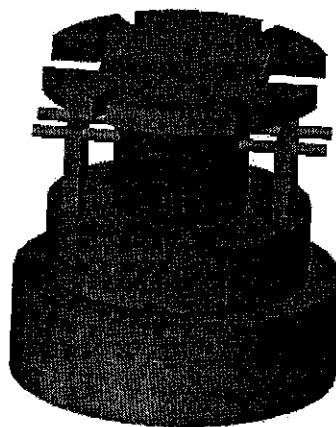
S obzirom da se oblikovanje odvija sa konstantnim pritiskom u cevi, aksijalna sila sabijanja za vreme oblikovanja monotono raste usled efekta očvršćavanja, tj. porasta specifičnog deformacionog otpora K , što su eksperimenti potvrdili.

4. REALIZOVANA TEHNOLOŠKA REŠENJA

Sva kompleksnost i složenost prethodno opisanog matematičkog postupka dobija na značaju kada se sagleda pripremak i gotov deo nakon deformisanja (sl.1).



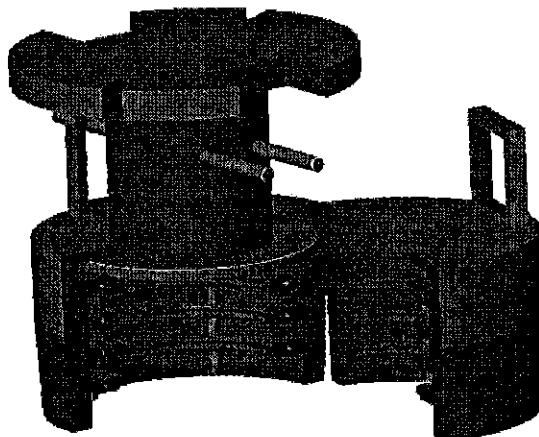
Slika 1. Pripremak i gotov deo sa zadanom geometrijom



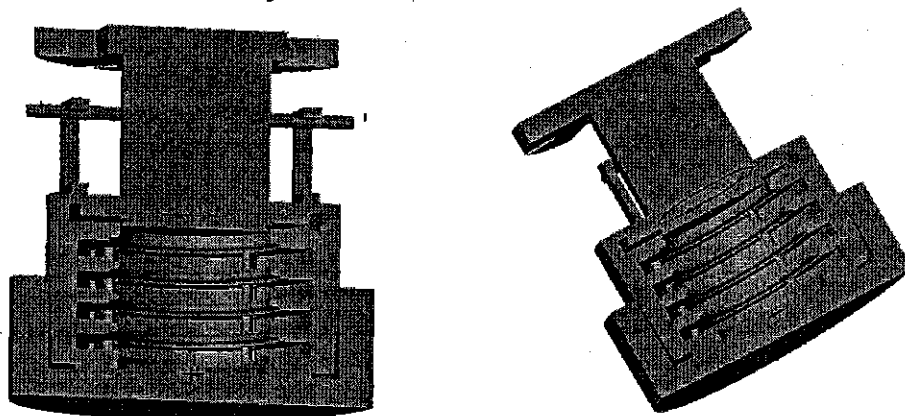
Slika 2. Model alata za izradu kompenzacione cevi

Odmah se namaće zaključak da gotov deo na sl.1b,c skoro nikako nije moguće dobiti uobičajenim i konvencionalnim postupcima deformisanja. Medjutim delimičan odgovor na ovo pitanje je već prikazan na slici 2 koja daje samo spoljni izgled kućišta alata u trodimenzionalnom prikazu gde se jasno mogu uočiti spoljne konture alata sa mestima za

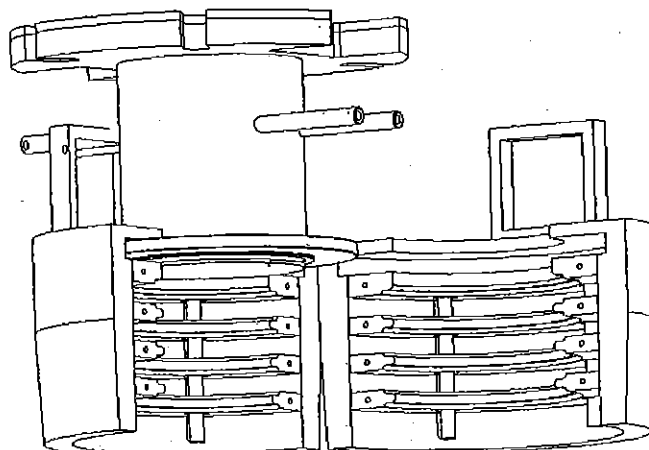
dovod i odvod radnog fluida, odnosno prilagođenim mestima za vezivanje alata za telo mašine. Sama suština i konstruktivno rešenje unutrašnjosti alata jasno se vidi na slici 3 koja pruža odgovor na mnoga pitanja što se tiče samog rada alata. U cilju razjašnjenja mnogih nedoumica i dilema daje se slika 4, na kojoj se vidi unutrašnja geometrija alata i daje odgovore na skoro sva pitanja čitaoca. Ovakav pristup i prikaz alata u mnogome pomaže kod razumevanja načina zatvaranja alata i samog procesa deformisanja koji se odvija u njegovoj unutrašnjosti. Sigurno da ovakvi efektni i realni prostorni prikazi jednom mašincu su od male pomoći, ali moćni alati ovakvog softverskog paketa pružaju mogućnost dobijanja celokupne tehnološke dokumentacije, odnosno radioničkih crteža slika 6.



Slika 3. Razdvojeni model alata za izradu kompenzacione cevi



Slika 4. Poprečni presek modela alata za izradu kompenzacione cevi



Slika 5. Modela alata za izradu kompenzacione cevi

ODREĐIVANJE RADNOG PRITISKA PRI IZVLAČENJU KUTIJASTIH DELOVA OD LIMA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM

Rančić B.

REZIME

Pri izvlačenju osnonesimetričnih delova, tj. delova pravougaonog i kvadratnog poprečnog preseka, postoje tri karakteristične oblasti: oblast ugla, u kojoj vlada naponsko-deformaciono stanje karakteristično za duboko izvlačenje cilindričnih delova; oblast pravolinijske strane, u kojoj vlada naponsko deformaciono stanje karakteristično za savijanje i prelazna oblast između prethodne dve.

U cilju provere dobijenih teorijskih izraza za određivanje pritiska p_i potrebnog za izvlačenje, ostvarena su eksperimentalna istraživanja izvlačenja osnonesimetričnih (kutijastih) delova nestišljivim fluidom po II klasi postupaka. Primenjen je puni trofaktorni plan eksperimenta tipa 2^3 .

Teorijski dobijene vrednosti pritiska, odnosno sile izvlačenja odstupale su od eksperimentalnih vrednosti za oko 10%.

1. UVOD

U klasičnoj literaturi iz oblasti obrade materijala plastičnim deformisanjem, za sračunavanje sile potrebne za duboko izvlačenje kutijastih delova, tj. delova kvadratnog i pravougaonog poprečnog preseka, postoje približni izrazi ([1], [2]), ili uopšte i nisu dati izrazi za sračunavanje sile, [3].

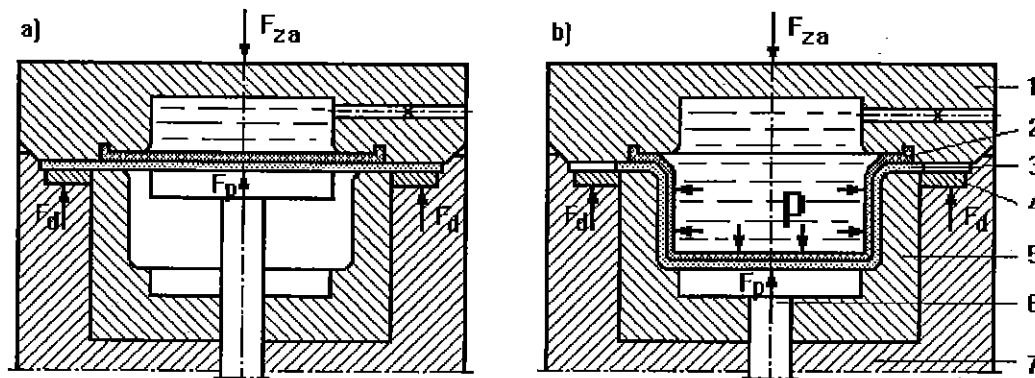
Prema približnim izrazima iz literature [1] i [2], kutijasti deo se svodi na cilindrični deo iste efektivne površine i onda se maksimalna sila, potrebna za duboko izvlačenje sračunava prema izrazu za cilindričan deo, [2], [3], [4]. Na ovaj način se dobija prevelika vrednost računске sile, jer se ne uzima u obzir da u vencu (žarištu deformacija) kutijastog dela postoje tri karakteristične oblasti: oblast ugla (u kojoj se vrši duboko izvlačenje), oblast pravolinijske strane (u kojoj se vrši savijanje) i prelazna oblast između njih, [5]. U ovom radu su uključene sve tri karakteristične oblasti i dati su izrazi za sračunavanje maksimalne sile (odnosno pritiska) potrebne za duboko izvlačenje kutijastih delova nestišljivim fluidom po II klasi postupaka.

2. IZVLAČENJE NESTIŠLJIVIM FLUIDOM PO II KLASI POSTUPAKA

Proces dubokog izvlačenja po II klasi postupaka, kada je nosilac deformacione sile nestišljiv fluid, a nosilac oblika čvrst kalup, prikazan je na slici 1. Pripremak od lima postavlja se na prsten za izvlačenje (poz. 5), koji je smešten u kućištu alata (poz. 7). Pod dejstvom pritiska u nestišljivom fluidu, preko zaštitne membrane (poz. 2), koja služi za zaptivanje radnog prostora, vrši se duboko izvlačenje dela (poz. 3). Ovaj proces dubokog izvlačenja nije dao zadovoljavajuće rezultate, jer u materijalu dela dominiraju naponi istezanja (dvoosno

razvlačenje), tako da, pri relativno malim stepenima deformacije, dolazi do razaranja u centralnoj oblasti dna dela.

Da bi se sprečilo razaranje dna, za izradu manjih i delova srednje veličine (do 500 mm) na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu razvijeno je rešenje sa pridržavanjem dna elementa. Pre početka dubokog izvlačenja, pridrživač (poz. 6, sl 1) se dovodi u dodir sa pripremkom (sl 1, a). Kada je pritisak u nestišljivom fluidu dovoljan da savlada silu pridržavanja F_p , otpočinje proces dubokog izvlačenja. Sada je dno obradka u svakom trenutku procesa u kontaktu sa pridrživačem, čime se sprečava pojava velikih napona istezanja u dnu i omogućava izrada delova zadovoljavajuće visine. Sila držača lima (poz. 4) se obezbeđuje hidrauličkim cilindrima, čime je omogućeno tačno regulisanje pritiska, odnosno sile držanja F_d .



Slika 1. Duboko izvlačenje nestišljivim fluidom po II klasi postupaka

2.1. Maksimalna sila potrebna za duboko izvlačenje kutijastih delova

Pri određivanju maksimalne sile mora da se uzme u obzir da, u opštem slučaju, postoje tri oblasti na vencu kutijastog dela: oblast ugla, prelazna oblast i oblast čisto pravolinijske strane, slika 2. Veličina oblasti ugla, u kojoj se javlja samo duboko izvlačenje, određena je veličinom radijusa u uglu r_u (slika 2, b). Veličina čisto pravolinijske strane, na kojoj se javlja samo savijanje, određena je izrazima:

$$b_2 = b_1 - 2 \cdot g, \quad \text{za dužu stranu dela i} \quad (1,a)$$

$$a_2 = a_1 - 2 \cdot g, \quad \text{za kraću stranu dela.} \quad (1,b)$$

gde su: $b_1 = b - 2r_u$ i $a_1 = a - 2r_u$ - dužina i širina čisto pravolinijskih strana i g - dužina prelazne oblasti.

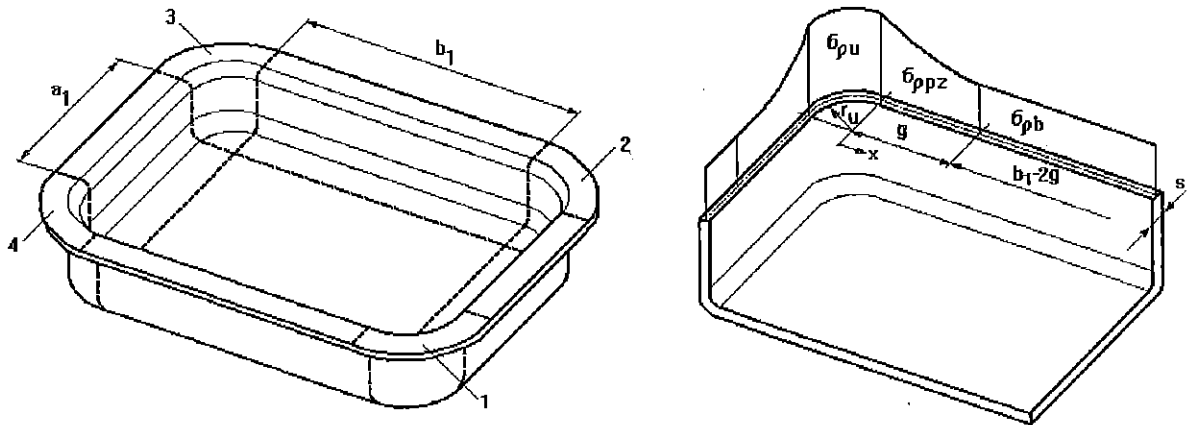
Dužina prelazne oblasti se sračunava prema izrazu, [5]:

$$g = \frac{\ln \left(\frac{f \cdot \mu \cdot s}{2 p_d} \cdot K_{sr} + 1 \right)}{f \cdot \mu} \quad (2)$$

gde su: $f = 0.03+0.3$ - faktor prigušenja, μ - koeficijent trenja, s - debljina lima, K_{sr} - srednja vrednost specifičnog deformacionog otpora i p_d - pritisak držača lima.

a)

b)



Slika 2. Karakteristične oblasti na vencu kutijastog dela

Zavisno od dimenzija dela, uzimajući u obzir da je $b \geq a$, mogu da se jave šest različitih slučajeva:

- 1) $b_2 > 0, a_2 > 0$ - i na dužoj i na kraćoj strani dela postoje po dve prelazne oblasti i između njih oblast čisto pravolinijske strane;
- 2) $b_2 > 0, a_2 = 0$ - oblasti na dužim stranama su iste kao u slučaju 1), a na kraćim stranama se prelazne oblasti nastavljaju neposredno jedna u drugu;
- 3) $b_2 > 0, a_2 < 0$ - oblasti na dužim stranama su iste, kao i u slučajevima 1) i 2), a na kraćim stranama dolazi do manjeg ili većeg preklapanja prelaznih oblasti, odnosno do međusobnog uticaja naponsko-deformacionih stanja iz dva susedna ugla;
- 4) $b_2 = 0, a_2 = 0$ - na svakoj od strana javljaju se po dve prelazne oblasti, koje se nadovezuju neposredno jedna na drugu;
- 5) $b_2 = 0, a_2 < 0$ - na dužim stranama oblasti su iste kao i kod slučaja 4), dok se na kraćim stranama javlja određeno preklapanje prelaznih oblasti i
- 6) $b_2 < 0, a_2 < 0$ - na sve četiri strane dela dolazi do odgovarajućeg preklapanja prelaznih oblasti.

Dakle, ne postoji jedinstven izraz za sračunavanje maksimalne sile.

Maksimalna sila izvlačenja za navedenih šest slučajeva određuje se prema izrazima:

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb} + F_{pa}) + 2(F_{sb} + F_{sa}), \quad (3,a)$$

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb} + F_{pa}) + 2 \cdot F_{sb}, \quad (3,b)$$

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb} + F_{pa}^*) + 2 \cdot F_{sb}, \quad (3,c)$$

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb} + F_{pa}), \quad (3,d)$$

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb} + F_{pa}^*), \quad (3,e)$$

$$F_{\max} = F_{\max} + 4(F_{pb}^* + F_{pa}^*), \quad (3,f)$$

gde su: F_{\max} - maksimalna sila za izvlačenje fiktivnog cilindričnog dela, koji se dobija spajanjem četiri oblasti ugla (poz. 1, 2, 3 i 4 na slici 2, a), F_{pb} , F_{pa} - sila potrebna za deformisanje u jednoj prelaznoj oblasti na dužoj, odnosno kraćoj strani dela, za slučaj da nema preklapanja prelaznih oblasti, a u trenutku pojave F_{\max} , F_{pb}^* , F_{pa}^* - sila potrebna za deformisanje u jednoj prelaznoj oblasti na dužoj, odnosno kraćoj strani dela, za slučaj da ima preklapanje prelaznih oblasti, a u trenutku pojave F_{\max} i F_{sb} , F_{sa} - sila potrebna za savijanje na dužoj, odnosno kraćoj strani dela.

Izraz za radni pritisak se dobija kada se F_{\max} podeli površinom poprečnog preseka dela i za najopštiji slučaj ($b_2 > 0$, $a_2 > 0$) ima oblik:

$$p_i = \frac{(1.2 \div 1.4)}{ab - (4 - \pi) \cdot r_u^2} \left\{ \left[\frac{K_{sr} \ln \frac{R_{sr}}{R_{usr}}}{\frac{\mu F_{dl}}{\pi R_s s} + K_{sr} \frac{s}{2r_m + s}} (0.737 \pi d + 5.056 g) + \pi d + 8g \right] \cdot s \cdot (1 + 1.6 \mu) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{\mu F_{dl}}{\pi R_s s} + K_{sr} \frac{s}{2r_m + s} \right) + 4gs \cdot \left[\sigma_{pb} + \frac{\mu p_d}{s} \left(e^{\frac{\mu \pi}{2}} - 1 \right) (0.85 R_s - r_u - s - r_m) \right] \right\} \quad (4)$$

gde su: F_{dl} - sila držača lima, R_s - poluprečnik spoljašnje ivice venca fiktivnog cilindričnog dela u trenutku pojave maksimalne sile, $d = 2R_{usr} = 2(r_u + s/2)$ - prečnik fiktivnog cilindričnog dela, r_m - radijus na prstenu za izvlačenje, K_{sr} - srednja vrednost specifičnog deformacionog otpora za fiktivni cilindrični deo, σ_{pb} - radijalni napon usled savijanja, b , a - dužina odnosno širina dela, a faktor 1.2÷1.4 uzima u obzir da pritisak u fluidu mora da savlada i silu pridržavanja F_p .

Vrednosti za p_d , F_{dl} , R_s i K_{sr} se određuju kao za slučaj dubokog izvlačenja cilindričnih delova [6], a σ_{pb} se sračunava prema poznatim izrazima za savijanje jednostrukog ugaonika ([3], [4]) zavisno da li se savijanje vrši u čisto plastičnoj ili elastično-plastičnoj oblasti. Izrazi za sračunavanje radnog pritiska za ostalih pet slučajeva mogu se naći u literaturi [6].

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U cilju provere teorijskih postavki i izraza, u Laboratoriji za mašine alatke i mašinsku obradu Mašinskog fakulteta u Nišu, ostvarena su eksperimentalna istraživanja. Istraživanja su sprovedena u specijalno za to konstruisanom alatu na hidrauličkoj presi od 1000 kN (MIN-Niš). Za određivanje pritiska p_i , potrebnog za izvlačenje, primenjen je puni trofaktorni plan eksperimenta (tipa 2^3 , [7]). Kao ulazne veličine, usvojene su: odnos između dužine i širine izvučenog dela $c = b/a$, ukupna visina dela h_{uk} i radijus u uglu prstena za izvlačenje r_u . Nivoi promena ulaznih veličina su prikazani u Tabeli 1.

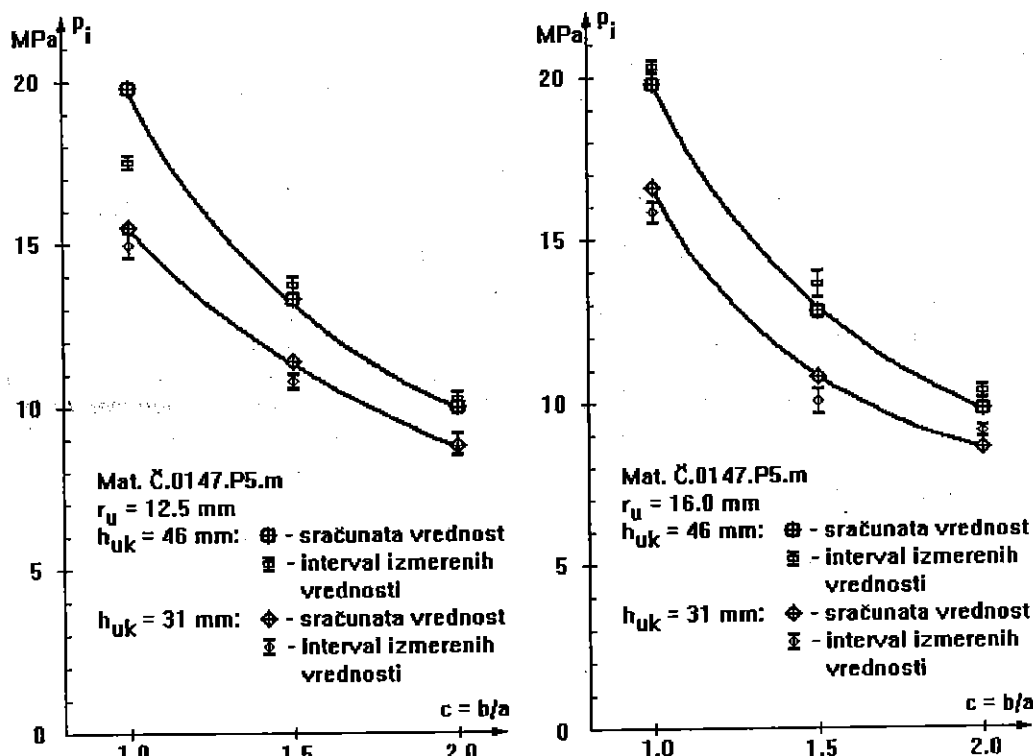
Ostali parametri su usvojeni kao konstantni (radijus prstena za izvlačenje $r_m = 7$ mm, debljina lima $s = 1$ mm, širina dela $a = 80$ mm, materijal lima - Č.0147.P5.m, radijus na dnu dela $r_d = r_i = 10$ mm, širina venca $x_v = 7$ mm, koeficijent trenja $\mu = 0.1$). Dimenzije priprema su određivane prema navodima literature [1], [2], [3] i [6]. Detaljniji podaci o merenju mogu se naći u literaturi [6], i [8].

Tabela 1.

Odnos duž/šir $c = b/a$	Visina dela h [mm]	Radijus u uglu r_u [mm]	Pritisak p_i [MPa]			Srednja vredn. p_{isr}
			p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	
1.0	45	16.0	19.98	19.58	20.00	19.85
1.0	30	16.0	16.23	15.86	15.96	16.02
1.0	45	12.5	17.56	17.61	17.36	17.51
1.0	30	12.5	15.42	14.45	14.50	14.79
2.0	45	16.0	9.92	10.50	10.50	10.31
2.0	30	16.0	8.58	8.20	8.80	8.53
2.0	45	12.5	10.19	9.90	10.40	10.16
2.0	30	12.5	8.69	8.50	9.50	8.90

3.1. Prikaz eksperimentalnih rezultata

U toku sprovođenja eksperimenta meren je pritisak potreban za izvlačenje p_i (davačem pritiska P4AK od 50 MPa, "Hotttinger Baldwin Mesastechnik" i mernim računom HP 9000/300, "Hewlett Packard"), a dobijene eksperimentalne vrednosti za p_i su, takođe, prikazane u Tabeli 1.



Slika 3. Prikaz eksperimentalnih i teorijskih vrednosti pritiska potrebnog za izvlačenje dela

Na osnovu eksperimentalnih rezultata i vrednosti, dobijenih prema jednačini (4), nacrtani su dijagrami promene pritiska p_i i prikazani su na slici 3.

4. ZAKLJUČAK

Istraživanja su pokazala da je pretpostavka o postojanju tri zone u oblasti venca kutijastog dela, tj. pretpostavka da ne postoji jedinstven izraz za sračunavanje sile dubokog izvlačenja kutijastih delova, ispravna, jer odstupanje eksperimentalnih i teorijskih vrednosti iznosi oko 10%.

Napominje se da su slični rezultati dobijeni i za druga dva materijala, mesing i elektrolitički bakar, ali zbog ograničenog prostora nisu prikazani u ovom radu.

5. LITERATURA

- [1] Oehler G., Kaiser F., Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge, 6. verbesserte und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1973.
- [2] Romanovskii V.P., Spravočnik po holodnoi štempovke, Mašinostroenie, Leningrad, 1979.
- [3] Musafija B., Obrada metala plastičnom deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1972.
- [4] Stoilković V., Teorija obrade deformisanjem, Univerzitet u Nišu, Niš, 1984.

- [5] Strackerjahn W., Die voraussage des Versagenfalls beim Tiefziehen rechteckiger Teile, Dr.-Ing. Dissertation, der Fakultät für Maschinenwesen der Universität Hannover, 1982.
- [6] Rančić B., Naponsko i deformaciono stanje pri oblikovanju nesimetričnih delova od lima nestišljivim fluidom sa određivanjem parametara procesa, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u nišu, Niš, 1993.
- [7] Johnson N., Leone F., Statistika i planirovanie eksperimenta v tehnike i nauke, Mir, Moskva, 1981.
- [8] Rančić B., Praktikum za laboratorijske vežbe iz inženjerske metrologije sa teorijskim osnovama, Mašinski fakultet-Univerzitet u Nišu, Niš, 1999.

DETERMINATION OF WORKING PRESSURE BY THE OIL-HYDRAULIC DEEP DRAWING PROCESS OF SQUARE CUPS

Abstract

Under the non-axisymmetrical cups drawing process (cups with rectangular and square cross section), there are three different areas: the corner area, in which exists the stress-strain state characteristic for the deep drawing process of the cylindrical cups; the side-wall area, in which exists the stress-strain state characteristic for bending process; and the transitive area between them.

The checking of the theoretical expressions for the deep drawing pressure p , was performed by experimental investigations of the non-axisymmetrical cups by the oil-hydraulic deep drawing process under the second class of proceedings. The complete plan of the experiment (type 2³) was used.

The difference between theoretical and experimental values of the deep drawing pressure (force) was only about 10%.

UTICAJ ODNOSA DEBLJINE LIMA I PREČNIKA OTVORA NA ODVIJANJE PROCESA PROBIJANJA

Jelena Vukićević Milovanović¹⁾

REZIME

Istraživanja i praktična iskustva pokazuju da dolazi do značajnih promena u odvijanju procesa razdvajanja materijala postupkom probijanja kada debljina lima postaje veća u odnosu na prečnik otvora koji se dobija tehnologijom probijanja, pa je u radu posvećena posebna pažnja pitanju izrade tzv. "malih otvora" ovom tehnologijom. Problem je razmatran na osnovi hipoteze da se proces izrade "malih otvora" sastoji iz dve faze: prve koja predstavlja proces utiskivanja i druge koja je probijanje, a da veličine ovih faza zavise od parametra koji izražava odnos debljine lima i prečnika otvora.

UVOD

Poznato je da su procesi izrade mašinskih elemenata tehnologijama deformisanja pri kojima dolazi do razdvajanja materijala, a u koje spadaju metode prosecanja i probijanja, našle veoma široku primenu u proizvodnoj praksi, i to naročito u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji.

Takodje poznato je da su se ove tehnologije primenjivale u sledećim slučajevima, i to:

- pri izradi elemenata više klase kvaliteta kao pripreme operacije, posle kojih su delovi odlazili na završnu obradu nekom drugom tehnologijom i
- u proizvodnji elemenata relativno nižeg kvaliteta.

Medjutim, sve oštriji zahtevi za dobijanje elemenata što višeg kvaliteta i niže cene, znači težnje da raste proizvodnost i produktivnost, težnje da se smanji broj operacija obrade kroz pretvaranje pripremnih operacija u završne, dovelo je i do razvoja niza vrsta postupaka prosecanja i probijanja, i to od:

- klasičnog procesa, kao pripremnog ili završnog u proizvodnji elemenata nižeg nivoa kvaliteta, pa do
- finog prosecanja i probijanja, kao završne obrade u proizvodnji elemenata relativno visokog kvaliteta.

Razumljivo je da je pomenuti razvoj tehnologija prosecanja i probijanja bazirao na ogromnim teorijskim, laboratorijskim i eksploatacionim istraživanjima i ispitivanjima, o čemu svedoči zapažena stručna literatura. Analizom literaturnih informacija /1,2,3,4.../, došlo se do sledećeg, da:

- istraživanja i praktična iskustva pokazuju da dolazi do značajnih promena u odvijanju procesa razdvajanja materijala tehnološkim procesom probijanja otvora u proizvodima od lima kada se menja odnos debljine lima prema prečniku otvora i
- da teorijski ovaj fenomen nije objašnjen i rešen u slučajevima kada je debljina lima

¹⁾ Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu

veća od prečnika otvora.

Problem iz drugog stava u stručnoj literaturi nosi različite nazive, kao: "izrada malih otvora probijanjem", "obrada probijanjem debelih limova", "probijanje tankim probojcima" i dr. Takođe daju se i predlažu različita rešenja - naročito - u oblasti konceptijsko-konstruktivskih rešenja alata, ali bez značajnijih teorijskih podloga i tumačenja, što dovodi do određenih problema i stvara odgovarajuća ograničenja primene ove tehnologije u proizvodnoj praksi.

Imajući u vidu izneto, u ovom radu je posvećena posebna pažnja pitanju izrade otvora probijanjem kada je debljina lima veća od prečnika otvora.

DEFINISANJE I KLASIFIKACIJA PROCESA

Na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu planirana su istraživanja u domenu tzv. izrade malih otvora probijanjem, koja baziraju na hipotezi da se ovaj proces sastoji iz dve faze, i to:

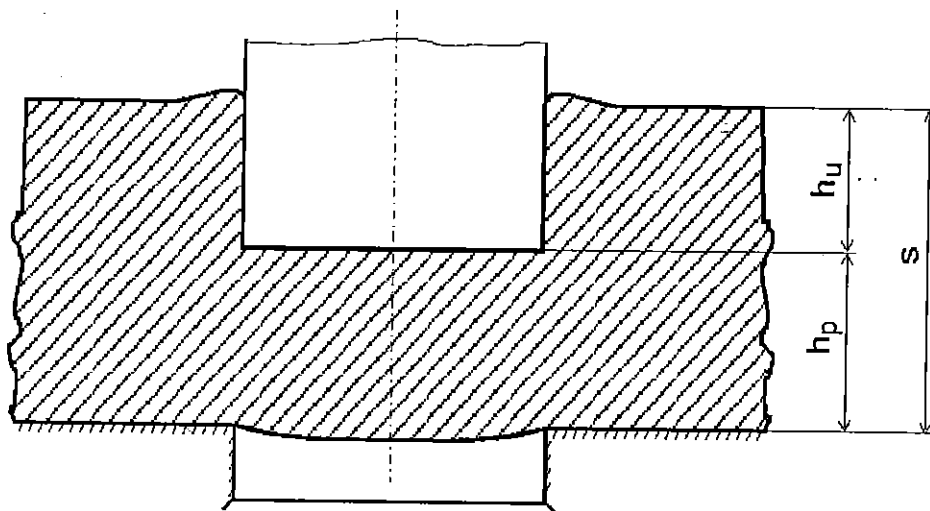
- Prve koja predstavlja proces utiskivanja, a koju na slici 1. karakteriše putanja probojca (h_u) i
- druge koja je probijanje, na slici 1. definisana putanjom (h_p).

U vezi sa postavljenom hipotezom, predpostavlja se da najveći uticaj na veličinu ovih faza ima parametar koji izražava odnos debljine lima i prečnika otvora:

$$f_{sd} = \frac{S}{d} \quad (01)$$

gde su: S - debljina lima i

d - prečnik otvora



Slika 1. Proces probijanja

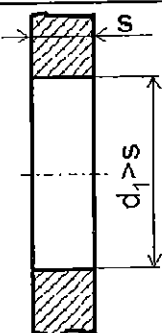
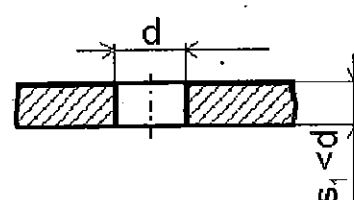
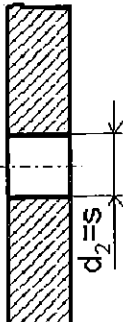
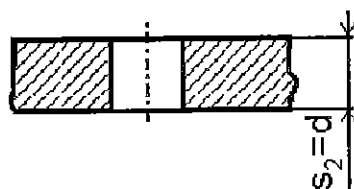
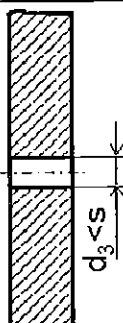
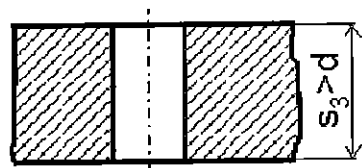
Analizom izraza (01) dolazi se do toga da njegove realne vrednosti mogu biti:

$$f_{sd} < 1 \quad (02)$$

$$f_{sd} = 1 \quad (03)$$

$$f_{sd} > 1 \quad (04)$$

Tablica T-1.

Varijanta V_{ij}	j		f_{sd}	
	1	2		
i	1	 V_{11}	 V_{12}	< 1
	2	 V_{21}	 V_{22}	1
	3	 V_{31}	 V_{32}	> 1

Ovo ukazuje na veoma veliki mogući broj varijanti po vrednosti parametra f_{sd} , što je sistematizovano i sintetizovano dato u tablici T-1. za dva slučaja:

- prvi slučaj da je: $s = \text{const.}$ i $d \neq \text{const.}$ (obrada lima iste debljine sa nizom alata) i kada važi relacija:

$$d_1 > d_2 = s > d_3 \quad (05)$$

- i drugi slučaj da je: $s \neq \text{const.}$ i $d = \text{const.}$ (jednim alatom se izrađuju otvori u limovima različitih debljina) kod koga važi relacija:

$$s_1 < s_2 = d < s_3 \quad (06)$$

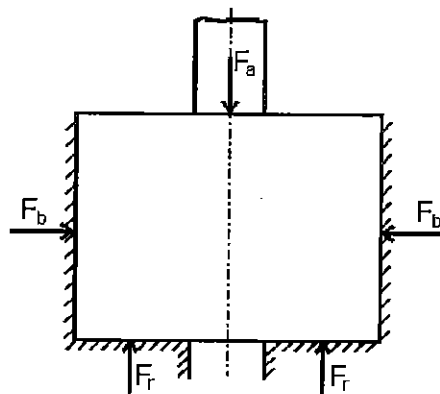
Probijanje otvora kod kojih parametar (f_{sd}) ima vrednosti definisane izrazom (02) predstavljaju klasične postupke prosecanja i probijanja koji su veoma detaljno teorijski i praktično obrađeni i objašnjeni.

Predmet izučavanja i istraživanja koja se obavljaju na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu je u domenu varijante V_{32} u tablici T-1.

PRIKAZ I ANALIZA PROCESA

3.1. Prva faza

Kao osnova pri razmatranju odvijanja procesa u prvoj fazi sa ciljem nalaženja prihvatljivog rešenja, uzet je kompleksni model D3 /7/, prikazan na slici 2., koji predstavlja utiskivanje sa parcijalnim olakšanjem tečenja u aksijalnom pravcu i sa ometanim radijalnim širenjem.



Slika 2. Kompleksni model D3

U ovoj fazi, pri prodoru probojca u materijal, isti biva istiskivan radijalno ispred čela probojca i suprotnosmerno naviše u odnosu na njegovo kretanje. U ovoj fazi se materijal plastično deformiše i u njemu se ne javljaju prskotine. Takođe, nema tečenja materijala u otvor rezne ploče.

Zapremina istisnutog dela materijala koji ostaje u obradku izvan presečne površine je:

$$V_u = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_u \quad (07)$$

3.2. Druga faza

U ovoj fazi deo materijala ispred čela probojca biva istisnut u otvor rezne ploče i predstavlja otpadak. Zapremina ovog dela materijala je:

$$V_p = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_p \quad (08)$$

OSNOVE REŠAVANJA PROBLEMA

Uvođenjem parametra:

$$f_{up} = \frac{h_u}{s} \quad (09)$$

definisana je veličina prve faze procesa izrade otvora probijanjem koja predstavlja proces utiskivanja.

Kako je zapremina otvora:

$$V_o = V_u + V_p = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot s \quad (10)$$

to zamenom vrednosti za (h_u) i (s) iz izraza (07) i (10) u izraz (09) i s' obzirom da je:

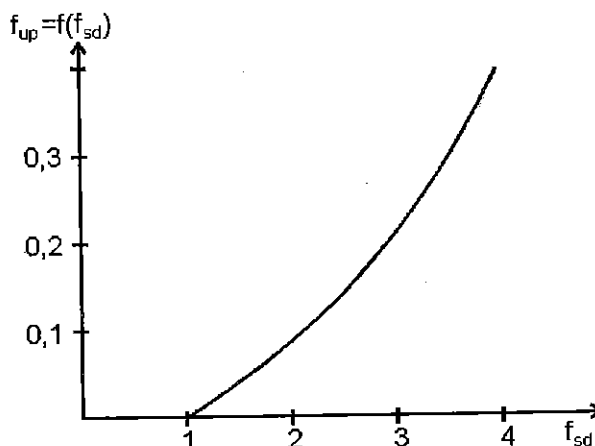
$$s = h_u + h_p \quad (11)$$

izraz (09) može se napisati i u obliku:

$$f_{up} = 1 - \frac{V_p}{V_o} \quad (12)$$

Literaturne informacije i preliminarna istraživanja ukazuju da između parametara (f_{sd}) i (f_{up}) postoji po svom karakteru takva zavisnost koja je prikazana na slici 3. Sistematizovanim ispitivanjima varijante V_{32} postupkom merenja zapremine otpadka (V_p) pri promeni vrednosti parametra (f_{sd}) i uz korišćenje izraza (12), za očekivati je da se dođe do zakonitosti:

$$f_{up} = f(f_{sd}) \quad (13)$$



Slika 3. Zakon promene $f_{up} = f(f_{sd})$

Poznavanjem zakona definisanog opštim izrazom (13) stvoriće se dovoljno pouzdane podloge za stvaranje pouzdanijih inženjerskih metoda proračuna u ovoj oblasti, kao i teorijskih tumačenja procesa.

ZAKLJUČAK

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Sva dosadašnja istraživanja i ispitivanja ukazuju da je ispravno proces izrade otvora probijanjem u limovima, čija je debljina veća od prečnika otvora, posmatrati kao kombinovani dvofazni proces koji se sastoji iz utiskivanja u prvoj fazi, a potom iz probijanja u drugoj fazi.
2. Za očekivati je da će klasifikacija procesa probijanja data u tablici T-1. predstavljati dobru podlogu za sistematizovanje i sveobuhvatnije istraživanje u ovoj oblasti.
3. Iznalazanjem zakonitosti definisane opštim izrazom (13) i teorijskim saznanjima i postavkama iz oblasti utiskivanja i procesa prosecanja i probijanja, za očekivati je da se dođe do pouzdanijih teorijskih objašnjenja fenomena izrade otvora probijanjem u limovima čija je debljina veća od prečnika otvora.

LITERATURA:

- /1/ Romanovski V.P.: Tehnologičeskie rasčeti pri probivke otverstii maloga dijametra. Kuznečnoe-štamovočnoe proizvodstvo, No 3, Moskva, 1984, str. 22-23.
- /2/ Đukić H.: Konsrukcija alata. Univerzitetska knjiga Mostar, 1998.
- /3/ Šljivić M.: Alati za obradu deformisanjem. Univerzitet u Banja Luci, Banja Luka, 1989.
- /4/ Musafija B.: Obrada metala plastičnim deformisanjem, Svetlost, Sarajevo, 1988.
- /5/ Gusev A.I., Vajsburg R.A.: Polučeniye otvestii v tolstih listah metodom ččistovoj probivki. Černaja metalurgija, br. 6, Moskva, 1981.
- /6/ Stoilković V.: Obrada deformisanjem, Mašinski fakultet u Nišu, 1981.
- /7/ Popović P., Janković Lj.: Prilog razmatranju problema kompleksnog modela elemenata utiskivanjem. Sredstva i metode obrade deformisanjem, Mašinski fakultet u Nišu, god. III, br. 2, str. 1-12, Niš, 1977.

INFLUENCE OF RELATIONSHIP BETWEEN THE THICKNESS OF PLATE AND THE DIAMETER OF BORE ON THE PUNCHING PROCESS**SUMMARY**

Researches and practical experience show that important changes take place in the punching process when the thickness of plate becomes greater than the diameter of bore, which is obtained by punching technology. Therefore, in this paper great deal of attention is devoted to the process of producing "small bores" using this technology

MODELIRANJE TRIBOLOŠKIH PROCESA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA

D. Adamović¹, M. Stefanović², V. Lazić³

Rezime

U radu je dat pregled najčešće korišćenih tribo-modela dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida sa njihovom analizom u pogledu predstavljanja realnih procesa i izučavanja uticaja triboloških uslova pri obradi metala deformisanjem u hladnom stanju. Za izabrani tribo-model provlačenja epruvete od lima između parova sa nagnutim kontaktnim površinama, prikazana su istraživanja koeficijenta trenja u uslovima graničnog podmazivanja odnosno "stalno niskog trenja".

1. UVOD

Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida primenjuje se za izradu cilindričnih delova kod kojih je dubina veća od prečnika, a debljina dna veća od debljine zida, kao što su čaure, tankozidne cevi a naročito konzerve za hranu i piće, čija se godišnja proizvodnja u svetu broji na stotine miliona komada. Pomenuti delovi se izrađuju od materijala koji imaju dovoljno veliku plastičnost u hladnom stanju, kao što su niskougljenični čelici, aluminijum, mesing i drugi. U zadnjih nekoliko godina ovaj način obrade našao je primenu i u elektro-optičkoj industriji pri proizvodnji optičkih i magnetnih diskova za dobijanje ogledalaste površine, s obzirom da je puno jeftiniji od mehaničke obrade.

U procesu obrade dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida značajnu ulogu imaju tribološki uslovi, odnosno ostvarene sile trenja. Od veličine i raspodele kontaktnih napona zavisi naponsko-deformaciono stanje plastično oblikovanog komada, mogućnost uspešnog deformisanja, kao i potrebna sila za izvodjenje deformisanja. S obzirom da se deformisanje metala odvija u uslovima visokih kontaktnih pritisaka, odsustvo maziva u takvim uslovima bi dovelo do neposrednog kontakta materijala obrade i alata, odnosno došlo bi do mikroprivarivanja ili nalepljivanja mekšeg materijala na tvrdji alat, a samim tim i do bitnog narušavanja obradnih uslova.

Glavni tribo-faktori pri obradi dubokim izvlačenjem sa stanjenjem debljine zida su: brzina, stepen deformacije (zavistan od opterećenja i poluugla konusa matrice), stanje materijala u kontaktu (topografija površina, fizičke i hemijske karakteristike materijala) i vrsta maziva. Njihovom kombinacijom moguće je realizovati mešovito, odnosno granično trenje i na minimum svesti kontakt između alata i radnog dela (lima).

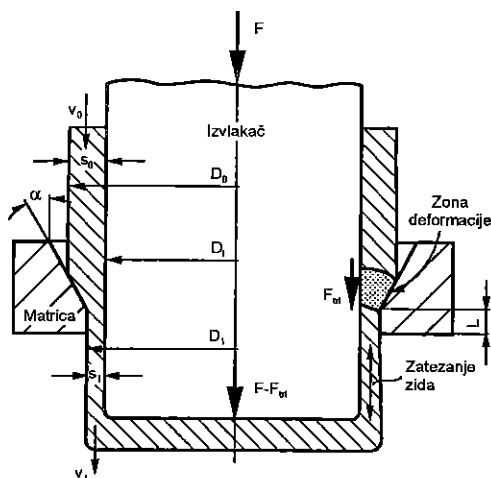
¹ Mr Dragan Adamović, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac,
E-mail: adam@knez.uis.kg.ac.yu

² Dr Milentije Stefanović, red.prof., Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac,

³ Mr Vukić Lazić, asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, s. Janjic 6, 34000 Kragujevac

2. ANALIZA RAZNIH TRIBO-MODELA

Proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem zida shematski je prikazan na slici 1., sa opštim prikazom sila trenja u kontaktu komada i matrice, odnosno izvlakača. Dejstvo sila trenja u zoni deformisanja je različito; na spoljašnjoj površini (između komada i matrice) ove sile (F_{trM}) povećavaju napone zatezanja, a na unutrašnjoj (između komada i izvlakača, sile F_{trI}) rasterećuju kritičan presek, umanjujući napone u zidu dela koji se izvlači. To je glavni razlog za postizanje visokih stepena deformacije i ostvarivanje znatnih priraštaja relativne dubine pri izvlačenju.



Slika 1. Shema dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida

Stanjenje se izvodi u uslovima koji su bliski ravanskom deformacionom stanju. Povećanje trenja na strani izvlakača umanjuje kritični zatežući napon, ali se ukupna sila izvlačenja povećava. Pri tome sila F_{trI} ne sme toliko da poraste da se na kontaktnoj površini komada pojave gruba zadiranja i mikroprivarivanja (ili prilepljivanja) čestica metala radnog komada na alat, što bi dovelo do oštećenja radnog komada i alata i otežalo skidanje radnog komada sa izvlakača.

Jasno je da je uticaj triboloških uticaja pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida izuzetno važan i predstavljao je predmet izučavanja niza istraživača proteklih godina, kako u realnim procesima tako i na tribo-modelima. Ispitivanje triboloških uslova u realnim procesima

je znatno duže i skuplje, pa su stoga znatno zastupljenija ispitivanja na tribo-modelima.

Modeliranje triboloških uslova pri izvlačenju sa stanjenjem zida podrazumeva zadovoljavanje minimuma potrebnih kriterijuma s obzirom na: sličnost u naponsko-deformacionim karakteristikama, temperaturno-brzinskim uslovima, osobinama površine alata i materijala kao i stanju njihovog kontakta za vreme obrade.

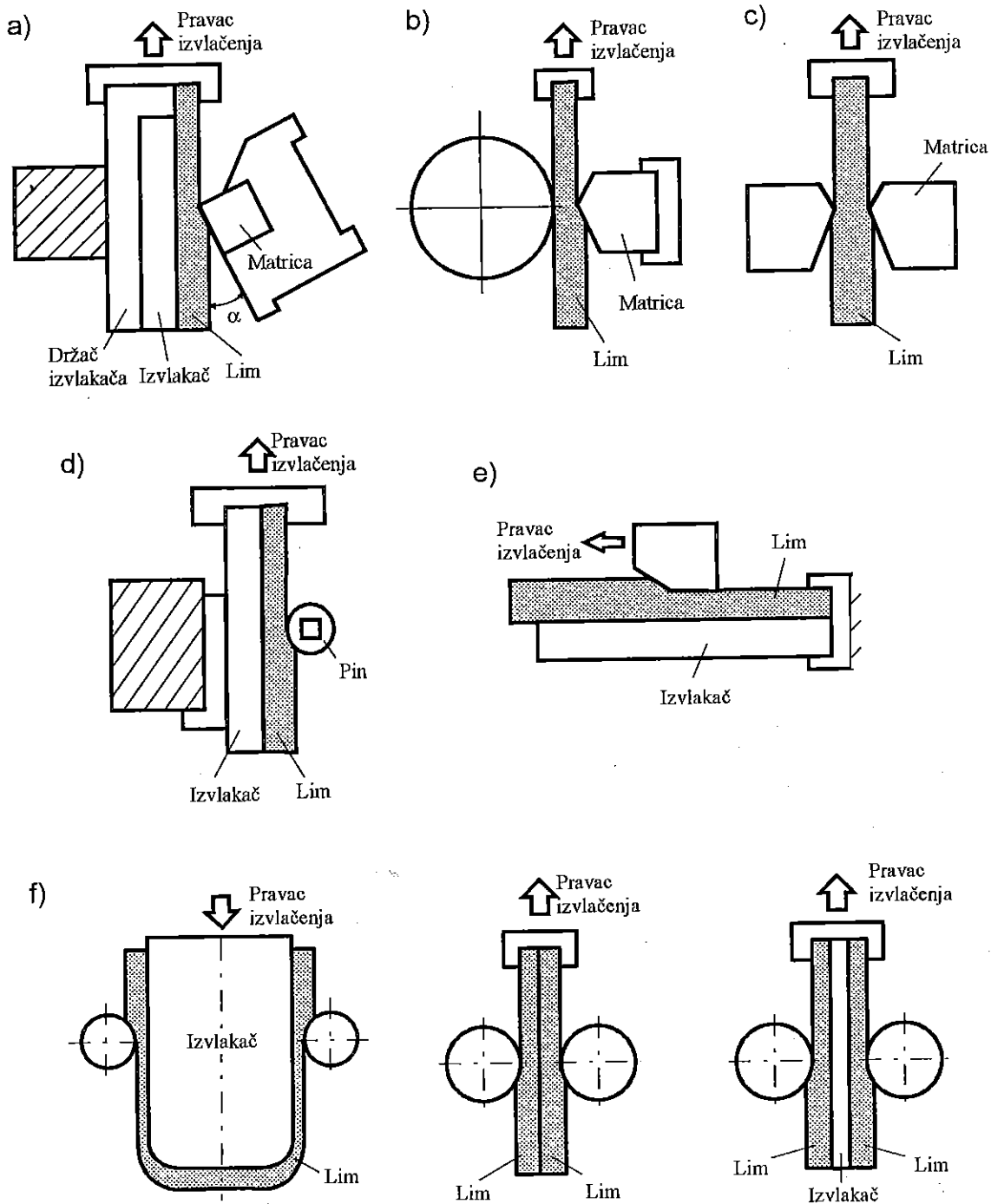
Fizičko modeliranje, koje je najčešće osnova svakog tribo-istraživanja, podrazumeva izučavanje realnog procesa u laboratorijskim uslovima uz modifikovanje uslova realizacije procesa, geometrijskih veličina ili vrsta materijala koji se obrađuju, u skladu sa zakonima sličnosti. Postavljeni uslovi pri modeliranju u potpunosti moraju da zadovoljavaju geometrijsku, mehaničku i fizičku sličnost procesa kojima su podvrgnuti original i model. Strogo zadovoljavanje ovih uslova pretpostavlja korišćenje materijala originala (sa istim karakteristikama ojačanja i topografije površine).

U literaturi je moguće pronaći čitav niz tribo-modela, uglavnom razvijenih za određene namene. Pregled tih modela prikazan je na slici 2. Zajedničko je za sve prikazane modele da potpuno ne oponašaju realan proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida u pogledu geometrije alata, naponsko deformacionog stanja ili stanja kontakta za vreme obrade. Uglavnom kod svih modela (sem modela pod e) nije moguće odrediti silu trenja, odnosno koeficijent trenja, između radnog komada i izvlakača, koji ima izuzetno veliku važnost u procesu izvlačenja sa stanjenjem, kako je već ranije napomenuto.

3. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Za eksperimentalna ispitivanja u ovom radu realizovan je originalni model (slika 2) koji dvostrano simetrično oponaša zonu kontakta sa matricom i izvlakačem. Ovaj model omogućava ostvarivanje visokih kontaktnih pritisaka i uvažava fizičke i geometrijske uslove realnog procesa (materijal matrice i izvlakača, topografija kontaktnih površina, poluugao konusa matrice - α i dr.). Shema pomenutog tribo-modela sa prikazom sila koje deluju na radni komad, odnosno matricu i izvlakač kao i shema mernog lanca data je na slici 3.

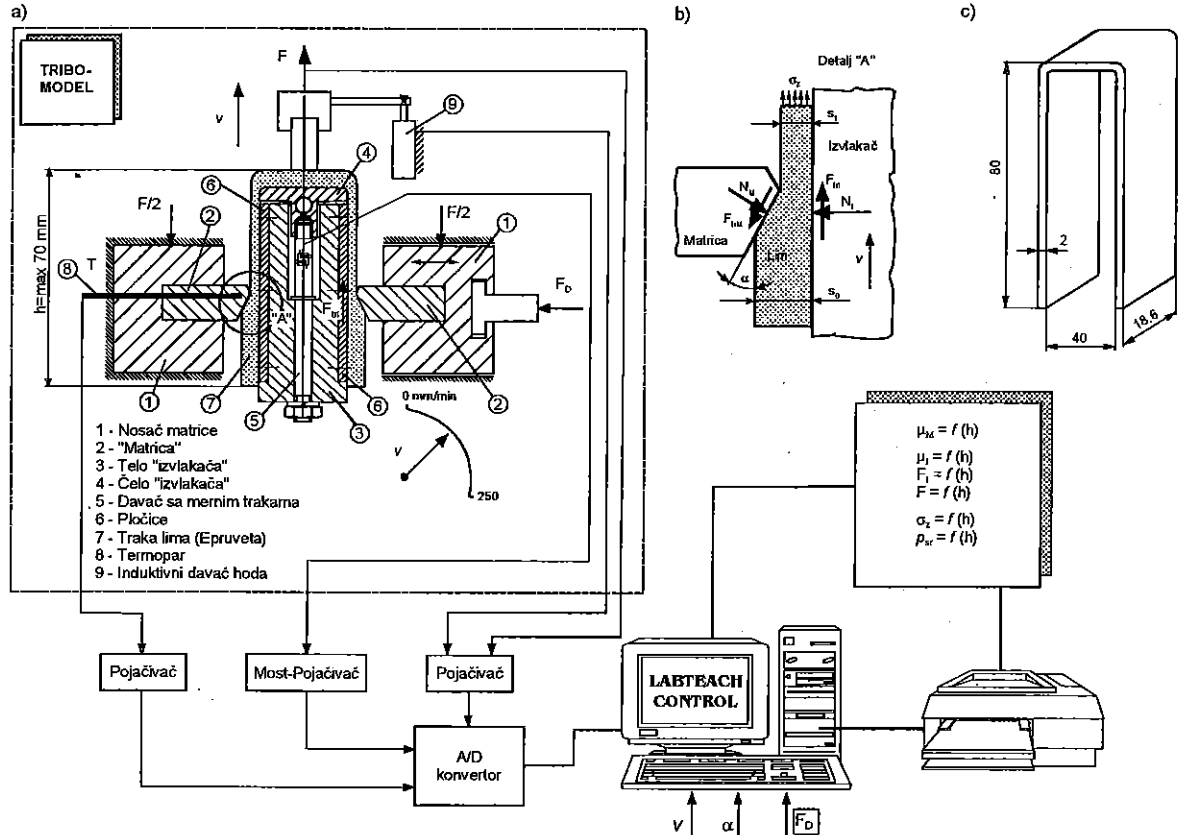
Uredjaj za izvlačenje sa stanjenjem debljine zida instaliran je na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12. Konstruktivnim rešenjem, ovaj uredjaj se smešta u ram pribora za ispitivanje zatezanjem, pri čemu se glavni pogon mašine koristi za stvaranje sile provlačenja (sila F). Drugo dejstvo, pritisak na epruvetu (sila F_D), ostvaruje se hidrauličnim putem, preko zasebne pumpe snage 0,75 kW, nominalne pritisne sile 50 kN, sa vlastitim meraćem sile.



Slika 2. Modeli dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida: a) Kawai model [1], b) Wang-Jonasson-Duncan model [2], c) Schlosser model [3], d) Andreasen-Bay model [4], e) Deneuille-Lecot model [5], f) Lihtman-Veiler modeli [6]

Savijena traka od lima 7 (epruveta, slika 3.c) postavlja se na "izvlakač". Na nju se deluje pomoću "matrica" 2 silom F_D . Matrice su postavljene u nosače, pri čemu je levi nosač

nepokretan a desni pokretan zajedno sa matricom. Izvlakač se sastoji iz tela 3 i čela 4 koji su međusobno spojeni pomoću davača sa mernim trakama 5. Epruveta se provlači (kliza) između matrice, dejstvom sile F na čelo izvlakača, pri čemu dolazi do stanjenja debljine zida epruvete. Tokom provlačenja spoljašnja površina epruvete kliza po, nagnutoj za ugao α površini matrice, a unutrašnja površina epruvete kliza preko pločica 6 pričvršćenih na telo izvlakača.



Slika 3. Shema tribo modela sa mernim lancem za akviziciju podataka (a), prikaz sile u zoni deformacije (b) i izgled epruvete (c)

Uređaj je realizovan sa zbijenom konstrukcijom povišene krutosti, sa mogućnošću lake izmene kontaktnih - pritisnih elemenata (matrice 2 i pločice 6), lakim čišćenjem kontaktnih zona i pogodnim postavljanjem epruveta.

Pločice 6 i matrice 2 mogu da budu napravljene od različitih materijala kao i sa različitim hrapavošću a matrice i sa različitim uglom nagiba α .

Osnovna ideja pri realizaciji ovog uređaja je bila da se omogući određivanje koeficijenta trenja, kako na strani matrice, tako i na strani izvlakača pri različitim kontaktnim uslovima.

Ukupna sila izvlačenja F predstavlja zbir sile trenja između izvlakača i radnog dela F_{tr} i sile koja deluje na dno čančeta F_z (slika 1), tj.:

$$F = F_{tr} + F_z \quad (1)$$

Ukupna sila izvlačenja F se meri na samoj mašini a sila trenja na strani izvlakača F_{tr} se registruje pomoću davača sa mernim trakama (slika 3).

Koeficijent trenja na strani izvlakača može se sračunati na osnovu sledećeg izraza:

$$\mu_I = \frac{F_{tr}}{2 \cdot F_D} \quad (2)$$

a koeficijent trenja na strani matrice pomoću izraza:

$$\mu_M = \frac{F \cdot \cos \alpha - 2 \cdot F_D \cdot \sin \alpha}{F \cdot \sin \alpha + F_D \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

Poznajući zavisnost sila F i F_{tr} od puta klizanja h moguće je na osnovu prethodnih formula odrediti i koeficijente trenja (μ_M i μ_T) u funkciji puta klizanja.

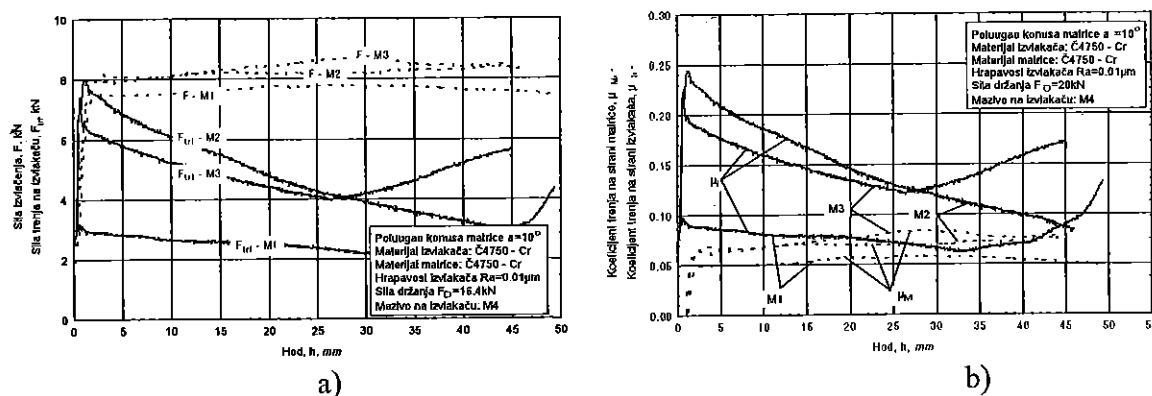
3.1 Uslovi ispitivanja

Ispitivani materijal je niskouglenični čelični lim, umiren aluminijumom, oznake č 0148 P3, pogodan za plastičnu obradu. Mehaničke karakteristike i karakteristike površine, kao i ostali važni podaci o ispitivanju, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike ispitivanog materijala i uslovi ispitivanja

		Materijal	Mehaničke karakteristike	Karakteristike površine
Alat	Matrica	č 4750 - Hromiran	60÷63 HRC	$R_a \approx 0.01 \mu m$
	Pločica izvlakača	č 4750 - Hromiran	60÷63 HRC	$R_a \approx 0.01 \mu m$
Epruveta	č 0148 P3 debljina: 2.0 mm širina: 18.6 mm		$R_p = 188 \text{ Mpa}$ $R_m = 314 \text{ Mpa}$ $A_{80} = 42.8 \%$ $104HV_{30}$	$R_a = 1.16 \mu m$ $R_t = 6.50 \mu m$ $R_p = 4.40 \mu m$ $S_m = 130 \mu m$
Stepen redukcije: 13.5%		Polugao konusa matrice: $\alpha = 10^\circ$		
Put klizanja: max 70 mm		Temperatura ispitivanja: sobna		
Brzina provlačenja: 20 mm/min		Korišćena maziva: - fosfatirana površ. epruv. + MoS_2 (M1) - ulje za duboko izvlačenje 1 (M2) - ulje za duboko izvlačenje 2 (M3) - ulje za duboko izvlačenje 3 (M4)		

3.2. Eksperimentalni rezultati



Slika 4. Promena sile izvlačenja i sile trenja na izvlakaču od puta klizanja (a) i promena koeficijenta trenja na strani matrice i na strani izvlakača od puta klizanja (b)

Karakteristični zapisi "ukupna sila izvlačenja - put klizanja" i "sila trenja na izvlakaču - put klizanja" dobijeni pri merenju pokazani su na slici 4.a (navedeni su samo neki rezultati širih istraživanja). Ukupna sila izvlačenja, praktično se vrlo malo menja za vreme ispitivanja pri korišćenju sva tri maziva. Za razliku od ukupne sile izvlačenja sila trenja na izvlakaču, pri

korišćenju maziva M2 i M3, na većem delu puta znatno opada, dok je taj pad znatno manji pri korišćenju maziva M1. Nagli porast sile trenja na izvlakaču izazvan je usled bočnog krivljenja epruvete, najverovatnije zbog neostvarivanja idealne paralelnosti između matrice i zbog neravnomernosti deformacije po celom preseku Š6Ć.

Promena koeficijenta trenja na strani matrice (μ_M) i koeficijenta trenja na strani izvlakača (μ_I) od puta klizanja, sračunatih prema formuli (2) i (3), prikazana je na slici 4.b). Najmanja vrednost koeficijenta trenja dobija se pri korišćenju maziva M1.

ZAKLJUČAK

Pri modelnim ispitivanjima izvlačenja sa stanjenjem, sprovedenim u radu, realizovan je stacionaran proces, sa "konstantno niskim trenjem", u uslovima visokog srednjeg kontaktnog pritiska ($p_{sr} > 1000$ MPa). Najniže vrednosti koeficijenta trenja registrovane su kod fosfatiranih površina lima i molibden-disulfida kao maziva.

Pokazanim modelom, uz sva ograničenja koja su navedena, može se uspešno simulirati zona kontakta lima i matrice kao i zona kontakta između lima i izvlakača, i izučavati uticaj pojedinih triboloških parametara (mazivo, materijali u kontaktu, topografija površine, specifični pritisak i sl.) u procesu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida.

LITERATURA

- [1] Kawai, N., Nakamura, T., Dohda, K.: *Development of Anti-Weldability Test in Metal Forming by Means of Strip-Ironing Type Friction Testing Machine*, Journal of Engineering for Industry, November 1982., Vol. 104/375
- [2] Wang X.J., Jonasson D., Duncan J.L.: *Ironing Dynamometer for Studying Wall Ironing in the Cupping Process*, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996, 201-217
- [3] Schlosser D.: *Beeinflussung der Reibung beim Streifenziehen von austenitischem Blech: verschiedene Schmierstoffe und Werkzeuge aus gesinterten Harstoffen*, Bänder Bleshe Rohre, 7/8, 1975., 302-306
- [4] Andreasen J.L., Bay N.: *A strip reduction Test for Measurement of Lubricate in Ironing*, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996, 435-444
- [5] Deneville P., Lecot R.: *The study of friction in ironing process by physical and numerical modelling*, Journal of Materials Processing Technology, 45 (1994), 625-630
- [6] Вейлер С.Я., Лихтман В.И.: *Действие смазок при обработке металлов давлением*, Издательство АКАДЕМИИ НАУК СССР, Москва, 1960.

MODELING OF TRIBOLOGICAL PROCESSES IN IRONING

Abstract

In the paper is given a survey of the most frequently applied tribo-models for ironing, together with their analysis related to presentation of the real processes and studying influences of tribological conditions in cold metal forming. For the chosen tribo-model of drawing the sample, made of thin sheet, between pairs with skewed contact surfaces, presented are investigations of the friction coefficient in conditions of limiting lubrication, namely the "constantly low friction".

IZBOR PROMENLJIVE SILE DRŽANJA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU

S. Aleksandrović¹⁾

REZIME

Sila držanja je značajan parametar koga je moguće menjati za vreme trajanja procesa dubokog izvlačenja. Promenljiva sila držanja omogućava uticaj na ponašanje komada, kao i na konačne rezultate procesa.

U radu se daje originalni postupak odredjivanja jednog tipa zavisnosti promenljive sile držanja i deo eksperimentalnih rezultata primene na karoserijskom čeličnom limu. Eksperiment je realizovan na specijalnom laboratorijskom kompjuterskom uređaju. Daje se uporedni prikaz sa rezultatima za konstantnu silu držanja definisanu na klasičan način. Prate se kvalitativni pokazatelji (dubina izvlačenja, karakteristike komada), distribucije deformacija, sila izvlačenja, uticaji na graničnu deformabilnost.

1. UVOD

Uobičajeno je da intenzitet sile držanja (F_D) pri dubokom izvlačenju tankih limova ima konstantnu vrednost tokom procesa. Ona se određuje najčešće preko empirijskih preporuka, pri čemu se usvaja specifični pritisak držača (q). Množenjem sa početnom površinom kontakta dobija se konstantna sila držanja. U savremenoj industriji plastičnog oblikovanja lima uvode se nove tehnike i teži ka potpunijem upravljanju procesom dubokog izvlačenja i njegovim rezultatima. Sila držanja ima povoljnu osobinu da se može menjati tokom procesa, što je karakteristika još jedino zateznih rebara promenljive visine /1, 2/. Iz toga proizilazi njen značaj kao upravljajuće veličine. Ovakav pristup ima puno opravdanje pre svega zbog primene novih generacija materijala koje imaju znatno lošiju obradivost u odnosu na klasične niskouglenične limove (limovi od Al legura, nerđajućih čelika, limovi povišene čvrstoće, ukrojeni, laserski zavareni, tzv. „taylored“ limovi itd.). Takodje, savremena velikoserijska proizvodnja (naročito u automobilskoj industriji) zahteva ovladavanje procesom oblikovanja u većoj meri nego do sada, jer nije moguće ručno vršiti često potrebne sitnije ili krupnije korekcije tokom proizvodnje.

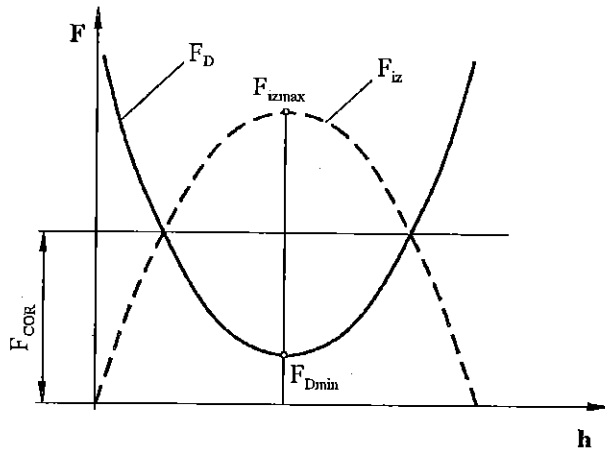
Iz prethodno pobrojanih razloga tokom zadnje decenije intenzivno se istražuju mogućnosti uticaja promenljive sile držanja (PSD) /1, 2/. Osnovno je pitanje: koja zavisnost sile držanja od hoda izvlačača (ili vremena) omogućuje povoljne efekte na tok i rezultat procesa? Opšte prihvaćenih postavki nema i pored značajnih rezultata opsežnih eksperimentalnih istraživanja uz primenu često vrlo složenih merno-upravljačkih sistema /1, 2/. U temeljitom istraživanju /3/ predložen je metod definisanja PSD koji će u kratkim crtama biti izložen u ovom radu.

¹⁾ Mr Srblav Aleksandrović, asistent Mašinski fakultet, Kragujevac

2. DEFINISANJE ZAVISNOSTI PROMENLJIVE SILE DRŽANJA

Uspešan rezultat procesa dubokog izvlačenja mogu da poremete dva najbitnija defekta: pojava nabora na obodu i pojava pukotine u kritičnoj zoni (razaranje). Predložena funkcionalna zavisnost sile držanja od hoda (sl. 1) nazvana je kombinovana zbog svog opadajuće-rastućeg karaktera. Formirana je sa sledećim ciljevima:

- u prvoj fazi procesa dovoljno velikim intenzitetom sprečiti nabore,
- tokom trajanja procesa postići, u izvesnom smislu, rasterećenje na držaču s obzirom na silu izvlačenja,
- u poslednjoj fazi dovoljnim intenzitetom kompenzovati pojavu nabora i težnju ka povećanju debljine lima.



Sl. 1 Princip definisanja kombinovane sile držanja

U periodima procesa gde sila izvlačenja raste, F_D treba da opada i obrnuto. Maksimum sile izvlačenja treba da prati minimum sile držanja.

S obzirom na prethodne ciljeve došlo se do ideje da se funkcija sile držanja dobije na osnovu funkcionalne zavisnosti sile izvlačenja po principu simetričnog preslikavanja oko pogodno izabrane horizontalne ose simetrije (sl. 1). Položaj te prave određen je konstantnim intenzitetom korekzione sile F_{COR} koja se dobija na osnovu uslova da ordinata minimuma krive F_D bude iznad minimalnog intenziteta sile držanja određenog empirijski sa graničnog dijagrama zavisnosti dubine izvlačenja od sile držanja ($h \square F_D$), s obzirom na pojavu

nabora. Apscisa tačke minimuma treba da odgovara apscisi maksimuma krive sile izvlačenja dobijene eksperimentalno za konkretan komad.

Prema tome, da bi se dobila tražena kombinovana zavisnost PSD potrebno je uraditi granični dijagram $h \square F_D$ i snimiti zavisnost sile izvlačenja od hoda (najjednostavnije je to izvesti konstantnom silom držanja). Posle toga se analitički definiše funkcija kombinovane PSD. U odgovarajućim slučajevima eksperimentalni deo može da izostane.

Da bi se došlo do funkcionalne zavisnosti PSD treba odrediti funkciju zavisnosti sile izvlačenja od hoda izvlačaća ili drugog pogodnog parametra (na pr. vremena). Sledeća analiza izvedena je za cilindrični komad na osnovu klasične teorije /3/ uz izvesne korekcije. Pristup je empirijsko-analitički i primenljiv je i na prizmatične komade kvadratnog preseka.

Sila izvlačenja može da se izrazi kao:

$$F_{iz} = A \cdot \sigma_{viz} \quad (1)$$

gde je $A \approx d \cdot \pi \cdot s$ površina nosećeg poprečnog preseka, a σ_{viz} ukupan napon dubokog izvlačenja koji može da se definiše preko poznatog izraza:

$$\sigma_{viz} = (\sigma_r + \sigma_{trd}) k_\mu + \sigma_{savis} \quad (2)$$

σ_r je komponenta koja se odnosi na radialni zatežući napon na obodu. σ_{trd} je komponenta usled trenja na obodu prouzrokovanog silom držanja. k_μ je faktor koji uzima u obzir trenje na zaobljenju ivice otvora matrice. σ_{savis} je napon usled savijanja i ispravljanja pri klizanju lima preko radijusa matrice. Imajući u vidu prethodni izraz, pogodno je ukupnu silu izvlačenja podeliti na odgovarajuće komponente:

$$F_{IZ} = F_{OBL} + F_{TRD} + F_{TRM} + F_{SAVIS} \quad (3)$$

Sila oblikovanja, koja se odnosi na deformisanje oboda (odgovara naponu σ_r) iznosi:

$$F_{OBL} = A \cdot 1,15 \cdot \bar{K} \cdot \ln \frac{d}{D_0} \quad (4)$$

$$\sigma_r = 1,15 \cdot \bar{K} \cdot \ln \frac{\rho}{m} \quad (5)$$

Konstante koje definišu geometriju komada su: prečnik komada d , poluprečnik komada:

$$r = r_u = \frac{d}{2},$$

prečnik i poluprečnik razvijenog stanja: D_0 i $R_0 = \frac{D_0}{2}$, koeficijent izvlačenja:

$$m = \frac{r}{R_0} = \frac{d}{D_0}.$$

Nezavisno promenljiva (argument) je relativno smanjenje oboda: $\rho = \frac{R}{R_0} = \frac{D}{D_0}$. R i D su

trenutne (tekuće) vrednosti poluprečnika i prečnika oboda. Na početku procesa $\square=1$, a na kraju $\square=m$.

\bar{K} je srednja vrednost deformacionog otpora. Može da se izrazi u funkciji srednje prirodne deformacije $\bar{\varphi}$.

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{2}(\varphi_{iM} + \varphi_{iO}) \quad (6)$$

φ_{iO} je deformacija na ivici oboda:

$$\varphi_{iO} = \ln \frac{R_0}{R} = \ln \frac{1}{\rho} \quad (7)$$

Deformacija na ivici matrice φ_{iM} iznosi:

$$\varphi_{iM} = \ln \frac{\sqrt{1+m^2-\rho^2}}{m} \quad (8)$$

Na osnovu prethodna tri izraza sledi:

$$\bar{\varphi} = 0,5 \cdot \ln \frac{\sqrt{1+m^2-\rho^2}}{m \cdot \rho} \quad (9)$$

Funkciju $\bar{K} = K(\bar{\varphi})$ najpogodnije je izraziti u linearnoj formi. Samo na taj način se konačna kriva sile izvlačenja po svom obliku približava krivoj dobijenoj eksperimentalno. Posle niza proba došlo se do sledeće zavisnosti:

$$\bar{K} = c \cdot \bar{\varphi}; c = \frac{R_M}{\varphi_M} \quad (10)$$

R_M je zatezna čvrstoća, a φ_M maksimalna ravnomerna prirodna deformacija u testu jednoosnog zatezanja (jednaka je n faktoru).

Kad se izrazi (9) i (10) uključe u izraz (5) dobija se:

$$\sigma_r = 0,575 \cdot \frac{R_M}{\varphi_M} \ln \frac{\sqrt{1+m^2-\rho^2}}{m \cdot \rho} \ln \frac{\rho}{m} \quad (11)$$

Sila trenja na obodu, s obzirom na kontakt sa obe strane lima, iznosi:

$$F_{TRD} = 2 \cdot \mu \cdot F_D \quad (12)$$

Odgovarajući napon je:

$$\sigma_{ird} = \frac{2\mu F_D}{d\pi s} \quad (13)$$

Faktor trenja k_{\square} u izrazu (2) ima vrednost: $k_{\mu} = e^{\frac{\mu\pi}{2}}$ (14)

Sila trenja na radijusu matrice može da se izrazi kao:

$$F_{TRM} = (F_{OBL} + F_{TRD}) \left(e^{\frac{\mu\pi}{2}} - 1 \right) \quad (15)$$

Sila savijanja i ispravljanja lima oko radijusa matrice i njoj odgovarajući napon su:

$$F_{SAVIS} = A \frac{R_M}{2 \frac{r_M}{s} + 1} \quad (16)$$

$$\sigma_{savis} = \frac{R_M}{2 \frac{r_M}{s} + 1} \quad (17)$$

U prethodnim izrazima r_M je radijus matrice.

Imajući u vidu izraze (1) do (17) i usvajajući da su koeficijenti trenja na držaču i radijusu matrice jednaki (što odgovara realnosti) dobija se sledeći izraz za silu izvlačenja:

$$F_{IZ} = d\pi s \left[\left(0,575 \frac{R_M}{\phi_M} \ln \frac{\sqrt{1+m^2-\rho^2}}{m \cdot \rho} \ln \frac{\rho}{m} + \frac{2\mu F_D}{d\pi s} \right) e^{\frac{\mu\pi}{2}} + \frac{R_M}{2 \frac{r_M}{s} + 1} \right] \quad (18)$$

Pored geometrijskih konstantnih parametara (d , s , m , r_M), karakteristika materijala (R_M i ϕ_M) u izrazu (18) figuriše koeficijent trenja μ i sila držanja F_D . Za silu F_D uzima se konstantna vrednost na osnovu empirijskih preporuka ili sa graničnog dijagrama nabora i razaranja $h\phi F_D$. Za potrebe eksperimenta pogodno je relativno smanjenje oboda dovesti u vezu sa vremenom. Uz pretpostavku o linearnoj vezi dobija se:

$$\rho = 1 - \frac{1-m}{T_{max}} t \quad (19)$$

S obzirom na princip prikazan na sl. 1 i izraz (18) konačno se funkcija kombinovane PSD dobija u obliku:

$$F_D = 2F_{COR} - F_{IZ} \quad (20)$$

Prethodni izrazi mogu da se primene i na prizmatične komade kvadratnog preseka, s tim što se umesto prečnika d uzima ekvivalentni prečnik d_e . Praktično, površina poprečnog preseka izvlačka svodi se fiktivno na površinu kruga.

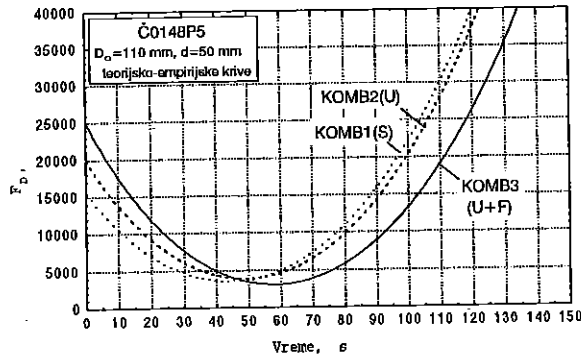
3. REZULTATI EKSPERIMENTA

Eksperiment je izveden na specijalnoj laboratorijskoj aparaturi čiji glavni delovi su hidraulična presa za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12 i merno upravljački kompjuterski sistem, koji omogućava merenje sile izvlačenja, sile držanja, visine nabora na obodu i upravljanje silom držanja. Moguće je ostvariti praktično, proizvoljnu zavisnost sile držanja od vremena /3/.

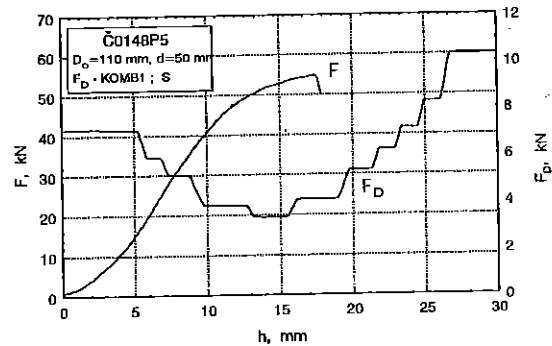
Ovde će biti prikazan deo rezultata dobijenih uz primenu kombinovane sile držanja pri izvlačenju cilindričnog komada od klasičnog niskougljeničnog čeličnog karoserijskog lima debljine 0,8 mm. Detalji vezani za karakteristike materijala dati su u /3/. Geometrija komada je definisana prečnikom komada $d=50$ mm i stepenom izvlačenja 2,2 (koeficijent izvlačenja $m=0,454$).

S jedne strane definisana je konstantna sila držanja (KSD) na osnovu empirijskih preporuka iz literature $F_D=13,72$ kN /3/, a s druge, tri zavisnosti kombinovane PSD prema izrazima

datim u prethodnom poglavlju. Svaka od krivih (sl. 2) odnosi se na jedan tip kontaktnih uslova (suve površine, primena ulja, primena ulja i folije).



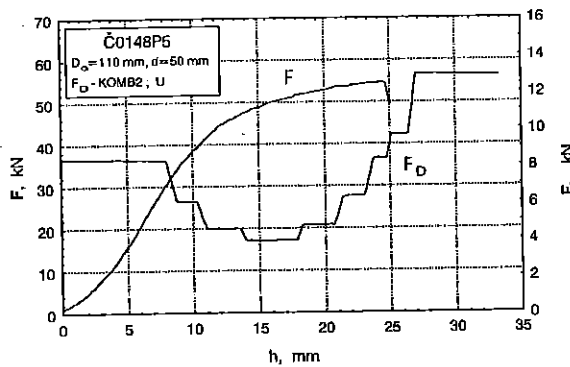
Sl. 2 Zavisnosti kombinovane PSD



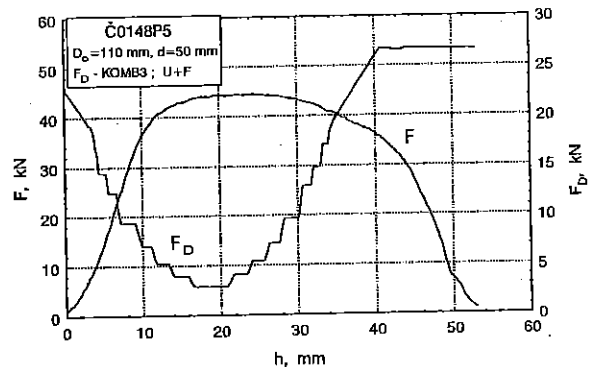
Sl. 3 Sila izvlačenja i sila držanja KOMB1

Ostvareni efekti prate se preko: dijagrama zavisnosti sile izvlačenja od hoda, dubine izvlačenja sa kvalitativnom ocenom o naborima i razaranju na komadu, distribucije deformacija u koordinatnom sistemu glavnih deformacija u ravni lima ($\square_1 \square_2$) i distribucije stanjenja zavisno od položaja na komadu.

Na slikama 3 do 5 prikazane su izmerene krive sile izvlačenja uporedo sa ostvarenim silama držanja. U uslovima jako izraženog trenja (suve površine) sa PSD KOMB1 maksimalna dubina izvlačenja se povećava za 32,3 % u odnosu na računsku KSD. U mešovitom režimu trenja (ulje) povećanje dubine iznosi 10,8% (KOMB2). Primenom sile držanja KOMB3 dobija se puna dubina komada, ali od dubine č38 mm primetni su manji nabori koji se tokom procesa pglaju.

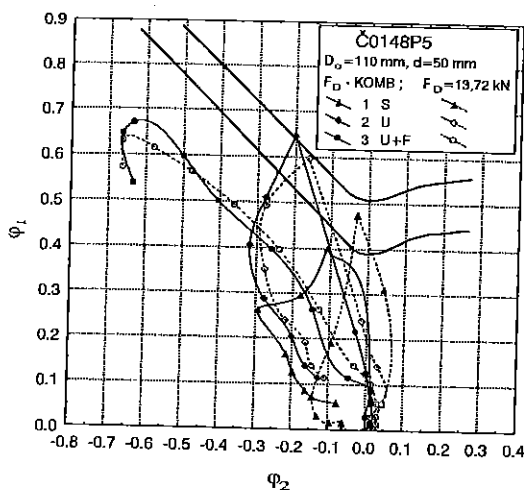


Sl. 4 Sila izvlačenja i sila držanja KOMB2

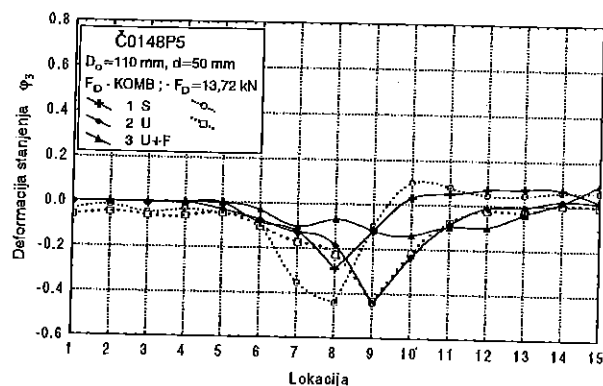


Sl. 5 Sila izvlačenja i sila držanja KOMB3

Sl. 6 prikazuje distribucije deformacija u ravni lima. Vrlo jasno su izraženi uticaji kako sile držanja tako i trenja. U slučaju suvih površina sila držanja KOMB1 rezultira povoljnijom distribucijom. Petlja je šira, čime je smanjen gradijent stanjenja, što se direktno vidi na sl. 7. Kao posledica dolazi znatno povećanje dubine komada. Sa smanjenjem trenja smanjuje se i uticaj sile držanja. U uslovima veoma malog trenja (ulje i folija) promena u distribucijama praktično nema. Primena ulja dovodi do malih poboljšanja uz primenu sile KOMB2.



Sl. 6 Distribucija deformacija pri PSD KOMB



Sl. 7 Distribucije deformacije stanjenja (KOMB)

ZAKLJUČAK

Zahvati u oblasti primene promenljivih sila držanja pri dubokom izvlačenju mogu da rezultiraju značajnim poboljšanjima performansi procesa i kvaliteta komada.

Konkretno izvedeni eksperimenti sa primenom originalno koncipirane tzv. kombinovane zavisnosti na cilindričnom komadu, daju značajna poboljšanja u uslovima jakog trenja na obodu (veća dubina komada, povoljnije distribucije deformacija). Uporedjenja su vršena u odnosu na primenu konstantne sile držanja definisane po već klasičnim empirijskim preporukama.

ABSTRACT

THE CHOICE OF THE VARIABLE BLANK HOLDING FORCE IN DEEP DRAWING

Blank holding force is significant parameter which is possible to change during the process of deep drawing. Variable blank holding force (VBF) enable to influence on work part behaviour and also on final results of the process.

Presented in the article is original way of one kind of VBF dependence determination and part of experimental results obtained with low carbon autobody steel sheet metal. Experiment is realized on special laboratory researching equipment with computer based control. Given is comparative view of results in conditions of constant blank holding force defined on classic way.

LITERATURA

- /1/ Siegert K. et al. : Closed loop control system for blank holder forces in deep drawing, Annals of the CIRP, Vol. 44/1/1995., pp. 251-254.
- /2/ Siegert K., Ziegler M., Wagner S. : Closed loop control of the friction force. Deep drawing process, Journal of Mater. Proc. Technol. 71 (1997), pp. 126-133.
- /3/ Aleksandrović S. : Duboko izvlačenje tankih limova pri nemonotonom deformisanju sa promenljivim tribološkim uslovima, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2000.

PRILOG ISTRAŽIVANJU PARAMETARA PROCESA IZRADE KONUSNIH ŽIGOVA UTISKIVANJEM

Milutinović Mladimir, Vilotić Dragiša, Vujović Vlado, Čupković Đorđe¹⁾

REZIME

Istraživanja vezana za problematiku izrade žigova utiskivanjem sprovode se u Laboratoriji za deformisanje Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu već duži niz godina. U okviru ovoga rada daje se prikaz analize naponskog u obratku pri utiskivanju konusnog žiga metodom ravnih preseka. Na bazi postavljenog teoretskog modela rešavanjem odgovarajućih diferencijalnih jednačina ravnoteže, određen je raspored aksijalne komponente napona po zapremini deformisanog obratka i izvršena je identifikacija uticajnih faktora procesa.

1. UVOD

Postupak izrade žigova utiskivanjem u značajnoj meri se razlikuje od procesa oblikovanja gravura. Naime kod izrade gravura hladnim utiskivanjem, šema procesa je dosta bliska šemi suprotnosmernog istiskivanja, što je veoma povoljno sa aspekta tečenja i obradivosti materijala, a zbog čega je u ovom slučaju osnovni limitirajući faktor opterećenje, odnosno površinski pritisak između obratka i utiskivača. Međutim kod izrade žigova utiskivanjem, u pitanju je sasvim drugi način oblikovanja, gde sada utiskivač ima odgovarajući unutrašnji profil pomoću kojeg je potrebno formirati izdanak određene visine, najčešće izuzetno složene geometrije. Pored toga u ovom slučaju javlja se veoma izraženo kontaktno trenje čiji smer delovanja je suprotan od smera tečenja metala, tako da je neophodno putem žiga ostvariti dovoljno veliki pritisak koji će omogućiti savladavanje svih otpora i ispunjenje šupljine.

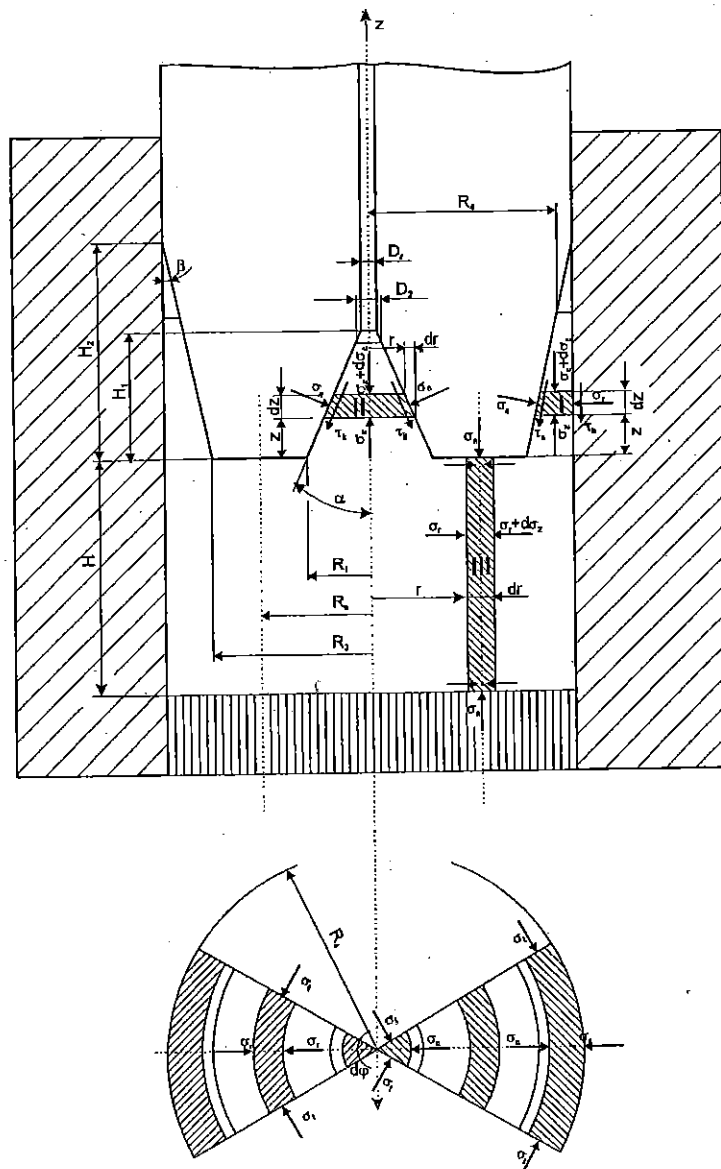
U Laboratoriji za deformisanje Instituta za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu problematika izrade žigova utiskivanjem razmatra se već dugi niz godina. Osnovni cilj ovih istraživanja jeste pronalaženje zavisnosti između pojedinih parametara procesa i ponašanja obratka u obradnom sistemu u pogledu tečenja metala i obradivosti materijala, kao i njihovo optimiranje sa aspekta tačnosti oblika i dimenzija finalnog proizvoda i njegove postojanosti u eksploataciji. U tom smislu formirano je nekoliko modela utiskivanja, a jedan od osnovnih jeste model utiskivanje konusnog žiga. Zbog svoje relativno jednostavne geometrije ovaj model je veoma pogodan za globalnu analizu procesa izrade žigova utiskivanjem, a pre svega za određivanje naponsko-deformacionog stanja u obratku. Analiza naponsko-deformacionog stanja naročito je značajna u procesima hladnog oblikovanja gde se javljaju ekstremno visoka lokalna opterećenja, i gde je problematika tečenja metala naročito izražena, a što se upravo slučaj pri izradi žigova utiskivanjem.

¹⁾ Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

2. ANALIZA NAPONSKOG STANJA PRI UTISKIVANJU KONUSNIH ŽIGOVA

Analiza naponskog stanja izvedena je prema modelu prikazanom na sl.1 pri čemu je ukupna zona deformisanja podeljena u tri oblasti i to:

- I - Zona vrha konusa
- II - Spoljašnja zona
- III - Zona ispod čela žiga



Slika 1 - Šema opterećenja pri utiskivanju

Identifikacija rasporeda opterećenja sprovedena je primenom metode ravnih preseka odnosno rešavanjem približnih diferencijalnih jednačina ravnoteže uz korišćenje Misses-ovog kriterijuma plastičnog tečenja. Pri postavljanju i rešavanju ovih jednačina uvedene su sledeće pretpostavke i aproksimacije:

- postoji osna simetričnost obratka
- preseki obratka normalni na vertikalnu osu ostaju ravni u toku celog procesa deformisanja.

- tokom procesa deformisanja menja se samo oblik priprema dok njegova zapremina ostaje konstantna.
- tangencijalni kontaktni napon τ_k , nastao kao posledica trenja na dodirnoj površi alat-obradak, proporcionalan je normalnom naponu σ_n i koeficijentu kontaktnog trenja μ , tj:
 $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$
- specifični deformaciono otpor K je pomenjiv u zoni deformisanja

I - Zona vrha konusa

Na osnovu šeme opterećenja (1), jednačina ravnoteže svih sila u pravcu z-ose glasi:

$$\sigma_z \cdot (r + dr)^2 \cdot \pi - (\sigma_z + d\sigma_z) \cdot r^2 \cdot \pi - \sigma_n \cdot 2\pi \cdot r \frac{dr}{\sin \alpha} \sin \alpha - \tau_k \cdot 2\pi \cdot r \frac{dr}{\sin \alpha} \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

Sređivanjem i zamenom $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$ uz korišćenje jednačine plastičnosti za ovu zonu koja glasi: $\sigma_z - \sigma_n = K$, dobija se :

$$\frac{d\sigma_z}{K(1+\psi) - \sigma_z \psi} = \frac{2dr}{r} \quad (2)$$

gde je $\psi = \mu \cdot \text{ctg} \alpha$. Opšti integral diferencijalne jednačine (2) glasi:

$$\sigma_z = \frac{K \cdot (1+\psi)}{\psi} + \frac{1}{r^{2\psi}} \cdot C_1 \quad (3)$$

Konstanta C_1 određuje se iz graničnog uslova po kome napon σ_z na slobodnoj površini mora biti jednak nuli, tj. za $r=R_2 \rightarrow \sigma_z = 0$, pa izraz za napon σ_z u zoni I glasi:

$$\sigma_{zI} = \frac{K \cdot (1+\psi)}{\psi} \left[1 - \left(\frac{R_2}{r} \right)^{2\psi} \right] \quad (4)$$

II- Spoljašnja zona

Prema šemi opterećenja (sl.1) jednačina ravnoteže za pravac z glasi:

$$\sigma_z (R^2 - r^2) \cdot \pi - (\sigma_z + d\sigma_z) [R^2 - (r + dr)^2] \cdot \pi - \sigma_n \cdot 2\pi \cdot r \frac{dr}{\sin \beta} \sin \beta - \tau_a \cdot 2\pi \cdot r \frac{dr}{\sin \beta} \cos \beta - \tau_b \cdot 2\pi \cdot R \frac{dr}{\text{tg} \beta} = 0 \quad (5)$$

Stavljajući da je $\tau_a = \mu \cdot \sigma_n$ i $\tau_b = \mu \cdot \sigma_r$, sređivanjem izraza (5) dobija se:

$$2\sigma_z \cdot r dr - d\sigma_z \cdot (R^2 - r^2) - 2\sigma_n \cdot r dr \cdot (1 + \mu \cdot \text{ctg} \beta) - 2\sigma_r \cdot \mu \cdot \text{ctg} \beta \cdot R dr = 0 \quad (6)$$

Za eliminisanje viška nepoznatih veličina iz gornjeg izraza, koriste se jednačina ravnoteže za pravac r , kao i jednačina plastičnosti za zonu II, odnosno sledeće jednakosti:

$$\sigma_r = \sigma_n \cdot (1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \beta) \quad (7)$$

$$\sigma_z = K + \sigma_n \text{ odnosno } d\sigma_z = d\sigma_n \quad (8)$$

pa konačni oblik diferencijalne jednačine ravnoteže za zonu II glasi

$$\frac{d\sigma_z}{dr} = \frac{2r}{R^2 - r^2} \left\{ K - (\sigma_z - K) \cdot \left[\lambda \cdot \left(1 + \frac{R}{r} \right) - \mu^2 \right] \right\} \quad (9)$$

gde je $\lambda = \mu \cdot \operatorname{ctg} \beta$. Početni uslov za rešavanje jednakosti (9) glasi: za $r=R_4 \rightarrow \sigma_{z_{III}} = 0$

Diferencijalna jednačina (9) nemože se rešiti u konačnom obliku već se mora rešavati nekom od numeričkih metoda. U tu svrhu, korišćen je programski paket MATHEMATICA 3.0. Numeričkim rešavanjem diferencijalne jednačine (9) u programskom paketu MATHEMATICA 3.0, kao rešenja se dobijaju interpolacioni polinomi koji se u programu tretiraju kao posebna vrsta objekta - *interpolating functions*.

III - Zona ispod čela žiga

U zoni obratka koja se nalazi neposredno ispod čela žiga (zona III sl.1) javlja se dvosmerno tečenje metala, pošto materijal iz ove zone istovremeno odlazi ka zoni I odnosno II. Površina poluprečnika R_n na kojoj dolazi do promene smera tečenja materijala zove se neutralna površ. Kao takva ona predstavlja singularitet, zbog čega se pri analizi naponskog stanja mora posebno razmatrati područje sa tekućim poluprečnikom u granicama

$$R_1 < r < R_n$$

a posebno u slučaju kada je

$$R_n < r < R_3$$

Postavljanje uslova ravnoteže elementa izdvojenog iz zone deformacije (sl.1) može se vršiti istovremeno za oba područja, s tim da se mora voditi računa o znaku člana u jednačini ravnoteže koji dolazi od tangencijalnog napona. Uzimajući prethodno rečeno u obzir, jednačina ravnoteže u pravcu ose r glasi:

$$\sigma_r \cdot r \cdot h \cdot d\varphi - (\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (r + dr) \cdot h \cdot d\varphi + 2\sigma_t \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} \cdot h \cdot dr \pm 2\tau_c \cdot r \cdot dr \cdot d\varphi = 0 \quad (10)$$

Nakon sređivanja uz korišćenje jednačine plastičnosti za ovu zonu: $\sigma_n - \sigma_r = K$, opšte rešnje jednačine (10) glasi:

$$\ln \sigma_n = \pm \frac{2\mu}{h} r + C_3 \quad (11)$$

Pri definisanju graničnih uslova za određivanje konstante C_3 , mora se voditi računa o dvosmernom tečenju materijala u zoni III.

Slučaj kada je $R_1 < r < R_n$

Integraciona konstanta C_3 , odnosno normalni napon $\sigma_{n_{III}}$, u ovom slučaju određuje se iz osnovu uslova po kome komponente napona u pravcu ose z na granici dve zone moraju imati iste vrednosti, pa se dobija da je:

$$\sigma_{n_{III}(r < R_n)} = \sigma_{z_1(r=R_1)} \cdot e^{\frac{2\mu}{h}(r-R_1)} = \frac{K \cdot (1 + \psi)}{\psi} \left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{2\psi} \right] \cdot e^{\frac{2\mu}{h}(r-R_1)} \quad (12)$$

gde je $\sigma_{zI(r=R_1)}$ vrednost napon σ_z u zoni I za $r=R_1$,

Slučaj kada je $R_n < r < R_3$

U ovom slučaju integraciona konstanta C_3 određuje se iz sledećeg graničnog uslova:

$$\text{za } r=R_3 \rightarrow \sigma_{nII(r=R_3)} = \sigma_{zIII} \quad (13)$$

gde je $\sigma_{nII(r=R_3)}$ napon u zoni II za $r=R_3$. Zamenom jednakosti (13) u izraz (11), s tim da se prvi član tog izraza uzima sa negativnim predznakom, izračunava se vrednost konstante C_3 , odnosno dolazi se do konačnog rešenja za napon.

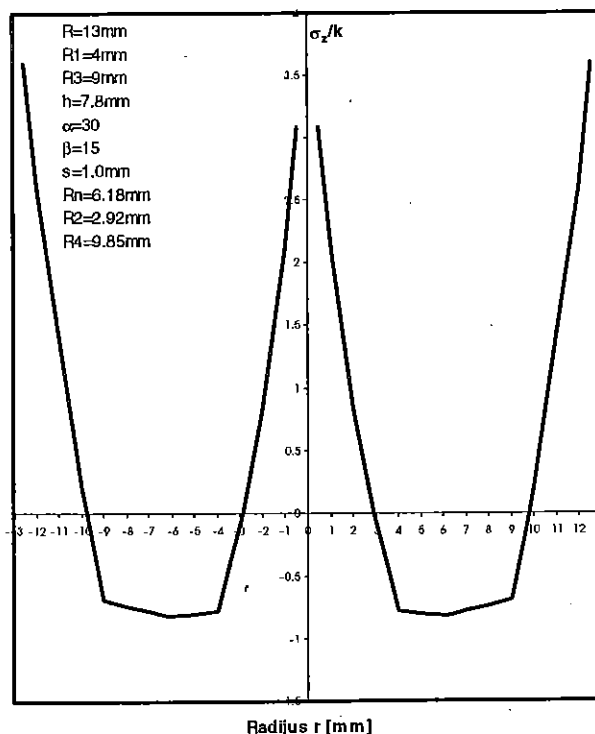
Grafička interpretacija rešenja za komponentu napona u pravcu ose z, odnosno njegova distribucija po preseku obratka, data je na sl.2. Kao što se može videti iz sl.2 ovaj napon se menja po karakteru (pritisni i zatezni) i veličini duž poprečnog preseka obratka, a teži beskonačnosti u centru i na periferiji obratka.

3. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza naponskog stanja prema modelu na sl. 1 pokazuje da u procesu izrade konusnih žigova utiskivanjem dole navedeni faktori imaju dominantan uticaj na naponsko stanje i uslove tečenja metala, te da se njihovim variranjem i optimizacijom može značajno uticati na tok i kvalitet procesa utiskivanja.

- specifični deformacioni otpor (K),
- geometrija alata (uglovi α i β , poluprečnici R_1 i R_3),
- geometrija pripremka (radijus R),
- veličina hoda alata (tekući radijus r)
- koeficijent trenja (μ)

Međutim, zbog ograničenog prostora, analiza uticaja pojedinih faktora na naponsko stanje i uslove tečenja metala, u okviru ovoga rada se izostavlja.



Slika 2. - Distribucija normalnog napona po preseku obratka

4. LITERATURA

1. Milutinović M., Vilotić D., Plančak M., Vujović V., Skakun P.: Mogućnosti primene tehnologije hladnog utiskivanja pri izradi alata u tehnologiji plastičnog deformisanja. 27 Međunarodno savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, 1998.
2. Projekat: "Primena tehnologije hladnog oblikovanja u izradi alata za proizvodnju vijaka". Nosioi projekta Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu i RO "Petar Drapšin"-Novi Sad, Novi Sad, 1986-1990.
3. Katalog hidrauličnih presa za hladno utiskivanje firme "SACK&KIESELBACH"

ABSTRACT

Possibilities of cold hobbing technology in the manufacturing of punch-tools have been investigated in Laboratory for technology of plasticity, Faculty of technical sciences in Novi Sad for many years. In this paper the process of cold hobbing of cone punch has been analyzed theoretically by slab method. Using this method, identification of main process parameters has been done, and solution of axial contact stress has been obtained.

MOGUĆNOSTI IZRADE ZUPČANIKA HLADNIM DEFORMISANJEM

Plančak M., Vilotić D., Skakun P.¹²

REZIME

Metodama hladnog zapreminskog deformisanja dobijaju se delovi visokih mehaničkih osobina, visoke tačnosti i kvaliteta površina. Iskorišćenje materijala kod ove tehnologije je vrlo visoko, a vreme izrade veoma kratko. Zbog navedenih razloga ova tehnologija se sve više primenjuje i u izradi preciznih, ugradbeno gotovih delova.

U ovom radu prezentiran je deo teoretsko-eksperimentalnih istraživanja izrade ozubljenih elemenata radijalnim istiskivanjem. U teoretskom delu korišćena je metoda gornje granice kojom su određeni osnovni parametri procesa. Eksperimentalnim istraživanjima verifikovani su teoretski dobijeni rezultati.

1. UVOD

Postupci hladnog zapreminskog deformisanja odlikuju se sa nizom prednosti u odnosu na druge tehnologije obrade metalnih delova. To su, pre svega, visok stepen iskorišćenja materijala, visoka produktivnost, povišene mehaničke osobine u poredjenju sa pripremkom, tačnost i kvalitet obradjenih površina i dr. U novije vreme ova tehnologija se primenjuje u izradi ugradbeno finalnih delova ("net-shape forming") /1/, /2/, /3/. Tipičan primer u tom smislu je izrada zupčanika metodama hladne zapreminske obrade. Zupčanici dobijeni na taj način odlikuju se visokim mehaničkim osobinama kao i kvalitetom i tačnošću radnih površina.

Na slici 1 prikazane su neke od najznačajnijih mogućnosti dobijanja cilindričnih zupčanika metodama zapreminske obrade.

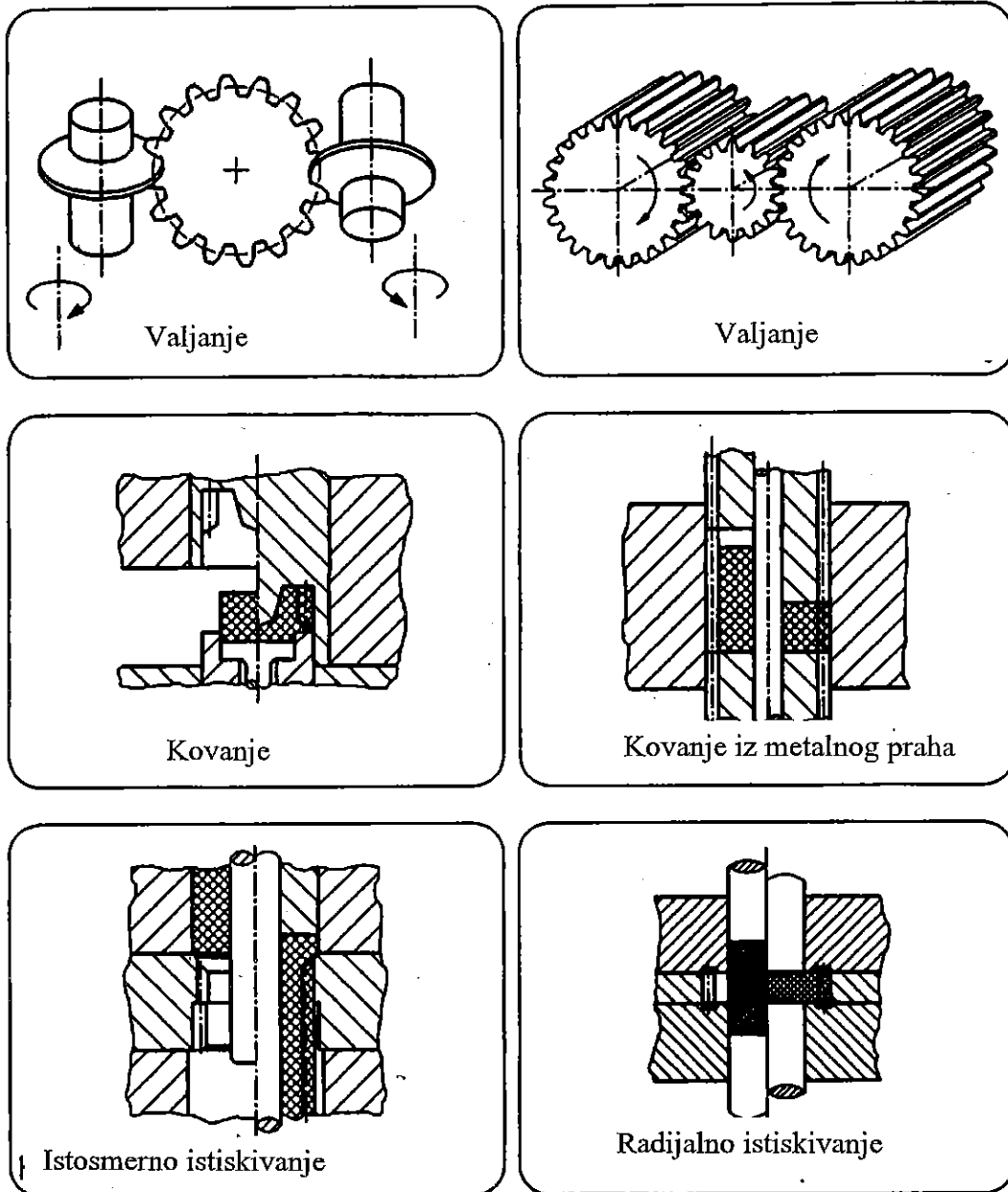
Valjanje se kod dobijanja zupčanika koristi u nekoliko varijanti. Jedna od njih je uzdužno valjanje po metodi firme GROB, a druga je tzv. Roto-flo postupak kod koga je alat u obliku dva cilindrična zupčanika (može biti i u obliku dve ploče).

Kovanje se primenjuje u klasičnoj izvedbi ili kao kovanje iz metalnog praha. Dobijanjem zupčanika iz metalnog praha postiže se visok stepen iskorišćenja materijala, kratko vreme izrade i završna tačnost materijala, ali se kao nedostaci javljaju visoka cena metalnog praha i zaostali porozitet u graničnom sloju obratka. Zupčanici dobijeni klasičnim kovanjem moraju se dodatno obradljivati nekom od metoda skidanja strugotine, kako bi se postigla zadovoljavajuća tačnost.

Za izradu zupčanika manjih dimenzija ($d < 50\text{mm}$) koriste se procesi istiskivanja. Proces se najčešće izvode na hladno čime se postižu dobre mehaničke osobine i visok kvalitet površina, ali se zato povećava i potrebna sila i pritisak na elemente alata. Istiskivanje se primenjuje kao istosmerno, radijalno i kao kombinacija suprotnosmernog i radijalnog istiskivanja.

¹ Plančak Miroslav, Vilotić Dragiša, Skaun Plavka, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

² Istraživanje i razvoj tehnologije plastičnosti u cilju racionalizacije utroška materijala, energije i primene novih materijala



Slika 1 - Mogućnosti dobijanja cilindričnih zupčanika metodama zapreminske obrade /4/

2. RADIJALNO ISTISKIVANJE OZUBLJENJA

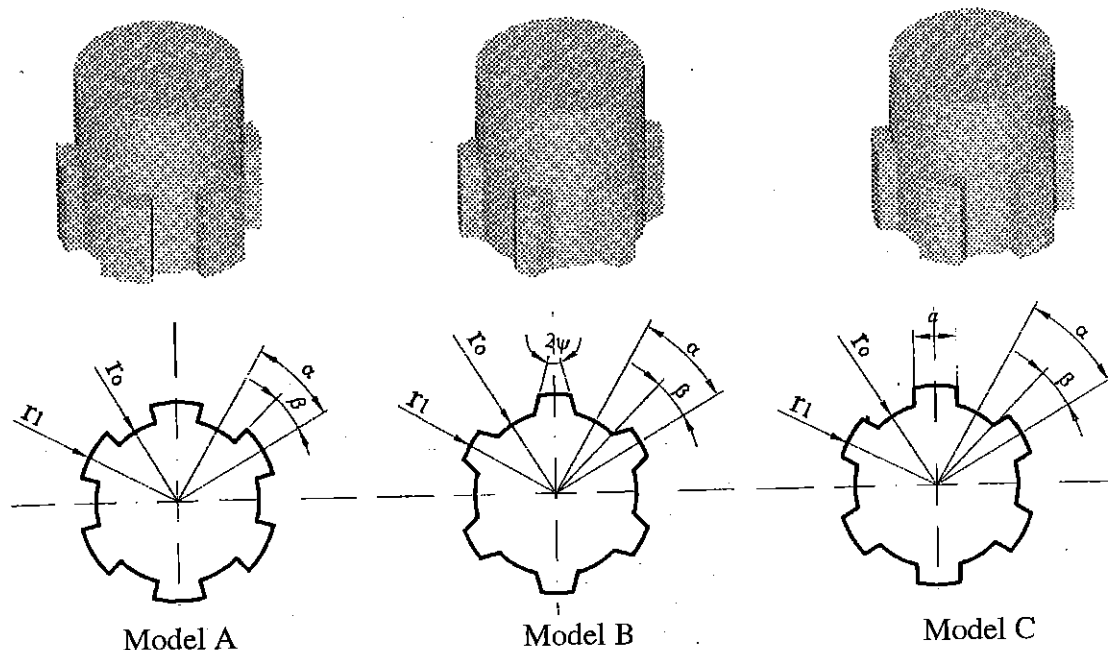
Na Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu već duži niz godina vrše se teoretsko eksperimentalna istraživanja radijalnog istiskivanja ozubljenih elemenata. Istraživanja se odnose na tri modela ozubljenih elemenata: model ozubljenja A sa bokovima zubaca u radijalnom pravcu, model ozubljenja B - trouglasti profil ozubljenja i model ozubljenja C - ozubljenje sa ravnim bokovima (slika 2). U ovom radu daje se prikaz jednog dela tih istraživanja, koji se odnosi na model ozubljenja A.

2.1 Teoretska analiza procesa radijalnog istiskivanja

Teoretska analiza izabranog procesa radijalnog istiskivanja izvedena je metodom gornje granice. Prvi i najvažniji korak u analizi metodom gornje granice je definisanje kinematski

dozvoljenog polja brzine. Zona deformisanja je podeljena na četiri oblasti za koje su pretpostavljena kinematski dozvoljena polja brzine. Kinematski dozvoljeno polje brzine zadovoljava uslov kontinuiteta i granične uslove brzine. Analitički izrazi za to polje detaljno su prezentirani u /5/. Na osnovu pretpostavljenog polja brzine ukupna snaga se dobija kao:

$$\dot{W}_t = \dot{W}_d + \dot{W}_s + \dot{W}_f = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}} \int_V \sqrt{\left(\frac{1}{2} \dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}\right)} dV + \int_{A_s} \tau_s |\Delta v| dA_s + \int_{A_f} \tau_f |\Delta v| dA_f \quad (1)$$



Slika 2 - Tri različite geometrije zuba

gde su \dot{W}_d - snaga unutrašnjeg deformisanja, \dot{W}_s - snaga koja se troši na mestima gde se javlja diskontinuitet brzine, \dot{W}_f - snaga koje se troši na savladavanje otpora trenja, σ_e - efektivni napon tečenja, $\dot{\epsilon}_{ij}$ - komponente brzine deformacije, τ - tangencijalni napon, Δv - diskontinuitet brzine.

Deformaciona sila se određuje kao količnik ukupne snage potrebne za deformisanje i brzine v_0 (brzina kretanja žiga)

$$F = \frac{\dot{W}}{v_0} \quad (2)$$

Srednji pritisak na žigu će biti

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F}{r_0^2 \pi} \quad (3)$$

gde je A vrednost površine poprečnog preseka žiga.

Detaljniji prikaz teoretske analize dat je u /5/, /7/.

2.2 Eksperimentalna istraživanja

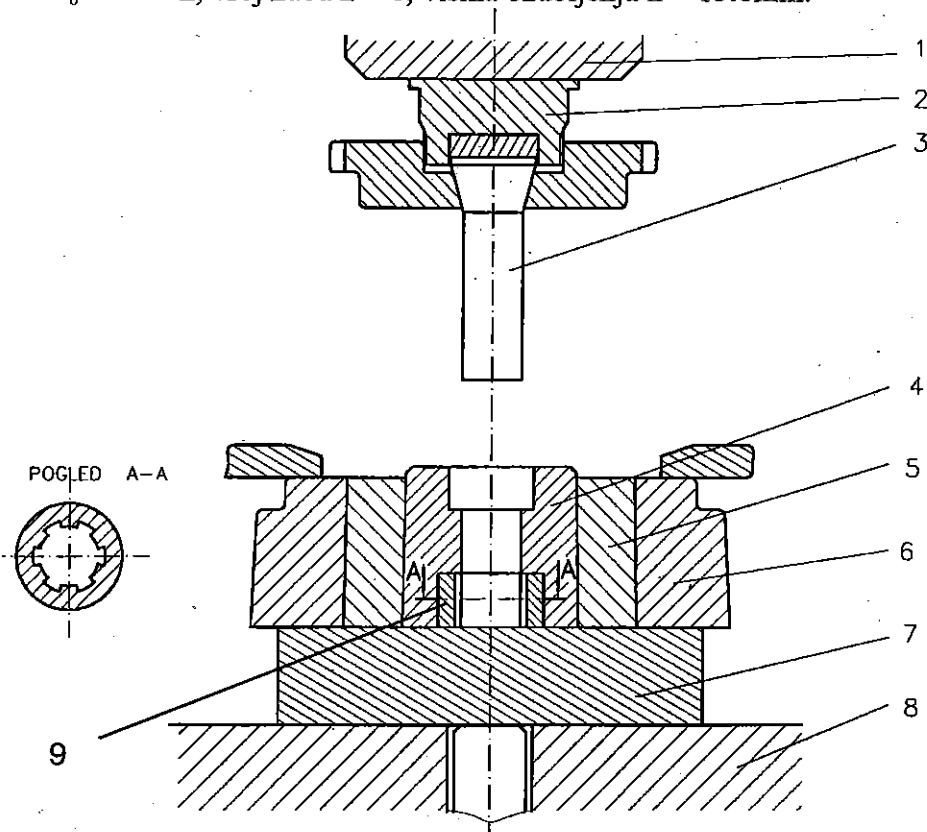
Cilj eksperimentalnih istraživanja bio je određivanje i analiza parametara procesa - deformacione sile, deformacionog rada, pritiska na elemente alata kod hladnog deformisanja uzoraka tj. verifikacija teoretskih rezultata.

Na slici 3 prikazan je izgled alata korištenog u eksperimentu. Kako se ne bi pravile tri posebne matrice za svaki model ozubljenja, predviđen je izmenjivi deo matrice (pozicija 9,

slika 3), koji je izradjen za svaki model ozubljenja. U eksperimentu je korištena hidraulična presa trostrukog dejstva Sack und Kieselbach čija je nominalna sila 6.3MN. Materijal korišten u eksperimentu bio je aluminijum A199,5 sa krivom deformacionog ojačavanja u obliku:

$$k = 152,49 \cdot \varphi^{0.292} [MPa]$$

Podmazivanje u toku eksperimenta vršeno je mašinskim uljem. Dimenzije priprema su bile $h_0 = 42.7\text{mm}$ i $d_0 = 28\text{mm}$, broj zuba $z = 6$, visina ozubljenja $h = 15.8\text{mm}$.



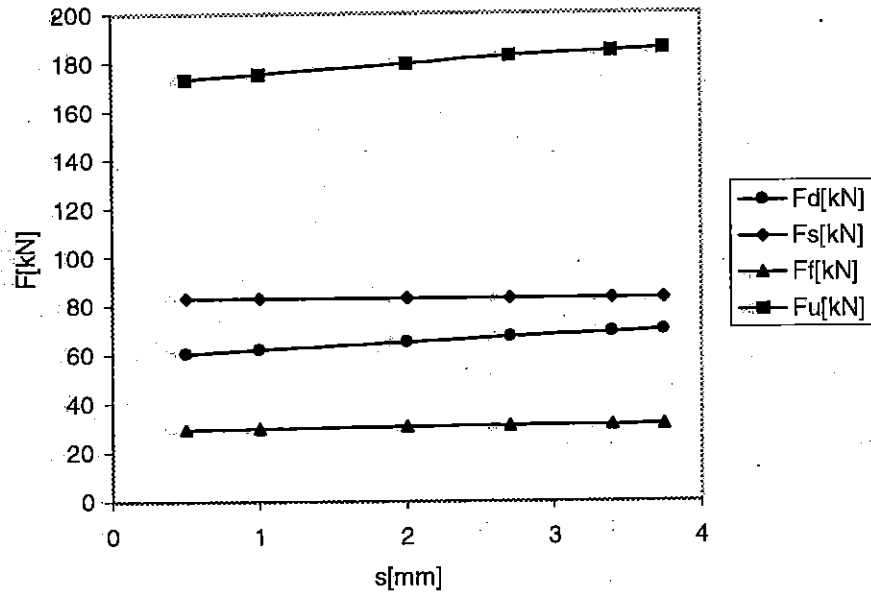
- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Gornji deo nosača žiga | 2. Donji deo nosača žiga |
| 3. Žig | 4. Matrica |
| 5. Ojačavajući prsten | 6. Ojačavajući prsten |
| 7. Ploča (zatvara matricu sa donje strane) | 8. Sto prese |
| | 9. Izmenjivi deo matrice |

Slika 3. Izgled alata korišćenog u eksperimentu

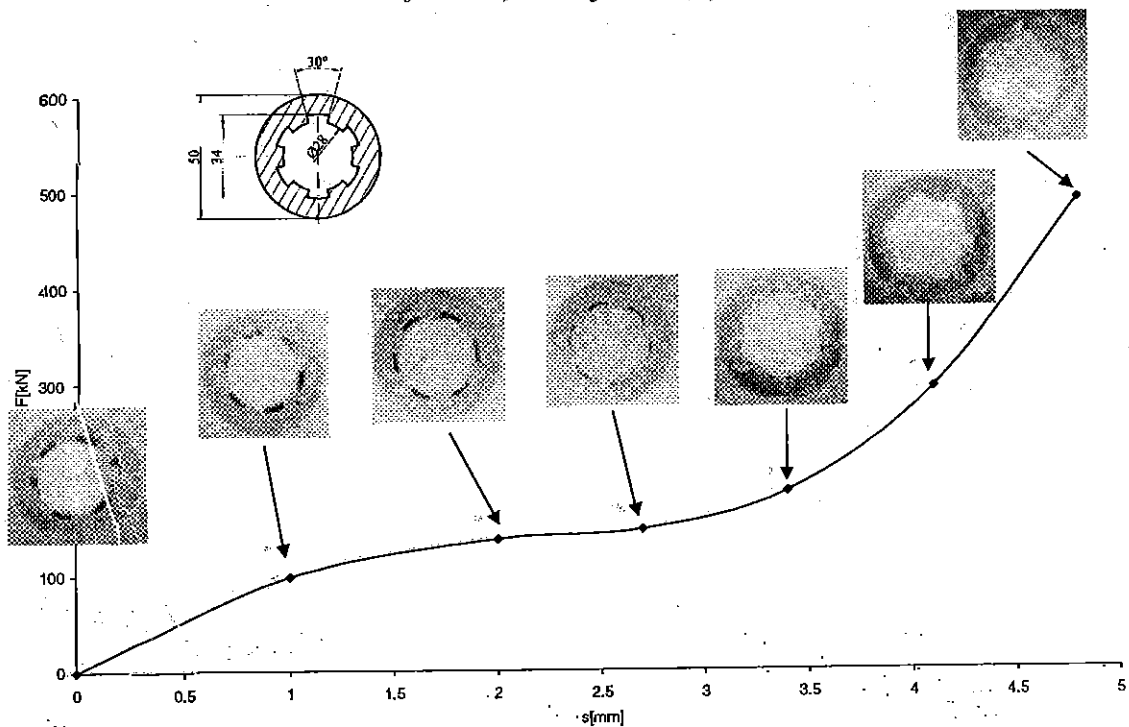
2.3 Rezultati

Na slici 4 prikazan je tok ukupne sile i njenih komponenti za model ozubljenja A dobijen na osnovu teoretske analize. Sa dijagrama se vidi da teoretska kriva ima blag nagib, dok kod eksperimentalno dobijene vrednosti sile (slika 5) sila na kraju procesa naglo raste. Nagli porast eksperimentalne sile na kraju procesa deformisanja objasnjava se popunjavanjem radijusa zaobljenja u matrici, sto ukazuje na potrebu odredjene korekcije teoretskog rešenja, posebno za zavrsetak procesa.

Na slici 5 dat je dijagram promene deformacione sile u zavisnosti od hoda alata, na kome je za odredjene vrednosti hoda dat i izgled obratka u matrici (u kojoj meri je materijal popunio matricu u zavisnosti od hoda alata). Uočava se da je nagli porast sile direktno povezan sa ispunjavanjem uglova profila u poslednjoj fazi procesa.



Slika 4 - Ukupna sila i njene komponente za model ozubljenja A (uzorak visine $h_0=42.7\text{mm}$, prečnika $d_0=28\text{mm}$, materijal A199,5)



Slika 5 - Eksperimentalni tok deformacione sile u zavisnosti od hoda alata za model ozubljenja A

3. ZAKLJUČAK

U radu se daje kraći prikaz mogućnosti izrade zupčanika metodama zapreminskog deformisanja, a zatim se daje teoretsko-eksperimentalna analiza izrade ozubljenih elemenata određenog oblika i dimenzija radijalnim istiskivanjem. Uočava se da teoretski postavljeno polje brzina za veći deo procesa daje veoma zadovoljavajuće rezultate. Međutim, u poslednjoj fazi procesa (tz. "corner filling" faza) potrebna su poboljšanja tog polja čime bi se postigao još veći stepen korelacije između eksperimentalnih i teoretskih rezultata.

Za potrebe eksperimentalnih istraživanja konstruisan je i izradjen specijalni alat za radijalno istiskivanje.

4. LITERATURA

- /1/ Kudo H.: Towards net shape forming, Journal of Material Processing Technology 22(1990), pp. 307 - 342.
- /2/ Dohman F., Meier T.: Production sequences forming - hardening - hard finishing for the manufacture of ready to install gearing, Proc. 9th Int. Cold Forging Congress, Solihull, UK, 1995., pp. 85-92
- /3/ Geiger R., Hansel 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
- /4/ Laufer Marco: Untersuchungen über das Kaltfließpressen gerad- und schragverzahnter Stirnräder, Fortschr.- Ber.- VDI Reihe 2 Nr. 221, Dusseldorf, VDI Verlag 1991.
- /5/ Plančak M., Vilotić D., Skakun P.: Cold radial extrusion of key shaft type parts, VII National Conference on Technologies and Machine-tools for Cold Metal Forming, Cluj-Napoca, ROMANIA, Maj, 2000., pp.
- /6/ Grover O.P., Juneja B.L.: Analysis of close-die forging of gear-like elements, Proc. of the 1st ICTP, Tokyo, 1984., pp. 888-893
- /7/ Plančak M.: An Analysis of Radial Extrusion of Gears, First Esaform conference on material forming, Sophia-Antipolis (France), 1998., pp. 101-104

ZUSAMMENFASSUNG ZAHNRADHERSTELLUNG DURCH DIE METHODEN DER UMFORMTECHNIK

Wenn die gewisse Bedingungen hinsichtlich Seriengröße erfüllt sind weist die Umformtechnik wesentliche Vorteile gegenüber den anderen Fertigungsverfahren auf. Hohe Produktivität, hohe Materialausnutzung, Verbesserung der mechanischen Eigenschaften sind die wichtigsten von diesen Vorteilen. Herstellung von verzahnten Teilen durch umformtechnischen Verfahren zählt zu neuer Produktionstechnologien die eine echte Alternative gegenüber spanabtragenden Verfahren darstellten. In dieser Arbeit ist die Zahnradherstellung durch Radialfließpressen präsentiert. Neben der theoretischen Lösung (obere Schränke) wurden auch experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Vergleich zwischen theoretisch und experimentell ermittelten Werten für Kraft und Druck zeigt eine relativ gute Übereinstimmung obwohl - und das gilt besonders für das Ende des Prozesses - eine Verbesserung des theoretischen Ansatzes für Geschwindigkeitsfeld notwendig ist um noch bessere Übereinstimmung zwischen Theorie und Praxis zu erreichen.

PARAMETRI PROCESA PRI SABIJANJU VALJKA SFERIČNIM KALUPIMA

D. Vilotić, M. Plančak, M. Popović, S. Arambašić*

REZIME

Sabijanje valjka pomoću sferičnih kalupa predstavlja elementarnu operaciju deformisanja koja je prisutna u različitim procesima zapreminskog oblikovanja. Ova operacija našla je primenu u procesima višefaznog oblikovanja delova kompleksnog oblika kao što su, na primer, procesi izrade spona automobila, glave zakovica, zavrtnjeva i slično.

U ovom radu prikazani su rezultati teorijsko-eksperimentalnih istraživanja osnovnih parametara procesa kod sabijanja valjka navedenim postupkom.

1. UVOD

Određivanje parametara procesa jedan je od osnovnih zadataka u okviru projektovanja tehnološkog procesa zadatog dela. Na osnovu podataka o deformacionoj sili, srednjem površinskom pritisku i deformacionom radu, vrši se izbor odgovarajuće mašine, konstrukcija i proračun alata.

Za određivanje deformacione sile, kao osnovnog parametra procesa, u postupcima zapreminskog deformisanja primenjuju se različite teorijske i eksperimentalne metode. Određivanje deformacione sile često je bazirano na rešenju naponsko-deformacionog stanja, odnosno, kontaktnih napona. Osim toga, deformaciona sila može se odrediti i primenom energetskih metoda analize procesa, kao što je, na primer, metoda gornje granice.

U ovom radu prikazani su rezultati određivanja deformacione sile kod sabijanja valjka sferičnim kalupima na osnovu teorijskog rešenja za kontaktne napone, sa eksperimentalnom proverom rezultata.

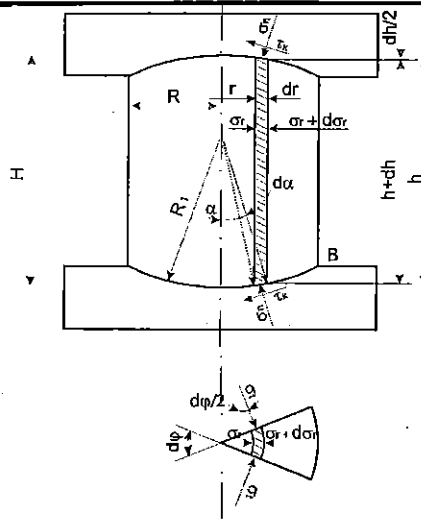
2. TEORIJSKA ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA I PARAMETARA PROCESA

Šema procesa sabijanja valjka sferičnim kalupima sa komponentama napona prikazana je na slici 1.

Analiza naponskog stanja izvršena je rešavanjem približne diferencijalne jednačine ravnoteže, uz uvođenje određenih pretpostavki i uprošćenja:

- Izvodnice obratka ostaju prave tokom deformisanja;
- Tangencijalni kontaktni napon definisan je relacijom: $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$;
- Radijalni napon je u svim preseccima jednak tangencijalnom naponu: $\sigma_r = \sigma_t$;
- Koristi se jednačina plastičnosti u obliku: $\sigma_n - \sigma_r = K$.

* Prof. dr Dragiša Vilotić, Prof. dr Miroslav Plančak – FTN Novi Sad, Popović Maja, dipl. ing., Subotica, Slavko Arambašić, dipl. ing. – Fabrika mašina "Lola" Beograd



Slika 1. Komponente napona pri slobodnom sabijanju valjka sferičnim kalupima

Za šemu napona (sl. 1) osnovna jednačina ravnoteže glasi:

$$\begin{aligned} \sigma_r \cdot r \cdot d\varphi \cdot h - (\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (r + dr) \cdot (h + dh) \cdot d\varphi - 2 \cdot \sigma_n \cdot \frac{dr}{\cos\alpha} \cdot r \cdot d\varphi \cdot \sin\alpha - \\ - 2 \cdot \tau_k \cdot r \cdot d\varphi \cdot \frac{dr}{\cos\alpha} \cdot \cos\alpha + 2 \cdot \sigma_t \cdot \left(\frac{h + (h + dh)}{2} \right) \cdot dr \cdot \sin\frac{d\varphi}{2} = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Ako se uzmu u obzir geometrijske relacije prema sl. 1:

$$\begin{aligned} r = R_1 \cdot \sin\alpha \quad h = H - 2R_1 \cdot (1 - \cos\alpha) \\ dr = R_1 \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha \quad dh = -2R_1 \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha \end{aligned} \quad (2)$$

kao i pomenute pretpostavke i uprošćenja, dobija se konačan oblik diferencijalne jednačine ravnoteže izražen preko zavisnosti radijalnog napona σ_r od ugla zahvata alata α :

$$\frac{d\sigma_r}{d\alpha} + \frac{\mu \cdot \cos\alpha}{a + \cos\alpha} \cdot \sigma_r + K \cdot \frac{\sin\alpha + \mu \cdot \cos\alpha}{a + \cos\alpha} = 0 \quad (3)$$

gde je a geometrijski parametar definisan izrazom:

$$a = \frac{H}{2R_1} - 1 \quad (4)$$

Veličina K koja figuriše u jednačini (3) je specifični deformacioni otpor, koji je u realnim uslovima obrade promenljiv u toku procesa. Međutim, radi pojednostavljenja, nekada se uzima da je on konstantna veličina. S ovim u vezi, dalji postupak analize razgraničen je na dva slučaja: kada je $K = \text{const.}$ i kada je $K \neq \text{const.}$

Za slučaj $K = \text{const.}$ se primenom jednačine plastičnosti i njenog diferencijala: $d\sigma_r = d\sigma_n$, a na osnovu jednačine (3), može napisati diferencijalna jednačina ravnoteže izražena preko normalnog napona σ_n :

$$\frac{d\sigma_n}{d\alpha} + \frac{\mu \cdot \cos\alpha}{a + \cos\alpha} \cdot \sigma_n + K \cdot \frac{\sin\alpha}{a + \cos\alpha} = 0 \quad (5)$$

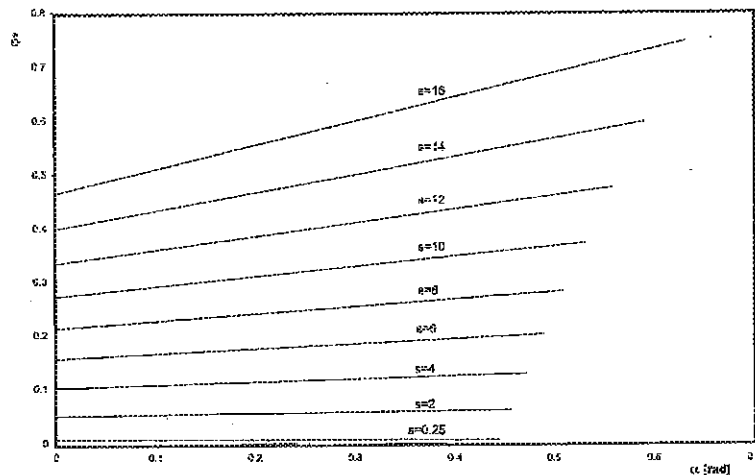
Karakter promene specifičnog deformacionog otpora izražava se u obliku Ludvigove zavisnosti:

$$K = K_0 + A \cdot \varphi_e^b \quad (6)$$

Efektivna deformacija φ_e za slučaj sabijanja valjka sferičnim kalupima (sl. 1) može se odrediti na osnovu izraza:

$$h = \ln \frac{h_0}{h} = \ln \frac{H_0 - 2R_1 \cdot (1 - \cos \alpha_0)}{H - 2R_1 \cdot (1 - \cos \alpha)} \quad (7)$$

Kao što se vidi, efektivna deformacija je u ovom slučaju promenljiva po preseku obratka tj. zavisi od ugla zahvata alata α koji se menja sa promenom pomaka s . Zavisnost efektivne deformacije od ugla α određuje se preko jednakosti zapremina obratka pre i posle sabijanja za određeni pomak s . Kao rezultat dobija se aproksimativna funkcija prvog stepena koja za različite vrednosti hoda alata ima različite funkcionalne oblike (sl. 2).



Slika 2. Zavisnost efektivne deformacije od ugla zahvata alata za uzorak $\phi 18 \times 40 \text{ mm}$

Sada će konačne diferencijalne jednačine ravnoteže biti izražene u obliku:

$$\frac{d\sigma_r}{d\alpha} + \frac{\mu \cdot \cos \alpha}{a + \cos \alpha} \cdot \sigma_r + (K_0 + A \cdot \varphi_e^b) \cdot \frac{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{a + \cos \alpha} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{d\sigma_n}{d\alpha} + \frac{\mu \cdot \cos \alpha}{a + \cos \alpha} \cdot \sigma_n + (K_0 + A \cdot \varphi_e^b) \cdot \frac{\sin \alpha}{a + \cos \alpha} - A \cdot b \cdot \varphi_e^{b-1} \frac{d\varphi_e}{d\alpha} = 0 \quad (9)$$

U poslednjem članu jednačine (9) figuriše izraz $\frac{d\varphi_e}{d\alpha}$ koji predstavlja promenu efektivne deformacije po uglu zahvata alata α i ima različite funkcionalne oblike u zavisnosti od pomaka alata s tj. trenutne visine obratka H .

Navedene diferencijalne jednačine rešavaju se numeričkim metodama uz neophodnu primenu računara. Granični uslov koji se pri tome koristi glasi:

$$\text{za } \alpha = \alpha_B = \arcsin \frac{R}{R_1} \quad \sigma_r = 0 \quad \text{tj.} \quad \sigma_n = K \quad (10)$$

Rešenja numeričke integracije su numeričke tj. brožčane vrednosti radijalnih i normalnih napona za različite vrednosti ugla α . Ilustracija dobijenog rešenja data je na dijagramu (sl. 3) koji prikazuje promenu normalnih i radijalnih napona u radijalnom pravcu obratka u zavisnosti od veličine hoda alata s . Punom linijom na dijagramu je prikazana normalna komponenta napona σ_n , a isprekidanom linijom radijalna komponenta σ_r .

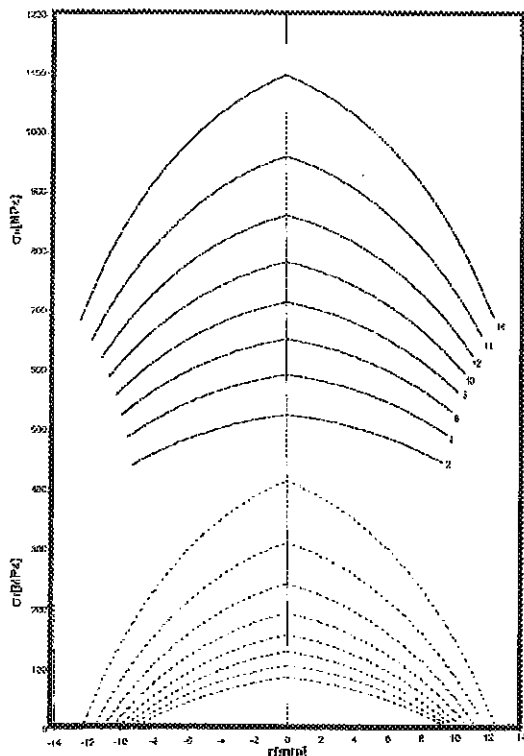
Na osnovu utvrđenih kontaktnih napona može se odrediti i deformaciona sila, prema izrazu:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R_1^2 \int_0^{\alpha_B} \sigma_n (\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \mu \cdot \sin^2 \alpha) \cdot d\alpha \quad (11)$$

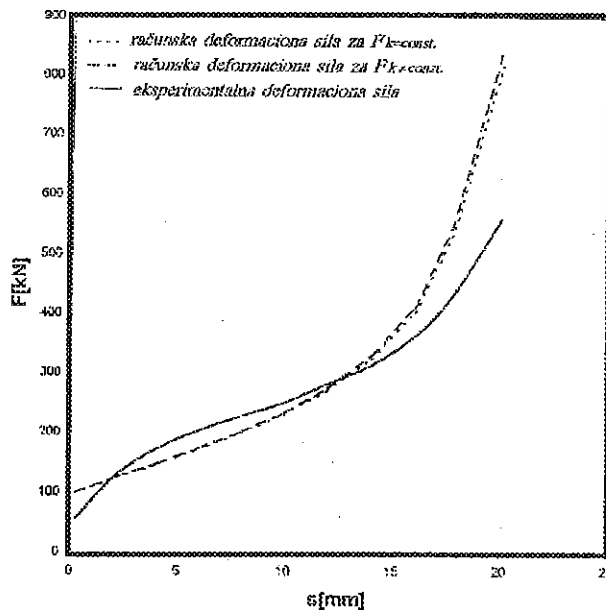
Funkcionalna zavisnost normalnog napona od ugla zahvata alata $\sigma_n(\alpha)$ dobija se na osnovu rezultata analize naponskih komponenti i to aproksimacijom dobijenih parova

vrednosti (α , σ_n) polinomom drugog stepena. Ove zavisnosti određene su za svaka dva milimetra hoda alata, kao i za vrednost hoda $s = 0.25\text{mm}$.

Na ovaj način dobijaju se numeričke vrednosti deformacione sile koje predstavljene grafički obrazuju teorijske krive zavisnosti deformacione sile od hoda alata (sl. 4). Isprekidanim linijama na slici 4 prikazane su teorijski dobijene krive $F = F(s)$ za slučajeve promenljivog i konstantnog deformacionog otpora.



Slika 3. Dijagram rasporeda normalnih i radialnih napona za uzorak $\phi 18 \times 40\text{mm}$



Slika 4. Grafici teorijske i eksperimentalne deformacione sile za uzorak $\phi 18 \times 40\text{mm}$

Na osnovu utvrđenih kontaktnih napona može se odrediti i deformaciona sila, prema izrazu:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R_1^2 \int_0^{\alpha_B} \sigma_n (\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \mu \cdot \sin^2 \alpha) \cdot d\alpha \quad (11)$$

Funkcionalna zavisnost normalnog napona od ugla zahvata alata $\sigma_n(\alpha)$ dobija se na osnovu rezultata analize naponskih komponenti i to aproksimacijom dobijenih parova vrednosti (α , σ_n) polinomom drugog stepena. Ove zavisnosti određene su za svaka dva milimetra hoda alata, kao i za vrednost hoda $s = 0.25\text{mm}$.

Na ovaj način dobijaju se numeričke vrednosti deformacione sile koje predstavljene grafički obrazuju teorijske krive zavisnosti deformacione sile od hoda alata (sl. 4). Isprekidanim linijama na slici 4 prikazane su teorijski dobijene krive $F = F(s)$ za slučajeve promenljivog i konstantnog deformacionog otpora.

3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalna istraživanja su izvršena sa ciljem da se potvrdi opravdanost upotrebe metode ravnih preseka pri određivanju vrednosti osnovnih parametara procesa slobodnog sabijanja sferičnim kalupima.

Eksperimenti su izvršeni na dve grupe uzoraka od materijala Č.1221. Uzorci su izrađeni finim struganjem, s tim da su čelone površine urađene sa zaobljenjem radijusa $r=21$

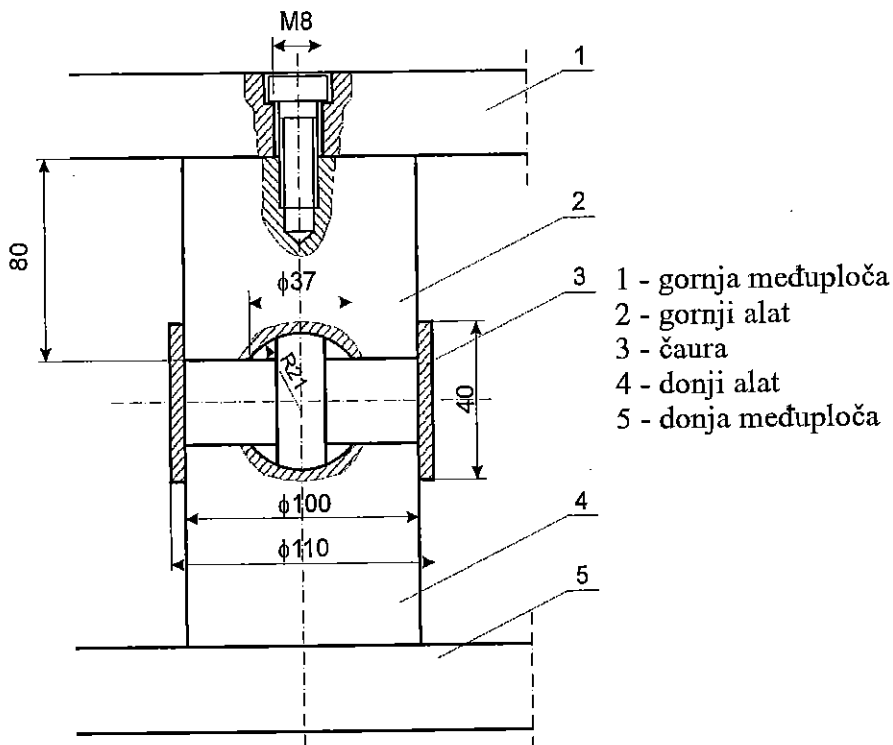
mm kako bi uzorci što bolje nalegali na površine kalupa. Za ilustraciju, u ovom radu dati su rezultati za uzorke $\phi 18 \times 40 \text{ mm}$.

Deformisanje uzoraka vršeno je na hidrauličnoj presi Sack and Kiesselbach nominalne sile 6.3 MN na Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu.

Alati, koji su prikazani na slici 5, su u obliku sferičnih kalupa sa radijusom krivine $r = 21 \text{ mm}$. Za međuploču su vezani vijčanom vezom.

Zbog specifičnosti geometrije alata javlja se problem centriranja alata i obratka, što je rešeno pomoću čaure (pozicija 3 na sl. 5). Za vreme sabijanja čaura ostaje na alatu i ima ulogu vodiče.

Tokom procesa deformisanja kontinualno su registrovane vrednosti deformacionalne sile i to na svakom milimetru hoda alata, kao i za veličinu hoda $s = 0.25 \text{ mm}$. Na osnovu tih podataka obrazovane su eksperimentalne krive zavisnosti $F = F(s)$, koje su na slici 4 prikazane punom linijom.



Slika 5. Skica alata za sabijanje valjka sferičnim kalupima na hidrauličnoj presi

4. ZAKLJUČAK

Istraživanje parametara procesa i ponašanja materijala u različitim obradnim sistemima ima određeni značaj za projektovanje i praktičnu primenu tehnologije plastičnog deformisanja. Na taj način stvaraju se uslovi za proširenje primene obrade deformisanjem čime se utiče na smanjenje ukupnih troškova proizvodnje putem smanjenja utroška materijala, energije i vremena izrade. Sem toga, omogućava se i primena obrade deformisanjem u obradi teško deformabilnih metalnih i nemetalnih materijala.

Cilj ovog rada bio je doprinos istraživanju postupka slobodnog sabijanja valjka sferičnim kalupima, kroz određivanje naponsko-deformacionog stanja i parametara ovog procesa. U tu svrhu bila su primenjena teorijska i eksperimentalna istraživanja.

Dobijeni rezultati, prikazani na slici 4, pokazuju znatnu saglasnost računski i eksperimentalno dobijenih krivih zavisnosti $F = F(s)$. Analitički određena deformaciona sila

prati tendenciju rasta eksperimentalne deformacione sile, te se može smatrati vernim pokazateljem promene naponskog stanja.

Najveće razlike između računskih i eksperimentalnih vrednosti deformacione sile postoje na samom početku i na kraju procesa sabijanja. Te greške su posledica uvedenih pretpostavki i uprošćenja koji su pojednostavili i olakšali analizu procesa, ali su ujedno i udaljili primenjenu metodu ravnih preseka od stvarnog procesa. Međutim, i pored toga može se zaključiti da je primena metode ravnih preseka u određivanju naponskih komponenti i deformacione sile potpuno opravdana pošto je postignuta solidna saglasnost sa eksperimentalnim rezultatima.

Takođe, sa slike 4 može se videti da se teorijski dobijene krive $F = F(s)$ za slučaj konstantnog deformacionog otpora gotovo poklapaju sa krivama za slučaj promenljivog deformacionog otpora. To dokazuje da se pretpostavka o konstantnosti deformacionog otpora u toku procesa sabijanja može uspešno koristiti sa zadovoljavajućom tačnošću i na taj način znatno pojednostaviti postupak analize.

SUMMARY

Upsetting of cylinder by spherical concave dies is one of the basic operations, which takes place in many cold and hot bulk metals forming processes. This operation is present in many multi face processes, such as forming of a car's brace, forming of a bearing's ball, forming of a screw's head and forming of a spherical engraving.

In this paper theoretical and experimental analysis of contact stresses and forming load in upsetting of cylinder by spherical concave dies have been presented. Determination of stress components has been accomplished by solving approximate equilibrium equation. To enable the solution of the problem in analytical form it was necessary to combine the simplified yield criteria with certain assumptions and simplifications.

The analysis shows that the results obtained by theoretical slab method are in good agreement with the results of experimental investigation, so it is suitable for determination of stress state and process parameters in this and in the other similar forming processes.

LITERATURA:

1. Marković M.: *Određivanje naponsko-deformacionog stanja, parametara procesa i deformabilnosti materijala pri sabijanju valjka sferičnim kalupima*, Diplomski rad, Novi Sad, 2000.
2. Johnson W., Mellor P.B.: *Plasticity for Mechanical Engineers*, Van Nostrand Reinholds Company, London, 1962.
3. Musafia B.: *Primenjena tehnologija plastičnosti*, Mašinski fakultet Sarajevo, 1973.
4. Storozoev M.V., Popov E.V.: *Theory of Plasticity*, Masinstroenie, Moscow, 1971.
5. Vilotić D., Plančak M., Vujović V., Trbojević I., Milutinović M., Skakun P.: *Analiza procesa sabijanja valjka pomoću sferičnih alata*, FTN, Novi Sad, 1996.

ISPITIVANJE KONTAKTNIH USLOVA U MODELNIM EKSPERIMENTIMA SA PLASTELINOM

Mr Vesna Mandić¹⁾

REZIME

U cilju određivanja pouzdanog modela trenja pri fizičkom modeliranju sa plastelinom izvršena su ispitivanja pri različitim kontaktnim uslovima. Oni su ostvareni promenom materijala alata i vrste maziva. Za određivanje koeficijenta trenja primenjene su "cigar test" i "ring test" metode. Na osnovu ovako određenih vrednosti koeficijenata trenja korišćenjem analitičke i grafičke veze $\mu(f)$ određene su odgovarajuće vrednosti faktora trenja.

1. UVOD

Uslovi trenja između alata i radnog komada su veoma važni pri plastičnom deformisanju materijala i predstavljaju odlučujući parametar za procenu distribucije pritiska i destrukcije sile procesa. Pri fizičkom modeliranju procesa obrade mora se uraditi pouzdan model za simulaciju uslova trenja u međukontaktu alat/radni komad, koji podrazumeva izbor "pravog" maziva.

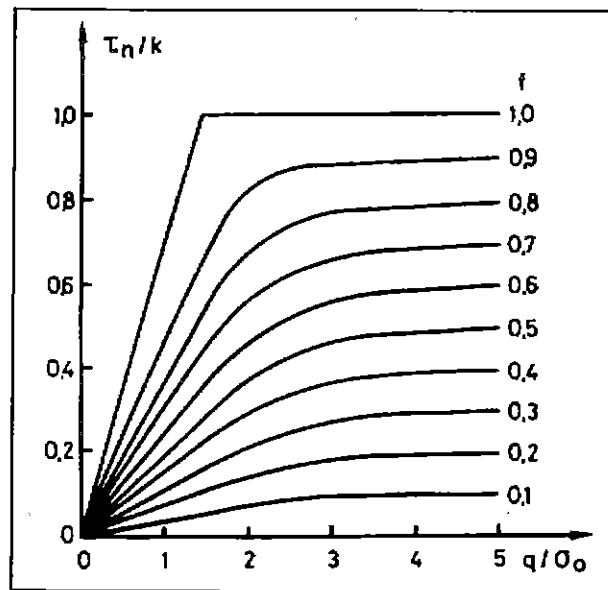
Poznato je da eksperimenti sa modelnim materijalima veoma dobro ilustruju plastično tečenje materijala, pa ako izvršena ispitivanja sa metalom i modelnim materijalom, uz primenu određenih maziva, daju isto tečenje materijala, znači da su postignuti isti uslovi kontaktnog trenja. U radu su dati rezultati eksperimentalnog određivanja koeficijenta trenja plastelinskih uzoraka, pri različitim kontaktim uslovima, koji su postignuti variranjem materijala alata i vrste maziva.

2. MODEL TRENJA

Za definisanje uslova trenja u praksi se koristi konvencionalni pristup (Amonton-ov zakon) $\tau = \mu q$ (μ - koeficijent trenja, q - normalni pritisak), ili zakon o konstantnom smicajnom naponu $\tau = mk$ (m - faktor kontaktnog trenja, k - napon tečenja pri čistom smicanju). Skoriji radovi o trenju u procesima obrade deformisanjem ukazuju da nijedan od ova dva zakona nema generalnu važnost u opsegu srednjih i većih pritisaka, što je karakteristično za procese sabijanja i kovanja. Wanheim i Bay /1/ razvili su model trenja koji važi kako za male tako i za velike normalne pritiske. Model bazira na analizi plastičnog deformisanja hrapavog radnog komada između ravnih paralelnih glatkih ploča alata, i primenjuje metodu linija klizanja. Slika 1 grafički prikazuje rezultate ovog modela. Pri malim normalnim pritisacima, $q/\sigma_0 \leq 1.5$ (σ_0 - napon na granici tečenja), smicajni napon i normalni pritisak su proporcionalni, tj. primenjuje se Amonton-ov zakon. Pri velikim normalnim pritisacima, gde je $q/\sigma_0 > 3-4$, važi zakon konstantnog smicajnog napona. Međutim u srednjem opsegu pritisaka ni jedan ni drugi

¹⁾ Mr Vesna Mandić, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu

zakon se ne primenjuju.



Slika 1. Smicajni napon kao funkcija normalnog napona i faktora trenja

Model trenja /1/:

$$\tau = f \alpha k \quad (1)$$

(f - faktor kontaktnog trenja) kombinuje dva zakona trenja, pošto α , odnos realne zone kontakta hrapave površine radnog komada koji se plastično deformiše između ravnih glatkih ploča alata, pri malom normalnom pritisku je proporcionalan pritisku, pa time važi Amonton-ov zakon, dok se pri velikim pritiscima približava 1, pa jednačina (1) postaje zakon o konstantnom smičućem naponu. Postoje brojni literaturni podaci o zadovoljavajućoj primeni ovog modela pri definisanju kontaktnih uslova pri plastičnom deformisanju materijala.

3. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA/FAKTORA TRENJA

Bay /2/ je predložio jednostavnu proceduru za određivanje faktora trenja, koja se sastoji u određivanju koeficijenta trenja nekom od test metoda, a zatim korišćenju analitičke ili grafičke zavisnosti $\mu(f)$. U opsegu pritisaka gde važi Amonton-ov zakon veza između koeficijenta i faktora trenja izražena je kao

$$\mu = f / (1 + \pi/2 + \arccos f + (1-f)^{1/2}) \quad (2)$$

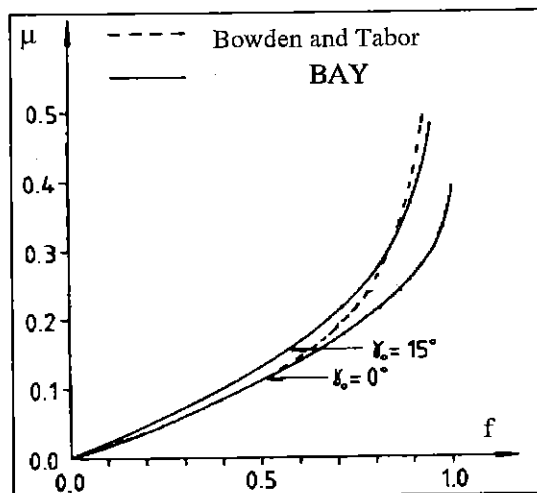
Bowden i Tabor (1964) ustanovili su vezu između koeficijenta i faktora trenja u obliku

$$\mu = f / ((27(1-f^2))^{1/2}) \quad (3)$$

Ove jednačine se mogu prikazati u grafičkom obliku, kao na slici 2, što pojednostavljuje određivanje faktora kontaktnog trenja.

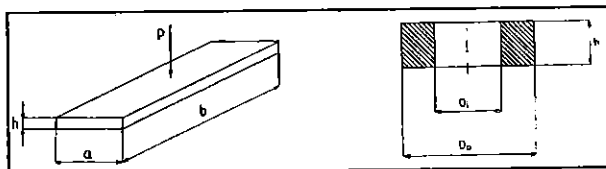
Za određivanje koeficijenta trenja u procesima zapreminske obrade najčešće se koriste "cigar test" i "ring test" metode. "Cigar test" metodu su koristili Fricker i Wanheim /3/ za određivanje malih koeficijenata trenja između uzoraka od modelnog materijala na bazi voska i staklenih ploča alata. Ovu metodu predložio je Hill (1950.) i bazira na činjenici da je pri sabijanju dugačke lamele, čija je dužina 10 puta veća od širine, otpor klizanja veći u pravcu dužine od onog u pravcu širine. Takve lamele posećaju oblikom na cigaru (cigar). Upoređenjem eksperimentalnih rezultata relativnog izduženja lamele i teorijskih kalibracionih krivih mogu se odrediti vrednosti koeficijenata trenja u opsegu $\mu \leq 0.05$. Dakle, ova metoda je senzitivna za male vrednosti koeficijenata trenja. Kalibracione krive dobijene su korišćenjem Amonton-ovog modela trenja. Pošto je početna geometrija lamela izabrana u odnosu dužina:

širina: visina = $2b_0 : 2a_0 : h_0 = 20 : 2 : 1$ (videti sliku 3), promene napona u pravcu širine i debljine mogu se zanemariti u poređenju sa onim u pravcu dužine. Teorijski gledano ovo je slučaj ravanskog naponskog stanja.



Slika 2. Koeficijent trenja kao funkcija faktora trenja i nagiba neravnine /2/

Za razliku od prethodne, "ring test" metoda se koristi za određivanje većih koeficijenata trenja, tako da su ove dve metode komplementarne. "Ring test" metoda je najšire primenjivana metoda za ispitivanje trenja, a sastoji se u praćenju promene unutrašnjeg prečnika prstena koji se sabija. On se može smanjivati ili povećavati u zavisnosti od uslova trenja u međukontaktu.



Slika 3. Početna geometrija lamele i prstena za "cigar test" i "ring test" metodu

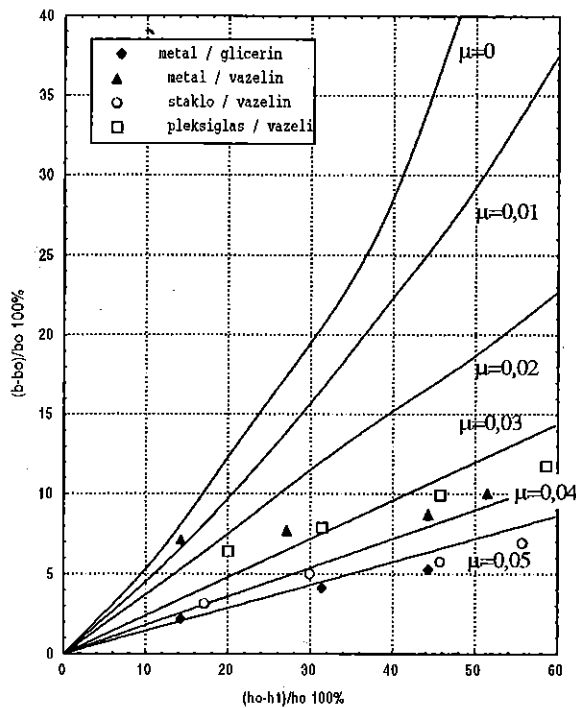
Male i Cockroft (1964.) ustanovili su eksperimentalne kalibracione krive pretpostavljajući Amonton-ov model trenja u kontaktu. Početne dimenzije prstena u odnosu spoljašnji prečnik : unutrašnji prečnik : visina = 6:3:2 (videti sliku 3) usvojene su kao unificirane standardne dimenzije u "ring test" metodi.

Mnogi autori su radili na primeni ring test metode za dobijanje različitih setova kalibracionih krivih, u zavisnosti od pristupa u njihovom određivanju. Danckert /5/ je dobio kalibracione krive trenja primenom naponske analize uzimajući u obzir deformaciono ojačanje, Liu /6/ primenom metode gornje procene uzimajući u razmatranje fenomen "barrelling" pri sabijanju prstena, Lee i Altan /7/, takođe, primenom metode gornje procene. Petersen, Martins i Bay /8/ dobili su kalibracione krive primenom metode konačnih elemenata uzimajući u obzir deformaciono ojačanje i pretpostavljajući model trenja (1). Oni su takođe predložili i novi "ring test" metod sa tzv. komplementarnom geometrijom prstena 6:4:3:2, koji se koristi za slučaj definisanja uslova trenja u procesima gde se pojavljuje malo trenje a veliki nominalni normalni pritisak. Svi ovi setovi kalibracionih krivih se međusobno razlikuju, pa je za rezultate testa veoma bitno na osnovu kojih kalibracionih krivih su dobijene vrednosti koeficijenata trenja.

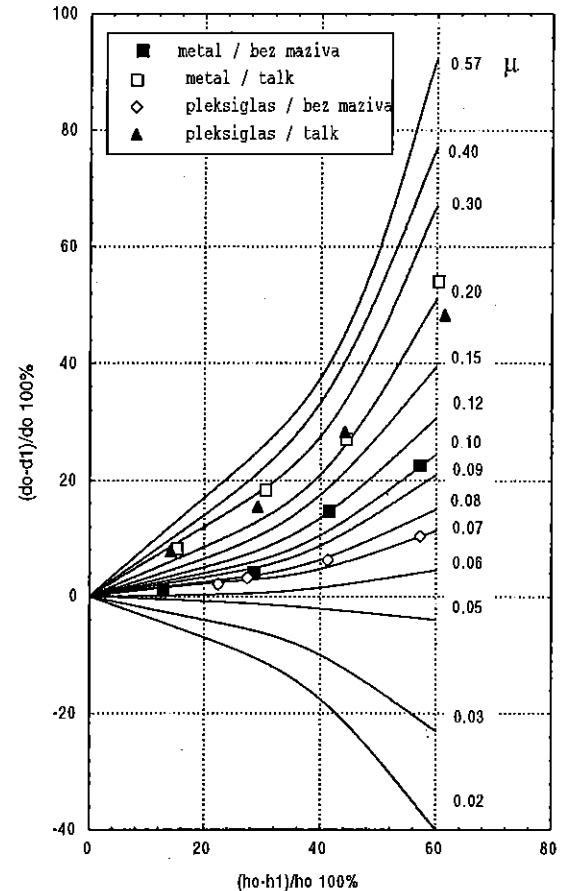
U ovom radu su korišćene kalibracione krive koje su ustanovili Male i Cocroft /4/.

4. EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Za cigar test pripremljene su četiri lamele početnih dimenzija 140:14:7mm, koje su isecane iz livene ploče od plastelina. Svaka lamela je sabijana u različitim uslovima kontaktnog trenja i to: I - metal-glicerin, II - metal-vazelin, III - staklo-vazelin i IV - pleksiglas-vazelin. Alat predstavljaju ravne glatke ploče od metala, stakla i pleksiglasa koje su paralelne i centralno postavljene u odnosu na dejstvo sile univerzalne mašine za ispitivanje. Temperatura ispitivanja je 20°C a brzina deformisanja 5mm/min. Lamele su sabijane u četiri faze, do ukupnog skraćanja oko 50%, i za svaku fazu su merenjem dobijeni parovi vrednosti visina/dužina, na osnovu čega su izračunate procentualne relativne deformacije. Rezultati testa prikazani su na slici 4.



Slika 4. Rezultati "cigar test" metode



Slika 5. Rezultati "ring test" metode

Za "ring test" metodu pripremljena su četiri prstena od plastelina početnih dimenzija spoljašnji prečnik : unutrašnji prečnik : visina = 39.6:19.8:13.2, u skladu sa preporukama. Prstenovi su sabijani na univerzalnoj mašini za ispitivanje pri različitim kontaktnim uslovima i to: I - metal-bez maziva, II - metal-talk, III - pleksiglas-bez maziva, IV - pleksiglas-talk. Uslovi ispitivanja su kao u prethodnom testu. Sabijanje je izvedeno u četiri faze, pri čemu su za svaku fazu mereni visina i unutrašnji prečnik prstena. Na osnovu izračunatih relativnih procentualnih deformacija visine i unutrašnjeg prečnika dobijeni su rezultati prikazani na slici 5.

5. DISKUSIJA REZULTATA

Svi rezultati pokazuju da je koeficijent trenja uglavnom konstantan do određenog

trenutka pri sabijanju, i da se nakon tog trenutka, sa produženjem dejstva sile, koeficijent trenja povećava. Pošto se pri svakoj fazi uzorak vadi iz alata radi merenja, nemoguće je izvršiti ponovno podmazivanje radi postizanja kontinualnih kontaktnih uslova u toku celog procesa. Osim toga, sa porastom opterećenja, dolazi do istiskivanja maziva ka periferiji uzorka, a takođe i u naprsline koje nastaju u centralnom delu kontaktne površine uzorka. Kod cilindričnih uzoraka, one se pojavljuju u radialnom pravcu, a kod lamela u uzdužnom. Takve naprsline se pojavljuju od pritisnutog maziva koje se zadržava u postojećim ulegnućima površine uzorka ili alata. Naime, u određenom trenutku sabijanja uzorka, mogu se kroz transparentnu površinu alata (staklo i pleksiglas) uočiti zone potpunog kontakta, odnosno zone slepljivanja, u centralnom delu kontaktne površine. Sa produženjem sabijanja, broj i veličina ovih zona raste, tako da mazivo ostaje "zarobljeno" u mikro ulegnućima površine uzorka i alata, u okviru ove centralne oblasti. Sa porastom normalnog napona raste pritisak na mazivo, tako da se ono utiskuje u materijal uzorka, i time formira naprsline. Pošto je kod lamele unutrašnji pritiskujući napon manji u pravcu širine od onog u pravcu dužine, materijal će lakše teći u pravcu širine lamele i tako će se formirati uzdužne naprsline. Pored toga, značajna je sa ovog aspekta i topografija površine uzorka, koja dosta zavisi od načina njegove pripreme (liven, istiskivan, gnječen, sečen itd.). Pojava naprsline znači ozbiljan poremećaj uslova podmazivanja, pa se u ovakvim eksperimentima mora ostvariti minimalna debljina mazivnog sloja da bi se potpuno izbegao ili odložio trenutak nastanka naprsline. S druge strane, sve opisane pojave se manifestuju i u praksi, tako da rezultati ovih eksperimenata imaju praktičnu primenu za realne situacije. U izvedenim eksperimentima u slučaju međukontakta metal/uzorak zapažena je pojava naprsline.

Tabela 1

Vrsta kontakta	Pouzdana % redukcije	Keficijent trenja μ	Faktor trenja f
metal- bez maziva	$\leq 45\%$	≈ 0.08	0.39 0.39
pleksiglas- bez maziv.	$\leq 60\%$	≈ 0.07	0.35 0.35
metal- talk	$\leq 40\%$	≈ 0.30	0.95 0.81
pleksiglas- talk	$\leq 40\%$	≈ 0.25	0.89 0.78
metal- glicerin	$\leq 30\%$	≈ 0.05	0.25 0.25
metal- vazelin	$\leq 30\%$	0.01-0.027	0.05-0.1 0.05-0.1
staklo- vazelin	$\leq 40\%$	≈ 0.04	0.2 0.2
pleksiglas- vazelin	$\leq 40\%$	0.025-0.028	0.13-0.17 0.13-0.17

Na osnovu eksperimentalnih rezultata i gore navedenih zapažanja, u tabeli 1 date su vrednosti koeficijenata trenja i odgovarajućih faktora trenja, dobijenih korišćenjem jednačina (2) i (3), odnosno grafika na slici 3. Pored toga, za svaki par vrednosti data je granica procentualnog relativnog skraćenja, za koju autori smatraju da daje pouzdane vrednosti koeficijenata trenja i faktora trenja.

Iz tabele 1 se vidi da vazelin ima dosta manji koeficijent trenja od ostalih maziva. To se može objasniti polučvrstom prirodom vazelina, koji ostvaruje bolje i duže odvajanje kontaktnih površina. Trenutak pojave zona slepljivanja i prekid u podmazivanju nastaje kasnije. Za razliku od vazelina, tečni glicerin se dosta brzo i lako istiskuje iz međukontakta, tako da se ostvaruje nešto veći koeficijent trenja.

Jedna od prednosti primenjenih metoda ispitivanja je mogućnost praćenja promene

koeficijenta trenja u toku samog procesa. Svi uzorci su sabijani u četiri faze i merene su odgovarajuće referentne mere, na osnovu kojih su dobijene vrednosti koeficijenata trenja za svaku fazu procesa, odnosno za različite vrednosti procentualnih relativnih skraćanja. Na početku je istaknuto da koeficijent trenja ima do određenog trenutka uglavnom konstantnu vrednost, a zatim se sa daljim produženjem procesa povećava, iz gore navedenih razloga. U tabeli 1 date su granične procentualne vrednosti relativnog skraćanja, koje autori smatraju pouzdanim za izložene tabelarne vrednosti koeficijenata i faktora trenja. Interesantan je slučaj međukontakta metal/vazelin gde je u samom početku procesa registrovan veoma mali koeficijent trenja ($\mu \approx 0.01$) da bi se do 30% relativnog skraćanja koeficijent trenja znatno povećao ($\mu \approx 0.027$). Upravo u ovom slučaju došlo je do pojave naprsina, što govori o poremećaju uslova podmazivanja. Prilično ujednačeni uslovi podmazivanja postignuti su u slučaju primene staklenih i alata od pleksiglasa, sa nešto većim koeficijentom trenja ($\mu \approx 0.04$ i 0.025). Zbog malog koeficijenta trenja vazelin je pogodno koristiti u eksperimentima fizičkog modeliranja sa modelnim nemetalnim materijalima, gde se kroz transparentnu površinu alata posmatra ceo proces deformisanja. Kontakt te transparentne površine i uzorka treba da bude sa što manjim koeficijentom trenja, da dodatni bočni pritiskujućii naponi ne bi opterećivali sam proces i uticali na plastično tečenje modelnog materijala.

Rezultati "ring test" metode pokazuju veće vrednosti koeficijenata trenja i to najveće pri primeni talka kao mazivnog sredstva ($\mu \approx 0.25$ i $\mu \approx 0.30$). Zbog toga se talk uglavnom primenjuje u eksperimentima fizičkog modeliranja procesa toplog kovanja. Zanimljivo je da je ostvaren manji koeficijent trenja pri kontaktnim uslovima bez podmazivanja. To se objašnjava činjenicom da plastelin u svom sastavu sadrži preko 50% masti i masnih kiselina, tako da se one pri njegovom sabijanju istiskuju u površinski sloj i međukontakt i preuzimaju ulogu maziva u procesu. Kada se primenjuje talk kao mazivo taj proces je sprečen, čak dolazi do utiskivanja praha talka u površinski sloj materijala, što dovodi do površinskog ojačavanja materijala. Sve to rezultira u povećanju koeficijenta trenja.

Na kraju treba napomenuti, da se primenom "ring test" i "cigar test" metode dobijaju tzv. ekvivalentne vrednosti koeficijenata trenja, jer je poznato da se on menja od tačke do tačke kontaktne površine. Međutim, ovako dobijeni rezultati su obično dovoljni za praktičnu primenu. Greške nastale usled ispupčenja i krivljenja ivica uzoraka, deformacionog ojačanja i anizotropije ne umanjuju važnost i primenljivost rezultata.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U cilju postizanja sličnih kontaktnih uslova pri fizičkom modeliranju procesa zapreminske obrade, primenom plastelina kao modelnog materijala, izvršena su eksperimentalna ispitivanja sa različitim kontaktnim uslovima alat/mazivo. Za određivanje širokog spektra vrednosti koeficijenata trenja mogu se uspešno koristiti "cigar test" metoda i "ring test" metoda, kao komplementarne. Naime, "cigar test" metoda je senzitivna za male vrednosti koeficijenata trenja, a "ring test" metoda za veće. Izvođenje i primena ovih metoda je jednostavna, instrumentacija takođe, a ponovljivost rezultata je veoma dobra.

Na osnovu eksperimentalno određenih vrednosti koeficijenata trenja, predložen je postupak za određivanje vrednosti faktora trenja. Opšti model trenja /1/ može se uspešno primenjivati u procesima sa malim normalnim naponima kao i u procesima gde nastaju veliki pritiskujućii naponi.

7. LITERATURA

1. *Wanheim, T., Bay, N., Petersen, A.S.*, A theoretically determined model for friction in metal working processes, *Wear* 28 (1978) 251-258.

2. *Bay, N.*, Friction stress and normal stress in bulk metal forming processes, *J. Mech. Work. Tech.* 14 (1987), 203-223.
3. *Fricker, D.C., Wanheim, T.*, Low friction coefficient estimation for model material experiments, *Wear* 27 (1974), 303-317.
4. *Frederiksen, N., Wanheim, T.*, Development of friction tests for lubrication in model-material experiments, *J. Mech. Work. Tech.* 12 (1987), 261-268.
5. *Danckert, J.* Analysis of the ring test method for the evaluation of frictional stresses in bulk metal forming processes, *Ann. of the CIRP*, vol. 37/1/1988, 217-220.
6. *Liu, J.Y.*, An analysis of deformation characteristics in interfacial friction conditions in simple upsetting of rings, *J. Eng. Ind.*, vol 94, No 4, 1972, 1149-1156.
7. *Lee, C.H., Altan, T.*, Influence of the flow stress and friction upon metal flow in upset forging of rings and cylinders, *J. Eng. Ind.*, vol 94, No 3, 1972, 775-782.
8. *Petersen, S.B., Martins, P.A.F., Bay, N.*, Friction in bulk metal forming: a general friction model vs. the law of constant friction, *J. Mat. Proc. Tech.* 66 (1997), 186-194.

THE INFLUENCE OF PARTICLE VELOCITIES ON THE STRUCTURE OF THERMAL SPRAY COATINGS

Yu. A. Kharlamov¹⁾

To date, many modeling efforts related to the deformation and solidification processes of a droplet impacting on the substrate under thermal spraying conditions have been reported. However, to the our knowledge, no modeling effort has dealt with the super-cooling effects has been reported. In this paper we will show some results of our recent modeling efforts, which clearly show the strong effects of the super-cooling conditions on the solidification process, especially the influence of particle velocity on the these effects.

More than 50 years ago, thermal spraying was established as a commercial process. Almost any material can be used for thermal spraying on almost any type of substrate. This flexibility is probably one of the major reasons for the rapid expansion of this technology. But only recently, serious attempts have been reported to establish a solid scientific base for this coating technology.

Thermal spray coatings are built up particle after particle and consist of successive layers of materials which properties are mainly related to the velocity and temperature of particles upon impact, to particles concentration on two phase flow – substrate and to substrate and deposit cooling while spraying.

In material science the main category is structure. Therefore, the problem of coatings syntheses with desired properties could be solved by finding of the fundamental relationships as between properties and coatings structure, as between structure and coating technology. So, the structure is a coating parameter for describing of necessary relationship “properties – technology”.

The properties of coatings are dictated by particular applications. For example, high-density coatings are necessary to provide wear in corrosion environment, whereas thermal barrier coatings should have a relatively high percentage of porosity to ensure thermal shock resistance. The thermal spray parameters will, of course, affect the properties of the coatings. The ultimate goal of research efforts in this field is to establish predictive correlation between thermal spray parameters and the properties of sprayed coatings, especially between velocity and temperature of particles.

The particle velocity is of first importance since it influenced coating porosity, coating substrate interface as well as bonding strength between coating and substrate. The intensive research effort that has been devoted over the last years to the theoretical and experimental study of particles behavior in coating formation allows now a better knowledge of the involved phenomena. However, a lot has still to be done better understanding of the influence of particle velocity on the structure of thermal spray coatings.

In this paper we try to study the influence of molten particles velocities on their cooling rate and solidification processes.

¹⁾ East Ukrainian State University, Mech. Eng. Dept., Lugansk, 91034, Ukraine

Consider a molten particle of diameter d_o and density ρ_L impinging normally with velocity v onto the substrate and forming a cylindrical splat of diameter d_c and thickness h can be presented in a form [1]

$$d_c = d_o \sqrt{\frac{\rho_L v^2 (\alpha - 0,25 \beta f) + 12 \gamma_L}{6 \gamma_L + [\beta v \eta_L \exp(\rho_L v^2 v_m / RT)] / 8 \bar{h}}}, \quad (1)$$

where $\alpha = E_p / E_k$, E_p is energy expended on particle deformation and devastation, E_k is kinetic energy of particle; $\beta = v_f / v_o$, v_f is flattening velocity of particle; f is friction coefficient; γ_L is surface tension of liquid particle; η_L is particle liquid viscosity; v_m is molar volume of melt particle; R is universal gaseous constant; T is absolute temperature of particle; $\bar{h} = h / d_o$ is flattening degree of particle.

From the results obtained it follows that an increase of the particle velocity up to 350...450 m/s gives rise to an increase in the value of flattening degree. The further increasing of the particle velocity is promoting to decreasing of flattening degree. This occurs due to an increase of the liquid viscosity by influence of high level of pressure developed on the droplet impact.

There is a determination method of a molten glassing temperature T_g , which based on assumption that cooling liquid viscosity in area of glassing must be more than $\eta = 10^{12}$ Pa · s [2,3]. As for some technological applications, for example, thermal spraying of coatings with amorphous structure is more important to estimate the influence of external factors on glassing temperature. These factors as pressure, cooling rate and others are significantly influenced as on a level of T_g as on a character liquid – solid transformation [4,5]. There are experimental estimations between pressure and crystallization temperature T_{cr} [6,7]. It is also known that as more T_g than more T_{cr} , and the other way round.

The liquid viscosity depends on level of external pressure [9]. It is well known that the pressure generated at the impact zone between substrate and liquid particle is the function of the particle velocity [8]. The impact pressure in initial moment before beginning of the particle flattening

$$p_u = \frac{\rho_p C_p v_o}{1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s} \quad (2)$$

as a value of head pressure in time of particle flattening

$$p_n = \rho_p v_o^2. \quad (3)$$

In these equations ρ_s is substrate material density, C_p is sound velocity on particle material, C_s and is sound velocity on substrate material.

Melting point of metals depends on the value of pressure P and can be presented in a form

$$T_m = T_m^0 + \frac{dT_m}{dP} P, \quad (4)$$

where T_m^0 is melting point on normal conditions ($P = 0$), dT_m is an increase of melting point with an increase in P on value dP .

By substituting (2) and (3) in expression for viscosity obtained by Ya. I. Frenkel we obtain

$$\eta_u = \eta_o \left[\frac{E}{RT} + \frac{\rho_p C_p v_o v' N_A}{kT(1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s)} \right], \quad (5)$$

$$\eta_n = \eta_o \left[\frac{E}{RT} + \frac{\rho_p v_o^2 v' N_A}{kT} \right], \quad (6)$$

where η_o is a value of liquid viscosity at next conditions: $P = 0; v \approx 0; T_p = T_{pm}$; T_{pm} is melting point of particle material; E is activation energy of viscous fluidity; v is vacancy volume which on order of atom volume; R is universal gas constant; N_A is Avogadro number.

It can be shown that analytical expressions for T_g are as follows:

$$T_g^u = T_g^* \left[1 + \frac{\rho_p C_p v_o v' N_A}{E(1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s)} \right], \quad (7)$$

$$T_g^n = T_g^* \left[1 + (\rho_p v_o^2 v' N_A / E) \right], \quad (8)$$

where T_g^u is glassing temperature point in moment of impulse pressure action and T_g^n is glassing temperature point in moment of head pressure action, $T_g^* = E / \ln(\eta / \eta_o)$ is glassing temperature on $V_o = 0 (P = 0)$.

These equations are correct for simple matters which activation energy of viscous fluidity are not depended or very poor depended by temperature. In more common case, when $E = f(T)$, it is necessary to use the next equations

$$T_g^u = T_g^* \left[\frac{E(T_g^u)}{E(T_g^*)} + \frac{\rho_p C_p v_o v' N_A}{(1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s) E(T_g^*)} \right], \quad (9)$$

$$T_g^n = T_g^* \left[\frac{E(T_g^u)}{E(T_g^*)} + (\rho_p v_o^2 v' N_A / E(T_g^*)) \right], \quad (10)$$

These equations are rather simple and have two main parameters: activation energy of viscous fluidity and vacation volume. Therefore, vacation volume is more depending on particle velocity; as more activation energy of viscous fluidity as less must be a change of glassing temperature point at an increase of particle velocity. The linear character of dependence $T_g(P)$ at rather vast pressure interval confirmed by crystallization beginning on Fe₈₀ - B₂₀ alloys at pressure up to 2,5 GPa is about 15 K/GPa. In high velocity thermal spray processes the value of developed impact pressure could be from 5 to 25 GPa, as the value of head pressure from 1 to 10 GPa [8]. Therefore, a delay of crystallization in these conditions could be about 300 K. The thick layers up to 2 mm, and more of metal glasses from powders Fe₈₇ - P_{10,5} - C_{2,5}; Fe₉₂ - B₄ - C₄ and Fe₇₆ - P₁₈ - C₅ were obtained by Detonation Gun Spraying.

As shown in [10] by applying of hydrostatic pressure it is possible to control the glassing temperature point, and, therefore, to control liquid - glass transformation. But this transformation shall be depending from the character of melting point change with pressure increase. At that the significant role should have the value of difference between melting point T_m and T_g ; as more this difference as more difficult to realize the liquid - glass transformation, because it is necessary to have higher cooling rate [11].

As shown in [10,12], the velocity of crystal phase nucleus formation is expected as,

$$T_g = T_g^* \frac{E(T_g) + W + p v' N_A}{E(T_g^*) + W^*}, \quad (11)$$

where W^* and W are the height of potential barrier for the crystal phase nucleus formation at

$P = 0$ and $P \neq 0$ respectively. Since in the glass region when $P = 0, W^* \ll E(T_g^*)$, and as $W \sim 1/p^2$, this equation with respect (4) and (5) could be transformed in (9) and (10).

As the melting point T_m changed with pressure increase, it is necessary for crystallization suppression to decrease the temperature difference $\Delta T(P)$ that at $P \rightarrow \infty$ it aspires to zero. In this case cooling rate for liquid transition at glass state could be very small.

In [10] by using some literature data it is shown, that $\Delta T \approx 0$ if $P \approx P_{cr}$:

element	Li	K	Na	Rb	Se
P_{cr} , GPa	580	160	300	110	4,3

For Se the activation energy value is accepted 2.5-kJ/mole [13], as in reality it could be a few times more. In some cases it is not necessary to exclude the opportunity of obtaining of complex glass structure materials at about small pressure [14].

The existence of pressure P_{cr} when $\Delta T = 0$ is testifying that an applying of hydrostatic pressure decrease the cooling rate which necessary to transit a liquid to glass state. For example, the fully glass state samples of gallium antimonide were obtained by quenching of melt at 1270...1420 K with cooling rate $10^2 \dots 10^3 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ at pressure interval 7,7...9,2 GPa. In case of quenching of indium antimonide and zinc selenide also were observed the structure disordering as obtaining of fully glass phase was failed.

According to calculations of kinetics of metal glass crystallization the time of crystallization of volume part X of liquid is equal [10,12,15]

$$\tau_{x_0} = K \exp[(E + W^*/4)/RT] X^{1/4}, \quad (12)$$

where K is constant, which poorly depends from pressure.

If accept, that solidification of sprayed particles is happening at similar to static pressure, the crystallization duration in time of impulse pressure influence will be, as

$$\tau_x^u = \tau_{x_0} \exp\left[\frac{3\rho_p C_p v_o v' N_A}{4(1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s) RT}\right], \quad (13)$$

and in time of head pressure influence

$$\tau_x^h = \tau_{x_0} \exp\left[\frac{3\rho_p v_o^2 v_m N_A}{4RT}\right]. \quad (14)$$

Therefore, the cooling rate in time of impulse pressure influence

$$\dot{T}_{\min}(v_o) \cong \dot{T}_{\min} \exp\left[-\frac{3\rho_p C_p v_o v_m N_A}{4(1 + \rho_p C_p / \rho_s C_s) RT}\right], \quad (15)$$

and in time of head pressure influence

$$\dot{T}_{\min}(v_o) \cong \dot{T}_{\min} \exp\left[-\frac{3\rho_p v_o^2 v_m N_A}{4RT}\right]. \quad (16)$$

where $\dot{T}_{\min} = (T_m - T_{\min})/\tau_{x_{\min}}$ is a minimum cooling rate of melt at $x = 10^{-6}$; $\tau_{x_{\min}}, T_{\min}$ are coordinates of minimum value τ_x on curve, $\tau_x(T)$.

All that the dependencies of T_m and T_{\min} from pressure were not take into account. It could be possible when $P \cong \frac{4}{3} RT$ and change of exponent part of (15) and (16) will predominate and, therefore, the cooling rate which necessary for liquid - glass state transformation is less than at atmosphere pressure conditions.

Linear increase of T_g in accordance with (13) and exponent decrease of T_{min} in accordance with (15) and (16) will be observed only if in given intervals of pressure and temperature is not take place of structure transition from one crystal phase in other. The presence of those phase transformation could lead to gallop change of glassing temperature.

The main role in amorphisation dynamic of ultrarapid quenching of liquid alloys is having a convection, as it influenced at temperature and composition on boundary between liquid and solid phases. The convection movement the one's own turn connected with struggle between external conditions of cooling (forced convection) and internal processes (natural convection). At critical cooling rates it could be unregular, which lead to occasional changes of temperature and concentration. It is causing the formation of crystal structure defects and formation of intermediate layer between solid and liquids, as on their boundary is supported the unequilibrium phase (mesophase) [6]. Therefore, the high velocity thermal spraying methods are having advantage, as a radial flattening particles velocity is more higher than normal impact speed.

Conclusions:

1. In conditions of high velocity impact of melted particles the solidification process is going by influence of high pressure; it's increasing cooling rate and frequency of nucleus origin.
2. The perspectives of high velocity thermal spray methods for material amorphisation are caused by a large speed of particle radial flattening at impact with substrate and formation of mesophase on boundary liquid – solid.

References

1. Харламов Ю.А. Процессы соударения частиц с поверхностью детали при газотермическом нанесении покрытий // Известия СО АН СССР. Серия техн. Наук. – 1988. - № 11, вып.3. – С.71-80.
2. Ковнеристый Ю.К., Осипов Э.К., Трофимова Е.А. Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов. – М.: Наука, 1983. – 145 с.
3. Аморфные металлические материалы. – М.: Наука, 1984. – 158 с.
4. Осипов К.А. Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы. – М.: Наука, 1972. – 76 с.
5. Сверхбыстрая закалка жидких сплавов: Под ред. Германа Г. – М.: Металлургия, 1986. – 375 с.
6. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин, А.А. Оксогоев. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
7. Шоршоров М.Х., Манохин А.И. Теория неравновесной кристаллизации плоского слитка. – М.: Наука, 1992. – 103 с.
8. Харламов Ю.А. О моделировании процесса соударения частиц с поверхностью при газотермическом нанесении покрытий // Физика и химия обработки материалов. – 1980. - №4. – С.84-89.
9. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. – Л.: Наука, 1968. – 266 с.
10. Курилов А.Н. Влияние давления на переход из жидкого состояния в стеклообразное // Физика и химия обработки материалов. – 1988. - №5. – с.152-155.
11. Cedergen M., Backstrom G. Crystallization temperature of amorphous $Fe_{80}B_{20}$ underpressure // J. Of Non-Cryst. Solids. 1978. V.10. N.1. P.69-76.
12. Скрипов В.П., Коверда В.П. Спонтанная кристаллизация переохлажденных жидкостей. – М.: Наука, 1984. – 232 с.

13. Манов В.П., Попель С.И., Гулер П.И. Оценка температуры стеклования металлов // Известия АН СССР. Металлы. – 1986. №1. – С.76-78.

14. Блок С., Пьедмарини Г. Алмазные наковальни открывают новые возможности в физике высоких давлений // Успехи физических наук, 1979. – Т.127, вып. 4. – С.717.
Uhlmann D.R. A kinetic treatment of glass formation // J. Of Non-Cryst. Solids. 1972. V.7. N.2. P.337-348.

TRODIMENZIONALNO MODELIRANJE PROCESA DEFORMISANJA METODOM KONAČNIH ELEMENATA¹

M. Vukčević, P. Hartley, V. Domazetović, M. Janjić²

Rezime

U radu je dato trodimenzionalno modeliranje procesa deformisanja metodom konačnih elemenata. Date su teorijske osnove elastično-plastičnog pristupa metode konačnih elemenata i opisan je razvijeni programski paket. Korišćenjem navedenog paketa dobijeni su rezultati za karakterističan oblik kalupa i grafički su predstavljeni neki od njih: izgled deformisane mreže, raspored brzina deformacije, generalizovani napon i generalizovana deformacija, u završnoj fazi procesa zapreminskog deformisanja u otvorenim kalupima.

1. UVOD

Da bi se ekonomično projektovali postupci zapreminskog deformisanja, sa aspekta potrošnje energije i materijala, potrebno je izučiti ponašanje materijala i znati međuoblike deformisanog uzorka kao i međusobni uticaj alata i uzoraka u toku procesa deformisanja. Projektovanje se sve više sprovodi uz podršku kompjutera i bazira se na numeričkim metodama koje uzimaju u obzir sve fizičke uslove deformisanja materijala u toku procesa. Sa razvojem kompjutera se posebno razvio *metod konačnih elemenata* (MKE) kao veoma pogodan numerički metod na polju primijenjene mehanike. Cilj primjene MKE u procesima zapreminskog deformisanja je predviđanje sile deformisanja kao i naponske i deformacione distribucije unutar deformacionog tijela i po njegovoj površini. Takođe, može biti riješen i složen problem određivanja izmjene geometrije slobodne površine. MKE se može prilagoditi na komplikovanu geometriju deformisanih uzoraka, a isto tako i na razne granične uslove. To znači, moguće je doći do egzaktnih informacija, ranije samo eksperimentom dostupnih.

Korišćenje metoda konačnih elemenata počinje 60-ih godina. Jedan od prvih prilaza problemu je bio postupak zasnovan na elasto-plastičnom modelu materijala, a razvili su ga Marcal i King [1]. U posljednje vrijeme urađen je veliki broj radova [5,3,4,5] u cilju što boljeg prilagođavanja elasto-plastične formulacije MKE problemima zapreminskog deformisanja. U ovom radu se izlažu osnovni principi elasto-plastične formulacije i rezultati dobijeni

¹ Prpjekat: "ISTRAŽIVANJE NAPONSKO DEFORMACIONIH PARAMETARA U PROCESIMA ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA. Rukovodilac Projekta prof. dr Vuko Domazetović. Ministarstvo prosvjete i nauke Republike Crne Gore, Podgorica, 2000.

² Prof. dr Milan Vukčević, prof. dr Vuko Domazetović, mr Mileta Janjić, Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet u Podgorici
Dr. Peter Hartley, University of Birmingham, School of Manufacturing and Mechanical Engineering, UK

razvijenog softvera EESY-FORM na School of Manufacturing and Mechanical Engineering - University of Birmingham (UK).

2. TEORIJSKE OSNOVE

Kod elastično-plastične formulacije MKE mogu se javiti problemi vezani prije svega za veličinu deformacionog inkrementa. Relativno mali inkrement deformacije uslovljava suviše veliko kompjutersko vrijeme. S druge strane može se postaviti pitanje valjanosti elastoplastične formulacije kada se primjenjuje u situacijama koje povlače korišćenje konačnih deformacija.

U cilju prevazilaženja ovih problema izvedena je iz teorije konačno-deformaciona elastično-plastična formulacija [6,7], koja uključuje niz postavki. Korišteni su: generalizovani naponi (1), generalizovane deformacije (2), Mises kriterijum plastičnog tečenja (3) i Prandtl-Reuss jednačine (4).

$$\bar{\sigma} = \left(\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$d\bar{\epsilon}^P = \left(\frac{3}{2} d\bar{\epsilon}^P_{ij} d\bar{\epsilon}^P_{ij} \right)^{1/2}, \quad \bar{\epsilon}^P = \int d\bar{\epsilon}^P \quad (2)$$

$$\frac{3}{2} \sigma'_{ij} \sigma'_{ij} = R_{eH}^2 \quad (3)$$

$$d\epsilon'_{ij} = \frac{1}{2G} d\sigma'_{ij} + \sigma'_{ij} d\lambda, \quad d\epsilon'_{ii} = \frac{1-2\nu}{E} d\sigma_{ii} \quad (4)$$

gdje su:

- $\bar{\sigma}$ - generalizovani naponi,
- σ'_{ij} - komponente devijatora napona
- $d\bar{\epsilon}^P$ - generalizovani inkrement plastične deformacije
- $d\bar{\epsilon}$ - generalizovana plastična deformacija
- R_{eH} - napon tečenja pri prostom istezanju u funkciji od deformacije, brzine deformacije i temperature
- ϵ'_{ij} - komponente devijatora deformacija
- G - modul smicanja
- $d\lambda$ - faktor proporcionalnosti
- $\sigma_{ii}, \epsilon_{ii}$ - normalni naponi i linijske deformacije
- E - Young modul elastičnosti
- ν - Poisson odnos

S obzirom da je većina procesa zapreminskog deformisanja praćena izraženom nelinearnošću, proces je redukovano na niz linearizovanih koraka. Korišten je pristup Lagranža, pa je pomjeranje tačke elementa izraženo preko referentnih koordinata elemenata na početku deformisanja. Ovo dovodi do mogućnosti izražavanja konačnih deformacija, gdje su inkrementalne jednačine izvedene na osnovu elasto-plastičnih konstitutivnih relacija (1-4). Jednačine krutosti elemenata mogu biti napisane u obliku [6,8]:

$$\Delta f_{Im} = \left(K_{ImJn}^{(\epsilon)} + K_{ImJn}^{(\sigma)} + K_{ImJn}^{(\phi)} \right) \Delta d_{Jn} \quad (5)$$

Veličine Δf i Δd se odnose na izmjenu sile i pomjeranje u toku posmatranog inkrementa. Sa velikim slovima se označavaju čvorovi, a malim dekartove koordinate posmatrane veličine. Jednačina (5) sadrži tri člana respektivno:

- deformacionu matricu krutosti,
- korekcionu matricu naponskog inkrementa i
- korekcionu matricu konstantne zapremine.

Materijal se specificira preko krivih koje mogu biti date na tri načina:

- kao složena funkcija napona tečenja i plastičnih deformacija koja je poznata iz ranijih istraživanja,
- neposredno na osnovu empirijski dobijenih zavisnosti napona tečenja i plastičnih deformacija i
- kao složena funkcija napona tečenja od plastičnih deformacija, brzine deformacije i temperature.

Ovdje se posmatra prvi slučaj elastično-plastične ojačavajuće sredine.

Granični uslovi se definišu preko faktora trenja m koji je određen relacijom:

$$T_s = m T_{sH} \quad (6)$$

gdje je

T_s - napon smicanja

$T_{sH} = \frac{1}{\sqrt{3}} R_{sH}$ - napon tečenja pri smicanju.

Faktor trenja može imati tri vrijednosti:

$m=0$ - nulto trenje kada čvor klizi po površini

$m=1$ - trenje lijepljenja kada je kretanje čvora po površini u odnosu na površinu nula

$0 < m < 1$ - međuvrijednosti

Kulonovo trenje nije najpogodniji način modeliranja graničnih uslova u obradi deformisanjem zbog pojave velikih normalnih napona. U najvećem broju slučajeva utvrđeno je da važi zakonitost (6); te je faktor m posebno pogodan.

Koriste se 3D, linearni izoparametarski elementi [4]. Funkcija oblika za neku tačku unutar ovog elementa je data relacijom:

$$N_i(\xi, \eta, \zeta) = \frac{1}{8} (1 + \xi \xi_i)(1 + \eta \eta_i)(1 + \zeta \zeta_i) \quad (7)$$

gdje su:

ξ, η i ζ - lokalne koordinate.

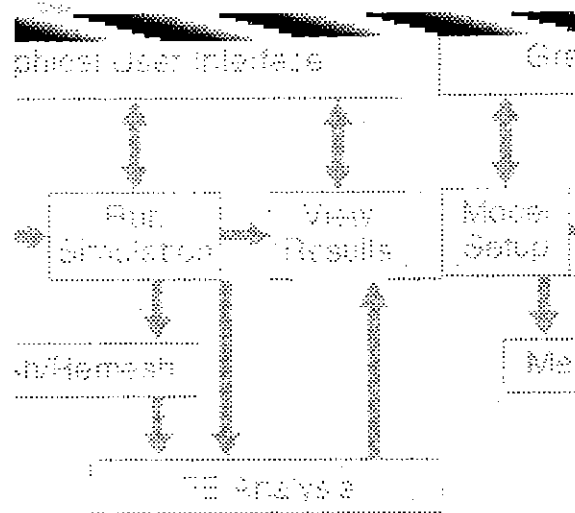
Matrice krutosti i vektori sile pojedinih konačnih elemenata se uklapaju u globalne matrice krutosti i vektor sile, pri čemu se uvažava princip minimalne širine matrice krutosti, a zatim rješavaju po nepoznatim pomjeranjima metodom Gausove eliminacije [9].

3. OPIS METODOLOGIJE SIMULACIJE

3.1. Organizacija sistema

Pri razvoju simulacionog paketa cilj je bio napraviti što jednostavniju proceduru simulacije. Nastojalo se minimizirati količinu informacija koja se zahtijeva da ih unese

korisnik na odgovarajući način. Informacije su definisane na najpogodniji način za korisnika [10].



Sl.1 Blok dijagram paketa EESY-FORM za simulaciju obrade deformisanjem

Sl.1 Prikazuje organizaciju programa i interakciju između različitih komponenti. Postoje tri modula pri čemu se svaki od njih odnosi na određeni aspekt simulacione procedure. To su:

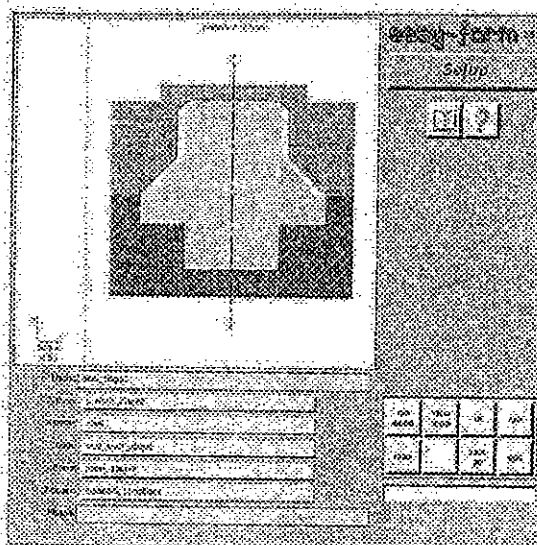
1. *Model setup.* Ovaj modul omogućava korisniku da definiše proces obrade deformisanjem koji će biti simuliran.
2. *Run simulation.* Ovaj modul omogućava kreiranje fajla podataka za konačne elemente od informacija koje su definisane u Model setup-u.
3. *View results.* Ovaj modul prikazuje rezultate simulacije MKE na način koji je najpogodniji za korisnika.

Postoje dvije situacije u kojima se kreira mreža konačnih elemenata. Prvo, mreža se postavlja na početni oblik elementa koji se deformiše. Drugo, mreža može biti postavljena na deformisanom uzorku kroz proces *re-meshing*-a tokom trajanja simulacije u kom slučaju ona predstavlja oblik deformisanog uzorka. Procedura postavljanja mreže izvodi se na identičan način u obje ove situacije.

Ovaj simulacioni paket koristi prethodno razvijeni program EPFEP3. On je zasnovan na elasto-plastičnom prilazu za termomehaničko modeliranje široke klase deformacionih procesa.

3.2. Definicija modela

Ovaj dio programa zahtijeva više inputa od korisnika koje moraju biti pažljivo unešene na predviđen način. Izgled ekrana za gornji nivo ovog modula je prikazan na sl.2 [10].



Sl.2 Izgled ekrana za gornji nivo modula za specifikaciju deformativne simulacije

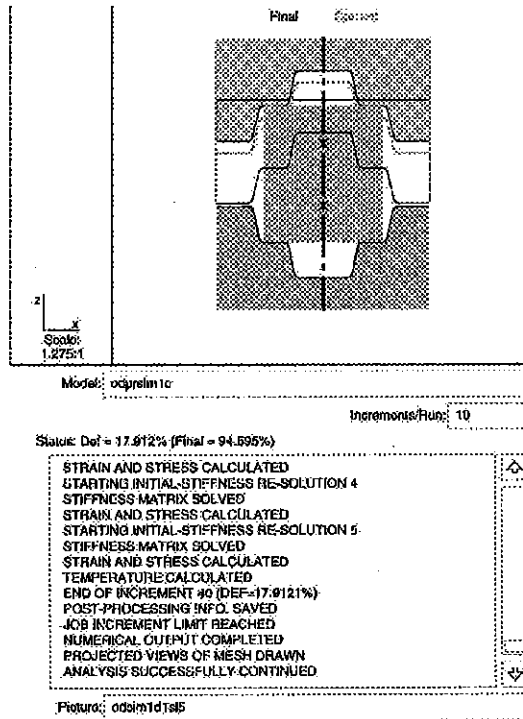
Kao što se može vidjeti sa slike postoji pet komponenti modela koje moraju biti specificirane. To su:

1. *Preform.* Geometrija inicijalnog priprema za posmatranu operaciju deformisanja. Geometrija je specificirana preko serije profila koji definišu longitudinalni presjek priprema za različite uglove. Profili su opisani preko tačaka povezanim pravolinijskim segmentima sa ili bez ugaonih lukova. Koordinate tačaka profila mogu biti unesene direktno (što bi bio slučaj početnog oblika) ili unesene automatski iz rezultata prethodne simulacije. Kasnije paket obezbeđuje da stanje svih varijabli (deformacije, naponi, temperatura itd.) se prenose i koriste kao inicijalne vrijednosti za simulacije koje slijede. Na ovaj način je pogodno modelirati višefazne procese.
2. *Material.* Ove vrijednosti definišu elastično, termičko i plastino ponašanje materijala. Zadaju se krive ojačavanja korišćenjem jednog od modela: Hensell-Spitell, Swift ili Bingham.
3. *Tools.* Zadaje se oblik površine alata.
4. *Press.* Zadaje se pomjeranje alata sa konstantnom brzinom ili promjenljivom kod koljenaste prese.
5. *Process.* Informacije u ovoj sekciji se odnose na uslove deformisanja uključujući nivo trenja i temperature deformisanja.

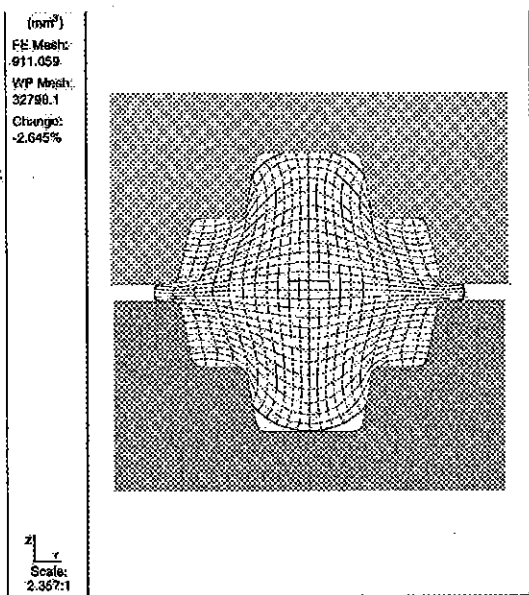
4. PRIMJENA SIMULACIJE

Pomoću razvijenog programa izvršena je 3D simulacija tečenja metala u kalupima prikazanim na sl.3. Korišćeni metal je legura aluminijuma. Pripremak je dimenzija: $\phi 33.4 \times 39.7$ [mm]. Posmatra se proces deformisanja na temperaturi od: $T=440$ [°C], sa podmazivanjem grafitnom mašću, pri čemu koeficijent trenja iznosi $m=0.2$.

Izlazi su dobijeni po koracima za čitav raspon deformisanja, a na sl.4 do sl.7 su dati u završnoj fazi deformisanja.

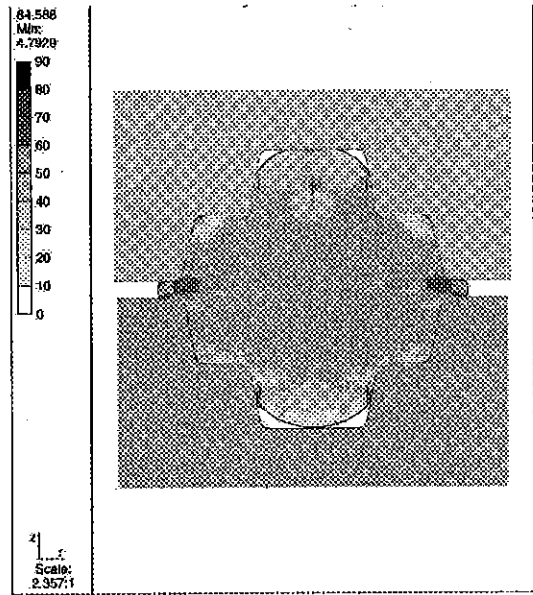


Sl.3 Prikaz priprema u zahvatu sa kalupima prije početka deformisanja



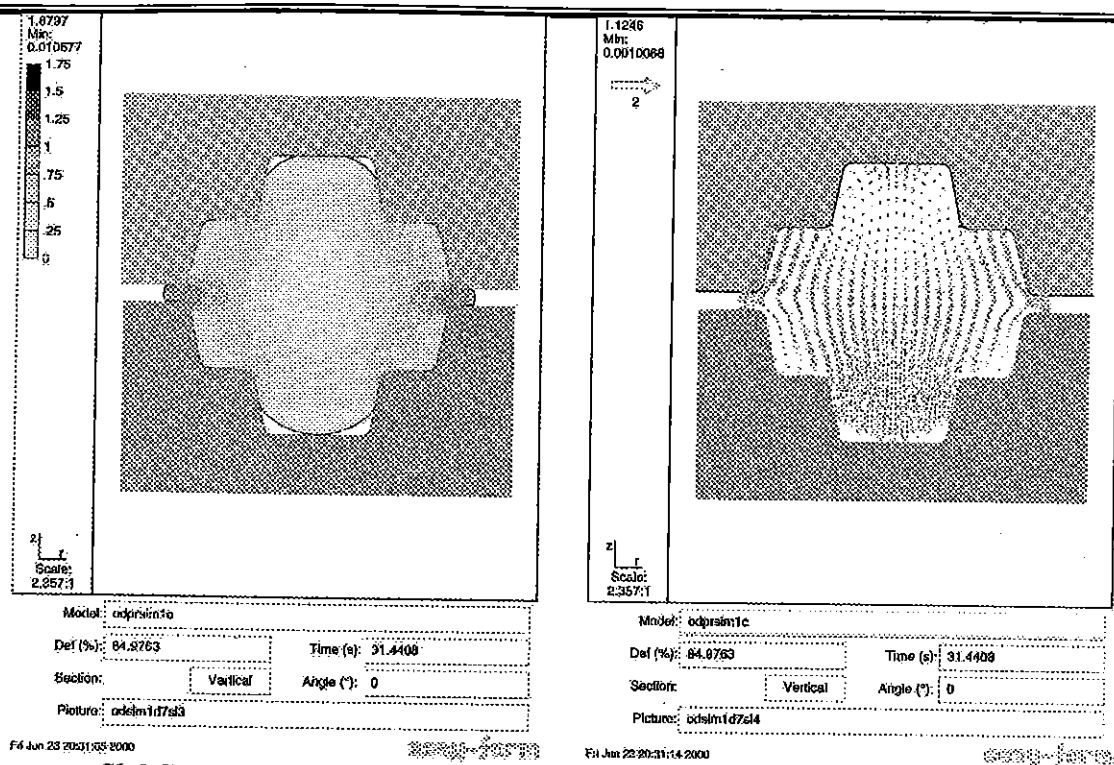
Fri Jun 23 20:59:43 2000

Sl.4 Deformisana mreža u završnoj fazi



Fri Jun 23 20:50:64 2000

Sl.5 Generalisani naponi



Sl.6 Generalisane deformacije

Sl.5 Brzine deformacije

Na sl.4 je dat izgled deformisane mreže za vrijednost deformacije: $\epsilon=84.9763\%$

Program omogućava da se grafički interpretira, na osnovu vrijednosti sračunatih u čvorovima, intenzitet i pravac kretanja djelića materijala po fazama deformisanja. Na sl.5 su prikazani vektori inkrementalnih pomjeranja koji reprezentuju kretanje djelića u navedenoj fazi deformisanja.

Na sl.6 i sl.7 su grafički prezentirani rasporedi veličine generalizovanog napona i generalizovane deformacije kao mjere ukupne vrijednosti ove dvije veličine.

4. ZAKLJUČCI

Program EESY-FORM, napravljen na osnovu elasto-plastične formulacije metode konačnih elemenata, može uspješno da se koristi za simulaciju procesa zapreminskog deformisanja koji su praćeni velikim deformacijama.

U radu je modeliran slučaj zapreminskog deformisanja u otvoreno kalupu za elasto-plastičnu ojačavajuću sredinu. Primjena za pojedine procese zahtijeva uključivanje niza specifičnosti vezanih prije svega za granične uslove.

Vektori inkrementalnih pomjeranja jasno ukazuju na tendenciju kretanja djelića materijala u pravcu najmanjeg otpora.

Grafička interpretacija kontura generalizovanog napona i generalizovane plastične deformacije pokazuje da se maksimalna deformacija na mjestu najvećeg otpora tečenju metala. U ovom slučaju to je zopna vijenca.

Prilikom primjene istaknutog programa na modeliranje pojedinih procesa zapreminskog deformisanja potrebno je uključiti niz specifičnosti vezanih za istraživani slučaj što iziskuje poznavanje, osim metoda konačnih elemenata i fizikalnosti problema.

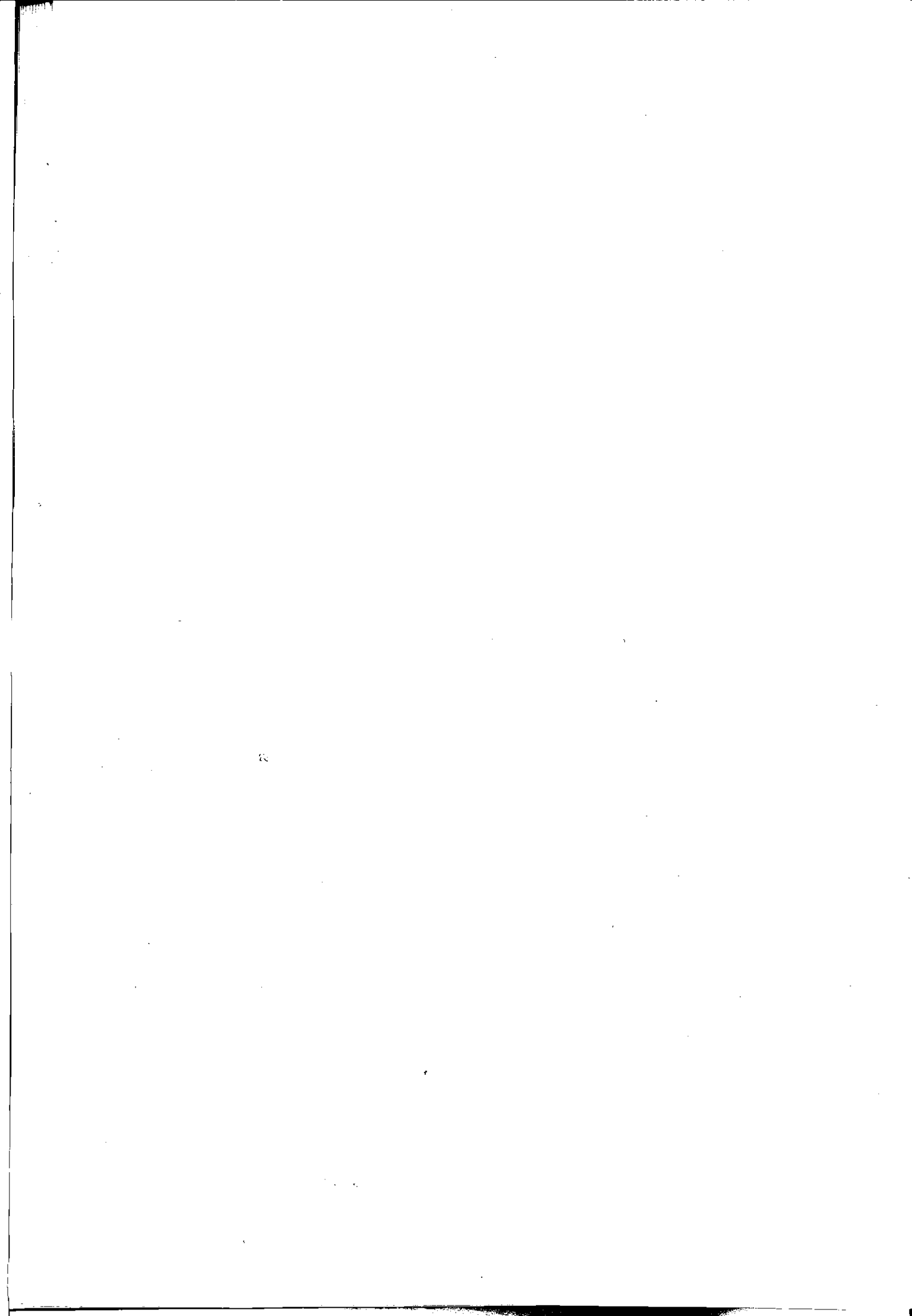
LITERATURA

- [1] P. V. Marcal, I. P. King: Elastic-plastic analysis of two-dimensional stress systems by the FEM, *Int. J. Mech., Sci.*, 31, 1967.
- [2] N. Robelo: Application of elastic-plastic FEM analysis to forming processes, *Int. Comput. Eng. Conf and Exhib.*, Chicago, 1986.
- [3] A. A. Hussin, P. Hartley, C. E. N. Sturges, G. W. Rowe: Non-linear Finite-element analysis in microcomputers for metal forming, *J. Strain Anal. Eng. Des.*, 21, N 4, 1986.
- [4] I. Pillinger, P. Hartley, C. E. N. Sturges: C. E. N., Modelling of Frictional Tool Surfaces in Finite-element Metalforming Analyses, *Modelling of metal forming processes: Proc. of the Eur. Coll.*, Sophia Antipolis, 1988.
- [5] A. Needleman: On Finite Element Formulations for Large Elastic-Plastic Deformations, *Computers and Structures*, Vol. 20, N 1-3, 1972.
- [6] G. W. Rowe, C. E. N. Sturges, P. Hartley, I. Pillinger: Finite-element plasticity and metalforming analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [7] P. Hartley, I. Pillinger, C. E. N. Sturges: Numerical Modelling of Material Deformation Processes, Springer-Verlag, London, 1992.
- [8] A. A. Hussin: Transference on mainframe finite-element elasto-plastic analysis to microcomputers and its application to forging and extrusion, Ph thesis, University of Birmingham, 1986.
- [9] D. R. J. Owen, E. Hinton: Finite element in plasticity, Pineridge Press Limited, Swansea, 1980.
- [10] I. Pillinger, M. Twickler, P. Hartley, G. Arfmann: A Simplified Approach to Modelling Three-Dimensional Forming Operations, *Conf. of Metal Forming*, Krakov, Septembar, 2000.
- [11] M. Janjić, M. Vukčević: Die forging processes deformation analysis, ICIT'99 - International Conference on Industrial Tools, Maribor, Slovenia, 1999.
- [12] M. Vukčević: Elastic-plastic finite-element in metal forming analysis, *Journal for Technology of Plasticity*, Vol. 18, N 1-2, 1993.
- [13] M. Vukčević, P. Hartley: Modeliranje osnosimetričnih problema zapreminskog deformisanja metodom konačnih elemenata, *Tehnika*, N 8-9, 1994.
- [14] M. Vukčević: Metod konačnih elemenata u obradi deformisanjem, *Monografija 25 godina mašinstva u Crnoj Gori*, Podgorica, 1996.
- [15] M. Vukčević: O modeliranju velikih deformacija kod zapreminskog deformisanja, *Tehnika*, 1998.

THREE DIMENSIONAL MODELING METAL FORMING PROCESSES BY FINITE ELEMENT METHOD

Summary

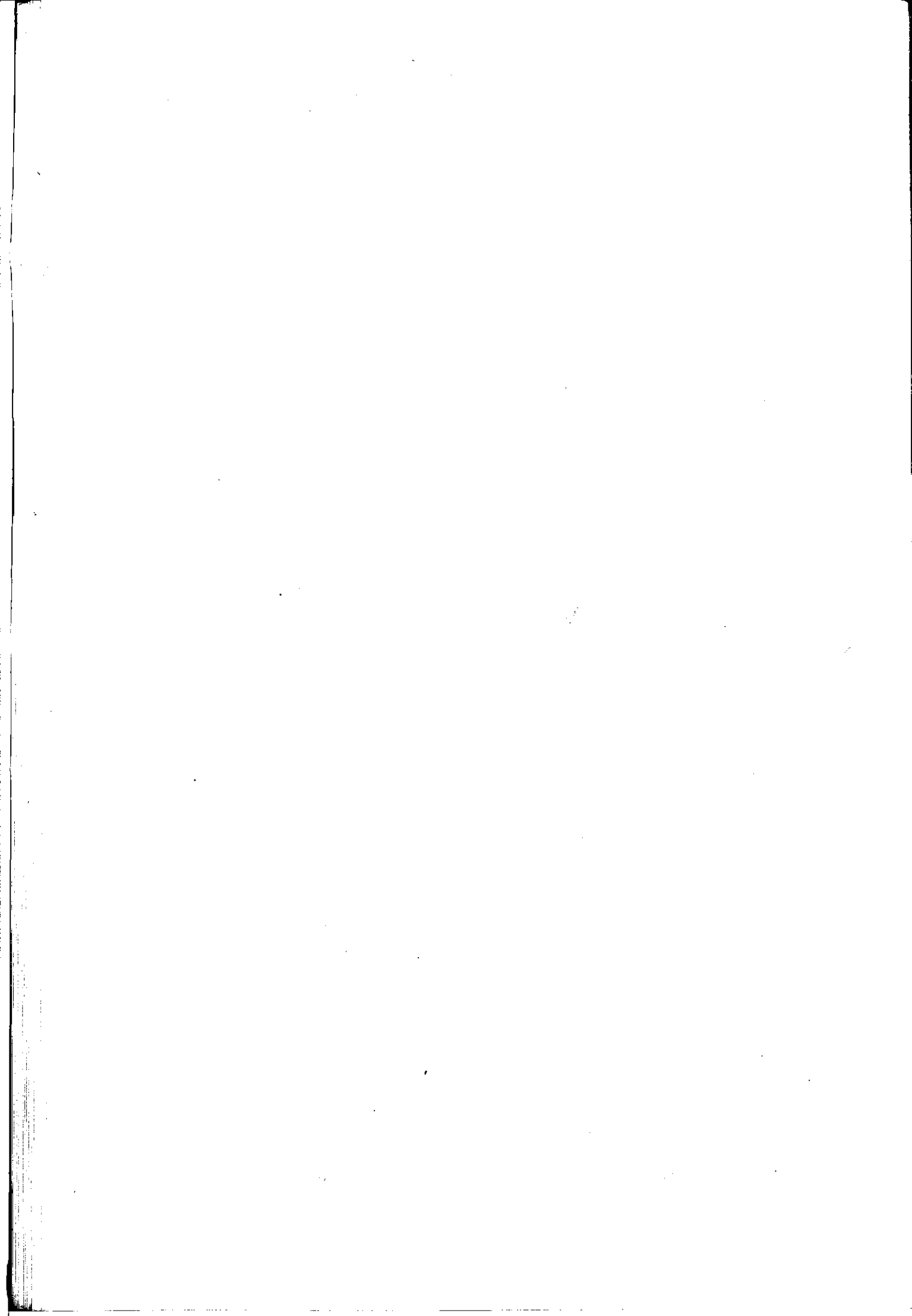
In this paper the three-dimensional modeling of deforming processes by finite element method is given. Theoretical base of elastic plastic finite element method is given and developed program packet is described. Using the product results of characteristic shape of die is given and some of the are graphical presented: deformed net, strain velocity, generalized stress and generalized strain, in the finish phase of bulk metal forming in open die.





**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.**

3. PROIZVODNE TEHNIKE



DINAMIČKI MODEL LINEARNOG VIBRACIONOG KONVEJERA

P. B. Petrović¹⁾

Rezime

Linearni vibracioni konvejeri su vrlo česti u industrijskoj praksi, posebno na automatskim linijama za montažu lakih proizvoda. Rad ovih konvejera je baziran na diskontinualnom mehanizmu kretanja delova - skakutanjem, po ploči koja prostoperiodično osciluje pod određenim uglom u odnosu na pravac kretanja. Ovaj mehanizam kretanja je visoko nelinearan, što stvara probleme u projektovanju i podešavanju ovih sistema u toku eksploatacije. U cilju boljeg razumevanja osnovnog mehanizma rada linearnih vibracionih konvejera, sprovedena su detaljna istraživanja. Deo rezultata, koji se odnosi na problem postavke mehaničkog modela, prezentiran je u ovom radu.

1. UVOD

Manipulacija delovima u okviru automatskih sistema, posebno sistema za automatsku montažu je jedan od najsloženijih inženjerskih problema. Kada se govori o automatskim linijama za montažu, mogućnost automatizacije neke operacije montaže je najčešće uslovljena mogućnošću racionalne i pouzdane automatizacije funkcije manipulacije delom ili podsklopom koji se montira [1], [2], [3].

Transport delova je samo jedna podfunkcija složene funkcije manipulacije delovima u automatskim sistemima. Najčešće korišćeno rešenje, posebno kada se zahteva transport delova na kraćim rastojanjima, je transport pomoću linearnih vibracionih konvejera. Oni su jednostavne konstrukcije, zahtevaju minimalno održavanje i, što je posebno značajno, mogu se primeniti i u slučajevima kada se zahteva reorijentacija dela primenom pasivnih ili aktivnih prepreka.

Rad linearnih vibracionih konvejera povezan je sa vrlo složenim, nelinearnim mehanizmom kretanja delova, koji se ne može precizno modelirati primenom konvencionalnih tehnika mehanike krutog tela. Za projektovanje i optimalno korišćenje linearnih vibracionih konvejera neophodno je potpuno razumevanje principa njihovog rada. U tom kontekstu sprovedena su detaljna istraživanja ovog problema na Katedri za proizvodno mašinstvo Univerziteta u Beogradu. Deo ovih istraživanja koja se odnose na postavku i analizu mehaničkog modela kretanja delova pomoću linearnih vibracionih konvejera izložen je u ovom radu.

2. KONSTRUKCIJA I OSNOVNI PRINCIP RADA

Rad linearnog vibracionog konvejera je baziran na diskontinualnom kretanju delova pod dejstvom prinudnog oscilatornog kretanja ploče po kojoj se delovi transportuju.

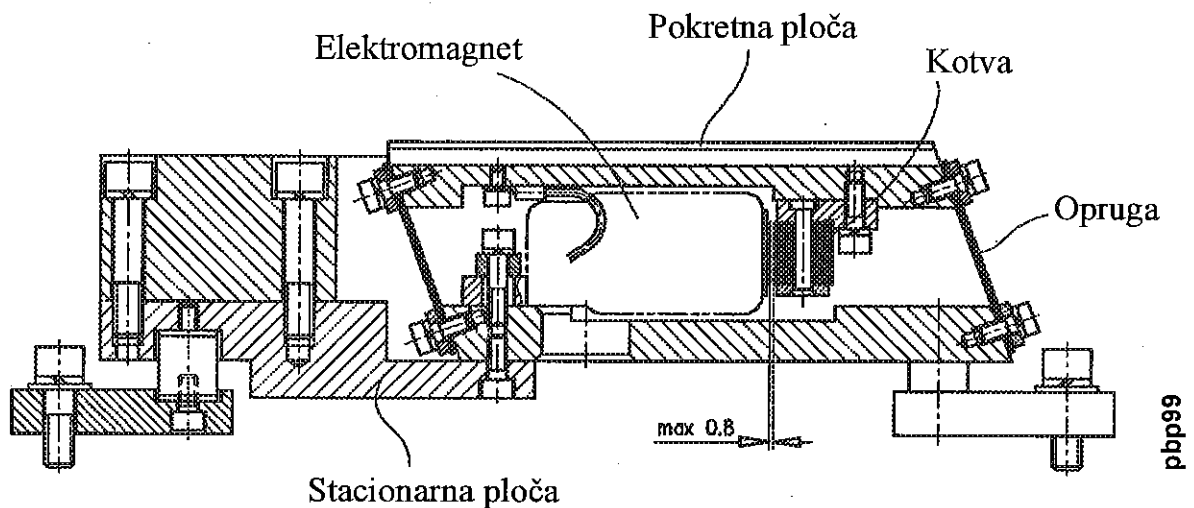
¹⁾ Doc. dr Petar B. Petrović, dipl. ing., Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 27. marta 80, 11000 Beograd, JUGOSLAVIJA; e-mail: petar@cent.mas.bg.ac.yu

Praktično, nizom sudara, koji su usmereni u čeljenom pravcu transporta, delovi se prinudno kreću skakutanjem.

Osnovni konstrukcioni koncept linearnog vibracionog konvejera prikazan je na slici 1. Linearni vibracioni konvejer se sastoji iz stacionarne ploče, pokretne ploče, dve ili više lisnatih opruga koje povezuju stacionarnu i pokretnu ploču i elektromagneta. Lisnate opruge su, u odnosu na vertikalnu ravan, nagnute za ugao α . Elektromagnet koji se napaja naizmeničnom strujom frekvencije od 50 do 120Hz, pričvršćen je za stacionarnu ploču, a kotva je vezana za pokretnu ploču. Pod dejstvom elektromagnetne sile, elastično oslonjena ploča počne da osciluje. Obzirom da su lisnate opruge zakrenute za ugao α u odnosu na vertikalnu osu, oscilatorno kretanje ploče je složeno i sastoji se od horizontalne i vertikalne komponente. Pobudne sile koje se zbog zakrenutosti opruga pojavljuju u u horizontalnoj i verikalnoj ravni pokretne ploče, imaju amplitudu definisanu relacijama:

$$F_H = -F_{EM} \cos \alpha \sin(\omega t), \quad F_V = F_{EM} \sin \alpha \sin(\omega t) \quad (1)$$

pri čemu je F_{EM} - amplituda elektromagnetne sile, α - ugao zakrenutosti lisnate opruge i ω - kručna frekvencija pobudne sile elektromagneta.



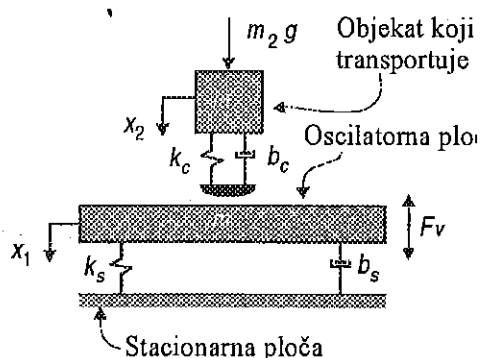
Slika 1. Osnovni konstrukcioni koncept linearnog vibracionog konvejera.

Princip kretanja delova po pokretnoj (oscilatornoj) ploči zasniva se na sledećem mehanizmu (Slika 2): pod dejstvom elektromagnetne sile dolazi do istovremenog kretanja ploče u horizontalnoj i vertikalnoj ravni; usled kretanja u vertikalnoj ravni naniče, pri određenim odnosima kinematskih veličina, doći će do gubljenja kontakta izmedju ploče i dela koji se transportuje, tako da će deo početi da slobodno pada; usled oscilatornog kretanja pokretne ploče, u povratnom delu periode, doći će do ponovnog uspostavljanja kontakta sa; zbog istovremenog kretanja ploče u horizontalnoj ravni, tačka ponovnog kontakta sa pločom neće biti ista, već pomeren za izvesnu vrednost u čeljenom pravcu transporta; pri ponovnom uspostavljanju kontakta dolazi do sudara usled čega se, u zavisnosti od koeficijenta restitucije i koeficijenta trenja, deo odbacuje pod određenim uglom u čeljenom pravcu transporta dela; deo se kreće naviše, u formi kosog hica do ponovnog uspostavljanja kontakta sa oscilatornom pločom sa tačkom kontakta koja se razlikuje od inicijalne; ovaj mehanizam skakutanja se dalje ponavlja. Proces kretanja skakutanjem se može posmatrati kao haotični proces izazvan "sudarom" dinamika dva podsistema - podsistema pokretne ploče konvejera i podsistema dela koji se transportuje. Ovaj proces je jako uslovljen mehaničkim karakteristikama pokretne ploče i dela koji se transportuje, kao i mehaničkim svojstvima njihove neholonomne veze. U zavisnosti od vrednosti parametara ovakvog dinamičkog sistema, rezultatno kretanje dela koji se transportuje u horizontalnoj ravni može da bude 1) kretanje u pravcu suprotnom od željenog, 2) uslovno mirovanje i 3) kretanje u željenom pravcu. Da bi se postiglo kretanje dela u željenom pravcu projektovanom ili maksimalnom brzinom, neophodno je da međjusobni

odnos dinamičkih veličina razmatranih podsistema bude precizno određen. Ovaj zadatak se može rešiti samo poznavanjem odgovarajućeg mehaničkog modela.

3. DINAMIČKI MODEL

U okviru [4] naveden je aproksimativni dinamički model procesa kretanja delova u vibracionom dodavaču, koji je u osnovi sličan kretanju delova na linearnom vibracionom konvejeru. Ovaj model predstavlja vrlo grubu aproksimaciju stvarnog procesa i njegova osnovna vrednost je jednostavnost i mogućnost dobijanja analitičkog rešenja. Za precizniju analizu fenomena kretanja delova na vibracionom konvejeru razvijen je poseban dinamički model u kome su modelirana elastomehanička svojstva i dinamičko trenje kontaktne zone.



Slika 3. Model ortogonalne ravni.

Zadržana je samo jedna značajna aproksimacija – deo koji se transportuje je koncentrisana masa koja nema tendenciju kotrljanja. Prvo su postavljeni parcijalni dinamički modeli ortogonalne i tangencijalne ravni kontakta objekata, a zatim je formiran spregnuti model.

3.1 Model ortogonalne ravni

U ortogonalnoj ravni modelira se sudar pokretne ploče i dela koji se transportuje. Model ortogonalne ravni je prikazan na slici 3. Na osnovu ovog modela moguće je formiranje sledećeg sistema diferencijalnih jednačina drugog reda.

$$m_1 \ddot{x}_1 = -(b_s + b_c) \dot{x}_1 + b_c \dot{x}_2 - (k_s + k_c) x_1 + k_c x_2 + F_v \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = b_c (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_c (x_1 - x_2) + m_2 g \quad (3)$$

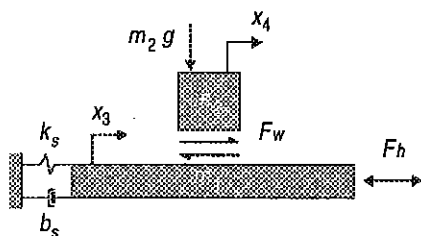
Značenje pojedinih veličina je definisano na slici 3. Neholonomna veza objekata je modelirana kao elastični Hertz-ov kontakt, sa konstantnom krutošću kontaktne zone K_H :

$$k_c = \begin{cases} K_H, & (x_1 - x_2) < 0 \\ 0 & (x_1 - x_2) \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

sa viskoznom prigušenjem koje postoji samo u kompresionoj fazi sudara i konstantom proporcionalnosti B_H :

$$b_c = \begin{cases} B_H, & (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) < 0 \\ 0 & (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Detalji se mogu naći u okviru Š5Ć



Slika 4. Model tangencijalne ravni.

3.2. Model tangencijalne ravni

U tangencijalnoj ravni modelira se klizanje pokretne ploče i dela koji se transportuje. Model ortogonalne ravni je prikazan na slici 4. Na osnovu ovog modela formira se sledeći sistem diferencijalnih jednačina drugog reda.

$$m_1 \ddot{x}_3 = -b_s \dot{x}_3 - k_s x_3 - F_w + F_H \quad (6)$$

$$m_2 \ddot{x}_4 = -F_w \quad (7)$$

Značenje pojedinih veličina je definisano na slici 4. Model dinamičkog trenja definisan je sledećom relacijom:

$$F_w = \begin{cases} F_N \mu_s, & |(\dot{x}_3 - \dot{x}_4)| \leq v_1 \\ F_N \mu_d, & |(\dot{x}_3 - \dot{x}_4)| < v_1 \end{cases} \quad (8)$$

Detaljniji opis usvojenog modela trenja dat je u okviru [5].

3.2 Spregnuti dinamički model

Sprezanje tangencijalne i ortogonalne ravni kretanja oscilatorne ploče i dela koji se transportuje ostvaruje se preko normalne komponente kontaktne sile koja je prisutna u izrazu za silu trenja (8). Normalna komponenta kontaktne sile definisana je relacijom:

$$F_N = b_c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_c(x_2 - x_1) \quad (9)$$

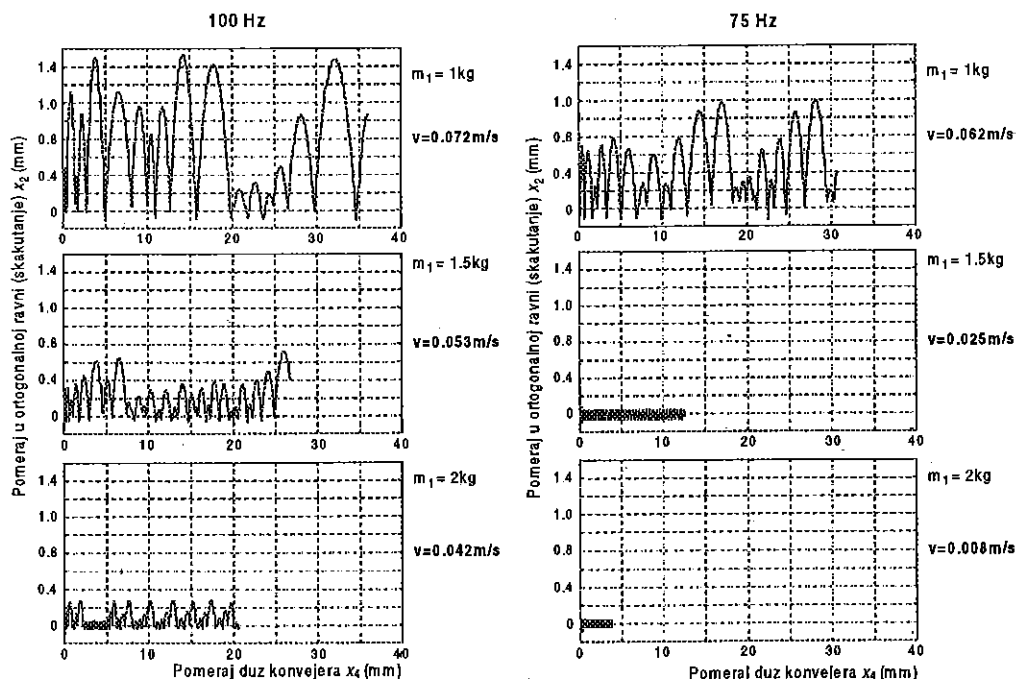
i predstavlja zbir otpora elastičnog deformisanja kontaktne zone i disipativne komponente koja postoji samo u kompresionoj fazi i proporcionalna je brzini deformisanja.

4. INTEGRACIJA DINAMIČKOG MODELA

Postavljeni dinamički model procesa kretanja delova na linearnom vibracionom konvejeru je visoko nelinearan i ne može se integrirati analitičkim putem. jedina mogućnost integracije ovog modela je primena neke od numeričkih metoda. Najpogodnija metoda za ovakve primene je metoda Runge-Kutta i to Fehlberg-ova varijanta ove metode sa promenljivim korakom integracije i zadatom greškom. Zadavanje greške integracije je od esencijalnog značaja za modele u kojima postoji sudar objekata, gde dolazi do naglih i intenzivnih promena svih dinamičkih veličina. Primena numeričkih metoda za rešavanje diferencijalnih jednačina višeg reda zahteva njihovo prethodno svodjenje na ekvivalentni sistem prvog reda u Koshi-jevo formi. Uvodjenjem smena:

$$u_1 = x_1, u_2 = \dot{x}_1, u_3 = x_2, u_4 = \dot{x}_2, u_5 = x_3, u_6 = \dot{x}_3, u_7 = x_4, u_8 = \dot{x}_4 \quad (10)$$

sistem diferencijalnih jednačina drugog reda (2), (3), (6) i (7) dobija oblik:



Slika 5. Primer trajektorija kretanja zavrtnja M3.5x8 na linearnom vibracionom konvejeru za tri različite vrednosti mase pokretne ploče i dve različite vrednosti pobudne frekvencije.

$$\dot{u}_1 = u_2$$

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{u}_2 &= -(k_s + k_c)u_1 - (b_s + b_c)u_2 + k_c u_3 + b_c u_4 + F_v \\
\dot{u}_3 &= u_4 \\
m_2 \ddot{u}_4 &= k_c u_1 + b_c u_2 - k_c u_3 - b_c u_4 + m_2 g \\
\dot{u}_5 &= u_6 \\
m_1 \ddot{u}_6 &= -k_s u_5 - b_s u_6 - F_w + F_H \\
\dot{u}_7 &= u_8 \\
m_2 \ddot{u}_8 &= -F_w
\end{aligned} \tag{11}$$

koji se dalje dovodi na matricni oblik pogodan za rešavanje pomoću računara:

$$\dot{u} = Au + b \tag{12}$$

gde je $u = [u_1 \dots u_8]^T$ - vektor generalisanih koordinata, $\dot{u} = du/dt$ - vektor generalisanih brzina, A - matrica konstanti sistema i $b = [0 \ F_v \ 0 \ m_2 g \ 0 \ F_H - F_w \ 0 \ F_w]^T$ - vektor nelinearnih funkcija.

5. SIMULACIONI REZULTATI

Na osnovu razvijenog dinamičkog modela sprovedeni su opsežni simulacioni eksperimenti u cilju identifikacije osnovnih zavisnosti izmedju pojedinih dinamičkih parametara. Zbog ograničenog prostora, na slici 5 navedeni su samo dijagrami koji prikazuju simulirane trajektorije kretanja delova na jednom konkretnom primeru transporta zavrtnjeva M3.5x8 pomoću linearnog vibracionog konvejera razvijenog na Mašinskom fakultetu u Beogradu za potrebe firme Metalka Majur, Jagodina. Dobijeni rezultati pokazuju odlično slaganje sa eksperimentalno izmerenim vrednostima brzine transporta.

6. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan dinamički model procesa kretanja delova na linearnom vibracionom konvejeru. Modelom je obuhvaćen kompletni model sudara u ortogonalnoj ravni, dinamički model klizanja u tangencijalnoj ravni i spregnuti model koji povezuje ova dva parcijalna modela. U cilju integracije ovog modela na računaru izvršeno je njegovo svodjenje na ekvivalentni model prvog reda u Koshi-jevoj formi. Na osnovu sprovedenih simulacionih eksperimenata i poredjenjem sa eksperimentalno izmerenim vrednostima potvrđena je zadovoljavajuća verodostojnost modela. Ovako postavljen model predstavlja kvalitetan alat za proučavanje, projektovanje i podešavanje linearnih vibracionih konvejera.

REFERENCE

- [1] Nof, S.Y., Wilhelm, W.E., Warnecke, H.-J., 1997, Industrial Assembly, Chapman & Hall, London, UK.
- [2] Zanger, D. and Dewhurst, P., 1984, Automatic Handling of Parts for Robot Assembly, CIRP Annals, Vol. 33/1: 279-281.
- [3] Yeong, M.Y. and De Vries, W.R., 1994, A Methodology for Part Feeder Design, CIRP Annals, Vol. 43/1: 19-22.
- [4] Boothroyd, G., Poli, C., and Murch, L.E., 1982, Automatic Assembly, Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- [5] Petrović, P.B., 1999, Inteligentni sistemi za montaču, Knjiga 7 u seriji monografskih dela Inteligentni tehnološki sistemi, Mašinski fakultet univerziteta u Beogradu.

DYNAMICAL MODEL OF LINEAR VIBRATORY CONVEYOR

Abstract: Linear vibratory conveyors are very frequent in industrial praxis, especially on small part assembly lines. The working principle of this conveyors are based on discontinued part movement principle, i.e., jumping over the plate which is forced to oscillate in the direction inclined for certain angle to the part conveying direction. This working principle is highly nonlinear, making itself lot of problems in design and tuning of linear vibratory conveyors. In order to better understand the basic working principle the extensive study was carried out. The part of results from this study related to the problem of modelling is presented in this paper.

REKONSTRUKCIJA SISTEMA UPRAVLJANJA PRESAMA

D. Temeljkovski¹, V. Avramović², S. Randelović³, Lj. Spasić⁴

REZIME

Predhodna generacija presa svojim sistemom za upravljanje ne obezbeđuje bezbedan rad opslužioca. Iz tih razloga je izvršena rekonstrukcija i tehničko usavršavanje sistema upravljanja čiji je cilj da ostvari potpunu bezbednost na radu u saglasnosti sa pozitivnim zaštitnim propisima i propisima o zaštiti na radu (ZNR). Osnovni princip ovog rešenja sastoji se u onemogućavanju opslužioca da postavi svoje ekstremitete u opasnu zonu mašine za opasno vreme. Sistem je prvo izveden pri rekonstrukciji prese sa obrtnim klinom od 200kN (projektant i izvođač radova MIN ad FAM), a uz izvesnu adaptaciju moguće ga je izvesti i na svim ostalim tipovima presa.

1. UVOD

Prese sa obrtnim klinom spadaju u grupu mašina kod kojih nije u osnovnom izvođenju rešen sistem upravljanja u skladu sa važećim zakonskim normativima i propisima, ali koje se i dalje koriste jer su sastavni delovi radnih sistema.

To je slučaj i sa presom EP20 čiji je vlasnik FRAD-Aleksinac. Po njihovom zahtevu u MIN Holding AD FAM izvršen je remont prese i rekonstrukcija sistema upravljanja. Sam sistem upravljanja izveden je tako da može da se primeni i na drugim mašinama za obradu materijala plastičnim deformisanjem.

2. OPŠTI PODACI MAŠINE

2.1. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MAŠINE

Mašina spada u grupu ekscentar presa sa obrtnim klinom. Proizvedena je 1961.god. Proizvođač mašine je 'POBEDA' Novi Sad. Tehničke karakteristike mašine date su tabelarno u Tabeli T1.

¹ Dr Dragan Temeljkovski, vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš, e-mail: temelj@junis.ni.ac.yu

² Vukoman Avramović, dipl.maš.inž., zamenik direktora MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš

³ Saša Randelović, dipl.maš.inž., vodeći projektant MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš, e-mail: lisasr@ptt.yu

⁴ Ljiljana Spasić, dipl.maš.inž., vodeći projektant MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš, e-mail: lisasr@ptt.yu

Tabela T1.

Rb.	Karakteristika	količina	jedinica
1.	Maksimalna sila pritiska	200	kN
2.	Maksimalna debljina lima	3	mm
3.	Hod bata	0-50	mm
4.	Broj hodova bata	94	Hod/mi n
5.	Vertikalni hod stola	160	mm
6.	Snaga elektromotora	1,5	kW
7.	Broj obrtaja elektromotora	940	o/min

2.2. PRINCIP RADA, MEHANIČKA I TEHNIČKA ZAŠTITA MAŠINE

Mašina se sastoji iz elektromotora koji preko kaišnog prenosnika vrši prenos obrtnog momenta na zamajac. Zamajac preko obrtnog klina predaje obrtni moment ekscentarskom vratilu. Ekscentarsko vratilo sa sobom nosi gornji nosač alata. Preko podesivog ekscentra i gornjeg nosača alata vrši se transformacija obrtnog u translatorno kretanje.

Startovanje prese se vrši pritiskom na taster. Taster daje impuls elektropneumatskom razvodniku koji preko pneumatskog cilindra i poluge uklinjuje obrtni klin. Ovim se ostvaruje kruta veza između ekscentarskog vratila i zamajca, odnosno vrši se prenos obrtnog momenta.

Mehanička i tehnička zaštita je izvedena preko:

pričvršćivanja prese u radnoj prostoriji za odgovaravajuću betonsku podlogu anker zavrtnjima zaštite svih rotacionih i prenosnih elemenata (kaišnika i kaiša, zamajca) mehaničkim štitnicima odnosno mehaničkom mrežom.

puštanja mašine u rad preko tastera ili preko nožne komande.

Ovakav način upravljanja prese u radu dozvoljava radniku da jednom rukom uključuje mašinu a da mu druga ruka bude "ne zauzeta", tako da može da je postavi u opasnu zonu u opasnom roku. Ovo ne odgovara propisima bezbednosti mašine po JUS - EN 574 i predstavlja latentnu opasnost za opslužioca mašine.

Iz tih razloga je izvršena rekonstrukcija upravljanja.

3. REŠENJE UPRAVLJANJA EKSCENTAR PRESOM

3.1. REŠENJE UPRAVLJANJA

Da bi mašina bila bezbedna za rad rukovaoca izvršena je izmena upravljanja ugradnjom sistema dvoručne komande.

Uređaj za dvoručno komandovanje je bezbedonosni uređaj koji zahteva istovremeno delovanje sa obe ruke na komande dok traju opasni uslovi čime se postiže zaštita osobe koja radi na mašini.

Istovremeno delovanje se ogleda u sinhronizaciji delovanja, odnosno opslužioc je u obavezi da oba tastera aktivira u vremenskom razmaku do 0,5 sekundi. Ukoliko se ne ispoštuje ovakav princip aktiviranja komande mašina neće krenuti sa radom.

U projektovanju i konstruisanju dvoručne komande jedna od najznačajnijih stavki je pravilno analiziranje opasnog vremena i opasne zone.

Mašina ima 94 radnih taktova u minuti.

Opasno vreme u kome može da dodje do povređivanja opslužioca mašine u jednom radnom taktu je 0.368 sekundi, a to je vreme za koje se alat kreće nadole.

Opasna zona je hod mašine. Maksimalni hod mašine iznosi 50 mm, pa prema tome i

maksimalna opasna zona je 50 mm.

Shodno gore izloženom, opslužioc mašine ne može da dodje u opasnu zonu za opasan rok a samim tim ne može da se povredi, čime je ostvarena osnovna namena dvoručne komande.

Rešenje dvoručne komande je izabrano na osnovu preporuka JUS-a, za prese - treći tip uređaja sa funkcionalnom šemom na skici Sl.1. i fizičkim izvođenjem skica Sl.2.:

Ulazni signal

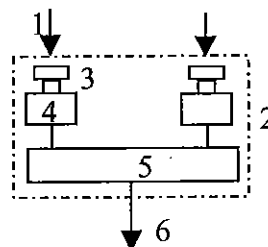
Uređaj za dvoručno komandovanje

Komanda uređaja

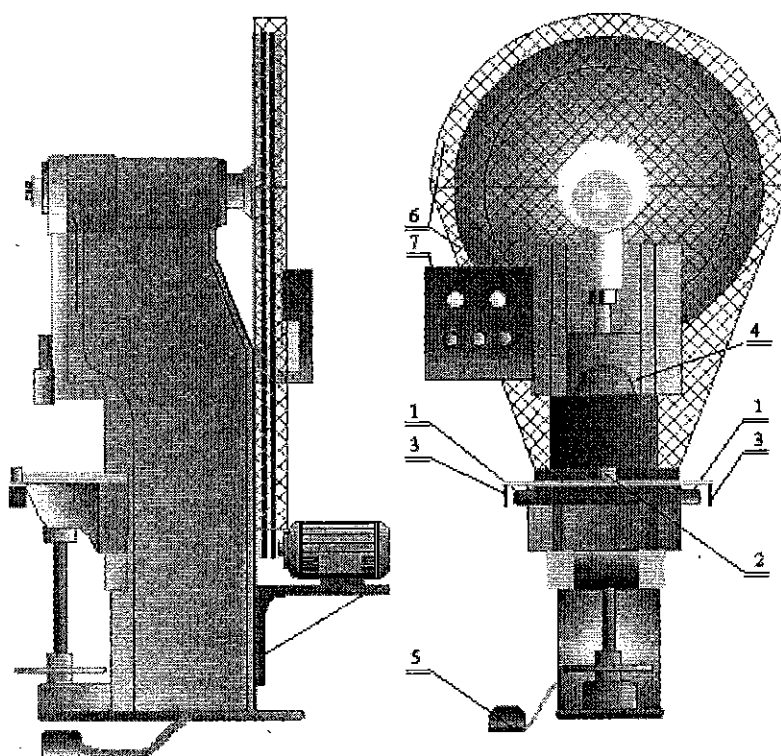
Pretvarač signala

Obrada signala

Izlazni signal



Sl. 1. Funkcionalna šema

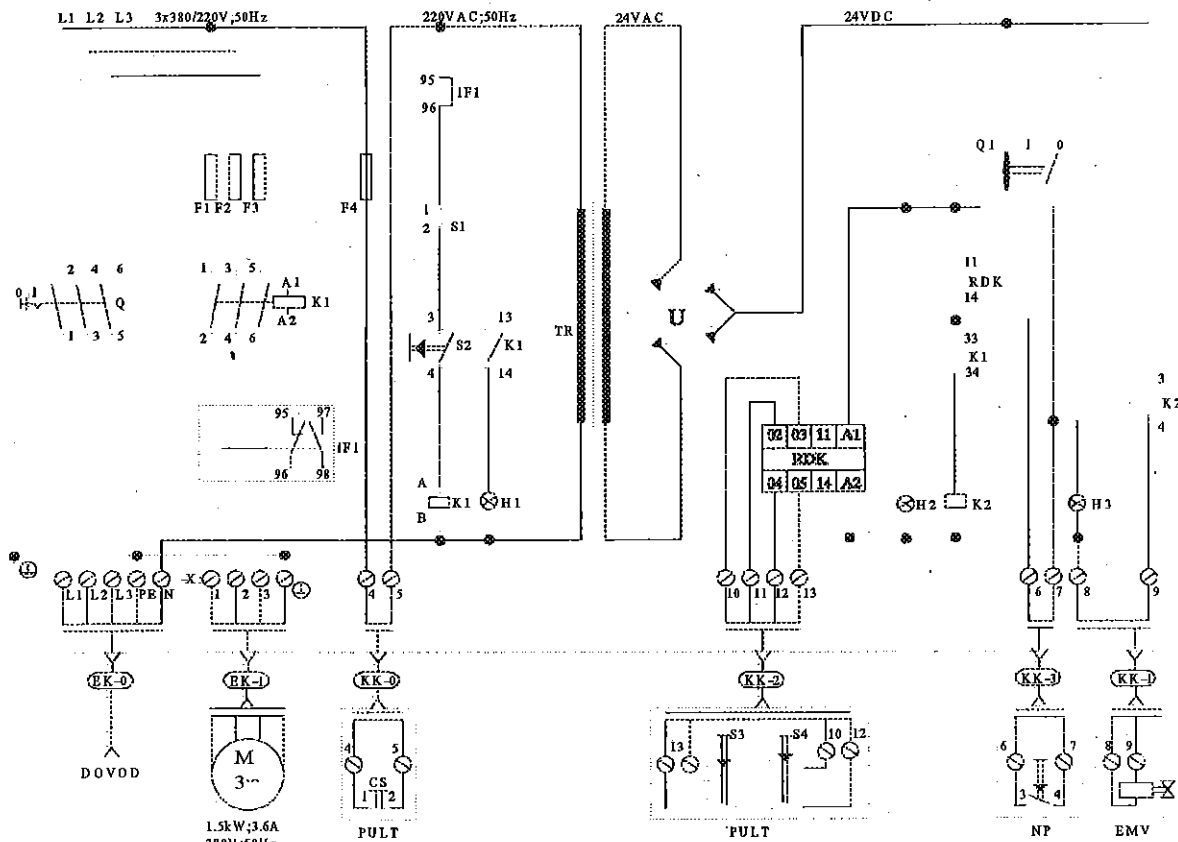


Sl. 2. Fizičko izvođenje: 1 - tasteri dvoručne komande, 2 - taster "Central stop", 3 - štitnici tastera dvoručne komande, 4 gornji alat, 5 - papuča nožne komande, 6 - zaštitna mreža i 7 - elektro - orman

Medjusobni položaj tastera (komande uređaja) je veći od minimalno zahtevanog (260mm) po propisima o bezbednosti mašina. Tasteri su smešteni u posebnim kućicama koje onemogućavaju jednostavno premošćavanje uz primenu primitivnih pomagala i slučajno aktiviranje komandi, čime je maksimalno izbegnuto aktiviranje mašine usled nepažnje i namernog izbegavanja funkcije dvoručne komande.

3.2. ELEKTRIČNE INSTALACIJE

Razvodna tabla mašine je izrađena od elektoizolaconog materijala, smeštena u limenom razvodnom oramanu, mehaničke zaštite IP 44 koji je postavljen na mašini tako da je pristupačan za rad i pregled.



Sl.4. Komandna šema "EP"

3.3. Rukovanje - rad sa mašinom

A - Pojedinačna proizvodnja

Dvoručna komanda se koristi u slučaju pojedinačnog opsluživanja mašine.

Startovanje prese se ostvaruje preko dvoručne komande. Dvoručna komanda daje impuls elektropneumatskom razvodniku koji preko pneumatskog cilindra i poluge uklinjuje obrtni klin čime se ostvaruje kruta veza između ekscentarskog vratila i zamajca, i na taj način ostvaruje prenos obrtnog momenta.

U slučaju odizanja ruku sa tastera dvoručne komande, dvoručna komanda daje impuls elektropneumatskom razvodniku, koji preko pneumatskog cilindra i poluge vrši isklinjavanje obrtnog klina i samim tim zaustavlja kretanje alata.

B - Serijska proizvodnja

U slučaju serijske proizvodnje mašina se startuje preko nožne komande, a zaštita se izvodi putem mreže koja se postavlja ispred zone opasnog dejstava. U ovom slučaju treba koristiti sistem takozvanih zatvorenih alata.

Nemoguće je koristiti istovremeno i dvoručnu i nožnu komandu mašinom. Prebacivanje sa jedne na drugu komandu se vrši preko zaštitne brave.

C - Zaustavljanje mašine

Zausavljanje mašine se vrši preko tastera "central stop". Aktiviranjem tastera "central stop"

pogonskom agregatu se prekida napajanje električnom energijom čime se obezbeđuje zaustavljanje.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega iznetog u ovom radu mogu se izvući sledeći zaključci, i to: Izvršena rekonstrukcija i tehničko usavršavanje sistema upravljanja omogućilo ostvarenje potpune bezbednosti pri radu.

Primenjeno rešenje onemogućava opslužioca da postavi svoje ekstremitete u opasnu zonu mašine za opasno vreme.

Primenjeno rešenje moguće je prilagoditi za sve tipove presa.

5. LITERATURA

1. Predrag Popović, Mašine za obradu materijala deformisanjem - I deo, Univerzitet u Nišu, 1991, Niš.
2. Predrag Popović, Dragan Temeljkovski, Mašine za obradu materijala deformisanjem - II deo, Univerzitet u Nišu, 1991, Niš.
3. Standardi JUS - EN 574, Bezbednost mašina - Uređaji za dvoručno upravljanje

THE RECONSTRUCTION OF THE PRESS CONTROL SYSTEM

ABSTRACT

The presses of the last generation with their control system do not provide for the safe operating process. That is the reason why the reconstruction and technical advancement of the control system has been performed. The aim is to provide for the absolute safety and consistency with the safety regulations and regulations for the safety measures in the process of operation. The basic principle of this solution is to prevent the worker from putting its hands in the dangerous zone of the machine during dangerous time. The system has been applied in the reconstruction of the 200 kN press with a rotation key (the designer and manufacturer – MIN dd. FAM). With certain alterations it is possible to apply it to other types of presses.

CO₂ LASERSKE MAŠINE ZA SEČENJE

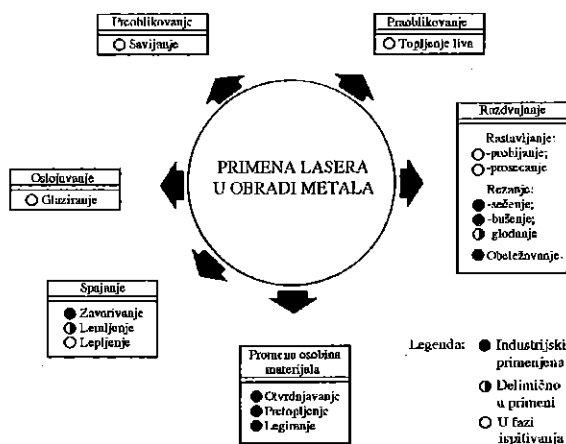
M. Radovanović¹

Rezime

CO₂ laserske mašine za sečenje koriste se za precizno konturno sečenje tankih limova. Lasersko sečenje je proces zasnovan na isparavanju materijala u veoma maloj, unapred definisanoj oblasti. U industrijskoj primeni danas mogu da se sretnu različiti tipovi i konstrukcije CO₂ laserskih mašina za sečenje. Oblik i konfiguracija CO₂ laserskih mašina za sečenje zavisi od oblika i dimenzija predmeta obrade kao i od zahtevane tačnosti i kvaliteta obrade. U radu je dat pregled karakteristika CO₂ laserskih mašina.

1. UVOD

Pre četrdeset godina napravljen je prvi laser - laser na bazi rubina. Od tada primena i razvoj lasera i laserske tehnike ima impresivan uspon. Laseri se danas primenjuju u medicini, nauci, metrologiji, industriji, vojsci, telekomunikacijama itd. Jedna od najvećih i najznačajnijih primena lasera je u metaloprerađivačkoj industriji. U metaloprerađivačkoj industriji laseri se koriste za obradu materijala, merenje i kontrolu kvaliteta. U obradi metala laseri se koriste za: praoblikovanje (topljenje liva), preoblikovanje (savijanje), razdvajanje (rastavljanje, rezanje, obeležavanje), spajanje (zavarivanje, lemljenje, lepljenje), promenu osobina materijala (ootvrđnjavanje, pretopljenje, legiranje), oslojavanje (glaziranje), slika 1. [4]

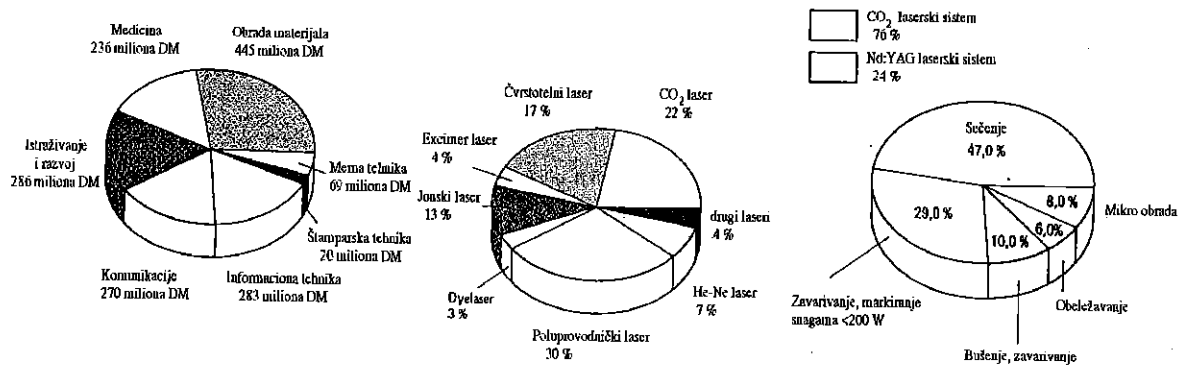


Slika 1: Primena lasera u obradi metala

U Nemačkoj, 1989. godine, investirano je u lasersku opremu 1609 miliona DM. Od toga u lasersku opremu za: obradu materijala 445 miliona DM, istraživanje i razvoj 286 miliona DM, informacione tehnike 283 miliona DM, komunikacije 270 miliona DM, medicinu 236 miliona

¹ Dr Miroslav Radovanović, docent, Mašinski fakultet u Nišu, 18000 Niš, Beogradska 14, e-mail: mirado@masfak.masfak.ni.ac.yu

DM, mernu tehniku 69 miliona DM i štamparsku tehniku 20 miliona DM. U lasersku opremu ugrađeno je: poluprovodničkih lasera 30 %, CO₂ lasera 22%, čvrstotelnih lasera 17 %, jonskih lasera 13 %, He-Ne lasera 7 %, excimer lasera 4 %, lasera na bazi organskih boja 3 % i drugih lasera 4 %. Za obradu materijala najviše su korišćeni CO₂ laseri 76 % (za sečenje 47 %, zavarivanje i markiranje 29 %) i Nd:YAG laseri 24 % (10 % za bušenje i zavarivanje, 8 % za mikroobradu, 6 % za obeležavanje), slika 2. [7]



Slika 2: Procentualno učešće lasera

2. INDUSTRIJSKI LASERI

Za obradu materijala komercijalno se koristi samo nekoliko vrsta lasera. Tu dominiraju CO₂ laseri i Nd:YAG laseri, mada se u poslednje vreme čine napori da se komercijalizuju i excimer laseri. U prednosti su CO₂ laseri jer su se pokazali efektivnim i visokoproduktivnim u savremenoj proizvodnji. Pregled karakteristika industrijski primenjenih lasera za obradu materijala dat je u tabeli 1 ([2],[5]).

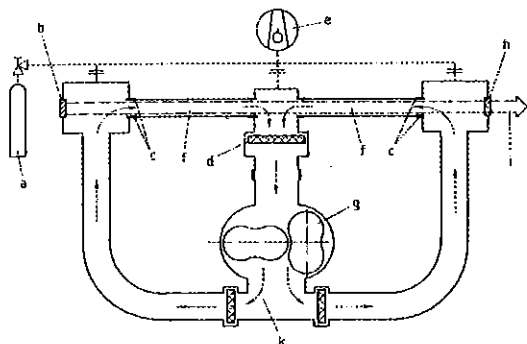
Tabela 1

PREGLED KARAKTERISTIKA INDUSTRIJSKIH LASERA					
LASER	Talasna dužina	Zračenje	Snaga	Režim rada	Primena
Excimer	193-248nm	ultraljubičasto	$5 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7 \text{ W}$	impulsni (15-30ns)	Spektroskopija Fotohemija Obrada materijala
He-Ne	632nm	vidljivo (crveno)	<1W	kontinualni	Mema tehnika
Rubin	693nm	vidljivo (crveno)	$1 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^4 \text{ W}$	impulsni (1-10ms)	Bušenje
			100-200W	kontinualni	
Nd-YAG	1,06 μm	infracrveno	10^6 W	impulsni (10ns)	Sečenje, bušenje, fino zavarivanje
			500W	kontinualni	
CO ₂	10,6 μm	infracrveno	$< 5 \cdot 10^3 \text{ W}$	impulsni (1-10 ² μs)	Sečenje, bušenje, obeležavanje, zavarivanje, termička obrada
			$2 - 2,2 \cdot 10^4 \text{ W}$	kontinualni	

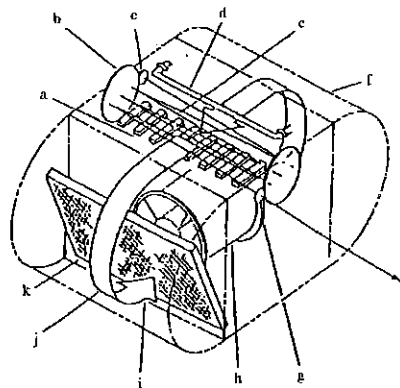
CO₂ laseri su molekularni gasni laseri. Po svom učinku svrstavaju se u sami vrh laserske tehnike. Imaju koeficijent korisnog dejstva do 20 % i zračenje talasne dužine 10,6 μm koje apsorbuje veliki broj materijala. Mogu biti sa uzdužnim strujanjem, slika 3 i sa poprečnim strujanjem gasne smeše, slika 4. [1]

Kod CO₂ lasera sa uzdužnim strujanjem električno pražnjenje se vrši u pravcu ose cevi. Razlikuju se laseri sporog i laseri brzog uzdužnog strujanja. Prve karakteriše mali pritisak i prihvatljiva potrošnja gasa. Medijum za generisanje laserskog snopa je smeša gasova: He (80%), N₂ (14%), CO₂ (6%). Recirkulacija gasa ostvaruje se pumpama, pri čemu se samo jedan mali deo odstranjuje u atmosferu. Laser je u obliku cevi dugačke i nekoliko metara i 20

mm u prečniku, a snaga zračenja je direktno proporcionalna dužini i iznosi 70 W/m.



- a) gasna smeša $\text{He-N}_2\text{-CO}_2$, b) nepropusno ogledalo, c) elektrode, e) vakuum pumpa, f) cev za gasno pražnjenje, g) cirkulaciona pumpa, h) polupropusno ogledalo, i) laserski snop, c) d i k) izmenjivač toplote
- Slika 3: CO_2 laser sa uzdužnim strujanjem



- a) segmentna anoda, b) ogledalo, c) konveksno ogledalo, d) katoda, e) zona pražnjenja, f) omotač, g) ogledalo (ref. 50%), h) ventilator, i) pravac strujanja, j) gasna struja, k) izmenjivač toplote
- Slika 4: CO_2 laser sa poprečnim strujanjem

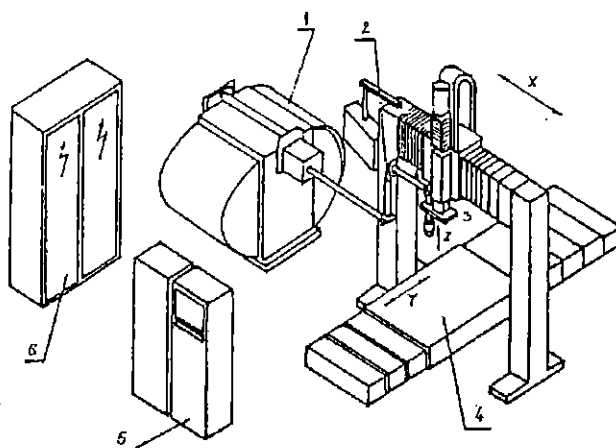
Laserski snop se generiše pobuđivanjem smeše gasa u optičkom rezonatoru. Generisanje laserskog snopa počinje kada se jedan ili više fotona emituju u pravcu ose optičkog rezonatora. Fotoni se kreću između ogledala pri čemu se stalno povećava količina stimuliranih fotona. Proces brzo prerasta u intenzivan talas koherentnog zračenja talasne dužine $10,6 \mu\text{m}$. Deo emitovanog zračenja prolazi kroz izlazno ogledalo formirajući laserski snop. Laserski snop izlazi kroz otvor na metalnom ogledalu, hermetiziran kristalom NaCl , koji propušta infracrveno zračenje ili kroz ogledalo od čistog germanijuma. Napon napajanja je 10 kV, a struja pražnjenja oko 50 mA. Laser brzog aksijalnog toka karakteriše linearna snaga reda 400 do 1000 W/m, a s obzirom da rezonatori mogu biti vrlo dugi, snaga im se kreće između 2 i 5 kW. Emituju visokokvalitetno zračenje u osnovnom TEM_{00} modu.

Kod CO_2 lasera sa poprečnim strujanjem strujanje gasa je normalno na pražnjenje. Kompaktnom konstrukcijom lasera i brzim gasnim strujanjem postiže se intenzivno hlađenje i odstranjivanje produkata gasne disocijacije. Aktivna zapremina se kreće oko nekoliko desetina litara. S obzirom da je snaga proporcionalna aktivnoj zapremini i da je reda od 0,5 do 1 kW/lit, ovi laseri razvijaju snagu od 10 do 30 kW. Elektrode ovih lasera igraju osnovnu ulogu u obezbeđivanju homogenog pražnjenja. Najčešće su segmentnog oblika, a mogu biti i u obliku ploča i igličastog oblika. Medijum za generisanje laserskog snopa je smeša gasova: $\text{He:N}_2:\text{CO}_2=30:10:1,6$. Ovi gasovi se mešaju u komori a zatim pobuđuju u laserskoj glavi, pri naponu na elektrodama od 5 kV do 65 kV, strujom pražnjenja od 5 do 30 mA. Pomoću ogledala optičkog rezonatora stvara se optička povratna sprega pri čemu se vrši trostruko prelamanje. Talasna dužina laserskog zračenja je u infracrvenoj oblasti spektra te svetlost nije vidljiva. Ružičasto plava ili purpurna boja pražnjenja koja se vidi u laserskoj glavi potiče od boje gasova koji su pobuđeni i generišu laserski snop.

3. CO_2 LASERSKE MAŠINE ZA SEČENJE

Laserske mašine za sečenje počele su da se izrađuju pre tridesetak godina. Danas se godišnje instalira preko 3000 laserskih mašina za sečenje. Osnovnu konfiguraciju CO_2 laserske mašine čine: CO_2 laser, optički sistem za prenos laserskog snopa, rezna glava, mehanička mašina koja

obezbeđuje kretanja, sistem za napajanje energijom i upravljačka jedinica, slika 5. [6]



1-CO₂ laser, 2-optički sistem za prenos laserskog snopa, 3-rezna glava, 4-mehanička mašina koja obezbeđuje kretanja, 5-upravljačka jedinica, 6-sistem za napajanje energijom
Slika 5: Osnovna konfiguracija CO₂ laserske mašine za sečenje


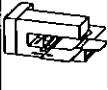




Laser generiše monohromatsku, koherentnu svetlost visokog intenziteta i male divergencije. Laserski snop je alat u obradnom sistemu koji seče obradak isparavajući materijal u zoni reza. Optičkim sistemom laserski snop se prenosi od lasera do rezne glave. Sistemom za fokusiranje, u reznoj glavi, laserski snop se fokusira na prečnik od 0,1 do 0,3 mm pri čemu se dobija gustina snage od preko 10^8 W/cm² koja je sposobna da ispari sve poznate materijale.

Tabela 2

CO ₂ LASERSKE MAŠINE								
Godina proizv.	Proizvođač	Model	Radni sto	Snaga (W)	Karakteristike	Neprekidan rad (čas)	Cena (DM)	
1990	Amada	LC 644	1000x1000	1 500	fiksiran snop	-	-	-
1993	Amada	LCE 655	1250x1250	1 500	fiksiran snop, hladnjak	2 000	134 000	
1995	Amada	Altair 2412B	100x200	2 000	hibridni, usisivač	3 000	578 000	
1995	Amada	Pulsar 2512	125x250	2 000	hibridni, autom. aktiviranje lasera, hladnjak	16 000	578 000	
1996	Bystronic	Bystar 3015	125x250	1 800	rotirajuća glava, aut. aktiv. lasera, hladnjak	8 000	650 000	
1996	Bystronic	Bystar 3015	125x250	2 800	hladnjak,	-	760 000	
1996	Bystronic	Bystar 3015	125x250	2 800	rotirajuća glava	10 000	920 000	
1995	Bystronic	Bystar 4020	2000x4000	2 800	hladnjak, usisivač	-	-	
1990	Cincinnati	CL 5	100x100	900	paletni sistem	-	-	
1991	Cincinnati	CL 7	125x250	1 200	lebdeća optika, paletni sistem, hladnjak	30 000	199 000	
1984	Coherent	EFA 50	125x250	725	CNC, hladnjak	-	72 000	
1994	Laserdyne	890	2400x1800x900	2 800	petosna	16 000	900 000	
1993	Mazak	STX 48	100x200	1 500	hibridni, hladnjak	30 000	300 000	
1993	Mazak	STX 510	125x250	2 000	hibridni, autom. aktivir. lasera, hladnjak	18 000	634 000	
1999	Prima	Domino	125x250	3 000	dvopaletni sistem	-	-	
1998	Prima	Rapido 5	1500x3150x600	3 500	petosna, zaštitna kabina	-	112 000	
1987	Spectra	810	100x125	600	CNC, hladnjak	-	80 000	
1994	Tanaka	LMX-1	200x700	3 500	promenljivi sto	17 000	700 000	
1993	Trumpf	L 2503	125x200	2 600	lebdeća optika, hladnjak	-	338 000	
1994	Trumpf	L 3003E	125x250	2 600	lebdeća optika, hladnjak	-	-	
1995	Trumpf	L 2503E	125x250	2 600	lebdeća optika, dvopaletna, usisivač	-	578 000	
1996	Trumpf	L 2503E	125x250	2 600	lebdeća optika, dve rezne glave	-	758 000	
1996	Trumpf	LaserCat	125x250	2 600	lebdeća optika, dvopaletna, hladnjak	14 000	690 000	
1998	Trumpf	L 3030	125x250	3 000	lebdeća optika, dvopaletna, hladnjak	-	766 000	
1993	Trumpf	TLC 105	1000x2950x2870	1 200	petosna, usisivač, hladnjak	13 000	-	

Mehanička mašina obezbeđuje kretanje rezne glave po zadatoj konturi. Sistem za napajanje

energijom čine: sistem za napajanje električnom energijom, sistem za snabdevanje radnim gasom (O_2 , Ar, N_2 ili vazduh) i sistem za napajanje lasera smešom gasova (CO_2 , He, N_2). Upravljačka jedinica ima zadatak da procesira blokove programskih informacija za sečenje po konturi, kontrolise parametre lasera, parametre obrade i senzore. U tabeli 2 prikazane su karakteristike CO_2 laserskih mašina najznačajnijih proizvođača. [8]

2D		GEOMETRIJA PREDMETA						3D			
nepokretan		PRPDMET		pokretan		nepokretan		PRPDMET		pokretan	
LASERSKI SNOPI		LASERSKI SNOPI		LASERSKI SNOPI		LASERSKI SNOPI		LASERSKI SNOPI		LASERSKI SNOPI	
nepokret.	pokretan	nepokret.	pokretan	nepokret.	pokretan	nepokret.	pokretan	nepokret.	pokretan	nepokret.	pokretan
Nije realizovano	Varijanta 1	Varijanta 2	Varijanta 3	Nije realizovano	Varijanta 4	Varijanta 5	Varijanta 6				
											
	Lebdeća optika	x, y - sto	x - sto y - optika								

Slika 6: Konstruktivne varijante laserskih mašina za sečenje

Oblik i konfiguracija laserskih mašina za sečenje zavisi od primenjene varijante, tj. da li se sečenje po zadatoj konturi ostvaruje kretanjem laserskog snopa ili obradka, slika 6. [4] Za konturno sečenje 2D obradaka koriste se troosne portalne laserske mašine. Za konturno sečenje 3D obradaka koriste se petoosne portalne laserske mašine ili laser roboti. U tabeli 3 prikazana je struktura troškova CO_2 laserskih mašina. [3]

Tabela 3

STRUKTURA TROŠKOVA CO_2 LASERSKIH MAŠINA			
Naziv	Varijanta I	Varijanta II	Varijanta III
Investicije			
-Laser	240 000 DM	240 000 DM	240 000 DM
-Sistem za hlađenje	40 000 DM	40 000 DM	40 000 DM
-Sistem za prenos laserskog snopa	60 000 DM	15 000 DM	500 000 DM
-Rezna glava i autofokus	20 000 DM	20 000 DM	20 000 DM
-Industrijski robot	140 000 DM	140 000 DM	-
	Σ 500 000 DM	455 000 DM	800 000 DM
Amortizacioni vek	5 godina	5 godina	5 godina
Vreme neprekidnog rada	1760 h	1760 h	1760 h
Ukalkulisana kamatna stopa	9%	9%	9%
Potrebna proizvodni prostor	42 m ²	42 m ²	100 m ²
Potrebna energija			
-laser	28 kW	28 kW	28 kW
-hladnjak	15 kW	15 kW	15 kW
-gas	5 DM/h	5 DM/h	5 DM/h
Troškovi održavanja			
-investicioni	25 000 DM	23 000 DM	40 000 DM
-tekući	35 DM/h	35 DM/h	35 DM/h
Amortizacija	100 000 DM/god	91 000 DM/god	160 000 DM/god
Kamata	23 000 DM/god	20 000 DM/god	36 000 DM/god
Troškovi proizvodnog prostora	5 000 DM/god	5 000 DM/god	12 000 DM/god
Troškovi energije	24 000 DM/god	24 000 DM/god	24 000 DM/god
Fiksni troškovi	128 000 DM/god	117 000 DM/god	208 000 DM/god
Promenljivi troškovi	62,80 DM/h	61,53 DM/h	71,33 DM/h
Ukupni troškovi	238 000 DM/god	225 000 DM/god	334 000 DM/god
Norma sat obrade	135,27 DM/h	127,72 DM/h	189,50 DM/h

Napomena: 1,2 kW CO_2 laser. Varijanta I (4) odnosi se na lasersku mašinu sa petoosnim industrijskim robotom koji ima integrisan optički sistem za prenos laserskog snopa. Varijanta II (5) odnosi se na lasersku mašinu sa petoosnim industrijskim robotom za pozicioniranje obradka. Varijanta III (6) odnosi se na petoosnu portalnu lasersku mašinu.

4. ZAKLJUČAK

Konturno sečenje limova bez upotrebe laserskih mašina za sečenje danas nije prihvatljivo. Prednost laserskog sečenja je u: mogućnosti sečenja različitih materijala bez obzira na njihovu tvrdoću, maloj širini reza, velikoj preciznosti i visokom kvalitetu reza. CO₂ laserske mašine za sečenje omogućuju laku promenu proizvodnog programa i garantuju ponovljivost operacija sa tačnim i konzistentnim rezultatima. Kvalitet obrade omogućuje završnu obradu komponentnih delova. Primenom CO₂ laserskih mašina za sečenje povećan je kvalitet proizvoda, fleksibilnost proizvodnje i ekonomičnost. Naročito su pogodne za izradu prototipova i za maloserijsku proizvodnju.

LITERATURA

- [1] Lazarević D., Radovanović M., Nekonvencionalne metode, obrada materijala odnošenjem, Mašinski fakultet, Niš, 1994
- [2] König W., Fertigungsverfahren, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1990
- [3] Hardock G., König M., Dreidimensionales Laserschneiden mit flexiblen Strahlenführungen, Bänder Bleche Rohre 3-1988, s.45-50
- [4] Eversheim W., Lasergerechte Konstruktion und Fertigung, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1992
- [5] Dilthey U., Schweisstechnische Fertigungsverfahren, Schweiß und Schneidtechnologien, VDI-Verlag, Dusseldorf, 1994
- [6] Radovanović M., Laserske mašine-dobra alternativa za konturno sečenje lima, VII Međunarodna konferencija MMA 2000, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2000, str.65-66
- [7] Steigende Dynamik im Lasermarkt, Laser-Praxis, Juni, 1990, LS.4
- [8]. www.franeklaser.com

CO₂ LASER CUTTING MACHINES

Abstract

CO₂ laser cutting machines are applicable for precision contour cutting thin sheet. Laser cutting is the process based on vaporizing material in very small, well-defined area. In industrial application nowadays various types and construction of CO₂ laser cutting machines can be met. The form and the configuration of CO₂ laser cutting machines depend on form and dimension of workpiece as well as on demanded precision and working quality. In paper is given survey of characteristics CO₂ laser cutting machines.

RAZVOJ TURBINSKIH BRUSNIH VRETENA SA AEROSTATIČKIM ULEŽIŠTENJEM ZA UNUTRAŠNJU OBRADU BRUŠENJEM

Romček, A.¹⁾, Borojev, LJ., Zeljković, M., Gatalo, R.²⁾

Rezime

U okviru istraživačko - razvojnog projekta "RAZVOJ VISOKOPRECIZNIH BRUSNIH VRETENA SA VISOKIM I EKSTRA VISOKIM BROJEVIMA OBRTAJA" fabrika LIVNICA " KIKINDA " iz Kikinda i Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada rade na novom rešenju brusnog vretena sa turbinskim pogonom i aerostatičkim uležištenjem. Ovaj rad sadrži određene teorijske postavke aerostatičkog uležištenja brusnog vretena i dalje smernice za eksperimentalna istraživanja.

1.0 UVOD

Brusna vretena sa aerostatičkim uležištenjem su predviđena za brojeve obrtaja 200.000 - 300.000 min⁻¹. Donja granica je definisana mogućnostima uležištenja sa visokopreciznim kugličnim ležajevima, a gornja granica mehaničkim osobinama materijala i uravnoteženja obrtnih delova brusnog vretena, kao tehnološkim zahtevima unutrašnjeg brušenja.

Prema postavci zadatka brusna vretena za unutrašnju obradu brušenjem moraju imati dva radijalna i dva aksijalna uležištenja. Usvojena je koncepcija da konstrukciono rešenje bude u najvećoj meri slično rešenju brusnih vretena sa kugličnim uležištenjem.

Iz analize opterećenja usled sile rezanja pri brušenju, proizilazi da prednje radijalno uležištenje (prema točilu) prima veće opterećenje, ali iz razloga jednostavnije izrade, usvojeno je da oba ležišta budu ista.

2.0 PARAMETRI KONSTRUKCIJE AEROSTATIČKOG ULEŽIŠTENJA

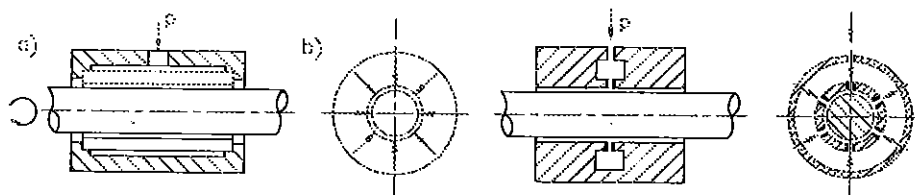
2.1. Radijalno uležištenje

Pri izvođenju aerostatičkih uležištenja prisutna sa dva osnovna tipa (slika 1.):

- a) uz primenu poroznih (šupljikavih) materijala i
- b) primena nepropustljivih materijala.

¹⁾ Romček mr Andrija, dipl. ing., Livnica "Kikinda", 23300 Kikinda, E - mail: lkmark@EUnet.yu

²⁾ Gatalo dr Ratko, red. prof., Borojev dr Ljubomir, docent, Zeljković dr Milan, docent Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 21000 Novi Sad, E - mail: milanz@uns.ns.ac.yu



Slika 1. Osnovni tipovi radijalnog aerostatičkog uležištenja

Primenom poroznih materijala [3,4] manja je sklonost ka dinamičkoj nestabilnosti, obezbeđuje se relativno veća nosivost i krutost, nego kod drugog tipa uležištenja.

Porozni materijal mora zadovoljavati sledeće uslove:

- materijal mora imati dobre osobine obradljivosti za postizanje potrebnih dimenzija, tolerancije i kvaliteta obrađenih površina,
- pore u materijalu ne smeju se zapušiti u toku mehaničke obrade,
- materijal mora imati dobre klizne osobine,
- mora biti otporan na koroziju i
- mora imati odgovarajuću propustljivost.

Primena drugog tipa radijalnog uležištenja [1] iziskuje primenu određenih prigušnika pritiska, radi obezbeđenja aerostatičkog efekta, raspoređenih po vencu ležišne čaure. Prigušnik ili mlaznik predstavlja lokalno suženje poprečnog preseka i obično se izvodi u obliku blende.

Zbog poteškoća oko nabavke specijalnog poroznog materijala, usvojen je drugi tip radijalnog uležištenja.

Unastavku se navodi postupak proračuna glavnih karakteristika parametara za navedeni tip uležištenja.

Prečnik ležaja d_1

Prema usvojenoj koncepciji da brusno vreteno prema gabaritnim merama odgovara već izvedenom brusnom vretenu sa kugličnim uležištenjem, prečnik ležaja iznosi $d_1 = 6$ mm.

Širina ležaja $2l$

Širina ležaja se određuje na osnovu obrasca [5]:

$$1 < \frac{2l}{d_1} < 2,5$$

Zbog definisanog raspoloživog prostora, dužine vretena i potrebnog mesta za ugradnju prigušnika, usvojena je dužina ležaja:

$$2l = 14 \text{ mm}$$

Broj mlaznica n

$$n \geq \frac{2\pi}{\xi}, \text{ gde je } \xi = \frac{2l}{d_1}$$

ξ – odnos širine i prečnika ležišta

$$n = 4$$

Prečnik mlaznice d_b

$$d_b = \sqrt{\frac{2kp_1h_o^3}{3\alpha n\xi\rho_k L_k}} \quad [4]$$

$k = 0,7$ - bezdimenzioni koeficijent 0,2 - 0,7

$p_1 = 6$ bara - pritisak u instalaciji ispred ležaja

$h_o = 6 \mu\text{m}$ - projektovani zazor
 $\alpha = 0,7$ - koeficijent isticanja mlaznice
 $p_k = 1 \text{ bar}$ - spoljašnji pritisak

$$L_k = \eta \frac{\sqrt{RT_k}}{p_k} - \text{konstanta}$$

Prema proračunu prečnik mlaznice iznosi $d_b = 50 \mu\text{m}$.

Prečnik komore d_k

Prema postupku definisanom u elaboratu [2], a prema literaturnim podacima [5] određen je prečnik komore $d_k = 270 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

Zbog tehnoloških mogućnosti izrade usvojene su sledeće vrednosti:

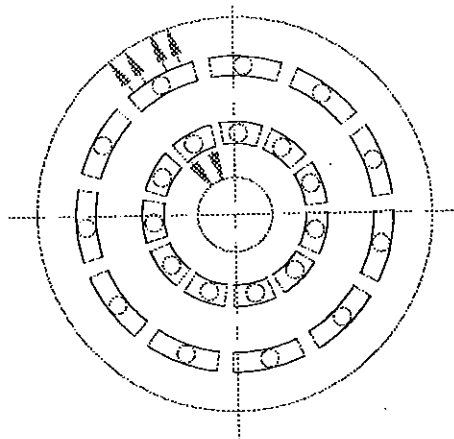
$$d_k = 1,00 \text{ mm}$$

$$d_b = 0,08 \text{ mm}$$

Visina komore $h_k = 3,9 \text{ mm}$ usvojena na osnovu uslova da je $h_k \geq d_b$

2.2. Aksijalna ležišta

Aksijalna uležištenja su najčešće izvedena tako da su mlaznice sa komorama za umirenje vazdušne struje raspoređene u blizini ivice ležaja (slika 2.) sa radijalno divergentnim i radijalno konvergentnim strujanjem kroz zatore preko elementarnih površina.



Slika 2. Osnovni tip aksijalnog aerostatičkog uležištenja

Aksijalna uležištenja treba da prime sledeća opterećenja:

- opterećenje turbinskog pogona i
- opterećenje od procesa obrade brušenjem.

2.2.1. Aksijalno uležištenje za prijem opterećenja turbinskog pogona

Analizom tehnoloških mogućnosti izrade, usvojeno je konstrukciono rešenje da je snabdevanje vazduhom aksijalnog ležišta sa dve mlaznice i komorom u obliku kružnog žljeba.

Zazor u ležištu za uslov lamilarnog strujanja je $h_o = 15 \mu\text{m}$.

Prečnik mlaznice d_b [5]

$$d_b = \sqrt{\left(\frac{1}{\phi} 4h_o d_k \sqrt{2[1 - (p_b/p_k)]} \right)}$$

Prečnik mlaznice posle izračunavanja iznosi $d_b = 0,4 \text{ mm}$.

Visina komore $h_k = 0,4$ mm, usvaja se na osnovu uslova da je $h_k \geq d_b$.

2.2.2. Aksijalno uležištenje za prijem opterećenja is procesa obrade brušenjem

Ovo ležište je opterećeno aksijalnom silom iz procesa brušenja, ali suprostavljena aksijalnoj sili turbinskog pogona, te je usvojen kružni oblik aksijalnog ležaja sa centralno postavljenom mlaznicom.

Broj mlaznica $n_k = 1$

Zazor u ležištu $h_o = 15$ μ m

Prečnik komore $d_k = 1$ mm

Prečnik mlaznice $d_b = 0,2$ mm

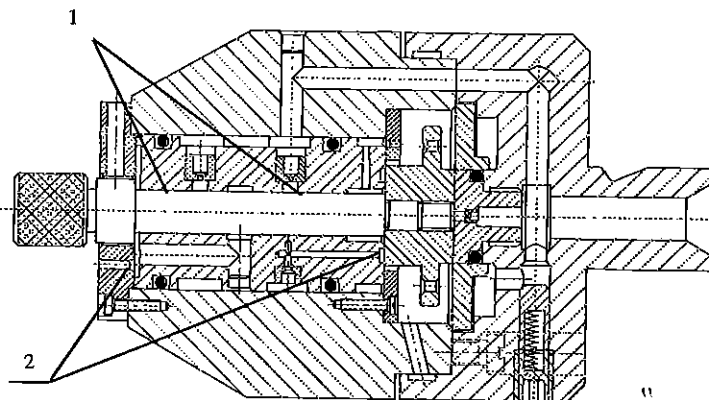
Visina komore $h_k = 1$ mm

Navedene veličine su određene istim postupkom kao u slučaju aksijalnog uležištenja iz tačke 2.2.1.

Teorijska razmatranja nosivosti aerostatičkih ležajeva biće prikazana u narednim radovima zajedno sa rezultatima ispitivanja prototipa.

3. KONSTRUKCIONO REŠENJE

Na slici 3. prikazano je konstrukciono rešenje brusnog vretena sa turbinskim pogonom i aerostatičkim uležištenjem, proizašlo na osnovu teorijskih proračuna, skraćeno prikazanih u ovom radu.



1-Radijalno uležištenje
2-Aksijalno uležištenje

Slika 3. Konstrukciono rešenje brusnog vretena sa turbinskim pogonom i aerostatičkim uležištenjem

Čaura u kojem su postavljene prigušnice - mlaznice izrađena je od ležajnog grafita, a aksijalni ležaj za prijem opterećenja od sile brušenja od ležajne bronzne.

4. ZAKLJUČAK

U sledećoj etapi razvoja predviđena je razrada metodologije i eksperimentalna ispitivanja aerostatičkog uležištenja i kompletnog brusnog vretena.

Prema stvarnim dimenzijama ugrađenih delova izvršiće se završni proračun aksijalnog uležištenja i izvršiti uporedna analiza teorijskih i eksperimentalnih rezultata.

Za merenje izlaznih tehnoloških parametara brusnog vretena, kao što je obrtni moment potrebno je razraditi novu metodologiju i mernu instrumentaciju, što će biti saopšteno u narednim radovima.

5. LITERATURA

- [1] Padate, J.S., Somasundarm, S.: *Desing of aerostatic slideways for minimum air consumption*, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 14, pp. 135 - 141., Pergamon Press, 1974.
- [2] Rekecki, J. i saradnici : *Razvoj visokopreciznih brusnih vretena sa visokim i ekstravisokim brojevima obrtaja*, Razvojni projekat, Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1986.
- [3] Schmidt, J.: *Aerostatische Radiallager aus porosem Werkstoff*, wt - Z. Ind. Fertig. 61 (1971) 616 - 617, Springer Verlag, 1971.
- [4] Singh, K.C., Rao, N.S.: *Static characteristics of aerostatic porous rectangular thrust bearings*, Wear, 77 (1982) 229 - 236, 1982.
- [5] Wiemar, A.: *Légcsapagyazas*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972.

DEVELOPMENT OF GRINDING SPINDLES FOR INTERNAL GRINDING WITH AEROSTATIC JOURNAL BEARING

Summary

Within the investigation and development project entitled "DEVELOPMENT OF HIGH-PRECISION GRINDING SPINDLES FOR HIGH AND EXTRA-HIGH SPEEDS", "KIKINDA" foundry of Kikinda and the Institute of Production Engineering of the Faculty of Engineering in Novi Sad, are working on a new solution for the turbine-powered grinding spindle with aerostatic journal bearing.

This paper presents certain theoretical foundations of aerostatic journal bearing for grinding spindle and suggests directions for further investigation.

MOGUĆNOSTI PRIMENE "ZELENOG GASA" U MAŠINOGRADNJI**

Dr Ljubodrag Đorđević, Sava Đurić*

Rezime:

U ovom radu je dat prikaz mogućnosti primene uređaja za proizvodnju mešavine gasova vodonika i kiseonika čijim se sagorevanjem razvija toplota koja se koristi u različitim oblastima, pre svega metaloprerađivačkoj industriji za zagrevanje, lemljenje i sečenje materijala. Uz pomoć električne energije voda se razlaže na vodonik i kiseonik u idealnom odnosu 2:1 stvarajući gorivu mešavinu gasova. Sagorevanjem u gasnim gorionicima nastaje plamen koji oslobađa oko 10 MJ/m³ toplotne energije i razvija temperaturu oko 2100 stepeni Celzijusa. Goriva smeša gasova koristi se za zagrevanje materijala za kaljenje, poliranje plamenom, lemljenje, zavarivanje i sečenje. Najširu primenu uređaji za proizvodnju smeše gasova vodonik-kiseonik imaju za sečenje. Primenom specijalnih gorionika koristi se za sečenje limova, profila, cevi, kao i za pripremu materijala za livenje i kovanje, ili odsecanje ulivnih sistema na odlivcima. Posebno treba istaći da je sagorevanje potpuno, pa je sagorevanje čisto i ne zagaduje okolinu, te ovu smešu gasova često nazivaju "zeleni gas". Ovaj postupak je posebno značajan u uslovima kada ne postoji mogućnost za nabavku drugih gasova, jer uređaj koji proizvodi firma "Mačkatica" iz Surdulice omogućava da se uz pomoć električne energije i vode dobije gasnih plamen odličnih karakteristika.

Ključne reči: vodonik, kiseonik, elektroliza, sagorevanje, lemljenje, zavarivanje, sečenje

1.0 UVOD

Tehnološki razvoj i industrijalizacija, pored blagodeti donele su svetu i nužno zlo, zagađenje čovekove radne i životne sredine. Mnoge tehnološke operacije i procesi za nuz produkte imaju štetne materije koje zagađuju zemlju, vodu i vazduh, izazivaju bolesti uništavanje živog sveta na našoj planeti. Uviđajući značaj očuvanja zdrave zdrave i čiste radne i životne sredine najrazvijenije zemlje sveta ulažu ogromna sredstva u različite aktivnosti namenjene očuvanju planete. Pored klasičnih ekoloških aktivnosti čišćenja planete, prečišćavanja, neutralizacije i uništavanja štetnih produkata tehnoloških procesa, sve više se razmišlja i radi na iznalaženju adekvatnih zamena za mnoge tehnološke postupke koje prate štetni nuz produkti.

Termičko sečenje primenom "klasičnih" gorivih gasova kao što su acetilen, propan, butan, koji sagorevaju u prisustvu kiseonika za produkte sagorevanja imaju štetne gasove CO ili CO₂ (ugljenmonoksid ili ugljendioksid), pri čemu nastaje vezivanje, odnosno uništavanje kiseonika. stoga je svrsishodno tražiti zamenu za ove postupke ili bar zamenu za gorive

** Rad je rađen u okviru projekta S.5.33.71.0059 Istraživanje i razvoj proizvoda i tehnologija teške mašingradnje koji finasira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije

* Prof dr Ljubodrag Đorđević, dipl.inž.maš. Mašinski fakultet Kraljevo, Sava Đurić, dipl.inž.maš. Institut IMK "14.oktobar" Kruševac

gasove.

U okviru svojih razvojnih projekata firma "Mačkatica" iz Surdulice osvojila je tehnologiju proizvodnje gasogeneratora, koji u radioničkim uslovima proizvodi smešu gasova vodonika i kiseonika u odnosu 2:1 (takozvani Braunov gas). Ovakva mešavina ima mogućnosti za široku primenu u industriji, ali i u mnogim drugim oblastima.

2.0 GENERATOR BRAUNOVOG GASA

Kao alternativni program početkom devedesetih godina u firmi "Mačkatica" iz Surdulice razvijen je takozvani "Gas generator", uređaj koji elektrolizom uz pomoć električne energije iz mreže iz vode izdvaja vodonik i kiseonik koji su u srazmeri 2:1 i sabija ih u spremnicima do primene.

Proizvodnja gasova je kontinuirana, smeša gasova je stabilna do upotrebe, a primena je raznolika. Uređaj se priključuje na mrežni napon 3x380 V i 50Hz, a iz jednog litra vode dobija se 1860 litara mešavine kiseonika i vodonika, pri čemu je potrošnja struje 1kW za 340 litara mešavine gasova.

Uređaj je namenjen pre svega za primenu u industriji za zagrevanje, sečenje, zavarivanje i lemljenje materijala, a može imati i druge primene.

Uređaj je standardno opremljen kompletom gorionika i dizni za zavarivanje i sečenje, sa osiguračima od povratnog plamena, kao i sa kolicima i cirklama za pravolinijsko i kružno sečenje. Ova oprema je domaćih proizvođača ("Teleoptik" Zemun, "Mirox" Beograd, "Tehnovar" Beograd).

Proizvode se četiri tipa uređaja za proizvodnju Braunovog gasa, a njihove oznake i karakteristike date su u tabeli 1.

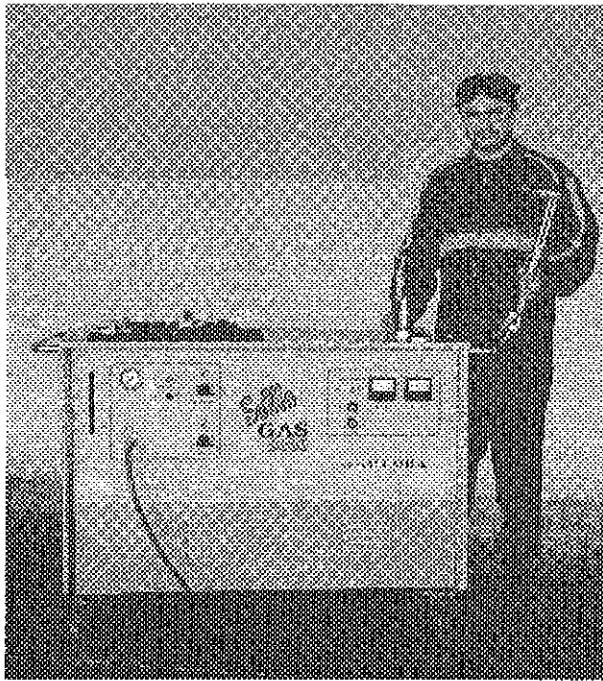
Tabela 1.

TIP	KAPACITET (l/h)	TEHNOLOŠKE MOGUĆNOSTI
HG 500	500	Sečenje i zavarivanje metala debljine do 20 mm
HG 1000	1000	Sečenje i zavarivanje metala debljine do 40 mm
HG 2000	2000	Sečenje i zavarivanje metala debljine do 80 mm
HG 5000	5000	Sečenje i zavarivanje metala debljine do 200 mm

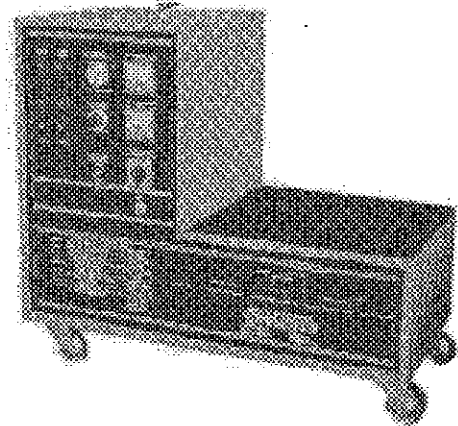
Na slikama 1, 2, 3 i 4 dat je izgled više tipova Gasogeneratora, uređaja za proizvodnju Braunovog gasa.

Braunov gas dobijen pomoću Gasogeneratora može se koristiti za:

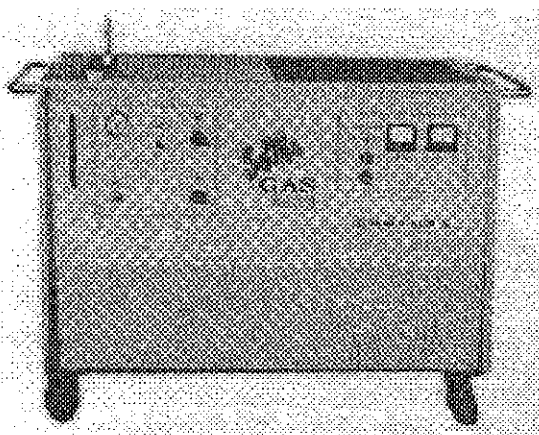
- Gasno zavarivanje i tvrdo i meko lemljenje čelika, obojenih i plemenitih metala.
- Gasno zagrevanje delova i predgrevanje delova za zavarivanje.
- Gasno sečenje metala uz dodtni mlaz kiseonika za sečenje.
- Gasno zagrevanje metala za termičku obradu.
- Poliranje plamenim itd



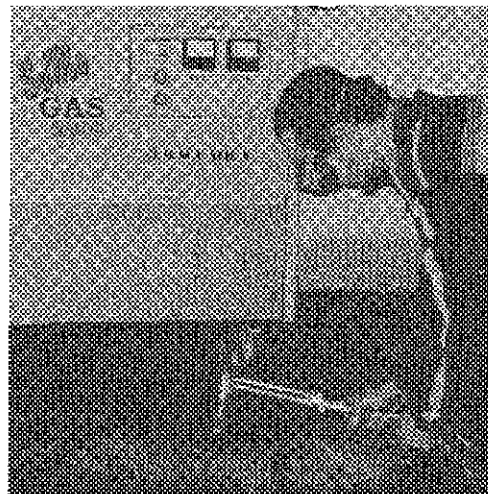
SLIKA 1. GAS GENERATOR



SLIKA 2. NG 1000



Slika 3. NG 2000



SLIKA 4. APARAT U RADU

3.0 KARAKTERISTIKE PRIMENE BRAUNOVOG GASA

Pored osnovnih karakteristika primene Braunovog gasa proizvedenog pomoću Gasogeneratorsa u industrijskim uslovima kao što su:

- Bezbednost u primeni;
- Operativna efikasnost;
- Pouzdanost;
- Neškodljivost po okolinu itd,

Treba navesti i druge prednosti primene, odnosno argumente za tehnoekonomsku opravdanost primene.

Vodonik ima iste, ako ne i povoljnije termičke karakteristike koji opravdavaju primenu

Braunovog gasa pre svega za zavarivanje i sečenje metala. U tabeli 2. date su uporedne termičke karakteristike gorivih gasova koji se najčešće koriste u industrijskim uslovima iz koje se ovo i vidi.

Tabela 2.

PARAMETAR	ACETILEN C ₂ H ₂	PRIRODNI GAS	PROPAN C ₃ H ₈	VODON IK H ₂
SNAGA PLAMENA (Kcal/m ³)	10,70	3,30	2,56	3,34
TEMPERATURA SAGOREVANJA SA KISEONIKOM (*C)	3200	2000	2750	2100
KONCENTRACIJA KOJA OBEZBEĐUJE ZAPALJENJE NA VAZDUHU (% ZAPREMINSKIM)	2,8-82	6,5-35	2,1-9,5	4,1-75
KONCENTRACIJA KOJA OBEZBEĐUJE ZAPALJENJE U KISEONIKU (% ZAPREMINSKIM)	2,8-93	-	3,0-45	4,5-95
MINIMALNA TEMPERATURA ZAPALJENJA U KISEONIKU (*C)	300	450	490	450
GUSTINA (Kg/m ³) / P=1bar, t=20*c/	1,171	0,680	2,004	0,090
USLOVI SKLADIŠTENJA	U čeličnim bocama pod pritiskom 15 Kg/cm ²	Iz gradske mreže	U čeličnim bocama pod pritiskom	U čeličnim bocama pod pritisko m 150 Kg/cm ²
BOJA OZNAKE BOCE	Žuta	-	Crvena	Crvena

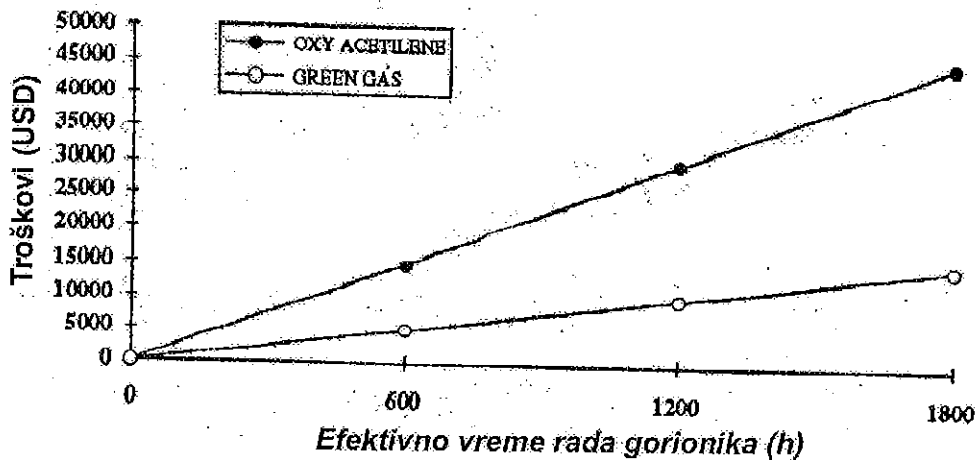
Pored ovoga primenom Braunovog gasa se postižu znatne uštede posebno pri gasnom sečenju materijala, što se može videti iz tabele 3 u kojoj su dati parametri mašinskog sečenja materijala i ušteda kiseonika za sečenje po času rada.

Tabela 3.

Debljina materijala (mm)	Tip dizne	Pritisak O ₂ za sečenje (Kg/cm ²)	Brzina sečenja (mm/min)	Potrošnja O ₂ za sečenje (N l/h)	Ušteda O ₂ za sečenje (N l/h)
5	00	1,5	-690	690	440
5-10	0	2,0	690-550	1200	440
10-15	1	2,5	550-490	2100	440
15-30	2	3,0	490-400	3400	440
30-40	3	3,0	400-350	4300	528
40-50	4	3,5	350-320	6500	605
50-100	5	4,0	320-200	11000	759
100-150	6	4,0	200-150	15000	825

Navedene brzine sečenja mogu se postići i sa nižim pritiscima kiseonika i do 30%, a brzine sečenja se mogu povećati i za 30% bez uticaja na kvalitet sečenih površina. Imajući u vidu cenu uređaja i uštede kiseonika i vremena sečenja ulaganje u uređaj se isplati za oko tri meseca rada u jednoj smeni.

Na slici 5. grafički je dat prikaz ušteta koje se ostvaruju primenom uređaja za proizvodnju Braunovog gasa u odnosu na sečenje smešom acetilen kiseonik.



Slika 5.

4.0 ZAKLJUČAK

Primenom Braunovog gasa koji se dobija pomoću gasogenetatora postižu se sledeći efekti koji u potpunosti opravdavaju njegovu primenu. Moguće je zagrevati, meko i tvrdo lemiti, zavarivati i seći skoro sve metale, kao i polirati metalne i neke nemetalne materijale. Sagorevanjem Braunovog gasa dobija se perfektan neutralni plamen i visoko koncentrovana toplotna energija, koja omogućava izvođenje veoma preciznih radova. Gas za zagrevanje se može proizvoditi u različitim uslovima i ne zahteva posebne uslove niti skladištenje. Pošto je lakši od vazduha potpuno je bezbedan za rad. Primenom gasogenetatora postižu se velike uštede i efikasnost u radu. Ovo potvrđuje i njegoa primena u SZP "Zavarivač" u Vranju gde se za mašinsko sečenje koriste dva ovakva uređaja ostvarujući odličan kvalitet sečenih površina i uštede u radu. Zahvaljujući potpunom sagorevanju nema štetnih produkata sagorevanja te se ovaj gas s pravom naziva zeleni gas.

5.0 LITERATURA

1. S.Bakračeski, Gasno zavarivanje i rezanje, Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji, Beograd 1987.
2. M.Jovanović, D.Adamović, V.Lazić, Tehnologija zavarivanja, Samostalno autorsko izdanje, Kragujevac, 1996.
3. M.Živčić, Zavarivanje i srodni postupci, Društvo za tehniku zavarivanja SRH, Zagreb 1968
4. Tehnička dokumentacija "Mačkatice", Surdulica, 1998.
5. Tehnička dokumentacija IMK "14.oktobar" AD Kruševac
6. Tehnička dokumentacija "Tehnogas" Beograd
7. Standardi JUS

REVITALIZACIJA ELEMENATA HIDROINSTALACIJA MAŠINA GRADJEVINSKE, RUDARSKE I TRANSPORTNE MEHANIZACIJE

Živković M., Antić B.¹, Trifunović D.²

Rezime

Radne sredine mašina građevinske, rudarske i transportne mehanizacije se pokazuju kao jedan od značajnih uticaja na sigurnost i pouzdanost hidrauličkih komponenata tih mašina.

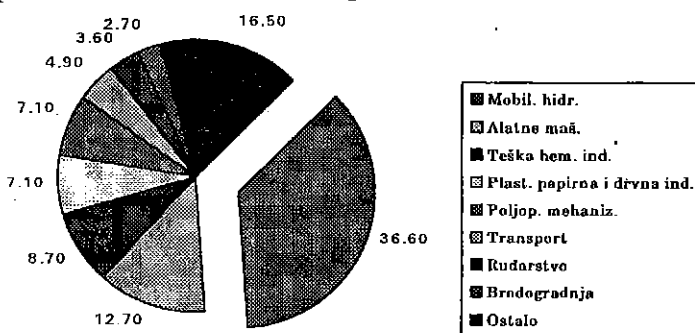
Posebnu osetljivost ispoljavaju pokretni elementi razvodnih sekcija zbog velikog broja uključivanja, odnosno isključivanja u toku rada, usled čega dolazi do njihovog oštećenja.

U radu je analiziran jedan od postupaka revitalizacije sklopa tela i klipa razvodnika koji na adekvatan način produžava radni vek navedenog sklopa.

Ključne reči: razvodni elementi, revitalizacija

1. UVOD

Široke mogućnosti koje pružaju hidraulički uređaji (HU) i sistemi uslovile su njihov prodor u skoro sve oblasti privredne delatnosti, zahvaljujući pre svega svojim prednostima u



Sl. 1. Struktura primene hidrauličkih komponenti po oblastima

odnosu do sada primenjivane uređaje. Pregled primene HU i sistema na različitim objektima prikazan je sl. 1, [2]. Uočljiva je najveća zastupljenost primene HU u mobilnoj hidraulici.

Kako "mobilne mašine" spadaju u grupu robusnih i visoko akumulativnih mašina, to primenjeni HU ostvaruju tražene zahteve pre svega zbog:

- mogućnosti prenosa velikih sila i momenata pri malim gabaritima HU;
- visok stepen iskorišćenja ($\eta_u = 0,95 \div 0,96$);
- mogućnost pokretanja iz stanja mirovanja i pod punim opterećenjem;
- mogućnost prilagodjavanja silama otpora, koje treba savladati, i njihovo ostvarivanje u širokom dijapazonu;
- kontinualna promena brzine, momenata, sile i dr.;
- lake i efikasne zaštite od preopterećenja;
- visoke pouzdanosti i dugog veka trajanja ugrađenih komponenata (tab. T-1, [3]).

Navedeni podaci tabelom T-1, o pouzdanosti i intenzitetu otkaza (λ_0) dobijeni su u laboratorijskim uslovima pri određenom nominalnom opterećenju. U realnim uslovima intenzitet otkaza se značajno smanjuje zbog uticaja: radne sredine, ljudskog faktora, neravnomernosti opterećenja i dr. Uticaj realnih uslova se može uzeti u obzir preko popravničkih koeficijenata shodno jednačinama 1 i 2, [3]:

¹ Živković Milutin, Antić Bratislav – "AM Hidraulik" Trstenik 037/714-505

² Prof. mr Trifunović Dragan – Viša tehnička mašinska škola Trstenik 037/714-121

$$\lambda = C_1 \cdot C_2 \cdot \lambda_0 \dots\dots\dots (1),$$

gde je: C_1 – popravni koeficijent koji uzima u obzir spoljne uslove (T-2), [3];

C_2 – popravni koeficijent kojim uzima u obzir uticaj režima rada i snaga (puna snaga, delimična, prazan hod, mirovanje i td.).

u opštem slučaju: $C_2 = (P_p / P_0)^n \dots\dots\dots (2),$

gde je: P_p – proračunska snaga; P_0 – nominalna snaga;

n – eksponent koji se može naći u stručnoj literaturi (npr. za kotrljajne ležajeve $n=3$), [3].

T-1

Naziv komponenata i njihovih elemenata	$\lambda_0 \cdot 10^6$		
	min.	sred.	maks.
1. Hidromotori	1,45	4,3	7,15
2. Hidraulički cilindri	0,005	0,008	0,012
3. Hidraulički akumulatori	0,35	6,18	18,1
4. Pumpe sa električnim pogonom	2,9	13,5	27,4
5. Pumpe sa upravljačkim servo-mehanizmom	2,81	11,28	45,0
6. Rezervoari	2,48	1,5	3,37
7. Izmenjivači toplote	2,21	15	18,6
8. Mehanički filtri	0,045	0,3	1,8
9. Klizne zaptivke	0,11	0,3	0,92
10. Spojevi hidraul. vodova (mehanički)	0,012	0,03	2,01
11. Razdvojne spojke		0,56	
12. Elastična creva		3,66	
13. Elektromagneti (solenoidni) ventili	2,27	11,0	19,7
14. Razvodnici sa ručnim aktiviranjem	0,67	1,1	2,19
15. Ventili sigurnosti	0,224	5,7	14,1
16. Nepovratni ventili	3,41	5,7	15,31
17. Obilazni (by-pass) ventili	6,15	2,24	8,13
18. Ventili za rasterećenje	1,97	10,8	19
19. Razdeljivači protoka	3,7	16,0	19,7
20. Regulatori protoka	0,7	2,14	5,54
21. Reduktori pritiska		3,55	
22. Asinhroni elektromotori	4,40	8,6	11,2

T-2

Uslovi ispitivanja i eksploatacije	Popravka C_1
Laboratorije i uređene prostorije	1
Stacionarni kopneni uslovi	10
Brodovi pri montaži i zaštini uslovima	17
Autoprikolice	25
Čelezneke platforme	30
Aparatura probnih stolova	70
Avioni	120 - 150
Dirigovani projektili	300 - 350
Savremene rakete	900 - 1000

Kako HU, u većini slučajeva, predstavljaju popravljive sisteme ovim radom prezentirace se postupak reparacije hidrauličkih razvodnih elemenata, kao veoma odgovornom elementu, kojim se uređaji iz stanja "u otkazu" dovede u stanje "u radu".

2. OSNOVNI TIPOVI RAZVODNIKA

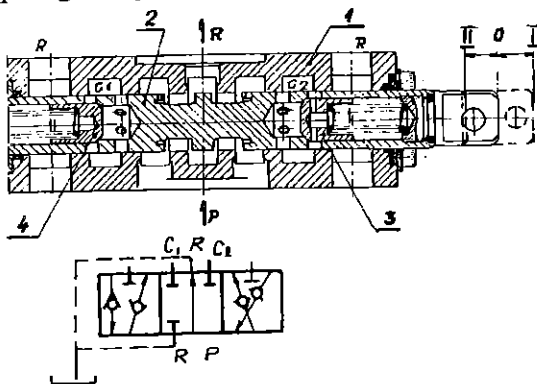
Kod izvedenih konstrukcija razvodnih elemenata najčešće se sreću sledeća hidraulička upravljačka kola:

- "TANDEM" hidrauličko kolo - ulje ulazi u cilindar vezan na razvodni element koji je najbliži pumpi. Uvek može da se radi samo sa jednim razvodnim elementom (cilindrom), ali ako su ručice u neutralnom položaju pumpa je spojena sa rezervoarom;
- "PARALELNO" hidrauličko kolo - kod uključena dva razvodna elementa, pumpa će biti povezana sa komorama jednog i drugog cilindra a ulje će odlaziti u komoru cilindra koja zahteva niži pritisak. Odgovarajućim položajem klipova razvodnih elemenata, moguće je postići istovremeno dovodjenje ulja u oba cilindra i pri različitim opterećenjima;
- "SERIJSKO" hidrauličko kolo - kod istovremeno uključena dva razvodna elementa, povratno ulje iz cilindra upravljanog prvim razvodnim elementom, se umesto u rezervoar, uključenim drugim razvodnim elementom odvodi u drugi cilindar. Ovim konstrukcijskim rešenjem omogućuje se postizanje maksimalne brzine izvršnih organa.

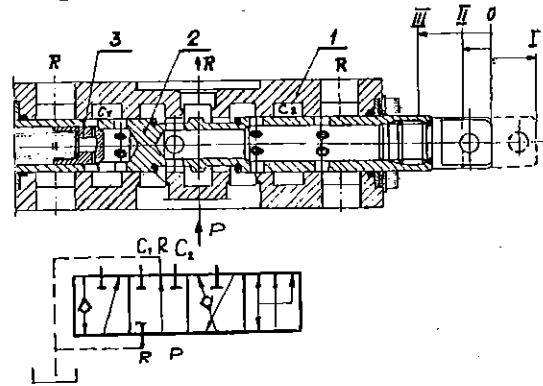
Na mobilnim mašinama, domaće proizvodnje, najširu primenu su našla "tandem" i "paralelna" hidraulička kola. U PPT Trstenik su razvijene varijante razvodnih elemenata sa odlivenim kućištem, a njihov broj zavisi od broja radnih elemenata (cilindara, hidromotora). U zavisnosti od specifičnosti radne mašine razvijene su varijante razvodnih elemenata sa tri (sl. 2) i četiri (sl. 3) položaja klipa [3]. Kako se razvoj HU na mobilnim mašinama kreće u pravcu povećanja radnih pritisaka što omogućuje smanjenje gabarita i težine.

Osnovna funkcija svakog klipno-aksijalnog razvodnika je razvodjenje hidrauličkog

ulja u određenu komoru cilindra što na prvi pogled za konstruktora ne predstavlja poseban problem. Komplikacije nastaju, pri prelaznim procesima, kod "prebacivanja" razvodnog klipa iz jednog položaja u drugi, kao i potreba korisnika za regulacijom brzine i "držanja" podignutog tereta iz funkcionalnih i bezbednosnih razloga.



Sl. 2. Razvodni element sa tri položaja klipa (I, O, II)

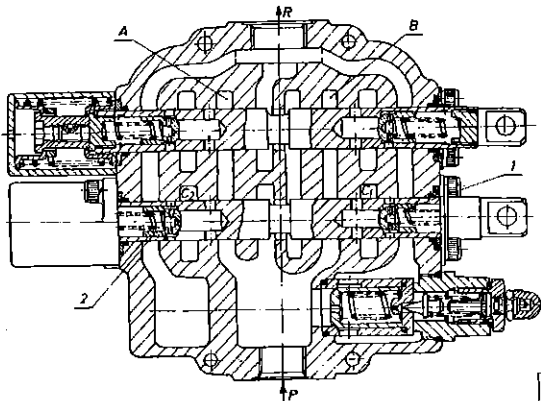


Sl. 3. Razvodni element sa četiri položaja klipa

Prema konstrukciji razvodnih elemenata, a u vezi prelaznih procesa pri komandovanju, na tržištu se mogu naći sledeća konstrukcijska rešenja:

- razvodnici sa pozitivnim "preklapanjem";
- razvodnici sa negativnim "preklapanjem";
- razvodnici sa "prigušenjem" u medju položaju.

Za veće nazivne protoke i pritiske primenjuju se rešenja razvodnih ventila u vidu monoblokova. Izradjuju se kao "paralelna veza" što omogućuje istovremeno napajanje preko kanala (A) i (B) svih razvodnih elemenata bez obzira na smer njihovog uključivanja sl. 4, [3].



Sl. 4. Presek dvosekcijskog razvodnog ventila (monoblok)

3. POUZDANOST RAZVODNIH VENTILA

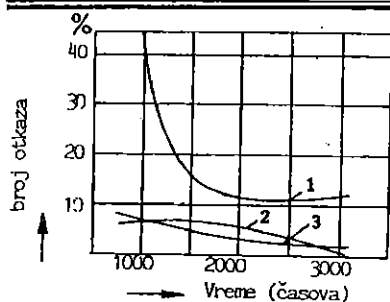
Pojam "pouzdanost" može se okarakterisati kao osobina tehničkih uređaja da, u određenim eksploatacionim uslovima i u toku

određenog vremenskog intervala, ispune sve zadate funkcije pri očuvanju vrednosti

parametara i radnih karakteristika u granicama utvrdjenim tehničkim zahtevima. Termin "neispravnost" je najopštijeg karaktera i uključuje u sebe pojmove "otkaz" i "oštećenje". Otkaz, dakle, karakteriše ne samo prestanak rada sistema, nego i odstupanje bar jednog osnovnog parametra sistema izvan granica zadatih tehničkih uslova.

Sistem se naziva "popravljivim", a hidraulički uređaji spadaju u ovu grupu, ako nakon otklanjanja neispravnosti sistem ponovo dobija polazne parametre i isto tehničko stanje.

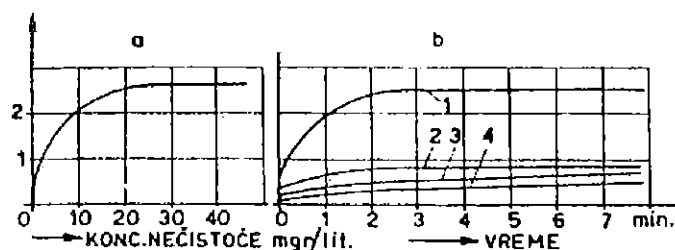
Na smanjenje pouzdanosti razvodnih elemenata razvodnika utiču objektivni (radna sredina, mehanička i druga spoljna dejstva, starenje i habanje) i subjektivne (uticaj čoveka) faktore. Vlastita iskustva pokazuju da je najveći broj kvarova posledica narušavanja unutrašnje nehermetičnosti. Slikom 5 dat je raspored kvarova klipno aksijalnog razvodnog ventila sa elektro magnetnim upravljanjem, [1].



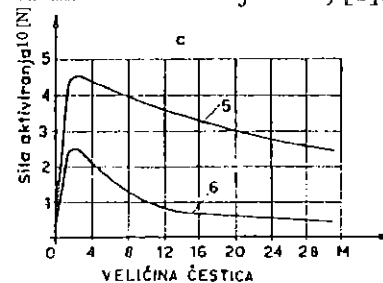
1 - Unutrašnja nehermetičnost
2 - Spoljna nehermetičnost
3 - Ostali kvarovi

Sl. 5. Procentualni uticaj otkaza na kvarove klipno aksijanog razvodnog ventila

Povećani unutrašnji gubici su posledica povećanog zazora između tela i razvodnog klipa. Spoljna nehermetičnost se pojavljuje kao posledica nezaptivanja zaptivnih elemenata. Istraživanja su pokazala da odlučujući uticaj na rad razvodnog ventila ima uticaj okolne sredine izražen stepenom zaprljanosti ulja. Zavisnosti sile aktiviranja razvodnog klipa od koncentracije nečistoća, vremena držanja pod pritiskom i veličine čestica dat je sl. 6, [1].



a) sila aktiviranja klipa od koncentracije nečistoća
b) sila aktiviranja klipa od vremena držanja



c) sila aktiviranja klipa od veličine čestica

1 - čestica veličine do 2μ; 2 - čestica veličine do 10μ; 3 - čestica veličine do 30μ;
4 - nezaprljano ulje; 5 - koncentracija nečistoće 40mg/l; 6 - koncentracija nečistoće 0,5mg/l

Sl. 6. Uticaj zaprljanosti ulja na silu aktiviranja klipa razvodnika

3.1. Izvori nečistoće

Prisustvo nečistoće u radnom fluidu, iskustva govore, prouzrokuje stanje "u otkazu" više od 50% slučajeva. Ona uglavnom dolazi u sistem iz tri osnovna izvora:

- unošenjem pre puštanja u rad;
- stvaranjem unutar sistema za vreme rada (habanjem pokretnih metalnih i zaptivnih delova HU i dr.);
- unošenjem u sistem iz spoljne okoline u toku rada (prilikom popravke ili zamene HU ili zbog izloženosti pokretnih delova HU spoljnim uticajima).

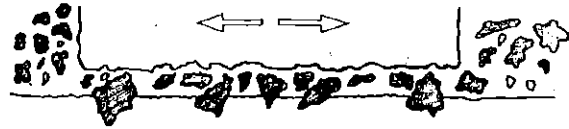
Analizom nečistoća hidrauličkog ulja došlo se do sledećeg sadržaja: vlakna veštačkih materijala, sitne čestice kvarnog peska, ostaci laka, čestice metala od habanja, pločice raznih oksida, čestice korozije, ostaci od zaptivki i dr.

Ako se dovede u vezu tolerantno polje i veličina mehaničke čestice, tada je moguće zaključiti da su za hidrauličke uređaje "najopasnije" čvrste čestice, čija je veličina približno jednaka ili malo veća od veličine zazora. Broj čestica i njihova veličina najviše oštećuju površine u kontaktu što ilustruje sl. 7. Na sl. 7. uočljiva je pojava habanja znatno tvrdijih površina razvodnog klipa zbog utiskivanja čestica nečistoće u znatno meku strukturu materijala razvodnog tela. Kriterijumi i preporuke za ocenu indeksa zaprljanosti ulja preko nomograma ili dijagrama mogu se naći u literaturi koja se bavi predmetnom problematikom, [1, 5]. Stepen zaprljanosti ulja je u direktnoj vezi sa radnim pritiskom sl. 8, [5].

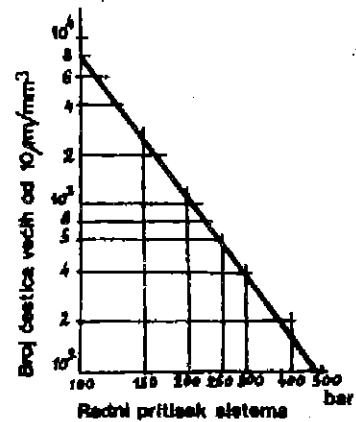
3.2. Manifestacija oštećenja razvodnih ventila

Razvodni ventili sa cilindričnim klipom spadaju u grupu komponenti kod kojih se veliki broj oštećenja ili otkaza može identifikovati bez demontaže i provere na posebnom stolu. Tabelom T-3 dati su najčešći uzroci otkaza istih u hidrauličkom sistemu, [4].

Otkaz	Uzrok otkaza
Klip razvodnika sa direktnim upravljanjem se ne pomera iz neutralnog u radni položaj	<ul style="list-style-type: none"> do elektromagneta nije dovedena struja ispravan je dovod struje, ali je neispravan elektromagnet kod razvodnika sa hidrauličkim upravljanjem, pritisak upravljačkog ulja nije dovoljan, opruga je oštećena klip je blokirao, u ulju su čvrste čestice klip je blokirao, u ulju su prisutni smolasti proizvodi oksidacije došlo je do deformacije klipa
Klip razvodnika sa direktnim upravljanjem se ne pomera iz radnog u neutralni položaj	<ul style="list-style-type: none"> klip je blokirao, u ulju su prisutne čvrste čestice klip je blokirao, u ulju su prisutni smolasti proizvodi oksidacije opruge za centriranje su oštećene došlo je do deformacije klipa
Kroz razvodnik protiče smanjena količina ulja ili ulje uopšte ne protiče	<ul style="list-style-type: none"> klip se ne pomera u potreban položaj došlo je do proširenja tolerantnog područja
Klip je u neutralnom položaju, ali ulje protiče prema zatvorenoj strani	<ul style="list-style-type: none"> došlo je do proširenja tolerantnog područja oštećena je površina cilindra i/ili klipa u obliku rseva
Telo razvodnika se zagreva	<ul style="list-style-type: none"> došlo je do povećanja zazora, pa je povećano proticanje
Elektromagnet zuji i ili se zagreva	<ul style="list-style-type: none"> otkaz elektromagneta
Razvodnik sa indirektnim hidrauličkim upravljanjem - dodatni otkazi	
Glavni klip se pomera manjom ili većom brzinom od potrebne	<ul style="list-style-type: none"> kod razvodnika sa ugrađenim prigušenjem protoka upravljačkog ulja, nije dobro izvršeno podešavanje prigušnih ventila oštećena je, ili je došlo do toma jedne od opruga za centriranje glavnog klipa
Glavni klip razvodnika se ne pomera iz neutralnog u radni položaj	<ul style="list-style-type: none"> čvrsta čestica zatvorila mlaznicu (kod razvodnika sa kombinovanim hidrauličkim upravljanjem) otkaz upravljačkog elektromagnetnog razvodnog ventila
Blok razvodnik mobilne hidraulike - dodatni otkazi	
Klip razvodnika se ne pomera iz neutralnog u radni položaj	<ul style="list-style-type: none"> otkaz upravljačkog sistema otkaz ventila za ograničenje pritiska, kao sastavnog dela bloka razvodnika proticanje ulja u jednom od razvodnika serijske ili paralelne veze



Sl. 7. Primer habanja razvodnog elementa



Sl. 8. Zavisnost stepena zaprljanosti i radnog pritiska

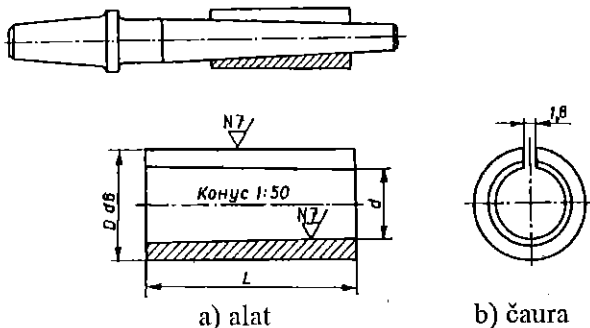
3.3. Tehnološki postupak popravke razvodnih ventila

Nakon demontaže, pranja i odmašćivanja sastavnih delova razvodnog ventila vrši se provera tolerantnog područja sklopa, klip-otvor tela razvodnika.

Ukoliko mere nisu u dozvoljenim tolerancijskim granicama pristupa se doradi sklopa (otvor se lepuje a klip nakon brušenja hromira).

Osobnost procesa lepovanja sastoji se u skidanju oštećenih unutrašnjih površina otvora pomoću belegija ili u ulju zrnaste paste, pomoću alata za lepovanje sl. 9a. Zrna paste, veličine $(0,15 \pm 0,75)$ mm, imaju različite oblike i raspoređuju se nepravilno duž obratka (razvodno telo). Relativnim kretanjem alata za lepovanje skida se "višak materijala" i dobija otvor vrlo visoke tačnosti mera i oblika, čak do 0,0005 mm, i visok kvalitet obradjene površine - prve do četvrte klase.

Na sl. 9b prikazano je rešenje čaure za lepovanje čijim se podešavanjem (navlačenjem) dobija mogućnost podešavanja željenog prečnika. Odstupanje ovalnosti i koničnosti otvora razvodnog tela lepovanjem ne sme biti veće od 0,002 mm.



Sl. 9 Izgled čaure i alata za lepovanje

Karakteristike procesa lepovanja su sledeće:

- istovremeno dejstvo većeg broja abrazivnih zrna i njihovo relativno sporo kretanje;
- primena sitnozrnastih abraziva - mikro praha;
- složena kinematika koja pogoduje radu zrna i dobijanju visokih kvaliteta tačnosti;
- nezatno zagrevanje i odsustvo strukturnih promena u površinskom sloju obratka.

Klipovima razvodnika se nakon brušenja, elektro-hemijskim putem (hromiranjem) povećava prečnik. Kako kod nanošenja većih prečnika (< 1 mm) postoji, zbog krtosti, mogućnost pucanja sloja hroma pristupa se izradi novog klipa, [6]. Prema meri lepovanog otvora klip se brusi i pasuje, zavisno od prečnika klipa. Za prečnik $\phi 22H7/f8$ u granicama $(0,012 \pm 0,015)$ mm. Nakon pasovanja montiraju se ostali elementi razvodnog ventila uz obavezna ispitivanja prema TU koji važe za novi uređjaj.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu literaturnih podataka i vlastitog iskustva, zaključujemo da popravljani uređjaji, ovakvim načinom, su jeftiniji a često puta imaju znatno duže bez otkazno vreme rada. Ono se može značajno povećati ako bi se više vodilo računa o čistoći ulja, zameni filterskih elemenata, periodičnim pregledima, boljim odnosom rukovaoca i dr.

LITERATURA

- [1] Ašković R., Čantrak S.: Hidraulika-razvodnici i ventili OMO, Beograd, 1986
- [2] Gašić M: Hidraulika na građevinskim i rudarskim mašinama, Zbornik radova HIP'95
- [3] Kopaonik, 10.-11. maj 1995
- [4] Stručni časopis: Hidraulika i pneumatika - brojevi 23/74, 31/76 i 32/76, IHP Prva
- [5] Petoletka - Trstenik
- [6] Savić V.: Održavanje hidrauličkih komponenti i sistema, IKOS-Novi Sad, I izdanje, 1997.
- [7] Jovanović P., Novaković M.: Održavanje uljne hidraulike, OMO-Beograd, 1984
- [8] Živković M., Tomić R.: Redukcija oštećenja i reparacija mašinskih delova primenom tehnologije tvrdog hromiranja, V MNSS-IPS'99, Podgorica-Bečići, CG- 22199C12 (str. 275-281).

ODREDJIVANJE ZNAČAJNOSTI PARAMETARA DIJAGNOSTIČKOG PROCESA POMOĆU NEURONSKIH MREŽA

dr Zoran Petrović¹⁾

REZIME

Kada je broj ulaznih podataka u dijagnostički sistem mnogobrojani, kao kod frekventnog ili envelop spektara buke, za kvalitetnu dijagnostiku ili projektovanje ekspertnog sistema, potrebno je odrediti koji su ulazi značajni za dobijanje dijagnostike. Evoluciono programirana neuronska mreža koristi mutaciju težina i veza za rešavanje problema značajnosti parametara koji se koriste u procesu tehničke dijagnostike.

1. UVOD

Vrednosti dijagnostičkih parametara kod dijagnostičkog sistema baziranog na neuronskoj mreži korisnika ne upućuju na direktno objašnjenje dijagnoze. U suštini, korisnik ne zna koji to parametar ili parametri su uzročnici dobijene dijagnoze. Logika učenja je sakrivena od korisnika, tako da se ne daje niti objašnjenje postupka, niti značajnost pojedinih parametara. Kod frekventne analize i envelop spektra jasno se izdvajaju zavisnosti između povećanja vrednosti inteziteta signala u nekoj ili nekim frekvencijama pri pojavi određenog otkaza. Primeri pokazuju da je povećanje inteziteta signala u nekom frekventnom opsegu zavisno od vrste otkaza, stepena oštećenosti, broja obrtaja, karakteristika komponenti koje su ugrađene idr. Analiza svih parametara značajnih za pojedine otkaze zahteva širok opseg ekspertnog znanja što je često teško realizovati. Radi toga, potrebno je projektovati sistem koji je u mogućnosti da proceni i automatski izdvoji značajne signale odnosno simptome. Ako se prihvati definicija da je promena težina veza u neuronskoj mreži zbog kodifikacije primera u mrežu učenje, onda je promena težine veze u zavisnosti od "značajnosti" signala koji ta težina veze (sinapsa) modifikuje. Ovakva veza nudi način za rešenje problema značajnosti i formiranje pravila kod konvencionalnih ekspertnih sistema pomoću evolucionih neuronskih mreža. Ako na izlaznom neuronu koji, direktno pokazuje kakvo je stanje nekog elementa, postoje pojačavajuće težine veza koje značajno pojačavaju neke od ulaznih signala onda je to siguran znak značajnosti odnosno uticajnosti te veze. Kako je izlaz iz neuronske mreže u ovom slučaju uvek veći od nule a kada postoji otkaz blizak jedinici, onda je jasno da veze koje su značajne moraju imati veće vrednosti težine veze.

2. Izbor arhitekture mreže

Za određivanje značajnosti dijagnostičkih podataka dobijenih merenjem buke (1/3 oktavni frekventni spektar) korišćena je backpropagation neuronska mreža. Arhitektura mreže

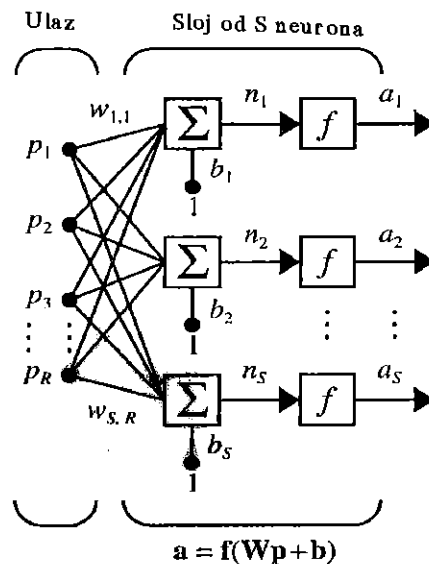
¹⁾ Mašinski fakultet Kraljevo, 36 000, Dositejeva 19. tel./faks 036 336-866

prikazana je na slici 1. Neuronska mreža je jednoslojna i sastoji se od $S=5$ ulazno/izlaznih neurona. Broj neurona se vezuje za broj otkaza koji se tretiraju dijagnostičkim modelom. Ulaz u neuronsku mrežu je vektor $[P]$ dužine $R=32$ čiji su elementi inteziteti buke u 1/3 oktavnom frekventnom spektru. Svaki neuron dobija signal sa ulaznog vektora tako da se formira matrica težina veza $W = [w_{i,j}]$ koja ima S vrsta i R kolona.

Svakom neuronu pridružen je i aktivacioni prag b tako da se nakon izračunavanja vrednosti izraza:

$$a = f(Wp + b) \quad (1)$$

dobijaju izlazne vrednosti a . Izlazne vrednosti dobijene su korišćenjem logističke funkcije. Izlazi imaju vrednosti između nule i jedinice što predstavlja intezitet otkaza, gde je 0-nema otkaza i 1-potpuni otkaz.

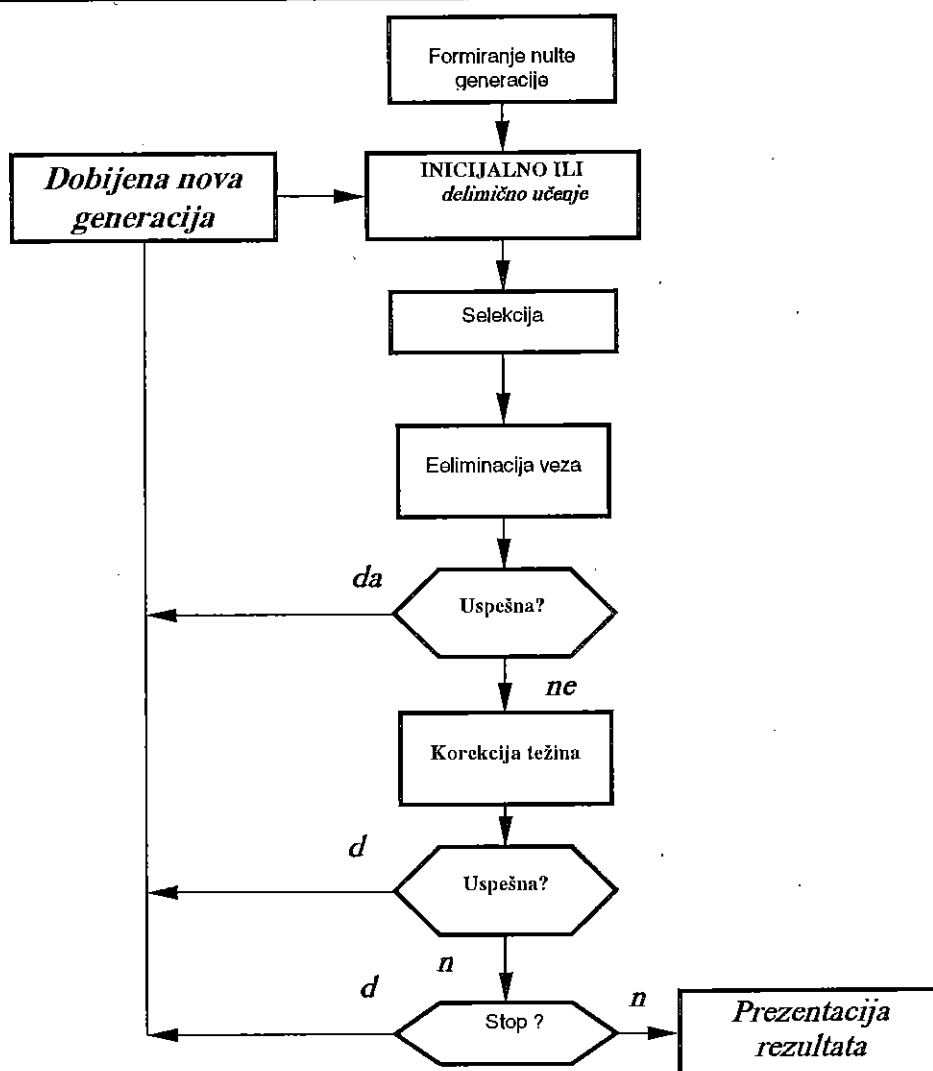


Slika 1. Jednoslojna neronska mreža

3. ALGORITAM FUNKCIONISANJA

Izbor arhitekture neuronske mreže vrši se unosom podataka u programski ekran. Kako je neuronska mreža jednoslojna, unose se broj čvorova i transfer funkcija samo za prvi sloj. Ovde je broj čvorova jednak broju otkaza koji se dijagnosticiraju. Zatim se određuju: veličina trening uzoraka, broj generacija, broj neuronskih mreža u generaciji i minimalni broj trening epoha svake mreže u generaciji. Broj generacija je parametar koji služi za izlazak iz programa. Ukoliko za zadati broj generacija nema poboljšanja pogodnosti mreže program se završava.

Kako je pokazano na slici 2. evolucioni proces započinje formiranjem nulte generacije. Izabrani broj neuronskih mreža koji čini nultu generaciju podvrgava se inicijalizaciji težina veza tako što se elementi matrice W biraju kao slučajne vrednosti bliske nuli. Inicijalizovane mreže nulte generacije se treniraju izabranim trening algoritmom i prethodno unetim brojem epoha. Trenirane mreže se testiraju jedinstvenim test uzorkom i nakon dobijanja vrednosti parametra relativne podobnosti rangiraju se prema veličini dobijenog parametra mreže. Selekcijom po rangu iz nulte generacije se biraju individue koje će se podvrgnuti operacijama evolucionog programiranja. Individue sa višim rangom imaju veću verovatnoću reprodukcije u sledećoj generaciji.



Slika 2. Algoritam programa za dobijanje pravila

Evolucija težina veza vrši se simultano pomoću dve mutacije i to: mutacije koja eliminiše težine veza i mutacijom koja menja vrednosti težina veza. Slučajno izabrane težine veza se eliminiše prema uniformnoj raspodeli, na taj način što se pretvore u nule. Broj veza koji se eliminiše takođe se bira kao slučajan broj u okviru unapred određenih granica (1-5 težina). Broj težina veza kao i izbor veza koje se mutiraju se vrši na slučajan način.

Evolucija generacija neuronskih mreža vrši se do ispunjenja kriterijuma broja generacija, mada se mogu uvesti i drugi kriterijumi: vreme, tačnost idr.

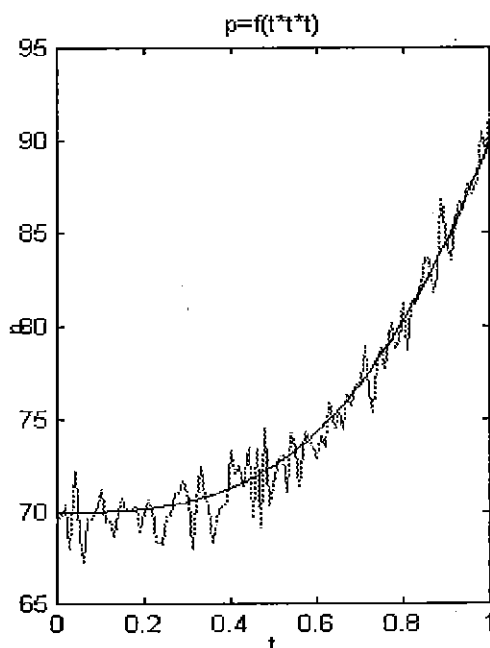
4. PROGRAM ZA SIMULACIJU ULAZNO-IZLAZNIH PODATAKA

Pri testiranju ovog programa sa podacima iz prakse, zbog nedovoljnog broja uzoraka, dobijeni rezultati nisu mogli korektno da verifikuju direktnu vezu između simptoma i otkaza. Zbog toga, urađen je program za simulaciju ulazno-izlaznih podataka. Teza je: ako se evoluciono programiranom neuronskom mrežom identifikuju simptomi od značaja za pojedine otkaze pri simuliranim podacima, onda i sa realnim podacima treba očekivati korektno odgovore. Razmatrana je topologija podataka sa 32 ulaza i 5 izlaza koja se odnosi na intezitete buke u 1/3 oktavnim opsezima. Veza između ulaza i izlaza ostvarena je prema sledećoj jednačini:

$$P_{(n,j)} = p_{(n)p} + a \cdot t_{(s,j)}^k \pm 3 \cdot \text{rand}(1) \quad (2)$$

gde su: $t_{(s,j)}$ - element matrice veličine $s=5$ (čvorova) i $j=200$ (dužina podataka) slučajno izabranih izlaznih vrednosti stanja otkaza između 0 i 1,
 $P_{(n,j)}$ - element matrice veličine $n=32$ (broj ulaza) i $j=200$ ulaznih vrednosti,
 $P_{(n)p}$ - element početnog vektora (intezitet buke za n -ti 1/3 oktavni opseg pri funkcionisanju bez pojave otkaza,
 a i k - parametri pojačanja i nelinearnosti (tabela 1.) i
 $rand$ - slučajni broj između 0 i 1.

Primenom (2) dobija se simulirana zavisnost između stanja otkaza i inteziteta dijagnostičkog parametra (slika 3.) za vrednosti simulacionih parametara $p_p=70$, $a=20$ i $k=3$. Na dijagramu je crnom bojom prikazana osnovna zavisnost, dok je crvenom bojom (lomljena kriva)



Slika 3. Primer simulirane zavisnosti ulaza i izlaza

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P	13	31	32	53	57	52	70	70	67	78	74	80	90	84	81	84
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	15
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2
K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1
N	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
P	85	84	81	84	80	78	74	75	75	75	72	71	67	64	56	64
A	0	0	0	0	20	0	10	15	0	20	0	0	0	0	0	0
S	-	-	-	-	3	-	3	4	-	5	-	-	-	-	-	-
K	0	0	0	0	3	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabela 1. Vrednosti parametara simulacije

prikazana zavisnost sa uvedenim šumom (treći element desne strane jednačine), koji simulira realnu situaciju.

U vrstama označenim simbolom "s" data je relacija pojačanja, što znači da je pojačanje na ulazima 21 i 23 povezano sa čvorom 3. Na ovaj način je obezbeđen skup ulazno izlaznih podataka kod kojih postoje različite veze između ulaza i izlaza (linearna i stepena), višestruki uticaj, različito pojačanje i šum kod svakog podatka.

5. TRENING MREŽE

Trening navedene mreže je vršen sa mnogobrojnim backpropagation algoritmima kao što su: gradijentni spust (moment, adaptivna stopa učenja i njihova kombinacija), Levenberg – Marquardt, konjugovani gradijent (funkcije za ažuriranje težina veza i pragova Polak-Ribiere, Fletcher-Reeves i Powell-Beale), jednokoračni sekant i kvazi-Njutnovim metodom. Najbolji rezultati ostvareni su pri tereningu sa metodom konjugovanog gradijenta i to kada se ažuriranje težina veza i pragova vrši uz pomoć Fletcher-Reeves funkcije. Promenljive $X(w_{ij}, b_i)$ se menjaju prema sledećem obrascu:

$$X = X + a \cdot dX \quad (3)$$

gde su:

dX – pravac istraživanja i

a – parametar koji minimizuje performansu u pravcu smeru istraživanja.

Pravac istraživanja se koristi za dobijanje tačke minimuma. Prvi pravac istraživanja je negativna vrednost gradijenta performanse (greške) da bi se u narednim iteracijama pravac istraživanja izračunavao na bazi novog gradijenta i prethodnog pravca na osnovu sledećeg izraza:

$$dX = -qX + dX_{\text{staro}} \cdot z \quad (4)$$

gde su:

qX – gradijent, i

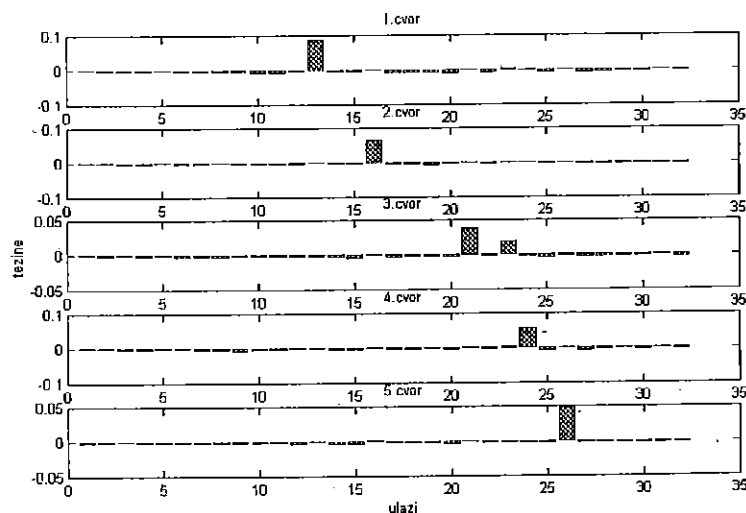
z – parametar koji se računa na više različitih načina.

U ovom slučaju parametar z se izračunava kao odnos normiranog kvadrata prethodnog gradijenta sa normiranom vrednošću kvadrata tekućeg gradijenta.

Prekid treninga se ostvaruje kada se dogodi neko od navedenih stanja: Dostigne se maksimalni broj epoha, ostvari se minimalna dozvoljena greška dostigne se maksimalno predviđeno vreme treninga, vrednost gradijenta greške opadne ispod minimalne vrednosti.

6. OSTVARENI REZULTATI I ZAKLJUČAK

Rezultati testiranja programa evolucionog programiranja za funkcionalno povezivanje simptoma i otkaza dijagramski su prikazani na slici 4.



Slika 4. Težine veza najpodobnije neuronske mreže u 15-toj generaciji

Na slici 4. prikazane su težine veza posle petnaest generacija evolucionog programiranja neuronskih mreža, i vidi se da težine veza tj. ulazi, koji su kod simuliranog procesa određeni kao značajni za pojavu pojedinih otkaza imaju veće vrednosti od ostalih težina veza. Nakon završetka evolucionog procesa jasno se izdvajaju veze između ulaza (simptoma) i izlaza

(otkaza). Prema tome, jasno je da otkaz "1" zavisi od simptoma "14" ili otkaz "3" od simptoma "21 i 23". Očigledno je, da je uticaj šuma eliminisan jer sve ostale težine veza osim "značajnih" imaju minimalnu vrednost.

Ako se napiše u obliku pravila onda bi se ono moglo formulisati ovako:

Ako rastu vrednosti simptoma 21 i 23 Onda se pojavio otkaz 3.

Ili, ako je potrebno dati objašnjenje za neki rezultat iz neuronske mreže:

Otkaz 3 dobijen je na bazi simptoma 21 i 23 a oni nastaju usled ...

što može da iziskuje dublju analizu datog frekventnog opsega ili nekih drugih dijagnostičkih parametara kada se radi o drugim tipovima dijagnostike. U slučaju kada se radi o vibroakustičkim dijagnostičkim tehnikama može se korišćeni merni opseg produbljenom analizom podeliti na uže opsege a time dobiti tačniji (precizniji) rezultat.

LITERATURA:

- (1) Petrović Zoran, "Razvoj hibridnog ekspertnog sistema tehničke dijagnostike primenom neuro mreža", doktorska disertacija, Beograd 2000.
- (2) Hagan Martin, Demuth Hovard, Beale Mark "Neural Network Design" PWS publishing company, Boston, 1996.

DEFINING PARAMETERS SIGNIFICANCE of DIAGNOSTIC PROCESSES by NEURAL NETWORKS

When is the number of the input data in diagnostic system is numerous, like in frequency and envelope spectrum of noise, for the appropriate diagnostics or designing of the expert system, it is necessary to define which inputs are significant for receiving diagnostics. For the evolutionary programmed neural network it is used the mutation of weights and connections in order to solve the problem of significance of parameters used in the technical diagnostic.

AUTOMATIZOVANO ODREĐIVANJE PARAMETARA ZAVOJNE LJUSKE NA CILINDRIČNOJ LJUSCI

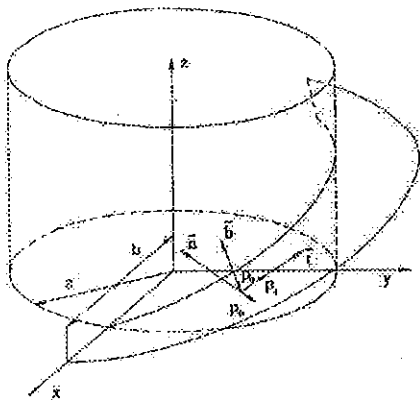
S. Savićević, M. Kalajdžić*

Rezime

U ovom radu dat je postupak automatizovanog određivanja geometrijskih karakteristika zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci koje se nalaze kod mašina specijalne namjene, zavojnih transportera i slično. Na osnovu diferencijalne jednačine savijanja zavojne ljuske izložene normalnom pritisku i diferencijalne jednačine savijanja cilindrične ljuske izložene kontinualnom spregu po zavojnoj liniji, definisani su granični uslovi na liniji presjeka ovih ljuski. Diferencijalna jednačina je riješena numerički metodom konačnih razlika korišćenjem programskog paketa MATLAB. Na osnovu kriterijuma čvrstoće određene su vrijednosti debljine ljuske za različite parametre. Analizirani su različiti modeli zavojne ljuske.

1. UVOD

Zavojna ljuska, koja se susreće kod specijalnih građevinskih mašina, zavojnih transportera i sl. se najčešće izrađuje kovanjem iz čeličnog lima ili iz čelične trake na specijalnim mašinama a zatim se zavaruje na cilindričnu ljusku. Kod zavojnih transportera ova ljuska se zavaruje na punim ili cijevnim vratilima sa spoljašnje strane vratila. Kod zavojnih cijevnih transportera zavojna ljuska se zavaruje sa unutrašnje strane cijevi a kod specijalnih mašina za čišćenje snijega i sličnim zavaruje se na tankim cilindričnim ljuskama većeg prečnika. U mehanici deformabilnog tijela poznate su analitičke metode proračuna ploča i ljuski. Njihovom primjenom rješava se relativno mali broj problema, i to onih koji se odnose



Slika 1. Zavojna ljuska na cilindričnoj ljusci

na jednostavnije geometrijske oblike ploča i ljuski. Broj naučnih radova koji se odnose na savijanje zavojne ljuske je vrlo mali. Primjena jednačina teorije ljuski i njihovo rješavanje u slučaju zavojne ljuske je izuzetno komplikovano. Objavljeni su radovi iz ove oblasti od J. W. Cohen-a [1] i S. G. Mikhlina-a [2].

Proračun elemenata oblika zavojne ljuske razvijenim numeričkim metodama, koje se primjenjuju u ovom radu, u novije vrijeme otvara nove mogućnosti analize međusobnih uticaja karakteristika ove ljuske na naponsko i deformacijsko stanje. Razvijene numeričke metode proračuna mašinskih konstrukcija odnose se najviše na primjenu MKE (metod konačnih

elemenata). Eksperimentalna istraživanja na specijalno izrađenim modelima ili originalnim konstrukcijama i pored činjenice da su skupa i složena predstavljaju neophodan metod za

* Prof. dr Milisav Kalajdžić, Mašinski fakultet - Beograd
Mr Sreten Savićević, Mašinski fakultet - Podgorica

cjelovito i pouzdano istraživanje konstrukcijskih elemenata.

Zavojna ljuska je dio površi konoidnog helikoida koji je po zavojnoj liniji postavljen na cilindar a sa spoljašnje strane je ograničen zavojnom linijom iste visine hoda i sa konstantnim prečnikom kao na slici 1. U radu se analizira uticaj kontinualno raspoređenog opterećenja normalno na površ ljuske.

2. SAVIJANJE ZAVOJNE LJUSKE

U radu [4] je izvedena diferencijalna jednačina po pomjeranju za zavojnu ljusku čije su parametarske jednačine srednje površi: $x = \theta^1 \cos \theta^2$, $y = \theta^1 \sin \theta^2$, $z = k\theta^2$. Ljuska je uklještena na zavojnici $\theta^1 = a$ i slobodna na zavojnici $\theta^1 = b$. Na ljusku djeluje jednoliko raspoređeni pritisak. Za sva izvođenja se koristi restriktivna teorija ljuski. Ne mogu se koristiti jednačine klasične teorije ljuski zbog činjenice da je mješoviti koeficijent druge fundamentalne forme površi različit od nule tj. koordinatne linije nisu linije krivine.

Pretpostavili smo da se pomjeranja u tangentnoj ravni $u_{\langle 1 \rangle}$, $u_{\langle 2 \rangle}$ mogu zanemariti u poređenju sa pomjeranjem u pravcu normale u_3 i da izvedene deformacijske veličine nisu funkcija od θ^2 .

Diferencijalna jednačina savijanja zavojne ljuske četvrtog reda po pomjeranja u_3 izvedena je u obliku:

$$\frac{d^4 u_3}{dr^4} + \frac{2r}{r^2 + k^2} \frac{d^3 u_3}{dr^3} - \frac{r^2 + k^2(v+1)}{(r^2 + k^2)^2} \frac{d^2 u_3}{dr^2} + \frac{r[r^2 + k^2(3v+4)]}{(r^2 + k^2)^3} \frac{du_3}{dr} + \left[\frac{2k^2(v+1)(3k^3 - 8r^2)}{(r^2 + k^2)^4} + \frac{24k^2(1-v)}{h_h^2(r^2 + k^2)^2} \right] u_3 + \frac{P}{B_h} = 0 \quad (1)$$

gdje je: r - krivolinijska koordinata na zavojnoj površi, h_h - debljina zavojne ljuske, $k=H/2\pi$ - nagib zavojne površi, H - visina hoda zavojne površi, E - modul elastičnosti, ν - Poisson-ov koeficijent, P - pritisak jednoliko raspoređen po površi ljuske, B_h - krutost na savijanje ljuske određena relacijom $B_h = Eh_h^3/12(1-\nu^2)$.

U specijalnom slučaju, za $k=0$ dobijamo

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du_3}{dr} \right) \right] \right] \right\} = -\frac{P}{B} \quad (2)$$

što predstavlja poznatu diferencijalnu jednačinu savijanja kružne ploče pri simetričnom opterećenju. U drugom specijalnom slučaju za $k \rightarrow \infty$ dobijamo

$$\frac{d^4 u_3}{dr^4} = -\frac{P}{B} \quad (3)$$

što predstavlja diferencijalnu jednačinu savijanja beskonačno duge ploče u cilindričnu površ. Granični uslovi su izvedeni u obliku

$$u_3 = 0 \quad (\text{za } r=a) \quad (4)$$

$$\frac{du_3}{dr} = 0 \quad (\text{za } r=a) \quad (5)$$

$$\frac{d^2 u_3}{dr^2} + \frac{\nu r}{r^2 + k^2} \frac{du_3}{dr} - \frac{k^2(v+1)}{(r^2 + k^2)^2} u_3 = 0 \quad (\text{za } r=b) \quad (6)$$

$$\frac{d^3 u_3}{dr^3} + \frac{r}{r^2 + k^2} \frac{d^2 u_3}{dr^2} - \frac{1}{r^2 + k^2} \frac{du_3}{dr} + \frac{4k^2(v+1)}{(r^2 + k^2)^3} u_3 = 0 \quad (\text{za } r=b) \quad (7)$$

3. SAVIJANJE CILINDRIČNE LJUSKE OPTEREĆENE KONTINUALNIM SPREGOM PO ZAVOJNOJ LINIJI

U radu [5] dat je postupak proračuna cilindrične ljuske izložene savijanju kontinualnim spregom po zavojnoj liniji. Kod konstrukcijskih elemenata oblika zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci opterećenje sa zavojne ljuske se prenosi na cilindričnu ljusku preko linije presjeka srednjih površi tj. preko zavojnice. Kada je zavojna ljuska opterećena pritiskom, rezultantu tog opterećenja na cilindar čine kontinualni spreg u pravcu tangente na zavojnu ljusku na cilindru i kontinualno raspoređena sila u tangentnoj ravni cilindra. U radu se uvode pretpostavke da su pomjeranja usljed sila zanemarljiva u poređenju sa pomjeranjima usljed sprega i da su pomjeranja duž zavojne linije jednaka nuli. S obzirom da su opterećenja i granični uslovi dati na zavojnici, uvedene su krivolinijske koordinate tačaka na srednjoj površi cilindrične ljuske, tako da koordinatne linije čine dvije familije međusobno ortogonalnih zavojnica. Za cilindričnu ljusku su korišćene relacije restriktivne teorije ljuski u tenzorskom obliku jer uvedene koordinatne linije nisu linije krivine cilindrične površi. Granični uslovi su definisani u srednjim tačkama presjeka bilo koje zavojnice iz familije $\varphi = \text{const.}$ sa zavojnicom $\psi = 0$ po kojoj je raspoređen spreg. Presječne tačke su za $\psi = 0$ i $\psi = \psi^* = 2\pi k^2 / (R^2 + k^2)$. Na osnovu četiri granična uslova određene su nepoznate konstante u rješenju homogene linearne diferencijalne jednačine sa konstantnim koeficijentima po pomjeranju u pravcu normale na cilindar. Rješenje diferencijalne jednačine je izvedeno u obliku

$$u_3(\psi) = -\frac{\bar{M}}{2st} \left[\frac{\sin t\psi^*}{\text{chs}\psi^* - \cos t\psi^*} \text{shs}\psi \cos t\psi + \left(\text{shs}\psi - \frac{\text{shs}\psi^*}{\text{chs}\psi^* - \cos t\psi^*} \text{chs}\psi \right) \sin t\psi \right] \quad (8)$$

pri čemu je

$$s = \sqrt{\frac{n+m}{2}}, \quad t = \sqrt{\frac{n-m}{2}} \quad (9)$$

gdje su

$$m = \frac{k^2 + \nu R^2}{2k^2}, \quad n^2 = \frac{C R^2 (R^2 + k^2)^2}{B_c k^4} \quad (10)$$

gdje je $C = Eh_c / (1 - \nu^2)$ - krutost na istezanje. Vrijednost za \bar{M} se određuje izrazom

$$\bar{M} = \frac{M R^2 (R^2 + k^2)}{2B_c k^2} \quad (11)$$

gdje je M - kontinualni spreg po zavojnoj liniji, R - poluprečnik cilindrične ljuske, h_c - debljina cilindrične ljuske. Nagib funkcije $u_3(\psi)$ na zavojnoj liniji dat je izrazom

$$\frac{du_3}{dS} \Big|_{s=0} = \frac{k}{R\sqrt{R^2 + k^2}} \frac{\bar{M}}{2st} \frac{t \text{shs}\psi^* - s \sin t\psi^*}{\text{chs}\psi^* - \cos t\psi^*} \quad (12)$$

gdje je S - dužina luka zavojne linije.

Vrijednost $\psi = \psi_m$ za koju funkcija $u_3(\psi)$ dostiže ekstremnu vrijednost određuje se izrazom

$$\text{tg}(t\psi) = \frac{D_1 + D_2 \text{th}\psi}{D_3 + D_4 \text{th}\psi} \quad (13)$$

gdje su

$$\begin{aligned} D_1 &= t \text{shs}\psi^* - s \sin t\psi^*, & D_2 &= t(\cos t\psi^* - \text{chs}\psi^*), \\ D_3 &= s(\text{chs}\psi^* - \cos t\psi^*), & D_4 &= -(s \text{shs}\psi^* + t \sin t\psi^*). \end{aligned} \quad (14)$$

Relacija (13) predstavlja transcendentnu jednačinu iz koje se za konkretne vrijednosti s , t , ψ^* nekom od iterativnih metoda određuje vrijednost ψ_m za koju funkcija $u_3(\psi)$ ima ekstremnu vrijednost. Iz izraza je očigledno da ψ_m ne zavisi od vrijednosti koncentrisanog momenta M .

4. MATEMATIČKI MODEL ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE ZAVOJNE LJUSKE NA CILINDRIČNOJ LJUSCI

4.1. Definisane graničnih uslova na presjeku zavojne i cilindrične ljuske i rješavanje diferencijalne jednačine

Koristeći rezultate analitičkih analiza koje su urađene za zavojnu i cilindričnu ljusku opterećenu kontinualnim spregom po zavojnoj liniji, ovdje razmatramo savijanje zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci. Diferencijalna jednačina savijanja zavojne ljuske (1) se koristi i u ovom modelu. Definišemo granične uslove na presječnoj krivoj srednjih površi zavojne i cilindrične ljuske:

$$\left. \frac{du_3}{dr} \right|_{r=a} = \left. \frac{du_3}{dS} \right|_{S=0}, \quad (15)$$

$$M|_{S=0} = \hat{M}_{\langle 1 \rangle} \Big|_{r=a}. \quad (16)$$

Na osnovu uslova (16) korišćenjem relacija, (11) i (12) dobijamo

$$\left. \frac{du_3}{dS} \right|_{S=0} = \frac{1}{4st} \frac{R\sqrt{R^2+k^2}}{k} \frac{tshs\psi^* - s \sin t\psi^*}{chs\psi^* - \cos t\psi^*} \hat{M}_{\langle 1 \rangle} \Big|_{r=a} B_c \quad (17)$$

Zamjenom vrijednosti za fizičku komponentu momenta kod zavojne ljuske $\hat{M}_{\langle 1 \rangle}$ datu relacijom

$$\hat{M}_{\langle 1 \rangle} = -B_h \left[\frac{d^2 u_3}{dr^2} + \frac{vr}{r^2+k^2} \frac{du_3}{dr} - \frac{k^2(v+1)}{(r^2+k^2)^2} u_3 \right] \quad (18)$$

u relaciju (17), granični uslov (15) glasi

$$\left. \frac{du_3}{dr} \right|_{r=a} = K \left[\frac{d^2 u_3}{dr^2} + \frac{vr}{r^2+k^2} \frac{du_3}{dr} - \frac{k^2(v+1)}{(r^2+k^2)^2} u_3 \right] \Big|_{r=a} \quad (19)$$

gdje je

$$K = \frac{1}{4st} \frac{R\sqrt{R^2+k^2}}{k} \frac{tshs\psi^* - s \sin t\psi^*}{chs\psi^* - \cos t\psi^*} \frac{B_h}{B_c}. \quad (20)$$

Ovim postupkom se savijanje zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci svodi na rješavanje diferencijalne jednačine (1), s tim što od 4 granična uslova (4), (5), (6) i (7) tri uslova ostaju nepromijenjena, a granični uslov (5) se mijenja u granični uslov dat relacijom (19).

Na ovaj način se uspostavlja matematički model za automatizovano projektovanje zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci. Program za numeričko rješavanje diferencijalne jednačine savijanja zavojne ljuske sa novim graničnim uslovima je urađen u programskom paketu MATLAB.

4.2. Rezultati varijacije parametara u diferencijalnoj jednačini savijanja zavojne ljuske na cilindričnoj ljusci

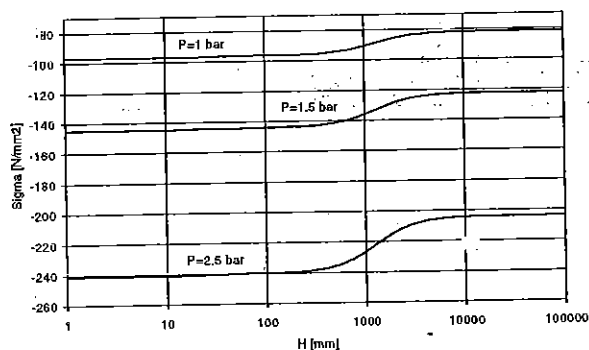
Korišćenjem programa za numeričko rješavanje diferencijalne jednačine, sa funkcijom za automatizovano određivanje debljine zavojne ljuske, na osnovu kriterijuma dozvoljene vrijednosti maksimalnog napona u radijalnom pravcu ($\sigma_d=150 \text{ N/mm}^2$) određene su vrijednosti h_h za različite geometrijske parametre ljuske prema Tabeli 1. Analiza je urađena za modele sa istom debljinom zavojne i cilindrične ljuske. Ostali parametri su: $p=1.5 \text{ bar}$, $H=140 \text{ mm}$, $E=200000 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0.3$. Vrijednost maksimalnog napona u radijalnom pravcu je

računata na osnovu relacije $\sigma_r = 6\hat{M}_{<1>}/h^2$ u tačkama sa koordinatom $r=h_c/2+h_h$.

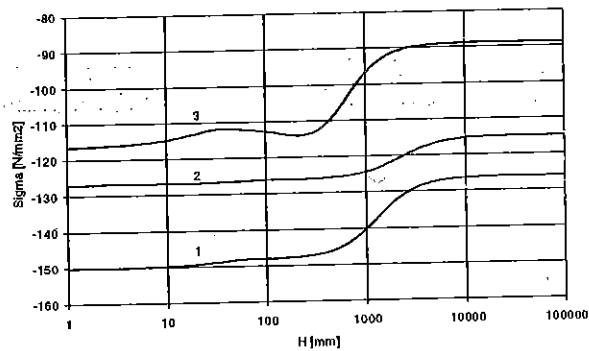
Tabela 5.1 Vrijednosti proračunatih debljina zavojne ljsuske [mm] za različite modele

MODEL ZAVOJNE LJUSKE NA CILINDRIČNOJ LJUSCI													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
a[mm]	127	280	30	80	130	230	30	30	30	5	100	10	
b[mm]	200	350	100	200	300	550	200	250	300	80	350	60	
Debljina	Izrač.	3.932	3.804	4.227	7.101	9.988	18.910	10.683	13.904	17.099	4.845	15.136	3.064
	Usvoj	4	4	4.5	7.5	10	19	11	14	17.5	5	15.5	3.5

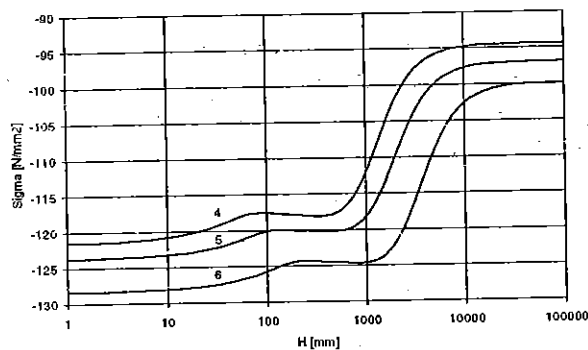
Na slici 2 je za model 1 prikazan dijagram zavisnosti maksimalnog napona u radijalnom pravcu od visine hoda zavojne ljsuske za pritiske 1, 1.5 i 2.5 bar. Na slikama 3, 4 i 5 data je zavisnost maksimalnog napona u radijalnom pravcu od visine hoda zavojne ljsuske za modele od 1 do 9 kako je to označeno na samim dijagramima.



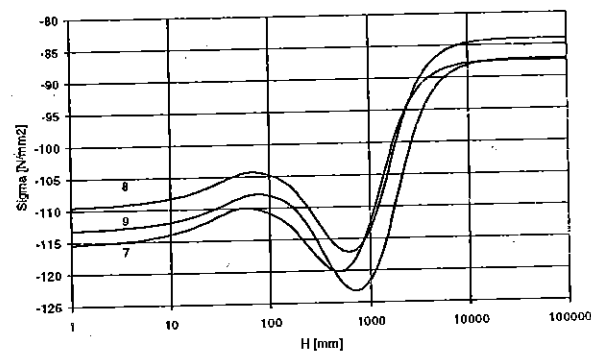
Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.

5. ZAKLJUČAK

Izvedene diferencijalne jednačine savijanja zavojne ljsuske i savijanja cilindrične ljsuske opterećene kontinualnim spregom po zavojnoj liniji, omogućile su efikasno rješavanje problema savijanja zavojne ljsuske na cilindričnoj ljsuci. Uspostavljeni matematički model, putem numeričkog rješavanja diferencijalne jednačine, se može koristiti za dobijanje optimalnih parametara zavojne ljsuske na cilindričnoj ljsuci za zahtijevane uslove. Ovaj matematički model se može primjenjivati za automatizovano projektovanje tipičnih konstrukcijskih elemenata oblika zavojne ljsuske na tankoj cilindričnoj ljsuci kakvi su radni elementi specijalnih mašina za čišćenje snijega i slični.

Uparedne analize pokazuju da su naponi u radijalnom pravcu dominantni u odnosu na napone u cirkularnom pravcu za zavojnu ljusku u čitavom polju njenih mogućih oblika od nagiba $k=0$ do nagiba $k \rightarrow \infty$.

Vrijednosti složenog napona računatog po kriterijumu Von Mises-a su manji od napona u radijalnom pravcu.

Najveće vrijednosti napona u radijalnom pravcu su u unutrašnjim tačkama na mjestima spoja sa cilindričnom ljuskom. Vrijednosti napona u radijalnom pravcu u tim tačkama su relevantne za dimenzionisanje ovih konstrukcijskih oblika. Ove tačke se nalaze na unutrašnjem kraju zavojne ljuske, na početku zaobljenja koje se kod realnih konstrukcija postavlja u cilju eliminisanja negativnih uticaja koncentracije napona.

Na osnovu izvedenih dijagrama zavisnosti napona pokazuje se, za većinu modela ljuski, da su naponi u radijalnom pravcu u zavisnosti od nagiba zavojne površi najveći kada $k \rightarrow 0$. Sa povećanjem koraka ovi naponi u početku neznatno opadaju, a zatim sa povećanjem k se smanjuju. Kada $k \rightarrow \infty$ naponi u radijalnom pravcu za većinu modela su najmanji. Zavisnost maksimalnog napona u radijalnom pravcu za većinu modela ljuski ima oblik logističke krive, kao što je prikazano na slikama 2, 3 i 4. Ovaj zaključak ima praktični značaj u proračunu konstrukcijskih oblika zavojne ljuske jer omogućava kontrolne proračune korišćenjem jednostavnijih jednačina za savijanje kružne ploče. Međutim ovaj zaključak se ne može odnositi na modele zavojnih ljuski kod kojih je odnos širine ljuske i unutrašnjeg prečnika veliki. Kod ovakvih modela vrijednosti napona u radijalnom pravcu nisu maksimalne za ljuske sa nagibom $k=0$, što se vidi iz izvedenih dijagrama na slici 5. Uspostavljeni matematički model omogućava da se analizira uticaj odnosa širine zavojne ljuske i unutrašnjeg prečnika na vrijednosti maksimalnih napona u radijalnom pravcu, za različite vrijednosti nagiba zavojne ljuske.

LITERATURA

- [1] Cohen J.W., The Inadequacy of the Classical Stress-Strain Relations for the Right Helicoidal Shell, Proceedings of the Symposium on the Theory of Thin Elastic Shells, North-Holland, Delft, 1959.god., 415-433
- [2] Mikhlín S.G., Estimate of the Error in the Computation of an Elastic Shell as a Flat Plate, Akademija nauka SSSR, Prikladnaja matematika 16, Moskva, 1952, 399
- [3] Savićević S., Vukasojević R., Čulafić Z., Kalajdžić M., Model za eksperimentalno istraživanje konstrukcijskih elemenata oblika zavojne ljuske, 26. JUPITER konferencija, Beograd, 2000.god., 2.47-2.54
- [4] Savićević S., Đogović V., Bending of Structural Elements of the Helical Shell Shape, 23. Jugoslovenski kongres teorijske i primjenjene mehanike, 1999.god. (kongres odložen)
- [5] Savićević S., Đogović V., Šaletić S., O savijanju cilindrične ljuske opterećene kontinualnim spregom po zavojnoj liniji, IRMES 2000, Kotor, 2000.god., 461-466

AUTOMATIZED DETERMINATION PARAMETERS OF HELICOIDAL SHELL ON CYLINDRICAL SHELL

Abstract

In this paper is given procedure for automatized determination of the geometric characteristics of helicoidal shell on cylindrical one that is applied at machines for special purposes. According to a differential equation in displacement for bending of a helicoidal shell subjected to uniform pressure and a differential equation for cylindrical shell loaded by uniformly distributed couple along helix, the boundary conditions are defined. The differential equation is solved numerically by using software MATLAB. The values of the shell thickness are determined for different parameters. The different models of helicoidal shell are analyzed

FAKTORI KOJI DETERMINIŠU IZBOR SREDSTAVA LUČKE MEHANIZACIJE KAO ELEMENATA TEHNOLOGIJE IZVRŠENJA MANIPULACIJA SA TERETOM

Deda Djelović¹

REZIME:

Pogodnim analizama može se ustanoviti značajan uticaj stepena adekvatnosti sredstava lučke mehanizacije, kao tehnoloških elemenata pri izvodjenju manipulacija sa određenim teretom, na vrijednosti pokazatelja ukupne uspješnosti procesa pružanja lučkih usluga. Definisane sredstva mehanizacije kao tehnološkog elementa, tačnije preciziranje vrste, klase, tipa i broja anagažovanih sredstava pri pružanju konkretne usluge, što, inače, predstavlja jednu od suštinski značajnih faza projektovanja tehnologija rada, zasniva se na identifikovanim tehnološkim zahtjevima u procesu izvršenja manipulacija sa teretom. U Radu su prikazane osnove procesa definisanja sredstava mehanizacije kao tehnoloških elemenata, sa posebnim naglaskom na analizi podloga za identifikaciju odgovarajućih tehnoloških zahtjeva.

UVOD

Parametri upravljanja sredstvima lučke mehanizacije ispoljavaju direktno dejstvo na vrijednosti pokazatelja uspješnosti cjelokupnog procesa pružanja lučkih usluga. Svi aspekti značajnosti sredstava lučke mehanizacije dolaze do izražaja (potvrđuju se) u procesu njihove eksploatacije. Polazište uključivanja određenog sredstva u proces pružanja lučkih usluga (u proces eksploatacije), na osnovu konkretnog zahtjeva korisnika usluga, predstavlja definisana tehnologija rada pri izvršenju manipulacija sa teretom. Jedan od bitnih preduslova adekvatnosti propisane tehnologije rada je pravilnost definisanja sredstava mehanizacije koja će se u procesu rada koristiti. Neophodno je, pri tome, uzeti u obzir dejstvo vrlo širokog spektra parametara.

Značaj sredstava lučke mehanizacije, kao elementa lučkog tehnološkog sistema, može se, inače, identifikovati na više načina, u zavisnosti od polazišta i cilja razmatranja.

U ovom dijelu Rada se prezentiraju rezultati analize značajnosti sredstava lučke mehanizacije sprovedene na uzorku (formiranom metodom slučajnog izbora) od 152 manipulacije sa teretima za koje postoji mogućnost pretovara u Luci Bar (1). Struktura uzorka je bila sledeća (Tab.1).

¹ Mr. Deda Djelović, dipl. ing. maš, "Luka Bar" a.d., Sektor LTP-a, Obala 13. jula b.b., 85 000 Bar.
tel. 085/312-000/lok. 680; fax. 085/311-617; e-mail: lukabar@cg.yu

Tab.1

grupa manipulacija	broj manipulacija u grupi (% učešće u ukupnom broju)
manipulacije sa generalnim teretima	99 (65 %)
manipulacije sa rasutim teretima	48 (32%)
manipulacije sa tečnim teretima	5 (3%)
ukupno:	152 (100%)

Analizom uzorka došlo se do sledećih zaključaka:

- u 139 (91,5%) posmatranih manipulacija pojavljuje se određeno sredstvo mehanizacije kao element tehnologije izvršenja rada;
- u 13 (8,5%) manipulacija sredstvo mehanizacije ne figuriše kao tehnološki element;
- manipulacije koje pri svojoj realizaciji ne zahtijevaju angažovanje sredstava mehanizacije odnose se uglavnom na određene pripremne (markiranje, povraćaj robe u transportni tok, ...) ili pomoćne radnje (čišćenje, ...);

PARAMETRI KOJI ODREĐUJU SREDSTVO MEHANIZACIJE KAO TEHNOLOŠKI ELEMENT

U cilju potpunog definisanja sredstva mehanizacije kao tehnološkog elementa izvršenja određene lučke usluge, neophodno je, u procesu projektovanja tehnologije rada, precizirati sledeće parametre:

- vrstu sredstva mehanizacije, v, (viljuškar, portalna dizalica, ...);
- klasu sredstva mehanizacije, k, (npr. viljuškar nosivosti 2t, ...);
- tip sredstva mehanizacije, t, (npr. kod viljušakara: tip grane, bočni pomak viljuški, ...);
- broj sredstava, b, koje je potrebno uključiti u rad pri izvršenju date manipulacije sa teretom.;

Može se, drugim riječima, reći da se definisanje sredstva mehanizacije kao tehnološkog elementa svodi na definisanje elemenata sledećeg skupa:

$$S = (v, k, t, b) \quad (1)$$

Polazište za određivanje elemenata skupa S predstavljaju odgovarajući tehnološki zahtjevi koji se pojavljuju u procesu izvršenja manipulacija sa teretom.

IDENTIFIKACIJA TEHNOLOŠKIH ZAHTEJEVA

U cilju definisanja parametara koji određuju sredstvo mehanizacije kao tehnološki element (relacija (1)), neophodno je identifikovati tehnološke zahtjeve koje sredstvo u procesu svoje eksploatacije treba da zadovolji. Navode se, kao primjer, neki karakteristični tehnološki zahtjevi koji se pojavljuju u procesu izvršenja manipulacija sa određenim teretom:

- potreba bočnog zahvatanja tereta;
- dostizanje zahtijevane visine slaganja tereta;

- rad u unutrašnjosti vagona;
- neophodnost bočnog pomjeranja tereta; itd.

Tehnološke zahtjeve determinišu elementi koji su sistematizovani u tabeli T.1

T.1

parametri koji određuju sredstvo kao tehnološki element		elementi koji određuju tehnološke zahtjeve										
-vrsta sredstva, v	<= <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td>T</td></tr> <tr><td>E</td></tr> <tr><td>H</td></tr> <tr><td>N</td></tr> <tr><td>O</td></tr> <tr><td>L</td></tr> <tr><td>O</td></tr> <tr><td>Š</td></tr> <tr><td>K</td></tr> <tr><td>I</td></tr> </table> <=	T	E	H	N	O	L	O	Š	K	I	-karakteristike tereta;
T												
E												
H												
N												
O												
L												
O												
Š												
K												
I												
-klasa sredstva, k	-vrsta i varijanta manipulacije sa teretom											
-tip sredstva, t	-karakteristike transportnih sredstava											
-broj sredstava, b	-karakteristike objekata infrastrukture											
		-karakteristične faze ciklusa manipulacije										

U daljem dijelu će se izvršiti pojedinačna analiza pobrojanih elemenata koji određuju tehnološke zahtjeve.

Karakteristike tereta

Navode se karakteristike tereta koje se pri izboru sredstva mehanizacije kao tehnološkog elementa moraju uključiti u analizu:

- glavna grupa tereta (generalni, rasuti, tečni);
- pojavni oblik tereta (npr. za generalne terete: paket, paleta, bala, sanduk, doboš, ...);
- karakteristike pojavnog oblika tereta
- geometrijske karakteristike (dužina, visina, ...);
- težina;
- specifična težina;
- granulacija;
- temperatura; ...
- karakteristike manipulativne jedinice tereta;
- faktor slaganja tereta;
- posebne karakteristike tereta
- štetnost po zdravlje;
- štetnost po okolinu;
- zapaljivost;
- eksplozivnost; ...
- posebni zahtjevi pri manipulisanju sa teretom
- mogućnost oštećenja;
- osjetljivost na atmosferske uticaje; ...

Vrsta i varijanta manipulacije sa teretom

U narednoj tabeli (T.2) su pobrojane određene vrste (i njihove varijante) manipulacija sa teretom:

T.2

vrsta manipulacije sa teretom	varijanta manipulacije
brod – skladište	skladište na površini opsluživanja sredstva vertikalne mehanizacije, bez viljuškara u brodskom skladištu
	skladište na površini opsluživanja sredstva vertikalne mehanizacije, sa viljuškarem u brodskom skladištu
	skladište na rastojanju do 100 m, bez viljuškara u brodskom skladištu
	skladište na rastojanju do 100 m, sa viljuškarem u brodskom skladištu
...	...
brod – vagon	...
brod – kamion	...
brod – brod	...
vagon – skladište	...
...	...

Karakteristike transportnih sredstava

U tabeli T.3 je izvršena sistematizacija ove grupe uticajnih faktora u zavisnosti od vrste transportnog sredstva.

T.3

transportno sredstvo	brod	kamion	vagon
faktori uticaja	-broj brodskih skladišta -karakteristike brodskih skladišta (nosivost poda, hrapavost, dimenzije, ...) -raspoloživost brodskih sredstava; -...	-širina; -visina od podloge do karoserije; -visina korisnog utovarnog prostora; -...	-vrsta (i tip) vagona; -širina i visina vrata vagona; -utovarna širina vagona; -utovarna visina vagona; -nosivost poda vagona; -...

Karakteristike objekata infrastrukture

Navode se (u tabeli T.4) karakteristike objekata infrastrukture koje odlučujuće utiču na definisanje sredstva mehanizacije kao elementa tehnologije izvršenja manipulacija sa konkretnim teretom.

T.4

objekti infrastrukture	drumske saobraćajnice	operativni kolosjeci	otvorena skladišta	zatvorena skladišta
faktori uticaja	-dužina; -broj prelaza preko operativnih kolosjeka; -širina; -radijusi krivina; -...	-položaj; -udaljenost od skladišta (otvorenih i zatvorenih); -udaljenost od operativnih vezova; -...	-dimenzije skladišta; -zaravnjenost površina; -rastojanja od operativnih vezova; -...	-dimenzije skladišta; -visina skladišta; -karakteristike unutrašnjih transportnih puteva; -rastojanje od operativnih vezova -...

Karakteristične faze ciklusa manipulacije

Karakteristične faze ciklusa izvodjenja manipulacije sa teretom, dužina njihovog trajanja, kao i njihov međusobni odnos, imaju značajnu ulogu u definisanju parametra koji determinišu sredstvo mehanizacije kao tehnološki element. Broj, sadržaj i dužina trajanja pojedinih faza variraju u zavisnosti od vrste tereta i vrste (kao i varijante) manipulacije sa teretom. Npr. za terete iz grupe generalnih, kod kojih se manipulativna jedinica formira od više pojedinačnih komada tereta i za manipulaciju brod – skladište (varijanta kada je skladište na rastojanju do 100 m, bez viljuškara u brodom skladištu), mogu se identifikovati sledeće faze ciklusa manipulacije (T.5)

T.5

faza ciklusa	sadržaj faze
T ₁	formiranje manipulativne jedinice
T ₂	vrijeme zahvatanja manipulativne jedinice lučkim alatom
T ₃	radni hod sredstva vertikalne mehanizacije
T ₄	oslobadjanje tereta od lučkog alata
T ₅	zahvatanje manipulativne jedinice sredstvom horizontalne mehanizacije
T ₆	horizontalni transport tereta
T ₇	rasformiranje manipulativne jedinice i postavljanje jedinica tereta na skladišnu poziciju

U procesu projektovanja tehnologije rada nužno je ustanoviti međusobne relacije između karakterističnih faza ciklusa, jer je to jedan od bitnih preduslova adekvatnosti tehnologije rada. Pomenute relacije među fazama ciklusa su posebno značajne za određivanje broja sredstava mehanizacije konkretne vrste, klase i tipa koja će se koristiti u procesu izvodjenja manipulacije sa teretom.

ZAKLJUČAK

Optimalnost tehnologije pružanja lučkih usluga u velikom dijelu zavisi od adekvatnosti definisanja parametara koji određuju sredstvo lučke mehanizacije kao tehnološki element. Polazišta za određivanje pomenutih parametara predstavljaju odgovarajući tehnološki zahtjevi koji proizilaze iz karakteristika tereta, vrste (i varijante) manipulacije sa teretom, karakteristika transportnih sredstava, karakteristika objekata infrastrukture, kao i karakteristika i međusobnih relacija između faza ciklusa manipulacije. Step "pokrivenosti" identifikovanih tehnoloških zahtjeva sa karakteristikama definisanog sredstva

determiniše, sa aspekta sredstva mehanizacije, stepen adekvatnosti propisane tehnologije rada.

LITERATURA

1. D. Djelović: Održavanje u funkciji povišenju stepena efektivnog iskorišćenja sredstava lučke mehanizacije, Zbornik radova sa XXIV majskog skupa održavanja sredstava za rad, knjiga 2, Herceg-Novi, 2000.g.
2. Z. Radmilović: Planiranje i razvoj luka i pristaništa, Saobraćajni fakultet, Beograd.
3. Dokumentacija Službe Tehnološke pripreme rada, "Luka bar" a.d., 1996. – 2000.g.

PARAMETERS WHICH DETERMINE DEFINING OF PORT MACHINERY AS AN ELEMENT OF TECHNOLOGY OF REALIZING MANIPULATION WITH A CARGO

Arstract:

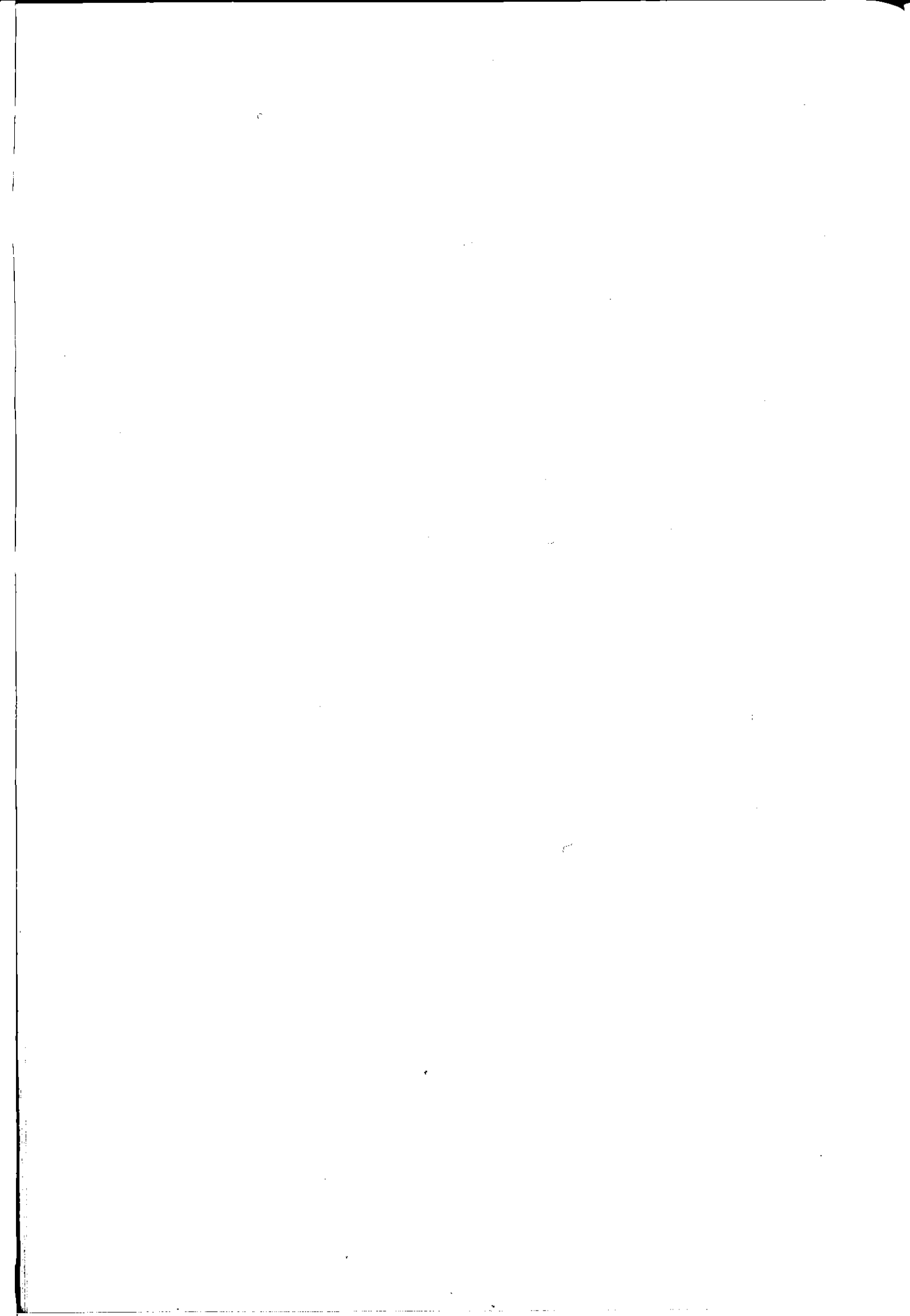
Results of appropriate analysis affirm that adequacy of used port machinery, as an element of working technology, has an important influence to values of parameters which characterised efficiency of cargo handling process. Defining of port machinery as an element of working technology, namely defining of kind, class, type and a number of used port machinery, which represents important phase in technology projecting process, is based on identified technological demands in process of concrete cargo handling.

Basis of process of defining port machinery as an element of technology are presented in this paper. Special attention is given to analysis of elements which define technological demands.



28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.

4. OPTIMIZACIJA I UPRAVLJANJE



NOVA VTP TEORIJA**

Dr Milenko B. Jevtić*

Rezime

Temperaturno polje u električnim generatorima može da uzrokuje mehaničke neuravnoteženosti dinamički uravnoteženih rotora. Autor je analizirao informacije iz jugoslovnskih termoelektrana i utvrdio postojanje ovih problema. Na osnovu relevantnih zakona fizike predlaže se matematički model kojim se identifikuje temperaturno polje u rotoru turbogeneratora i predlaže optimalno upravljanje kojim se eliminišu neželjeni efekti termičke neuravnoteženosti.

1. UVOD

Višestrukim pretvaranjem energetskih resursa iz jednog oblika u drugi u termoelektranama se proizvodi električna energija. Njeno dobijanje se ostvaruje u trubogeneratorima u kojima se odvijaju složeni električni, elektromagnetski, mehanički, toplotni, strujni i drugi procesi. U ovim procesima usled različitih uzroka dolazi do simetričnog zagrevanja i hladjenja rotora po obimu, koje se manifestuje termičkom neuravnoteženošću i povećanim nivoom vibracija. Usled navedenih uzroka kao i odstrupanja u debljini izolacionih slojeva, začepljenja, naslaga itd. formira se asimetrični raspored temperaturnih polja (sl. 1), koji je povezan sa toplotnim karakteristikama različitih ugradbenih materijala i dovodi do formiranja termoelastičnih ugiba, odgovarajućih inercijalnih sila i kinetičkih pritisaka na ležištima, shodno literaturnim izvorima [1], [2], [3], [4] i [5]. Kako je navedeno, pojava je vremenski i prostorno nestacionarna, to se ona ne može otkloniti mehaničko-dinamičkim uravnotežavanjem, već se mora pribeci termičkim intervencijama. Te intervencije je moguće izvesti na osnovu detaljnih analiza uzroka u složenom sistemu zagrevanja i hladjenja u turbogeneratorima.

2. ISTRAŽIVANJE VIBRACIJA TERMIČKOG POREKLA

Kao polazna zavisnost koristi se osnovna funkcija (1) za slučaj rotacionog sistema turbogeneratora u cilindričnom koordinatnom sistemu, shodno oznakama sa slike 1.

$$T = f(r, \varphi, z, t) \quad (1)$$

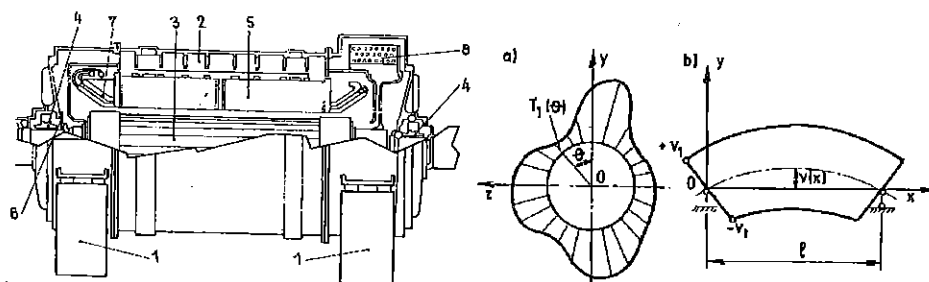
Za dobijanje vrednosti temperatura T u radu [6] je formiran originalni analitički model (2) na osnovu jednačina matematičke fizike, koje su modifikovane, proširene i primenjene u slučaju realnog modela turbogeneratora.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\lambda \partial^2 T}{r^2 \partial \varphi^2} + \frac{\partial T}{\partial \varphi} \omega \lambda + \frac{\partial^2 T \lambda}{\partial z^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + q(r, \varphi, z, t) \quad (2)$$

** Istraživanje realizovano u okviru projekta S.2.07.21.0131 uz podršku MNTS

* Dr Milenko B. Jevtić, dipl.inž.maš., LOLA Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a

Rešavanjem diferencijalne jednačine (2) dobijaju se vrednosti temperatura pri okretanju rotora, koje utiču na intenzitet inercijalnih sila (3).



Sl. 1. - Shematski izgled turbogeneratorsa i termički deformisanog rotora

$$F_{in} = \int m e(r, \varphi, z, t, \omega, \Delta T) \omega^2 dz. \quad (3)$$

Izvođenjem originalne analize [7], korišćenjem principa San-Venana o lokalnim naprezanjima za slučaj unutrašnjih napona došlo se, prema slici 1, do analitičkih zavisnosti deformacije rotora (4)

$$a_y = \frac{d^2 u_y}{dz^2} = -\frac{1}{E} \left(\frac{I_y M_{Tx} - I_{xy} M_{Ty}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \right) \quad a_x = \frac{d^2 u_x}{dz^2} = -\frac{1}{E} \left(\frac{I_x M_{Ty} - I_{xy} M_{Tx}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \right) \quad (4)$$

a u slučaju centralnih osa $I_{xy} = 0$ dobija se jednostavnija forma.

Ukupna deformacija prema slici 1 se definiše izrazom (5).

$$e_T = \frac{180L}{2\pi \alpha r \operatorname{ctg} \frac{L\beta\Delta T}{D}} \left(1 - \frac{D}{\sqrt{D^2 + (L\beta\Delta T)^2}} \right) \quad (5)$$

U navedenoj analizi termoelastični momenti imaju vrednost (6)

$$M_{Tx} = E \int \beta T_y dA, \quad M_{Ty} = E \int \beta T_x dA. \quad (6)$$

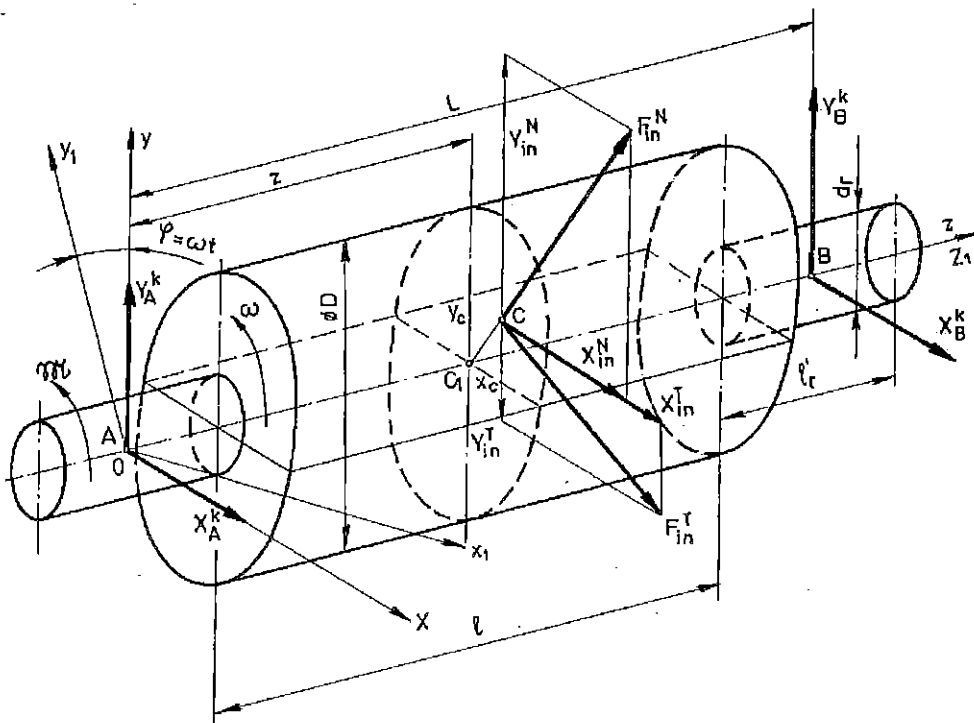
Da bi se došlo do numeričkih podataka neophodno je poći od izraza za ukupnu snagu i za ukupne gubitke turbogeneratorsa (hlađenje, trenje u ležištima, gubitci u Fe usled histerezisa i vihornih struja, gubitci u Cu). Na osnovu definisanih gubitaka u radu [8] se došlo do izraza (7) za količinu toplote u provodniku

$$Q_{Cu} = \int (\Delta P_{CuO} + I^2 R_o \beta T_{Cu}) dt, \quad (7)$$

kojom se zagreva Cu provodnik (deo se predaje rashladnom fluidu, a deo se kroz izolaciju namotaja predaje jezgru Fe u rotoru).

Proračunom snage turbogeneratorsa, proračunom gubitaka snage i temperatura u Cu i Fe i njihovim uvrštavanjem u izraze za termoelastične momente i ugibe rotora ostvaruje se mogućnost za dalji proračun ekscentriciteta, inercijalnih sila i kinetičkih pritisaka na ležištima rotora, koji su izazvani simultanim delovanjem termičko-mehaničkih uticaja. U posebnom poglavlju rada [8] je izvedena analiza kinetičkih pritisaka za slučaj dvopolnog trubogeneratorsa sa rotorom dvostruke krutosti. Shematski prikaz koncipiranog modela je dat na sl. 2. U ovom

slučaju je od bitnog uticaja ukupno odstupanje centra mase od ose obrtanja koje sadrži mehaničko odstupanje e (grešku obrade, dinamički ugib e_d i temperaturni ugib $u=f(a_x, a_y)$).



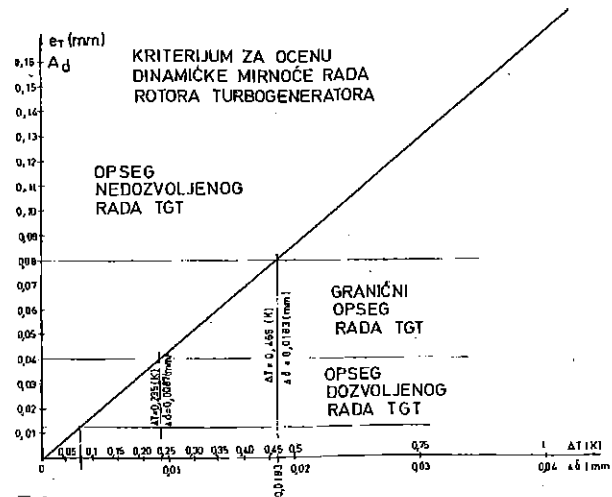
Sl. 2. - Dinamički model rotora turbogeneratora

Sprovedjenjem odgovarajuće dinamičke analize u radu [8] se došlo do vrednosti za kinetičke pritiske u ležištima, a u slučaju rada sinhronih generatora ($\dot{\omega} = const$) imaćemo $\dot{\omega} = 0$ pa će izrazi za kinetičke pritiske (8) biti

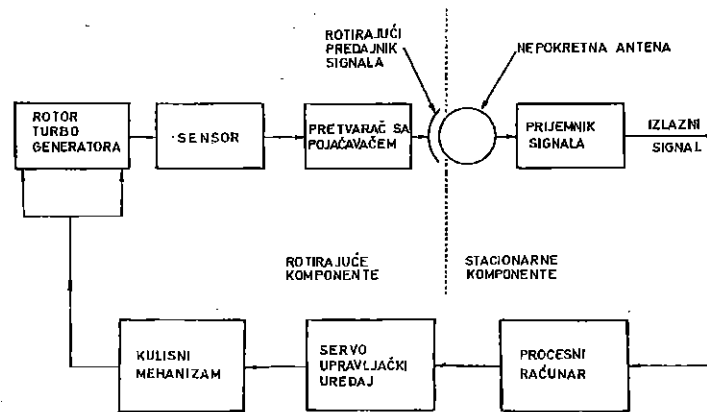
$$\begin{aligned} X_A^K &= \omega^2 \left(\frac{J_{xz}}{L} - mx_c \right), & X_B^K &= -\frac{1}{L} \omega^2 J_{xz} \\ Y_A^K &= \omega^2 \left(\frac{J_{yz}}{L} - my_c \right), & Y_B^K &= -\frac{1}{L} \omega^2 J_{yz}. \end{aligned} \quad (8)$$

Polazeći od originalnog analitičkog modela (2) za obrtno temperaturno polje, i relevantog izraza za funkcional χ koristeći metodu konačnih elemenata moguće je za slučaj realnog modela turbogeneratora snage 350 MW sprovesti znatno tačniji proračun temperaturnih polja. Ova metoda omogućava proračun znatno složenijeg modela turbogeneratora sa svim njegovim složenim strukturama i elementima. Pri tome je neophodno pripremiti bogatu banku podataka, koja služi za definisanje graničnih uslova pri rešavanju postavljenih jednačina složenih formi, a potom izvršiti korektnu diskretizaciju strukture na odgovarajuće konačne elemente, poštujući logiku diskretizacije i čvornih tačaka.

Sprovedenim istraživanjem na snažnom računaru došlo se do vremenskih zavisnosti porasta temperatura u strukturi rotora, koje su predstavljene na slici 4. Navedene zavisnosti su dobijene u dijagramskom, tabličnom i analitičkom obliku korišćenjem paketa MATHCAD. Simulacijom različitih vrednosti termičkih poremećaja asimetrično raspoređenih po obimu rotora dobijene su vrednosti stacionarnih temperatura, koje uslovljavaju nastanak termoelastičnih napona, deformacija rotora, intercijalnih sila i kinetičkih pritisaka u ležištima i vibracija.



Sl. 3. - Originalna karta dinamičko termičke stabilnosti



Sl. 4. - Prikaz sistema za automatsko termičko uravnotežavanje turbogeneratora

Detaljnou obradom dobijenih rezultata istraživanja razvijena je originalna verzija karte dinamičke stabilnosti (slika 3) koja se prvi put pojavljuje u literaturi i koja predstavlja zavisnost amplituda vibracija turbogeneratora snage 350 MW od vrednosti termičkih poremećaja u sistemu simultanih zagrevanja i hlađenja sa precizno definisanim područjima finog, dozvoljenog, graničnog i nedozvoljenog rada.

U svom daljem istraživanju autor je radom [10] došao do rešenja sistema za automatsko termičko uravnotežavanje rotora turbogeneratora, koji je prikazan na slici 4. Primenom ovog sistema turbogeneratori bi bili modernizovani i u eksploataciji bi prihvatili svaki termički poremećaj i automatski bi se izvodilo termičko-dinamičko uravnotežavanje, čime bi se ostvario miran dinamički rad i izbegla mogućnost havarija u eksploataciji sa pojavom termičkih poremećaja, koji su lokacijski i vremenski nepredvidivi.

3. ZAKLJUČAK

Iscrpnim i originalnim višegodišnjim istraživanjem dobijeni su rezultati, koji govore da vrlo male vrednosti termičkih poremećaja u uslovima simultanog zagrevanja i hlađenja u strukturi rotora turbogeneratora dovode do formiranja asimetričnog temperaturnog polja i do značajnog pogoršavanja dinamičke stabilnosti. Ovi poremećaji ne mogu se lokacijski i vremenski definisati i

mogu dovesti do razletanja rotora i ozbiljnih havarija sa nesagledivim posledicama po radnike i okolnu opremu. Zbog toga, u daljem radu se došlo do koncepta za automatsko termičko uravnotežavanje rotora turbogeneratorsa, koji predstavlja patent autora.

4. NOMENKLATURA OZNAKA

T - temperatura; t - vreme; r, φ , z - cilindrične koordinate; λ - koeficijent toplotne provodnosti; ω - ugaona brzina; ρ - gustina; C - specifična toplota; q - količina toplote; F_{in} - inercijalne sile; m - masa; e - ekscentricitet centra masa rotora od ose obrtanja; u_x , u_y - deformacije rotora u x i y pravcu; E - modul elastičnosti; I_x , I_y , I_{xy} - momenti inercije; M_{Tx} , M_{Ty} - termoelastični momenti; L - dužina rotora između ležišta; D - prečnik; β - koeficijent linearnog širenja; A - površina preseka.

5. Literatura

- [1] A. E. Aleksev, "Konstrukcia električeskikh mašina, *Gasudarstvenoe energetičeskoe izdatelstvo*, Moskva, 1988.,
- [2] C. Ermel, "Thermische Unwucht an Induktoren grosser Turbogeneratoren, *Der Maschinenschaden*, Heft 3/1, 1985.
- [3] O. C. Zienkiewicz, "Finite Elements Method, *J. Wiley*, New York, 1968.,
- [4] M. B. Jevtić, B. Gligorić, D. Vukelja, "Thermal Influence of Dynamic behaviour Turbogenerator Rotor, *Eight World Congress on the Theory Machines and Mechanisms, IFTOMM*, Proceedings, Prague, 1991, p. 743/747,
- [5] D. Vukelja, M. B. Jevtić, B. Gligorić, V. Šolaja, "A Contribution to the Study of Thermobalancing of Rotor in Power Plants, *1. st. International Symposium on Design and Synthesis*, The Japan Society of Precision Engineering, Proceedings, Tokyo 160, 1984, p. 553/556,
- [6] M. B. Jevtić, D. J. Kalić, B. Gligorić, D. Vukelja, "Research of Asymmetrical Thermal Influence along the Rotors Circumference on Turbogenerator Dynamic Behaviour, *Ninth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms*, Proceedings, Vol.2, Milano, 1995, p.1324/1329,
- [7] M. B. Jevtić, "Rezultati istraživanja nastanka i sanacije vibracija termičkog porekla na rotorima sinhronih generatora velikih snaga u termoelektranama, *Naučni skup: "Mehanika, materijali i konstrukcije"*, Srpska Akademija nauka i umetnosti, SANU, Odeljenje tehničkih nauka, Zbornik, Beograd, 1995, str. 135,
- [8] M. B. Jevtić, "Istraživanje problematike vibracija termičkog porekla na rotorima turbogeneratorsa, *Međunarodni naučni skup: "Istraživanje i razvoj mašinskih sistema i elemenata"*, Judeko, Zbornik, Niš, 1995, str. 135/143,
- [9] M. B. Jevtić, B. Gligorić, D. Vukelja, M. Petrović, "Uticaj temperaturnih polja po obimu rotora turbogeneratorsa na kinetičke pritiske u ležištima, *IFTOMM*, Zbornik, Karlovac, Croacia, 1989, str. 45/52,
- [10] M. B. Jevtić, B. Gligorić, D. Vukelja, "Analiza problema termičke neuravnoteženosti rotora turbogeneratorsa u termoelektranama, *II. Međunarodni naučni skup: "Vibracije rotacionih strojeva i sistema"*, IFTOMM, Zbornik, Karlovac, Croacia, 1986, str. 87/93.

METODE OPTIMIZACIJE NOSEĆIH STRUKTURA PRESA²⁾

M. Popović, M. Kalajdžić¹⁾

Rezime

Metode optimizacije u tehničkom projektovanju se baziraju na postavci o ravnomernosti napona. Princip rasta, prilagođen opterećenju, koji biološke strukture (drveće, kosti...) koriste da smanje koncentraciju napona, je uključen u postupak optimizacije pomoću računara (CAO – Computer Aided Optimization). U radu se opisuje CAO metoda primenjena na noseću strukturu hidraulične prese za savijanje lima. Prilikom projektovanja nosećih struktura polazi se od odgovarajućih proračuna, vodeći računa o konstruktivnim ograničenjima. Otvor u bočnoj stranici prese tzv. grlo, je definisan veličinom radnog prostora, a sa druge predstavlja veliku koncentraciju napona jer je njime određen i najmanji presek stranice. Oblik grla definisan kružnim lukom u zoni koncentracije napona, nije optimalno rešenje. Koristeći metod računarski podržane optimizacije, koji se bazira na analogiji sa oblicima koji se javljaju u prirodi, a na osnovu proračuna metodom konačnih elemenata, moguće je korigovati oblik modela, metodom dodavanja, na uočenim kritičnim mestima, čija je funkcija cilja ujednačavanje intenziteta napona. Za analizu naponsko-deformacionog stanja stranice prese korišćeni su programski paketi Pro/MECHANICA i Mekelba.

Ključne reči: hidraulička presa, optimizacija, CAO, metod konačnih elemenata, MKE

1. UVOD

Noseće strukture mašinskih konstrukcija sastavljene su od više osnovnih, ili kako se često nazivaju, baznih elemenata. Ovi elementi objedinjuju i obezbeđuju relativni položaj svih ostalih elemenata. S druge strane, u eksploatacijskim uslovima konstrukcije, u nosećoj strukturi se zatvara tok statičkih i dinamičkih sila.

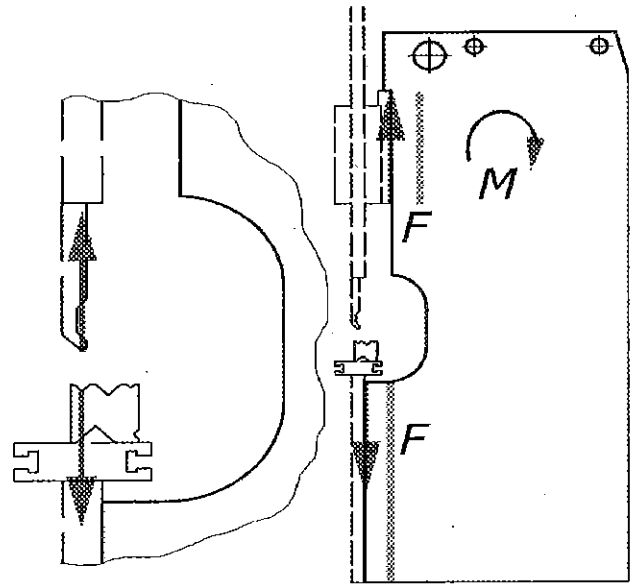
Za određivanje potrebnih parametara pri projektovanju ili identifikaciji postojećeg stanja realizovane strukture, neophodan je razvoj analitičko-numeričkih ili eksperimentalnih metoda. Za proračun i analizu složenijih struktura koriste se numeričke metode kojima pripada i metod konačnih elemenata koji predpostavlja predhodnu idealizaciju strukture na elemente pravilnog geometrijskog oblika - konačne elemente - da bi se uz korišćenje matričnih metoda: preko metoda sila ili metoda pomeraja, krajnji rezultat dobio rešavanjem sistema algebarskih jednačina.

²⁾ U realizaciji ovog rada korišćeni su rezultati metoda koje su razvijene u okviru projekta 11E08PT1, Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju razvoja fabrika budućnosti i obezbeđenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašinogradnji, u čijem finansiranju učestvuje i Ministarstvo za nauku i tehnologiju Vlade Republike Srbije.

¹⁾ Mihajlo Popović, dipl. maš. inž., prof. dr Milisav Kalajdžić, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet, Beograd, 27. Marta 80 (mike@cent.mas.bg.ac.yu, kalajm@cent.mas.bg.ac.yu)

Metod konačnih elemenata je kompjuterski zasnovan postupak koji se može koristiti za analizu struktura i kontinuuma. Glavni cilj metode je proračun pomeraja i napona za zadato opterećenje. Drugi značajan cilj je otkrivanje da li je struktura ili njen deo može izdržati pod dejstvom tih opterećenja. To je mnogostran numerički metod koji se široko koristi za rešavanje problema koji pokrivaju skoro ceo spektar analiza u tehnici. Opšte primene uključuju statičko, dinamičko i termičko ponašanje fizičkih sistema i njihovih komponenti.

Programom Pro/MECHANICA koji se koristi za proračun metodom konačnih elemenata, može se izvesti više vrsta analiza, od kojih su najznačajnije statička i dinamička analiza, studije osetljivosti kojima se dobija promena stanja modela kada se menja neki parametar i optimizacija. Za razliku od klasične metode konačnih elemenata (FEM - Finite Elements Method) program koristi GEM (Geometric Element Method) algoritam, za koji je karakterističan "p metod" koji unutrašnje stanje svakog elementa neke strukture predstavlja polinomom višeg reda (do 9-tog). Takođe, elementi ne moraju imati pravolinijske ivice. Zahvaljujući ovome element u ovoj metodi može imati daleko složenije naponsko ili deformaciono stanje od elemenata u klasičnom (FEM) metodu a da pri tome ukupan broj elementa bude značajno manji.



Slika 1. Izgled bočne stranice prese sa opterećenjem

2. RAČUNAROM PODRŽANA OPTIMIZACIJA (CAO - COMPUTER AIDED OPTIMIZATION)

Metode optimizacije u tehničkom projektovanju baziraju se na aksiomi o ravnomernosti napona. Princip rasta prilagođen opterećenju, koji biološke strukture (drveće, kosti...) koriste da smanje koncentraciju napona, uključen je u postupak optimizacije pomoću računara (CAO - Computer Aided Optimization).

Ova računarski podržana metoda za optimizaciju oblika mehaničkih, ali takođe i elemenata u prirodi, zasniva svoj praktičan uspeh na kopiji onoga što čini kambijum¹ drveta, a šta jasno pokazuje pretesterisano stablo oštećenog drveta: rast na preopterećenim zonama i nikakav rast ili samo nabiranje na neopterećenim zonama.

Postupak CAO metode se sastoji iz sledećih računarskih koraka [3]:

Formira se struktura konačnih elemenata koja odgovara pravoj predstavi (predlogu oblika) željenog izgleda elementa. Pri tome, svi funkcionalni aspekti kasnije upotrebe se zajednički i uzimaju u obzir. MKE struktura treba po mogućnosti da ima položaj elementa iste debljine na gornjoj (spoljnjoj) površini, najmanje u jednoj oblasti, gde bi kasniji "rast" uspeo. Ovaj elementarni sloj odgovara kambijumu drveta.

MKE proračun izvodi se sa planiranim budućim opterećenjem i pozicijom. Kao rezultat ovog

¹ Zona kontrolisanog rasta stabla koja može da deluje na uticaje spoljašnje sredine različitom brzinom deljenja živih ćelija od kojih se sastoji. Povećavanje prečnika stabla obrazovanjem sekundarnih tkiva od strane kambijalnog prstena je sekundarno debljanje stabla.

proračuna dobija se pomeranje na svakom čvoru mreže, deformacija i napon. Nas zanima napon po kriterijumu von-Mises, koji se koristi za upoređivanje:

$$\sigma_{\text{Mises}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Time se od sada zna gde se u delu nalazi koncentracija napona. Odgovarajući "rast" simulira se na sledeći način.

Postavljaju se izračunati naponi (von-Mises-ovi naponi), formalno jednaki fiktivnoj raspodeli temperatura, što zbog različitih mernih jedinica napona i temperature deluje nedozvoljeno, ali to ne smeta, jer time postizemo da mesta ranije opterećena najvišim mehaničkim naponima sada odjednom postaju najtoplija mesta u elementu. Pored toga, samo u gornjem sloju, modul elastičnosti se postavlja mnogo manji od osnovne vrednosti za dati materijal. Na taj način dobijamo mekani gornji sloj koji je, osim toga, u prethodno preopterećenim zonama posebno topao, a u rasterećenim zonama sasvim hladan. Sada dolazi do sopstvenog rasta.

U ovom MKE računarskom koraku razmatraju se termička opterećenja, a prethodna mehanička se postavljaju na nulu. Pored toga, samo za "meki" gornji sloj treba da koeficijent termičke dilatacije α bude veći od nule.

Čvrsti materijal ispod mekanog gornjeg sloja, koji odgovara kambijumu u drvetu, nije dopušteno termički istezati. Tokom ovog računarskog koraka sa samo termičkim opterećenjem, kao "puding meki" gornji sloj će se istezati odgovarajuće svojoj raspodeli temperature i baš to je taj sopstveni "rast".

Zone koje su (u računarskom koraku 2) imale najveće opterećenje, imaju sada najveću temperaturu, najviše se istežu i najviše rastu. Zbog toga što je sloj mekan kao puding ne dolazi do stezanja susednih elemenata, svi rastu jedan pored drugog, automatski prema spolja i otprilike upravno na gornji sloj. Ovaj termički rast upravljan naponom (izduženje):

$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot (T - T_{\text{ref}})$, može se pomnožiti odgovarajućim faktorom, ako izračunati rast nije dovoljan. Ako je MKE mreža jako deformisana (iskrivljena) može se dalje korigovati korišćenim softverom. $T_{\text{ref}} = \sigma_{\text{ref}}$ je vrednost napona koju definiše inženjer, a koju on iznad svega želi kao radni napon u delu.

Struktura koja je rastom u računskom koraku 4 već poboljšana, je već malo optimizovana u obliku, a ponekad je sasvim dovoljan jedan takav ciklus rasta. To će biti provereno kada se modul elastičnosti mekog sloja ponovo postavi na vrednost osnovnog materijala, a novi proračun MKE sa čisto mehaničkim opterećenjem započne od tačke 2, koji već daje homogeniju raspodelu napona sa značajno redukovanom koncentracijom napona.

Računski koraci 2 do 5 se sprovode sve do – kao na slikama 3 i 4 sve koncentracije napona potpuno ne smanje ili dok, kako se u praktičnim slučajevima nekad javlja, konstruktivni zahtevi ograniče dalja pomeranja. Na slici 3 se vidi kako se u zoni radijusa gde je postojala koncentracija napona, napon smanjuje i ravnomerno raspodeljuje.

Za jednu uspešnu optimizaciju konstrukcije, dovoljno je najviše 2-5 iteracija, čiji tačan broj zavisi od toga koliko se predlog konstrukcije nalazi blizu optimirane forme, a koja odgovara prirodnom obliku.

3. OPTIMIZACIJA OBLIKA GRILA STRANICE PRESE

U bočnom nosaču – stranici prese postoji otvor (grlo) u zoni obrade, između pritiskivača i stola prese. Grlo je definisano veličinom radnog prostora i predstavlja veliku koncentraciju napona jer je njime određen i najmanji presek stranice. Oblik grla u originalnom izvođenju je definisan sa dva kružna luka u zoni koncentracije napona. Oblik grla i redukcija opterećenja na stranicu je prikazan na slici 1.

Za slučaj optimizacije grla prese CAO metodom, usvojen je model na kome su izdvojene dve

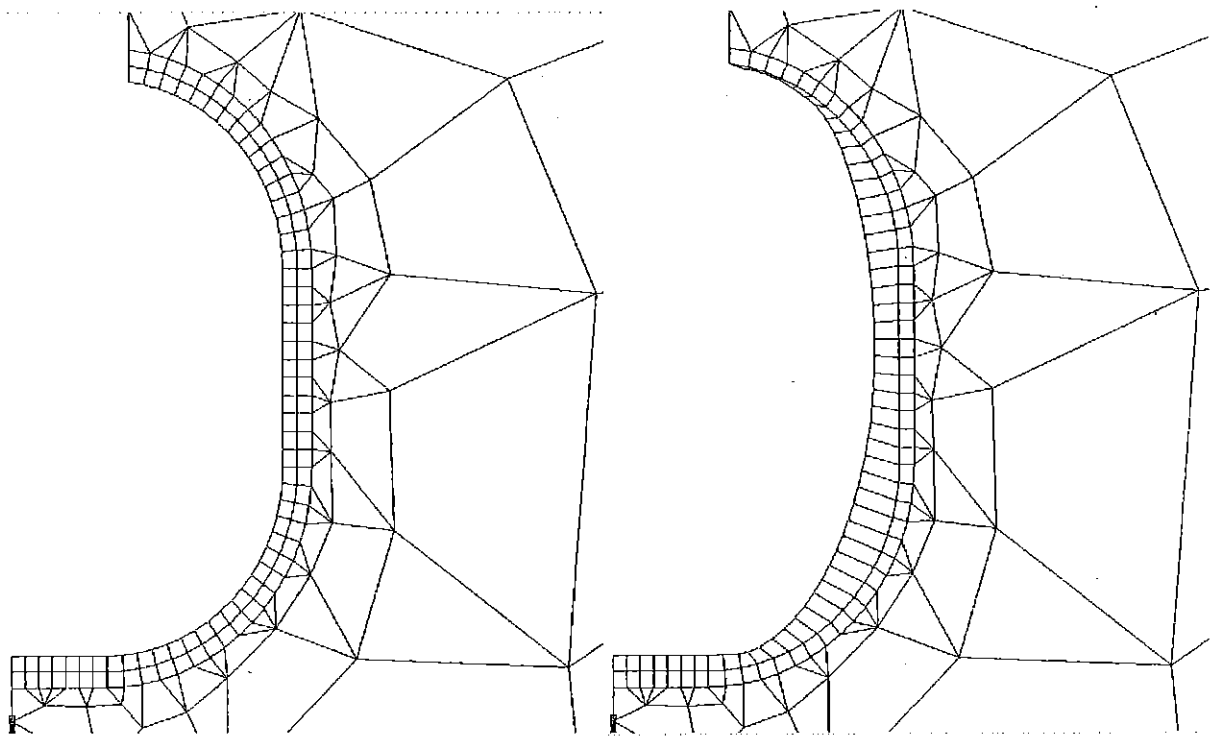
oblasti (površine). Na površini oko grla je ručno definisana gusta mreža konačnih elemenata oblika kvadrata (potreban je veći broj čvornih tačaka u ovoj zoni da bi rast bio uspešniji). Ovim elementima je u toku proračuna dodeljivana jedna od dve vrednosti modula elastičnosti (E ; $E/400$). Ova oblast predstavlja zonu rasta sa definisanim koeficijentom provođenja toplote kao za čelik. Druga oblast se oslanja na zonu rasta, ima definisan konstantni modul elastičnosti (E) i koeficijent provođenja toplote koji je nula. Ovde je mreža konačnih elemenata definisana automatski i veličina elemenata se idući od zone rasta povećava, s obzirom da nas zanima samo grlo stranice. Na slici 2 se može videti izgled mreže konačnih elemenata.

Granični uslovi i opterećenje je ostalo isto kao i za raniji statički proračun.

Međutim, ovde su definisane sledeće analize:

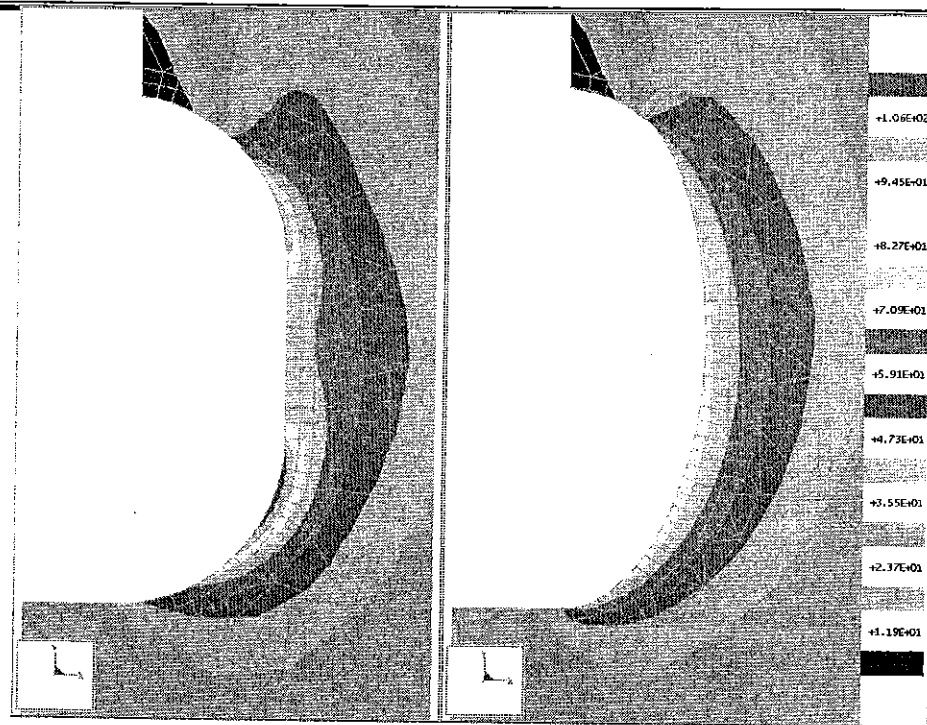
- statička analiza sa mehaničkim opterećenjem, koja treba da da kao rezultat vrednosti von-Mises-ovih napona, koji će se upoređivati na kraju svake iteracije. Modul elastičnosti zone rasta se postavlja kao i za ostali deo stranice (E);
- termička analiza na bazi predefinisanih temperatura u čvorovima čije se vrednosti poistovećuju sa von-Mises-ovim naponima, bez termičkih opterećenja, a sa izmenjenim modulom elastičnosti ($E/400$);
- statička analiza sa termičkim opterećenjem usled predefinisanih temperatura, a bez mehaničkog opterećenja sa izmenjenim modulom elastičnosti ($E/400$).

Sledeći opisani tok CAO metode, u 5 iterativnih koraka je dobijen konačni, optimizovani izgled grla bočne stanice prese – slika 2, desno.



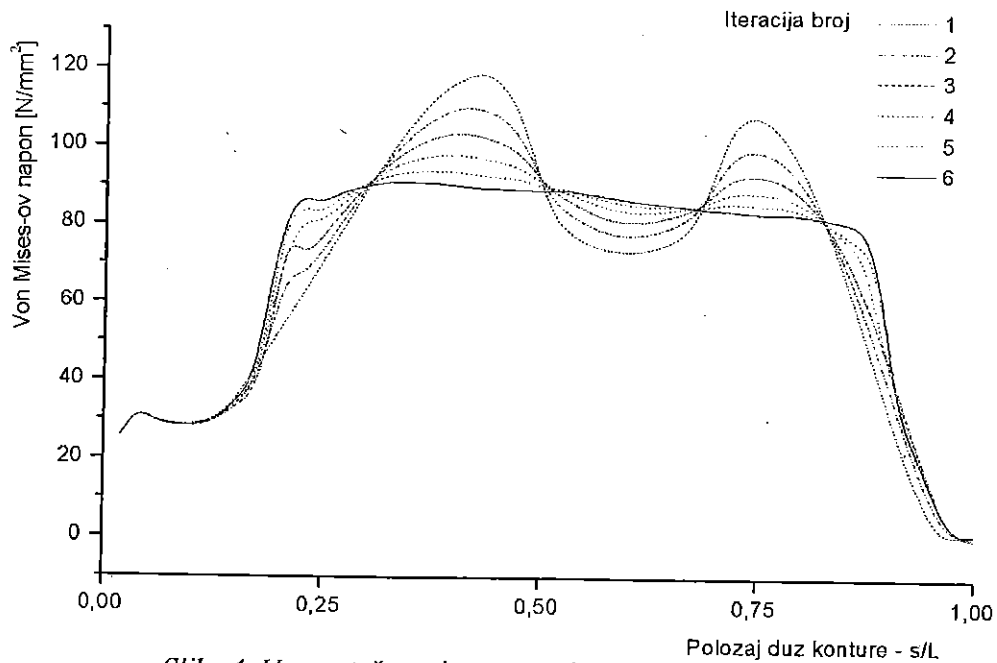
Slika 2. Izgled grla u originalnoj i optimizovanoj varijanti

Na slici 3 su prikazani naponi (Von-Mises) u istom spektru boja i može se primetiti da na optimizovanom obliku više nema koncentracija napona, već su naponi ujednačeni, što se vidi i na dijagramu sa slike 4.



Slika 3. Von-Mises-ovi naponi

Na slici 4 su grafički prikazane promene napona u svim iteracijama duž konture grla stranice prese. Može se primetiti da su u petoj iteraciji vrednosti napona uravnotežene.



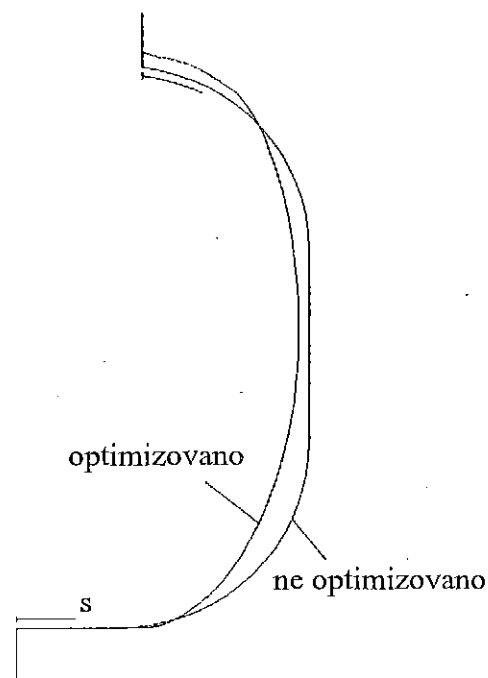
Slika 4. Uravnotežavanje napona duž konture s kroz iteracije

Na slici 5 je prikazana optimizovana kontura u odnosu na početnu, tako da mogu da se identifikuju mesta gde je dodavan materijal.

4. ZAKLJUČAK

Zahtev za većim radnim prostorom povlači za sobom promenu dimenzija koje smanjuju presek stranice i povećavaju koncentraciju napona. Oblik grla definisan kružnim lukovima u zoni koncentracije napona, ne predstavlja optimalno rešenje. Koristeći metod računarski podržane optimizacije, koji se bazira na analogiji sa određenim oblicima koji se javljaju u prirodi, moguće je korigovati oblik modela, metodom dodavanja, odnosno oduzimanja čija je funkcija cilja ujednačavanje intenziteta napona. U radu je uspešno primenjena ova metoda na nosećoj strukturi hidraulične prese za savijanje lima i rezultati mogu da se iskoriste za sve članove familije hidrauličkih presa.

U radu je korišćen programski paket Pro/Mechanica, na taj način što su rezultati (pomeranja čvorova), dobijeni u jednoj iteraciji korišćeni za promenu geometrije modela da bi se dobio model za sledeću iteraciju. Planira se automatizacija ovog procesa, gde ne bi bilo potrebe za intervencijama između iteracija.



Slika 5. Konture grla stranice prese

LITERATURA

1. Kalajdžić M., Metod konačnih elemenata, osnovi statike, statika nosećih struktura, dinamika nosećih struktura, primene, IAMA, Beograd, 1978
2. Spyarakos, C. C., Finite Element Modeling in engineering practice, West Virginia University Press, Morgantown, WV
3. Mattheck, C., Design in der Natur, der Baum als Lehrmeister, Rombach, Freiburg, 1997
4. Parametric Technology Corporation, Pro/MECHANICA, Model Reference for Structure and Thermal
5. Kalajdžić, M., MEKELBA III, Metod Konačnih elemenata u BASIC-u, Građevinska knjiga, Beograd, 1990

OPTIMISATION OF THE PRESS FRAMES

Abstract

Optimisation methods in engineering design are based on assumption of uniform stress. The principle of adaptive growth, widely spread in nature and used by various biological structures to minimise stress concentration, has been incorporated in to a Computer Aided Optimisation (CAO) procedure. In this paper, a CAO method applied to the frame of the hydraulic press brake has been presented. It is shown that constant radius shape in stress concentration zone of a C-frame could not be accepted as an optimal solution. It is possible to modify the shape of an C-frame model using a CAO method based on analogy with the known shapes which come from nature, combined with computational results provided by FEA (Finite Element Analysis). Shape optimisation on critical points has been realised through material add/remove procedure with uniform stress as a goal. Press brake frame strain and displacement evaluation and analysis have been provided through software packages Pro/Mechanica and Mekelba.

Key words: Press, Optimisation, CAO, FEA, CAD

AUTONOMNOST ROBOTA BAZIRANA NA EMPIRIJSKOM UPRAVLJAČKOM ALGORITMU

Z. Miljković¹⁾

Rezime

Rad analizira sposobnosti koje savremeni industrijski robot treba da poseduje kako bi se, zahvaljujući razvoju empirijskog upravljačkog algoritma, mogao smatrati autonomnim. Postavljeni koncept empirijske upravljačke strategije na svim nivoima (prepoznavanje, senzorsko-motorna koordinacija i upravljanje na izvršnom nivou) je baziran na algoritmima učenja veštačkih neuronskih mreža. Ovakav koncept, korišćenjem uspostavljenih pravila empirijskog algoritma upravljanja na pomenutim nivoima, omogućava realizaciju empirijske upravljačke strategije kao i aproksimativnog upravljanja na servosistemskom nivou, generisanjem unutrašnjih koordinata robota bez rešavanja inverznog kinematičkog problema. Ovakva "empirijska mašina - robot", na bazi razvijene sposobnosti učenja, je u stanju da izgrađuje nivo svoje inteligencije, odnosno autonomnosti. U cilju verifikacije postavljenog koncepta, odnosno hipoteze o empirijskom hijerarhijskom upravljanju na bazi sistema prepoznavanja i učenja, razvijeno je pet eksperimentalnih softverskih podsistema.

Ključne reči: Autonomnost robota, Mehatronika, Empirijski upravljački algoritam, Učenje

UVOD

Autonomni, odnosno inteligentni industrijski roboti, koji "razumeju" tehnološki zadatak i okolinu, su danas u svetu predmet intenzivnih istraživanja i sastavni su deo inteligentnih tehnoloških sistema. Razvojem ovakvih sistema industrijskih robota omogućava se njihova efikasnija primena na postojećim zadacima, ali i proširuju oblasti primene na kompleksne tehnološke zadatke koji do sada nisu, ili ne u potpunosti, bili pogodni za robotizaciju. Posebno treba naglasiti da predviđanja kompetentnih istraživačkih centara u Japanu (Nagoya University) [1], Evropi (Swiss Federal Institute of Technology) [2] i S.A.D. (MIT) [3] ukazuju na to da će u prvoj deceniji nastupajućeg 21. veka biti uspostavljen koncept inteligentnih industrijskih robota, koji imaju ostvarenu sposobnost rasuđivanja, odnosno učenja. Istraživački rezultati vodećih laboratorija MIT-a, poput Artificial Life Laboratory, nedvosmisleno potvrđuju da je današnji stepen razvoja veštačke inteligencije u robotici na nivou inteligencije deteta od dve do tri godine, što je u potpunom skladu sa predviđanjima, pri čemu se u tom kontekstu posebno ističe autonomnost robota, kao ključna osobina koja se ostvaruje kroz nove upravljačke strategije. U ovom radu se daje prikaz empirijskog upravljačkog algoritma kao osnove za razvoj autonomnosti robota.

¹⁾ Dr Zoran Miljković, dipl.maš.inž., Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 27. marta 80, Beograd, Katedra za proizvodno mašinstvo
E-mail: m_zoran@ptt.yu

2. AUTONOMNOST ROBOTA

Autonoman industrijski robot, u interakciji sa realnim okruženjem, mora da ima realizovane sledeće sposobnosti: manipulativnost, komunikativnost, lokomociju, senzitivnost i rasuđivanje. Ove sposobnosti su evoluirale u proteklom periodu razvoja robota [4], što se vidi u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled funkcionalnih sposobnosti autonomnih industrijskih robota

SPOSOBNOST	Pre 1990.	Tokom 1990-tih	Posle 2000.
Manipulativnost			
Sa aspekta industrijskih alata	—————		
Sa aspekta antropomorfnosti	—————	
Komunikativnost			
Jednosmerna (ka robotu)	—————		
Dvosmerna		—————
Lokomocija			
Po šinama	—————		
Pomoću točkova	—————		
Po stazi	—————		
Pomoću nogu		—————
Senzitivnost			
Kompjutersko gledanje		—————
Zvuk		—————
Taktilnost (dodir)		—————
Miris,boja	—————		
Rasuđivanje			
Preko izolovanih činjenica	—————		
Preko baze podataka	—————	
Preko baze znanja		—————
Sopstvenim učenjem		—————

..... početak primene
 ————— široka primena

Kod autonomnih industrijskih robota, sa aspekta razvoja upravljačkih algoritama, veoma važne sposobnosti robota predstavljaju senzitivnost i rasuđivanje. U sprovedenim istraživanjima, te sposobnosti autonomnih robota su razvijane i testirane kroz primenu kamere –senzora i mašinskog učenja na bazi veštačkih neuronskih mreža. Da bi se razumeo razvoj upravljačkih algoritama za autonomne industrijske robote koji poseduju pomenute sposobnosti, neophodno je objasniti atribut autonoman u kontekstu njegovog upravljačkog sistema. Autonomnost robota je pre svega zasnovana na realizaciji njegovih upravljačkih funkcija, koje predstavljaju tako ukomponovan skup hardverskih i softverskih komponenata da se bez spoljašnje intervencije u dužem vremenskom periodu mogu izvršavati postavljeni zadaci, kao što je manipulacija prepoznatim objektima. Upravljački sistem autonomnog robota podrazumeva visok nivo adaptacije prema promenama u njegovom realnom okruženju. Da bi se to ostvarilo koriste se metode kao što su:

- algoritamsko-numeričke metode, bazirane na identifikaciji i estimaciji, i
- metode zasnovane na odlučivanju, koje koriste tehnike veštačke inteligencije.

Kompleksni upravljački problemi koji se javljaju kod autonomnih robota uslovljavaju da se, korišćenjem metoda zasnovanih na odlučivanju i primeni tehnika veštačke inteligencije, ostvari evolucija inteligentnih upravljačkih funkcija autonomnog robota. To znači da se, za razliku od konvencionalnih upravljačkih funkcija, kod inteligentnih upravljačkih funkcija evolutivnim postupkom, primenom veštačke inteligencije, obezbeđuje identifikacija i

estimacija stanja sistema autonomnog robota, kako bi se korišćenjem empirijskog upravljačkog algoritma kompleksni upravljački problem uspešno rešio i zadatak robota realizovao sa najvećom mogućom verovatnoćom. Važno je da se naglasi i to da je za ostvarenje tih inteligentnih upravljačkih funkcija apsolutno neophodno da autonomni robot kontinuirano uči i da može da se adaptira novonastalom stanju. Veštačke neuronske mreže kao pogodna tehnika veštačke inteligencije se uspešno koriste u ove svrhe, jer je njihova izražena osobina upravo učenje. Formalizovani pristup realizaciji inteligentnih upravljačkih funkcija za autonomni robot je moguće ostvariti na više načina, pri čemu je jedan od najpogodnijih vezan za hijerarhijski, slojeviti vid upravljanja. Hijerarhijsko inteligentno upravljanje za autonomni robot podrazumeva moderan hardversko-softverski povezani skup komponenata koje u međusobnoj interakciji, kroz više nivoa odlučivanja, realizuju autonomnost robota u pogledu njegovog uspešnog adaptiranja promenama u realnom okruženju i samostalnog odlučivanja o akcijama koje će pri izvršavanju postavljenog zadatka sprovoditi u dužem vremenskom periodu.

3. MEHATRONSKI SISTEM I INTELIGENTNO UPRAVLJANJE

Mehatronika je inženjerska oblast multidisciplinarnog karaktera i bazirana je na sistem analizi, modeliranju i upravljanju. Ako se poče od konvencionalnog elektro-mehaničkog sistema, kod koga se raspoloživi senzori i aktuatori dodaju mehaničkom sistemu, onda je moguće razlikovati dve vrste integracije kod mehatronskog sistema:

- Integracija komponenata (hardverska integracija),
- Integracija preko procesiranja informacija (softverska integracija).

Prilikom poređenja karakteristika konvencionalnog i mehatronskog sistema, kroz prednosti koje se ostvaruju integracijom, uočljivo je to da, što se hardverske integracije tiče, mehatronski sistem ima kompaktne komponente, jednostavne mehanizme, autonomne jedinice i komunikaciju pomoću komunikacionih magistrala (LAN, MAP mreže), dok u pogledu softverske integracije on poseduje nelinearno programabilno digitalno upravljanje, supervizorsko praćenje sa dijagnostikom grešaka i sposobnost učenja. U pogledu procesiranja informacija, za mehatronski sistem važi i to da je njegov podsistem inteligentnog upravljanja zapravo suštinska kvalitativna nadgradnja u odnosu na konvencionalni, što predstavlja i težište istraživanja koja su sprovedena. Naime, razvijen je sistem hijerarhijskog inteligentnog upravljanja robotom koji je baziran na empirijskom upravljačkom algoritmu. Da bi se objasnio ovaj algoritam upravljanja neophodno je dati par osnovnih napomena u vezi inteligentnog upravljačkog sistema. Mehatronski sistem - robot koji uključuje sposobnost da "oseća" svoje okruženje, procesira informacije u funkciji redukovanja neodređenosti, planira, generiše i izvršava upravljačke akcije, konstituiše jedan inteligentan upravljački sistem. Postoje tri osnovne strukture inteligentnog upravljanja [5]: struktura adaptivnih performansi, parametarsko-adaptivna struktura i hijerarhijska struktura. Kod hijerarhijske strukture, inteligentni upravljački sistem je kontroler visokog nivoa, koji nastoji da samo modifikuje referentne ulaze na podsisteme nižeg nivoa. Ti podsistemi nižeg nivoa mogu biti servo-upravljački sistemi, čija interna struktura i parametri nisu narušeni nadgradnjom koja je ostvarena razvojem i korišćenjem inteligentnog upravljačkog sistema. Greška i/ili inkrement greške izlaza sistema i kvalitet preduzetih koraka za njeno prevazilaženje su korišćeni u funkciji ocene performansi sistema, što predstavlja polaznu osnovu empirijskog upravljanja.

4. EMPIRIJSKO HIJERARHIJSKO UPRAVLJANJE

Empirijsko upravljanje [6] predstavlja nadgradnju upravljačkog sistema, zbog nespecifičnog ponašanja industrijskog robota, a realizuje se posle izgradnje i puštanja u rad tog istog robota.

Autonomni industrijski roboti su u stanju da ostvare adaptivno ponašanje koje je bazirano na iskustvu, i to u datom okruženju, bez učešća čoveka-operatora, pre svega zahvaljujući empirijskom upravljanju. Naime, naučni cilj je vezan za ostvarivanje sposobnosti "empirijske mašine" – robota da uči, odnosno da bude u stanju da razvije ponašanje na osnovu sopstvenog iskustva. Sposobnost "empirijske mašine" se ogleda u tome da može da generiše takvo autonomno ponašanje, koje dopušta otkrivanje posebnih odnosa u sopstvenom okruženju, kao i njihovu ugrađnju u svoje buduće ponašanje.

Ono što se odmah nameće je vezano za to da su fundamentalni zahtevi mehatronskog sistema, poput autonomnog industrijskog robota, ustvari postavljeni uslovi kreiranja i ostvarivanja zadovoljavajućeg ponašanja u datom realnom okruženju. Da bi empirijski upravljački sistem ostvario zadovoljavajuće ponašanje treba da realizuje samo tri koraka, korišćenjem sopstvene sposobnosti mašinskog učenja, a to su:

- Generisati određeno ponašanje pod određenim uslovima.
- Utvrditi (testiranjem) da li je to ponašanje ostvareno.
- Ostvariti ponašanje koje ima najveću verovatnoću uspešne realizacije, shodno uslovima.

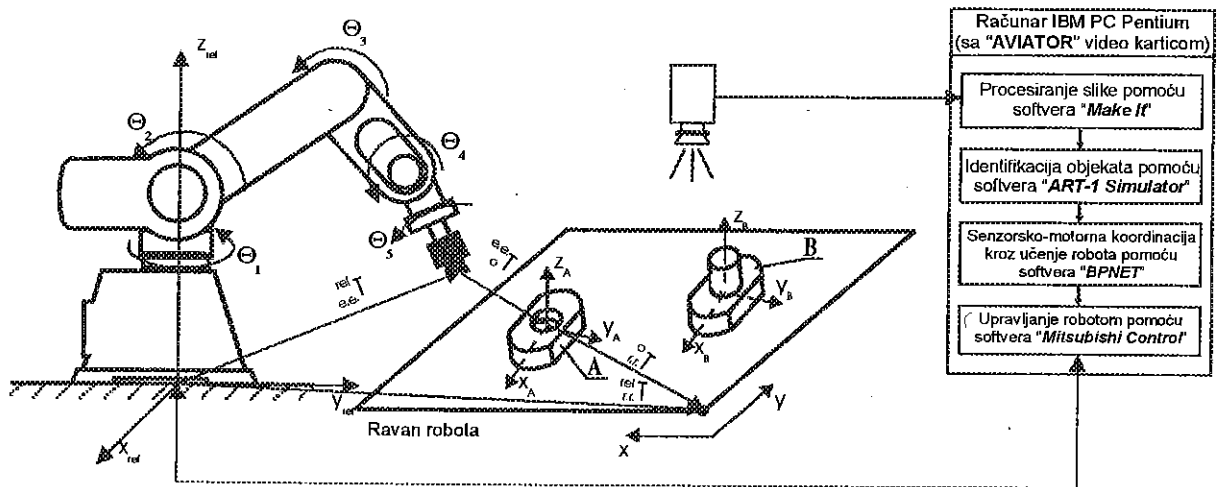
Ova procedura, iskazana preko tri data koraka, predstavlja osnovu empirijskog algoritma (dat je u nastavku), koji je ujedno i fundamentalan upravljački algoritam po čijim je pravilima realizovana hijerarhijska inteligentna upravljačka strategija za autonomne industrijske robote. Ova četiri jednostavna pravila empirijskog upravljačkog algoritma kreiraju evoluciju, odnosno uspešan razvoj svih empirijskih sistema, kojima pripada i autonomni industrijski robot. Ako se ta pravila dovedu u kontekst algoritama učenja veštačkih neuronskih mreža [7], kao i sistema prepoznavanja baziranih na kameri kao senzoru [7], očigledno je da se veoma uspešno mogu uspostaviti svi potrebni nivoi hijerarhijskog inteligentnog upravljanja za autonomne industrijske robote, tako da je na tim osnovama i razvijena empirijska upravljačka strategija [7]. Koncept hijerarhijskog inteligentnog upravljanja na bazi empirijskog upravljačkog algoritma, koji je primenjen u ovom radu, isključuje pojedine nelinearne transformacije (odnosi se na transformacije koordinata), jer je upravljačka strategija bazirana na sposobnosti učenja "backpropagation" (BP) veštačke neuronske mreže.

Empirijski upravljački algoritam

- Pravilo 1:** Empirijski upravljački sistem mora da selektuje odgovarajući izlaz (posle očekivanog vremena kašnjenja), uz najviši nivo pouzdanosti, saglasno njegovoj memoriji, za dati specifični ulaz.
- Pravilo 2:** Ako selektirani izlaz može da se ostvari, memorisani nivo pouzdanosti tog izlaza za dati ulaz mora da bude u porastu, tako da verovatnoća kasnijih uspešnih selektiranja tog izlaza za taj dati ulaz ima isti trend rasta.
- Pravilo 3:** Ako selektirani izlaz za specifični dati ulaz ne bi mogao da se ostvari (jer je sprečen, ograničen ili tome slično od strane realnog okruženja, ili od nekog spoljašnjeg uticaja poput uticaja "učitelja-trenera" prilikom obučavanja, ili je do toga došlo pod uticajem nekih internih signala, aktuatora, odnosno sopstvene strukture), nivo pouzdanosti koji je memorisan mora da bude sveden na niži nivo tako da verovatnoća kasnijih uspešnih selektiranja tog izlaza za taj dati ulaz bude veća.
- Pravilo 4:** Ako je ostvaren neki drugi novi izlaz, memorisani nivo pouzdanosti tog izlaza za dati ulaz mora da bude u porastu, tako da verovatnoća kasnijih uspešnih selektiranja tog izlaza za taj dati ulaz ima isti trend rasta.

5. EKSPERIMENTALNI SISTEM

Na osnovu razvijenog koncepta hijerarhijskog inteligentnog upravljanja za autonomne industrijske robote, realizovan je integrisani hardversko-softverski eksperimentalni sistem. Čine ga: edukacioni industrijski robot "MITSUBISHI-MOVEMASTER-EX"²⁾, kamera "Sony" CCD TR512E, IBM PC Pentium računarska platforma opremljena "FAST-AVIATOR"³⁾ - karticom za akviziciju signala od kamere i softveri "Make it", "ART-1 Simulator", "BPNET" i "MITSUBISHI Control" (slika 1) [7].

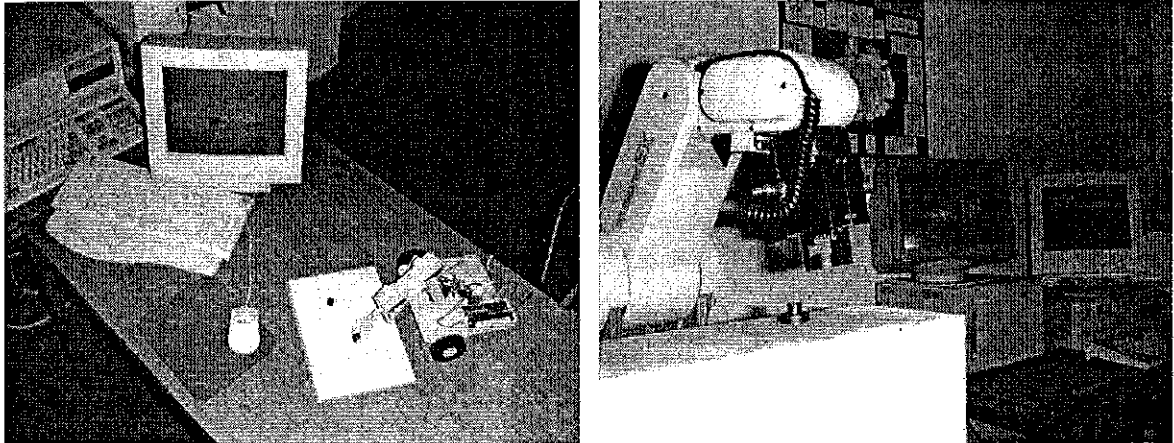


Slika 1. Eksperimentalni sistem robota "MITSUBISHI-MOVEMASTER-EX"

Na slici 1 je pokazana celokupna procedura (sa blok-dijagramom) po kojoj je eksperiment izveden. Naime, fiksno postavljena kamera snima objekte i generiše se 2D slika. Razvijeni softver "Make it" posle procesiranja 2D slike, korišćenjem segmentacije preko regiona, izdvaja karakteristike objekata i formira binarni vektor kojim se predstavlja prepoznati objekat. Nakon toga se realizuje identifikacija objekata primenom razvijenog softvera "ART-1 Simulator", koji preko generisanog binarnog vektora, s obzirom na sličnost sa objektom koji se "traži", identifikuje objekat kome robot treba da pristupi. Kada je postupak identifikacije objekta završen i kada je poznata njegova pozicija i orijentacija u unapred poznatoj ravni radnog prostora industrijskog robota, primenom sistema veštačkih neuronskih mreža, odnosno korišćenjem softvera "BPNET" sopstvenog razvoja, kao i softvera "MITSUBISHI Control" za nadzor i upravljanje edukacionim industrijskim robotom "MITSUBISHI-MOVEMASTER-EX" (kao i softvera "Don Kihot Control" za nadzor i upravljanje antropomorfim robotom "Don Kihot"), realizuje se senzorsko-motorna koordinacija end-efektora robota pri manipulaciji objekta. Na osnovu dobijenih eksperimentalnih rezultata (tabela 2) [7], primenom opisanog empirijskog upravljačkog algoritma, ostvarena je željena autonomnost robota u pogledu prepoznavanja objekata u definisanoj ravni robota i nesmetane manipulacije tim objektima (slika 2), pri čemu treba primetiti visoku tačnost procesa učenja robota (odstupanja su do 1°).

²⁾ Ovaj edukacioni industrijski mikro-robot (model RV-M1) je proizvela *Mitsubishi Electric* Korporacija.

³⁾ Proizvođač kartice je *FAST Electronic GmbH*, čija je Internet adresa: <http://www.fastmultimedia.com>.



Slika 2. Prikaz autonomnog ponašanja robota "Don Kihot" i "MITSUBISHI-MOVEMASTER"

Tabela 2. Željene i finalne vrednosti uglova za rotacione zglobove robota "Don Kihot"

	Objekat A								Objekat B							
	Željene vrednosti				Finalne vrednosti				Željene vrednosti				Finalne vrednosti			
	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4
1	-11	-18	13	-20	-11	-17.5	13	-19	12.5	-22.5	3	-19	13	-23	3	-18.5
2	-9	-17	14	-20	-8.5	-17	14	-19.5	14	-21	7.5	-15	13	-21	17.5	-15.5
3	-2	-17	12.5	-19.5	-3	-17.5	13	-19.5	10	-23	3.5	-16.5	10.5	-22.5	2.5	-16.5
...																
18	-10	-23.5	11.5	-4.5	-10	-23.5	12	-4.5	0	-11	16	-20	-0.5	-10.5	16.5	-20
19	-	-23	13	-3.5	-13	-23	12.5	-4	-6	-7	20	-19	-6	-8	20	-19
	13.5															

6. ZAKLJUČAK

Razvijeni koncept hijerarhijskog inteligentnog upravljanja za autonomne industrijske robote zasnovan je na empirijskom upravljačkom algoritmu koji je ugrađen u empirijsku upravljačku strategiju robota "MITSUBISHI-MOVEMASTER-EX" i "Don Kihot". Eksperimentalni rezultati su pokazali da se, za izabrani tehnološki zadatak koji je uključivao identifikaciju (prepoznavanje) i manipulaciju objekta pri montaži, primenom razvijenih eksperimentalnih softverskih podsistema podjednako uspešno realizuje empirijska upravljačka strategija na robotima različitog nivoa razvijenosti upravljačkog podsistema.

LITERATURA

- [1] Fukuda, T., Arai, F., Ishihara, H., Sekiyama, K., Matsuura, H., Laboratory of Micro System Control – Research Activities in 1997, Nagoya University, Japan, 1998.
- [2] Mondada, F., Franzi, E., Jenne, P., Mobile Robot Miniaturisation: A Tool for Investigation in Control Algorithms, The 3rd International Symposium on Experimental Robotics, Japan, 1993.
- [3] Brooks, R.A., Artificial Life and Real Robots, MIT Press, pp. 3-10, 1992.
- [4] Kim, S.H., Designing Intelligence – A Framework for Smart Systems, Oxford Univ. Press, 1990.
- [5] Zalzal, A.M.S., Morris, A.S., Neural Networks for Robotic Control - Theory and Applications, Ellis Horwood Limited, 1996.
- [6] Brown, R.A., Machines That Learn, Oxford University Press, 1994.
- [7] Miljković, Z., Razvoj upravljačkih algoritama za autonomne industrijske robote na bazi sistema prepoznavanja i učenja, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

ROBOT AUTONOMOUS BASED ON THE EMPIRICAL CONTROL ALGORITHM**Summary**

This paper analyses abilities which a modern industrial robot should possess so that it can be called autonomous, owing to development of empirical control algorithm. Established concept of empirical control strategy at all levels (recognition, sensor-motor coordination and control on operating level) is based on learning algorithms of artificial neural networks. Such concept, using rules of empirical control algorithm at already mentioned levels, enables realization of empirical control strategy as well as approximated control on servo-system level, by generating robot angles without solving inverse kinematic problem. Such "empirical machine-robot", on the basis of developed learning ability, is ready to build the level of its intelligence, i.e. autonomous. Aiming to verify the set up concept, i.e. hypothesis about empirical hierarchical control on the basis of the recognition system and learning, five experimental software systems are developed.

Key Words: *Robot autonomous, Mechatronics, Empirical control algorithm, Learning*

KORIŠĆENJE TEROJE FUNKCIJA UVERENJA ZA PREDSTAVLJANJE NEODREDJENOG ZNANJA

M. Djapić, V. Milačić¹

REZIME

U ovom radu se daje nov način za predstavljanje znanja i za rezonovanje u uslovima neodređenosti. Pristup bazira na korišćenju teorije funkcija uverenja (Dempster - Shafer-ova teorija) odnosno na korišćenju evidencionih mreža.

Kroz primer modeliranja znanja koje je generisala PERA (Production Engineering Research Association) pokazano je kako je ove sisteme moguće koristiti kao alat za donošenje i dokumentovanje odluka u projektovanju proizvoda i tehnologija.

1. UVOD

Realne situacije u projektovanju proizvoda i tehnologija su pune nesavršenih informacija koje se najčešće javljaju u obliku nepreciznosti i neodređenosti. Projektant u takvim uslovima donosi odluke. Da li su i koliko te odluke ispravne? Koliko one utiču na zadovoljenje kupaca? Koliko je kvantitativno neodređenost projektanta smanjena posle donesene odluke?

Ovo su samo neka od pitanja sa kojima se projektanti susreću svakodnevno. Da bi rešili prethodne probleme, u ovom radu se daje nov način za uključivanje neodređene evidencije u proces projektovanja.

Pristup bazira na primeni Dempster-Shaferove teorije funkcija uverenja, odnosno na prieni evidencionih mreža za predstavljanje neodređenog znanja i rezonovanje u uslovima neodređenosti.

2. NESAVRŠENE INFORMACIJE: NEODREĐENOST I NEPRECIZNOST

Savremeni razvoj proizvoda ne može da se zamisli bez informacionog menadžmenta, što podrazumeva prikupljanje informacija, njihovo procesiranje, sortiranje, analizu, odlaganje itd. Sve informacije mogu da budu svrstane u jednu od dve grupe: u savršene ili perfektno informacije i nesavršene informacije.

Informacije su savršene kada su precizne i potpuno određene. Nesavršenost informacija podrazumeva njihovu nepreciznost, neodređenost, netačnost, nejasnost, nekompletnost i neznanje. Kao, na primer "Zupčanik se lako montira", gde je koncept "lako" neprecizan, ili, "Nisam siguran da zupčanik može da se montira", gde su informacije neodređene.

Nepreciznost i neodređenost su dva najčešća oblika nesavršenih informacija.

¹ Dr Mirko Djapić, dipl. maš. ing., LOLA Institut, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 70a.

Dr Vladimir Milačić, dipl. inž., (redovni profesor u penziji), Mašinski fakultet, 11000 Beograd, 27. marta 80.

Nepreciznost se odnosi na sadržaj koji nose informacije usled "zamašnjog" sadržaja nekih podataka kojima je opisano stanje.

Neodredjenost nastaje u situaciji kada se vrednuju ili valuiraju informacije. Nastaje usled nedostataka informacija ili činjenica o stanju koje se analizira ili nedostatku poverenja u to da li su informacije korektne ili ne.

Da bi se uočila razlika između nepreciznih i neodredjenih informacija, razmotriće se sledeća dva primera:

- Siguran sam da je dobavljač X isporučio najmanje tri loša proizvoda Y .
- Isporučilac X je isporučio tri loša proizvoda Y ali nisam siguran u to.

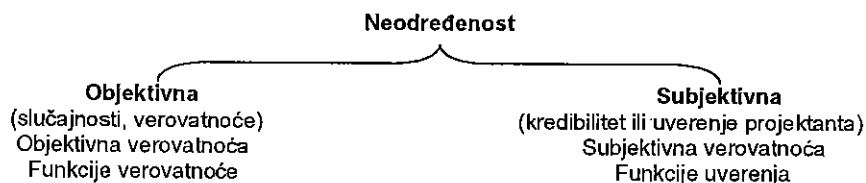
U prvom primeru broj puta je neprecizan ("najmanje tri") ali je siguran. U drugom primeru broj je precizan ali je nesiguran, neodredjen.

Neodredjenost se javlja u slučajevima u kojima stanje nekog događaja nije još potpuno određeno. U takvim situacijama mora da se izvrši izbor (ili donese zaključak) između mogućih opcija koje zavise od trenutnog stanja događaja.

Jedan od pogleda na neodredjenost je da je to frekventna mera nekog slučajnog događaja. S druge strane, neodredjenost može da se shvati kao subjektivna mera nečijeg uverenja u ishod nekog događaja.

Tradicionalno jedini potpuno razvijeni način predstavljanja nesavršenih informacija je teorija verovatnoće. Mada se uspešno primenjuje u mnogim aplikacijama, teorija verovatnoće je pogodna samo za neke specijalne slučajeve neodredjenosti. U mnogim radovima su identifikovana njena ograničenja. Zbog toga su u poslednje vreme razvijene druge metode za predstavljanje nesavršenih informacija. Na primer, teorija fazi-skupova i teorija mogućnosti su razvijene za modeliranje nepreciznosti. Za neodredjenosti se uvodi teorija funkcija uverenja kao alternativa teoriji verovatnoće. Relacije između različitih modela za predstavljanje nesavršenih informacija su prikazane na slici 2.1.

Tip informacije	Model
Neprecizne informacije	Teorija fazi skupova Teorija mogućnosti
Neodredjene informacije	Teorija verovatnoće Teorija funkcije uverenja (matematička teorije evidencije)



Slika 2.1 Modeliranje nesavršenih informacija [adaptirano iz (Xu 1997 u Djapić 2000)]

3. TEORIJA FUNKCIJA UVERENJA

Motivacija za korišćenje teorijom funkcija uverenja u ovom radu je motivisana potrebom gradnje ekspert sistema za aplikacije, koje obuhvataju (1) subjektivna i/ili nekompletna znanja pribavljena od, na primer, grupe domen eksperta i (2) netačne ili nekompletne informacije dobijene integracijom nekoliko grupa podataka. Baza znanja u takvim sistemima uključuje kombinaciju proceduralnih znanja, baziranih na iskustvu i deklarativnih znanja izvedenih iz razumevanja fundamentalnih fenomena vezanih za određenu aplikaciju. Ovakve situacije su vrlo česte u tzv. soft naučnim aplikacijama (npr., u nekim oblastima tehničkih nauka, geologiji, medicini itd.), gde su ekstremno složeni fenomeni samo delimično shvaćeni i zbog

toga ne mogu da budu opisani strogim matematičkim modelima. Zbog toga domen eksperti moraju intenzivno da primenjuju subjektivna znanja u formi kolektivnih "sudova", "iskustva" ili "intuicije".

Donošenje zaključaka (rezonovanje) o određenoj situaciji iz realnog sveta je često povezano sa korišćenjem neodređenosti, kontradiktornosti i neznanja. Informacije o evidenciji mogu da dolaze iz različitih izvora: na osnovu iskustva određene osobe, od signala prihvaćenih određenim sensorima, iz sadržine (konteksta) objavljenih materijala itd. Takva evidencija je retko jasno razgraničena, često je nekompletna, dvosmislena u svom značenju i puna nedostataka.

Dempster-Shaferova teorija funkcija uverenja omogućuje snažne alate za matematičko predstavljanje subjektivne (suprotno od onog na čemu bazira teorija verovatnoće) neodređenosti i pri tom se uglavnom oslanja na mogućnost eksplicitnog definisanja neznanja. Ova teorija je intuitivno prilagodjeni formalizam za rezonovanje ispod granice neodređenosti. Ona, u stvari, predstavlja generalizaciju Bajsove teorije uslovne verovatnoće. Kao takva pruža formalno konzistentan metod za interpretaciju i povezivanje evidencije, koja u sebi nosi neku neodređenost, a, pored toga, omogućuje dobijanje potpunoznačnih odgovora na postavljena pitanja upotrebom samo parcijalne evidencije. Potpuna evidencija se može uključiti samo u neophodnim slučajevima.

3.1 Osnovni koncept funkcija uverenja

Model funkcije uverenja (belief function) se sastoji iz varijabli, mogućih vrednosti ovih varijabli i evidencije koja podržava varijable. Varijable predstavljaju pojedinačna pitanja o nekom aspektu problema koji se razmatra. Odgovori na postavljena pitanja mogu da budu formirani na osnovu podataka koji dolaze iz različitih izvora, odnosno iz konteksta objavljenih radova, iz podataka o izmernim veličinama, iz mišljenja eksperata itd. Kompletno objedinjena podrška mogućem odgovoru se naziva evidencija.

Evidenciju je moguće predstaviti funkcijama uverenja koje su definisane na sledeći način.

Definicija 3.1 Neka je dat konačan ne prazan skup Θ koji se naziva okvir razmatranja ili jednostavno samo okvir. Preslikavanje $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$ se naziva (normalizovana) funkcija uverenja ako i samo ako postoji osnovna vrednost uverenja (basic belief assignment - bba) $m: 2^\Theta \rightarrow [0,1]$, tako da je:

$$\sum_{A \subset \Theta} m(A) = 1 \quad (3.1a)$$

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A, B \neq \emptyset} m(B) \quad (3.1b)$$

$$Bel(\emptyset) = 0 \quad (3.1c)$$

Vrednost $m(A)$ može biti shvaćena kao mera nečijeg verovanja koje je počinjeno tačno za podskup A i slobodno se kreće unutar njega.

Uslov (1) pokazuje da nečije ukupno verovanje koje je podržano od evidencije može maksimalno da ima vrednost jedan a uslov (3) odnosi se na činjenicu da nečije verovanje koje je počinjeno za prazan skup mora da bude jednako nuli.

Vrednost $Bel(A)$ predstavlja ukupno verovanje koje je počinjeno za skup A i sve njegove podskupove.

Svaki podskup A čije je $m(A) > 0$ naziva se žični element.

Prazna funkcija uverenja je funkcija kod koje $m(\emptyset) = 1$ a $m(A) = 0$ za sve podskupove $A \neq \emptyset$. Ova funkcija predstavlja potpuno neznanje o problemu koji se razmatra.

4 SISTEM BAZIRAN NA VREDNOVANJU ZA PROSTIRANJE UVERENJA

Sistem baziran na vrednovanju (Valuation Based Systems - VBS) je apstraktni okvir predložen od strane Shenoy za predstavljanje i rezonovanje na bazi neodređenosti. Omogućava predstavljanje neodređenog znanja u različitim domenima, uključujući Bojsovu teoriju verovatnoće, Dempster-Shaferovu teoriju evidencije koja bazira na funkcijama uverenja i Zadeh-Dubais-Prodovu teoriju mogućnosti. Grafički predstavljen VBS naziva se valuaciona mreža.

VBS se sastoji od skupa varijabli i skupa valuacija (vrednovanja) koji su definisani na podskupovima tih varijabli. Skup svih varijabli se označava sa U i predstavlja prostor obuhvaćen problemom koji se razmatra. Svaka varijabla predstavlja relevantni aspekt nekog problema. Za svaku varijablu X_i koristiće se Θ_{X_i} da označimo skup mogućih vrednosti varijable koji se naziva okvir od X_i . Za neki podskup A ($\#A \geq 1$) od U , skup valuacija koje su definisane na Θ_A predstavljaju međusobni odnos između varijabli u A . Okvir Θ_A predstavlja direktan (Cartesian) proizvod svih Θ_{X_i} za X_i u A . Elemente Θ_A nazivaju se konfiguracijama od A .

Znanje predstavljeno ovim tipom valuacija naziva se generičko ili opšte znanje, koje može da bude predstavljeno kao baza znanja u ekspert sistemima.

U VBS se takođe definišu valuacije na pojedinačnim varijablama, što predstavlja tzv. činjeničko znanje (factual knowledge), što sačinjava bazu podataka u ekspert sistemima.

Za neki problem opšte-generik znanje definiše ekspert. To znanje tokom procesa rezonovanja neće biti menjano. činjenično znanje će se menjati saglasno sa stanjem problema koji se trenutno rešava. U VBS ove dve vrste znanja se tretiraju na isti način.

U ovomj radu valuacije su predstavljene sa funkcijama uverenja. VBS sistemi prilagodjen za procesiranje neodređenog znanja koje je opisanom funkcijama uverenja nazivaju se sistem za rezonovanje na bazi evidencije (An Evidential Reasoning System) ili evidencioni sistem (Evidential System), a valuacione mreže evidencione mreže (EM).

Cilj rezonovanja na bazi evidencije je ocena neke hipoteze, kada je dat stvarni deo evidencije (činjenično stanje). Ovo se ostvaruje evaluacijom valuacionih mreža kroz dva koraka:

- kombinovanjem svih funkcija uverenja u evidencionoj mreži, čime se dobija tzv. globalna funkcija uverenja;
- marginalizacijom globalne funkcije uverenja na okvire svake pojedinačne varijable ili podskupova varijabli, čime se dobijaju marginali za svaku varijablu ili podskup varijabli.

Lako razumljivo objašnjenje procesa rezonovanja i njegove grafičke interpretacije je uslov od koga zavisi da li će i koliko brzo ovi sistemi da budu primenjeni u rešavanju svakodnevnih problema.

Kao softverska podrška primeni VBS sistema razvijeno je nekoliko softverskih alata. Za evidencione sisteme najpoznatiji su: McEvidence, Pulcinella i DELIEF.

McEvidence je aplikacija koja je razvijena za rezonovanje u uslovima neodređenosti (slika 4.1c). U okviru ovoga sistema korisnik može da kreira grafičku mrežu varijabli, njihovih međusobnih odnosa i da unese evidenciju koja se odnosi na varijable. Kada se unese sva raspoloživa ulazna evidencija, koja odražava trenutno stanje sistema ili procesa koji se analizira može se izvršiti evaluiranje mreže. Kroz proces evaluacije prvo se primenom operacije kombinovanja generiše globalna funkcija uverenja a posle toga se izračunavaju marginali svih varijabli.

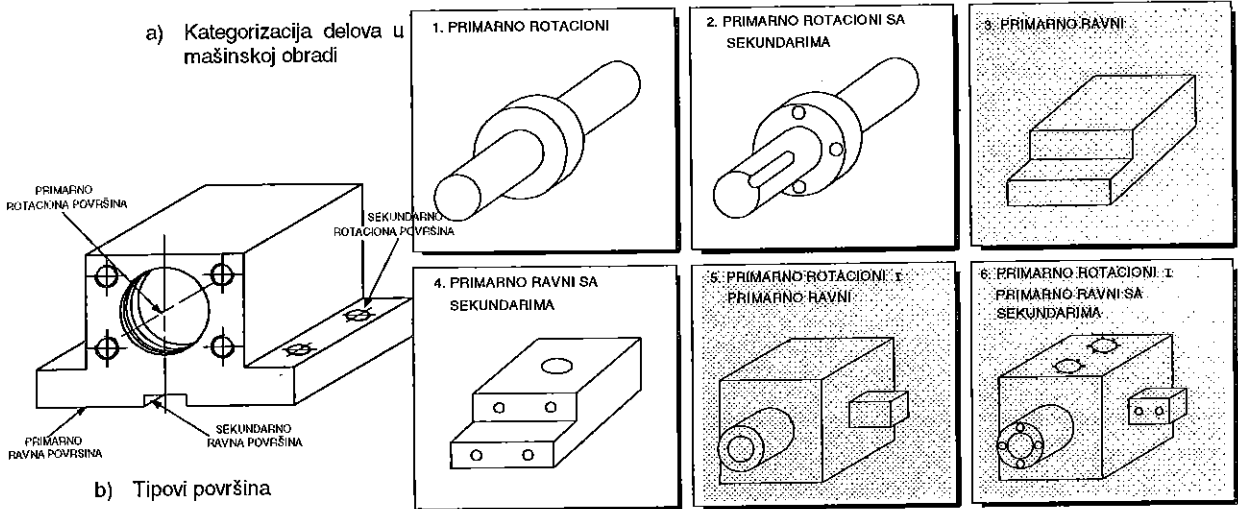
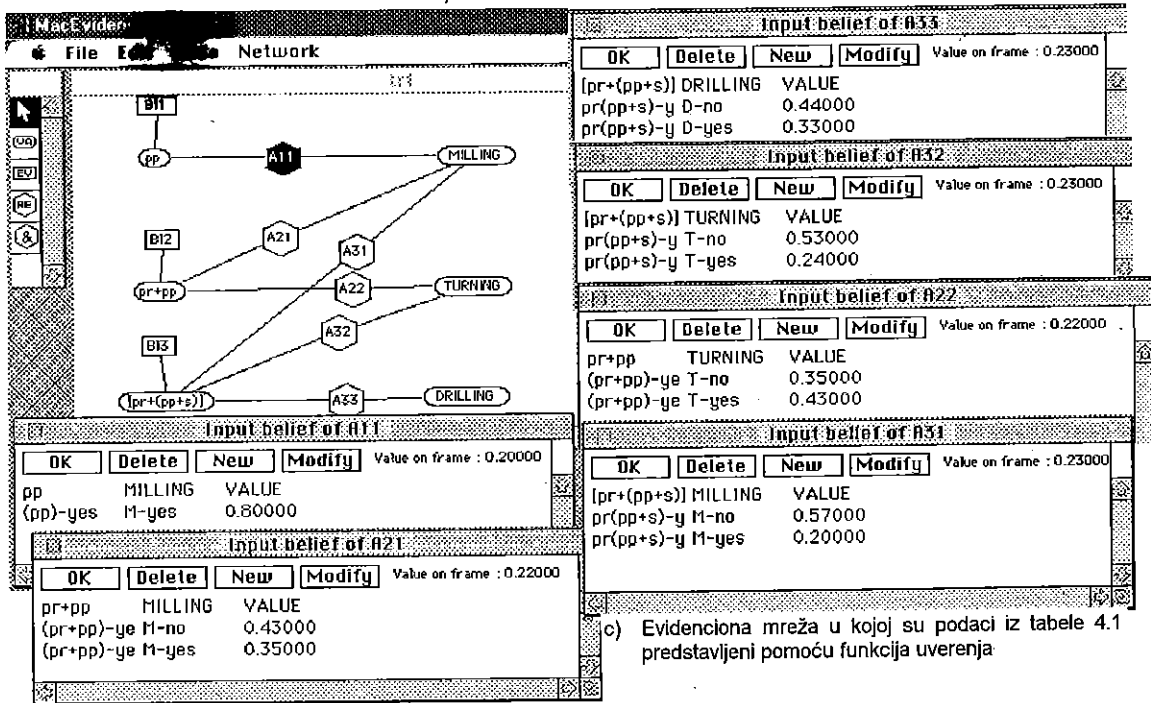
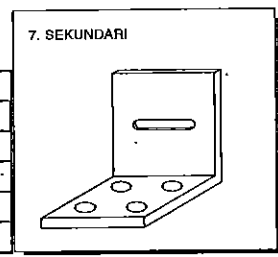


Tabela 4.1 Procentualni udeo od ukupno predpostavljenog rada za svaku pojedinačnu operaciju mašinske obrade prema kategorijama delova

	KATEGORIJE						
	1	2	3	4	5	6	7
Struganje	82	54.6			43	23.4	
Glodanje			80	44	35	28.2	5.2
Bušenje		27.4		32		32.3	67.5
Urezivanje nav.		10.5		13		12.7	27.2



Slika 4.1 Evidenciona mreža za predstavljanje znanja koje je generisala PERA

Kao primer korišćenja evidencionih mreža u proizvodnom mašinstvu navodi se predstavljanje znanja koje je generisala PERA (Production Engineering Research Association). Naime, istraživači iz PERA su sve delove koji se obraduju na mašinama alatkama svrstala u sedam kategorija (slika 4.1a). Za svaku kategoriju delova dat je pretpostavljeni udeo mašinske obrade (tabela 4.1 na slici 4.1). Na slici 4.1c prikazana je evidenciona mreža za delove iz

kategorije 3, 5 i 6. Ovako kreirana evidenciona mreža može da bude iskorišćena u ranim fazama projektovanja kao odličan alat za donošenje i dokumentovanje odluka. Proširujuću ovu mrežu dodatnim znanjem na vrlo jednostavan način moguće je kreirati ekspertne sisteme naprimer za ocenu cene obrade familije delova ili za određivanje najpogodnije strukture alatne mašine za obradu familije delova itd.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je nov način za predstavljanje znanja i za rezonovanje u uslovima neodređenosti. Realne situacije su pune ovakvih događaja. To se naročito odnosi na okruženje u kome projektant tokom procesa projektovanja donosi odluke. Neodređenost je veća ako je objekat projektovanja više apstraktan a manje detaljan što karakteriše početno stanje procesa razvoja.

Prvo su definisane nesavršene informacije i njihova dva najčešća slučaja nepreciznost i neodređenost. Zatim je predstavljen matematički aparat, teorija funkcija uverenja sa kojima se predstavljaju neodređene informacije.

U situacijama punim neodređenosti neki realni problem moguće je izmodelirati kao evidencionu mrežu. Evidencione mreže se sastoje iz varijabli, njihovih vrednosti i međusobnih relacija i evidencije ili informacija koje podržavaju problem u trenutku u kome se analizira. Sve je ovo potkrepljeno kroz primer modeliranja znanja za obradu familije delova koje je generisala PERA.

LITERATURA

- /1/ Djapić, M., *Razvoj sistem za konceptualno projektovanje proizvoda i tehnologija upravljanog paradigmana totalnog kvaliteta*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 2000.
- /2/ Djapić, M., Milačić, V., *New Hybrid Paradigm for Product / Manufacturing Conceptual Design Based on Theory of Belief Function*, The Third World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems, Cambridge, MA, USA, June 28-30, 2000.
- /3/ Xu, H., Smets, P., *Some Strategies for Explanations in Evidential Reasoning*, IEEE Trans. On Systems Man and Cybernetics, 1995.
- /4/ PERA (Production Engineering Research Association), *Survey of Machining Requirements in Industry*, Published and Produced by PERA, Melton Mowbray, UK, 1969.

USING BELIEF FUNCTION THEORY IN UNCERTAINTY KNOWLEDGE REPRESENTING

SUMMARY

This paper presents a new approach to representing uncertainty knowledge and reasoning in uncertainty conditions. The basis of this approach lies in the theory of belief function (Dempster - Shafer theory) i.e. on the using evidence reasoning network.

Through an example of modeling PERA (Production Engineering Research Association) generated knowledge we show how this systems can be used as a documenting and decision making tools in product / manufacturing design.

VJEŠTAČKA INTELIGENCIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA ODRŽAVANJEM SISTEMA

Miodrag BULATOVIC¹

REZIME

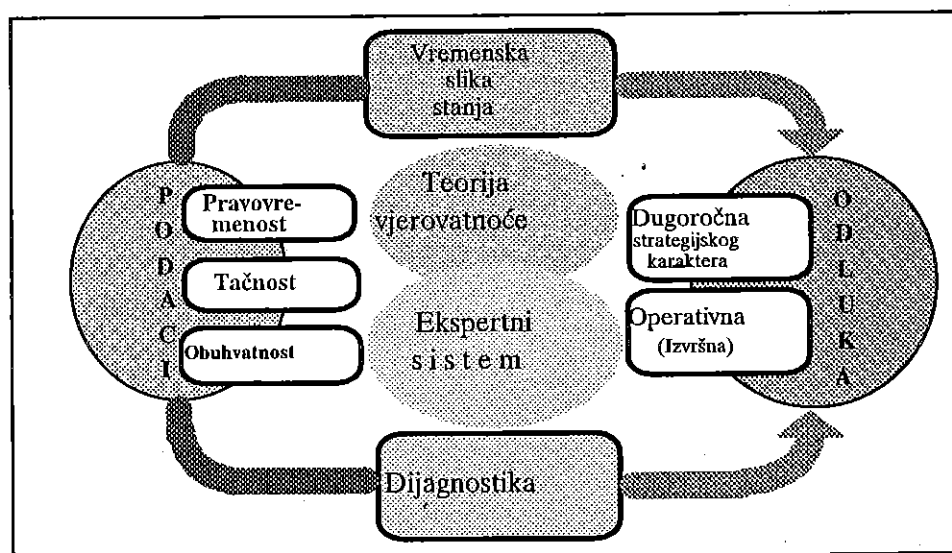
Tačnost, pravovremenost i sveobuhvatnost su karakteristike podataka na kojima treba da se zasnivaju odluke o aktivnostima održavanja sistema u funkciji upravljanja. Istraživanja su pokazala da nezavisno oslanjanje na istoriju podataka ili dijagnostiku stanja nisu dovoljni za potpuno i efikasno defenisanje stanja sistema.

U ovom radu predstavljena je nova metoda utvrđivanja stanja sistema sublimacijom vrijednosti parametara stanja (dijagnostika) i vjerovatnoće ponašanja (istorija podataka) primjenom ekspertnog sistema- metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem.

1. PROCES ODLUČIVANJA U ODRŽAVANJU SISTEMA

Procesi rada i održavanja sistema usložavaju se stohastičkim pojavama, nastalim pod spoljašnjim uticajem okruženja ili poremećajem unutrašnjih mehanizama u sistemu.

Praksa je pokazala da kada stanje sistema čije ponašanje ima stohastički karakter zahtijeva brzo uočavanje promjene, brzo i pravilno reagovanje u skladu sa promjenama, matematičko predviđanje nije dovoljno.

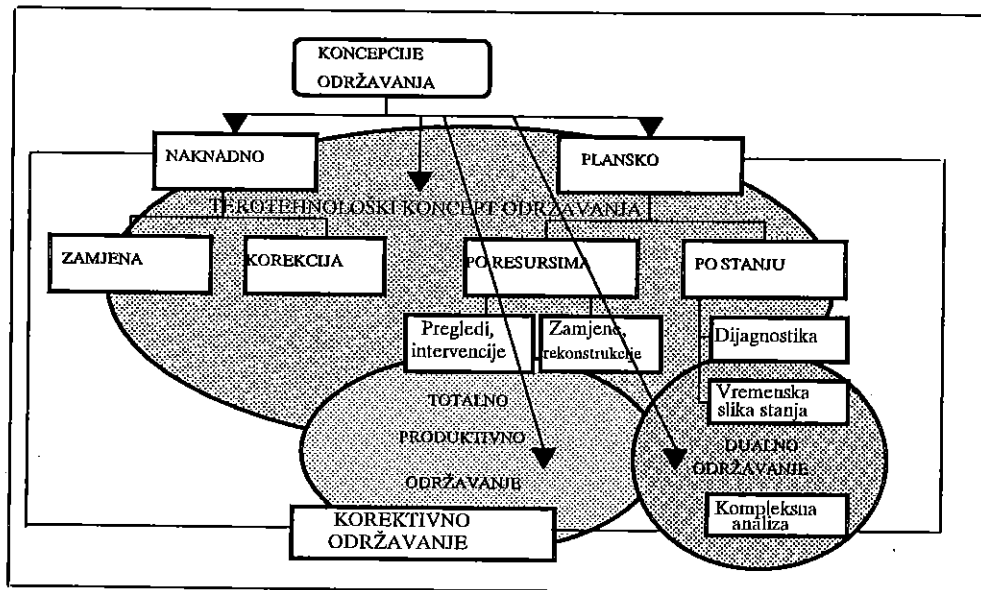


Sl.1 Proces odlučivanja o koncepciji i upravljanju u održavanju

¹ Doc dr Miodrag Bulatović, Katedra za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet u Podgorici

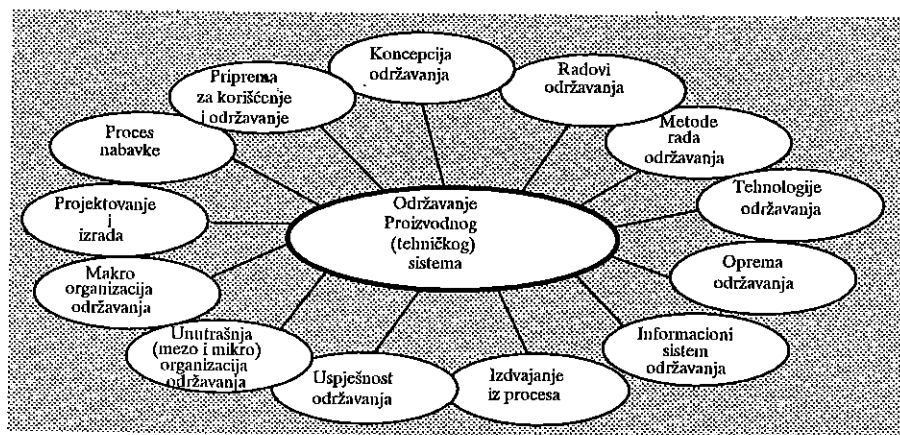
Osnovni kriterijumi kvaliteta podataka za odlučivanje u održavanju su *tačnost, obuhvatnost sa aspekta kvantiteta i kvaliteta informacije i pravovremenost*. utiču na odluku zavisno od toga da li se donose dugoročne odluke, kada značaj ima istorija podataka (kvantitativna informacija), ili izvršne odluke, kada podaci dobijeni neposredno po nastanku stanja ukazuju i na uzrok (kvalitativna informacija)(sl.1)[1].

2. KONCEPCIJE ODRŽAVANJA SISTEMA



Sl.2 Konceptije održavanja

Terotehnoški koncept- podrazumijeva multidisciplinarni prilaz održavanju sistema, od projektovanja do izdvajanja iz procesa sl.3 [3].



Sl.3 Terotehnoški pristup održavanju tehničkog sistema

Totalno produktivno održavanje sistema- kao koncept razvilo se u Japanu i karakteriše ga TQM-totalno upravljanje kvalitetom, [3].

Permanently održavanje sistema dualnog karaktera - obuhvata kompleksnu analizu greške (uzrok i način otklanjanja), uz istovremenu analizu gotovosti na bazi istorije

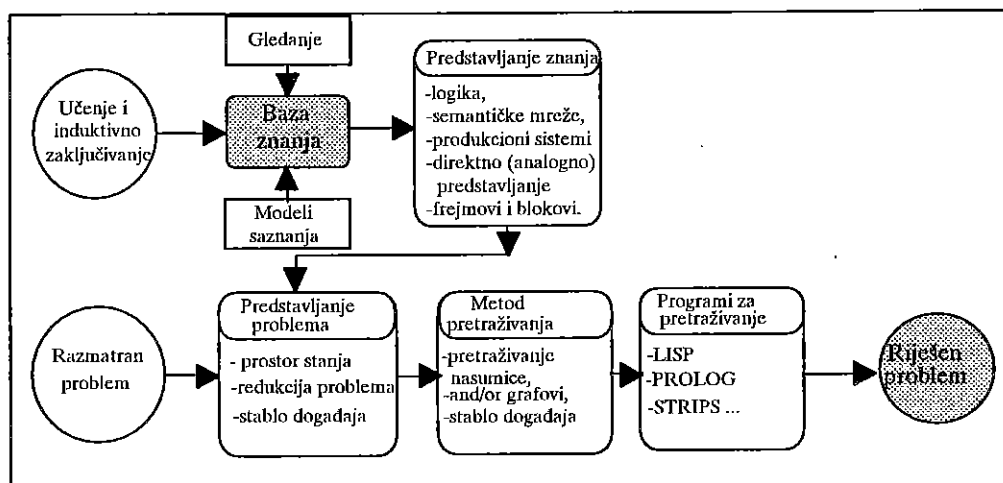
ponašanja sistema [4].

Sve koncepcije održavanja koje istovremeno koriste i druge metode (praćenje stanja parametara sistema, praćenje vremenske slike stanja, matematičku vjerovatnoću i statistiku), imaju *dualni* karakter .

Održavanje sistema primjenom "novih tehnologija"- podrazumijeva se različita primjena elemenata fleksibilne automatizacije u upravljanju i procesima održavanja sistema podržano računarom (CAD, CAM, vještačka inteligencija (sl.4)) zbog složenosti i stepena automatizacije sistema i količina informacija i brzina kojom ih treba registrovati, obraditi i distribuirati [3],[5].

Efekti primjene računara u održavanju mogu se kvantifikovati, tako da istraživanja [5] pokazuju da se mogu ostvariti:

- uštede u vremenskim resursima u oblasti terminiranja i planiranja oko 30%,
- efikasnost u snabdijevanju rezervnim dijelovima i materijalima sa aspekta održavanja oko 20%, uz istovremeno povećanje ekonomičnosti do 50%,
- efektivnost mašinskih sistema povećava se do 40%.

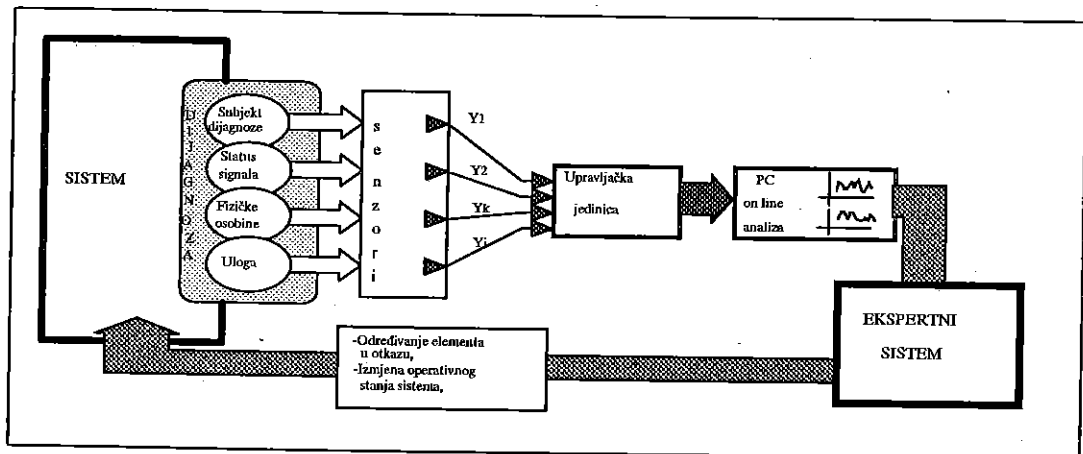


Sl. 4 Jedna od šema rješavanja problema po konceptu vještačke inteligencije

3. METODA INKORPORACIJE PARAMETARA STANJA I VJEROVATNOĆE OTKAZA U EKSPERTNI SISTEM [1]

3.1 Vještačka inteligencija - ekspertni sistemi u funkciji održavanja sistema

Povezivanjem dijagnostičkih frejmova preko pravila izvođenja i procesa dekompozicije u ekspertnim sistemima (ES) stvara se ukupna dijagnostička slika o sistemu(sl.5) [1].



Sl.5 Šema toka dijagnoze parametra stanja

Diskretni signali su ulazne informacije za formiranje datoteke podataka ekspertnih sistema, kao oblika vještačke inteligencije, čija primjena je, kada su teorijske varijante komplikovane, potrebna i veoma svrsishodna.

Jedno od rješenja problema, različitosti pojave otkaza po mjestu, vrsti, načinu nastanka, učestalosti i vremenu trajanja, je sublimacija vjerovatnoće otkaza i veličina parametara stanja sistema i dijelova sistema, koje se mijenjaju različitim intenzitetom, na različitim lokacijama sistema u različitom vremenu, koji se ne mogu ili ih je komplikovano matematički formalizovati.

Takvi problemi se efikasno rješavaju primjenom ekspertnih sistema.

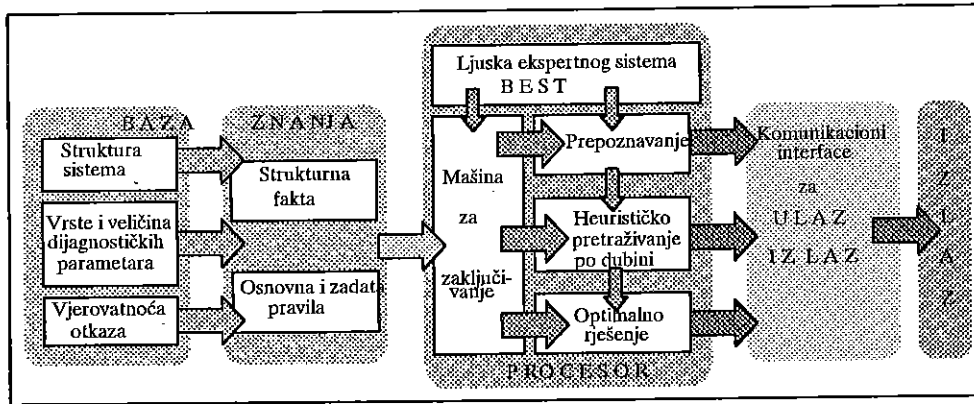
Model ekspertnog sistema za metodu inkorporacije urađen je na ljusci ekspertnog sistema BEST [6]. Struktura modela šematski je prikazana na sl.5[1].

Baza znanja modela ekspertnog sistema formira se na osnovu postojećih znanja o opštim i posebnim karakteristikama procesa, sistema i parametara održavanja. Znanja su predstavljena faktima i pravilima.

Procesor je entitet ekspertnog sistema koji, u skladu sa mogućnostima ekspertne ljuske, zaključke prenosi kroz:

- proces heurističkog pretraživanja po dubini,
- procedure prepoznavanja za dijagnozu,
- odgovarajuće rješenje-akciju.

Komunikacioni interface za ulaz i izlaz omogućava komforan rad korisnika. U ovaj entitet spada i jezik ekspertnog sistema kao "intelektualnog" partnera između čovjeka i mašine.

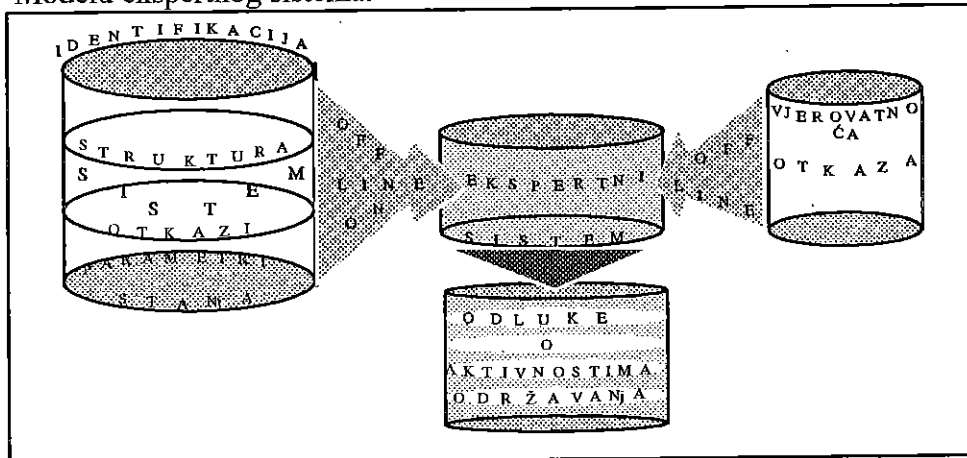


Sl.5 Struktura modela ekspertnog sistema za metodu inkorporacije

3.2 Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem

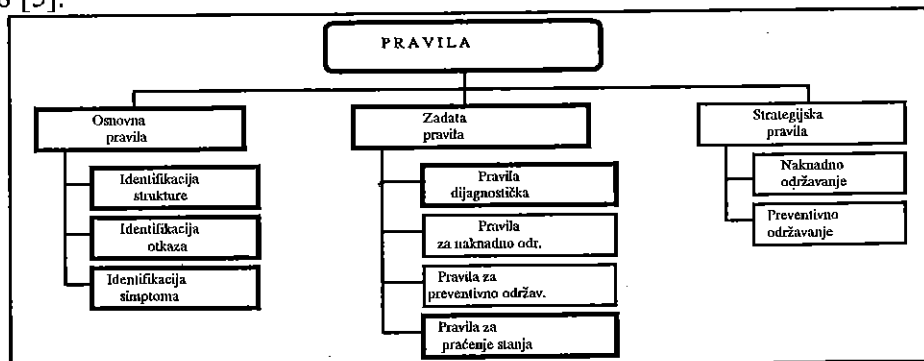
Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza bazira se na (sl.6) :

- ◆ Identifikaciji sistema,
 - identifikacija strukture objekta istraživanja na principu stabla strukture
 - identifikacija otkaza na principu stabla otkaza
 - identifikacija parametar stanja sistema.
- ◆ Vjerovatnoći otkaza na bazi vrijednosti parametara stanja
- ◆ Modelu ekspertnog sistema.



Sl.6 Šematski prikaz metode inkorporacije podataka u ekspertni sistem

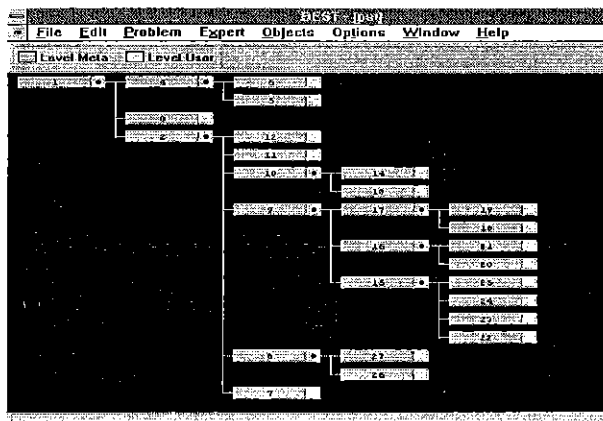
Izgradnja ekspertnog sistema za održavanje zasniva se na *pravilima* čija struktura je data na sl.8 [5].



Sl.8 Struktura pravila za izgradnju ekspertnog sistema

Model ekspertnog sistema za primjenu i dokazivanje metodoloških karakteristika metode inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u povišenju efektivnosti sistema izgrađen je za određeni objekat istraživanja (mlin za mljevenje boksita u Kombinatlu aluminijuma u Podgorici) kao prototip EKSOM-1 [1].

Ovim prototipom dobijaju se pokazatelji bitni za odlučivanje: *stablo otkaza (sl.9)*, *vjerovatnoća otkaza od elementa do vršnog događaja (sl.10)*, *obrazloženje vjerovatnoće otkaza (sl.11)*, *preporuka za odgovarajuću aktivnost održavanja (sl.12) i dr.*



Sklop	Vjerovatnoća otkaza
01.01.00. elektromotor	0.95
01.00.00. pogon mlina	0.95
00.00.00. mlin	0.95

01.01. Elektromotor

Vjerovatnoća otkaza je 0.95 zato što:

- je opterećenje veće od nominalnog

EH 01.01.radi u nenormalnim uslovima zbog oštećenja na transmisiji (30%), oštećenja na dobošu mlina (20%), nepravilne eksploatacije - punjenje mlina (20%), greške u namotajima EH (20%), greške u instalaciji EH (10%).

Otkloniti uzroke preopterećenja EH, ispitati ispravnost elektromotornog razvođa, proveriti i obezbediti EH i instalacije odgovarajućim zaštitama.

01.02.Hidrodinamička spojnica

Vjerovatnoća otkaza je 0.5 zato što:

- je temperatura vratila na vezi sa spojnicom u opsegu od 80 do 100 C

Postoji habanje unutrasnjih delova spojnice zbog kvaliteta materijala, delova spojnice (dilatacionih prstenova 01.02.02.i vratila) (20%), nepravilne montaze (50%), neispravnosti lezajeva spojnice 01.02.03. (30%).

Preporuke:

- otkloniti uzroke preopterećenja EH 01.01., ispitati elektromotorni razvođ, proveriti zaštite EH i instalacije i po potrebi zamijeniti.
- smanjiti opterećenje na nominalnu vrednost i ugraditi nove zupceaste spojnice 01.06. otkloniti prateće posledice opterećenja spojnice
- otkloniti uzroke oštećenja pogona mlina 01.00. i intenzivirati praćenje parametara stanja
- potrebno je uraditi sledeće:
 - proveriti i regulisati punjenje sarme u mlinu
 - proveriti postojanje pukotina na celu mlina 02.02.i ukrucenja 02.02.03.
 - proveriti pohabanoost bijele kovine na kliznim lezajevima 02.03.
 - ocistiti karter 02.04.od zgusnutog i prijavog ulja
 - eliminisati curenje snjege iz uvodnog lijevna02.05.i izlazne resetke02.06.
- otkloniti uzroke oštećenja mlina i intenzivirati praćenje parametara stanja

ZAKLJUČCI:

1. Rezultati dobijeni primjenom statističkih i vjerovatnosnih proračuna ne mogu se koristiti za utvrđivanje trenutnog stanja mašine i, u zavisnosti od toga, za donošenje operativnih-izvršnih odluka.
2. Problem je riješen primjenom ekspertnog sistema, kao oblika vještačke inteligencije za razvijanje postupka primjene dijagnostike parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u njihovoj funkciji.
3. Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem predstavlja primjenu vještačke inteligencije u procesu praćenja stanja, predviđanja i sprečavanja otkaza sistema i dijelova sistema.

4. Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem predstavlja podlogu za koncept planskog održavanja po stanju sa karakteristikom dualnosti, odnosno primjenom kompleksne analize u terotehnoškom konceptu održavanja.

LITERATURA

1. Bulatović, M., Istraživanje povišenja efektivnosti sistema u procesnoj industriji predviđanjem i sprečavanjem otkaza, *Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Podgorici, 1996 god.*
2. Zelenović, D., Ka potpunoj integraciji funkcija proizvodnih sistema, *Monografija, Vojvođanska akademija nauka i umjetnosti, Novi Sad, 1992*
3. Kelly, A., Maintenance and Its Management, *Conference Communication, Tiford Farnham, 1989.*
4. Nikolaus D. Mexis, Dual Maintenance and Complexion Analysis, *International Conference: Modern Concepts and Methods in Maintenance, London, 1987.*
5. Papić, LJ., Razvoj i automatizacija postupaka efektivnih ispitivanja za ocjenu pouzdanosti tehnoloških sistema u industriji, *Doktorska disertacija, IIS, Novi Sad, 1992.*
6. Vraneš, S., et all.: BEST Blackboard-based Ezpert System Toolkit, *Technical Reference, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, Decembar 1990.*

ULOGA MENADŽMENTA U PROJEKTNO USMERENIM UPRAVLJAČKIM PROCESIMA

Dr Lidija Romić¹⁾

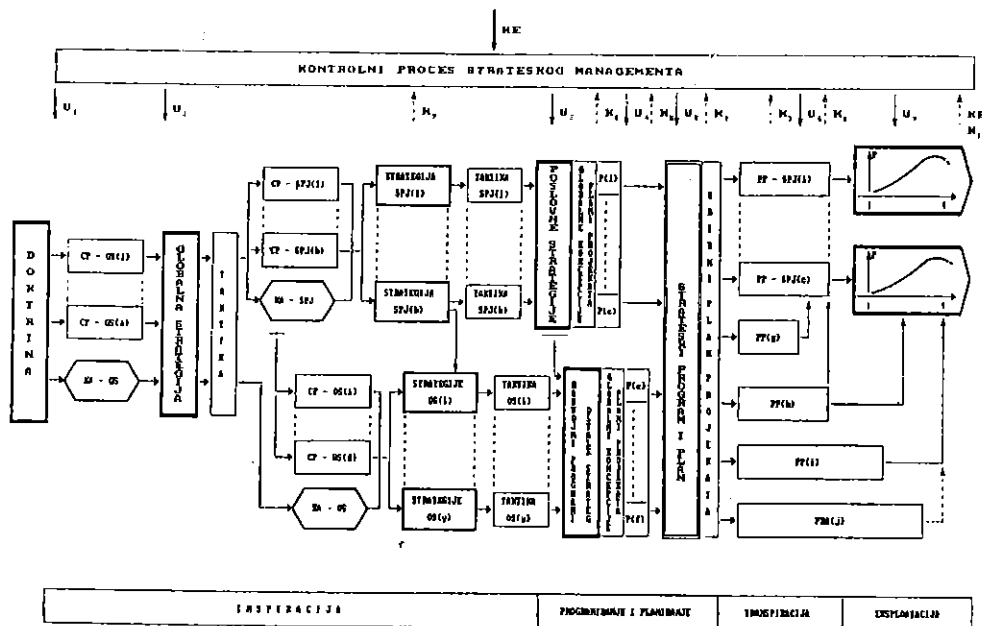
Rezime

Strateški upravljački proces je inovacijski proces koji se proteže od vizije i doktrine do izvodjenja programskih projekata i kontrole. Uključivanje ciljnih i programskih projekata, te projekata proveravanja programa, nastaje projektно organizovani strateški upravljački proces.

Ključne reči: menadžment, upravljački proces

1. UVOD

Strateški upravljački proces se deli na fazu oblikovanja, fazu izrade strateškog programa i plana, te fazu implementacije. U fazi oblikovanja određujemo globalnu, te poslovne i funkcionalne strategije. U fazi izrade strateškog programa i plana, strateške odluke uključujemo u lansirane planove projekata i u godišnji plan poslovanja. U zadnjoj fazi izvodimo projekte. Godišnji plan se takodje može smatrati kao projekt. Celokupni projektно usmereni proces strateškog upravljanja prikazan je na slici 1.



Slika 1: Inovacijski projektно proces strateškog upravljanja

¹⁾ Ekonomski fakultet, Subotica, Moše Pijade 9-11

U skladu sa vizijom i doktrinom, te s obzirom na informacije iz kontrolnog procesa strateškog upravljanja, aktivira se prva inspiraciona faza u strateškom upravljačkom procesu, tj. planiranje i izvodjenje ciljnih projekata, te obrada informacija na osnovu stalno prisutne analize stanja razvoja i rasta preduzeća. Na osnovu ciljnih projekata i rezultata stalnih analiza određuju se alternativne globalne strategije s taktikama izvodjenja. Ciljni projekti su npr. projekti internih analiza, prognostički projekti, projekti analiza konkurencije, projekti futurističkih prognoza itd. Nakon izrade svih alternativnih globalnih strategija, biramo globalne strategije koje će dugoročno osigurati konkurentsku prednost, te naročito dobru stratešku poziciju.¹

Pošto smo odredili globalnu strategiju s taktikama izvodjenja, za određjenje alternativnih poslovnih strategija, aktiviramo program ciljnih projekata po strateškim poslovnim jedinicama, kao na primer, projekte internih analiza, analizu razvoja konkurencije, projekte PORTFOLIO, prognostičke projekte, itd. Na osnovu rezultata ciljnih projekata i kontinuirane analize, biramo poslovne strategije po strateškim poslovnim jedinicama s taktikama, te izradjujemo globalne početne koncepcije svih projekata sa zajedničkim zbirnim planom, kojima će se ostvariti poslovne strategije.

Poslovne i ostale strategije s taktikama, koje su obuhvaćene u globalnim početnim koncepcijama i zbirnim planovima projekata, uključuju se u celoviti strateški program i plan razvoja preduzeća, koji se deli u sledeće delimične programe:

- PROGRAM PROJEKATA ZA IZVODJENJE POSLOVNIH STRATEGIJA PO SPJ
- PROGRAM PROJEKATA ZA IZVODJENJE OSTALIH STRATEGIJA, i
- GODIŠNJI OPERATIVNI PLAN (projekt godišnjeg plana).

Strateški program i plan razvoja preduzeća u fazi strateškog upravljanja treba detaljno analizirati s aspekta finansijskih, organizacionih, razvojnih, integracionih i drugih mogućnosti. Zbirni plan svih programa projekata, u slučaju da je razradjen po projektnim metodama, biće podloga za strateško odlučivanje na osnovu konkretnih planova projekata, i nakon usvajanja strateških odluka, projekti se mogu početi izvoditi.²

Usvajanjem strateškog programa i plana svih projekata počinje faza transpiracije u kojoj izvodimo sledeće projekte:

1. Projekte razvoja SPJ, koji mogu biti projekti inovacije proizvoda, marketinški projekti, projekti ukidanja proizvoda, inženjerski projekti itd.
2. Projekte koji podržavaju projekte razvoja SPJ i koji se izvode uporedo s njima. Ti projekti su npr. projekti poboljšanja ili usavršavanja proizvoda, projekti modernizovanja tehnologije, projekti finansijskog inženjeringa, projekti međunarodnih kooperacija, projekti informatizacije poslovanja itd.
3. U skladu sa strategijama koje su obuhvaćene u strateškom programu i planu u fazi transpiracije, moramo izvesti i niz poslovnih razvojnih aktivnosti koje nemaju sasvim osobinu projekata, kao npr. dogovori o zajedničkom tržišnom nastupu više preduzeća, osiguravanje finansijskih izvora za razvoj, organizacione mere itd.

Uporedo s navedenim projektima i poslovnim aktivnostima odvija se godišnje planiranje i izvodjenje tog plana. Radi se zapravo o planiranju u sklopu postojećih strateških poslovnih jedinica. Eksploatacija u najširem značenju te reči, znači redovno poslovanje, ali planirano i

¹ Ansoff H.I.: Strategic Management, The Mac Millan Press., London 1981, str 76

² Byars L. L.: Strategic Management: Planning and Implementation, Harper & Row Publishers, New York, 1984, str 102

usmereno po SPJ.

Kontrolni proces strateškog upravljanja aktivira se na osnovu kontrolnih informacija, koje se dele na:

- kontrolne informacije iz procesa strateškog upravljanja i
- eksterne kontrolne informacije, koje osiguravaju kontinuirane analize u procesu i kratkoročno donošenje mera u eksploatacijama.

Kontrolni proces strateškog upravljanja je svakako najviše informacioni problem. Uključen je u celoviti strateški upravljački informacioni sistem koji uključuje i projektni informacioni sistem.

2. MENADŽMENT I STRATEŠKO UPRAVLJANJE

Naša preduzeća doživljavaju danas, bez obzira u kojoj se fazi svog životnog ciklusa nalaze (u rastu, kulminaciji ili degeneraciji), najtežu fazu svog razvoja. To nije samo posledica događanja u okolini preduzeća nego i događanja u samom preduzeću. Posledice su porazne i veoma terete sadašnje posloводство, koje preduzeću treba da osigura ne samo preživljavanje nego i takav strateški razvoj koji donosi dobre strateške pozicije kako na domaćem tako i na stranom tržištu. U uslovima koji su naglašeni kod pitanja preživljavanja i daljeg opstanka ili stečaja, govoriti o strateškom upravljanju - menadžmentu vrlo je teško. Rukovodstva preduzeća imaju u sadašnjem trenutku za svoj rad i za rad u preduzeću sledeći moto: "Najpre preživeti i stabilizovati se, pa onda odrediti strategiju daljeg razvoja". Pokazalo se međutim, da taj slogan nije pogodan niti pouzdan pri stvaranju strategija tržišnih nastupa u inostranstvu, kod priprema za saradnju sa stranim firmama, pri koncipiranju novih organizacionih oblika preduzeća itd. Zato će pobediti moto razvijenih preduzeća, koja isto tako imaju krizna stanja u svom rastu i razvoju: "Projekti preživljavanja da, ali samo uz jasnu strategiju daljeg razvoja". Zato naše posloводство ima vrlo teške zadatke, jer mora istovremeno delovati na projektima tekućeg poslovanja, projektima preživljavanja i strateškim projektima daljeg razvoja.

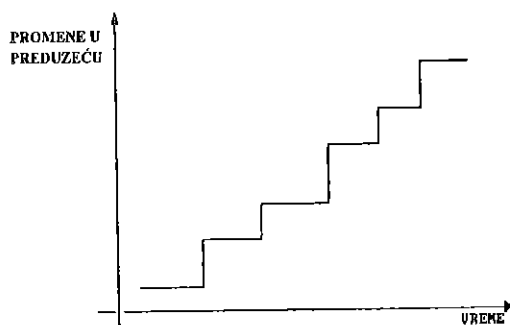
Prelaz na drukčije organizovanje menadžmenta je nužan iz više razloga i to:

- potreba za stalnim strateškim upravljanjem,
- potreba za rukovodjenjem po strateškim poslovnim jedinicama bez obzira na to koliko je preduzeće veliko i dislocirano,
- velike potrebe za brzim prilagodjavanjem turbulentnoj okolini gde se traži vrlo fleksibilna organizovanost,
- potreba za velikom motivacijom svih zaposlenih za aktiviranje njihovog stvaralaštva i želje za inovacijama,
- nužni prelaz na stvarno ekonomsko poslovanje, koje ne dozvoljava suvišne troškove te neracionalno odvijanje procesa proizvodnje,
- nužnost projektne organizovanosti koja mora udovoljiti zahtevu brzog i optimalnog izvodjenja svih projekata,
- urgentnom organizovanju u slučaju iznenadnih kriza u poslovanju itd.

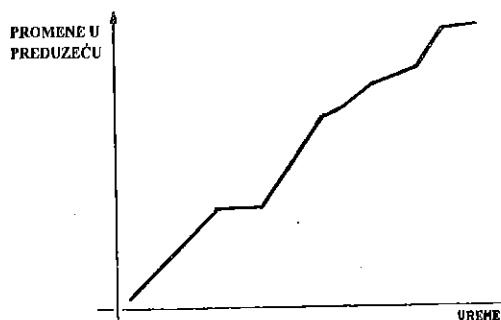
Za drukčijim organizovanjem menadžmenta značajan uticaj ima i karakteristika okoline. Promene (tehnološke, organizacione, ulaganja, uvodjenje novih proizvoda itd.) preduzeća možemo s obzirom na okolinu podeliti na tri različita razdoblja izmedju kojih je svakako teško postaviti usku vremensku granicu. Do otprilike sedamdesetih godina bilo je razdoblje promena po načelima razvojnih skokova (slika 2). Postignuto razvojno stanje trajalo je dugo zbog relativno dugih životnih ciklusa proizvoda i tehnologija, velikih tržišnih potreba, koje su se pomirile tek u dužem razdoblju. Sve je to zahtevalo od menadžmenta da se većim delom usmeri u rukovodjenje operative, a manjim intenzitetom u razvoj i prilagodjavanje okolini. Principi opšteg menadžmenta (engl. General Management), koji su se primenjivali, sasvim su

zadovoljili naše potrebe.

Posle sedamdesetih godina uočava se promena u prilagodjavanju okoline, jer se vremenom pojavilo više konkurencije, prilike na tržištu su se počele menjati, tempo tehničko-tehnološkog razvoja sve je veći, pojavljuje se informatika, računari. Otvaraju se druga proizvodna područja (posebno Japan, južnozapadni predeo Tihog okeana, započeo je projekt evropske privredne zajednice za interno evropsko tržište itd.) To je upozoravalo preduzeća na potrebu stalnog prilagodjavanja i uvođenja promena "stalan je posao" (slika 3). Promene se sprovode kontinuirano.



Slika br. 2: Karakteristike i promena do početka sedamdesetih godina



Slika br. 3: Karakteristike i promena od sedamdesetih godina nadalje

Prilike poslednjih godina prisiljavaju menadžment preduzeća, zbog sve nestabilnije, turbulentnije i često nepredvidive okoline, da se moraju odlučiti za načelo fleksibilnijeg prilagodjavanja. Potrebno je prilagoditi se zahtevima okoline. Navedimo neke od karakteristika:¹

- jedinstvenost proizvoda, tržišta i organizacije preduzeća,
- pojava novih tehnologija,
- životni ciklusi proizvoda postaju sve kraći,
- promene načina dodavanja nove vrednosti,
- pojava novih oblika konkurencije,
- pojava ekoloških problema, itd.

Sve ovo dovodi do spoznaje da je sposobnost prilagodjavanja okolini i sposobnost (strateškog) razvoja bitan za opstanak preduzeća. Preduzeća sadašnjice moraju biti u stanju da se stalno prilagodjavaju okolini i da stalno vode borbu za dobijanje bolje strateške pozicije. Zadatak menadžmenta je da u toj turbolentnoj okolini, koja često znači haos, stalno vitalizira preduzeće za stvaranje boljih strateških pozicija.

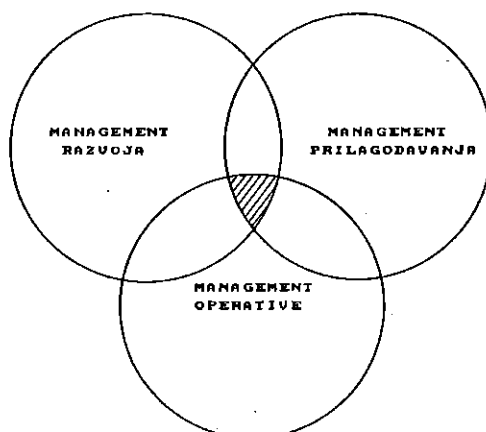
Menadžment se mora s obzirom na rečeno, organizovati u tri dimenzije i to kao (slika 4):

- menadžment operative,
- menadžment prilagodjavanja, i
- menadžment razvoja.

Osnovni zadaci pojedinih dimenzija menadžmenta su:

- menadžment operative: osiguravanje profita prema predviđenom planu (obično plan poslovne godine),
- menadžment prilagodjavanja: zaštita sadašnje profitabilnosti i sprečavanje smetnji iz okoline preduzeća, i
- menadžment razvoja: osiguravanje profita sutra i to po mogućnosti na duži rok.

¹ Huber P.: The nature and Design of Postindustrial Organizations, Management Science, 1984 str 79



Slika br. 4: Dimenzije menadžmenta

Tako organizovan menadžment deluje kohezivno i u skladu sa vizijom, doktrinom i strategijom. Po pravilu ovo organizovanje proteže se u hijerarhijsku dubinu" menadžmenta, dakle, od najvišeg rukovodstva preko srednjeg i jednim delom do rukovodstva operative.¹

Na slici 4 sve tri dimenzije menadžmenta imaju zajednički presek koji označava dimenziju predsedavajućeg tela menadžmenta. S obzirom na stanje u preduzeću, on se orijentiše na probleme koji su aktuelni, ali to i ne mora biti pravilo. Ako se po inerciji ipak počne baviti operativom, a u sadašnjim prilikama to je uglavnom slučaj, onda svakako nije moguće očekivati strateški razvoj preduzeća. Ipak, smer mora biti u menadžmentu razvoja.

3. ZAKLJUČAK

Menadžment mora izgraditi takav strateški upravljački proces kojim će moći ovladati projekti za razvoj preduzeća. Prelaz na strateški menadžment je složen proces, jer nije dovoljno da se uvodi strateški upravljački proces s fleksibilnim modelom upravljanja projektima, te ostalim projektima koji uslovljavaju prelaz na takav menadžment, nego je to potrebno povezati u prvom redu s promenom mišljenja i potrebom za novim znanjem koje zahteva savremeno strateško programiranje razvoja.

LITERATURA

1. Ansoff H.I.: Strategic Management, The Mac Millan Press., London 1981
2. Byars L. L.: Strategic Management: Planning and Implementation, Harper & Row Publishers, New York, 1984
3. Hickson D.J: Top Decision - Making in Organizations, Basil Blackwell, Oxford, 1986
4. Huber P.: The nature and Design of Postindustrial Organizations, Management Science, 1984
5. Pearce J. A, Strategic Management, Irwin, Illinois, 1988

Abstract

The strategic management process is the innovation process which extends from the vision and doctrine to performing the programme projects and controle. Including the aim and programme projects and projects of programme controle, we call them as the projects organised strategic management process.

KEY WORD: MANAGEMENT, MANAGEMENT PROCESS

¹ Pearce J. A, Strategic Management, Irwin, Illinois, 1988, str 55

OPTIMIZACIJA RADNIH REŽIMA OBRADNE STRUGANJEM KOMPARACIJOM RAZLIČITIH REZNIH MATERIJALA

Pavlovski V., Kuzinovski M., Gečevska V.¹⁾

REZIME

Ovaj rad prezentuje naša istraživanja u oblasti tehnoeekonomske optimizacije obradnih režima obrade rezanjem, primenom različitih tipova reznih materijala. Kriterijumi optimizacije su maksimalna ekonomičnost i maksimalna produktivnost. Proračun optimalnih režima radi se pomoću kreiranog kompjuterskog programa za ovo istraživanje.

1. UVOD

Tehnoeekonomska optimizacija bazira na matematičkoj osnovi, pa pri optimizaciji konkretnog objekta postavlja se matematički optimizacioni model, koji sadrži:

- funkcija stanja objekta,
- funkcija ograničenja,
- kriterijumi optimizacije i
- funkcija cilja.

Funkcije cilja optimizacije procesa obrade rezanjem mogu se razmatrati u dve grupe:

- funkcije koje se odnose na tehnologiji proizvodnog procesa (izrada proizvoda sa propisanim kvalitetom pri čemu se uzimaju u obzir uticaji mašine, alata, pomoćnog pribora itn.)
- funkcije koje se odnose na ekonomiji procesa obrade, gde su sadržani ekonomski principi kao ekonomičnost, produktivnost, rentabilnost.

Ove dve osnovne klase funkcije cilja optimizacije, definiraju tehnoekonomsku optimizaciju proizvodnih procesa, t.e. izrada proizvoda sa propisanim kvalitetom pri najvišem stepenu ekonomičnosti, produktivnosti i rentabilnosti.

Za sprovođenje optimizacije procesa obrade potrebno je izabrati najpovoljniji kriterijum, odnosno opredeliti funkciju cilja i parametre obradnih režima.

U istraživanju (1) kao kriterijumi optimizacije su uzeti:

- cena koštanja, kao kriterijum maksimalne ekonomičnosti i
- proizvodnost procesa, kao kriterijum maksimalne proizvodnosti.

U istraživanju je sprovedena optimizacija procesa obrade rezanjem primenom ovih dva kriterijuma u uslovima ograničenja (primena različitih reznih materijala), pri čemu se određuje optimalno područje.

2. OPTIMIZACIJA PROCESA OBRADNE STRUGANJEM

¹⁾ Prof.D-r Vladimir Pavlovski, Mašinski Fakultet, Skopje
Prof.D-r Mikolaj Kuzinovski, Mašinski Fakultet, Skopje
Ass.M-r Valentina Gečevska, Mašinski Fakultet, Skopje

Za proračun optimalnih režima za više tipova obrade rezanjem, u našem istraživanju izrađen je kompjuterski program i pri tome optimizacija je rađena uzimajući u obzir dva kriterijuma: cena koštanja i proizvodnost. Analiza je vršena za sledeće obrade: struganje, dupčenje, glodanje, ozubljenje zupčanika putem Fellows i Pfauter metode.

U ovom radu su prezentovani rezultati za obrade struganjem, pri čemu optimalni režimi su propačunati i komparativno prikazani za različite rezne materijale.

2.1. Uslovi obrade

1. Uslovi obrade - struganje pri ispitivanju brzoreznog čelika kao reznog materijala: Obradivan materijal Č5420, prethodno kovan. Ispitivawe je vršeno preko podataka prema AWF, uzeti za grupu legiranih čelika sa $S_m=900$ (N/mm²).

2. Uslovi obrade - struganje pri ispitivanju tvrdog metala kao reznog materijala: Obradivan materijal Č5420, prethodno kovan. Rezan alat je strugarski nož sa reznom pločicom od tvrdog metala, tip DNMG - GC15, firme Sandwik Coromant, pri obrade bez razladnog sredstva. Mašina na kojoj je vršena obrada je strug "Porisje" sa snagom 10 W. Kriterium istrošenosti po zadnoj površini pločice je $h=0.4$ (mm).

3. Uslovi obrade - struganje pri ispitivanju tvrdih prevlaka kao reznog materijala: Obradivan materijal Č5420, prethodno kovan. Rezan alat je strugarski nož sa reznom pločicom sa prevlakom TiN, proizvod firme Sandwik-Coromant, pri obrade bez razladnog sredstva. Mašina na kojoj je vršena obrada je strug "Porisje" sa snagom 10 W.

4. Uslovi obrade - struganje pri ispitivanju keramike kao reznog materijala: Obradivan materijal Č1630 (povišena jakost), prethodno kovan, termički obrađen i normalizovan. Rezan alat je strugarski nož sa reznom pločicom od keramike AC5, proizvod firme Sandwik-Coromant. Mašina na kojoj je vršena obrada je numerički strug TUR 50 SN-DC, sa snagom 18,5 KW i područje kontinuirane promene vrteža $n=50-2250$ (o/min).

2.2. Kriteriumi optimizacije

Ravenka obradljivosti :

$$T = \frac{C_o}{V^z S^y \delta^x}$$

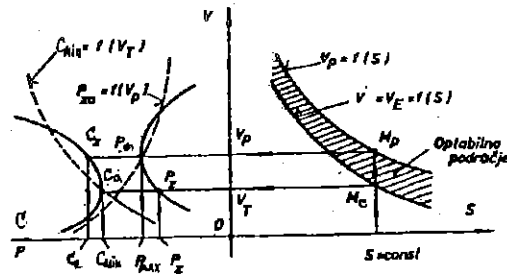
je određena za uslove u istraživanju, pri čemu su definirani koeficijenti.

U istraživanju vršena je analiza signifikantnosti parametara i proverka adekvatnosti matematičkog modela, pri čemu su određeni koeficijenti C_o , z , y , x u ravenki obradljivosti, pojedinačno za koristene rezne materijale brzorezan čelik, tvrdi metal, prevlake i keramika.

Određivanje optimalnih režima obrade izvodi se programski, pri čemu kriteriumi su maksimalna ekonomičnost i maksimalna produktivnost.

Minimalna cena koštanja C_{min} koja se može ostvariti u uslove maksimalne ekonomičnosti (V_{min} i T_{min}) i cena koštanja C_{max} pri kojoj se obezbeđuje maksimalna produktivnost (V_{max} i T_{max}), u istraživanju (1) su definisane jednačinama.

Interval $C_{min}-P_{max}$ prikazan na grafičkom prikazu na Sl.1., sadrži optimalne vrednosti reznih brzina, a brzina izvan ovog intervala nisu rentabilne.



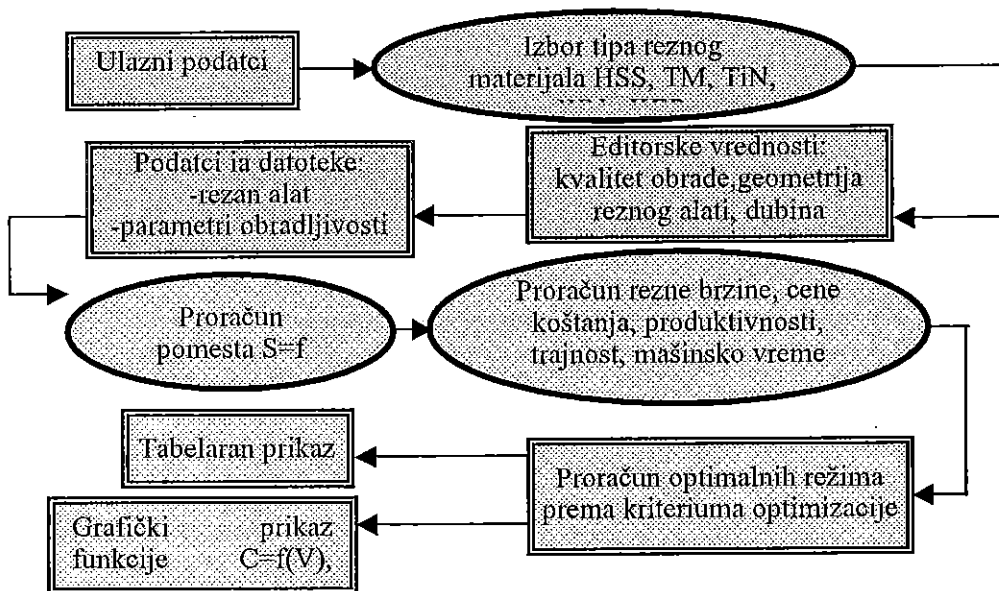
Slika 1. Fazna izmestenost linija maksimalne produktivnosti i minimalne cene koštanja

U istraživanju (1) definirane su jednačine za:

- V_{min} - brzine obrade u uslovima minimalne cene koštanja,
- V_{max} - brzine obrade u uslovima maksimalne produktivnosti,
- T_{min} - trajnost reznog alata u uslovima minimalne cene,
- T_{max} - trajnost reznog alata u uslovima maksimalne produkcije i
- P - produktivnost obrade rezanjem za različite obradne režime s , V i T .

2.3. Proračun optimalnih režima obrade u uslovima primene različitih reznih materijala

Kompjuterski program koji je izrađen omogućuje proračun optimalnih režima za obrade rezanjem u uslovima primene različitih reznih materijala: brzorezan čelik, tvrdi metal, tvrde prevlake i keramike. Pregled algoritma prikazan je na blok dijagram na sl.2.



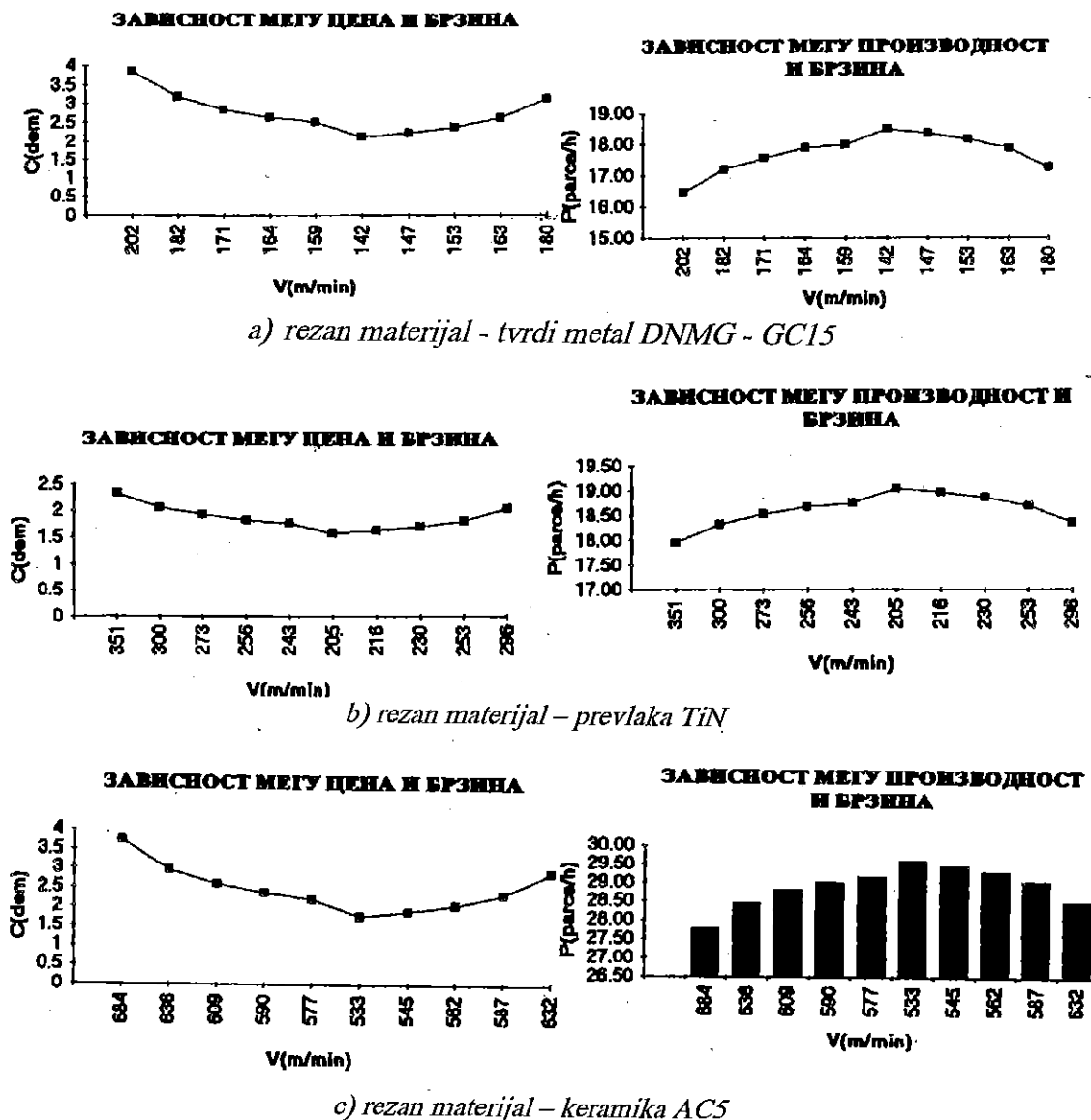
Slika 2. Algoritam proračuna optimalnih režima

Preko sekvencionalne datoteke program učitava podatke o ulaznih veličina pri obradi struganjem za određeni proizvod, kao što su: cene alata upotrebenih u operaciji, dužina vremena glavnih i pomoćnih, i komponente u Tejlorovom obrascu.

U zavisnosti od radiusa rezne ostrice i kvalitet obradene površine povezan sa tipom obrade, program proračunava pomeste obrade.

Za svaki tip reznog materijala program lista tabele koje sadrže proračunate veličine: brzina, pomest, trajnost alata, cena koštanja, produktivnost i vrednost mašinskog časa. Tabelarni podatci prikazuju se i grafički (Sl.3.), pri čemu se predstavlja funkcionalna

zavisnost produktivnosti i cene koštanja od brzine obrade $C=f(V)$ i $P=f(V)$.



Slika 3. Grafički prikaz funkcionalne zavisnosti produktivnosti i ceni koštanja od brzine rezanja

Komparacijom podataka o primeni različitih reznih materijala, može se uočiti da su obradni režimi znatno viši primenom novih reznih materijala. Tvrdi metal omogućuje primene 3-4 puta viših reznih brzina u odnosu na brzorezni čelik, tvrde prevlake kao TiN, WN, povišuju dozvolene rezne režime u odnosu na tvrdi metal, a keramika obezbeđuje oko 2 puta pokačene brzine u odnosu na tvrdi metal.

3. ZAKLJUČAK

Obradni režimi koji obezbeđuju maksimalnu ekonomičnost i produktivnost su visoki, tako da često nisu realizovani u pogonskim uslovima zbog zastarelog mašinskog parka, tako da nisu iskoristeni prednosti novih reznih materijala.

Tendencija ukazuje da se rezne materijale brzo usavršavaju i daju odlične performanse, znači teoretski omogućuju primenu visokih reznih režima, kojih često puta nije moguće ostvariti zbog ograničenja koja postavlja konstrukcija metalorezačkih mašina.

REFERENCES:

1. Pavlovski V. (gl. istraživač), Kuzinovski M., Gečevska V. i dr.: "Primena novih reznih materijala u obradi rezanjem", Naučno-istraživački projekt, finansiran Ministerstvo za nauka, R Makedonija, 1991-1994.
2. Trajkovski S.: Tehnoekonomski metodi optimizacije, Postdiplomski studii - Mašinski fakultet, Skopje, 1990

ABSTRACT

The object of this paper is to present our research in principles for analysis on optimal cutting data for many types of machining with different cutting tool's materials. Criteria for optimisation are minimum price of cost and maximum productivity. Determination on optimal cutting data for machining is made with computer program, created in the research. The computer program is written for PC and can perform the following functions: accept input data, calculation on the productivity and the cost, calculation on cutting speed for limiting criterions, calculation on tool life for cutting tools, algorithm for calculated optimal cutting data for machining cutting speed, feed, depth of cut, graphical and tabular presentation on cost-speed and productivity-speed characteristics for each used cutting materials and compared data.

PRIMENA KOMPJUTERSKOG PROGRAMA "AKSIP" PRI MATEMATIČKOM MODELIRANJU KLIPNO-AKSIJALNIH PUMPI²⁾

dr Radovan Petrović, Prof. dr Rade Jankov¹⁾

REZIME

Fundamentalnu osnovu pri razvoju klipno-aksijalnih pumpi predstavlja eksperimentalno istraživanje i matematičko modeliranje nestacionarnih visokodinamičkih hidrauličkih procesa u cilindru pumpe, potisnom prostoru i usisnom i potisnom cevovodu u funkciji ugla pogonskog vratila. Na osnovu korišćenja rezultata eksperimentalnih istraživanja i rezultata matematičkog modeliranja, uz razvoj i primenu metoda identifikacije nepoznatih parametara matematičkog modela, razvijen je kompjuterski program AKSIP pomoću koga je moguće dovoljno tačno odrediti pojedine parametare radnog procesa klipno-aksijalnih pumpi.

1. MATEMATIČKI MODEL

Za matematičko modeliranje hidrodinamičkih i dinamičkih procesa u klipno-aksijalnoj pumpi (cilindru pumpe, usisnoj i potisnoj komori, potisnom ventilu i cevovodu visokog pritiska), sl. 1, usvajaju se sledeće opšte pretpostavke [1]:

- Promene stanja fluida su kvazistacionarne, osim u potisnom cevovodu;
- Kinetička energija fluida u svim kontrolnim prostorima osim u potisnom cevovodu se zanemaruje;
- Isticanje fluida kroz zazor (procepe između klipa i cilindra, isticanje kroz razvodnu ploču i potisni ventil) je kvazistacionarno;
- Procesi u kontrolnim prostorima su izotermni ili izentropski;

1.1. Matematički model procesa u pumpi

Matematički model se daje za svaki element, obzirom na složenost pojedinih procesa i njihovu međuzavisnost kao i potrebu daljeg usavršavanja matematičkog modeliranja. Na taj način se umnogome olakšava modulno programiranje na računaru i dalje usavršavanje i praćenje kompjuterskog programa [1].

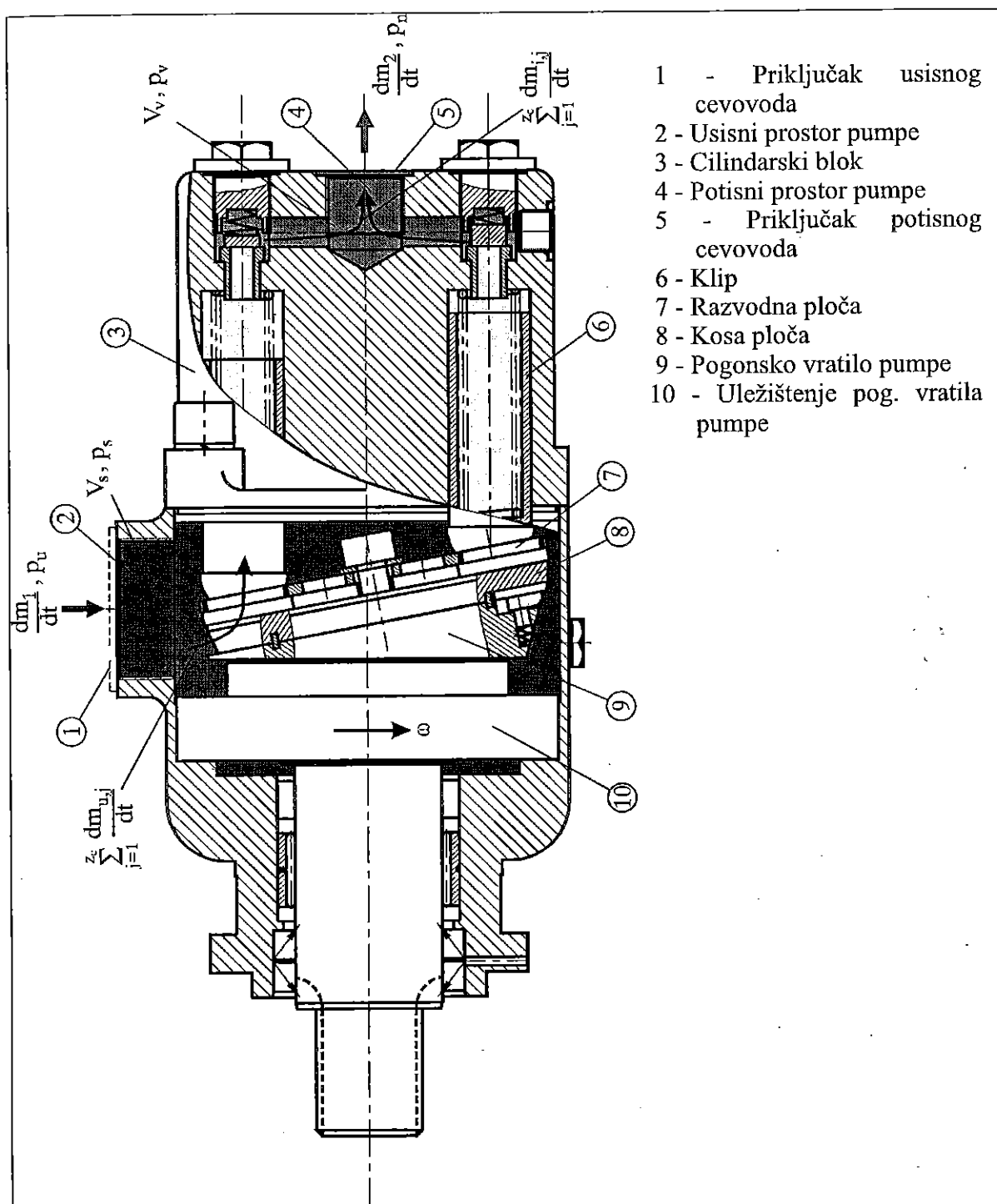
- maseni protok kroz otvor 1, na mestu ulaska u usisnu komoru pumpe fluida, sl. 1.

$$\frac{dm_1}{dt} = \sigma_1 \mu_1 A_1 \sqrt{2\rho_s |p_u - p_s|} \quad \text{gde su: } \sigma_1 = 1 \text{ za } p_u \geq p_s, \quad \sigma_1 = -1 \text{ za } p_u < p_s$$

²⁾ Inovacioni projekt (evidencioni broj 1.5.1208) sufinansiralo je Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije u periodu 1996 do 1997. godine, a rukovodilac projekta je bio prof. dr. R. Jankov.

¹⁾ dr Radovan Petrović IRC VTŠ za ind. men. u Kruševcu, Kosančićeva 4, Kruševac,
Prof. dr Rade Jankov Mašinski fakultet u Beogradu, 27. marta 80, Beograd

A_1 - geometrijski protočni presek usisne cevi.



- 1 - Priključak usisnog cevovoda
- 2 - Usisni prostor pumpe
- 3 - Cilindarski blok
- 4 - Potisni prostor pumpe
- 5 - Priključak potisnog cevovoda
- 6 - Klip
- 7 - Razvodna ploča
- 8 - Kosa ploča
- 9 - Pogonsko vratilo pumpe
- 10 - Uležištenje pog. vratila pumpe

Sl. 1. Konstrukcija i kontrolni prostori klipno-aksijalne pumpe

- maseni protok fluida kroz razvodni organ pumpe pri punjenju jednog cilindra pumpe:

$$\frac{dm_u}{dt} = \sigma_u \mu_u A_u \sqrt{2\rho_s |p_s - p_c|} \text{ gde su: } \sigma_u = 1 \text{ za } p_s \geq p_c, \quad \sigma_u = -1 \text{ za } p_s < p_c,$$

A_u - geometrijski protočni presek usisnog razvodnog organa.

- maseni bilans usisne komore glasi:

$$\frac{dm_s}{dt} = \frac{dm_1}{dt} - \sum_{j=1}^{z_c} \frac{dm_{u,j}}{dt} \text{ gde su: } j=1, 2, \dots, z_c \text{ redni broj cilindra, } z_c \text{ - broj cilindara.}$$

- diferencijalna jednačina pritiska u usisnoj komori pumpe

$$\frac{dp_s}{d\varphi} = \frac{E}{V_s \rho_s} \left(\frac{dm_1}{d\varphi} - \sum_{j=1}^{z_c} \frac{dm_{u,j}}{d\varphi} \right)$$

- diferencijalna jednačina pritiska u cilindru pumpe

$$\frac{dp_c}{d\varphi} = \frac{E}{V_c} \left[\frac{A_c v_k}{\omega} + \frac{1}{\rho_c} \left(\frac{dm_u}{d\varphi} - \frac{dm_1}{d\varphi} \right) \right]$$

gde su: $V_c = V_{c,min} + V_{cx}$; $V_{cx} = A_c \cdot x_k$ trenutna zapremina cilindra ;

promena zapremine cilindra pumpe izazvana kretanjem klipa $\frac{dV_c}{dt} = -A_c v_k$;

x_k - trenutni hod klipa računat od SMT

- maseni bilans potisne komore glasi:

$$\frac{dm_v}{dt} = \sum_{j=1}^{z_c} \frac{dm_{i,j}}{dt} - \frac{dm_2}{dt}$$

gde su: $j=1, 2, \dots, z_c$ redni broj cilindara, z_c - ukupan broj cilindara

- maseni protok koji istrujava iz potisne komore u potisni cevovod je:

$$\frac{dm_2}{dt} = \sigma_2 \mu_2 A_2 \sqrt{2 \rho_l |p_v - p_n|}$$

gde su: $\sigma_2 = 1$ za $p_v \geq p_n$, $\sigma_2 = -1$ za $p_v < p_n$,

A_2 - geometrijski protočni presek potisnog cevovoda

- diferencijalne jednačine pritiska u potisnoj komori pumpe:

$$\frac{dp_v}{d\varphi} = \frac{E}{V_v \rho_v} \left(\sum_{j=1}^{z_c} \frac{dm_{i,j}}{d\varphi} - \frac{dm_2}{d\varphi} \right)$$

- maseni protok kroz koncentrični zazor između cilindra i klipa:

$$\frac{dm_z}{dt} = \frac{\pi \cdot D_c \cdot \Delta r^3}{12 \cdot \eta \cdot x_k(\varphi)} \cdot (p_c - p_s) \cdot \rho_c$$

gde su:

D_c prečnik cilindra, Δr radijalni zazor između klipa i cilindra, η dinamička viskoznost, $x_k(\varphi)$ trenutni hod klipa, p_c pritisak u cilindru, p_s pritisak u usisnoj komori, ρ_c gustina fluida u cilindru.

1. 2. Modeliranje strujanja u usisnom i potisnom cevovodu pumpe

Pri matematičkom modeliranju procesa u pumpi, neophodno je uvesti i razmotriti i niz pretpostavki za modeliranje procesa koji se dešavaju u usisnom i potisnom cevovodu pumpe.

Za najopštiji model se uvode sledeće pretpostavke za strujanje radnog fluida u usisnom i potisnom cevovodu:

- Strujanje fluida je jednodimenzionalno. Cevi su konstantnog poprečnog preseka. Temperaturska i strujna polja po poprečnom presku cevi su homogena. Vektor brzine se poklapa sa pravcem ose cevi u bilo kom trenutku i preseku.

- Viskozno trenje između pojedinih slojeva fluida unutar cevi je zanemareno. Sile trenja pojavljuju se na unutrašnjim zidovima cevi.

- Procesi u cevovodima su izentropski. Promena entropije usled rada sila trenja, prelaza toplote i mešanja fluidnih delića se zanemaruju.

- Sile polja (gravitacionog, magnetnog, i dr.) se zanemaruju.

U okviru dinamike jednodimenzionalnih strujanja ovakva strujanja se razmatraju kao "nestacionarna strujanja u strujnom vlaknu".

Jednačina kontinuiteta

jednačina kontinuiteta stišljivog fluida sa funkcijama p , w , ρ pri izentropskoj promeni stanja

$$\frac{\partial p}{\partial t} + w \frac{\partial p}{\partial x} + a^2 \rho \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

gde su : ρ i w -vrednosti gustine i brzine fluida po poprečnom preseku cevi,

$$a = \sqrt{\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_s} \text{ - brzina zvuka u fluidu}$$

pri čemu su $p = p(t, x)$ i $\rho = \rho(t, x)$ funkcije vremena t i koordinate x ,

Jednačina količine kretanja

$$w \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial w}{\partial t} + w \frac{\partial}{\partial x}(\rho w) + \rho w \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = -f_t \rho$$

gde je f_t - sila trenja po jedinici mase

2. STRUKTURA I ORGANIZACIJA KOMPJUTERSKOG PROGRAMA "AKSIP"

Simultana integracija prethodnih nelinearnih diferencijalnih jednačina graničnih uslova i parcijalnih diferencijalnih jednačina strujanja u potisnom cevovodu zahtevala je primenu računara i izradu odgovarajućeg kompjuterskog programa.

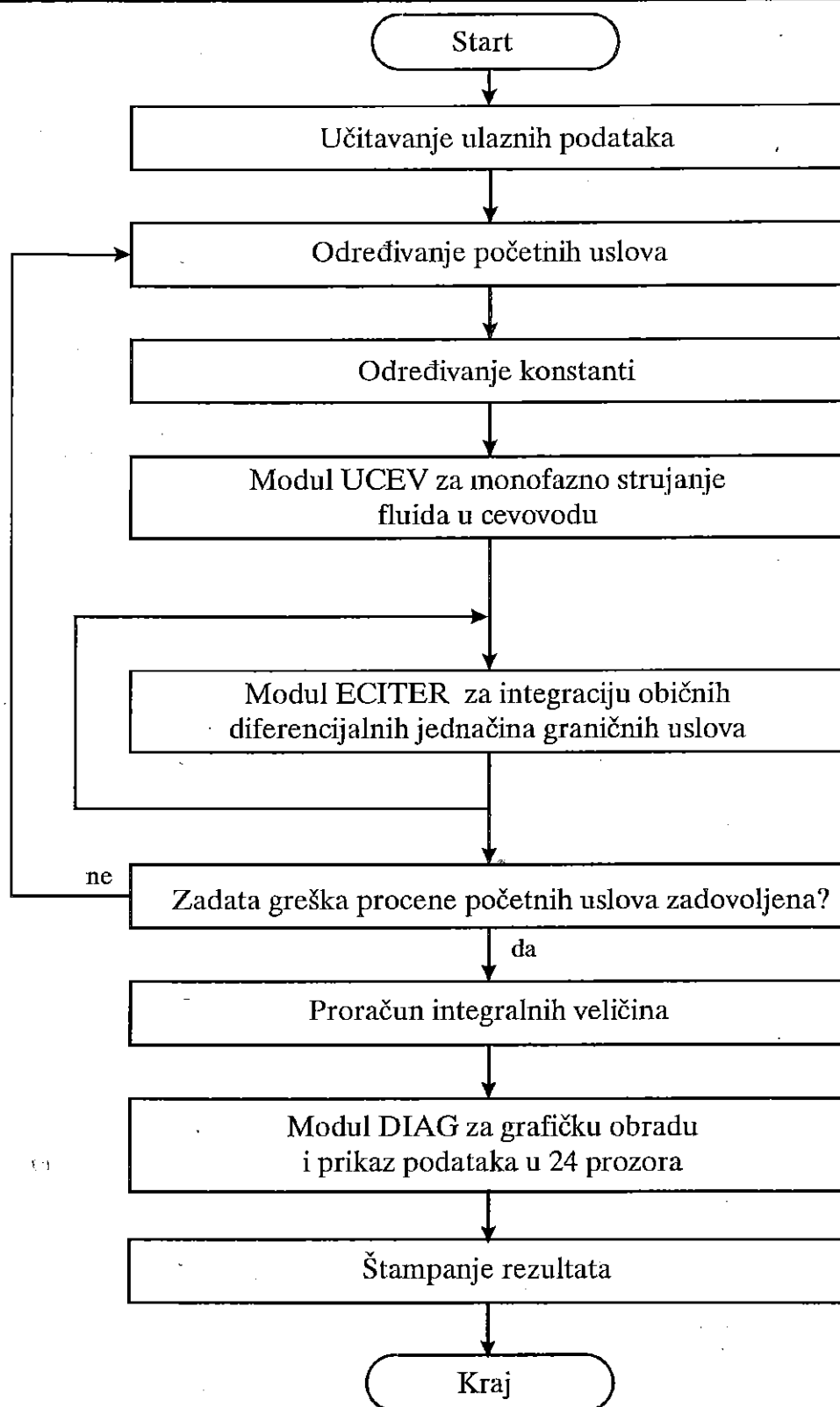
Program koji povezuje i simultano rešava sve navedene diferencijalne jednačine, jednačine promene karakterističnih protočnih preseka i promene fizičkih karakteristika fluida, zahtevao je odgovarajuću strukturu i organizaciju. Program je napisan u programskom jeziku Digital Visual Fortran 5. 0. i realizovan je na mernom i upravljačkom sistemu ADS 2000[2]. Korišćeni su principi strukturalnog i modularnog programiranja. Program se sastoji od glavnog programa i modula.

Važniji programi su pisani kao zaokruženi moduli koji se povezuju međusobno ili sa glavnim programom, ali se mogu koristiti i samostalno.

Na osnovu prethodnih jednačina razvijen je programski sistem pod nazivom AKSIP za matematičko modeliranje strujnih i hidrodinamičkih procesa za vreme celokupnog radnog ciklusa klipno-aksijalne pumpe sa kombinovanim razvodjenjem radnog fluida. AKSIP program je modularno koncipiran i sastoji se iz glavnog programa AKSIP i njegovih modula. Pojedini programski moduli su sastavljeni iz jednog ili više potprograma, a izvršavaju tačno utvrđen niz operacija. Uprošćeni blok-dijagram (uprošćena struktura šema) programa AKSIP vidi se na sl. 2. Modul programa AKSIP izvršava učitavanje i štampanje ulaznih podataka i određivanje konstanti. Za dalju obradu poziva modul ECITER.

Ulazni podaci se uzimaju iz ulazne datoteke AKSIP. DAT, a izlazni podaci se smeštaju u izlaznim datotekama DH1. DAT, DH2. DAT i DH3. DAT, a uz primanu modula DIAG dijagramski se obrađuju i prikazuju na monitoru računara u 24 prozora u toku samog procesa proračuna.

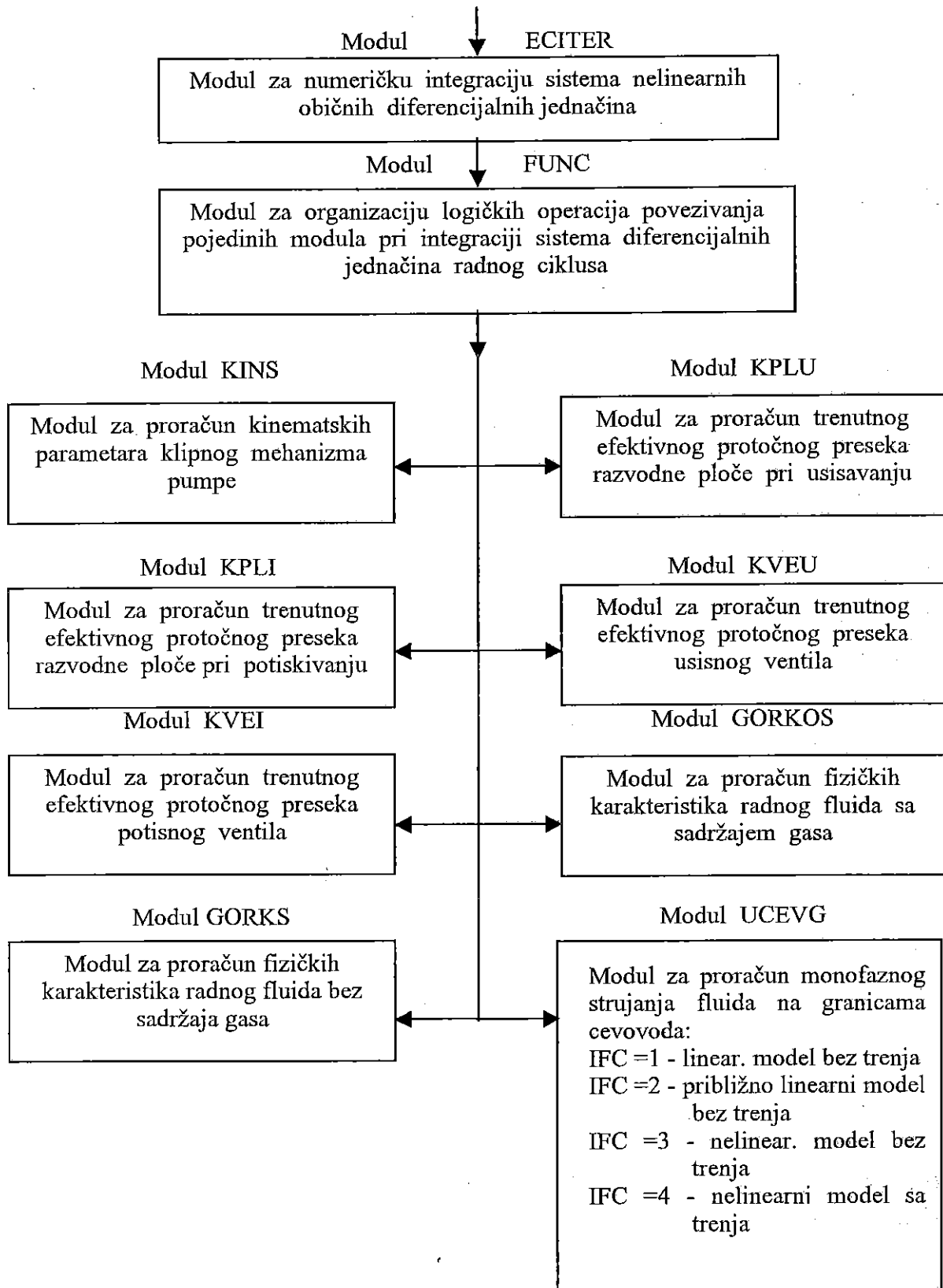
Drugi nivo programa čini modul za integraciju nelinearnih običnih diferencijalnih jednačina graničnih uslova Ojler-Koši sa iteracijama (ECITER). Da bi se program najefikasnije sagledao na slikama 1 i 2 pokazana je samo struktura programa bez detaljnog iznošenja algoritma svakog pojedinačnog modula. Moduli ECITER, CEV (UCEVG i UCEV) i DIAG su gotovi moduli, koji čine bibliotečke programe sistema ADS 2000.



Sl. 2. Struktura glavnog programa AKSIP za proračun radnih parametara klipno-aksijalne pumpe

Pošto je programski sistem AKSIP koncipiran za tzv. multimodeliranje, korisniku programa se stavlja na raspolaganje da sam izabere (iz mnoštva mogućih) matematički model pojedinih procesa u pumpi, što se vidi na blok-dijagramu, sl. 3.

Modul za numeričku integraciju sistema nelinearnih običnih diferencijalnih jednačina



Sl. 3. Struktura potprograma ECITER

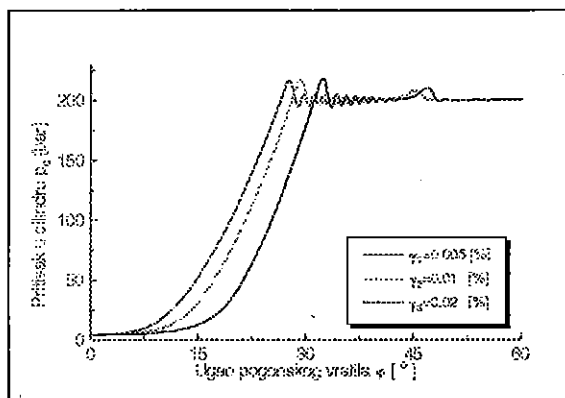
Izbor željenog modela moguće je izvršiti deterministički ili stohastički. Pri determinističkom izboru modela željeni model se zadaje pri formiranju datoteke ulaznih podataka AKSIP.

važnih podataka vrši se preko COMMON blokova pri čemu je poštovana koherentnost sistema jedinica. Glavni program nosi naziv AKSIP i predstavlja prvi nivo. U toku rada glavni program poziva ECITER podprogram drugog nivoa i inicira početne vrednosti merodavnih veličina.

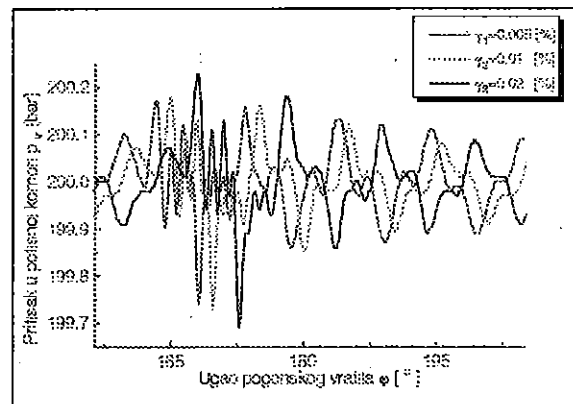
Početak proračuna definiše se u ulaznoj datoteci tako što se zadaje početni ugao proračuna. Parametrima u ulaznoj datoteci definiše se o kom modelu pumpe se radi, što između ostalog uslovljava i način proračuna pojedinih veličina. U programu AKSIP su, za sada, predviđene sledeće mogućnosti i odgovarajući identifikatori pri izboru matematičkog modela:

- Promenljivost pritiska u usisnoj komori IS=? Konstantan IS=0; promenljiv IS=1.
- Promenljivost pritiska u potisnoj komori IT=? Konstantan IT=0; promenljiv IT=1.
- Izbor usisnog razvodnog organa IU=? Razvodna ploča IU=1; ventil IU=11.
- Izbor potisnog razvodnog organa II=? Razvodna ploča II=1; ventil II=11.
- Izbor načina određivanja koeficijenata protoka IMDMI=? Tabelarno IMDMI=0 ; u funkciji pritiska IMDMI=1; u funkciji broja obrtaja IMDMI=2; u funkciji pritiska i broja obrtaja IMDMI=3.
- Izbor modela sa i bez inercije mase radnog fluida IMIN=? Sa IMIN=0; bez IMIN=1.

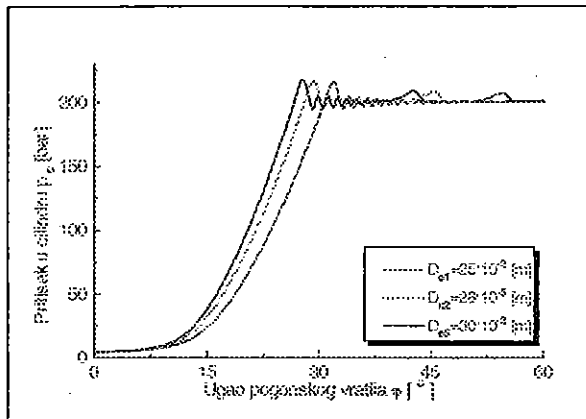
Zavisno od modela pumpe, ovaj modul poziva određen podprogram trećeg nivoa (FUNC) sa jednačinama graničnih uslova, preko koga se uspostavlja veza sa ostalim podprogramima četvrtog nivoa u koje spadaju: podprogram za nalaženje parametara strujanja na krajevima cevi (UCEVG), podprogram za nalaženje parametara strujanja unutar cevi (UCEV), podprogram za nalaženje kinematskih karakteristika klipa (KINS), podprogram za nalaženje trenutnih efektivnih ulaznih i izlaznih protočnih preseka razvodne ploče (KPLU, KPLI), podprogram za izračunavanje trenutnih efektivnih protočnih preseka usisnog i potisnog ventila (KAVEU, KAVEI) i modul za određivanje fizičkih karakteristika fluida (GORKO, GORKOS).



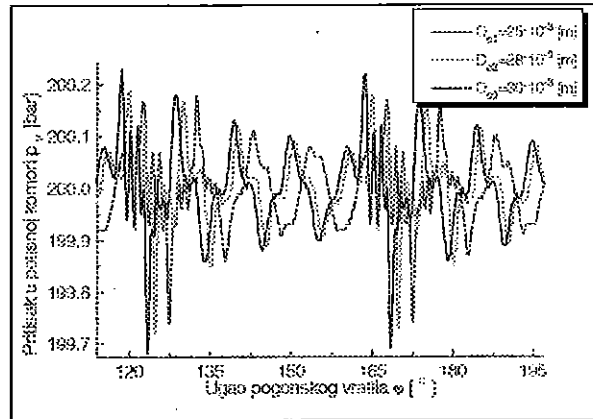
Sl. 61. 1 Tok linije porasta pritiska u cilindru p_c pri promeni sadržaja gasa u fluidu γ



Sl. 61. 2 Tok pritiska u potisnoj komori p , pri promeni sadržaja gasa u fluidu γ



Sl. 62. 1 Tok linije porasta pritiska u cilindru p_c pri promeni prečnika cilindra D_c .



Sl. 62. 2 Tok pritiska u potisnoj komori p_v pri promeni prečnika cilindra D_c .

Sl.4 Primeri primene kompjuterskog programa AKSIP

Ovako koncipiran program obezbeđuje simultanost svih procesa analagno odvijanju procesa u realnoj klipno-aksijalnoj pumpi.

3. ZAKLJUČAK

Parametri hidrodinamičkog procesa klipno-aksijalne pumpe (tok pritiska, tok isisavanja i tok sabijanja) nemoguće je dovoljno tačno odrediti čisto eksperimentalnim putem, a takođe ni čisto matematičkim modeliranjem. Dovoljno tačni parametri mogu se dobiti kombinovanom primenom merenja toka pritiska u cilindru, matematičkog modeliranja stvarnog hidrodinamičkog procesa i metoda nelinearne optimizacije, pri čemu se mogu istovremeno odrediti sistematske greške merenja i nepoznati parametri.

Dalji pravci istraživanja mogući su kod konstrukcija klipno-aksijalnih pumpi sa nagnutim cilindarskim blokom i razvođenjem radnog fluida pomoću razvodne ploče. Matematički model bi u tom slučaju bio proširen sa dinamikom cilindarskog bloka i hidrodinamičkim procesima u zazoru između cilindarskog bloka i razvodne ploče.

LITERATURA

- [1] Petrović R. "Matematičko modeliranje i identifikacija parametara višecilindričnih klipno-aksijalnih pumpi", doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Beogradu, novembar 1999. godine.
- [2] Jankov R. : "Rezultati razvoja nove generacije ultra-brzih mernih i upravljačkih sistema" - NS skup "Nauka i motorna vozila" Beograd, 1989.

SUMMARY

Fundamental basis in developing the axial pumps presents experimental research and mathematical modeling of non stationary high dynamic processes of hydraulic in the pump cylinder, discharge and intake spaces of the pump line in the function of action angle of the shaft. Based on the experimental research results and mathematical modeling results, developing and using identification method of unknown parameters of mathematical model, the exact determination of certain parameters has been done.

MARKOV MODEL I PETRIJEVE MREŽE¹

S. Cvetković, V. Milvanović

Rezime

U ovom radu je dat pregled Markovih nizova i njihova ekvivalentnost sa Petrijevim mrežama koje su kompaktnije u predstavljanju sistema.

1. UVOD

Modeli proizvodnih sistema treba da su sposobni da predstavljaju konačni kapacitet buffera, kvarova mašina i opreme i treba da budu korisni za proračun raznih mera performansi. Tipične mere uključuju proizvodnju delova, stепен iskorišćenja mašina, verovatnoću da se mašina blokira ili pokvari i u očekivano vreme da se završi posao.

2. MARKOV MODEL

Markov model se sastoji od grupe diskretnih stanja. Ova grupa je konačna i opisuje sva moguća stanja u kojima sistem može da bude. Prelaz od stanja i do j se pojavljuje sa verovatnoćom p_{ij} .

Stanje proizvodnog sistema se može definisati razmatranjem proste proizvodne linije koja se sastoji od dve mašine (M_1 i M_2) i jednog buffer kao na sl. 1.



Sl. 1. Prosta proizvodna linija

Usvojeno je da se mašina nikad ne kviri i buffer ima konačni kapacitet. Svaka mašina je opisana vremenom obrade, vremenom kvara i vremenom opravke. Ako se ove veličine mogu odrediti, imamo Markov niz sa diskretnim stanjem i diskretnim prelazom (ili Markov niz diskretnog vremena) To takođe mogu biti slučajne promenljive koje bi dovele do Markovog niza kontinualnog vremena. Možemo pokazati osnovnu ideju Markovog niza sa diskretnim stanjem i diskretnim prelazom modeliranjem samo jedne od mašina. U tom slučaju, stanje mašine je opisano njenim statusom, gde je:

$$a_i = \begin{cases} 1 & \text{mašina } i \text{ je u radu,} \\ 0 & \text{mašina } i \text{ u otkazu} \end{cases} \quad (1)$$

Ovo nas vodi do prostog Markovog stanja sl.1. Ovde prelaz od jednog stanja u drugo je povezano sa verovatnoćom otkaza. Ove verovatnoće će postati verovatnoće stanja prelaza.

Razmotrimo stanje proizvodnog sistema. Ono se sastoji od statusa svake mašine i količine materijala prisutnog u sistemu. što je prikazano:

¹ Dr Slavica Cvetković, dipl.inž. Mašinski Fak. Univerziteta u Prištini, sa sed. Kosovskoj Mitrovici sa stanom ul. Svrljiški par. odred br.6, 18000 Niš, o18/550-479
Mr Vlasta Milvanović, dipl.inž, MIN Institut-Niš, Višegradska 33

$$s = (n, a_1, a_2) \quad (2)$$

Verovatnoća da je sistem u stanju s je:

$$p(n, a_1, a_2) \quad (3)$$

Pošto su (n, a_1, a_2) celi brojevi, sistem je opisan grupom uzajamno isključivih i kolektivno iscrpnih stanja $s_1, s_2, s_3, \dots, s_m$. Sistem može biti samo u jednom od ovih stanja u nekom trenutku.

Ako je $p_{s_i}(k)$ verovatnoća da je sistem u stanju s_i u vremenu k . Tada možemo reći da će se promena stanja javiti sa verovatnoćom:

$$p[s_j(k)|s_a(k-1), s_b(k-2), s_c(k-3), \dots] \\ 1 \leq j, a, b, c \leq m \\ k = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

koja se naziva verovatnoća prelaza.

Ako je $p[s_j(k)|s_a(k-1), s_b(k-2), s_c(k-3), \dots] = p[s_j(k)|s_a(k-1)]$ za svako k, j, a, b, c, \dots onda je Markov proces sa diskretnim stanjem i diskretnim prelazom.

Za Markov niz definišemo verovatnoće stanja prelaza kao

$$p_{ij} = p[s_j(k)|s_i(k-1)], 1 \leq i, j \leq m \quad (5)$$

a svako p_{ij} je nezavisno od k . Ove verovatnoće se mogu uključiti u matricu stanja prelaza.

$$p = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Zapaža se da verovatnoća stanja prelaza moraju zadovoljiti uslov

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad i \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Verovatnoća da će sistem biti u stanju s_i nakon k -tog prelaza, usvajajući da je stanje u $k=0$, to je definisano diferencijalnom jednačinom koja povezuje sledeće stanje sa sadašnjim stanjem.

$$p[s_i(k+1)] = p[s_1(k)p_{1i}] + p[s_2(k)p_{2i}] + \dots + p[s_m(k)]p_{mi} \quad (9)$$

gde je $p[s_j(k+1)]$ - verovatnoća da je sistem u stanju s_j u trenutku $k+1$. Postoje m ovakvih jednačina i možemo ih staviti u matrični oblik.

$$(p[s_1(k)]p[s_2(k)] \dots p[s_m(k)]) \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\text{ili } p(k+1) = p(k)p \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

Da bi rešili ovu matričnu diferencijalnu jednačinu uvodimo

$$p(1) = p(0)p \\ p(2) = p(1)p = p(0)p^2 \quad (13)$$

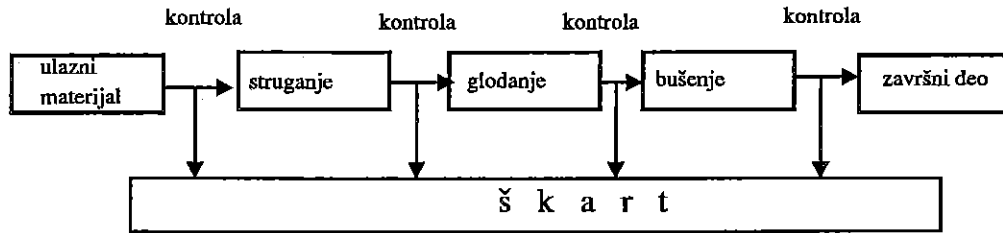
.....

.....

$$\text{što rezultuje u } p(k) = p(0)p^k \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

Na sl. 2 je prikazan proizvodni sistem sa 4 mašine. Nakon svake obrade vrši se

pregled radnog procesa. Veličine škarta prikazne su u tabeli 1



Sl. 2 Proizvodni sistem

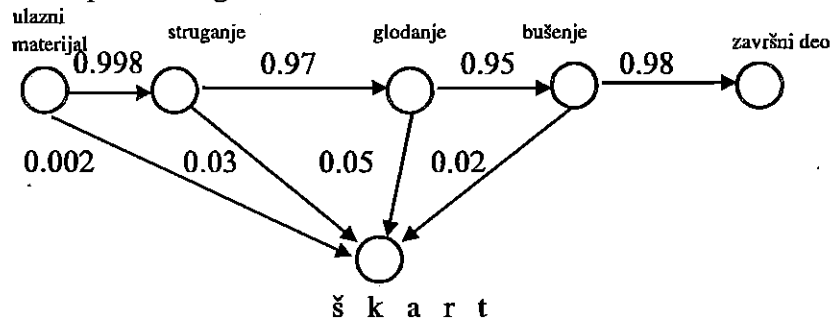
Tabela 1

Ulazni materijal	Struganje	Glodanje	Bušenje
	25kom/ser	25kom/ser	25kom/ser
0.2%	3%	5%	2%

Problem je dobiti Markov model za ovaj sistem, što je prikazano na sl. 3, naći matricu stanja prelaza i

- naći verovatnoću da ulazni materijal postane završni proizvod i
- naći verovatnoću da ulazni materijal postane škart.

Ovo vodi do modela prikazanog na slici 3.



Sl. 3 Dijagram stanja za proizvodni sistem

Do sada smo se bavili Markovim nizovima sa diskretnim stanjem i diskretnim prelazima. Poželjno je da smo u mogućnosti da upravljamo prelazima koji se javljaju u proizvoljnim vremenskim intervalima zato što bi smo hteli da modeliramo proizvoljna vremena obrade, vreme između kvarova i vreme opravke. Ovo zahteva teoriju Markovog niza kontinualnog vremena.

Kod Markovih nizova kontinualnog vremena bavimo se brzinama prelaza a ne verovatnoćama prelaznih stanja.

3.0 PETRIJEVE MREŽE

Petrijeva mreža modelira ponašanje sistema tj. registruje promene stanja sistema koje nastaju realizacijom neke akcije unutar njega. Modeliranje sa Petrijevom mrežom se zasniva na pojmovima događaja i uslova. Događaji su akcije koje se realizuju unutar sistema, dok uslovi opisuju stanja određenih delova sistema. U Petrijevoj mreži događaji su predstavljeni prelazima, a uslovi mestima. Pucanjem prelaza i distribucijom znakova kroz mrežu ponašanje sistema odnosno promene njegovih stanja se verno modelira. Zupravo ovaj pristup modeliranju čine Petrijevu mrežu veoma pogodnom tehnikom za proučavanje i projektovanje najraznovrsnijih sistema.

Stohastičke Petrijeve mreže su one u kojima su vremena prelaza proizvoljne veličine. Ako vremena prelaza imaju eksponencijalnu raspodelu brzine popravke, onda su ove Petrijeve mreže ekvivalentne Markovom nizu kontinualnog vremena.

Generalizovane stohastičke Petrijeve mreže koriste tempirane prelaze i neposredne prelaze. Tempirani prelazi imaju eksponencijalno raspodelu brzine opaljivanja λ i opaljuju $1/\lambda$ vremenskih jedinica nakon što su omogućeni. Neposredni prelazi opaljuju u nula vremenu.

Razmotrimo mašinu sa brzinom obrade v , brzinom kvarova p i brzinom opravke r . Svaka predstavlja brzinu opaljivanja tempiranog prelaza opisanog eksponencijalnom rasapodelom.

Prvo identifikujemo sledeća mesta:

p_{uf} - mašina je spremna i slobodna

p_{ub} - mašina je spremna i radi

p_d - mašina stoji

p_{ul} - mašina je spremna i neupošljena

Sledeći događaji služe za identifikovanje prelaza:

t_i - materijal je unet u sistem

t_f - mašina je otkazala

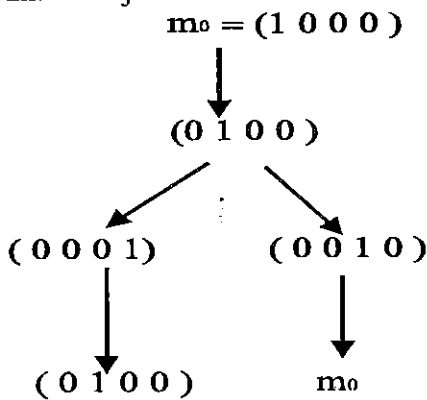
t_r - mašina se opravljaja

t_p - deo se obrađuje

t_0 - završeni delovi se sklanjaju sa mašine

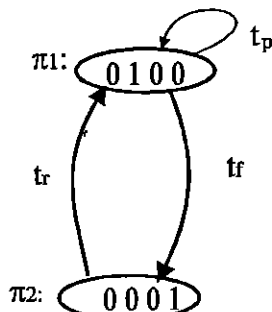
Možemo uvesti koncept stanja u Petrijevoj mreži smatrajući svaku moguću raspodelu simbola stanjem. Ovo se može ilustrovati tako gde se stanje može definisati ko broj simbola u $(p_{uf}, p_{ub}, p_d, p_{ul})$ Počinjemo sa početnim označavanjem m_0 (1000). Ovo omogućuje t_i i stvara novo označvanje (ili stanje) (0100). Iz ovog stanja možemo ići na (0001) opaljivanjem t_f ili na (0010) opaljivanjem t_r . U (0001) se vraćamo na (0010) opaljivanjem t_p . Napuštamo (0100) opaljivanjem t_p da bi ušli u novo stanje (0010). Nakon opaljivanja t_0 vraćamo se na m_0 . Slika 4 pokazuje dijagram stanja.

Označavanje (ili stanje) u kome je bar jedan neposredni prelaz omogućen se naziva prividno označavanje. S druge strane, označvanje u kome su samo eksponencijalni prelazi omogućeni naziva se stvarno označavanje.



Sl.4 Dijagram stanja mašine

Stanja (0010) i (1000) su prividna stanja. U ovim stanjima provedeno je 0 vremena. Odstranjivanje ovih stanja prikazano je na sl. 5 i predstavlja usađeni Markov niz.



Sl. 5 Redukovani usađeni Markov niz

Odavde nastavljamo nalaženje verovatnoće stabilnog stanja koji su u stanju π_1 i π_2 . Iz redukovanoeg usađenog Markovog niza nalazimo matricu brzine prelaza

$$A = \begin{pmatrix} -t_f & t_f \\ t_r & -t_r \end{pmatrix} \quad (15)$$

Ovo je postupak da se pređe sa modela Petrijeve mreže na redukovani usađeni Markov niz koji se sastoji iz nekoliko koraka:

1. Neposredni prelazi se koriste na modelu relativno kratkih operacija
2. Proveriti mrežu na živost i ograničenost
3. Stvoriti prostor stanja koji obuhvata i prividna i stvarna obeležavanja
4. Odstraniti prividna obeležavanja da bi se dobio prosto stanja za redukovani usađeni Markov niz. Dodeliti stanja ($\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$) = π
5. Povezati brzine opaljivanja prelaza sa brzinom prelaza stanja da bi se dobila matrica brzine prelaza, A
6. Rešiti sistem linearnih algebarskih jednačina
7. Izračunati željene performanse iz ovih verovatnoća

Ovi koraci se mogu automatizovati u nekoliko softverskih paketa, koji rešavaju ekvivalentni Markov niz.

ZAKLJUČAK

U radu smo predstavili i ilustrovali Markov niz za slučaj diskretnog i kontinualnog prelaza, a zatim je objašnjena prednost korišćenja Petrijevih mreža za modeliranje, analizu i kontrolu proizvodnih sistema. One su dobro sredstvo u modeliranju. Kada sistem pokaže željeno stanje, mreža se može prevesti na kontrolu i pratiti operacije u toku rada.

Markov niz zahteva veliko numerisanje svih mogućih stanja, zato se Petrijeve mreže mogu koristiti da automatski generiše sva stanja u nizu.

Prednost Petrijevih mreža leži u činjenici da su one konceptualno lake za korišćenje i kompaktnije su u predstavljanju sistema. Ova kompaktnost omogućuje rukovanje sistemima sa velikim brojem stanja (reda hiljada), a ekvivalentnost sa Markovim lancima omogućuje izračunavanje broja proizvoda, stepen iskorišćenja mašina, mogućnost da se mašina blokira ili pokvari itd.

LITERATURA

- [1] J.L. Peterson, "Petri Net Theory and the Modeling of Systems" Englewood Cliffs, Prentice-Hall 1981
- [2] S. Cvetković, "Razvoj koncepta upravljanja sa aspekta fleksibilnosti za domaću industriju prerade metala", dok. disertacija Priština 1999 god.
- [3] Arsovski S., Mirović Z., "Extended Petri nets and simulation of flexible manufacturing systems", Second Balkan Conference on Operational Research, Thessaloniki, Greece 1993

MARKOV CHAINS AND PETRI NETS

ABSTRACT

The paper it can be shown that these Petri nets are equivalent to a Markov chain, but much more compact in the representation of the system. The compactness allows for the handling of systems with Markov chains permits the calculation of performance measures like throughput, average machine utilization, probability that a machine is blocked or starved, etc.

REKONSTRUKCIJA SISTEMA UPRAVLJANJA PRESAMA

D. Temeljkovski¹, V. Avramović², S. Randelović³, Lj. Spasić⁴

REZIME

Predhodna generacija presa svojim sistemom za upravljanje ne obezbeđuje bezbedan rad opslužioca. Iz tih razloga je izvršena rekonstrukcija i tehničko usavršavanje sistema upravljanja čiji je cilj da ostvari potpunu bezbednost na radu u saglasnosti sa pozitivnim zaštitnim propisima i propisima o zaštiti na radu (ZNR). Osnovni princip ovog rešenja sastoji se u onemogućavanju opslužioca da postavi svoje ekstremitete u opasnu zonu mašine za opasno vreme. Sistem je prvo izveden pri rekonstrukciji prese sa obrtnim klinom od 200kN (projektant i izvođač radova MIN ad FAM), a uz izvesnu adaptaciju moguće ga je izvesti i na svim ostalim tipovima presa.

1. UVOD

Prese sa obrtnim klinom spadaju u grupu mašina kod kojih nije u osnovnom izvođenju rešen sistem upravljanja u skladu sa važećim zakonskim normativima i propisima, ali koje se i dalje koriste jer su sastavni delovi radnih sistema.

To je slučaj i sa presom EP20 čiji je vlasnik FRAD-Aleksinac. Po njihovom zahtevu u MIN Holding AD FAM izvršen je remont prese i rekonstrukcija sistema upravljanja. Sam sistem upravljanja izveden je tako da može da se primeni i na drugim mašinama za obradu materijala plastičnim deformisanjem.

2. OPŠTI PODACI MAŠINE

2.1. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MAŠINE

Mašina spada u grupu ekscentar presa sa obrtnim klinom. Proizvedena je 1961.god. Proizvođač mašine je 'POBEDA' Novi Sad. Tehničke karakteristike mašine date su tabelarno u Tabeli T1.

¹ Dr Dragan Temeljkovski, vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš, e-mail: temelj@junis.ni.ac.yu

² Vukoman Avramović, dipl.maš.inž., zamjenik direktora MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš

³ Saša Randelović, dipl.maš.inž., vodeći projektant MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš, e-mail: lisasr@ptt.yu

⁴ Ljiljana Spasić, dipl.maš.inž., vodeći projektant MIN - Niš A.D. "FAM", Šumadijska 1, 18000 Niš, e-mail: lisasr@ptt.yu

Tabela T1.

Rb.	Karakteristika	količina	jedinica
1.	Maksimalna sila pritiska	200	kN
2.	Maksimalna debljina lima	3	mm
3.	Hod bata	0-50	mm
4.	Broj hodova bata	94	Hod/min
5.	Vertikalni hod stola	160	mm
6.	Snaga elektromotora	1,5	kW
7.	Broj obrtaja elektromotora	940	o/min

2.2. PRINCIP RADA, MEHANIČKA I TEHNIČKA ZAŠTITA MAŠINE

Mašina se sastoji iz elektromotora koji preko kaišnog prenosiča vrši prenos obrtnog momenta na zamajac. Zamajac preko obrtnog klina predaje obrtni moment ekscentarskom vratilu. Ekscentarsko vratilo sa sobom nosi gornji nosač alata. Preko podesivog ekscentra i gornjeg nosača alata vrši se transformacija obrtnog u translatorno kretanje. Startovanje prese se vrši pritiskom na taster. Taster daje impuls elektropneumatskom razvodniku koji preko pneumatskog cilindra i poluge uklinjuje obrtni klin. Ovim se ostvaruje kruta veza između ekscentarskog vratila i zamajca, odnosno vrši se prenos obrtnog momenta.

Mehanička i tehnička zaštita je izvedena preko:

- pričvršćivanja prese u radnoj prostoriji za odgovarajuću betonsku podlogu anker zavrtanjima
- zaštite svih rotacionih i prenosnih elemenata (kaišnika i kaiša, zamajca) mehaničkim štitnicima odnosno mehaničkom mrežom.
- puštanja mašine u rad preko tastera ili preko nožne komande.

Ovakav način upravljanja prese u radu dozvoljava radniku da jednom rukom uključuje mašinu a da mu druga ruka bude "ne zauzeta", tako da može da je postavi u opasnu zonu u opasnom roku. Ovo ne odgovara propisima bezbednosti mašine po JUS - EN 574 i predstavlja latentnu opasnost za opslužioca mašine.

Iz tih razloga je izvršena rekonstrukcija upravljanja.

3. REŠENJE UPRAVLJANJA EKSCENTAR PRESOM

3.1. REŠENJE UPRAVLJANJA

Da bi mašina bila bezbedna za rad rukovaoca izvršena je izmena upravljanja ugradnjom sistema dvoručne komande.

Uređaj za dvoručno komandovanje je bezbedonosni uređaj koji zahteva istovremeno delovanje sa obe ruke na komande dok traju opasni uslovi čime se postiže zaštita osobe koja radi na mašini.

Istovremeno delovanje se ogleda u sinhronizaciji delovanja, odnosno opslužioc je u obavezi da oba tastera aktivira u vremenskom razmaku do 0,5 sekundi. Ukoliko se ne ispoštuje ovakav princip aktiviranja komande mašina neće krenuti sa radom.

U projektovanju i konstruisanju dvoručne komande jedna od najznačajnijih stavki je pravilno analiziranje opasnog vremena i opasne zone.

Mašina ima 94 radnih taktova u minuti.

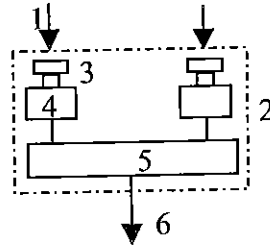
Opasno vreme u kome može da dodje do povređivanja opslužioca mašine u jednom radnom taktu je 0.368 sekundi, a to je vreme za koje se alat kreće nadole.

Opasna zona je hod mašine. Maksimalni hod mašine iznosi 50 mm, pa prema tome i maksimalna opasna zona je 50 mm.

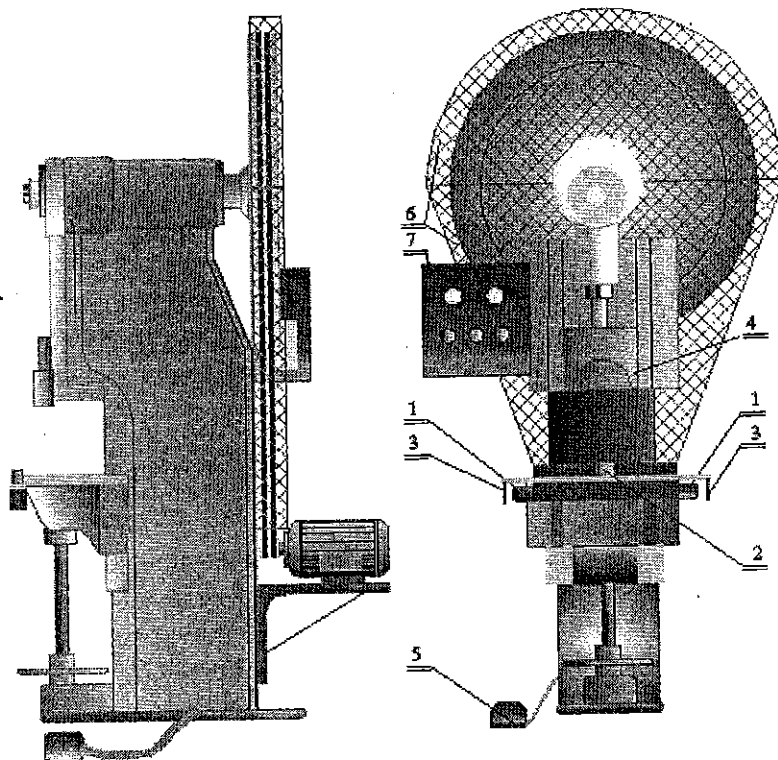
Shodno gore izloženom, opslužioc mašine ne može da dodje u opasnu zonu za opasan rok a samim tim ne može da se povredi, čime je ostvarena osnovna namena dvoručne komande.

Rešenje dvoručne komande je izabrano na osnovu preporuka JUS-a, za prese - treći tip uređaja sa funkcionalnom šemom na skici Sl.1. i fizičkim izvođenjem skica Sl.2.:

Ulazni signal
 Uređaj za dvoručno komandovanje
 Komanda uređaja
 Pretvarač signala
 Obrada signala
 Izlazni signal



Sl. 1. Funkcionalna šema



Sl. 2. Fizičko izvođenje: 1 - tasteri dvoručne komande, 2 - taster "Central stop", 3 - štitnici tastera dvoručne komande, 4 - gornji alat, 5 - papuča nožne komande, 6 - zaštitna mreža i 7 - elektro - orman

Medjusobni položaj tastera (komande uređaja) je veći od minimalno zahtevanog (260mm) po propisima o bezbednosti mašina. Tasteri su smešteni u posebnim kućicama koje onemogućavaju jednostavno premošćavanje uz primenu primitivnih pomagala i slučajno aktiviranje komandi, čime je maksimalno izbegnuto aktiviranje mašine usled nepažnje i namernog izbegavanja funkcije dvoručne komande.

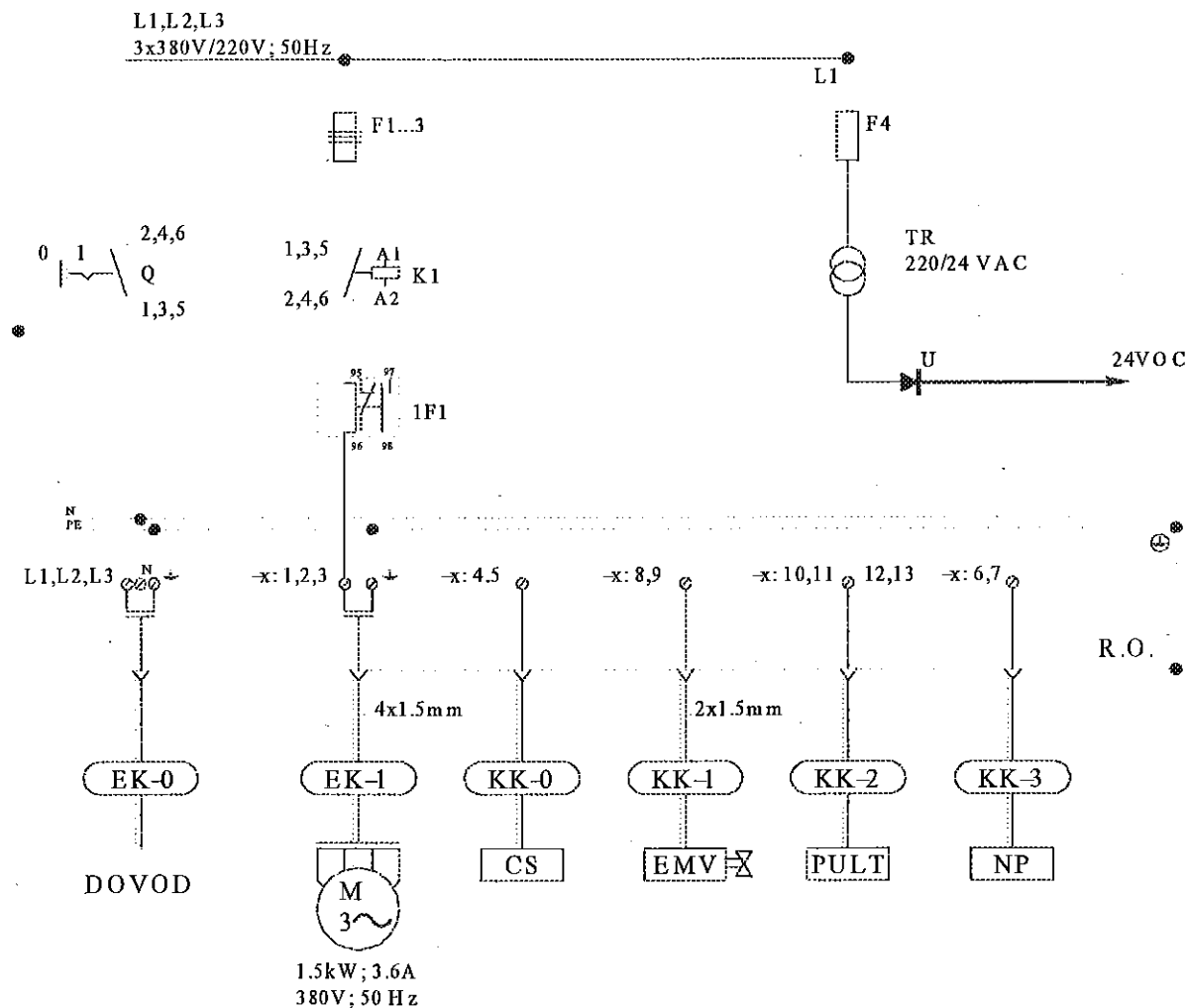
3.2. ELEKTRIČNE INSTALACIJE

Razvodna tabla mašine je izrađena od elektoizolaconog materijala, smeštena u limenom razvodnom oramanu, mehaničke zaštite IP 44 koji je postavljen na mašini tako da je

pristupačan za rad i pregled.

Napajanje razvodne table se vrši provodnikom sličnim kablju tipa PPOO-Y odgovarajućeg preseka. Napojni vod se propisno polaže i vrši zaštita od mehaničkih oštećenja.

Zaštita od štetnog dejstva struje kratkog spoja je izvedena automatskim osiguračima u sve tri faze, tipa L6A.



Sl.3. Jednopolna šema "EP"

Razvodna tabla i orman su tako konstruktivno rešeni i izvedeni da je onemogućen slučajni dodir delova pod naponom.

Zaštita od indirektnog napona dodira je izvedena zaštitnim uzemljenjem (nulovanjem) jednom žilom napojnog voda.

Elektromotor pogona prese je trofazni, proizvodnje Sever-Subotica, za napon 380/220 V, nominalne struje 3.6 A, frekvencije 50Hz, sa pristupačnom tablicom.

Priključak elektromotora je izveden provodnikom sličnim kablju tipa PPOO poprečnog preseka $5 \times 1,5 \text{ mm}^2$.

Priključni vod je propisno položen i zaštićen od mehaničkog oštećenja.

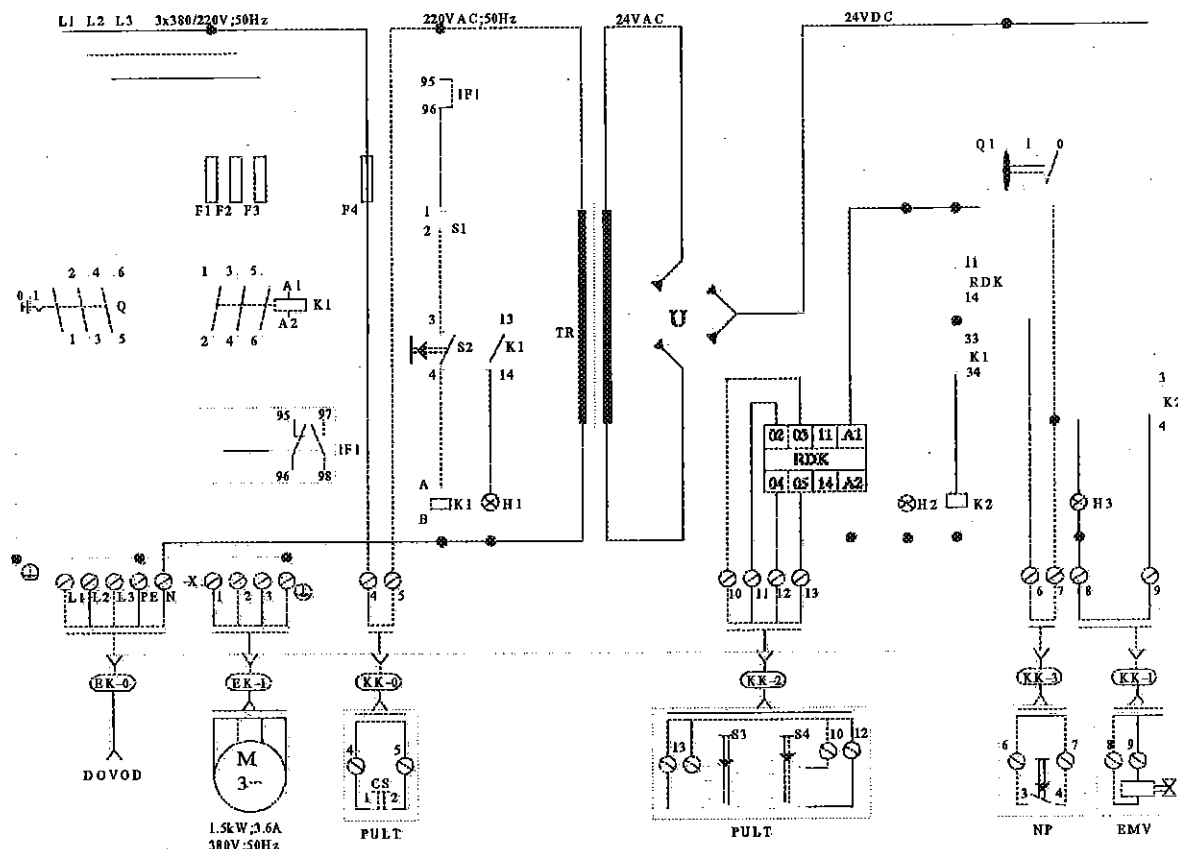
Puštanje u rad elektomotora vrši se pomoću tastera.

Zaštita od štetnog dejstava struje kratkog spoja je izvedena automatskim osiguračima tipa L2A.

Zaštita elektomotora od preopterećenja je izvedena bimetalnim isključivačima u tri faze, opsega regulacije od 2 do 4A, podešenim na 3,6A.

Zaštita od indirektnog napona dodira je izvedena zaštitnim uzemljenjem (nulovanjem),

posebno žilom priključnog voda.



Sl.4. Komandna šema "EP"

3.3. RUKOVANJE - RAD SA MAŠINOM

A - Pojedinačna proizvodnja

Dvoručna komanda se koristi u slučaju pojedinačnog opsluživanja mašine.

Startovanje prese se ostvaruje preko dvoručne komande. Dvoručna komanda daje impuls elektropneumatskom razvodniku koji preko pneumatskog cilindra i poluge uklinjuje obrtni klin čime se ostvaruje kruta veza između ekscentarskog vratila i zamajca, i na taj način ostvaruje prenos obrtnog momenta.

U slučaju odizanja ruku sa tastera dvoručne komande, dvoručna komanda daje impuls elektropneumatskom razvodniku, koji preko pneumatskog cilindra i poluge vrši isključenje obrtnog klina i samim tim zaustavlja kretanje alata.

B - Serijska proizvodnja

U slučaju serijske proizvodnje mašina se startuje preko nožne komande, a zaštita se izvodi putem mreže koja se postavlja ispred zone opasnog dejstava. U ovom slučaju treba koristiti sistem takozvanih zatvorenih alata.

Nemoguće je koristiti istovremeno i dvoručnu i nožnu komandu mašinom. Prebacivanje sa jedne na drugu komandu se vrši preko zaštitne brave.

C - Zaustavljanje mašine

Zausavljanje mašine se vrši preko tastera "central stop". Aktiviranjem tastera "central stop" pogonskom agregatu se prekida napajanje električnom energijom čime se obezbeđuje

zaustavljanje.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega iznetog u ovom radu mogu se izvući sledeći zaključci, i to:
Izvršena rekonstrukcija i tehničko usavršavanje sistema upravljanja omogućilo ostvarenje potpune bezbednosti pri radu.
Primenjeno rešenje onemogućava opslužioca da postavi svoje ekstremitete u opasnu zonu mašine za opasno vreme.
Primenjeno rešenje moguće je prilagoditi za sve tipove presa.

5. LITERATURA

1. Predrag Popović, Mašine za obradu materijala deformisanjem - I deo, Univerzitet u Nišu, 1991, Niš.
2. Predrag Popović, Dragan Temeljkovski, Mašine za obradu materijala deformisanjem - II deo, Univerzitet u Nišu, 1991, Niš.
3. Standardi JUS - EN 574, Bezbednost mašina - Uređaji za dvoručno upravljanje

THE RECONSTRUCTION OF THE PRESS CONTROL SYSTEM

ABSTRACT

The presses of the last generation with their control system do not provide for the safe operating process. That is the reason why the reconstruction and technical advancement of the control system has been performed. The aim is to provide for the absolute safety and consistency with the safety regulations and regulations for the safety measures in the process of operation. The basic principle of this solution is to prevent the worker from putting its hands in the dangerous zone of the machine during dangerous time. The system has been applied in the reconstruction of the 200 kN press with a rotation key (the designer and manufacturer - MIN dd. FAM). With certain alterations it is possible to apply it to other types of presses.

SOFTVERSKI PODRŽANA FMEA ANALIZA

V. Zeljković, G. Petkovska-Banović¹

REZIME:

U radu je prikazan način primene FMEA analize primenom softvera, što omogućava primenu na veoma složenim sistemima i obradu velikog broja podataka, mogućnost pretraživanja po različitim parametrima, pregled kritičnih elemenata, iznalaženje elemenata sa najmanjom pozdanošću, sagledavanja mogućnosti detekcije otkaza i potrebe za nadgledanjem rada i identifikacijom otkaza, formiranje zapisa kvaliteta i drugo. Prikazana je analiza barijera čije ispravno funkcionisanje sprečava prodor prekomerne energije u strujno kolo i stvaranje uslova za katastrofalni otkaz u eksplozivnim sredinama. Ključne reči: FMEA, CIL, Power Builder

1. UVOD

FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) ima široku primenu u oblasti pouzdanosti [1,2]. Uvodjenje sistema kvaliteta posebno naglašava primenu ove metode. Naprimer, dokumenti kvaliteta velikih svetskih firmi navode kao neophodnost korišćenje FMEA [3].

FMEA se koristi u fazi razvoja, proizvodnje i održavanja proizvoda.

U fazi razvoja se vrše različite analize, najčešće funkcionalna, hardverska, FMEA sa analizom kritičnosti (FMEA/CIL) i druge. FMEA se primenjuje u ranim fazama razvoja proizvoda (faza koncipiranja i projektovanja) da bi se sagledali svi mogući modovi otkaza elementa i podsistema i razmatrala odgovarajuća rešenja u cilju eliminacije potencijalnih otkaza. Zato je FMEA važna metoda u analizi pouzdanosti. Ako se uradi u ranim fazama proizvoda može imati ogrman uticaj na smanjenje uzroka otkaza sistema u toku upotrebe. FMEA obezbeđuje detaljno sagledavanje sistema, medjuveza i potencijalnih otkaza. FMEA i CIL (lista kritičnih elemenata) ukazuju na verovatnoću slučajnog otkaza i kritičnost svakog elementa na funkcionisanje sistema.

Koristi od primene FMEA su višestruke:

- Otkriva potencijalne modove otkaza,
- Otkriva kritične i slučajne (hazard) otkaze i uslove otkaza,
- Pokazuje efekte otkaza,
- Pokazuje potrebu za detekcijom otkaza,
- Pruža pomoć pri pravljenju blok-dijagrama pouzdanosti,
- Pruža pomoć pri pravljenju dijagnostičkih karti za održavanje,
- Pruža pomoć pri izradi priručnika za održavanje,
- Pruža pomoć pri projektovanju sistema za samotestiranje (BIT-testa) ispravnosti rada i detekcije otkaza,
- Omogućava analizu potrebe višestrukosti elemenata i sistema,
- Pruža pomoć pri analizi i ispitivanju sistema,
- Služi kao formalan zapis analize bezbednosti i pouzdanosti

Pri primeni FMEA je pogodno koristiti softverske pakete. Ovi paketi pružaju mogućnost

¹ Dr Vladimir Zeljković, dipl. mas. ing, Lola Institut Beograd
Grozda Petkovska-Banović, dipl.el.ing., Lola Institut, Beograd

obrade velikog broja podataka koji se nalaze kod složenih sistema i omogućuje lako pretraživanje ovih podataka. Najčešće je od interesa pretraživanja po kritičnosti elemenata (naprimjer identifikovanje elemenata sa katastrofalnim otkazima sa posledicama na bezbednost ljudi i okolinu) ili iznalaženje elemenata sa najnižim nivoom pouzdanosti, pretraživanje po elementima za koje se traži detekcija i nadgledanje i drugo. Moguće je formiranje zapisa i dokumenata i praćenje promene proizvoda u toku vremena.

U ovom radu je prikazan jedan prilaz FMEA u razvoju proizvoda baziran na rangiranju kritičnosti otkaza u tri nivoa (1- katastrofalni otkazi, 2- otkaz performansi i 3- ostali otkazi) Izloženi su moduli softverskog paketa i prikazan način pretraživanja po kritičnosti elemenata. Za primer je uzeta barijera koja se ugrađuje u sisteme koji rade sa eksplozivnim sredinama i gde katastrofalni otkaz može dovesti do velikih materijalnih šteta.

2. ANALIZA MODOVA I EFEKATA OTKAZA (FMEA) I LISTA KRITIČNIH ELEMENATA (CIL)

Analiza modova/oblika otkaza i efekata tih otkaza na sistem FMEA (Failure Modes and Effect Analysis) je metodologija za analizu i otkrivanje:

- (1) - Svih mogućih modova otkaza,
- (2) - Efekata koje ti otkazi imaju na sistem i
- (3) - Kako korigovati ili umanjiti otkaze ili efekte otkaza na sistem. Korekcija i umanjeње je obično bazirano na rangiranju kritičnosti i verovatnoće otkaza

Pod modovima otkaza se podrazumevaju svi oblici, načini na koje element može da otkaze. Podsystemi mogu imati više modova otkaza i sve ove modove je potrebno analizirati.

Pri sprovođenju procedure FMEA radi se:

- Kompletno sagledavanje sistema:

- (1) - Određivanje funkcija svih komponenti,
- (2) - Izrada funkcionalnog i blok dijagrama,
- (3) - Dokumentuje sve okolnosti i zadatke sistema

- Identifikacija svih potencijalnih modova otkaza svake komponente,

- Uspostavlja efekte otkaza na višem (sledećem) nivou sistema

- (1) - Određuje metod detekcije otkaza,
- (2) - Određuje postojanje zajedničkih modova otkaza,

- Određuje kritičnost otkaza, rangiranje i CIL,

- (1) - Pravi CIL,

(2) - Studija analize korekcija/zadržavanje rešenja,

- Obezbedjuje pogodno praćenje i korekcije.

Pri analizi otkaza se koriste izrazi:

- Mehanizam otkaza iskazuje zašto element otkazuje,

- Modovi otkaza pokazuju kako element otkazuje, i

- Napon (stres) otkaza, ukazuje na opterećenje kao uzrok otkaza.

Pri analizi je veoma bitno sagledati mehanizme otkaza, modove otkaza, a posebno opteređenje kao jedan od osnovnih uzročnika otkaza.

Kroz mehanizme otkaza obično se analiziraju razlozi zašto dolazi do otkaza, kao što su

- Zamor/ Lom,

- Strukturno preopterećenje,

- Električno preopterećenje,

- Istrošenost (otkaz podmazivanja),

- Istrošenost,

- Otkaz zaptivanja,

- Hemijska nagrivanja,

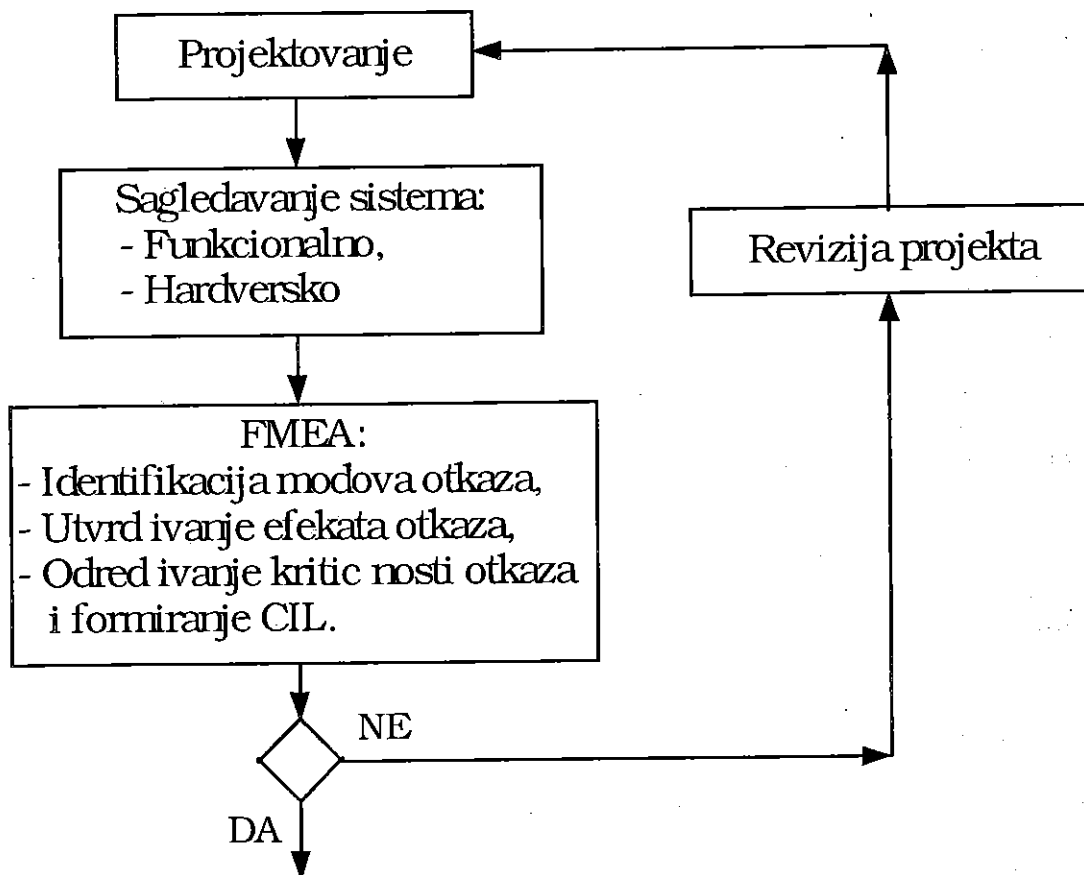
- Oksidacija,

Pri analizi modova otkaza se razmatra nekoliko pitanja:

- Na koliko načina element može da otkaze ?

- Verovatnoća svakog otkaza ?
- Da li postoji medjuuticaj komponenti pri otkazu ?
- Da li su uobičajeni otkazi ?
- Ko poznaje ovakve otkaze ?

Dijagram toka anize je pokazan na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka FMEA / CIL

Pri proceduri FMEA u fazi razvoja se koriste standardni formulari, koji evidentiraju sve elementa i na pregledan način pokazuju osnovne modove otkaza, efekte otkaza, kritičnost otkaza na bezbednost ljudi, korektivne mere, Slika 2.

* FORMULAR - STANDARDNI - 1

NAZIV: _____

SISTEM: _____

ANALIZIRA (IME): _____

STRANA ___ OD ___

DATUM _____

1	2	3	4	5	6	7
Opis elementa	Funkcija	Modovi otkaza	Uzroci otkaza	Efekti otkaza	Korektivne mere, Detekcija	Kritičnost/Rangiranje

Slika 2. Standardni formulari FMEA

* FORMULAR - STANDARDNI - 2

NAZIV: _____					STRANA ___ OD ___			
SISTEM: _____					DATUM _____			
ANALIZIRA (IME): _____								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Opis elemen ta	Funkc ija	Modo vi otkaza	Uzro ci otka za	<u>Efekti otkaza</u> Lokalni Krajnji	Detekci ja	Verovatn oća otkaza P_f	Kritičn ost/ Rangira nje	Napomena- korektivne mere

Slika 3. Standardni formulari FMEA

Analiza kritičnosti elemenata i rangiranje (CIL)

Analiza kritičnosti elemenata obuhvata:

- Označavanje kategorije kritičnosti u odnosu na bezbednost, višestrukost, efekte otkaza i drugo,
- Razvijanje i primena kriterijuma za određivanje koje elemente (modove otkaza) treba uključiti u listu kritičnih elemenata,
- Razmatranje neophodnosti i nivoa uvišestručavanja,
- Analiza svakog kritičnog elementa i potrebe za korekcijama i poboljšanjima.

Kategorije kritičnosti elemenata koje se često koriste (u vazduhoplovstvu) su:

- 1 - Jedan otkaz koji može dovesti do gubitka sistema ili ljudi
- 1R - Redundantan element, ako svi redundantni elementi otkazu rezultat je gubitak sistema ili ljudi,
- 1S - Komponenta sistema projektovana tako da obezbedi bezbednost ili mogućnost zaštite od hazardnih uslova,
- 1SR - Redudantna komponenta gde pri otkazu sledi 1S,
- 2 - Jedan otkaz koji može rezultirati gubitku zadatka (kritičnih misija),
- 3 - Svi ostali otkazi.

Otkazi se dele u tri grupe: (1) - otkazi koji utiču na bezbednost ljudi, (2) - otkazi koji utiču na prekid određenih funkcija sistema i (3) - svi ostali otkazi.

U praksi se koristi i drugačiji način rangiranja kritičnosti otkaza. Pri ovome se koristi i rangiranje efekata otkaza, kao i rangiranje mogućnosti i stepena detekcije otkaza.

Pri projektovanju kritičnih elemenata osnovni cilj je minimizacija verovatnoće otkaza. Pri tome se pokazuju načini ispitivanja koji mogu detektovati kritične modove otkaza za vreme prijemnih ispitivanja, uhodavanja, u radu, pri samotestiranju (BITE). Posebno je bitno iskazati sve postupke pri primeni kontrole kvaliteta u otklanjanju stanja kritičnih elemenata. Jedan od značajnih faktora u umanjenju kritičnih otkaza je potpuno preventivno održavanje i održavanje prema stanju (on condition).

Kao što je već istaknuto, svrha FMEA je da identifikuje različite otkaze i modove otkaza koji se mogu desiti elementu, podsistemu, sistemu, kao i ratmatranje posledica tih otkaza.

3. SOFTWARE

Realizovan je program koga čine tri modula:

- modul za administriranje projekata
- modul za formiranje standardne FMEA liste

- modul za dobijanje liste kritičnih elemenata (CIL - Critical Item List)

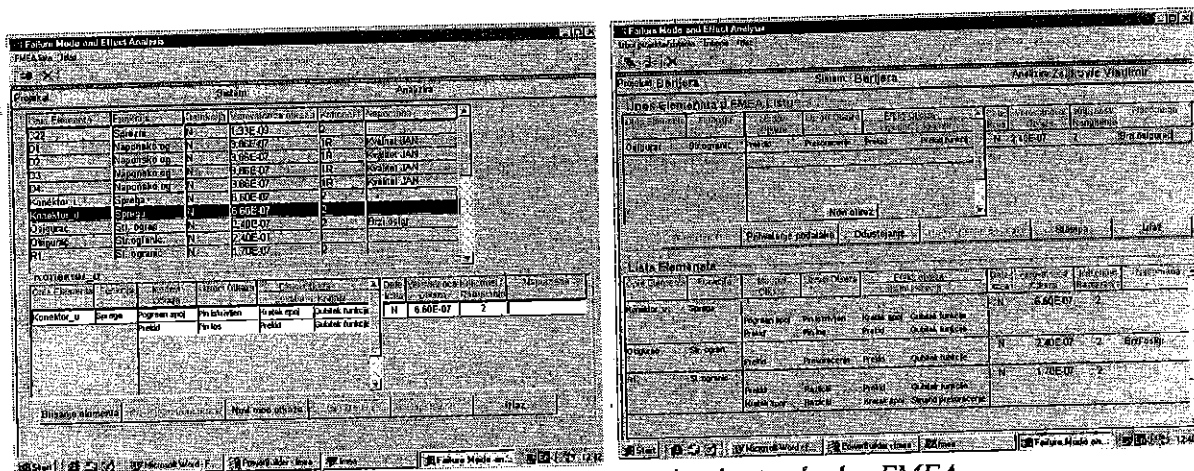
Modul za administriranje projekata čine ekran unosa / izmene podataka o projektima i pripadajućim sistemima i ekran izbora projekta i sistema za koji se vrši FMEA analiza. Njegova funkcija je pružanje mogućnosti korišćenja ovog programa za više razvojnih projekata.

Modul za formiranje standardne FMEA liste omogućava unos podataka o elementima sistema koji je predhodno selektovan, njihovoj funkciji, modovima otkaza, efektima otkaza, verovatnoći i rangiranju otkaza itd. Pored toga omogućava dobijanje liste unetih elemenata i mogućnost njihove štampe. Razvijen je i ekran ažuriranja svih unetih podataka o elementima (izmena, brisanje kao i dodavanje novih modova otkaza itd.)

Modul za dobijanje liste kritičnih elemenata (CIL - Critical Item List) omogućava selektovanje onih elemenata iz sistema čiji je otkaz rangiran sa 1. Data je mogućnost i štampe dobijene liste kritičnih elemenata.

Program je realizovan u PowerBuilder razvojnom okruženju kao Windows aplikacija.

Radi pod Windows95 operativnim sistemom i zahteva minimalno 486 PC računar.



Slika 4. Modul za formiranje i ažuriranje standardne FMEA

4. PRIMER: ZAŠTITNE BARIJERE SERIJE 9800

Primena realizovanog programa ilustrovana je na primeru zaštitne barijere serije 9800 (razvijena i proizvedena u Lola Institutu) koja predstavlja pasivnu jednokanalnu barijeru za razdvajanje samosigurnosnog od nesamosigurnosnog strujnog kola, radi sprečavanja prodora električne energije većeg nivoa od dozvoljenog u samosigurnosno strujno kolo. Postavljaju se u strujnim kolima na ulazu i/ili izlazu ugroženog prostora. Zaštitne barijere obezbeđuju (otpornicima i zener diodama) strujno i naponsko ograničenje električnog signala. Nakon sprovedene FMEA analize kojom su obuhvaćene sve komponente ugrađene u zaštitnu barijeru kao značajni rezultat je dobijena lista kritičnih elemenata (CIL) prikazana na slici 5. Ovaj primer je utoliko ilustrativniji jer sadrži komponente čiji otkaz može da prouzrokuje katastrofalne posledice.

Kod elementa	Parti	Vrsta	Uzrok	Simbol	Svrha	Dok	Kritičnost	Preventivna	Verovatnoća
01	Napona	Kratki spoj	Slabost	Prekid	Uspostavljanje	N	3.88E-07	III	Kvalitet JAK
02	Napona	Kratki spoj	Slabost	Prekid	Uspostavljanje	N	3.88E-07	III	Kvalitet JAK
03	Napona	Kratki spoj	Slabost	Prekid	Uspostavljanje	N	3.88E-07	III	Kvalitet JAK
04	Napona	Kratki spoj	Slabost	Prekid	Uspostavljanje	N	3.88E-07	III	Kvalitet JAK
05	Strujni DD	Površinski	Prekid	Prekid	Uspostavljanje	N	1.00E-07	III	Kvalitet JAK

Slika 5. Lista kritičnih elemenata na primeru zaštitne barijere

5. ZAKLJUČAK

Realizovan program ima za cilj da pojednostavi, olakša i sistematizuje unošenje podataka koji su od interesa pri sprovođenju FMEA analize i da omogući brzo izdvajanje onih komponentata u sistemu čiji je uticaj otkaza presudan bilo za rad pojedinih funkcija sistema ili za izdvajanje kritičnih elemenata čiji otkaz može da dovede do katastrofalnih posledica.

LITERATURA

1. Ljubiša Papić : *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, Theoretical and Applied Aspects, čačak, 1994
2. Dimitri Kececioglu : *Reliability Engineering Handbook*, Vol 1 and 2, Prentice Hall Ptr, NJ, 1991
3. --- ' *Advanced Product Quality Planning Manual* ' Siemens Electric Limited, London, 1996,
4. Steve Erlank, Craig Levin : *Power Builder 5.0 Osnovne tehnike*, Mikro knjiga, 1996.

FMEA SUPPORTED BY SOFTWARE PROGRAM

Summary

In this paper, FMEA is presented supported by software program. In this way, it is possible to analyze complex systems counting large number of elements with different failure modes, to investigate the list of critical items, to find elements with lower reliability, to identify the possibility of failure detection, to form the quality record. The barrier is analyzed as example.

Key words: FMEA, CIL, Power Builder

PRAKTIČNO ODREĐIVANJE POUZDANOSTI SOFTVERA

V. Zeljković, N. Radovanović¹

REZIME

U radu je pokazan praktičan način testiranja softvera, uklanjanja grešaka i dovodjenja softvera na zahtevani nivo pouzdanosti. Izloženi matematički model pouzdanosti softvera koji se dobija testiranjem softvera je baziran na obliku kumulativne funkcije očekivanog broja otkaza u vremenu. Na osnovu modela je moguće proceniti ukupan broj grešaka u softveru, preostali broj grešaka posle određenog vremena testiranja, intenzitet otkaza i MTTF, kao i pouzdanost odnosno verovatnoću da će softver raditi predviđeni interval vremena bez otkaza t , posle vremena T . Izložena metodologija testiranja softvera i otklanjanja grešaka je ilustrovan sa dva primera iz prakse. Analiziran je složen softverski sistem za upravljanje delom procesa jedne fabrike u Parčevu. Oba softvera su razvijena u LOLA Institutu. U toku razvoja su evidentirani podaci na osnovu kojih su procenjeni parametri za predložene modele pouzdanosti i odabran najpogodniji model. Procenjen je ukupan broj grešaka u softveru, brzina otklanjanja grešaka, preostali broj grešaka posle određenog vremena, očekivano vreme sledeće greške, kao i pouzdanost da će softver raditi bez otkaza predviđeno vreme. Izloženom metodologijom su kvalitet softvera i pouzdanost dovedeni na zahtevani nivo. Predložena metodologija ima praktičnu primenu za procenu i potvrdu pouzdanosti i tokom razvoja i održavanja softvera i omogućava dovodjenje pouzdanosti softvera na visok nivo što je značajno za ukupan kvalitet softvera.

1. UVOD

Danas, softverski sistemi su prisutni u svakodnevnom životu, u upravljanju fabrikama, bankarstvu, poštama, telefoniji, elektro sistemima, saobraćaju. Na njima baziraju (životno) kritični sistemi kao što su medicinska oprema, let aviona, nuklearne elektrane, gde bi otkaz mogao dovesti do katastrofe i gubitka života. Važan aspekt kvaliteta računarskih sistema u primeni je nivo poverenja (sigurnosti) da će sistem obaviti namenjenu funkciju u predviđenom vremenu. Procena, razvoj i potvrda ove karakteristike kvaliteta je važna i za projektante i za korisnike računarskih sistema.

Kod mehaničkih i elektro sistema je moguće proračunati i proceniti nivo pouzdanosti u fazi projektovanja, na bazi raspoloživih podataka o pouzdanosti komponenti, podsistema i iskustva. Međutim, realizovani sistem ima potencijalne mogućnosti otkaza. Zato se u fazi razvoja i proizvodnje obavljaju testovi kojima se povećava nivo pouzdanosti sistema (RGT - Reliability Growth Test) ili se potvrđuje zahtevani nivo pouzdanosti (AT - Acceptance Test). Kod softvera nije moguće proračunati nivo pouzdanosti u fazi projektovanja. Realizovani softver ima grešaka. U cilju smanjenja nivoa grešaka i dovodjenja softvera na zahtevani nivo pouzdanosti preduzimaju se dve vrste aktivnosti: prevencija unošenja greške u softver u fazi izrade, i testiranje softvera sa ciljem otkrivanja grešaka, korekcija softvera i smanjenja preostalog broja grešaka.

Postoji velik broj mera koje se preduzimaju pri prevenciji unošenja grešaka u fazi izrade. Takodje je poznato više modela testiranja softvera kojima se obezbeđuje rast pouzdanosti

¹ Vladimir Zeljković, Nela Radovanović, LOLA Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a
Projekat MNT Srbije br S.5.33.71.0110

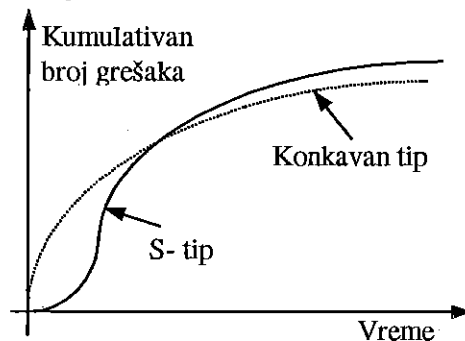
softvera i dovodjenje na zahtevani nivo. Na kraju razvoja se vrši verifikacija pouzdanosti softvera i prijem. Metode prevencije unošenja grešaka u softver su pokazani u mnogim standardima i uputstvima i ovde neće biti analizirane. Treba naglasiti da se sve izmene tokom održavanja sistema sprovode po istom procesu kao i da se realizuje nov sistem. U nastavku teksta ćemo izneti određene modele procene pouzdanosti softvera.

2. POUZDANOST SOFTVERA

Slično i kao kod pouzdanosti harvera, pouzdanost softvera se definiše kao verovatnoća da će sistem obavljati namenjenu funkciju bez otkaza u predviđenom vremenu i u specificiranim uslovima. Znači, pouzdanost softvera izražava/kvantifikuje verovatnoću pojave greške.

Učestanost sa kojom se otkazi pojavljuju, intenzitet otkaza, ukazuje na nivo pouzdanosti. Za softverske sisteme je karakteristično da se intenzitet otkaza sa vremenom smanjuje i da pouzdanost sistema raste. Rast pouzdanosti softvera i smanjenje intenziteta grešaka se obezbeđuje permanentnom korekcijom grešaka u fazi testiranja softvera.

U procesu testiranja softvera ukupan broj grešaka koje su otkrivene raste. Praksa je pokazala dva tipa rasta broja grešaka: konkavni i S- tip, slika 1. Kod oba tipa se javlja asimptotsko smanjenje broja grešaka i težnja ka nekoj konstantnoj vrednosti. Pojava S- tipa porasta kumulativnog broja grešaka se uglavnom vezuje za nedovoljno efikasno testiranje na početku, tako da se neke greške ne detektuju.



Slika 1. Rast kumulativnog broja grešaka pri testiranju softvera

Za inženjerske analize je potrebno poznavanje matematičkog modela rasta pouzdanosti softvera. Primenjeni modeli najčešće iskazuju promenu intenziteta otkaza u vremenu, promenu očekivanog broja otkaza do određenog vremena, ili promenu srednjeg vremena do otkaza u vremenu, odnosno bazirani su na $\lambda_s(t)$, $m(t)$ i $MTTF_s(t)$. U literaturi se analizira više modela [3, 4, 5, 6]: eksponencijalni, G-O, Gompertz, Pareto, Weibull, i drugi. U daljem tekstu će se izložiti eksponencijalni model rasta pouzdanosti softvera i jedan primer iz prakse.

3. MODEL RASTA POUZDANOSTI SOFTVERA

Zbog grešaka u softveru javljaju se (u radu ili pri ispitivanju) otkazi sistema u slučajnim vremenima. Svaki put kad se desi otkaz, greška softvera se otklanja. Najčešće se pretpostavlja da se pri korekciji softvera ne unose nove greške, tako da intenzitet otkaza permanentno opada od početka testiranja. (Medjutim u praksi je primećeno da postoje slučajevi kada se na početku testiranja softvera prvo javi porast intenziteta otkaza, a potom permanentno opadanje intenziteta otkaza.) Pri pravljenju matematičkog modela zakonitosti otkaza usled grešaka u softveru, najčešće se koristi Poasonov proces (poznat kao nehomogeni Poasonov proces NHPP). Kumulativan broj otkaza $M(t)$ je funkcija vremena i opisuje se Poasonovom raspodelom. Verovatnoća P_r da će kumulativan broj otkaza $M(t)$ u vremenu t biti jednak k je:

$$P_r\{N(t) = k\} = \frac{[m(t)]^k}{k!} e^{-m(t)}, \quad k=0,1,2,\dots \quad (1)$$

gde je $m(t)$ očekivani broj otkaza do t . Na početku testiranja nema otkaza $m(0)=0$, a kada se vreme testiranja značajno povećava $t \rightarrow \infty$ očekivani broj otkaza asimptotski teži određenoj

konstanti $m(t \rightarrow \infty) = \alpha$. Očekivani broj preostalih otkaza posle vremena t je

$$n(t) = E\{m(\infty) - m(t)\} \tag{2}$$

Intenzitet otkaza se određuje kao izvod funkcije $m(t)$,

$$\lambda(t) = \frac{dm(t)}{dt} \tag{3}$$

a pouzdanost je

$$R(T|t) = e^{-\int_t^{t+T} \lambda(\tau) d\tau} = e^{-\{m(t+T) - m(t)\}} \tag{4}$$

gde je T - dužina misije (zadatka) počev od t

Do sada je razmatrano više modela $m(t)$ [11], tabela 1.

Tabela 1. Modeli funkcije $m(t)$

Ime	Oblik	$m(t)$
Gompertz	S- oblik	$a(b^{e^t})$
Weibull	konkavan	$a(1 - e^{-bt^c})$
Pareto	konkavan	$a[1 - (1 + t/\beta)^{1-\alpha}]$
Yamada Raleigh	S-oblik	$a \left[1 - \exp \left\{ -r\alpha \left(1 - e^{-\frac{1}{2}\beta t^2} \right) \right\} \right]$

Ako se $m(t)$ definiše kao

$$m(t) = \alpha(1 - e^{-\beta t}) \tag{5}$$

tada je intenzitet otkaza

$$\lambda(t) = m'(t) = \alpha\beta e^{-\beta t} \tag{6}$$

Zamenom $a = \alpha\beta$ i $b = \beta$, model (5) se svodi na eksponencijalni slučaj (konkavni model poznat kao Musa model).

Ovde će se prikazati modifikovani G-O model S- tipa

$$m(t) = \alpha[1 - (1 + \beta t)e^{-\beta t}] \tag{7}$$

gde su α i β konstante modela. Za $t=0$ je $m(0)=0$ i kada $t \rightarrow \infty$ je $m(\infty)=\alpha$. Vremenska funkcija intenziteta otkaza je

$$\lambda(t) = \alpha\beta^2 t e^{-\beta t} \tag{8}$$

gde je $\lambda(0)=0$ i $\lambda(\infty)=0$. Preostali broj grešaka je

$$n(t) = \alpha(1 + \beta t)\exp(-\beta t) \tag{9}$$

a pouzdanost

$$R(T|t) = \exp[-\alpha\{1 + \beta t\}\exp(-\beta t) - [1 + \beta(t+T)]\exp[-\beta(t+T)]] \tag{10}$$

Model je određen ako su poznate konstante α i β . Pri testiranju softvera se mere otkazi $i=1, 2, \dots, j$ i vreme pojave otkaza t_1, t_2, \dots, t_j odnosno par (i, t_i) , pri čemu je i - kumulativni broj otkaza. Za j parova (i, t_i) , sa konstantnim očekivanim brojem otkaza u intervalu (t_i, t_{i+1}) , može se napisati funkcija maksimalne verodostojnosti

$$L = \prod_{i=0}^{j-1} \frac{[m(t_{i+1} - t_i)]^i}{i!} e^{-m(t_{i+1} - t_i)} \tag{11}$$

gde je $m(t_{i+1} - t_i)$ određeno izrazom (15) kao funkcija konstanti α i β . Ako se uzme izvod $\log L$ po α i β i izjednači sa nulom, dobijaju se dve jednačine

$$\frac{d(\log L)}{d\alpha} = 0, \quad \frac{d(\log L)}{d\beta} = 0 \tag{12}$$

čije rešenje daje najbolju procenu konstanti $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$.

Za dovoljno veliki broj parova j , procene se parametri (u opštem slučaju $\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_l$) pomoću metode meksimalne verodostojnosti. Podaci teže normalnoj raspodeli, što se koristi pri određivanju granica poverenja na procenjeni model. Gornja i donja granica se mogu naći iz izraza:

$$m_{U/L}(t) = m(\hat{\delta}, t) \pm K_\gamma \sqrt{\text{Var}[m(\hat{\delta}, t)]}, \quad (13)$$

gde su:

$m_{U/L}(t)$ - gornja i donja granica očekivane vrednosti kumulativnog broja otkaza,

$m(\hat{\delta}, t)$ - procena modela,

K_γ - vrednost $100(1-\gamma)/2$ procenta standardne normalne raspodele,

$\text{Var}[m(\hat{\delta}, t)]$ - varijansa funkcije $m(t)$.

Varijansa funkcije $m(t)$ se određuje kao:

$$\text{Var}[m(\delta, t)] = \left[\frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_1}, \frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_2}, \dots, \frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_l} \right] \cdot \text{Cov}[m(\delta, t)] \cdot \begin{bmatrix} \frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_1} \\ \frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial m(\delta, t)}{\partial \delta_l} \end{bmatrix} \quad (14)$$

određeno pri vrednostima $\hat{\delta}_1, \hat{\delta}_2, \dots, \hat{\delta}_l$. Vrednost kovarijansne matrice se određuje iz:

$$\text{Cov}[m(\delta, t)] = I^{-1}, \quad (15)$$

gde su elementi Fisherove matrice:

$$I_{ij} = E \left[-\frac{\partial^2 l(\delta)}{\partial \delta_i \partial \delta_j} \right], \quad i, j = 1, 2, \dots, l \quad (16)$$

Za ocenu usešnosti i poredjenje različitih modela može se koristiti vrednost kvadrata razlike stvarnih i ocenjenih vrednosti funkcije kumulativnog broja otkaza:

$$LS = \sum_{i=1}^n [k_i(t_i) - \hat{m}(t_i)]^2. \quad (17)$$

Manja vrednost LS pokazuje da usvojeni model bolje sledi merene rezultate (t_i, k_i).

4. PRIMER

Razmatran je softver razvijan za upravljanje delom procesa u jednoj fabrici. Podaci dobijeni analizom i korigovanjem grešaka softvera dati su u tabeli 3.

Tabela 3. Podaci za softver

Datum	T_i [meseci]	Broj grešaka u intervalu	Kumulativni broj grešaka $k_i(T_i)$	Napomena
01.09.97.	T_0			
12.09.97.	$T_1=1$	2	2	
18.09.97.				
16.10.97.	$T_2=2$	2	4	
23.10.97.				
06.11.97.	$T_3=3$	1	5	
28.01.98.	$T_4=5$	3	8	
09.02.98.	$T_5=6$	3	11	
26.02.98.				
16.03.98.	$T_6=7$	1	12	
04.04.98.	$T_7=8$	3	15	Nova verzija

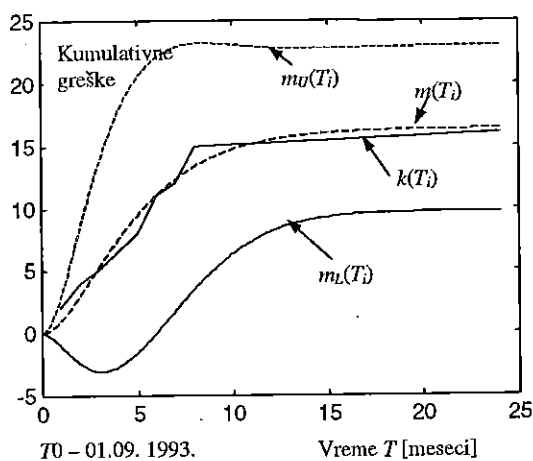
15.03.00 $T_g=29$ 1 16

Usvojen je G-O model očekivanog broja otkaza: $m(T) = \alpha(1 - (1 + \beta t)e^{-\beta t})$. Analogno predhodnom primeru, nadjena je najbolja procena parametara $\hat{\alpha}=16.36$ i $\hat{\beta}=0.3880$ sa $L_{min}=7.2758$. Model očekivanog broja grešaka, slika 3., je: $m(T) = 16.36(1 - (1 + 0.388t)e^{-0.388t})$. Na predhodnoj slici su prikazane donja i gornja granica očekivanog kumulativnog broja grešaka, određene sa nivoom poverenja 0.9. Promena intenziteta otkaza u vremenu je prikazana na slici 4.

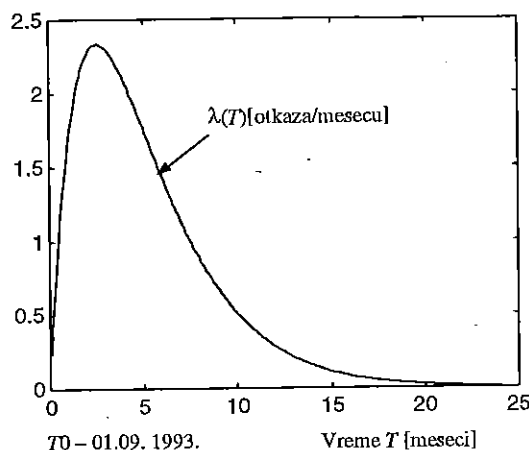
Očekivani preostali broj otkaza posle 24 meseci testiranja je: $m(T=24) = E\{\hat{\alpha} - m(T=24)\} = 0.0152$. Verovatnoća da će softver raditi 1 mesec bez otkaza, posle testiranja od 24 meseca, je: $R(14) = e^{-\{m(1+24)-m(24)\}} = 0.9955$, a očekivano vreme sledećeg otkaza je: $\theta(T=24) = 187.2804$ meseca.

Za Weibullov model očekivanog kumulativnog broja otkaza se dobijaju sledeće vrednosti $L_{min} = 6.2468$, $\hat{a} = 16$, $\hat{b} = 0.0800$, $\hat{c} = 1.5000$, $dev = 4.1115$.

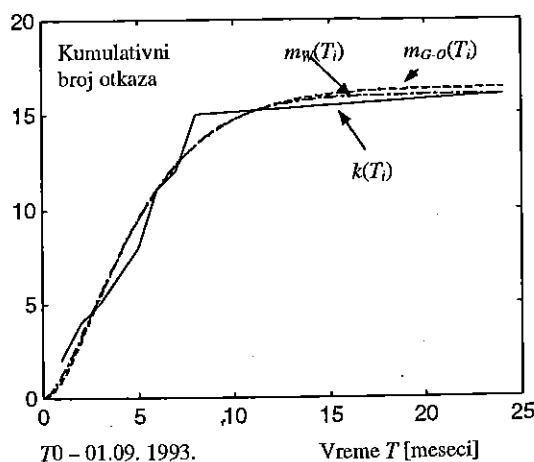
Uporedjenje G-O i Weibullovog modela je pokazano na slici 5.



Slika 3. Mereni i očekivani kumulativni broj otkaza



Slika 4 Intenzitet otkaza



Slika 5 Uporedjenje G-O i Weibull-ovog modela

Vidi se da su oba modela relativno bliska. G-O model daje nešto veći očekivani ukupan broj otkaza (16.36) i kvadrat greške je nešto veći (7.2758) u odnosu na Weibullov model sa

podacima (16) i (6.2468) respektivno.

5. ZAKLJUČAK

Danas je prisutna široka primena softvera, kako u našim svakodnevnim poslovima, tako i u obavljanju različitih funkcija u velikim sistemima (elektroprivredi, telekomunikacijama, saobraćaju), bankarstvu, fabrikama, školama i drugim oblastima. Posebno treba istaći primene softvera u kritičnim funkcijama kao što su medicinska oprema, upravljanje letom aviona, nuklearne centrale, gde greška softvera može dovesti do otkaza sistema sa velikim posledicama: ekološke katastrofe, velike materijalne štete, ugrožavanje ljudskih života, i drugo. Nesumnjivo je da je pouzdanost i kvalitet softvera izuzetno bitan.

U radu je prikazan način analize pouzdanosti softvera. Prikazani su modeli predstavljanja pouzdanosti softvera u obliku kumulativnog broja grešaka, intenziteta otkaza, promenu očekivanog broja otkaza do određenog vremena, i srednjeg vremena do otkaza. Pokazan je način procene parametara modela pri testiranju rasta pouzdanosti softvera. Znači da postoji metodologija, poznati su matematički modeli pomoću kojih se može pouzdanost softvera dići na zahtevani nivo i proceniti najznačajniji parametri.

Izložena metodologija analize pouzdanosti je ilustrovana na konkretnom primeru softvera za upravljanje delom proizvodnog procesa, koji je razvijan u LOLA Institutu. Pokazano je da se izložena metodologija može uspešno koristiti tokom razvoja softvera za potvrdu i dovodjenje pouzdanosti softvera na željeni nivo.

LITERATURA

1. F. J. Heemstra and R.J. Kusters: *Software cost estimation in the Netherlands*, Proceedings of Project Control for Software Quality, April 1999, England.
2. He Guowei: *Software Reliability - Growth Test and the Software Reliability - Testing Platform*, 1997 Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp 171-174.
3. Kaufman, L., M., Smith, D., T., Dugan, J., B., Johnson, B., W.,: *Software Reliability Analysis Using Statistics of the Extremes*, 1997 Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp 175-180.
4. Goel, L., A.,: *Software Reliability Models: Asumptions, Limitations, and Applicability*, IEEE Transaction on Software Engineering, Vol., SE-11. NO. 12, December 1985, pp 1411-1423.
5. Yamada, S., Ohba, M., and Osaki, S., : *S - Shaped Reliability Growth Modeling for Software Error Detection*, IEEE Transaction on Reliability, Vol. R-32. NO. 5, December 1983, pp 475-478.
6. Littlewood, B., and Verrall, J., L.,: *A Bayesian Reliability Model with a Stochastically Monotone Failure Rate*, IEEE Transaction on Reliability, Vol. R-23. NO. 2, June 1974, pp 108-114.

PRACTICAL APPROACH TO SOFTWARE RELIABILITY

Abstract

At the present moment we are witnessing our increasing dependence on software systems as they are becoming more and more complex, thus harder to develop and maintain. What's more important, software systems are present in many safety-critical applications such as power plants, health care systems, air-traffic. They all require: high quality, reliability and safety. In this paper we are first going to point out the basic nature of software reliability that distinguishes it from reliability of hardware systems. Further on we are going to show the modeling methods for estimating failure rate, failure intensity, etc., that can be applied to software systems. Mathematical model is illustrated by numerical data of software for process control in the factory, developed in LOLA Institut. During development, the data are collected and parameters of exponential model are estimated. It is calculated the total number of errors, remaining number after given testing time, error rate and MTTF, and reliability

MONITORISANJE STANJA ALATA NA ALATNIM MAŠINAMA KORIŠĆENJEM FAZI NEURALNIH MREŽA

I. Latinović¹, Lj. Lukić², V. Pezo³

REZIME

Ovaj rad prezentuje mogući pristup nadgledanju stanja alata na alatnim mašinama korišćenjem fazi neuralnih mreža uz metodu višestrukih osnovnih karakteristika za klasifikaciju stanja alata. Obuka i uženje fazi neuralnih mreža je izvedena u razumnom opsegu uslova rada alata (rezanja) na automatizovanom strugu. Ova klasifikaciona strategija je pokazala bolje rezultate od feed-forward neuralne mreže obučavane back-propagation algoritmom.

Ključne reči: fazi neuralne mreže, stablo odlučivanja, ekstrakcija karakteristika

Predložene su tri komponente za nadgledanje stanja alata na automatskoj mašini alatljici (strugu). Tri glavne komponente su zakoni fazi logike za neprecizne podatke, neuralne mreže za obučavanje i rezonovanje putem verovatnoće za neizvesne podatke. Ove tri komponente se po pravilu preklapaju. To su elementi "soft computation" pristupa. Za praćenje su odabrane tri veličine i to:

- vibracije,
- sila i
- snaga motora vretena.

Nabrojane veličine su iskorišćene kao osnova za "soft computation" da bi dale vrlo precizne podatke o trenutnom stanju alata. Obuka i učenje fazi neuralnih mreža je izvedena u razumnom opsegu uslova rada alata (rezanja) na automatizovanom strugu.

Ova klasifikaciona strategija je pokazala bolje rezultate od feed forward neuralne mreže obučavane back propagation algoritmom.

1. UVOD

Potrebe za efikasnom i robusnom mašinskom obradom i nadgledanjem procesa na automatizovanim mašinama alatljikama zahtevalo je dugotrajna istraživanja u oblasti senzora, procesiranja signala, ekstrakcije podataka, modeliranja strategije odlučivanja i na kraju upravljanja. U ovim oblastima veliki broj istraživača iz celog sveta dali su svoje doprinose.

Jedan od sistema su Inteligentni Senzorski Sistemi (ISS) (Darnfeld, 1986) i koji se sastoji od

- senzorskih elemenata,
- algoritama za procesiranje signala,
- interpretacije signala
- procedura za odlučivanje.

Automatski sistem za monitorisanje stanja alata mora omogućiti emuliranje, što približnije

¹ mr. Ilija Latinović, dipl. ing., LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd

² dr. Ljubomir Lukić, dipl. ing., LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd

³ Volodja Pezo ing., LOLA Fabrika računara, Bulevar revolucije 84, Beograd

uočavanje, prepoznavanje, reagovanje i sposobnost učenja ravnu ljudskoj. Cilj postižemo korišćenjem četiri komponente:

- indirektno senzorisavanje,
- uobličavanje signala,
- paralelno procesiranje informacija,
- bazu znanja, formirana učenjem.

Za monitorisanje stanja alata koriste se tehnike indirektnog detektovanja kao što su detektovanje silerezanja i detektovanje zvučnog signala. Obično su ovi signali dovoljni.

Prirodno zašumljene signale je potrebno obraditi da bi se izdvojile bitne karakteristike, a taj proces se naziva ekstrakcija karakteristika.

Sledi zadatak upoređivanja sa postojećim i/ili zadatim planom karakteristika i smeštanje u odgovarajuću klasu stanja alata i obrade. Proces može biti sekvencijalan ili paralelan.

Radi dobijanja korektnih odluka razvijeni su algoritmi obučavanja koji praktično, kao čovek, klasifikuju greške i poboljšavaju svoju moć detekcije i vrše procenu u razumnom opsegu uslova rezanja.

Primena neuralnih mreža na monitorisanje stanja alata datira od 1987. U radovima se spominju mrežne arhitekture sa tri sloja i to ulazni, skriveni i izlazni. Broj izlaznih neurona je dva i to za polomljen (istrošen) i oštar alat. Korišćena je feed forward neuralna mreža sa ugrađenim back propagation algoritmom za učenje. Fazi logika ima prednost kao sistematsko sredstvo kod opisivanja neizvesnosti u procesu rezanja a naročito pri opisu odnosa između stanja alata i načina obrade.

Izbor integracije informacija sa mnoštva senzora povećava tačnost i razrešuje problem dvosmislenosti saznanja iz okruženja. Najznačajnija prednost strategije mnoštva senzora je obogaćena informacija koja omogućava efikasnu ekstrakciju karakteristika i bolju strategiju pravljenja odluka.

2. VEŠTAČKE NEURALNE MREŽE

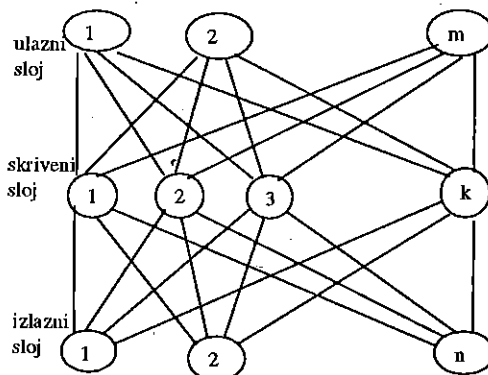
2.1 Struktura neuralne mreže

Neuralna mreža je matematički sistem napravljen za računanje pojedinih veličina zasnovan na izvesnom broju jednostavnih, dobro povezanih procesnih elemenata (neurona). Ovakav sistem za procesiranje informacija ima mogućnost dinamičkog odziva na eksterne ulaze (Caudill 1989). Po ovoj definiciji dva glavna elementa prave neuralnu mrežu:

- procesirajući element (neuron) i
- unutrašnje veze između procesirajućih elemenata.

Struktura neuralne mreže je definisana arhitekturom unutrašnjih veza između elemenata za procesiranje, zakona koji određuju da li će procesirajući element biti pobudjen i pravila upravljanja promenama između ulaza procesirajućih elemenata. Mreža se formira i modifikuje učenjem. Slika 1 to prikazuje. Neuralna mreža je obično podeljena na tri dela:

- ulazni sloj,
- skriveni sloj i
- izlazni sloj.



Slika 1. Neuralna mreža

Ulazni sloj, F_a , ima n procesirajućih elemenata, jedan za svaki n dimenzionalni ulazni uzorak. Na izlaznom sloju, F_c , svaki čvor predstavlja klasu uzoraka dobijenih zaključivanjem. Ako su ulazni i izlazni slojevi direktno spojeni, neuralna mreža postaje vrlo jednostavna, linearna forma. Dodavanjem srednjeg, skrivenog sloja F_b omogućava razvoj sopstvenog predstavljanja.

Mreža nije zavisna od suštinskih odnosa ugrađenih u podatke ali sama po sebi određuje koji su podaci važni predstavljanja.

Ako nelinearne funkcije iskoristimo za skriveni sloj, dobijamo tipičnu neuralnu mrežu opšte prihvaćenu u oblasti automatskog monitorisanja proizvodnih procesa. Fazi neuralna mreža se kreira uvodjenjem fazi logičkih funkcija u skriveni sloj za medjuveze. U nekim slučajevima, nisu neophodne sve medjuveze izmedju neurona u skrivenom sloju pa se može formirati parcijalna neuralna mreža.

2.2 Fazi neuralna mreža

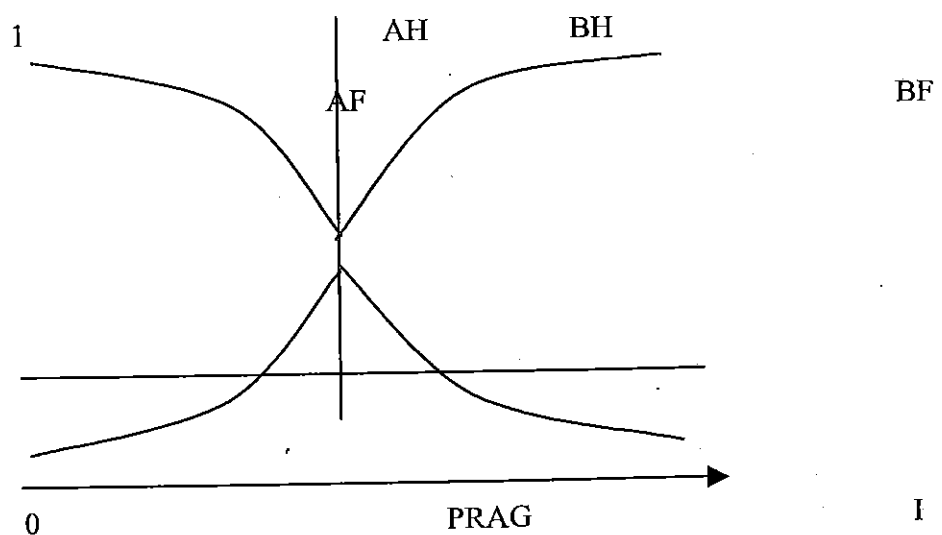
Kombinacija fazi logike sa neuralnim mrežama je interesantno otuda što predstavlja dva pristupa koja se generalno bave projektovanjem "inteligentnih" sistema sa različitih aspekata. Neuralne mreže obezbeđuju mogućnost bavljenja sa velikom količinom informacija sa različitih senzora koristeći jednostavne procesirajuće elemente (neurone) dok je fazi logika strukturni okvir za iskorišćenje ovih rezultata na nižem nivou. Dva moguća načina da se obe dve tehnologije utope jedna u drugu su:

fazifikacija standardne neuronske arhitekture mreže-medjuveze sa fazi relacijama ili fazifikacijom procesirajućih elemenata (neurona) i

korišćenje neuralnih mreža kao matematičkog alata u fazi modelima.

Primer skorašnjih istraživanja u oblasti fazi neuralnih mreža je fazi MIN-MAX klasifikacija neuralne mreže (Simpson, 1992). Hiterkocka definisana sa parovima min-max tačkama, i njihove funkcije pripadnosti su iskorišćene za kreiranje fazi podskupova u n -dimenzionalnom prostoru uzoraka.

Fazi skupove je uveo Zadeh (1965) kao sredstvo predstavljanja i bavljenja sa procesima koji nisu dovoljno precizno definisani. Teorija fazi skupova obezbeđuje mehanizam za predstavljanje lingvističkog koncepta kao što su pojmovi "mnogo", "nekoliko", "uglavnom" i sl.



Slika 2

Ova teorija predstavlja način za merenje stepena pripadnosti uzorka koji je bio predstavljen ili situacije za to dešavanje. Koncept projektovanja fazi odlučivanja dat je na slici 2.

Na slici su Ah i Bh dve kategorije koje su klasifikovane striktnom odlukom (ili-ili) dok su Af i Bf klasifikovane fazi odlučivanjem. Ith je iskorišćen za striktan prag odlučivanja sa oštrim granicama odlučivanja. Fazi odlučivanje je dato sa drugom krivom Af i Bf i "mekanim granulama". Korišćenje fazi logike za monitorisanje proizvodnih procesa je specijalno atraktivno u situacijama gde više različitih stanja alata rezultuju u identičnom izlazu senzora na mašini. U fazi-neuralnoj mreži, ako se primeni "meka odluka" iznos se može koristiti direktno bez dodatnih računanja što nije slučaj sa oštrim odlučivanjem.

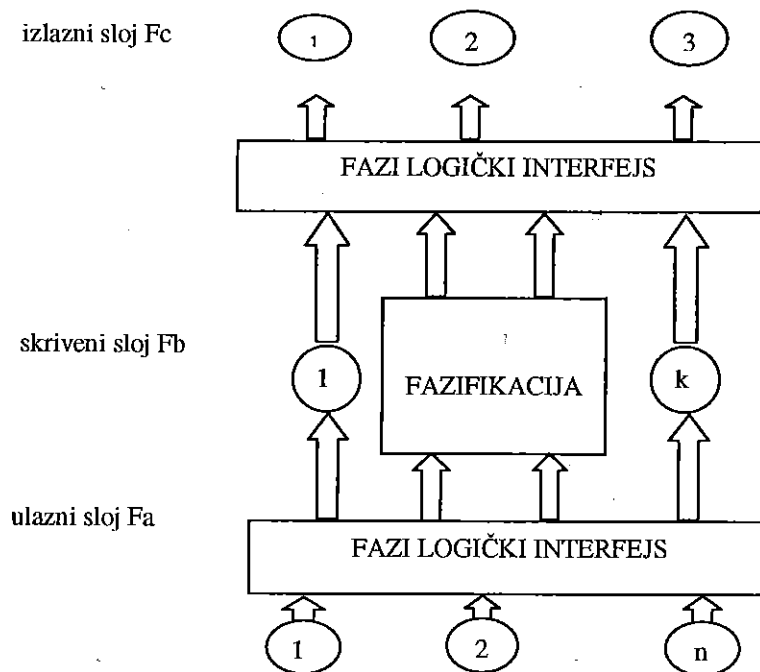
2.3 Parcijalno povezana neuralna mreža

Za tipične neuronske mreže, svaki od procesirajućih elemenata (na ulazu, izlazu, i skrivenom nivou) je uvek vezan na svaki procesirajući element u susednim nivoima, a moguća je i direktna veza između udaljenih slojeva. Ovu specijalnu vrstu NM nazivamo parcijalne neuronske mreže (PNM) i one obezbeđuju kraće puteve do odluke. Ove mreže zahtevaju manje računarske snage za klasifikaciju odluka. Mogu se koristiti za donošenje odluka izvođenjem jednostavnih, jasno razumljivih operacija nad ulaznim parametrima.

Na svakom čvoru stabla odluka ulazni podaci se dele na dve ili više grupa koji sadrže uzorke iste kategorije. Dalje se grana sve do slučaja kad za konačni rezultat postoji samo jedna označena klasa. Za razliku od matričnog tipa koji rezultat daje posle računanja u skrivenom sloju, odluke koje se donese posle primene strukture stabla dele prostor parametara u nekoliko podprostora, manjih dimenzija ali značajno povećavaju preciznost donošenja odluka. Upoređujući binarno stablo i "back propagation" klasifikator vidimo da nema velike razlike u kvalitetu odluke ali se uveliko smanjuje vreme za odluku korišćenjem binarnog stabla. (Fisher and McKusica, 1988)

3. PRIMENA FAZI-NEURALNE MREŽE ZA MONITORISANJE STANJA ALATA

3.1 Implementacija MPC fazi-neuralne mreže



Slika 3

Kao alternativa tipičnoj neuralnoj mreži ovde predlažemo fazi neuralnu mrežu za monitorisanje stanja alata. Fazi rezonovanjem moguće je iskoristiti paralelnu prirodu klasifikovanja i konstruisati neuralnu mrežu. Za razliku od matričnog tipa rezonovanja koristi se struktura stabla pa se time redukuje broj veza u neuralnoj mreži. Na slici 3. je data neuralna mreža koja koristi fazi logiku.

Ulazni sloj Fa ima n procesirajućih elemenata i svaki od njih je prikazan svojim vektorom

karakterističnih vrednosti X_k . Parametri raspodele verovatnoće predstavljaju veze prema skrivenom nivou. Skriveni nivo, F_b sastoji se od neurona koji koriste fazi klasifikaciju za adresiranje podskupova originalnog skupa podataka i pozivajući potrebne informacije od drugih neurona. F je pripadnosti su iskorišćene za klasifikaciju na neuronima, medjuveze unutar skrivenog sloja i veza prema izlaznom sloju. Neuroni u izlaznom sloju F_e predstavljaju stepene kojim ulazni uzorak X_k ušao u neku klasu stanja alata. Odlučivanje na izlazu može biti oštro (hard) ili blago (soft) u zavisnosti od zahteva. Veze izmedju ulaznog sloja, izlaznog sloja i skrivenog sloja, nisu od jednog elementa do drugog u skusednom nivou. Struktura zavisi od obučavanja i ona se kreira primenom procesa obučavanja. Parcijalno povezivanje rezultuje u jednostavnijem i bržem obučavanju i klasifikaciji. Preporučeni metod kombinuje fazi logiku sa stablom odlučivanja za definisanje strukture skrivenog sloja. Generalno, odluka za neuron u skrivenom sloju formira stanje takvo kao "ako se C_i dešava, d_j je toliko istinito mereno težinom f -je pripadnosti μ_{ij} . Ovaj iskaz može biti predstavljen u sledećoj formi:

$$C_i : d_j \text{ je } \mu_{ij} \quad (1)$$

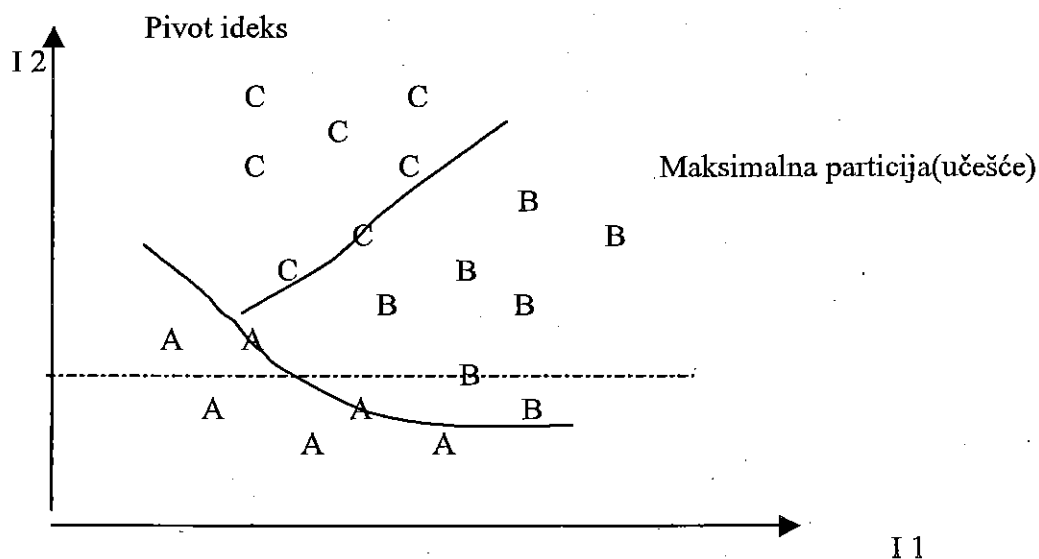
gde je C_i , $i=1,2,\dots,K$ (broj neurona u skrivenom sloju) uslovno stanje kao što je "ako je f -ja pripadnosti ulaza \tilde{x} , $u_k(\tilde{x})$, je veza od neke vrednosti", d_j , $j=1,2,\dots,p$ (broj podskupova na i -tom neuronu) je zaključak na i -tom neuronu; μ_{ij} je mera ove odluke sa težinom f -ja pripadnosti. Pored toga, d_j može biti skup koji se sastoji ili od jednog ili neke kombinacije skupa odluka u klasifikacionom prostoru. Svaki neuron u skrivenom sloju je ulaz za neurone sa ulaznog sloja i isto tako za neke neurone iz sopstvenog (skrivenog) sloja. Ulazi ovih neurona iz skrivenog sloja se šalju ili na izlazni sloj ili na neke druge neurone u skrivenom sloju. Klasifikacija korišćenjem fazi neuralnih mreža može biti ostvarena u nekoliko koraka. Na primer, alat može biti klasifikovan da bude "oštar ili istrošen" u nekom od neurona u skrivenom sloju. Dalja klasifikacija specificira finalni rezultat u izlaznom sloju kao "malo istrošen" sa izvesnim stepenom koji meri verovatnoću procene istrošenosti alata. Slično pravljenju drugim strategijama odlučivanja, preporučeni MRS fazi neuralnih mreža u monitorisanju stanja alata i ovaj se sastoji iz dve faze:

- učenja i
- klasifikacije.

Faza učenja je iskorišćena za konstruisanje fazi neuralnih mreža sa fazi logikom i stablom odlučivanja od dostupnih uzoraka dok se faza klasifikacije koristi za procenu najpribližnije odluke za date uzorke.

3.2 Učenje

Skriveni sloj se ponaša kao fazi stablo odlučivanja u fazi učenja. Ako imamo N uzoraka, x_1, x_2, \dots, x_N sa poznatim stanjem alata, oni formiraju skup podataka za obuku. Neka je X skup uzoraka za učenje tako da $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ tako da se on sastoji od N vektora uzoraka. Vektor x_i ($i = 1, 2, \dots, N$) je m -dimenzionalni gde je m broj zapaženih pokazatelja stanja alata i može se napisati kao $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]^T$, gde je x_{ik} prikazuje vrednost k -tog posmatranja u i -tom uzorku za obuku. Ako se sa I_i označi i -ti indeks posmatranja u svim uzorcima za obuku imaćemo m skupova posmatranih podataka (tj. $I_k = \{x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{nk}\}$ za $k=1, 2, \dots, m$). Primitimo otuda da su indeksi monitorisanja, dok I_i može biti predstavljen intervalom $I_i = [I_{i-\min}, I_{i-\max}]$ (vidi sliku 4).



Slika 4

Predloženi metod konstrukcije fazi neuralne mreže podelom uzoraka za obuku koristi sledeću rekurzivnu proceduru :

1. Uzimamo neuron sa oznakom $p=1$ i $x_p=x$
2. na neuronu p_i koristeći "najveći deo" (Maximum Partition - MP) po uputstvima particioniranja na skupu za obuku X_p i neka je $X_p=A_p+B_p$
 - ii. stavimo $X_{p+1}=A_p$, $X_{p+2}=B_p$
3. stavimo $p=p+1$ i onda se vraćamo na korak 2. sve dok X_p sadrži uzorke koji pripadaju istoj klasi. Ključna operacije je MP, $X_p=A_p+B_p$, gde A_p skup uzoraka koji pripadaju izvesnim stanjima alata (recimo, h_j ili h_j+h_i) i B_p skup ostatka uzoraka za učenje/obučavanje. Particioniranjem se odvaja najveći broj uzoraka iz A_p . Da bi se ovo uradilo moraju se uporediti sve particije koje sadrže ista stanja alata. Tj., za svako i_i , $i=1,2,\dots,m$, mi tražimo sve intervale koji se sastoje od istih stanja alata. Saglasno, particija koja odvaja maksimalni broj uzoraka se bira kao maksimalna particija.

Treba zapaziti da maksimalna particija ne mora sadržavati isključivo uzorke istog stanja alata, već je najčešći slučaj da skup sadrži i ostala stanja alata. Indeks monitorisanja pridružen particiji se definiše kao "pivot (stožer) indeks" i on se koristi kao glavni ulaz neurona u skrivenom nivou. Slika 4 daje primer maksimalne particije sa 2 indeksa i 3 klase. Proučavajući raspodelu uzoraka iz klasa A, B i C, mi zapažamo da I_2 daje maksimum particije za obučavani skup za klasu C respektivno u odnosu na druge dve klase. Ovde je I_2 izabran kao pivot indeks na ovom neuronu za maksimalnu particiju.

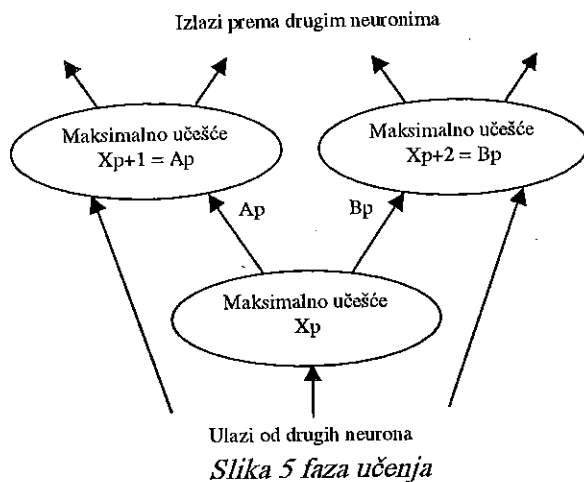
MP za neuron p generiše dva nova neurona, jedan za obučavani skup X_p i drugi sa obučavanim skupom $B_p=X_p-A_p$. Raspodela uzoraka za obuku se koristi kao mera jačine particije. Pretpostavimo da neuron (p), sa indeksom (i) odvoja uzorake klase (j) od ostalih uzoraka. Onda je mera neizvesnosti f_p definisana kao

$$f_p = \frac{d_j}{n_j}$$

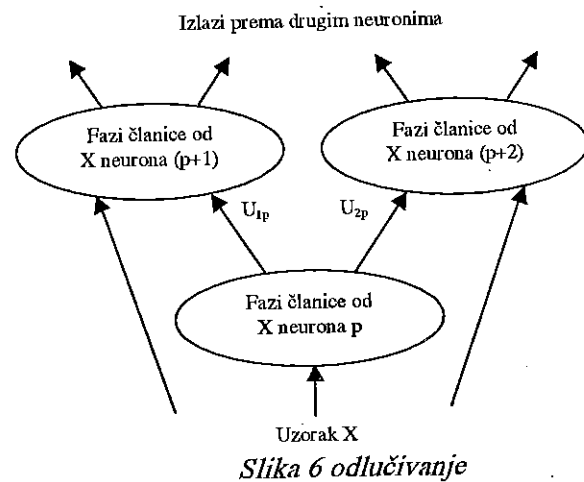
gde su, n_j ukupan broj uzoraka koji pripadaju j -tom stanju alata, a d_j je broj uzoraka iz A_p . Fazi centri klasa su projektovani da budu u blagim (soft) granicama particija. podrazumevaju na neuronu da bude projektovan u formi mekih granica za particije. Oni se računaju kao statističke vrednosti obučavanih uzoraka. Sve ove informacije se uzimaju kao ulaz neurona za klasifikacione potrebe.

Gornja operacija se ponavlja za nove vrednosti $X_{p+1}=A_p+B_p$ sve dok X_{p+1} pripada

određenom stanju alata. Posle svake operacije obuke se formiraju novi neuroni i dodaju skrivenom nivou. Veze izmedju neurona se grade sa neuralnom mrežom. Ova procedura je ilustrovana na slici 5.



Slika 5 faza učenja



Slika 6 odlučivanje

3.3 Klasifikacija/formiranje (pravljenje/odlučivanje)

Odlučivanje je faza klasifikacije uzoraka. Ukoliko je vektor uzoraka $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$, onda se klasifikacija izvodi traženjem puta kroz mrežu. Ovaj put prolazi kroz nekoliko neurona u mreži i on će voditi finalnoj odluci u klasifikaciji. Svaki neuron u skrivenom sloju, pretražuje se direktno sa fazi f-jom pripadnosti uzorka x na datom neuronu. F-ja pripadnosti n_{ip} uzorka x koji pripada klasi (i) na neuronu (p) je data sledećom jednačinom (Bezdek, 1987)

$$u_{ip} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ip}}{d_{jp}} \right)^{2/M-1}}$$

gde je d_{ip} ili d_{jp} unutrašnja metrička proizvodna norma uzorka oko centra klasa, a M predefinisani parametar ($1 < M < \infty$). Pravac pretraživanja je onda određen saglasno težinama f-ja prpadnosti uzorka x na neuronu p , $u_p(x) = [u_{1p}, u_{2p}, \dots, u_{sp}]^T$, gde je s broj klasa na neuronu p . Sledeći neuron uzima informaciju od neurona koga smo razmatrali i/ili drugih neurona u skrivenom sloju i/ili iz ulaznog sloja. Ista procedura se nastavlja na neuronima dok se ne dodje do neurona u izlaznom sloju sa finalnom odlukom. U fazi neuralnoj mreži, računanje se može simultano izvršavati na nekoliko neurona sve toliko dugo dok postoje ulazi za oba računanja. Rezultat je dat u izlaznom sloju i fazi f-ja pripadnosti (njeno težište) je takodje obezbedjena. Klasifikaciona procedura prikazana je na slici 6.

4. EKSPERIMENT I IZDVAJANJE KARAKTERISTIKA

4.1 Eksperiment

Ispitivanje je izvršeno na N_c strugu, gde je mereno šest signala i to tri komponente sile rezanja F_x , F_y i F_z , dva signala vibracija A_x i A_y i snaga motora vretena P_w . Sile rezanja se mere dinamometrom koji je montiran ispod nosača alata. Veličine relevantne za vibracije se mere sa 2 akceloremetra koji se nalazi na nosaču alata i pokazuju aksijalnu i radijalnu komponentu. Snaga rezanja P_w se meri pomoću struje statora motora vretena.

Signali sile i vibracije prolaze kroz pojačavač, zatim kroz niskopropusni filter (NF) granične frekvencije $F_g = 1 \text{ kHz}$ i onda se sempluju sa frekvencom $f_s \geq 2f_g$. Signal snage takodje se sempluje sa istom frekvencom. Radni komad je standardni AISI 1014 čelična i alat sa karboniraran (stepeni K21 i K6).

Testovi struganja su sprovedeni na 52 različita stanja. Variranje uslova struganja ide od 96 do

322 m/min, 0,024 do 0,246 min/obr i dubinom struganja od 1,2 do 3,5min.

4.2 Stanja alata

Eksperimenti su sprovedeni pod pet različitih stanja alata i to:

- oštar alata,
- slomljen alat,
- tri stanja definisana istrošenosti :neznatno, srednje i veliko.

Za prvo stanje oštrog alata uzeto je da krater istrošenosti alata bude manji od 0,1 mm. Lom alata je identifikovan sa slomljenom površinom većom od 0,04 mm². Stanja istrošenosti alata su definisana na sledeći način:

- neznatno istrošen (0,1mm do 0,16mm)
- srednja istrošenost (0,16mm do 0,3mm)
- veliko oštećenje (veće od 0,3mm).

Ovo je predstavljeno sa tabelom 1.

4.3 Procesiranje signala

Ukupno je 97 karakteristika iskorišćeno za generisanje mernog vektora x . Od ovih 97 karakteristika, 9 od njih je uzeto iz vremenskog domena snimanjem (dužina 2048) sile, ubrzanja i snage motora. Od svakog snimka sile u vremenskom domenu je izračunata vrednost i varijansa. Varijansa od svakog ubrzanja takodje je izračunata. Iz snimka snage je izračunat kvadratni koren. Ostalih 88 karakteristika je uzeto iz spektra sile, ubrzanja i snage u frekventnom domenu. Ove frekventne karakteristike signala snage su izračunate u određenom opsegu tako što je napravljena suma komponenti snage na svakoj učestanosti unutar opsega. Za silu i ubrzanje širine je odabrana da bude 48Hz dok je opseg na snagu 97Hz. Opseg analize spektra ide od 0 do 768.

Kako je napred napomenuto, 97 karakteristika je selektovano da se definiše merni vektor. Dimenzija vektora je suviše velika za klasifikaciju. Takodje ove izabrane karakteristike ne moraju dati dobar pravac izdvajanja u prostoru klasifikovanja. Ekstrakucija karakteristika je iskorišćena za smanjenje broja karakterističnih uzoraka i na taj način je uprošćena površina odluka. Ako definišemo X kao n -dimenzionalni vektor u prostoru karakterističnih uzoraka, takodje poznat kao merni vektor proizašao iz procesiranja signala. Mi tražimo m karakteristika ($m < n$) od vektora X da bi fomirali formu prostora karakteristika. U izboru broja uzoraka N za obuku koristimo Kaverovu formulu (Coyer, 1965) datu kao

$$N \leq 2(m+1)$$

4.4 Ekstrakucija karakteristika

U odredjivanju prostora karakteristika mi koristimo metodu najmanjih kvadrata. Ova metoda je iskorišćena zato što omogućava sistematske vrednosti informacije integrisane od više senzora. Saglasno tome, uradimo jednu rekapitulaciju prethodno datog. Mi tražimo procenu C izlaza od n varijanti. Treba zapaziti da je C broj klasa (tj. dimenzija klasifikacionog prostora). Ako je X_i , $i=1,2,\dots,N$ merni vektor, K je matrica koncepcije onda je

$$y_i = Kx_i$$

gde je y_i c -dimenzionalni vektor stanja alata i -tog uzorka on se dobija tokom obuke tako što se stavlja 1 za element uz poznate klase i 0 za sve druge. Uzimajući N uzoraka y i x dobijamo $Y = XK$

gde su X i X $N \times C$ i $N \times n$ matrice respektivno. Smanjivanje dimenzije X metod najmanjih kvadrata može biti iskorišćen za transformaciju mernog vektora da bude sastavljen od njegovih glavnih komponenti. Metod najmanjih kvadrata računa m najvećih sopstvenih vrednosti iz proizvoda matrica XY x $Y^T X$ X i daje novi izraz za x sa linearnom kombinacijom od m odgovarajućih vektora sopstvenih vrednosti.

Konstruisanjem $n \times m$ matrice P čija je i -ta kolona vektor sopstvenih vrednosti odgovarajuće i -te najveće sopstvene vrednosti, mi imamo novi vektor karakteristika t (vektor P je

ortogonalan kolonski)

$$t = pTx$$

Koristeći metod najmanjih kvadrata, najveće sopstvene vrednosti matrice može se izračunati $XTY \times YTY$. Ovakav pristup uzima u računanju smer (principske komponente) u mernom vektoru x koji ima najveću kovarijansu sa klasom (stanja alata) vektor y , i osigurava da se koristi ovaj smer (sopstveni vektor).

U našem eksperimentu koristeći metod najmanjih kvadrata, broj principskih komponenti (najvažnije sopstvene vrednosti) je određen da bude šest (dimenzija i vektora karakteristika). Bazirajući se na Kolerovoj formuli, odlučili smo se na 15 uzoraka po klasi koji su neophodni za obuku. Za svaku klasu, uslovi struganja su iskorišćeni u generisanju uzoraka obučavanja na slučajan način tako da pokriju glavni opseg koji smo obuhvatili u ovoj studiji.

5. REZULTATI EKSPERIMENTA I NJIHOVA DISKUSIJA

5.1 Eksperimentalni rezultati

MPC metoda fazi neuralnih mreža za monitorisanje stanja alata je iskorišćena za obuku. četiri skupa eksperimentalnih rezultata (A, B, C i d) generisani su iz testova struganja. Skupovi A i B su generisani pod istim uslovima struganja ali od različitih snimaka. Skupovi C i D su generisani pod različitim uslovima struganja. Ipak, svi testovi struganja za skupove A, B, C i D su radjeni pod uslovima koji upadaju u opseg dat u delu 4.1. Svaki skup podataka se sastoji od 75 uzoraka koji pripadaju 5 stanja alata (tj. 15 uzoraka za svako stanje alata). U fazi učenja, metod najmanjih kvadrata je iskorišćen za ekstrakciju karakteristika. Uzorci obučavanja su transformisani u 6-dimenzionalni prostor karakteristika (sa maksimalnom komponentom smera) pre nego što se krenulo u konkretno obučavanje. Klasifikovani podaci su takodje transformisani u isti prostor karakteristika. Tabela 1 sumira rezultate dobijene od ovih testova. Za poredjenje, rezultati dobijeni sa dobro poznatom back-propagation algoritmom tzv. feed-forward neuralne mreže sa istim skupom podataka.

Za ovo poredjenje korišćene su neke kombinacije raznih parametara kao što su:

- brzina konvergencije
- dužina koraka
- početne težine

i to za skrivene slojeve mreža. Najbolji rezultati su izabrani za jedan i drugi metod.

Kako je pokazano u tabeli, bilo koji od metoda donošenja odluke obezbeđuje bolje rezultate kada se koriste isti uzorci i za obuku i klasifikovanje. Generalno, rezultati pokazuju da korišćenje fazi neuralne mreže za monitorisanje stanja alata zajedno sa metodom najmanjih kvadrata u integraciji multi-senzorskih informacija rezultuju u većoj brzini uspešnosti ostvarenja tačnih rezultata od poznatog back-propagation algoritma. Važna prednost preporučene metode što daje dobre osobine klasifikovanja u monitorisanju stanja alata sa razumnim opsegom uslova obrade (struganja).

Tabela 1

Test	Podaci za obučavanje	Podaci klasifikacije	Brzina uspeha FNN	Brzina uspeha BPNN
S_1	Grupa A	grupa A	94,7%	89,5%
S_2		grupa B	89,3%	80,0%
S_3	Grupa B	grupa B	94,7%	84,0%
S_4		grupa A	84,0%	70,0%
S_5	Grupa C	grupa C	90,0%	87,7%
S_6		grupa D	80,0%	78,3%

6. LITERATURA

1. L.A.Zadeh, Fuzzy sets, Inf.& Contr., Vol.8, 1965
2. B. Kosko, Fuzzy Thinking, Hyperion, NY 1993
3. F. Rosenblat, Principles of Neurodynamics, Spartan Books, 1962
4. M. Milosavljević, S. Stanković, Neuronske mreže, Pregledni rad INFO 6/95
5. B. Reljin, P. Kostić, Celularne mreže, Naučni rad INFO 5/95
6. S.Turajlić, Fazi sistemi i fazi upravljanje, Pregledni rad INFO 3/96
7. S.Li, M. A. Elbestawi, Tool Condition Monitoring, Journal of Dynamics Systems, Measurement and Control, Vol. 118/96

Abstract

This paper presents an approach to Tool Monitoring in Machining by Fuzzy Neural Networks (FNN). The Multiple Principal Component (MPC) classification FNN were built through training with learning data obtained from cutting tests performed in a reasonable range of cutting conditions. This strategy performed better than back-propagation trained feed-forward neural network in this tests.

NUMERIČKO UPRAVLJANJE ALATNIM MAŠINAMA KORIŠĆENJEM STEP (KORAČNIH) MOTORA

I. Latinović, S. Sredanović¹

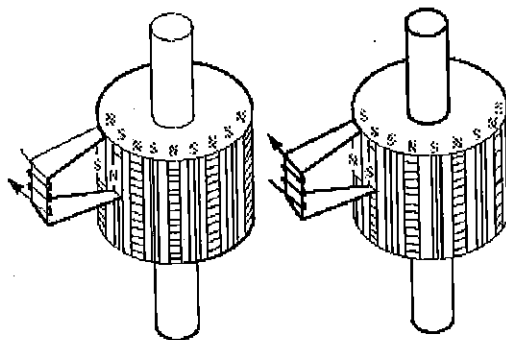
Rezime

U radu su dati osnovni principi rada step motora, upravljanja step motorom i osnovni H/S CNC sistem baziran na novom konceptu malih alatnih mašina u LOLA Institutu.

1. UVOD

Koračni motori su elektromehanički uređaji koji konvertuju električne impulse u diskretne mehaničke pomeraje. Osovina jednog koračnog motora rotira u diskretnim inkrementima koraka kada se na njega dovede odgovarajuća sekvenca komandnih impulsa. Kretanje motora, direktno zavisi od dovedene sekvence impulsa: smer zavisi od oblika sekvence, brzina zavisi od frekvencije impulsa, a ugaoni pomeraj od broja impulsa. Postoje tri osnovna tipa step motora:

motori sa permanentnim magnetom – ovo je najjednostavniji i najjeftiniji tip, mada obično vrlo niske rezolucije. Sadrži niz magnetskih traka suprotno namagnetisanih i paralelnih osovine motora, kao što je prikazano na slici 1. Ovo je tip motora koji se najviše koristi u ne-industrijskim aplikacijama. On je jeftin, malog momenta i brzine tako da se često koristi kao periferija računara.

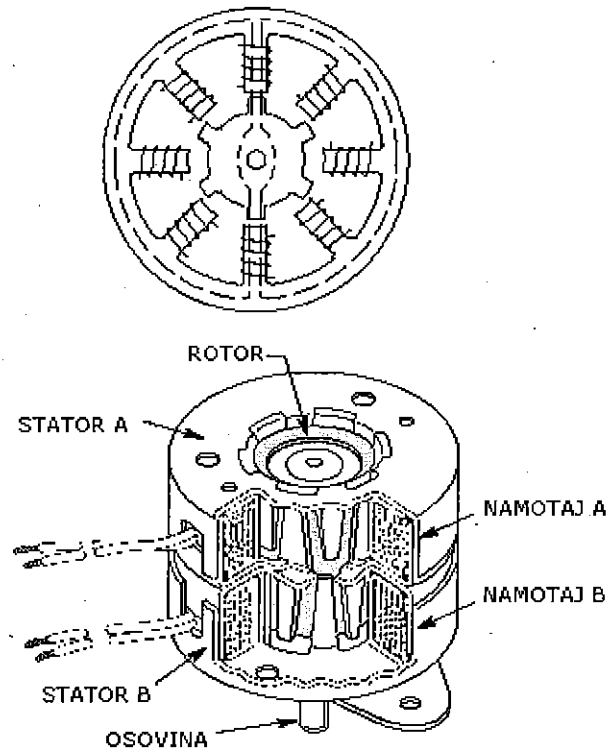


Slika 1 – Koračni motor sa stalnim magnetom

motori sa promenljivim magnetom – u ovom tipu motora ne postoji stalni magnet, tako da se rotor okreće slobodno. Izlazni momenat ovog tipa motora je ograničen, pa se ovaj motor koristi za male motore u primenama kao što su stolovi za mikropozicioniranje. Na slici 2

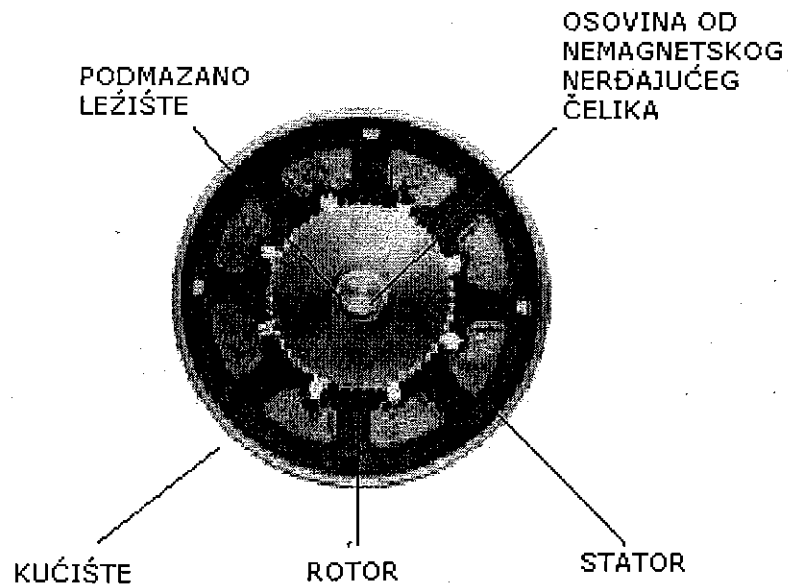
¹ Mr. Ilija Latinović dipl. ing., Mr. Sonja Sredanović dipl. ing. LOLA Institut, Beograd

prikazan je izgled ovog tipa motora.



Slika 2 – Koračni motor sa promenljivim magnetom

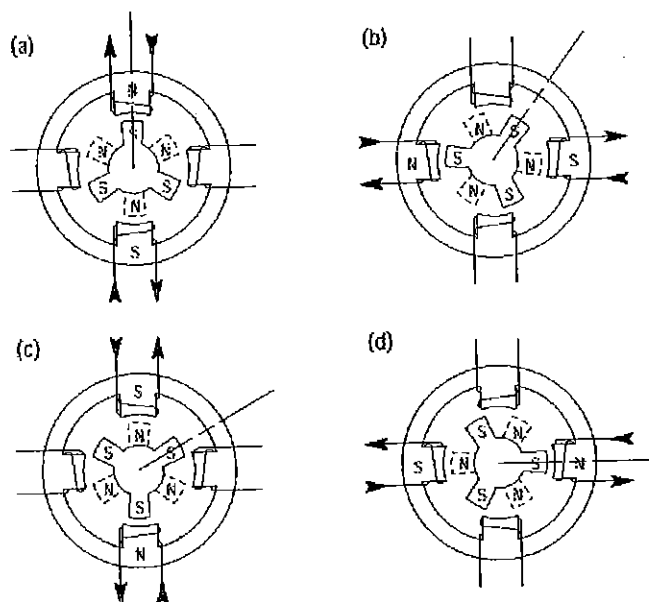
hibridni motori – kombinacija prethodnih. Hibridni motor je tip koračnog motora koji se daleko najviše koristi u industrijskim primenama. Većina hibridnih motora su dvofazni, mada ima i petofaznih. Na slici 3 prikazan je izgled hibridnog koračnog motora.



Slika 3 – Hibridni koračni motor

2. PRINCIP RADA HIBRIDNOG KORAČNOG MOTORA

Princip rada hibridnog koračnog motora biće objašnjen na primeru. Rotor hibridnog motora sastoji se od dva pola sa više zubaca na svakom. Broj zubača određuje rezoluciju motora. Između delova polova postoji permanentno magnetsko polje koje je u smeru ose rotora, tako da je jedan kraj severni a drugi južni pol. Stator se sastoji iz kućišta koje ima četiri zupca koji idu čitavom dužinom rotora. Kada nema struje na namotajima motora, rotor zauzima takav položaj da ima najmanju magnetsku otpornost na putanju fluksa sa jednog kraja ka drugom, a to je položaj u kome je jedan par sever-jug zubača rotora u liniji sa dva pola statora. Motor sa 3 para zubača u rotoru imaće 12 ovakvih stacionarnih pozicija, odnosno rezoluciju od 12 koraka po obrtaju. Kada se sada na jedan par namotaja statora dovede struja, kao što je prikazano na slici 4(a), doći će do izmene polariteta polova statora tako da će rotor zauzeti sledeći najbliži stacionarni položaj (b), itd..



Slika 4 - Princip rada hibridnog motora - promene faza

3. KARAKTERISTIKE - PREDNOSTI I MANE

Prednosti:

ugao pomeranja motora je proporcionalan ulaznim impulsima

motor ima pun momenat pri mirovanju

precizno pozicioniranje i ponovljivost kretanja pošto dobri koračni motori imaju preciznost od 3-5% jednog koraka a ova greška se ne akumulira, odnosno ne prenosi sa jednog koraka na drugi

izvrstan odziv pri startovanju / zaustavljanju / promeni pravca

vrlo su pouzdani pošto ne postoje četkice za kontakt na motoru. Stoga trajanje motora zavisi samo od dužine trajanja lečajeva

odziv motora na digitalne ulazne impulse daje kontrolu u otvorenoj petlji, pa je upravljanje ovim motorima jednostavnije i jeftinije

moгуće je postići vrlo niske brzine rotacije i kada je opterećenje direktno spregnuto na osovinu

širok opseg brzina rotacije moče se ostvariti pošto je brzina proporcionalna frekvenciji ulaznih impulsa

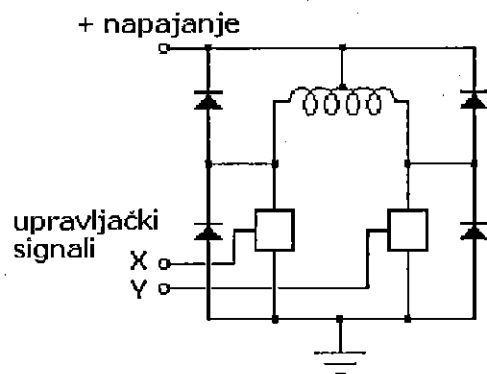
Mane:

ako se ne kontroliše na pravi način, moče doći do rezonanci

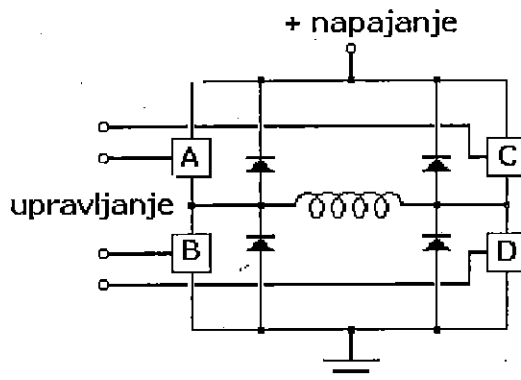
otečan rad pri vrlo visokim brzinama

4. Upravljanje step motorom

Uobičajeno je da step motori imaju dve faze, ali u praksi postoje rešenja i sa tri ili pet faza. Bipolarni dvofazni motor ima jedan namotaj po fazi, a unipolarni ima jedan namotaj sa centralnim izvodom po fazi. često se u praksi sreće termin četvorofazni step motor, i on se odnosi na unipolarni motor, samo sa dve faze. Slika 5 prikazuje principsku šemu izlaznog stepena upravljačkog dela unipolarnog step motora, a slika 6 bipolarnog.

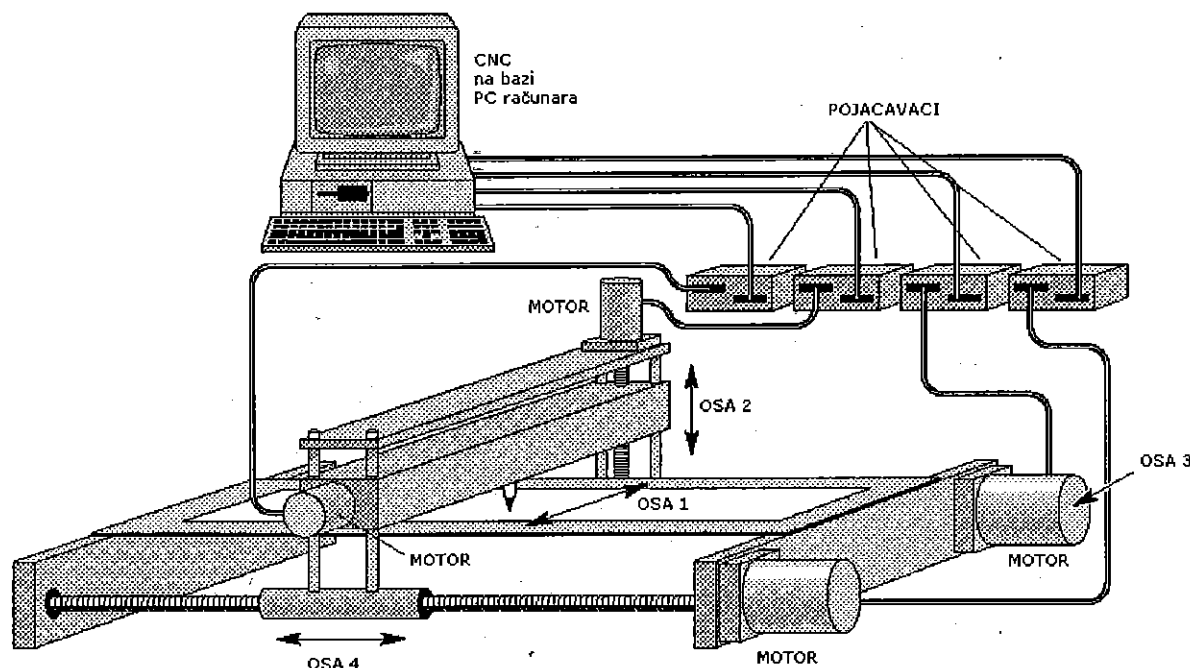


Slika 5-Upravljanje unipolarnim step motorom



Slika 6 - Upravljanje bipolarnim step motorom

Treba naglasiti da su se na tržištu poluprovodničkih komponenti pojavili gotovi kontroleri i drajveri za obe vrste step motora (Thomson, Motorola), koje se mogu direktno vezivati na neki CNC računarsko-upravljački sistem. LOLA Institut se odlučio u ovom slučaju za standardni PC IBM kompatibilan računar kao CNC upravljačku jedinicu. Jedan takav uprošćen šematski prikaz mašine i upravljačke jedinice dat je na sl.7.



Slika 7 - Šematski prikaz mašine i upravljačke jedinice na bazi step motora

Fizička veza između PC-ija i kontrolera sa step motora ostvarena je preko standardnog paralelnog porta. Mašina je napravljena od standardnih Al profila nemačke firme ISEL. Zavojno vreteno je takodje ISEL-ovo. U našoj zemlji slične Al profile Nisol - Niš.

Zaključak

Uvodjenje step motora kao aktuatora za pomoćne ose na mašini, ima svojih velikih prednosti i nešto mana. Glavna prednost mu je cena upravljanja, koja je u odnosu na klasična rešenja bazirana na DC BRUSSELESS motorima daleko niža. Zbog toga LOLA Institut se odlučio za step motore kao aktuatore na pomoćnim osama za čitavu gamu malih i jeftinih alatnih mašina.

LITERATURA

1. Douglas W. Jones, "Control of Stepping Motors", University of Iowa, 1998
2. "Engineering Reference and Application Solutions", interna publikacija, Compumotor, 1997.
3. Katalog proizvoda, ISEL, 1998

Summary

This paper describes basic principles of the stepper motor operation, the stepper motor control and basic H/S of the CNC system based on the new small machine tools concept developed in the LOLA Institute.



DALJINSKI NADZOR I REGULACIJA POTROŠNJE PRIRODNOG GASA

M. Zdravković, D. Marković¹

REZIME

U radu je opisan sistem za daljinski nadzor i ograničenje potrošnje prirodnog gasa na objektima Beogradskih elektrana. Sistem je isprojektovan i pušten u funkciju kao zajednički projekat NIS – Energogasa i LOLA Instituta. Dizajn sistema (softvera) je rezultat domaćeg razvoja i dugogodišnjeg iskustva stručnjaka NIS – Energogasa i LOLA Instituta. Sistem za prenos podataka se zasniva na "korporacijskoj" mreži zakupljenih PTT vodova, radio vezi i u budućnosti na optičkim sistemima prenosa (optički kablovi). Za izgradnju korporacijske mreže korišćena je standardna unificirana oprema zasnovana na međunarodnim ITU standardima koja obezbeđuje kvalitetan prenos podataka i uštede u zakupu PTT linija.

Sistem je pušten u rad neposredno posle NATO agresije na SR Jugoslaviju.

UVOD

Upravljanje i nadzor nad sistemom transporta i distribucije prirodnog gasa ostvaruje se uz pomoć procesnog informacionog sistema SCADA. Sistem za daljinski nadzor i upravljanje potrošnjom prirodnog gasa na objektima Beogradskih elektrana nastao je kao tehnološki iskorak u implementaciji sistema za daljinski nadzor i upravljanje gasovodom NIS – Energogasa.

2. TEHNIČKI OPIS

Sistem za daljinski nadzor i upravljanje potrošnjom prirodnog gasa na objektima Beogradskih elektrana omogućava NIS – Energogasu kontinualni uvid u potrošnju gasa i automatsko fakturisanje utrošenih količina prirodnog gasa.

Prilikom definisanja projektnog rešenja pošlo se od pretpostavke da sistem u uslovima smanjenih i neredovnih isporuka prirodnog gasa, kao i uvedenih sankcija od strane međunarodne zajednice, mora biti pouzdan i jeftin za implementaciju. Kao polazna osnova za tehničko rešenje je poslužio postojeći sistem za daljinski nadzor i upravljanje gasovodom

¹ Milan Zdravković, dipl.ing.maš.
mickey@lola-ins.co.yu

LOLA Institut, 11030 Beograd, Kneza Višeslava 70a, e-mail:

Dragan Marković, dipl.ing.el.

NIS – Energogas, 11070 Beograd, Autoput 11,

e-mail: dragan@energogas.co.yu

koji se u eksploataciji pokazao kao efikasno i pouzdano orudje za rad dispečerskog centra NIS – Energogas.

Razvojem novih tehnologija i komunikacionih sistema omogućena je jednostavnija i nadasve jeftinija implementacija sistema za daljinski nadzor i upravljanje.

3. SISTEM ZA PRENOS PODATAKA

Imajući u vidu ograničene PTT mogućnosti, doneta je odluka o izgradnji sopstvene komunikacione korporacijske mreže na bazi postojećih iznajmljenih PTT vodova i u budućnosti optičkih kablova koji će biti postavljeni pored gasovoda koji obuhvata gasovodnu mrežu za potrebe Beogradskih elektrana.

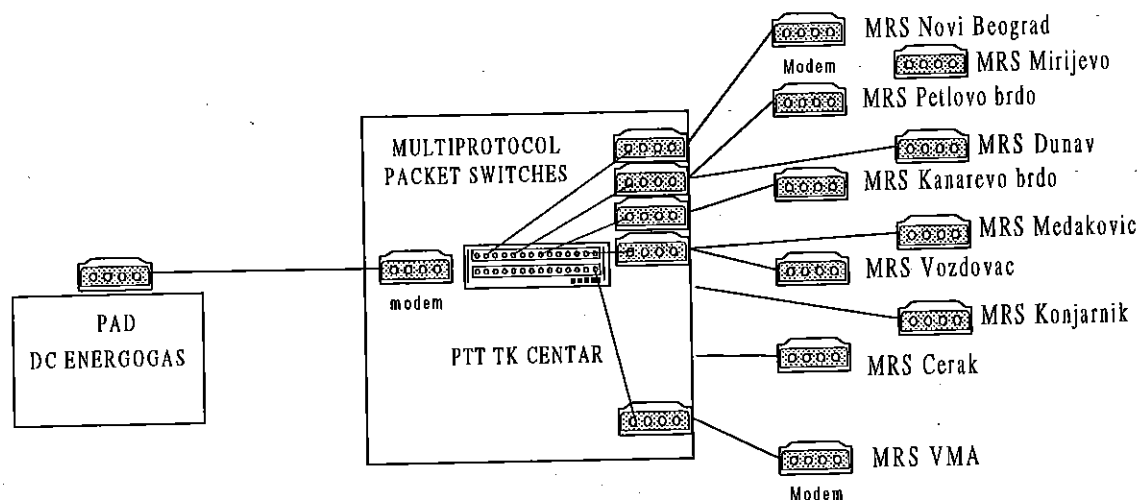
Svetska iskustva pokazuju da se informacione mreže razvijaju i grade kao privatne i javne mreže. Ovakav koncept izgradnje mreža podrazumeva medjupovezivanje svih vrsta telekomunikacionih mreža i svih oblika prenosnih puteva. Karakteristika ovako izgradjenih mreža je otvorenost za sve sadašnje i bududje aplikacije u mreži.

Mreža za prenos podataka je izgradjena na bazi X.25 protokola.

Koncepcijom izgradnje hibridne korporacijske mreže na bazi protokola X.25 u TK centru i lokalnim poštama se ugradjuje oprema neophodna za paketsku komutaciju bazirana na mini uređajima kao što su multiprotokol PAD i paket "switch", (Multiprotocol PAD and packet switches) sva oprema je kompatibilna sa Frame Relay i postojećom JUPAK mrežom. Takođe su u TK centru i na objektima merno regulacionih stanica instalirani modemi u govornom opsegu sa mogućnošću podešavanja brzine prenosa podataka i izlaznog nivoa signala.

U Dispečerskom centru ENERGOGAS ugradjeni su brzi modem i osmo kanalni mini Frame Relay X.25 PAD koji služi za prijem i servisiranje signala.

Blok šema sistema veza za prenos i obradu podataka prikazana je na slici 1.



Slika 1. Blok šema sistema veza

Prilikom izgradnje dodatne kablovske mreže korišćena je postojeća kablovska infrastruktura u objektima Beogradskih elektrana.

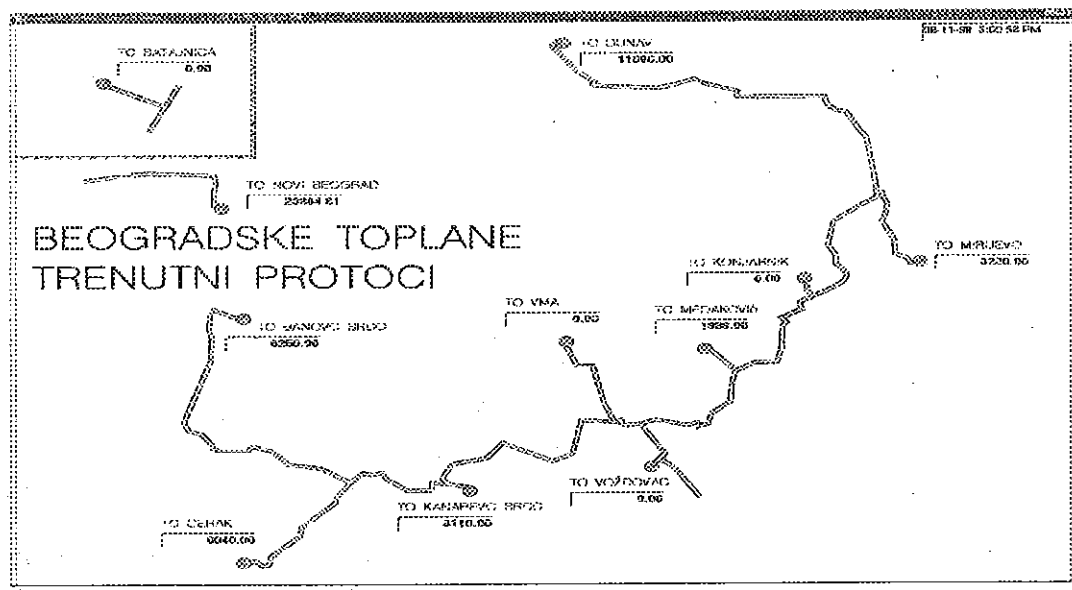
Povezivanje svih objekata je izvedeno u skladu sa važećim PTT propisima i medjunarodnim ITU standardom. Ovakav pristup izgradnji mreže za prenos podataka omogućava jednostavno proširenje bez velikih dodatnih ulaganja.

4. HARDVERSKO SOFTVERSKO REŠENJE

Sistem se bazira na klasičnoj PC platformi pod operativnim sistemom Windows NT i realizovan je kao nadgradnja na postojeći sistem za daljinski nadzor i upravljanje

gasovodom. Softver je implementiran na postojeći računar i omogućen je pristup korisnicima na mreži.

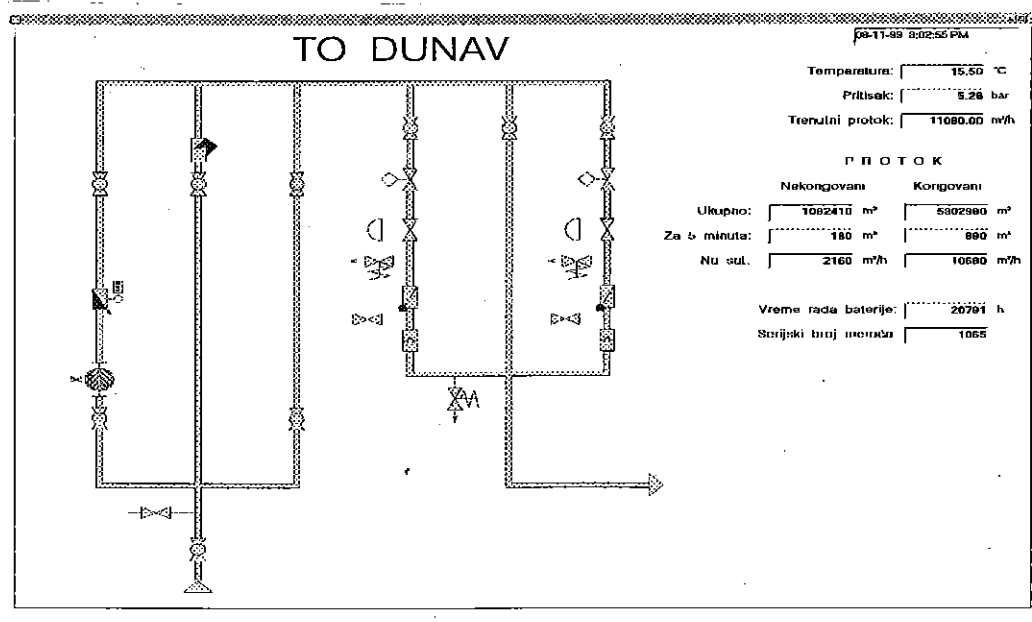
Na slici 2. Prikazana je trasa gasovoda u realnim koordinatama koju dispečer može imati na ekranu.



Slika 2. Trasa gasovoda

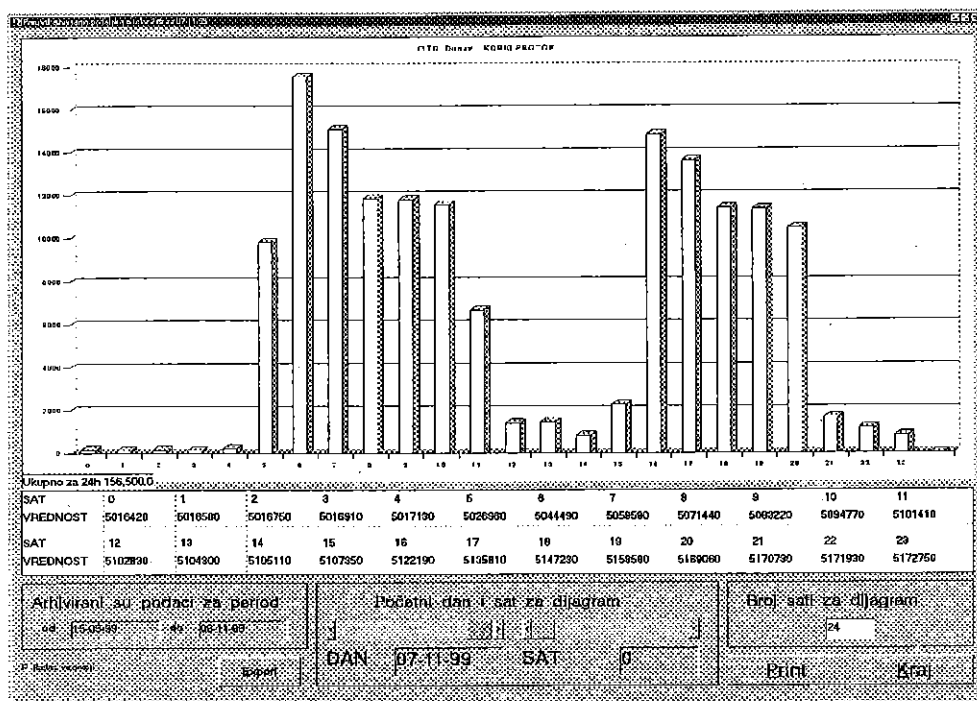
Kao krajnji uređaji na gasnim merno regulacionim stanicama koristi se elektronski korektor koji ima funkciju da očitava stanje merača, izmeri temperaturu i pritisak gasa, izračuna korigovanu trenutnu i kumulativnu potrošnju gasa. Interfejs i softver za komunikaciju sa korektorom su zajedno razvili stručnjaci LOLA Instituta i NIS – Energogasa, tako da se isti uz minimalnu prepravku može koristiti za različite tipove elektronskih korektora. Ovakav pristup ne odgovara uvek isporučiocima opreme, ali se pokazao kao ispravno tehničko rešenje jer ceo sistem se nalazi pod kontrolom operativne ekipe korisnika u ovom slučaju ekipe NIS – Energogasa.

Na slici 3. Prikazan je izgled ekrana za jednu merno regulacionu stanicu.



Slika 3.

Na slici 4. Prikazan je izgled jednog od ekrana za praćenje statističkih izveštaja.



Slika 4.

Sistem za daljinski nadzor i upravljanje potrošnjom prirodnog gasa sa objekata Beogradskih elektrana, gasnih merno regulacionih stanica, je tako koncipiran da se broj mernih mesta, indikacija i komandi može jednostavno proširiti po potrebi.

5.ZAKLJUČAK

Puštanjem sistema u rad omogućeno je kontinualno praćenje i ograničenje potrošnje prirodnog gasa sa objekata Beogradskih elektrana.

Ulaganjem u razvoj i jačanjem domaćeg informaciono - komunikacionog tržišta uz mala ulaganja stvoriće se značajna baza stručnjaka i ušteda kapitala kao i smanjena zavisnost od svetskih multinacionalnih kompanija.

LITERATURA

/1/ Kabiljo E.,Marković D.,Milošević V., „Idejno rešenje modernizacije sistema za daljinski nadzor i upravljanje gasovodom NIS - Energogas“, GAS 98

/2/ Uputstvo o projektovanju mreža za prenos podataka sa komutacijom paketa, PTT Vesnik 2-90

A SYSTEM FOR REMOTE CONTROL AND REGULATION OF NATURAL GAS CONSUMPTION IN BELGRADE POWER PLANTS SUMMARY

The paper describes a system for remote control and limiting of the consumption of natural gas in Belgrade power plants. The system was designed and launched as a joint project between NIS Energogas and LOLA Institute. The software design is the result of experience of the NIS Energogas' expert team and the LOLA Institute knowledge. The data transmission system is based on a corporate network consisting of leased PTT lines, radio communications and, in the future, optical cables. The corporate network was built around standard equipment and is compliant with the international ITU standards, which provides for high quality data transmission and decreases the cost of leasing PTT lines.

The system was made operational directly after the end of the aggression of NATO forces on FR Yugoslavia

OPTIMIZACIJA REŽIMA REZANJA PRI OBRADI METALA REZANJEM REZNYM ALATIMA OD KERAMIKE

DAŠIĆ V. P.¹⁾

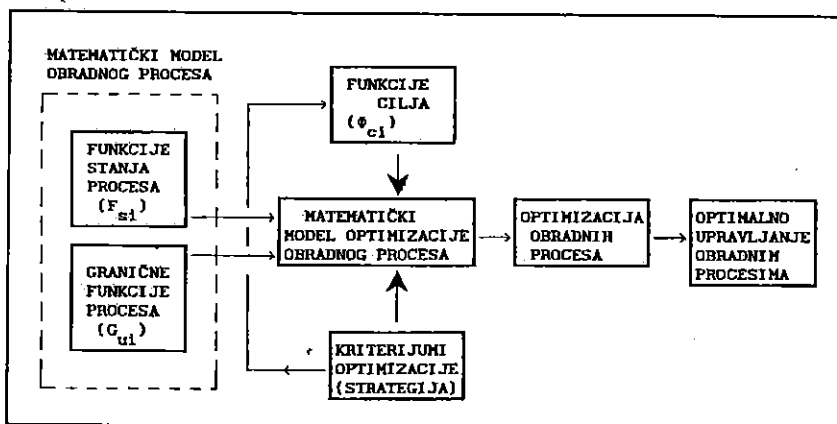
Rezime

Principijelno različita struktura tvrdog metala i alatnih keramike kao reznih materijala zahteva i principijelno drukčije smernice za njihovu primenu i optimizaciju. Ove razlike slede iz razlike u intenzitetu habanja i eksponentu m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti alata, koji se za rezne alate od keramike kreće u granicama od 0,4 do 0,8. U radu je razmatrana analiza i problemi optimizacije režima rezanja pri obradi struganjem reznim alatima od keramike.

1. UVOD

Pri projektovanju tehnoloških procesa najznačajnije mesto zauzima tzv. unutrašnja tehnoeekonomska optimizacija koja se direktno odnosi na optimizaciju vektora elemenata režima rezanja i uslova obrade. Režimi rezanja se određuju za svaki zahvat i u sebi obuhvataju: broj prolaza i , dubinu rezanja a , brzinu rezanja v , odn. broj obrtaja n i korak s . Osnovni cilj tehnoeekonomske optimizacije je da se nađu takve vrednosti elemenata režima rezanja s kojima će se ta obrada realizovati sa raspoloživom radnom snagom, mašinama i alatima a da se pri tome postignu optimalni tehn-ekonomski efekti, kao što su maksimalna proizvodnost ili minimalno ukupno vreme obrade i minimalni troškovi obrade, zadovoljavajući pri tome zahtevanu tačnost predmeta obrade i kvalitet obrađene površine.

Metodika određivanja optimalnih elemenata režima rezanja zasniva se, uglavnom, na teorijskim podlogama nauke o rezanju metala i ekonomike mašinstva. Osnovu tehnoeekonomske optimizacije obradnog procesa predstavlja matematički model optimizacije procesa prikazan na slici 1 [1-4].



Slika 1. Struktura matematičkog modela optimizacije obradnog procesa

¹⁾ Mr Predrag V. Dašić, Viša tehnička mašinska škola, R. Krstića 19, 37240 TRSTENIK, e-mail: dasicp@ptt.yu

Preko funkcija stanja ili jednačina stanja procesa i funkcija ograničenja uslova procesa iskazuju se suštinske fizičke, tehnološke i ekonomske zavisnosti u okviru obradnog procesa.

2. OSNOVNA STRUKTURA MATEMATIČKOG MODELA OPTIMIZACIJE PROCESA STRUGANJA

Metode izbora optimalnih elemenata režima rezanja pri obradi na strugu najčešće se odnose na optimizaciju brzine rezanja i koraka, dok se dubina rezanja posmatra kao konstantna. Kao funkcija cilja uzimaju se: intenzivnost rezanja, proizvodnost, ukupno vreme obrade ili troškovi obrade, a kao funkcija stanja postojanost alata, dok ostale funkcije prelaze u ograničenja obradnog procesa. Matematička formulacija optimizacije elemenata režima rezanja može biti uopšteno prikazana izrazima:

$$\begin{aligned} q(\mathbf{a}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\rightarrow \max \\ P(\mathbf{a}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\rightarrow \max \\ t_u(\mathbf{a}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\rightarrow \min \\ T_z(\mathbf{a}, \mathbf{v}, \mathbf{s}) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (1)$$

2.1. Funkcija stanja procesa obrade na strugu

Funkcija stanja procesa obrade na strugu je funkcija kojom se opisuje habanje alata, tj. funkcija postojanosti alata T , u kojoj se pojavljuju svi elementi režima rezanja. To je ustvari prošireni oblik Tayler-ove jednačine postojanosti alata oblika:

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{T}^m \cdot \mathbf{a}^x \cdot \mathbf{s}^y = C_v \Rightarrow \mathbf{v} = \frac{C_v}{\mathbf{T}^m \cdot \mathbf{a}^x \cdot \mathbf{s}^y} \quad (2)$$

2.2. Funkcije ograničenja procesa obrade na strugu

Elementi režima rezanja zajedno sa drugim uslovima procesa obrade na strugu moraju obezbediti odgovarajuće izlazne karakteristike sistema kao što su: potreban kvalitet obrađene površine i tačnost predmeta obrade. Osim toga, elementi režima rezanja moraju imati i mogućnost realizacije u sistemu mašina alatka-pribor-predmet obrade-alat. Iz toga proizilazi da je strategija optimizacije režima rezanja uslovljena kako postavljenim funkcijama cilja tako i funkcijama ograničenja preko kojih se moraju uvažiti mogućnosti elemenata obradnog sistema.

Funkcije ograničenja procesa obrade na strugu se, u zavisnosti od vrste funkcija u koordinatnom sistemu sv , dele na dve grupe funkcija [1-9]:

- grupa linearnih funkcija ograničenja procesa i
 - grupa nelinearnih funkcija ograničenja procesa.
- U grupu linearnih funkcija ograničenja procesa obrade na strugu spadaju:
- najveća vrednost dubine rezanja, koja predstavlja minimum od vrednosti dodatka za obradu i dužine rezne ivice alata;
 - najveća vrednost koraka, koja predstavlja minimum od vrednosti najvećeg raspoloživog koraka mašine, otpornosti držača pločice na savijanje, dozvoljenog ugiba predmeta u procesu obrade, ograničenja dozvoljenim obrtnim momentom glavnog vretena mašine i najmanje vitkosti strugotine;
 - najmanja vrednost koraka, koja predstavlja maksimum od vrednosti najmanjeg raspoloživog koraka mašine i najveće vitkosti strugotine;
 - najveća vrednost brzine rezanja ograničena najvećim raspoloživim brojem obrtaja

glavnog vretena mašine i

- najmanja vrednost brzine rezanja ograničena najmanjim raspoloživim brojem obrtaja glavnog vretena mašine.

U grupu nelinearnih funkcija ograničenja procesa obrade na strugu spadaju:

- ograničenje zahtevanim kvalitetom obrađene površine:

$$R_a \geq \frac{C_R \cdot a^{x_R} \cdot s^{y_R}}{v^{m_R} \cdot r^{z_R}} \quad (3)$$

- ograničenje raspoloživom snagom mašine:

$$P_M \geq \frac{C_k \cdot v \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1}}{6120 \cdot \eta} \quad (4)$$

Na osnovu pokazanih funkcija ograničenja vidi se da ima dve grupe funkcija ograničenja. Prva grupa ograničenja obuhvata funkcije ograničenja kao funkcije samo jednog elementa koji se optimizira (korak ili brzina rezanja). Svako od ovih ograničenja se svodi na određivanje brojnih vrednosti granica koraka i brzine rezanja sa gornje i donje strane koordinatnog sistema *sv*. Druga grupa ograničenja obuhvata funkcije ograničenja kao nelinearne funkcije koraka i brzine rezanja i pri optimizaciji stvaraju dosta poteškoća, koje se primenom računara lako rešavaju.

2.3 Funkcije cilja procesa obrade na strugu

Kao osnovne funkcije optimizacije režima rezanja na strugu mogu se uzeti [1-6]:

- intenzivnost rezanja ili zapreminska proizvodnost:

$$q = v \cdot a \cdot s \quad [\text{cm}^3/\text{min}] \quad (5)$$

- proizvodnost:

$$P = \frac{1}{t_u} \quad [\text{kom}/\text{min}] \quad (6)$$

- ukupno vreme obrade:

$$t_u = t_{pz} + (t_{pm} + t_{pr}) \cdot K_d + \frac{L \cdot D \cdot \Delta \cdot K_d}{320 \cdot a} \cdot \left[\frac{1}{v \cdot s} + T_s \cdot \frac{v^{\frac{1}{m}-1} \cdot a^{\frac{x}{m}} \cdot s^{\frac{y}{m}-1}}{C_v^{1/m}} \right] \quad [\text{min}] \quad (7)$$

- troškovi obrade:

$$T_z = [t_{pz} + (t_{pm} + t_{pr}) \cdot K_d] \cdot C_M + \frac{L \cdot D \cdot \Delta \cdot K_d \cdot C_M}{320 \cdot a} \cdot \left[\frac{1}{v \cdot s} + (T_s + A) \cdot \frac{v^{\frac{1}{m}-1} \cdot a^{\frac{x}{m}} \cdot s^{\frac{y}{m}-1}}{C_v^{1/m}} \right] \quad [\text{din}] \quad (8)$$

3. METODE OPTIMIZACIJE REŽIMA REZANJA PRI OBRADI METALA REZANJEM

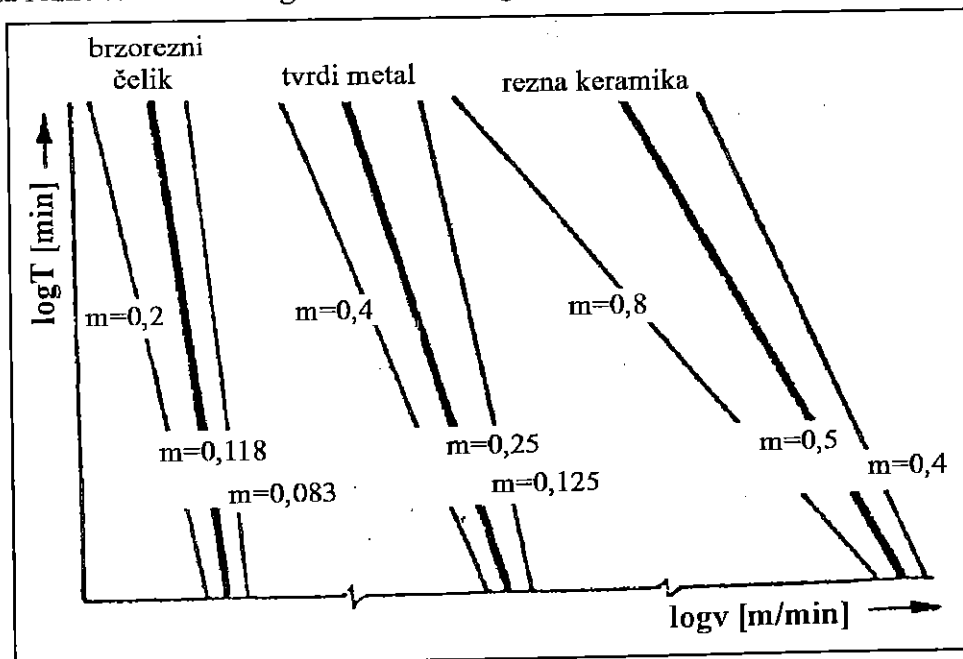
U teoriji optimizacije razvijeno je više metoda i postupaka pomoću kojih se sa dovoljno tačnosti mogu rešavati postavljeni problemi u cilju iznalaženja optimalnih rešenja. Izbor i upotreba pojedinih matematičkih metoda optimizacije obradnih procesa uglavnom zavisi od: karaktera posmatranog obradnog procesa i njegovog matematičkog modela optimizacije. Skup metoda tehnokonomске optimizacije, obradnih i tehnoloških procesa,

može se podeliti na tri grupe [1-9]:

- analitičke metode optimizacije (metod klasične matematičke analize, metod Lagranžovih multiplikatora, gradijentni metod, simpleksni metod, metodi pretraživanja optimuma, metodi matematičkog pretraživanja: linearno, dinamičko i geometrijsko programiranje, metod maksimuma, varijacioni metod, iteracioni metod, metod skeniranja, grafički metod i dr.);
- eksperimentalne metode optimizacije (Boks-Vilsonov gradijentni metod, usmereni evolucionni metod, metod slučajnog pretraživanja, rotacioni kvadratni evolucionni metod, simpleksni eksperimentalni metod, regresioni metod i dr.) i
- statističke metode optimizacije (metod masovnog opsluživanja, metod slučajnog procesa, metod upravljanja lancima Markova, metod kvadratne greške, metod statističkog odlučivanja, metod Monte-Karlo ili statističko modeliranje, metod opredeljenja optimalnih linearnih sistema upravljanja po minimumu srednje kvadratne greške, verovatnosni metod optimizacije ili metod optimizacije na osnovu podataka o pouzdanosti, parametarske metode optimizacije sistema upravljanja i dr.).

4. OPTIMIZACIJA REŽIMA REZANJA PRI OBRADI METALA REZANJEM

Principijelno različita struktura tvrdog metala i rezne keramike kao alatnih materijala zahteva i principijelno drukčije smernice za njenu primenu i optimizaciju. Ove razlike slede iz razlike tvrdoće alatnog materijala koja utiče na intenzitet habanja i eksponent m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti alata. Kod rezne keramike nosioci tvrdoće oksid aluminijuma (Al_2O_3) i titanov karbid (TiC) i drugi se sinteruju bez vezivnog metala. Kod tvrdog metala nosioci tvrdoće volframov karbid (WC), titanov karbid (TiC) i tantalov karbid (TaC) sa metalnim bazama spojeni su primenom kobalta (Co) ili nikla (Ni). Pri visokim temperaturama, koje nastaju na reznoj ivici reznog alata od tvrdog metala habanje raste progresivno. Brzina rezanja znatno utiče na temperature u reznoj ivici pa time i na habanje tvrdog metala, isto kao kod alatnih i brzoreznih čelika. Ona je zbog toga i optimizaciona veličina za te rezne materijale. Ovo je veoma dobro definisano eksponentom m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti alata, koji se za rezne alate od tvrdog metala kreće u granicama od 0,125 do 0,4 (slika 2.) [11].



Slika 2. Orjentacione vrednosti eksponenta m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti alata za različite alatne materijale

4.1. Optimizacija režima rezanja pri obradi metala rezanjem reznim alatima od tvrdog metala

Na osnovu vrednosti eksponenta m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti reznih alata od tvrdog metala bira se najveća moguća vrednost koraka s obzirom na neku od funkcija ograničenja a optimizira brzina rezanja (slika 3.), tj.:

$$s_o = s_{\max}$$

$$\frac{\partial T_z}{\partial v} = 0 \Rightarrow v_o = \frac{C_v}{\left[\frac{1-m}{m} \cdot (T_s + A) \right]^m \cdot a^x \cdot s^y} \quad (9)$$

$$T_o = \frac{1-m}{m} \cdot (T_s + A)$$

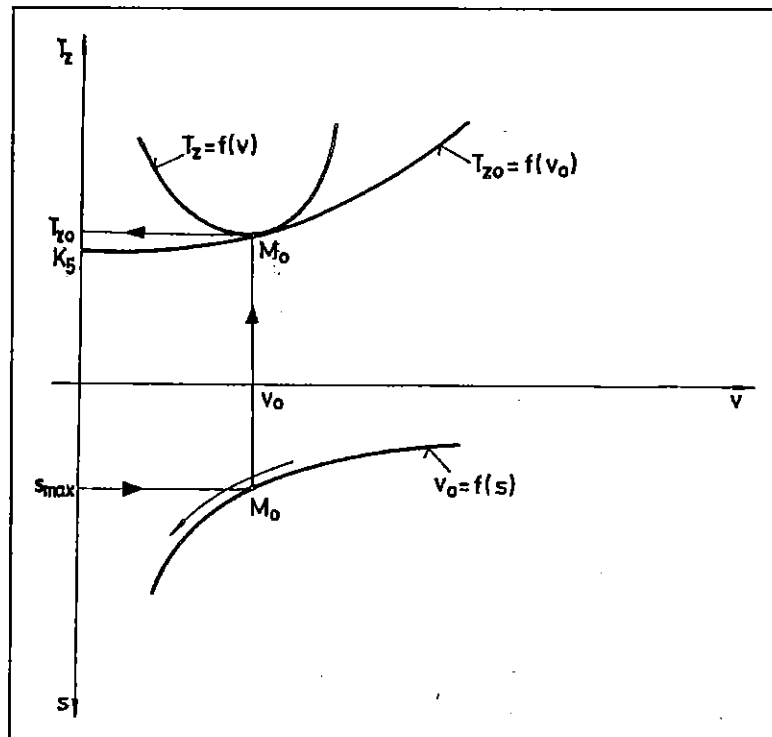
To znači da se minimalni troškovi obade struganja pri primeni reznih alata od tvrdog metala postižu u režimskim uslovima:

$$M_o = M_{\max} = \{s_{\max}; v_o\} \quad (10)$$

koordinatne ravni Osv (slika 3.). Obrnuto područje $\{s_o; v_{\max}\}$ karakteriše relativno visok nivo troškova obrade.

4.2. Optimizacija režima rezanja pri obradi metala rezanjem alatima od rezne keramike

Pri optimizaciji režima rezanja pri obradi metala rezanjem alatima od rezne keramike postoje tri osnovne razlike u poređenju sa optimizacijom sa tvrdim metalom [1, 12]:



Slika 3. Položaj i oblik linije optimalnih troškova obrade pri obradi metala rezanjem reznim alatima od tvrdog metala

- habanje rezne keramike, svedeno na dužinu rezanja, je do granične brzine rezanja skoro nezavisno od brzine rezanja,

- glavno vreme obrade je zbog obrade sa velikim brzinama rezanja kraće od pomoćnih vremena, naročito kod manjih predmeta obrade i
- prema jednačinama: Taylor-ova jednačina i funkcije cilja (8) i jednačina optimizacije (9) dobijeni podaci za obradu metala rezanjem sa alatima od rezne keramike su uopšteno veliki, da najčešće nisu ostvarivi u praksi, napr. zbog suviše malog broja obrtaja ili suviše male snage mašine.

Vrednosti eksponenta m u Taylor-ovoj jednačini postojanosti alata od rezne keramike kreću se u granicama od 0,4 do 0,8 (slika 2.) [11]. Novija istraživanja pokazuju da se vrednosti za eksponent m za novije vrste rezne keramike sve više približavaju jedinici [1]. Zbog toga se pri primeni alata od rezne keramike bira najveća moguća brzina rezanja s obzirom na ograničenja mašine alatke i predmeta obrade a optimizira korak (slika 4.), tj.:

$$v_o = v_{\max}$$

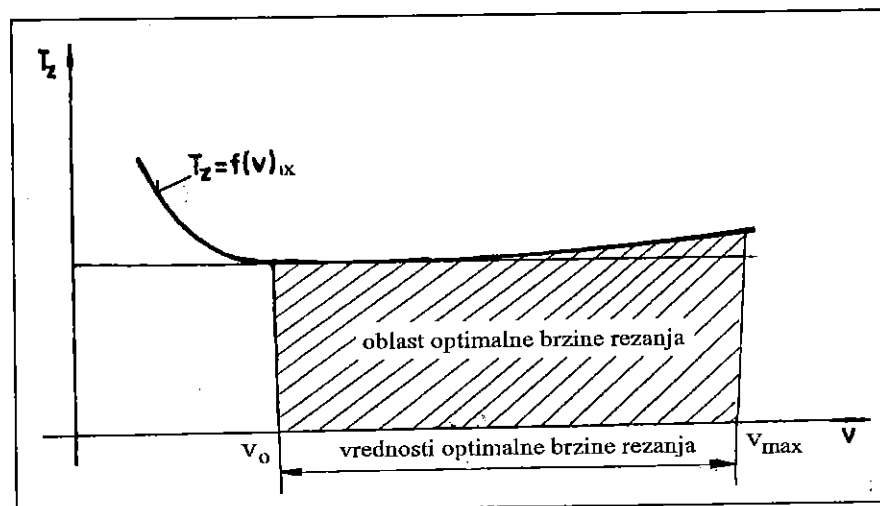
$$\frac{\partial T_z}{\partial s} = 0 \Rightarrow s_o = \left[\frac{C_v}{\left[\frac{1-m}{m} \cdot (T_s + A) \right]^m \cdot a^x \cdot v} \right]^{\frac{1}{y}} \quad (11)$$

$$T_o = \frac{y-m}{m} \cdot (T_s + A)$$

To znači da se minimalni troškovi obrade struganja pri primeni alata od rezne keramike postižu u režimskim uslovima:

$$M_o = M_{\max} = \{s_o; v_{\max}\} \quad (12)$$

koordinatne ravni Osv (slika 4.). Obrnuto područje $\{s_{\max}; v_o\}$ karakteriše relativno visok nivo troškova obrade.



Slika 4. Položaj i oblik linije optimalnih troškova obrade pri obradi metala rezanjem alatima od rezne keramike

5. ZAKLJUČAK

Zbog različite strukture tvrdog metala i rezne keramike različite su i smernice za njihovu optimizaciju.

Pri obradi na strugu reznim alatima od tvrdog metala bira se najveća moguća vrednost koraka s obzirom na neku od funkcija ograničenja a optimizira brzina rezanja.

Dok se pri obradi na strugu alatima od rezne keramike bira najveća moguća vrednost brzine rezanja s obzirom na neku od funkcija ograničenja a optimizira korak.

6. LITERATURA

- [1] DAŠIĆ P.: *Istraživanje procesa završne obrade na strugu čelika povećane tvrdoće alatima od rezne keramike*, monografija (u pripremi)
- [2] DAŠIĆ P.: *Razvoj osnova sistema za projektovanje tehnoloških informacija obrade struganjem za numerički upravljanje mašine alatke u Industriji '14. oktobar' u Kruševcu*, Mašinski fakultet, Beograd, 1985.
- [3] DAŠIĆ P.: *Savremene metode određivanja optimalnih elemenata režima rezanja pri obradi na NU strugu uz pomoć računara*, časopis Tehnika, separat Mašinstvo, Beograd, god. 36 (1987.) br. 5-6, s. M8-M14
- [4] STANIĆ J.: *Uvod u teoriju tehnoekonomske optimizacije procesa*, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [5] ЧИЖОВ Н. В., ШВЕДЕНКО Н. В.: *Оптимизация режима резания на основе технико-экономических показателей*, Станки и инструмент, No. 5, 1982.
- [6] ЯКОБС Г. Ю., ЯКОБ Э., КОХАН Д.: *Оптимизация резания, Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации*, Машиностроение, Москва, 1981.
- [7] TODIĆ V.: *Varijantni automatizovani sistem tehnoekonomske optimizacije tehnoloških procesa obrade*, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1988.
- [8] MEČANIN V.: *Optimizacija obradnih procesa u mašinogradnji*, Mašinski fakultet, Kraljevo, 1996.
- [9] СТАРКОВ В. К.: *Обработка резанием, Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве*, Машиностроение, Москва, 1989. - 296 с.
- [10] SPUR G., STOFERLE T.: *Hanbuch der Fertigungstechnik, Band 3/1 Spanem*, Carl Hanser Verlag, Munchen - Wien, 1979.
- [11] VDI 3321 Blatt 1: *Optimierung des Spanens, Grundlagen*, VDI Gesellschaft Produktionstechnik, Dusseldorf, 1976.
- [12] GOMOLL V.: *Optimierungsrichtlinien für den Einsatz von Schneidkeramik beim Drehen*, VDI-Z, Bd. 123 (1981.) Nr. 20, s. 181-190

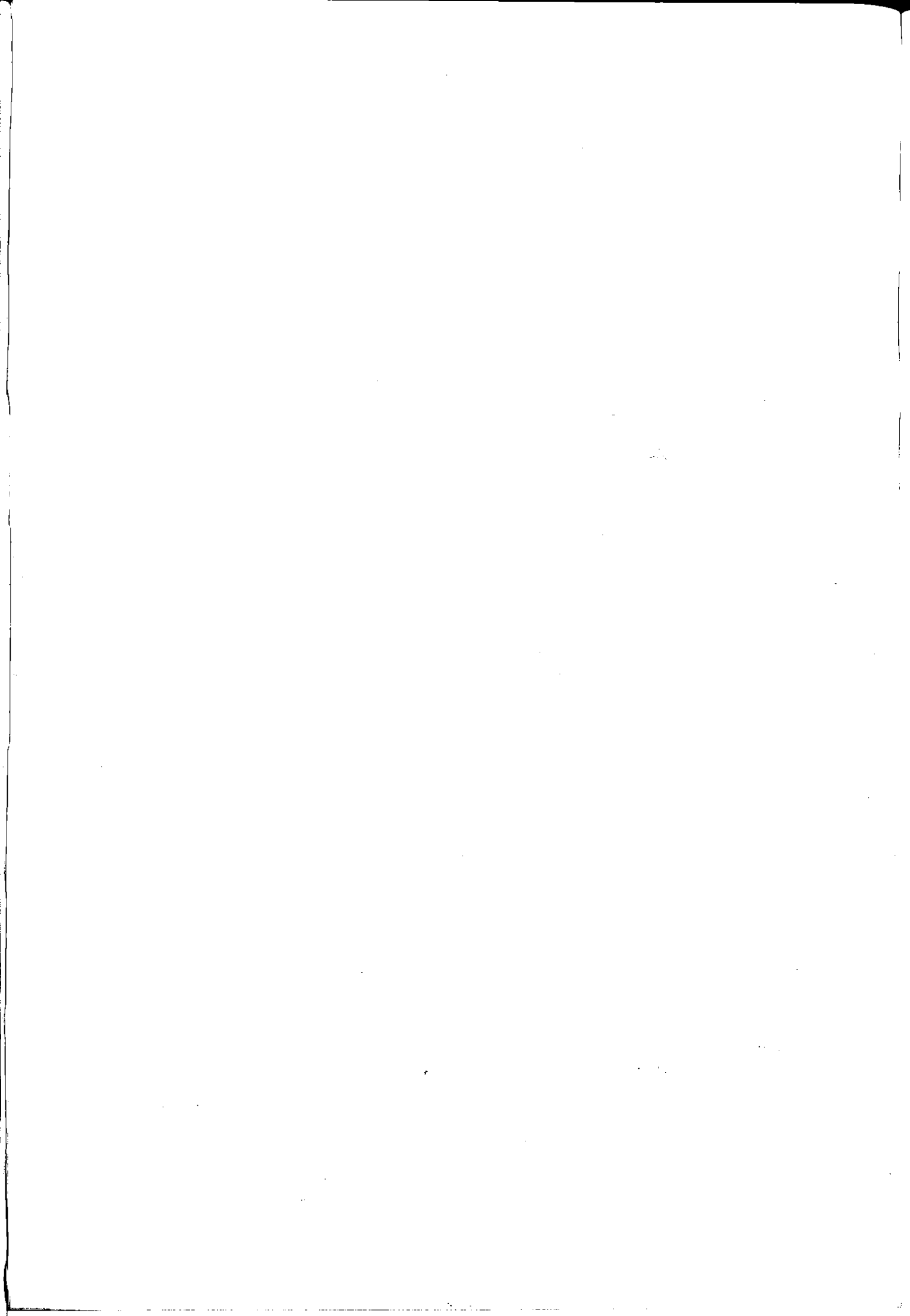
OPTIMIZATION OF CUTTING REGIME FOR METALWORKING BY CERAMIC CUTTING TOOLS

Summary

The principle of different structure of hard metal and cutting ceramic like material for tools needs and principle of different directions for their application and optimization. Those differences are product of wear intensity and exponent m of tools steadiness Taylor's equation, which have value from 0,4 to 0,8 for ceramic cutting tools. In the paper is given analysis and problems of optimization of cutting regime for turning processing by ceramic cutting tools.



5. KVALITET



SIX SIGMA U MAŠINSTVU

Prof.dr Vojislav Stoilković

REZIME

Six Sigma je koncept koji se smatra najznačajnijom inicijativom do sada vidjenom u svetu. Ovaj koncept omogućava da se na milion prilika za grešku naprave samo 3,4 greške, što se može smatrati "zero defect", odnosno proizvodnja bez grešaka. Ovaj koncept je prva pokrenula Motorola daleke 1987. godine. Danas ne postoji ni jedna značajnija kompanija koja ne realizuje taj koncept.

U ovom radu se daje prikaz Six Sigma koncepta i mogućnosti primene tog koncepta u proizvodnom mašinstvu.

1. UVOD

Preduzeća su izložena stalnim udarima. Sa kresanjem budžeta i smanjenjem radne snage, povećanom konkurencijom, kompanije moraju da izvrše dramatične promene. Ovaj zahtev traži da se radi efikasnije radi izbegavanja rasipanja i smanjenje troška za realizaciju biznisa. Kako da kompanije ispune ove zahteve bez naprezanja svojih resursa do iscrpljena? Odgovor leži u iskorišćavanju onih alata koji su već u korišćenju u kompanijama za poboljšanje kvaliteta i njihovoj kombinaciji radi sienergetskog poboljšanja načina na koji kompanije rade posao. To znači ulaz u Six Sigma. Six Sigma najsnažniji alat menadžmenta za značajno napredovanje koji je ikada izmišljen (Mik,00).

Šta je Six Sigma? To je biznis proces koji dozvoljava kompanijama da dramatično poboljšaju svoje krajnje rezultate dizajniranjem i nadgledanjem svakodnevnih biznis aktivnosti na način da minimiziraju rasipanje i resurse dok povećavaju zadovoljstvo kupca. Six Sigma vodi kompanije da prave manje grešaka u svemu što rade – od ispunjavanja nabavke porudžbine do proizvodnje proizvoda i usluga – eliminišući greške u kvalitetu u ranije mogućem događaju. Programi kontrole kvaliteta su fokusirani na otkrivanje i ispravljanje komercijalnih, industrijskih i grešaka dizajna. Six Sigma obuhvata nešto šire: *Ona obezbeđuje specifične metode za ponovno kreiranje procesa tako da defekti i greške nikada ne nastanu na prvobitnom mestu.*

Industrije su očajne da nadju nove puteve da održe na vodi plovak profitabilnosti. To je razlog zašto su kompanije toliko različite kao Motorola, AlliedSignal, General Electric, Sony, Honda, Maytag, Raytheon, Texas Instrument, Bombardier, Canon, Hitachi, Lockheed Martin, Sony, Citibank i Polaroid usvojile Six Sigma. Mnoge od ovih kompanija se protive modama u menadžmentu. Ali one su zagrlile Six Sigma pošto veruju da će im inicijativa pomoći da povećaju udeo na tržištu, smanje troškove, i povećaju margine profita. Kao rezultat, one su počele da povezuju kvalitet direktno sa krajnjim rezultatom.

Six Sigma proizvodi superiorne finansijske rezultate, korišćenjem biznis strategija koje ne samo da oživljavaju kompanije već im pomažu da preskoče ispred svoje konkurencije u terminima udela tržišta i profitabilnosti. Pri dostizanju onoga što se čini nemogućim, *kompanije postizu moguće.*

Najveći razlog za neverovatni žagor oko Six Sigma kroz biznis zajednicu bio je njen zadivljujući uspeh u dramatičnom poboljšanju krajnjeg rezultata profitabilnosti kompanija.

Kao rezultat toga Six Sigma je postala omiljena na Wall Street-u. Mnogi menadžeri širom sveta su nezadovoljni sa neznatnim efektom koje su imali programi kvaliteta (ISO 9000, TQM itd.) na krajnji rezultat. Oni su danas zaprepašćeni onim što je dokazano. "Six Sigma kompanije ... postižu brže obrt radnog kapitala; nižu potrošnju kapitala; veću produktivnost troškova za R&D; brži razvoj novog proizvoda i veće zadovoljstvo kupca," piše u materijalima koji se objavljuju svakog dana u svetu. Procenjeno je da će u 2000. godini, ukupna koristi od Six Sigma u GE biti veće od \$6,6 milijardi ili 5,5% od prodaje.

U ovom radu se izlaže Six Sigma koncept koji obezbeđuje da se na 1.000.000 prilika za grešku načine samo 3,4 greške. Posebno se ukazuje da je klasičan pogled na tolerancije i specifikacije "mrtav" i da ne daje rezultate koji mogu da omoguće kompaniji da opstane. Danas je potrebno da kompanije pogadjaju tačnu u metu, a to znači da se u mašinstvu postižu nominalne vrednosti sa tolerancijama čija je varijacija veoma, veoma mala, reda veličina nanometara.

Rad ima četiri poglavlja. U poglavlju dva se izlaže Six Sigma koncept. Poglavlje tri se izlaže postupak implementacije Six Sigma, a u zaključku se ukazuje na koristi koje može da očekuje kompanija koja krene na putovanje zvano Six Sigma.

2. SIX SIGMA KONCEPT

Six Sigma je sistem koji kombinuje alate za kontinualno poboljšanje kvaliteta koji su pri ruci radi fokusa na procese, njihovu analizu i poredjenje, i objektivno dodeljivanje resursa onim procesima koji zahtevaju najveću pažnju. Zajednička karika izmedju različitih procesa u organizaciji je defekt. Svaki proces ih ima i oni uzrokuju doradu, škart, dodatni rad čoveka i povećani trošak. Fokusiranje na ove defekte i koncentrisanje napora u njihovom smanjenju, smanjiće se radna norma kao i trošak procesa. Six Sigma sistem meri defekte u procesu i normalizuje ih tako da može da se napravi poredjenje izmedju procesa. Jednom kada se napravi poredjenje izmedju procesa, može da se naprave objektivne odluke za to gde rasporediti resurse za bolje performanse (Jer,99).

Six Sigma nije nešto novo. Koncept postoji duže od jedne dekade. Six Sigma koncept je razvijen kod Motorole sredinom 1980. za analizu njihovih procesa izrade i eliminaciju defekata. To je usvojeno od TI - Texas Instrumens 1991. godine i data je univerzalna primena kroz organizaciju, posmatranjem ne samo procesa izrade, već svih procesa unutar organizacije. To je iskorišćeno u izradi proizvoda, razvoju proizvoda, softvera, kao i biznis procesa. TI je otkrio to kao i početak sistema za dijagnostiku, jer Six Sigma može da obezbedi prethodne mere za kratkoročne operacije procesa (TQL,98).

Six Sigma je jedna metrika u kojoj se mere defekti unutar procesa i obezbeđuje se pogodan grafikon preko koga se izlažu rezultati i vode akcije prema poboljšanju. Six Sigma je Benchmark u koji se normalizuje metrika izmedju procesa radi dopuštanja poredjenja, identifikacije »best-in-class.« Six Sigma je vizija u kojoj se Six Sigma virtualno izjednačava sa procesom bez defekata, što je željeno krajnje stanje za jednu organizaciju. Six Sigma je filozofija kontinualnog poboljšanja i vodi prema »izvrsnosti u svemu što radimo.« Six Sigma je sistem korišćen da se odredi gde je kompanija, gde želi da bude, kako može da dodjemo tamo i kako određuje progres duž puta. Six Sigma je alat korišćen za fino podešavanje procesne mašine kroz fokus kupca, kontinualno poboljšanje i uključenje ljudi unutar i izvan organizacije.

činjenica je, organizacijama su potrebni načini merenja za ono što traže da vrednuju. Merenja, ili "metrika" kako to radije zovemo, prenosi relevantnost svakom članu, za svaku aktivnost u organizaciji. Vi ne možete da menjate ono što ne možete da merite. Six Sigma u osnovi koristi metriku za računanje uspeha svega što radi jedna organizacija. Oduševljeni govori, koloristični poster, i starateljstva kompanije neće proizvesti kvantnu promenu – samo merenje stvari koje kompanija vrednuje mogu da urade to. Bez merenja procesa kompanije – i promena za ove procese – nemoguće je znati gde ste ili gde idete. Six Sigma nam kaže:

- || • Mi ne znamo šta ne znamo.

- Mi ne možemo da radimo ono što ne znamo.
- Mi ne možemo da znamo dok ne merimo.
- Mi ne merimo ono što ne vrednujemo.
- Mi ne vrednujemo ono što ne merimo.

U principu, Six Sigma je proces postavljanja pitanja koja vode do opipljivih, odgovora sposobnih da kvantifikuju, što konačno proizvodi profitabilnije rezultate. Ova knjiga će reći šta je Six Sigma, kao se primenjuje, i šta može da uradi za kompaniju, biznis ili organizaciju. To će biti vaš vodič za transformaciju znanja u živu viziju.

2.1 Six Sigma jezik

Postoji mali broj termina i definicija koje moraju da se prouče kako bi pomogle u razumevanju Six Sigma koncepta. Možda ste familijarni sa nekim od njih. Druge mogu biti nove. Ali sve one počinju sa procesom.

Proces je aktivnost koja dodaje vrednost, a koja uzima resurse / sirovi materijal od isporučioaca i proizvodi izlaz koji zadovoljava potrebe kupca.

Jedinica rada je izlaz iz procesa ili pojedinačni korak procesa.

Defekt je pogreška ili greška koja je prošla do kupca. Defekt rezultira nezadovoljstvom kupca i doradom.

Prilike za grešku su mesta / koraci u procesu gde može da se desi defekt. Prilike za grešku definišu složenost procesa.

Defects Per Unit – DPU (defekata po jedinici). DPU je odnos koji pokazuje kvalitet izlaza.

Ako jedinica ima više defekata, kvalitet je niži. Možete li da se složite? Jednačina je:

$$DPU = \# \text{ defekata} / \# \text{ jedinica}$$

Defects Per Million Opportunities – dpmo (defekta za milion prilika). Dpmo obezbedjuje ekvivalentno poredjenje procesa promenljive složenosti. Recite šta? U redu. Samo pogledajte na ovu jednačinu i to će se objasniti:

$$dpmo = DPU \times 1.000.000 / \# \text{ prilike za grešku}$$

Tako. Da li se to čini jasno? Ne? Jednostavno počnite, dpmo odgovara na pitanje, "Da li ovaj proces ima milion tačaka gde može da se pojavi greška, i koliko mnogo grešaka će se stvarno pojaviti?"

Koliko mnogo defekata se dešava po prilici za grešku? Mora da se uzme DPU i podeliti sa prilikama za grešku (O/E Opportunities for Error) da bi se odredili defekti po prilici. Jednačina?

$$DPO = DPU / (O/E)$$

Problem sa ovim brojem je to da je prilično mali, a defekti se normalno ne pojavljuju u decimalima. Oni se pojavljuju u celim brojevima, pa treba da se okrene ovaj DPO u celi broj. To je gde milion dolazi u predstavljanje. Zašto je izabran jedan milion? Jer jedan milion može da dovede celi broj virtualno za svaki proces, čak i za proces koji je skoro bez defekta.

Pa, koliko mnogo defekata će biti na milion prilika u ovom primeru?

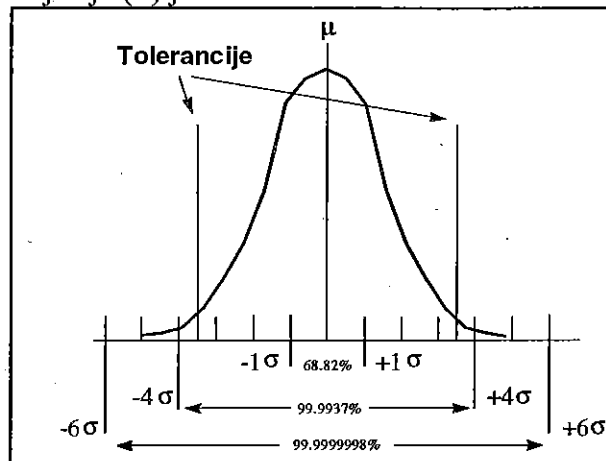
$$dpmo = DPU \times 1.000.000 / \# \text{ prilike za greške}$$

2.2 Standardna devijacija

Standardna devijacija, ili sigma (σ) opisuje raspodelu podataka oko sredine. Ako se pomerimo izvan sredine u oba pravca dok se dospe do jedan (1) sigma, područje između dve tačke će uključiti približno 68% tačaka sa podacima (karakteristike proizvoda koji izradujemo). Dva sigma obuhvata približno 95% tačaka sa podacima. četiri sigma obuhvata približno 99,9937% tačaka sa podacima. Kada dobijete six sigma, obuhvatićete 99.9999998% tačaka sa podacima ili, bazno, 100%.

Standardna devijacija varira zavisno od toga koliko su dobro tačke sakupljene oko sredine. Ako su tačke bliže jedna drugoj, standardna devijacija (σ) je manja. Ako su tačke daleko

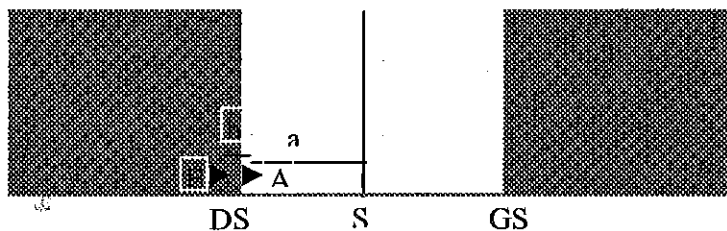
odvojene, standardna devijacija (σ) je veća.



Slika 1 Standardna devijacija σ

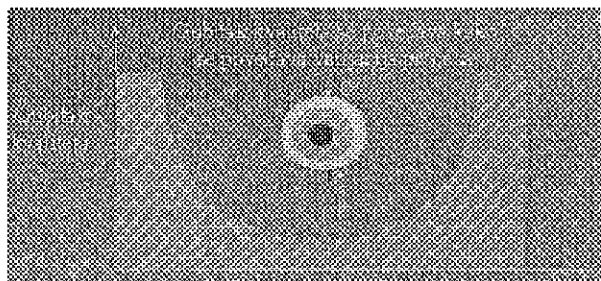
Postoje neka ograničenja unutar kojih svaki proces mora da radi. Ova ograničenja se nazivaju tolerancije, ili specifikacione granice (donja i gornja). Svaka tačka koja pada izvan specifikacionih granica naziva se defektom (proizvod B na slici 2).

Postavlja se pitanje, kako to da je proizvod A, koji pada blizu donje specifikacione granice (DSG) dobar, iako je njegova udaljenost od srednje vrednosti (SV) a , daleko veća od udaljenosti između proizvoda A i B (vrednost b na slici 2). Takav pogled na kvalitet proizvoda je tradicionalan (crno beli – ili je dobar ili je loše) i ne može da zadovolji današnji pogled na kvalitet.



Slika 2 Tradicionalni pogled na gubitak procesa

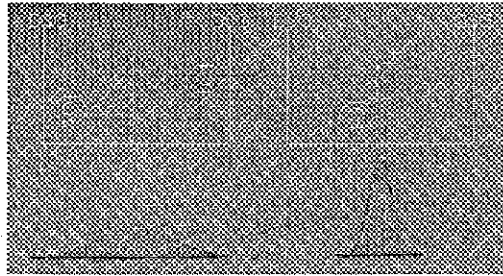
Taguchi je uveo novi pogled na proces kroz funkciju gubitka procesa. Naime, po Taguchiju svako odstupanje od mete (nominalne vrednosti) predstavlja gubitak procesa. Taj gubitak je utoliko veći ukoliko je karakteristika proizvoda udaljenija od nominalne vrednosti, ma koliko da su tolerancije male.



Slika 3 Taguchijev pogled na gubitak procesa preko funkcije gubitka

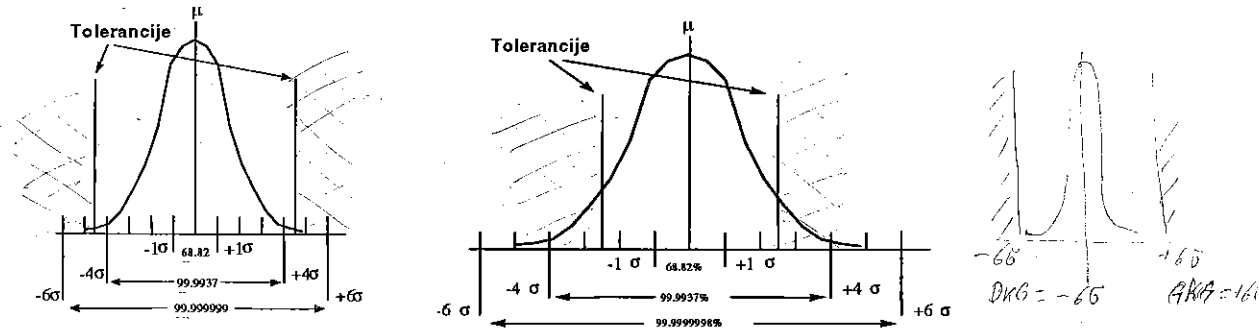
Za bolje razumevanje funkcije gubitka procesa može da posluži prikaz na slici 3. Na levoj strani te slike su prikazane navrtke koje se dobijaju u procesu. One padaju unutar specifikacionih granica, i po tradicionalnom pogledu na kvalitet, može da se tvrdi da su ti proizvodi dobri. Na desnom delu slike 3 su prikazane navrtke koje takodje padaju unutar specifikacionih granica, ali je njihovo rastojanje od nominalne vrednosti daleko manje, a to znači da je i gubitak procesa u kome nastaju te navrtke daleko manje. Sledi razuman

zaključak da je sposobnost procesa koji proizvodi navrtke na desnom delu slike viša, odnosno da će u proizvodnji biti manje defekata.



Slika 4 Funkcija gubitka procesa na primeru izrade navrtke

Ono što se posebno zapaža sa slike 4 to je da Gaus-ova kriva za desni deo slike im malu standardnu devijaciju i mali gubitak procesa (crveni deo ispod Gaus-ove krive), a da Gaus-ova kriva za levi deo slike ima veliku standardnu devijaciju i veliki gubitak procesa.



Pogledajmo slike 5 i 6 na kojima tolerancije ostaju iste, a menja se standardna devijacija. Kriva sa manjom standardnom devijacijom ima manje tačaka koje padaju izvan granica tolerancija. Sigma nivo za proces može da se odredi lociranjem preseka granica tolerancija na skali sigma. Za manju standardnu devijaciju gore pomenutog procesa, sigma nivo (metrika koju uvodi Six Sigma) je približno 4,5. Za veću standardnu devijaciju gore pomenutog procesa, sigma nivo je približno 2,5. Ova vrednost sigma je metrika koja pokazuje koliko dobro se izvršava proces. Viša vrednost je bolja, a manja verovatno proces koji će proizvesti defekte. Sledeća tabela daje uvid u kvalitet proizvoda u zavisnosti od vrednosti sigma.

Sigma Significance	
Sigma numbers	Defects per million
1.5σ	500,000
2.0σ	308,300
2.5σ	150,650
3.0σ	67,000
3.5σ	22,700
4.0σ	6,220
4.5σ	1,350
5.0σ	233
5.5σ	32
6.0σ	3.4

Prosečna kompanija u svetu radi na 3 sigma nivou kvaliteta. Kompanije mogu da očekuju da naprave jedan sigma promenu poboljšanja godišnje do 4,7 sigma, što znači da kompanije koja fokusira sve svoje resurse na Six Sigma može očekivati da se pomeri na 4 sigma za vreme prve godine implementacije. Kompanije koje su već na 4 sigma mogu očekivati poboljšanje od 4,7 sigma za vreme prve godine implementacije i razvoja. Finansijske koristi od napredovanja od 3 na 4 ili 4,7 Six Sigma su eksponencijalne i iskustvo je pokazalo da

kompanije mogu da postignu sigma nivo veći od 4,7 sigma bez trošenja velikog kapitala. U drugoj godini, takve kompanije mogu da očekuju pomeranje od 4,7 sigma na 5 sigma, i u trećoj godini od 5 na 5,1 sigma. Što bliže dolaze kompanije ka ispunjenju Six Sigma, postaju sve veći zahtevi za poboljšanje. Na 4,8 sigma kompanije udaraju u "zid" koji zahteva redizajniranje procesa, poznato kao "Design for Six Sigma" (projektovanje za Six Sigma). Ipak, povećanje margine profita kompanije između 3 sigma i 4,8 sigma je tako dramatično, praveći ove kompanije toliko više profitabilne nego što je njihova konkurencija, tako da one mogu selektivno da izaberu koju fabriku, proizvod, operaciju ili proces treba da poboljšaju da postignu 5 sigma ili više.

Primeri Benchmarkinga kompanija dati su u narednoj tabeli.

Sample benchmarks	
IRS phone-in tax advise	(2.2 σ)
Restaurant bills, doctors prescription writing, and payroll processing	(2.9 σ)
Average company	(3.0 σ)
Airline baggage handling	(3.2 σ)
Best in class companies	(5.7 σ)
U.S. Navy aircraft accidents	(5.7 σ)
Watch off by 2 seconds in 31 years	(6 σ)
Airline industry fatality rate	(6.2 σ)

Naredne tabele daju primere određivanja sigma nivoa kvaliteta.

Proces	Defekt	# defekta	Jedinica	# jedinica	Vrlike za grešku
Pretpoletna kontrola	Blakanje / neispunjen dio propušten da kontrolni	25	Svaka kontrola	40	50
Davanje injekcija	Nelorektna količina Pogrešan tek	2	Svaka kontrola	1000	2
Provera vozila	Nekoraktan pristup guma	1	Svaka provera	30	3

Proces	DPU	dpmo	Sigma
Pretpoletna kontrola	0.3657	6436.58	2.83
Davanje injekcija	0.002	500.00	4.61
Provera vozila	0.033	303.03	3.53

Iz navedenih tabela se vidi da je proces davanja injekcija najbolji (sigma 4,61), zatim sledi proces pretpoletne kontrole (sigma 3,88) i na kraju provere vozila (sigma 3,53). Kao što se vidi rade se o različitim procesima koji koriste istu sigma metriku za poredjenje. Stoga se može reći da je sigma jedinstvena metrika za bilo koji proces ili bilo koji proizvod i to bilo koje složenosti. Samo recite sigma i znaće se o kom kvalitetu je reč.

3. IMPLEMENTACIJA SIX SIGMA U PROIZVODNA PREDUZEĆA

Model implementacije Six Sigma procesa realizuje se u 4 osnovna koraka:

1. Merenje svakog procesa i transakcije
2. Analiziranje svakog od njih
3. Pažljivo poboljšanje svakog procesa i transakcije

4. Rigorozno kontrolisanje po pitanju konzistentnosti od trenutka kada su poboljšani. Kompanija mora da meri i analizira u cilju pronalaženja korena uzroka problema u kvalitetu. U tim nastojanjima kompanija teži da spreči ponovnu pojavu problema. Faza kontrolisanja je najvažnija. Dok Six Sigma ne saživi u preduzeću, proizvodi i procesi u se popravljaju.

U nastavku su dati koraci za implementaciju Six Sigma:

1. Odredjivanje projekta za Six Sigma
2. Definisanje karakteristika kritičnih za kvalitet (CTQ critical-to-quality). To su one stavke koje su esencijalne za zadovoljstvo kupca poslovnim procesom ili proizvodom.
3. Početak Six Sigma procesa. Master Black Belts su mentori Black Belts koji prate četvoro faznu Six Sigma MAPK tehniku:

- Merenje: Počnite sa identifikacijom značajnih i kritičnih internih procesa koji utiču na CTQ i počnite da merite defekte povezane sa identifikovanim CTQ. Defekt predstavlja svako odstupanje od ciljne vrednosti. Ova faza je završena kada Black Belt može uspešno da meri defekte generisane u procesu koji najviše utiče na CTQ.
- Analiza: Pokušajte da shvatite načine zbog kojih defekti nastaju. U ovoj fazi Vam je potreban Brainstorming, korišćenje statističkih alata i ostalih alata da pronadjete ključne promenljive (X) koje izazivaju defekte. Faza se završava kada postoji jasno razumevanje koje su tu promenljive koje dovode do najvećih varijacija u procesu.
- Poboljšanje: Potvrdite ključne promenljive i zatim kvantificirajte uticaje ovih promenljivih na CTQ. Identifikujte maksimalan prihvatljiv opseg ovih promenljivih kako bi ste osigurali da merni sistemi mogu da mere varijaciju ključnih promenljivih. Na kraju, modifikujte proces kako bi ostao u prihvatljivom opsegu.
- Kontrola: Obezbedite da modifikovani proces dopušta da ključne promenljive ostanu u maksimalnim prihvatljivim opsezima korišćenjem osnovnih statističkih alata.

Postavlja se pitanje koliko traje proces uvođenja Six Sigma u jedno preduzeće. Motoroli je bilo potrebno skoro 15 godina. Taj isti put General Electric je prešao za manje od 4 godine. Stoga može pouzdano da se kaže da je period od 3 do 4 godine dovoljan, ako postoji privrženost top menadžmenta, da se postigne Six Sigma nivo kvaliteta u preduzeću. Postizanjem tog cilja proizvodna preduzeća, a to važi i za uslužna, mogu da ostvare ogromne uštede i da tako "skrivenu fabriku" koja troši novac, pretvore u profit, odnosno veće zadovoljstvo kupaca i zaposlenih.

4. ZAKLJUČAK

Iako nije novi koncept, Six Sigma inicijativa u kvalitetu je pomogla kompanijama koje dugo postoje da ostvare veliki povraćaj investicija koja su napravile. Ovaj izveštaj posebno ističe kritičku prirodu implementacije izvrsnosti u ostvarivanju koristi od Six Sigma programa, pokazujući koji je uspeh ostvario **General Electric (GE)** primenom ove inicijative.

Druge kompanije su ostvarile iste napretke u uštedama i marginama profita. **Motorola** tvrdi da je uštedela više od \$15 milijardi dolara samo u proizvodnji od trenutka kada je razvila Six Sigma program 1980. godine. Samo na jednom primeru, kompanija je smanjila vreme proizvodnje pejdžera sa više od 40 dana na manje od jednog sata. U **Motorola Lighting**, ostvareno je 70% poboljšanje u kvalitetu i defektima tokom poslednjih 8 godina kao rezultat primene ovog programa. Slično tome, **AlliedSignal** je tvrdio u julu 1998. da je ostvario uštede od \$1.5 milijarde od 1991. godine primenom Six Sigma. Kompanija je ostvarila uštede od \$600 miliona u 1999. godini i porast od dva posto operativnim marginama od 1997.

U prilog tome materijali i radna snaga su doneli su uštede kao rezultat ovog programa, i Six Sigma kompanije ostvaruju druge koristi kao što su:

- Smanjeno vreme rada u procesu
- Poboljšanje kapaciteta i produktivnosti

- Poboljšanje zadovoljstva kupaca i toka procesa
- Povećanje produktivnosti
- Smanjenje vremena ciklusa

Primena Six Sigma koncepta može da pomogne preduzećima u Jugoslaviji da naprave kvantne skokove i da tako smanje šupljinu koja postoji u odnosu na slična preduzeća na zapadu. Pri tome je važno napomenuti, da ovaj koncept ne zahteva velika ulaganja, jer počiva na korišćenju intelektualnog potencijala koji preduzeće ima u svojim saradnicima. Da bi taj potencijal postao upotrebljiv neophodno je da se saradnicima omogući da steknu nova znanja koja su neophodna za primenu Six Sigma.

5. LITERATURA

- (Mik,00) Mikel Harry, Richard Schroeder, Six Sigma, The Breakthrough Mangement Strategy, Currency, New York, 2000.
(TQL,98) Total Quality Leadership, Six Sigma, www.tql-navy.org
(Jer,99) Jerome A.Blakeslee Jr., Quality Progress, juli 99, 77-85
(Raz,00) Razni materijali sa Interneta

SIX SIGMA IN MECHANICAL ENGINEERING

Abstract

Six Sigma is concept with is regarded as the most important initiative in century. This concept enables performance characterized with only 3,4 defects per million opportunities, manufacturing without defects - "zero defects". Motorola company is the first company that started implementation of this concept in 1987. Today the biggest companies around the world are doing the same.

This paper presents Six Sigma concept and possibilities for implementation of this concept in mechanical engineering.

PLAN POBOLJŠANJA SISTEMA KVALITETA U PPT HIDRAULIKA AD

M.Dinić¹, M.Kolarević², T.Pantelić³

REZIME

U prvoj nedelji jula ove godine PPT-Hidraulika je u skladu sa zahtevima standarda EN ISO 9001 sertifikovala Sistem kvaliteta od strane nemačke sertifikacione kuće TUV CERT. Dobijanjem sertifikata završen je posao na uvođenju Sistema kvaliteta. Međutim, novi izazov i novi radni zadatak svakog zaposlenog u ovom preduzeću je dalje poboljšanje Sistema kvaliteta. U radu je prikazan plan daljeg rada na poboljšanju Sistema kvaliteta u PPT-Hidraulika AD.

1. UVOD

U prvoj nedelji jula ove godine PPT-Hidraulika je sertifikovala Sistem kvaliteta od strane nemačke sertifikacione kuće TUV CERT. Ocenjivanje su vršili ocenjivači RWTUV G-din Velimir Cvetičanin i G-din Dimitris Hristikopoulos i ocenili da je sistem kvaliteta u PPT-Hidraulika usaglašen sa zahtevima standarda EN ISO 9001. Podnošenju izveštaja o proveri prisustvovali su generalni direktor PPT-a Velimir Radivojević, pomoćnik generalnog direktora za kvalitet Velibor Trajčevski i kolegijum direktora PPT-Hidraulika.

Uvođenjem Sistema kvaliteta postignuto je:

da se u svakom trenutku zna ko, kako, kada i gde obavlja aktivnosti radi obezbeđenja kvaliteta,

smanjenje troškova poslovanja,

stavljanje pod kontrolu celokupnog poslovnog procesa u preduzeću,

povećanje konkurentne sposobnosti na stranom tržištu,

povećanje profita i dr.

Dobijanjem sertifikata završen je posao na uvođenju Sistema kvaliteta. Međutim, novi izov i novi radni zadatak svakog zaposlenog u ovom preduzeću je dalje poboljšanje Sistema kvaliteta u cilju *zadovoljenja želja kupaca.*

2. OSNOVNI PRAVCI RADA NA POBOLJŠANJU KVALITETA

Kvalitet proizvoda utvrđuje se zadovoljstvom kupca koji ih koristi i rezultatima efektivnosti i efikasnosti procesa koji ga stvaraju. Poboljšanje kvaliteta postiže se poboljšanjem procesa, a svaka aktivnost ili radnja podrazumeva jedan ili više procesa. Zato naponi za poboljšanje kvaliteta treba da budu usmereni na korektivne i preventivne mere za poboljšanje procesa. Osnovni pravci daljih napora za poboljšanje Sistema kvaliteta u PPT-Hidraulika su:

- Vodeća uloga rukovodstva- Odgovornost u kreiranju uslova za stalno poboljšanje

¹ Miodrag Dinić, dipl.inž.maš., IHP "Prva petoletka" Trstenik-PTT Hidraulika AD, direktor Sektora kvaliteta

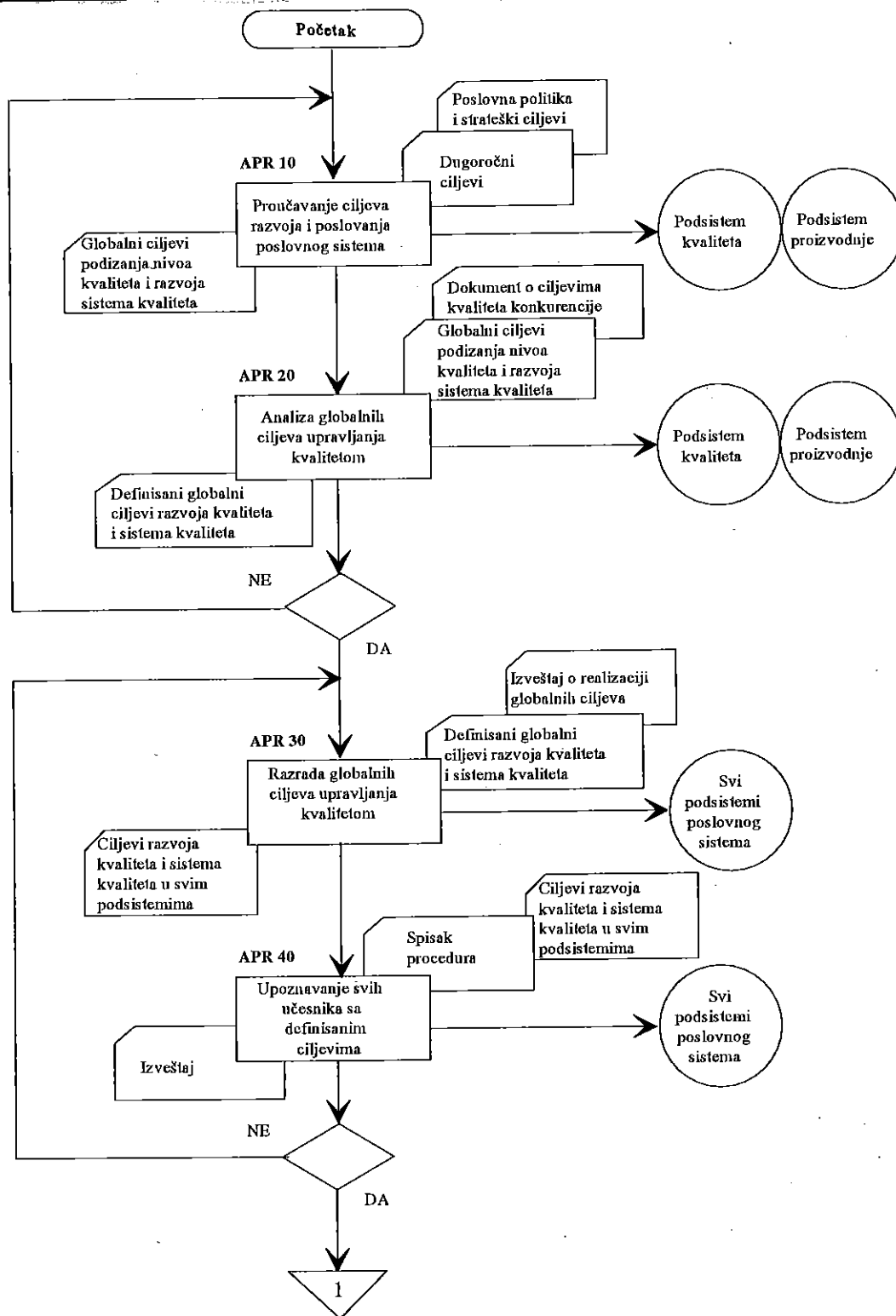
² Mr Milan Kolarević, dipl.inž.maš., asistent, Mašinski fakultet u Kraljevu

³ Dr Tihomir Pantelić, dipl.inž.maš.,red.prof., Mašinski fakultet u Kraljevu

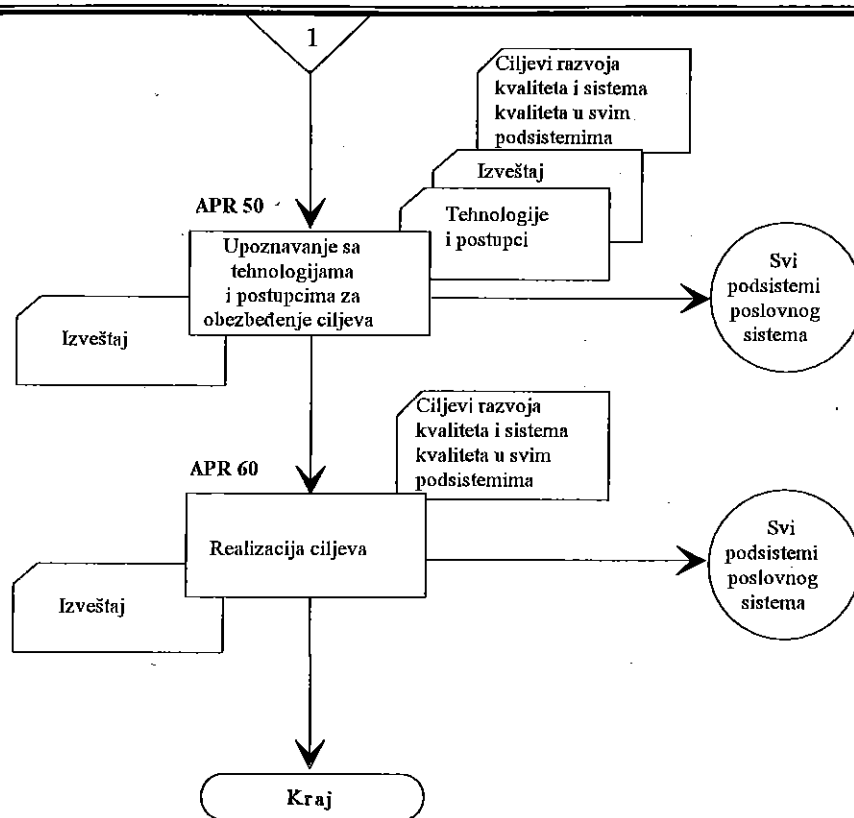
kvaliteta je na najvišem rukovodstvu preduzeća. Rukovodioci su obavezni da stvore uslove za poboljšanje sopstvenim radom, odlučnošću i upravljanjem resursima. Upravljanje poboljšanjem treba da ide kroz povezivanje potreba i ciljeva, poboljšavanje sopstvenih radnih procesa, stimulisanje komunikacije, timskog rada i uvažavanje i podsticanje pojedinaca u poboljšanju sopstvenog radnog procesa.

- Stav i ponašanje svih zaposlenih- Osnovni stavovi i ponašanje zaposlenih treba da budu usmereni na:
 - zadovoljenje potreba kupaca,
 - uključivanje svih u poboljšanje po petlji kvaliteta od isporučioaca do kupca,
 - demonstriranje opredeljenja rukovodstva,
 - definisanje poboljšanja kvaliteta kao posla svakog pojedinca i timova u svim organizacionim celinama,
 - uočavanje i naznačavanje problema radi poboljšanja procesa,
 - stalno poboljšanje svih procesa,
 - uvodjenje otvorenih komunikacija i lak pristup do podataka i informacija,
 - podsticanje timskog rada i poštovanje individualnosti,
 - donošenje odluka zasnovanih na analizi podataka itd.
- Redovno preispitivanje ciljeva- Ciljevi poboljšanja kvaliteta treba da budu integrisani u ciljeve ukupnog poslovanja i da su usmereni na zadovoljenje potreba kupca. Potrebno je da budu tako definisani da su razumljivi, izazovni, prikladni i da mogu biti merljivi. Ciljeve treba redovno preispitivati i o strategiji njihovog ostvarivanja moraju da se dogovore svi koji treba da rade na njihovom postizanju.
- Razvijanje timskog rada- Međuljudski odnosi su osnovna smetnja za veću efikasnost i efektivnost a time i za poboljšanje kvaliteta. Timski rad razvija poverenje između ljudi i uklanja barijere tako da je potrebno da bude proširen kroz kompletnu petlju kvaliteta od isporučioaca do kupca.
- Unapređenje sistema nagrađivanja- Sistem nagrađivanja treba da bude u skladu sa procesom priznavanja pojedinca i grupe i da podstiče mere koje su u skladu sa vrednostima, stavovima i ponašanjima neophodnim za poboljšanje kvaliteta. Proces priznavanja obuhvata razvoj i napredovanje pojedinaca i razmatra faktore koji utiču na izvršenje posla svakog pojedinca, kao i grupni učinak i grupno priznavanje.
- Stalna obuka zaposlenih- Stalna obuka zaposlenih je jedan od osnovnih uslova za ostvarenje poboljšanja kvaliteta. Planom obuke treba da budu obuhvaćeni svi zaposleni u poslovnom sistemu uključujući i najviše nivoe rukovodjenja. Obuka treba da obuhvati upoznavanje sa osnovnim principima, metodama i alatima za poboljšanje kvaliteta, kao i njihovu praktičnu primenu.
- Smanjenje gubitaka zbog neodgovarajućeg kvaliteta - Osnovni cilj poboljšanja kvaliteta je smanjenje gubitaka zbog neodgovarajućeg kvaliteta. Gubici su uvek povezani sa procesima koji ih prouzrokuju te je zato potrebno savršeno poznavanje proizvodnih procesa ali i velika sposobnost procene teško merljivih gubitaka kvaliteta kao što je na primer gubitak naklonosti kupca i nepotpuno iskorišćenje ljudskih resursa.

Algoritam postupka za definisanje i sprovođenje ciljeva upravljanja kvalitetom sa ulaznim i izlaznim dokumentima kao i nosiocima aktivnosti je prikazan na slici 1. Ovaj postupak ima za cilj da definiše dugoročne, srednjoročne i operativne ciljeve upravljanja kvalitetom u poslovnom sistemu i njegovim podsistemima, prateći pri tom stepen ostvarivanja ciljeva, njihovo korigovanje kao i unošenje novih globalnih i operativnih ciljeva u zavisnosti od stepena razvoja okruženja.



Slika 1. Algoritam aktivnosti za sprovođenje ciljeva upravljanja kvalitetom



Slika 1. Algoritam aktivnosti za sprovođenje ciljeva upravljanja kvalitetom
(nastavak)

3. UPRAVLJANJE PROGRAMOM POBOLJŠANJA KVALITETA

Proces upravljanja poboljšanjem kvaliteta zahteva sledeće faze: organizovanje, planiranje, merenje poboljšanja kvaliteta i preispitivanje svih aktivnosti na poboljšanju kvaliteta.

• Organizovanje poboljšanja kvaliteta

U cilju efikasnog organizovanja poboljšanja kvaliteta treba iskoristiti sve mogućnosti u hijerarhiji vertikalno i horizontalno u procesima. Pri tom je potrebno:

1. politiku i strategiju preduzeća usmeriti na poboljšanje kvaliteta i omogućiti široku podršku ovoj akciji uz koordinaciju svih aktivnosti,
2. identifikovati potrebe i ciljeve poboljšanja i raspodeliti resurse radi njihovog praćenja,
3. pratiti poboljšanje kvaliteta pomoću posebno formiranih timova,
4. motivisati sve zaposlene da aktivno rade na poboljšanju kvaliteta,
5. redovno preispitivati ciljeve i ocenjivati napredovanje aktivnosti.

Odgovornost za poboljšanje kvaliteta unutar organizacione hijerarhije obuhvata:

1. proces upravljanja proizvodno poslovnim sistemom kroz:
 - utvrđivanje zadatka organizacije,
 - strateško planiranje,
 - razgraničenje uloga i odgovornosti,
 - nabavku i raspodelu resursa,
 - obezbeđenje obrazovanja, osposobljavanja i priznavanje kadrova.
2. identifikaciju i planiranje stalnog poboljšanja procesa rada proizvodno poslovnog sistema,
3. merenje i praćenje smanjenja gubitaka kvaliteta,
4. razvoj i održavanje uslova koji omogućuju i obavezuju sve zaposlene na stalno poboljšavanje kvaliteta.

Odgovornost za poboljšanje kvaliteta unutar procesa obuhvata:

1. definisanje i uskladjivanje namene svakog procesa i njegove veze sa ciljevima proizvodno poslovnog sistema,
2. uspostavljanje i održavanje komunikacija između organizacionih celina u proizvodno poslovnom sistemu,
3. identifikaciju korisnika procesa i određivanje njihovih potreba i očekivanja, uz respekt specifičnih zahteva korisnika,
4. identifikaciju isporučioaca procesa i informisanje isporučioaca o potrebama i očekivanjima korisnika,
5. istraživanje mogućnosti poboljšanja procesa i nadziranja sprovođenja ovih poboljšanja.

- **Planiranje poboljšanja kvaliteta**

Planovi poboljšanja kvaliteta treba da predstavljaju deo planiranja poslovanja proizvodno poslovnog sistema. Rukovodstvo postavlja ciljeve poboljšanja radi smanjenja gubitaka kvaliteta u najširem smislu. Planovi treba da budu razvijani unutar ciklusa poslovnog planiranja radi obezbeđenja strategijskog upravljanja i usmeravanja za ispunjenje ciljeva poboljšanja kvaliteta i sprovođenje politike kvaliteta. Ti planovi treba da se odnose na najveće gubitke kvaliteta i treba da budu raspoređeni po svim funkcijama i svim nivoima proizvodno poslovnog sistema. Razvoj planova poboljšanja kvaliteta mora da obuhvati sve zaposlene, isporučioce i korisnike. Uključivanjem svih povećavaju se i mogućnosti za poboljšanje.

- **Merenje poboljšanja kvaliteta**

Proizvodno poslovni sistem mora da razvije sistem merenja onakav kakav odgovara njenoj prirodi proizvodnje. Razvijen sistem merenja obuhvata merenje po jedinici, organizacionoj celini i svim organizacionim nivoima. Merenje treba da se odnosi na gubitke kvaliteta povezane sa zadovoljstvom korisnika i efikasnošću procesa.

Merenje gubitaka kvaliteta u vezi sa *zadovoljstvom korisnika* mogu biti zasnovane na informacijama dobijenim na bazi procene sadašnjih i potencijalnih korisnika, procenom konkurentskih proizvoda, na zapisima o izradi proizvoda, promenama u prihodima, informacijama zaposlenih u servisu i prodaji i žalbama i reklamacijama korisnika.

Merenje gubitaka kvaliteta povezanih sa *efikasnošću procesa* mogu biti zasnovani na radu, kapitalu i korišćenju materijala, proizvodnji, razvrstavanju, ispravljanju i dobijanju nezadovoljavajućih izlaza u procesu, ponovnom podešavanju procesa, vremenima čekanja, vremenima ciklusa, obavljanju isporuka, nepotrebnim projektima, veličinama zaliha i statističkim merenjima stabilnosti i sposobnosti procesa.

Merenje gubitaka kvaliteta na osnovu *nezadovoljstva zaposlenih* zbog svog statusa u preduzeću, zbog zagađenja radne sredine, neadekvatnog odlaganja otpada, rasipanja deficitarnih resursa itd.

Integralni deo prakse upravljanja koje vrši rukovodstvo treba da bude izveštavanje o rezultatima merenjima i obaveštavanje svih zaposlenih.

- **Preispitivanje aktivnosti poboljšanja kvaliteta**

Preispitivanje treba vršiti na svim nivoima rukovođenja kako bi:

- proizvodno poslovni sistem imao poboljšanje kvaliteta koje funkcioniše,
- planovi poboljšanja kvaliteta bili adekvatni
- se pratilo da li merenja poboljšanja kvaliteta pokazuju napredak,
- se u sledećem ciklusu planiranja dodali rezultati preispitivanja.

4. POMOĆNI ALATI I METODE

U projektima poboljšanja kvaliteta prioritet imaju odluke na osnovu analize situacije i podataka dobijenih merenjem. Uspeh projekta i aktivnosti povećava se primenom odgovarajućih metoda i alata kvaliteta razvijenih za tu svrhu. Ove metode i alate možemo svrstati u dve kategorije:

- Statističke metode i alati - kod kojih su odluke o poboljšanju kvaliteta zasnovane na

numeričkim podacima. Prate se razlike, trendovi i izmene numeričkih podataka i tumače se statistički. Alati i metode koji mogu biti korišćeni za numeričke podatke su: Kontrolna karta, Histogram, Pareto dijagram, Dijagram rasipanja itd.

- Nestatističke metode i alati - kod kojih su odluke o poboljšanju kvaliteta zasnovane na nenumeričkim podacima koji se pogodnim postupcima transformišu u korisne informacije, kao što su: Dijagram afiniteta (srodnosti, sličnosti), Upoređivanje sa reperom (benchmarking), Sakupljanje ideja (brainstorming), Šema uzrok / posledica, Dijagram toka, Stablo dijagram i dr.

5. ZAKLJUČAK

U procesu sprovođenja Sistema kvaliteta rukovodstvo proizvodno poslovnog sistema treba da osigura da sistem stalno podstiče poboljšanje kvaliteta, a sve u cilju zadovoljenja zahteva kupca. Kvalitet proizvoda/usluga značajan je za konkurentnost na tržištu te u tom smislu treba razmotriti sve inovativne strategije za uvođenje novih tehnologija, novih proizvoda, novih usluga ili novih procesa uz stalno poboljšanje kvaliteta. Motivacija za poboljšanje kvaliteta treba da proističe iz potrebe da se obezbedi povećana dobit i zadovoljenje kupca. Svi zaposleni treba svesno da razvijaju saznanje da se svaki proces može odvijati mnogo efikasnije i sa manje gubitaka i troškova.

LITERATURA

1. SERIJA STANDARDA JUS ISO 9000
2. J.M.JURAN, F.M.GRYNA- PLANIRANJE I ANALIZE KVALITETA, PRIVREDNI PREGLED, BEOGRAD, 1974.
3. POSLOVNIK KVALITETA PPT HIDRAULIKA AD

PLAN OF IMPROVEMENT OF QUALITY SYSTEM IN PPT HIDRAULIKA AD

SUMMARY

This year, in the first week of July, PPT Hidraulika AD, according to the EN ISO 9001 Quality System, had its Quality System certified by the German firm TUV CERT. Introduction of the Quality System is finished, but the new task for all workers of this enterprise is improvement of the Quality System. This paper presents the plan of further work on the improvement of the Quality System in PPT Hidraulika AD.

PROJEKTOVANJE SISTEMA KVALITETA U PROIZVODNIM PREDUZEĆIMA

Prof. dr Tihomir Pantelić, dipl. inž.¹
Mr Milan Kolarević, dipl. inž.²

REZIME

Polazeći od propisa kvaliteta prema seriji standarda JUS ISO 9000 i posebno imperativnih zahteva Modela JUS ISO 9001, u radu se razmatra projektovanje Sistema kvaliteta u proizvodnim preduzećima. Posebno se ukazuje na činjenicu da se kvalitet proizvoda ne može posmatrati izolovano od procesa u kome se stvara. Naprotiv, projektovanje kvaliteta valja tretirati kao sastavni deo proizvodnog, poslovnog i razvojnog plana svakog proizvoda preduzeće.

1. UVOD

Propisani zahtevi kvaliteta prema standardima JUS ISO 9000 nalažu proizvodnim preduzećima da, pored atestiranja proizvoda, atestiraju i Sistem kvaliteta. Budući da za stvaranje validnog Sistema kvaliteta treba obuhvatiti organizacionu strukturu, stručni kadar, opremu i dokumentaciju, to je neophodno proveravanje sveukupnog načina proizvodnje. Posebno se ističe Model obezbeđenja kvaliteta u projektovanju, razvoju, proizvodnji, ugradnji i servisiranju (JUS ISO 9000), koji predstavlja obavezu za svako proizvodno preduzeće čiji su finalni proizvodi orijentisani prema tržištu.

Pri projektovanju Sistema kvaliteta treba poći od ulaznih parametara koji su u interakciji sa tržištem i koje postavlja korisnik proizvoda. Na osnovu tih parametara proizvodno preduzeće, putem transformacionog procesa, stvara materijalni proizvod, koji poseduje određeni kvalitet. Ako ostvareni kvalitet ne odgovara postavljenim i ugovorenim zahtevima neophodna je intervencija na ulaznim veličinama transformacionog procesa. Proizilazi da pri projektovanju Sistema kvaliteta treba rešavati sledeće zadatke:

- planiranje kvaliteta proizvoda,
- proveravanje ostvarenog kvaliteta,
- upoređivanje ostvarenog kvaliteta sa zahtevima u ugovoru (proizvođač - kupac)

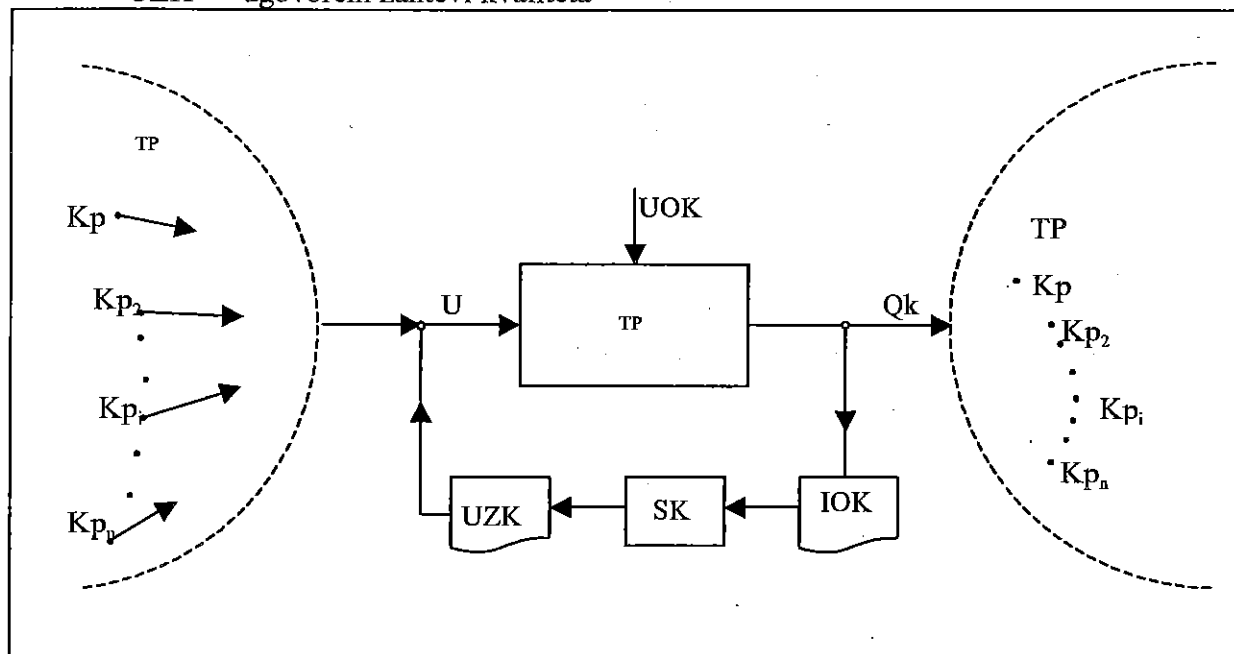
2. KVALITETOM PROIZVODA TREBA UPRAVLJATI

Postavljeni zahtevi kvaliteta (istaknuti u uvodu) mogu biti ostvareni jedino primenom upravljanja kvalitetom. To podrazumeva: identifikaciju parametara kvaliteta proizvoda, uspostavljanje njihovih graničnih odstupanja, utvrđivanje stanja u vremenskom toku i podešavanje ulaznih veličina na način prikazan na sl.1, gde pojedini simboli označavaju:

¹ Dr Tihomir Pantelić, dipl.inž.maš.,red.prof., Mašinski fakultet u Kraljevu

² Mr Milan Kolarević, dipl.inž.maš., asistent, Mašinski fakultet u Kraljevu

- Kp_i - i-ti kupac sa tržišta prodaje (TP)
 UOK - uticaj okruženja
 TP - transformacioni proces
 Q_k - materijalni proizvod određenog kvaliteta
 IOK - informacije o ostvarenom kvalitetu
 SK - Sistem kvaliteta
 UZK - ugovoreni zahtevi kvaliteta



Sl. 1

Posebno se ukazuje na vektor UOK koji predstavlja uticaj okruženja sa komponentama, tj. :

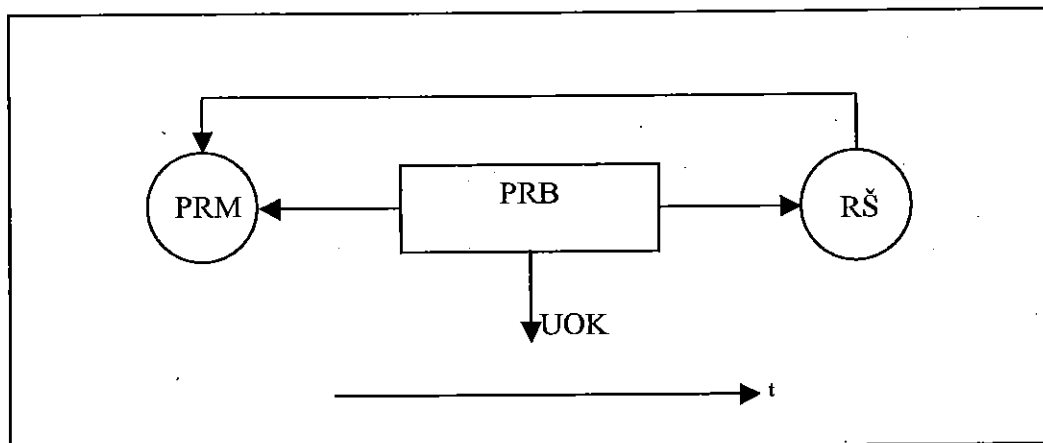
$$\vec{UOK} = f(PRM, PRB, R\check{S})$$

Između ostvarenih rešenja ($R\check{S}$) i promena (PRM), uspostavlja se povratana sprega u vremenskom toku (t) - dinamička ravnoteža - što ilustruje šematski prikaz na sl.2.

Težnja je da se istaknuto upravljanje kvalitetom ostvari na optimalni način, što je teško izvodljivo u praksi, ali iterativno približavanje optimumu je sasvim moguće. Verovatnoća približavanja raste ukoliko se upravljanje kvaliteta realizuje integrisanim sistemom (CIM). Polazeći od strateškog planiranja (TOP menadžment) projektovanja proizvoda (CAD), preko tehničke pripreme (CAP), zatim planiranja (PPS), izrade proizvoda (CAM) i projektovanja kvaliteta proizvoda (CAQ), obezbeđuju se uslovi za uspešno upravljanje kvalitetom proizvoda. Očigledno da su sve navedene faze bezuslovne a ne alternativne jer, ukoliko na primer, proizvodno preduzeće ne obezbeđuje sistematsku pripremu proizvodnje (CAP) teško da je moguće upravljati kvalitetom na validan način.

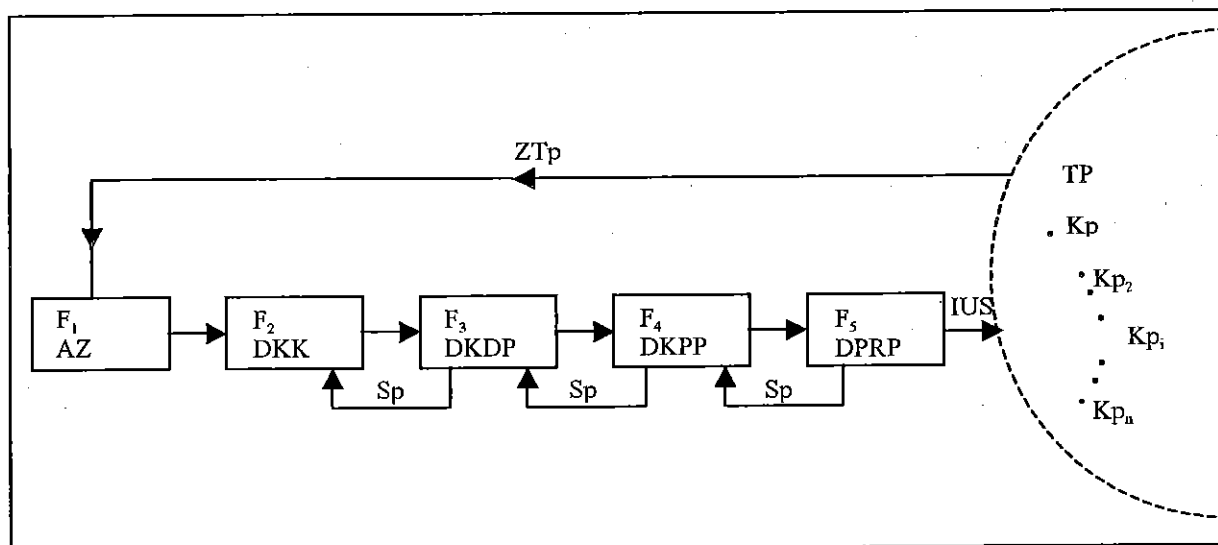
3. FAZE PROJEKTOVANJA KVALITETA I NJIHOVO RASPOREĐIVANJE

Na osnovu sistematskog ispitivanja tržišta dolazi se do neophodnih informacija za definisanje nivoa kvaliteta proizvoda. Uspostavljeni (projektovani) nivo kvaliteta valja, od strane proizvođača, da bude dekomponovan radi njegovog raspoređivanja na pojedine delove proizvodnog procesa. Rešavanju tog zadatka doprinosi primena metoda QFD (Quality Function Deployment), koju već decenijama koriste razvijene zapadnoevropske zemlje. Suština je u tome da se već definisani nivo kvaliteta rasporedi na četiri segmenta prema šemi prikazanoj na sl. 3. Polazeći od prikupljenih zahteva tržišta (ZTp) neophodno je izvršiti



Sl. 2

njihovu selekciju primenom poznatih metoda (npr. Lorenz-ova ili Paret-ova) i izdvojiti relevantne koji se moraju ispoštovati. Nakon izvršene analize zahteva (AZ) odabrani predstavljaju izlaz iz prve faze (F_1) a ulazna su veličina za drugu fazu (F_2), u kojoj se definišu kritične karakteristike (DKK) proizvoda i to u sledećim segmentima Sistema kvaliteta: marketing, razvoj, prodaja, servis.



Sl. 3

Izlaznu veličinu iz druge faze, tj. izdvojene kritične karakteristike (uglavnom su to svojstva i karakteristike proizvoda) treba iskoristiti za definisanje kritičnih delova proizvoda (DKDP) (ulaz u treću fazu (F_3)). Radi se o delovima koji su izloženi habanju i velikim opterećenjima pri funkcionisanju proizvoda, što dovodi do čestih otkaza u radu (kvar, lom i sl.). Izdvojeni kritični delovi se raspoređuju na radne sisteme: razvoj prototipova, konstruisanje proizvoda, nabavka materijala, izrada delova.

Kritični delovi proizvoda (izlaz iz (F_3)) podvrgavaju se zatim definisanju kritičnih parametara procesa (DKPP) (ulaz u (F_4)): obrada delova sa uskim toleratnim poljem, rigorozni zahtevi kvaliteta materijala, dozvoljene granice vibracije, temperature i sl. Na taj način se raspoređuje projektovani kvalitet na segmente: planiranje i priprema proizvodnje, nabavka materijala i izrada delova. Dobijeni rezultati čine ulaz u petu fazu (F_5) u kojoj valja definisati potrebne radne postupke (DPRP). To su, uglavnom, sledeći segmenti Sistema kvaliteta: organizovanje, postavljanje, praćenje i podešavanje proizvodnog procesa. Kao rezultat treba da se dobiju propisani standardni postupci rada i uputstva u radnim sistemima:

izrada finalnog proizvoda, isporuka, obučavanje korisnika, servisiranje i izrada dokumentacije. Izlaz iz ove faze predstavlja konačan rezultat (IUS - isporuka, ugradnja, servisiranje) koji je istovremeno rešenje i zadovoljenje zahteva kupaca (Kp_i) u sistemu tržišta prodaje (TP).

4. HIJERARHIJSKA STRUKTURA DOKUMENATA SISTEMA KVALITETA

Kao što je već istaknuto, projektovanje Sistema kvaliteta u proizvodnim preduzećima ima za krajni cilj obezbeđenje kvaliteta proizvoda prema zahtevima kupaca a zasniva se na pisanim pravilima, odnosno dokumentima Sistema kvaliteta. Ukupnu dokumentaciju čini: prostor dokumentacije i hijerarhijska struktura dokumenata. Kada je reč o hijerarhijskoj strukturi dokumentacije Sistema kvaliteta treba naglasiti da ima pet nivoa:

- Politika kvaliteta - programi obezbeđenja Sistema kvaliteta preduzeća;
- Poslovnik o kvalitetu - operativni dokument Sistema kvaliteta;
- Plan kvaliteta za plan kvaliteta za projekat - proizvod;
- Radna uputstva i procedure;
- Zapisi o kvalitetu - "corpus delicti" o ostvarenom kvalitetu.

Od operativnih dokumenata Poslovnik o kvalitetu se nalazi na najvišem nivou. U njemu je dat detaljan opis svih elemenata sistema za obezbeđenje kvaliteta sa pravilima i odgovarajućim nadležnostima.

Na nižem nivou od Poslovnika nalaze se postupci obezbeđenja kvaliteta koji sadrže opis aktivnosti koje treba da učine kontrolori u cilju obezbeđenja kvaliteta.

Na najnižem nivou nalaze se uputstva u kojima se propisuje način obavljanja dela procesa ili određenih aktivnosti (npr. opis rada projektanata, tehnologa, kontrolora, magacionera, referenata prodaje i dr.). Sačinjavaju se po potrebi - ne uvek. Ukoliko je, na primer, za izvođenje određenih delova procesa ukazana potreba za detaljnijim pisanim dokumentom ili da postupak ne bi bio preobiman onda se to rešava posebnim uputstvom.

5. ZAKLJUČAK

Projektovanje, uvođenje i atestiranje Sistema kvaliteta u proizvodnim preduzećima predstavlja aktuelan zadatak. U radu je tretiran pristup rešavanju tog zadatka na način koji može da obezbedi kvalitet proizvoda kao nadgradnju inspeksijske kontrole kvaliteta.

Fazno projektovanje Sistema kvaliteta, raspoređivanje po pojedinim segmentima procesa realizacije i dokumentovani postupci omogućavaju poboljšavanje i usavršavanje pri primeni u praksi. Na taj način otvoren je put ka novim standardima serije ISO 9000: 2000 za sisteme menadžmenta kvalitetom (QMS). Ciljevi tih novih standarda (revizije aktuelnih) su: da se primeni procesni model menadžmenta u preduzeću, da se obezbedi evaluacija zadovoljstva kupaca i interesnih grupa, da se omogući kompatibilnost sa standardima ISO 14000 za sisteme menadžmenta životnom sredinom (EMS). Dakle, budući da se proizvod pri svom nastanku realizuje nizom segmentnih procesa, neophodno je da projektovani Sistem kvaliteta obezbedi kontinualno unapređenje procesa u celini.

LITERATURA

1. Akao, Y., Quality Function Deployment, Productivity Press, Cambridge 1990.
2. Pantelić, T., Planiranje kontrolnih ispitivanja sa aspekta ekonomičnosti, Naučna konferencija IS '90, str. 535., Novi Sad, 1990.
3. Popović, B., Todorović, Z., Obezbeđenje kvaliteta, Nauka, Beograd, 1998.
4. ISO 8402, Quality management and quality assurance, Vocabulary, 1994.

PROJECTING THE SYSTEM OF QUALITY IN PRODUCTION ENTERPRISES**SUMMARY**

Starting from the regulations of the quality according to the series of standards JUS/ISO 9000 and especially from the imperative demands of Model JUS/ISO 9001 the paper discusses the projection of the system of quality in production enterprises. The special stress is on the fact that the quality of a product can't be considered isolated from the process in which it is created. On the contrary, the projection of the quality of a product should be treated as a part of a production business and developing plan of each production enterprise.

CE ZNAK - ZNAK KVALITETA ZA PRISTUP TRŽIŠTU UJEDINJENE EVROPE

Hodolič J., Stević M., Kovačić R.¹⁾

Rezime

Tržište Evropske unije (EU) je danas otvorenije nego u ranijem periodu, ali istovremeno i probirljivije u pogledu kvaliteta proizvoda. To podrazumeva postojanje sertifikata koji svedoči o zadovoljavanju kriterijuma serije standarda ISO 9000, i "EC Deklaraciju o usaglašenosti" proizvoda sa suštinskim zahtevima direktiva za sticanje prava na korišćenje CE znaka. U radu je prezentovan praktični osvrt na postupke ocenjivanja usaglašenosti u EU, na osnovu primera iz prakse Korporacije SEVER-Električne mašine a.d., Subotica

1. UVOD

Potreba za razumevnjem među ljudima u svim njihovim delatnostima postojala je oduvek. Sa razvojem komunikacija i trgovinskih odnosa današnji svet se sveo na jedinstveni prostor u kome postoji nekoliko svima razumljivih sistema komunikacije, među kojima su i sistemi standardizacije neophodni pri razmeni roba i usluga.

Standardizacija²⁾ je proces izbora rešenja i utvrđivanja primene tehničko-tehnoloških normi i postupaka zasnovanih na proverenim rezultatima i dostignućima nauke, tehnike i praktičnog iskustva, i na predviđanjima mogućih pozitivnih i negativnih efekata da bi se dobila rešenja koja moraju biti u skladu sa stepenom razvoja, politikom i ciljevima jedne zemlje, regiona ili sa međunarodnim zahtevima. U osnovi, ona je usmerena na smanjenje broja varijanti proizvoda i postupaka, na olakšavanje sporazumevanja, opštu ekonomičnost, bezbednost, zaštitu svih interesa potrošača, odbranu zemlje, odstranjivanje prepreka u trgovinskoj razmeni u zemlji i u međunarodnom prometu, obezbeđenju nivoa društveno opravdanog kvaliteta i drugo.

Stalan proces internacionalizacije svih strana privrednog života pruža snažnu podršku razvoju međunarodne standardizacije, kao glavnom instrumentu harmonizacije tehničkih propisa i standarda zbog čega se nacionalne privrede sve više dopunjuju i postaju sve više međusobno povezane. Produbljivanje ekonomskih i naučno-tehničkih veza između zemalja posledica je razvoja proizvodnih snaga koje imaju visok nivo koncentracije znanja i kapitala, koji zahtevaju sve moćniju naučnu bazu, ogromna tržišta, velike količine sirovina i energije. Zato se privredna aktivnost u takvim uslovima ne može ograničiti na izolovane napore pojedinih zemalja i ne može se uklapati u sve tešnje okvire nacionalnih granica, već se

¹⁾ dr Janko Hodolič, dipl. ing., redovni profesor, mr Miodrag Stević, dipl. ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad, Rašela Kovačić, dipl. ing., Korporacija SEVER, Magnetna polja 6, 24000 Subotica

²⁾ definicija standardizacije u odnosu na stvarne ili potencijalne probleme prema ISO GUIDE 2/86.

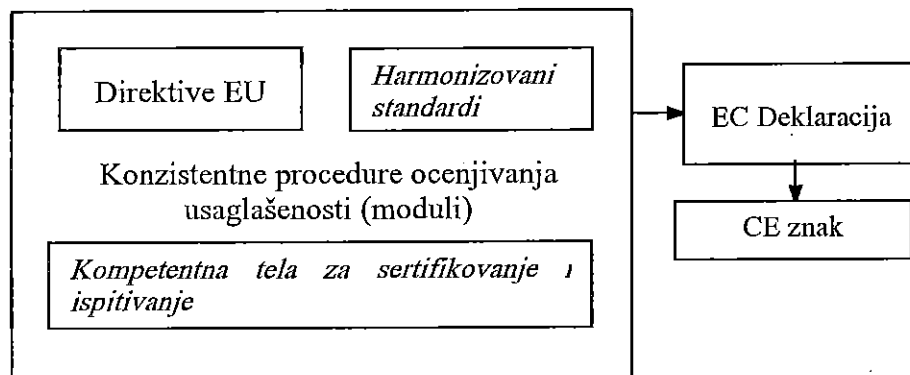
stvaraju "unutrašnja tržišta" većeg broja zemalja. Jedno od takvih tržišta je i tržište Evropske ekonomske zajednice (EEZ) [1].

1.1. Razvoj unutrašnjeg tržišta Zapadne Evrope

Koncept EEZ lansiran je još 1950. godine kada je šest zapadnoevropskih zemalja potpisalo "Rimski dogovor". Međutim, sve do 1985. godine vladao je neuspeh politike standardizacije na evropskom nivou zbog neusaglašenosti nacionalnih tehničkih propisa i standarda zemalja članica EZ. Nakon stvaranja Ministarskog saveta EZ i stvaranja jedinstvenog sistema odbrane, formirana je Komisija EZ koja je 1985. godine uradila tzv. "Novi pristup" i "Belu knjigu" identifikujući oko 300 mera koje bi trebalo da donese Ministarski savet da bi se lansiralo "unutrašnje tržište" do kraja 1992. godine. Na taj način sve postaje podređeno slobodnom prometu roba i usluga, a nedostatak evropskih standarda ne sme da ometa promet ukoliko ne ugrožava bezbednost u širem smislu. "Novi pristup" podrazumeva skup evropskih direktiva koje nameću postojanje tehničkih zahteva istih za celu Evropu, definisanih "osnovnim zahtevima" i tačno određenim evropskim standardima. Ove direktive, takođe tačno određuju kontrole koje treba izvršiti na proizvodu i/ili procesu proizvodnje, pre njegovog puštanja na tržište. Kontrole obavljene saglasno direktivi u nekoj zemlji EZ su automatski priznate u svim evropskim zemljama, i u isto vreme omogućavaju stavljanje oznake CE na proizvod, koja mu omogućava da slobodno cirkuliše u celoj Evropi, bez ikakvog administrativnog postupka [1], [2].

1.2. Postupak ocenjivanja usaglašenosti

Da bi se na neki proizvod stavila oznaka CE mora se prvo ispoštovati procedura kojom se utvrđuje da li taj proizvod ispunjava odgovarajuće zahteve.



Sl. 1 Osnovni elementi procedura za ocenjivanje usaglašenosti [4]

Osnovni elementi procedure (slika 1) koja je sadržana u globalnom konceptu, koji obuhvata sve aspekte ocenjivanja usaglašenosti su:

- direktive evropske unije (EU),
- harmonizovani standardi,
- konzistentne procedure ocenjivanja usaglašenosti i
- kompetentna tela za sertifikovanje i ispitivanje [3].

Direktive EU su usmerene na definisanje suštinskih zahteva koje pojedine grupe proizvoda moraju ispuniti sa aspekta bezbednosti, zdravlja, zaštite okoline i potrošača, pa ih kao dokumenta sa obaveznom primenom zemlje članice moraju prevesti u zakone. Za sada je EU definisala oko petnaestak direktiva sa obaveznom primenom (medicinska oprema, mašine, igračke, građevinski proizvodi, oprema za telekomunikacije...), dok se desetak nalazi u

pripremi (sajamska oprema, putnički liftovi, oprema za javne žičare...).

Standardi, za razliku od direktiva, nisu obavezni, mada proizvođači koji proizvode po evropskim standardima lakše dokazuju usaglašenost svojih proizvoda sa suštinskim zahtevima direktiva. Zato se insistira na harmonizaciji, koja ustvari predstavlja proces stvaranja uniformnih standarda u celoj EU. U EU veruju da su harmonizovani standardi od suštinskog značaja za unapređenje trgovine, ne samo u Evropi već i u celom svetu.

Konzistentne procedure ocenjivanja usaglašenosti predstavljaju novi pristup za ocenjivanje u EU, a utvrđuju se Rezolucijom o globalnom pristupu, koji sadrži sledeće:

- korišćenje modula u pogledu različitih faza procedura za ocenjivanje usaglašenosti (modularni pristup),
- rutinska upotreba standarda EN ISO 9000 i EN 45000,
- uspostavljanje sistema akreditacije i unapređenje sporazuma o međunarodnom priznavanju u pogledu testiranja i sertifikacije
- razvoj postojećih infrastruktura kvaliteta unutar EZ da bi se minimizirale njihove razlike i
- unapređenje odnosa EZ sa zemljama koje nisu njene članice posredstvom:
- sporazuma o međusobnom priznavanju i
- programa saradnje i tehničke pomoći.

Sredinom 1993. godine Savet EZ donosi Odluku kojom postavlja osnovne principe o tome kako treba koristiti procedure u zakonodavstvu EEZ. Tom Odlukom povećana je uloga standarda sistema kvaliteta serije EN ISO 9001, EN ISO 9002 i EN ISO 9003 i odobren je "modularni" pristup procedurama za ocenjivanje usaglašenosti. Modularni prilaz ocenjivanja usaglašenosti nudi proizvođaču nekoliko procedura za demonstriranje usaglašenosti sa direktivama (od izjave samog proizvođača o usaglašenosti do ocenjivanja sistema kvaliteta, ispitivanja tipa proizvoda od treće strane, što zavisi od rizika proizvoda u pogledu zdravlja, bezbednosti i životne sredine). Module daje zakonodavac, u odnosu na tipove proizvoda i uključene rizike, kao sredstvo za uspostavljanje odgovarajućih procedura za dokazivanje usaglašenosti proizvoda. Međutim, sami proizvođači imaju mogućnost krajnjeg izbora koju od procedura će da upotrebe.

Uopšteno govoreći, mogu se postaviti četiri pravca ocenjivanja usaglašenosti preko sledećih kombinacija mogućih procedura:

- deklaracija proizvođača - autosertifikacija (modul A);
- sertifikacija proizvoda preko treće strane (moduli B+C, moduli B+F, modul G);
- sertifikacija proizvoda uz sertifikaciju sistema obezbeđenja kvaliteta preko treće strane (moduli B+D, moduli B+E);
- sertifikacija sistema obezbeđenja kvaliteta, koja uključuje proveru proizvoda preko treće strane (modul H).

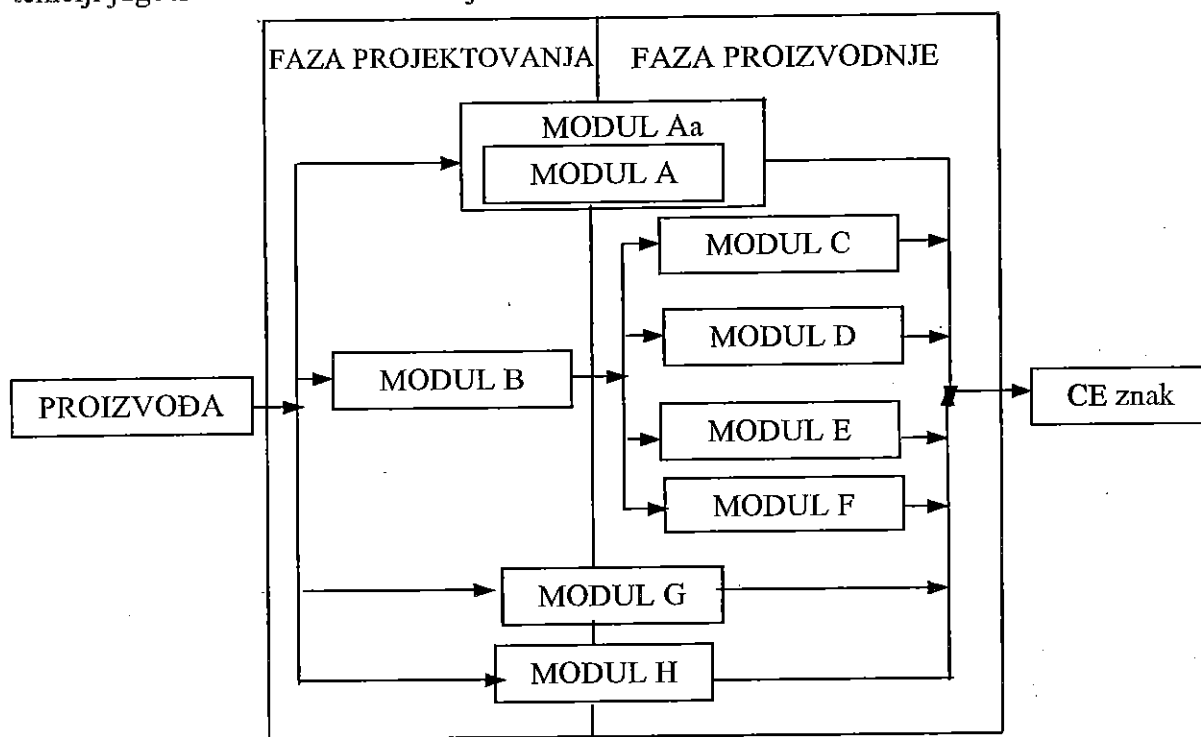
Na slici 2 prikazane su procedure za ocenjivanje usaglašenosti u zakonodavstvu EEZ.

Nadležna (kompetentna) tela su odgovarajuće organizacije, koje su ovlašćene da sertifikuju da je određen proizvod usaglašen sa zahtevima neke direktive. Nadležno telo može da bude organizacija koja vrši ispitivanja, ispitna laboratorija, operator nekog sistema sertifikacije, ili čak i neka sama vladina agencija.

2. UKLJUČIVANJE JUGOSLAVIJE U EVROPSKE TOKOVE STANDARDIZACIJE

Brz razvoj nauke i tehnologije u svetu nametnuo je i našoj zemlji potrebu organizovanja i intenzivnog korišćenja standardizacije. Obzirom da je standardizacija sastavni deo svih aktivnosti u društvu, bez obzira da li se radi o tehnici, tehnologiji, transferu znanja i iskustva, prometu proizvoda i uslugama, ili regulisanju i sprovođenju zaštite života, zdravlja, životne sredine i materijalnih dobara.

Prvi zvanični akt o standardizaciji u Jugoslaviji predstavlja Uredba o standardizaciji od 25. septembra 1946. godine, kojom je pri Saveznoj planskoj komisiji osnovana Savezna komisija za standardizaciju i određeni njeni zadaci i način rada. Tom odlukom stvoreni su temelji jugoslovenske standardizacije.



Sl. 2 Šema procedura za ocenjivane usaglašenosti postavljenih u direktivama "novog pristupa" [5]

Početakom 50-tih godina i pre izdatih prvih standarda naša zemlja se uključuje u međunarodne organizacije za standardizaciju i to:

- januara 1950. god. u ISO kao dvadesetosma članica;
- novembra 1950. god. u IEC kao dvadesetdruga članica [6].

Međutim, položaj Jugoslavije u evropskoj standardizaciji je danas na vrlo nezavidnom nivou, jer standardi i tehnički propisi koji treba da se usklađuju sa međunarodnom i evropskom praksom su u još većem vremenskom raskoraku nego prethodnih decenija, a uzrok tome je višegodišnja vrlo duboka i složena privredna kriza u našoj zemlji. Zato, vreme koje je pred nama treba iskoristiti tako da se ostvare rezultati koji će privredu naše zemlje dići na svetski nivo, tj. izlaz iz krize treba potražiti kroz opšte i organizovane transformacije preduzeća (što ne podrazumeva samo privatizaciju, već preobražaj uopšte) uz istovremeno stvaranje kvaliteta koji "de facto" postaje licenca za pristup tržištima Evrope.

3. PLASMAN PROIZVODA FABRIKE MALIH ELEKTRIČNIH MAŠINA NA TRŽIŠTE EU

Poslovni sistem SEVER, u čijem sastavu se nalazi Fabrika malih električnih mašina, ima tradiciju dugu oko 75 godina u proizvodnji širokog asortimana proizvoda, koje plasira ne samo na domaćem tržištu, nego i većini svetskih tržišta kao što su Evropa, Azija, Amerika i Afrika. Orijentacija ka izvozu proizvoda jedina je alternativa opstanka organizacije, jer su proizvodni kapaciteti mnogo veći od mogućnosti i potreba domaćeg tržišta. Međutim, u poslednjoj deceniji svet je na različite načine limitirao i onemogućavao preduzećima u Jugoslaviji izvoz proizvoda i trgovinu sa svetom. Nisu to bile samo sankcije na trgovinu, nego su limitirane i mogućnosti obezbeđenja evropskih i svetskih standarda, tehničkih propisa,

korišćenja usluga sertifikacije sistema kvaliteta i proizvoda, ispitivanja proizvoda itd. Odgovor Korporacije SEVER na takve uslove okruženja je bilo osnivanje preduzeća u zemljama EU i drugim zemljama sveta preko kojih se obavlja plasman proizvoda. Pored toga trebalo je izvršiti sertifikaciju sistema kvaliteta prema standardima serije JUS ISO 9000, a za tržište EU trebalo je još izvršiti sertifikaciju proizvoda radi mogućnosti korišćenja CE znaka. Ovo ustvari znači da je tokom 90-tih godina uloženo mnogo napora u Korporaciji SEVER da bi se stekla usaglašenost sa serijom standarda JUS ISO 9000 i odgovarajućim zahtevima kako bi se omogućio plasman proizvoda na ino tržišta.

Na primeru SEVER - Električne mašine a.d. - Fabrika malih električnih mašina detaljno je u radu [4] prikazan postupak za dobijanje CE znaka na osnovu procedure za ocenjivanje usaglašenosti sadržane u modulu Aa. Modul Aa zahteva projektovani sistem kvaliteta prema standardu JUS ISO 9001, postupak sertifikacije sistema kvaliteta i postupak sertifikacije proizvoda preko treće strane prema direktivama EU radi primene CE znaka. Sertifikatom za sistem kvaliteta potvrđuje se sposobnost fabrike da u serijskoj proizvodnji elektromotora obezbedi stalnost i ujednačenost kvaliteta proizvoda prema tehničkoj dokumentaciji, a sertifikacijom proizvoda potvrđuje se usaglašenost tehničke dokumentacije i ispitanih uzoraka proizvoda sa direktivama EU i standardima sadržanim u tehničkoj specifikaciji.

3.1. Izbor akreditovane organizacije za sertifikaciju proizvoda

S obzirom na to da je označavanje proizvoda CE znakom utvrđeno zakonima EU, a CE znak uslovljavaju ili prihvataju i mnoge zemlje izvan EU, pokazalo se značajnim kako odabrati akreditovanu organizaciju za sertifikaciju, da bi CE znak bio priznat i van EU, imajući u vidu da ne postoje u svetu mehanizmi međusobnog priznavanja sertifikacionih tela, odnosno sertifikata, osim u slučajevima kada je to za pojedine grupe zemalja regulisano multilateralnim sporazumima.

U Korporaciji SEVER je od više alternativa odabrana akreditovana organizacija, za sertifikaciju sistema kvaliteta i sertifikaciju proizvoda uključujući i sertifikaciju za primenu CE znaka, TÜV Rheinland iz Nemačke. Opređenje za ovakav izbor je baziran na tome da ta organizacija ima filijale u velikom broju zemalja širom sveta, što automatski znači da su u svim tim zemljama priznati sertifikati ove kuće bez obzira koja filijala ih je izdala. Konkretno je odabrana filijala TÜV Rheinland Hungaria iz Budimpešte s obzirom na to da je po lokaciji najbliža, a što je jedan od elemenata troškova, a zatim što je komuniciranje omogućeno na mađarskom, nemačkom i engleskom jeziku po izboru SEVER-a u konkretnoj situaciji.

4. ZAKLJUČAK

Kvalitet proizvoda podrazumeva postojanje sertifikata koji svedoči o zadovoljenju kriterijuma zvanih serija ISO 9000 i "EC Deklaraciju o usaglašenosti" proizvoda sa suštinskim zahtevima direktiva. Ispunjavajući ove uslove proizvod dobija CE znak koji mu omogućava da se nađe na tržištu ujedinjene Evrope, jer kratko rečeno: Ako nema oznake CE - nema ni prodaje! S obzirom na trenutnu poziciju Jugoslavije, postavlja se pitanje: kako orijentisati privredu zemlje da ona može ravnomerno da se uključi u svetske trgovinske tokove? Trenutna pozicija podrazumeva:

- ne pripadanje Jugoslavije članstvu EZ,
- ne usklađenost jugoslovenskih standarda sa međunarodnim standardima iz odgovarajućih oblasti, a standardi doprinose:
 - podsticanju međunarodne trgovine,
 - sprečavanju necarinskih barijera i
 - postavljanju zajedničkih osnova za dogovaranje u međunarodnoj trgovini.

Ovome treba dodati i to da je put do sticanja sertifikata za sistem kvaliteta i proizvoda dugotrajan i složen proces za naše uslove i da nosi sa sobom velike troškove, te ima smisla uključivati se u ove poslove samo ako je organizacija stvarno opredeljena da unapredi svoje poslovanje.

Za kraj treba istaći da je izlazak na EU tržište monopolistička igra koju diktiraju zemlje članice EU i na taj način stavljaju u podređen položaj sve manje razvijene zemlje koje zbog toga veoma teško i skupo plaćaju ulaznicu za tržište EU.

5. LITERATURA

- [1] Milivojević, Z. Đ.: *Standardizacija '92 - Tehnološki izazov jugoslovenskom izvozu*, Savez inženjera i tehničara Jugoslavije, Beograd, 1989.
- [2] Đurđević, S.: *Slobodan promet proizvoda u Evropi - EC znaci saobraznosti*, Specijalizovani časopis za unapređenje kvaliteta, Beograd, 1996.
- [3] Vujanović, N.: *Ocenjivanje usaglašenosti u EU (CE znaci)*, DQM - Istraživački centar, Čačak, 1999.
- [4] Kovačić, R.: *Usklađivanje sa CE direktivama u Korporaciji SEVER - Električne mašine a.d.*, Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2000.
- [5] *Jugoslovenski standard - Moduli za različite faze postupaka za ocenjivanje saobraznosti*, "Službeni list SRJ", br. 41/92.
- [6] Tanasković, V. R.: *Pedeset godina jugoslovenske standardizacije*, Specijalizovani časopis za unapređenje kvaliteta, Beograd, 1996.

CE MARK - MARK OF QUALITY FOR ACCESS TO UNITED EUROPE TRADE CENTRE

Abstract

Basic element of procedure for conformity assessment of product with directive demand, which provide possibility of using CE mark as the mark of quality, are presented in this work. It is made on the example of SEVER Corporation in Subotica.

ANALIZA KVALITETA KONCEPCIJE DVOSTEPENIH UNIVERZALNIH ZUPČASTIH REDUKTORA

Savić B.¹

Rezime

Ovim radom se pokušavaju rešiti problemi, koji postoje u izboru reduktora, proceni njegovog opšteg kvaliteta, kao i oceni kvaliteta koncepcije. Razvijen je koncept vrednovanja kvaliteta koncepcije dvostepenih univerzalnih zupčastih reduktora, koji se može primeniti i na ostale složene mehaničke sisteme. Na osnovu ovakvog prilaza izvršena je analiza kvaliteta koncepcije dvostepenih univerzalnih zupčastih reduktora prosečnih i vodećih svetskih proizvođača. Proces vrednovanja kvaliteta koncepcije je urađen tako, što je izračunata vrednost (broj bodova) za svaki reduktor koji se analizira, i na osnovu toga utvrđeno koji reduktor ima kvalitetniju koncepciju.

Ključne reči: reduktor, kvalitet, konstrukcija

1. UVOD

Kupci reduktora iz iskustva znaju koji i čiji su reduktori kvalitetniji, mada nisu imali neke brojčane podatke koji bi im to potvrdili. Najčešće, kupac se odlučivao za reduktor koji za istu osnu visinu ima veću nosivost, uz isti prenosni odnos i uz nižu cenu. Ovaj problem bi se morao prevazići time što bi se pored svih podataka o tehničkim karakteristikama reduktora u katalozima istakli još neki pokazatelji kvaliteta reduktora, kako bi se kupac lakše snalazio pri izboru reduktora.

Do sada se nije posvećivala posebna pažnja ovom problemu, čijim bi se rešenjem olakšao posao kupcima i korisnicima reduktora. Jedan od ciljeva ovog rada je što verodostojnije vrednovanje kvaliteta koncepcije dvostepenih univerzalnih zupčastih reduktora. To bi trebalo da omogući kupcima, da lakše odaberu kvalitetniji reduktor, a i proizvođačima da sagledaju slabosti svog reduktora u poređenju sa konkurencijom. Proces vrednovanja konstrukcionog rešenja je osmišljen tako, da se izračuna vrednost (broj bodova) za svaki reduktor koji se analizira, i na osnovu toga utvrdi koji je reduktor koncepcijski kvalitetniji i za koji se reduktor (ili proizvođača) odlučiti prilikom izbora.

Iz ovih razloga, u oceni kvaliteta koncepcije reduktora, često se pristupa upoređivanju nekih faktora kao što su odnosi veličina T_N/h , m/h , u/h i T_N/m .

Nazivna nosivost/osna visina reduktora T_N/h . Ovim pokazateljom kvaliteta koncepcije može se videti koliko obrtnog momenta po jedinici visine dotični reduktor može da prene. Međutim,

¹ Prof. mr Branko Savić, dipl.ing., Viša tehnička škola u Novom Sadu, Školska 1, 21000 Novi Sad, Jugoslavija, tel/fax +381 21 421-088; e-mail: vtsns@Eunet.yu

ovaj parametar puno zavisi od najveće vrednosti prenosnog odnosa koji se može postići sa dotičnim reduktorom, jer ako se prilikom projektovanja reduktora ide na male prenosne odnose onda se za izradu zupčanika mogu koristiti veći moduli, čime se automatski obezbeđuje i veća nosivost. Kupac želi da ima reduktor sa što većim odnosom ovih veličina.

Masa/osna visina reduktora m/h govori o savršenosti tehničkog rešenja. Mala masa obično govori o primeni tačnijih proračuna, kvalitetnijih materijala, savremenih tehnologija izrade (zupčanci se obično rade kovanjem), primeni savremenijih postupaka livenja, čime su zidovi kućišta tanji, i slično, mada može da govori i o preforsiranoj konstrukciji koja je konstruisana sa malim stepenima sigurnosti, i koja ne može raditi duže vreme bez otkaza, zbog čega je u katalogu potrebno posebno naglasiti o čemu je u konkretnom slučaju reč. Kupcima odgovara da je ovaj pokazatelj, uz istu cenu reduktora, što veći verujući da se time postiže manje opterećenje materijala, mada je to teško postići jer veći utrošaka materijala sigurno utiče i na više troškove proizvodnje.

Maksimalni prenosni odnos/osna visina reduktora u_{max}/h govori o usvojenoj koncepciji, odnosno posedovanju savršenije tehnologije za izradu ozubljenja. Ovaj podatak obično se posmatra zajedno sa pokazateljem T_N/h jer on govori o opštim usvojenim osobinama reduktora.

Nazivna nosivost/masa reduktora T_N/m govori o racionalnosti konstrukcije, tj. o racionalnosti iskorišćenja materijala. Za kupce je, na prvi pogled, interesantno da je ovaj podatak što manji mada on, najčešće, govori o primeni slabijih materijala i zastarelih tehnologija, pa se i za ovaj parametar u današnje vreme primene savremenih tehnologija, očekuje da bude što veći. Zbog toga se i ovaj parametar mora posebno prokomentarisati u katalogu.

Međusobnim upoređivanjem ovih pokazatelja, ne uzimajući u obzir cenu reduktora, može se dobiti samo jedna opšta slika o kvalitetu koncepcije reduktora, međutim, uvodeći u razmatranje i cenu, koja zavisi od mnogo faktora, a svakako i od usvojene koncepcije s obzirom da se univerzalni reduktori mogu graditi po različitim koncepcijama, a zatim primenjene tehnologije i materijala za izradu reduktora može se dobiti mnogo realnija slika o valjanosti pojedinih rešenja.

Posebno se mora naglasiti koja je koncepcija usvojena pri definisanju tehničkih parametara reduktora, mali prenosni odnosi, a velika nosivost, ili veliki prenosni odnos a mala nosivost, ili i jedno i drugo (sa dva različita seta zupčanika). Mora se detaljno opisati postupak izrade kako bi kupac mogao da vidi zašto je reduktor manje ili veće mase, ili skup. Pored ovoga, potrebno je navesti sve parametre, o kojima je već bilo reči, kako bi se mogla stvoriti jedna stvarno realna slika o kvalitetu reduktora. Svi ovi podaci govore o ozbiljnosti reduktora, kao i ozbiljnosti proizvođača tako da, neosporno, mogu uticati na konačan izbor reduktora.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

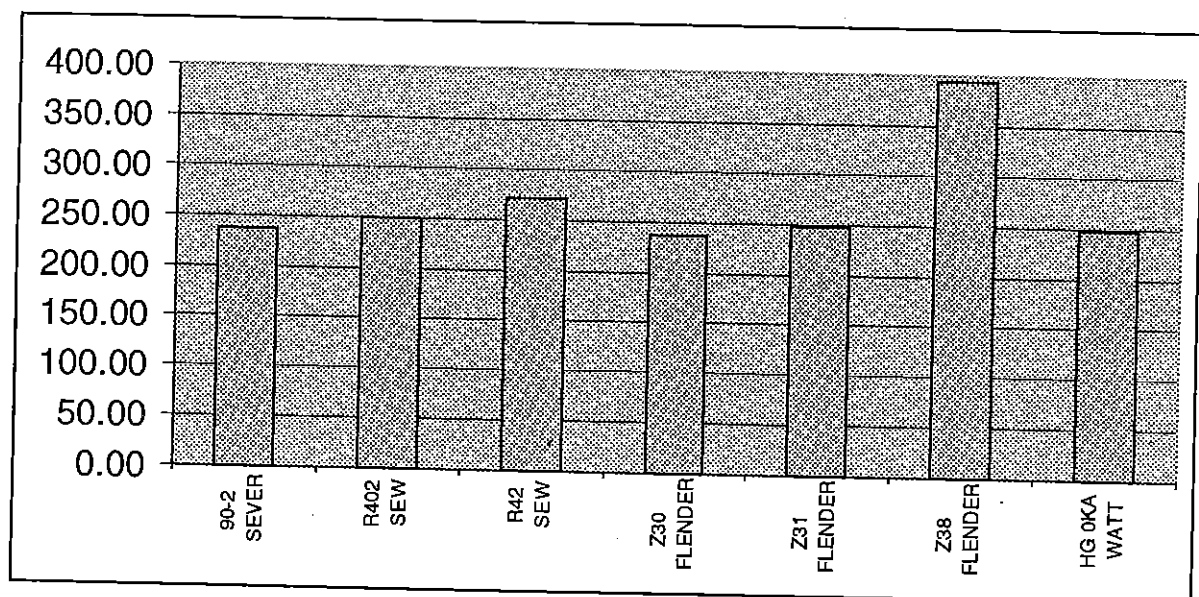
U eksperimentalnom delu analizirani su dvostepeni reduktori. U svakoj grupi su svrstani u podgrupe sa istom (ili približno istom) osnom visinom. Za svaki reduktor izračunati su odnosi veličina T_N/h , m/h , u/h i T_N/m . U grupi reduktora iste osne visine najveći odnos svake od ovih veličina je bodovan sa 100. U zavisnosti koliko je procenata od maksimalne veličine imao sledeći reduktor, toliko je bodova dobijao. Na kraju je sabran odnos sve četiri veličine za dati reduktor i dobijala se vrednost koja se mogla kretati maksimalno do 400 (četiri veličine \times 100). Reduktor koji je imao najveći zbir proglašavan je za koncepcijski najkvalitetniji prema ovoj analizi.

Eksperimentalni deo je urađen u Excelu, a izgled jedne tabele (rastavljene na dva dela prikazan je u nastavku. Napravljen je mali program u kome se unose podaci koji su osenčeni. Na osnovu ovih podataka program računa sve ostale vrednosti i izbacuje poziciju datog reduktora u poređenju sa ostalim reduktorima.

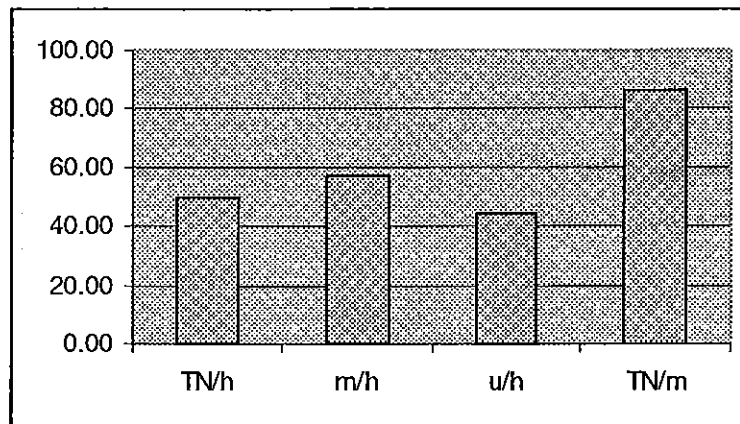
h=90*										
	TIP	h, mm	m, kg	T_N , Nm(max)	u (max)	T_N/h	m/h	u/h	T_N/m	m/T_N
SEVER	90-2	90	8	90	20.51	1	0.088889	0.227889	11.25	0.088889
SEW	R402	90	10	100	21.61	1.111111	0.111111	0.240111	10	0.1
SEW	R42	90	10	125	15.84	1.388889	0.111111	0.176	12.5	0.08
FLENDER	Z30	90	12	85	23.31	0.944444	0.133333	0.259	7.083333	0.141176
FLENDER	Z31	90	12	100	20.12	1.111111	0.133333	0.223556	8.333333	0.12
FLENDER	Z38	90	14	182	44.12	2.022222	0.155556	0.490222	13	0.076923
WATT	HG OKA	90	8	60	46.5	0.666667	0.088889	0.516667	7.5	0.133333
MAKSIMALNE VREDNOSTI						2.022222	0.155556	0.516667	13	0.141176

	$T_N/h(\%)$	m/h(%)	u/h(%)	$T_N/m(\%)$	ZBIR(%)	Kvalitet koncepcije
SEVER	49.45	57.14	44.11	86.54	237.24	6
SEW	54.95	71.43	46.47	76.92	249.77	3
SEW	68.68	71.43	34.06	96.15	270.33	2
FLENDE R	46.70	85.71	50.13	54.49	237.03	7
FLENDE R	54.95	85.71	43.27	64.10	248.03	4
FLENDE R	100.00	100.00	94.88	100.00	394.88	1
WATT	32.97	57.14	100.00	57.69	247.80	5

Ovi rezultati se mogu prikazati i na dijagramima. Na ordinati ovih dijagrama naneti su tipovi reduktora i njihovi proizvođači, a na apscisi osvojeni bodovi, maksimalno 400. Za svaki reduktor je posebno napravljena dijagram-analiza za sve četiri upoređivane veličine gde je maksimalna vrednost koju je ta veličina mogla da dostigne 100. Na osnovu ovih dijagrama je uočeno gde su neka od slabih mesta posmatranog reduktora. Na ordinati ovih dijagrama nanete su veličine T_N/h , m/h , u/h i T_N/m , a na apscisi osvojeni bodovi, za svaku od ovih veličina, maksimalno 100.



Dijagram 1. Uporedni pregled kvaliteta koncepcije posmatranih reduktora



Dijagram 2. Pokazatelji kvaliteta koncepcije posmatranog reduktora

3. ZAKLJUČCI

Tehničke karakteristike za koje se proizvođači odluče da ih unesu u katalog, govore samo o tome da li taj reduktor odgovara kupcu, a ne može se sagledati da li je on dovoljno kvalitetan. Najčešće, i samim proizvođačima nedostaju neke ocene kvaliteta u poređenja sa proizvođačima sličnih reduktora, koje bi oni mogli istaći u cilju poboljšanja plasmana svojih reduktora. Zbog toga je bilo potrebno izraditi jedan model po kojem bi kupac mogao da uporedi reduktore različitih proizvođača. U ovom radu je napravljen jedan primer kako je moguće izabrati određene pokazatelje kvaliteta (više pokazatelja), i njihovim vrednovanjem proceniti koji je reduktor koncepcijski kvalitetniji. Potvrdila se hipoteza da se kvalitet koncepcije reduktora može da prati preko odnosa sledećih veličina:

- nazivna nosivost/osna visina reduktora T_N/h ,
- masa/osna visina reduktora m/h ,
- maksimalni prenosni odnos/osna visina reduktora u_{max}/h ,
- nazivna nosivost/masa reduktora T_N/m .

Takođe, na osnovu sprovedenih istraživanja došlo se do zaključka da je model ocene kvaliteta koncepcije dobar, jer su reduktori vodećih svetskih proizvođača prema ovom modelu prednjačili u odnosu na prosečne svetske proizvođače. Na sličan način moguće je izvršiti i analizu trostepenih i jednostepenih reduktora. Takođe smatram da bi se mogli uvesti određeni težinski faktori za posmatrane veličine, kako bi analiza bila verodostojnija.

6. LITERATURA

1. Kuzmanović, S., Milašević, K.: *Predlog načina ocene podobnosti mehaničkih prenosnika*, V simpozijum mašine i mehanizmi, str. 62-70., Petrovac, 5-7.X 1997.
2. Kuzmanović, S.: *Osnove konstruisanja*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1998.
3. Kuzmanović, S.: *Stanje i tendencije razvoja univerzalnih zupčastih motornih reduktora*, Severov simpozijum o mehaničkim prenosnicima; Subotica, 15. 10. 1997.
4. Kuzmanović, S.: *Prikaz pokazatelja kvaliteta univerzalnih reduktora, menadžment totalnim kvalitetom*, Vol. 25 No 3-4 str, 43-47., Beograd, 1997.
5. Savić, B.: *Razvoj sistema upravljanja kvalitetom složenih mehaničkih sistema na primeru univerzalnih zupčastih reduktora*, magistarski rad, Novi Sad 1999.

A MODEL OF ASSESSMENT OF GEAR DESIGN QUALITY

Abstract

The problems connected to gear choice which have been existed by now have been solved in the paper. It has been done by its general quality. One of the aims of the paper is development of personal approach to quality evolution and compound mechanical systems reliability, gear in this case. On the base of such approach an analysis of quality of gears by avarage and leading world manufacturers have been performed. The evolution process of design solution has been done by computing the value for every gear being analysed and based on that it has been established which gear is better.

Key words: Gear, Quality, Design

SPECIFIČNOSTI UNAPREDJENJA KVALITETA NA ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNIM POSLOVIMA

M. Djapić, Lj. Lukić, V. Komadinić, Lj. Djordjević¹

Rezime:

Razvoj i implementacija menadžment sistema za kvalitet (QMS) predstavlja prioritet u unapredjenju kvaliteta poslovanja u istraživačko/razvojnim (I&R) preduzećima. U radu² se, polazeći od zahteva koje postavlja nova revizija standarda ISO 9000, daje generalni pristup razvoju QMS-a. Ovaj pristup podrazumeva (1) definisanje poslovanja preduzeća, (2) definisanje strukture ciljeva i (3) definisanje mreže poslovno/proizvodnih procesa. Poslovno/proizvodni se grupišu u osnovne ili ključne, pomoćne i menadžment procese

1. UVOD

Promene u svetskom prometu roba i usluga, usmerene ka globalizaciji tržišta i želja proizvođača da ispune zahteve svakog pojedinačnog kupca, nameću brojne i sve strožije zahteve. U sadašnjem trenutku, svoju dobru tržišnu poziciju svetska preduzeća uglavnom postižu visokim kvalitetom proizvoda uz razumno nisku prodajnu cenu.

Najnovija istraživanja ukazuju na činjenicu da suštinsko povećanje produktivnosti i efikasnosti proizvodnje počiva na znanju, "čistim" (očišćenim od grešaka) i resursno štedljivim poslovnim procesima, dobroj komunikacionoj infrastrukturi, timskom radu uz jasno definisane poslovne ciljeve i strateške pravce delovanja, koji organizaciju treba da dovedu do željenog poslovnog cilja.

Proces razvoja proizvoda počinje idejom ili zahtevom za novi proizvod, a završava izradom i ispitivanjem prototipa (za slučaj visoko serijske proizvodnje), ili izradom prvog i jedinog komada ili postrojenja (za slučaj pojedinačne izrade). Uticaj ovog procesa na ukupne troškove, odnosno finalnu cenu proizvoda je uglavnom poznat. On se može menjati zavisno od vrste proizvoda, tipa proizvodnje, okruženja, finansijskih uslova realizacije projekta, ali, generalno posmatrano, troškovi razvoja u ukupnim troškovima učestvuju svega sa 5-10%, a odluke donesene u ovom procesu utiču na oko 70% svih ostalih troškova.

Takodje, veoma važna konstatacija je da obezbedjenje kvaliteta u svim funkcijama u preduzeću nema isti efekat na ekonomske pokazatelje uspešnosti poslovanja. Sigurno je da je obezbedjenje kvaliteta u fazi razvoja proizvoda primarno, jer ako se kvalitet ne "ugradi" u proizvod u toj polaznoj fazi, teško da se može ekonomično ugraditi u kasnijim fazama životnog veka proizvoda.

Ovo su samo neke od činjenica, koje ukazuju na potrebu stalnog unapredjenja poslovnih procesa, načina i metoda rada, upravljanja procesima i poboljšanjima funkcionalnog sistema

¹ Dr Mirko Djapić, dipl. ing.; Dr Ljubomir Lukić, dipl. ing.; Mr Velimir Komadinić, dipl. ing.; Ljubomir Djordjević, dipl. ing., LOLA Institut, Beograd

² Rad predstavlja deo istraživanja u okviru Projekta br. S.5.33.67.0088 Agilni tehnološki sistemi, koje finansira MNT Republike Srbije.

rada proizvodnih i uslužnih organizacija. Slična je situacija i sa istraživačko razvojnim (I&R) preduzećima, uz sve specifičnosti koje ima priroda poslova u njima.

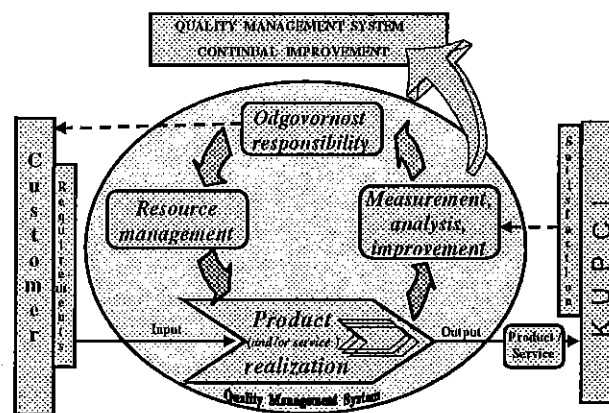
Ovaj rad nema nameru da razreši sve dileme koje postoje u ovoj oblasti, već da ukaže na važnost unapređenja kvaliteta i ukupnog poslovanja u I&R funkcijama i/ili organizacijama, preduzećima i na neke specifičnosti koje su tu prisutne, kao i moguće pravce rešavanja problema.

2. PROCES RAZVOJA U SVETLU NOVE REVIZIJE STANDARDA ISO9000:2000

2.1 Orijentacija na proces ključnih unapređenja kvaliteta

Svako preduzeće može da se posmatra kao proizvodni sistem koji se sastoji iz više podsistema. Zavisno od nivoa apstrakcije, podsistemi se mogu posmatrati kao globalni procesi koji se dalje dekomponuju na podprocese, a podprocesi, na kraju, na aktivnosti. Svaki proces sastoji se iz serije ponavljajućih i međusobno isprepletanih aktivnosti sa prethodno definisanim ulazima i izlazima. Proces ima atribut efektivnosti i efikasnosti u formi svojih performansi.

Orijentacija na poslovne/proizvodne procese predstavlja okosnicu novog koncepta unapređenja kvaliteta, koga zastupa i nova revizija serije standarda ISO 9000 (slika 1). Ne može se sa sigurnošću reći da i ranije revizije nisu to isticale. Sigurno je, međutim, da je to ovoga puta učinjeno znatno jasnije.



Slika 1. Procesni model menadžmenta kvaliteta (ISO9000 revizija 2000)

Koncept upravljanja sistemom zahteva od procesa povratne informacije neophodne za upravljanje.

Proces menadžment se ostvaruje kroz skup uzajamno povezanih aktivnosti, koje baziraju na jednostavnim principima. Principi su:

- Uspostavljanje vlasnika procesa
- Uspostavljanje granica i unutrašnjih medjuveza
- Definisane strukture procesa
- Uspostavljanje kontrolnih tačaka
- Merenje performansi procesa
- Preduzimanje korektivnih mera u slučaju devijacija u procesu

2.2 Razvoj proizvoda

Razvoj proizvoda je proces u kome se iskorišćavaju i primenjuju rezultati istraživanja i rezultati tehničkih i ekonomskih analiza da bi se dobili novi proizvodi (novi razvoj) ili da bi se postojeći proizvodi poboljšali.

Razvoj proizvoda možemo posmatrati dvojako: u užem i širem smislu. U širem smislu ovaj proces počinje generisanjem ideja o novom proizvodu, a završava finalizacijom projektno-konstruktivne dokumentacije i ispitivanjem spremnosti proizvoda za tržište. U ovom pristupu razvoj proizvoda uključuje operacije za čiju nadležnost je zadužen marketing, kao što su generisanje ideja o novom proizvodu i izbor najboljih. Sigurno je da u ovim operacijama učestvuje i organizaciona jedinica razvoja proizvoda, naročito u rangiranju i izboru ideja o novom proizvodu, gde ima možda i dominantnu ulogu. Ove operacije je, međutim, najbolje obuhvatiti marketing procesom, jer je marketing generalno odgovoran za pribavljanje i obradu informacija sa tržišta. Na taj način se olakšavaju i jasno razgraničavaju nadležnosti marketing procesa i procesa razvoja proizvoda, pa time i definisanje i postavljanje vlasnika ovih procesa. Sa tog aspekta razvoj proizvoda predstavlja proces, uobličen u formu projekta, koji počinje aktivnostima prevodjenja zahteva i očekivanja kupca u finalne karakteristike proizvoda, a završava vrednovanjem proizvoda u odnosu na njegovu spremnost za tržište. Ulazi u takav proces su zahtevi i očekivanja kupca, a izlazi su kompletirane funkcionalne, tehničke, kupovne i procesne specifikacije proizvoda, zatim sva projektno-konstruktivna i druga odgovarajuća dokumentacija koja se odnosi na te specifikacije.

2.3 Proces razvoja u nacrtu revizije standarda ISO 9000:2000

Proces razvoja je u reviziji serije standarda ISO 9000:1994 pokriven uglavnom zahtevima definisanim u tački 4.4 (*Design Control*) standarda ISO 9001, koja se kod nas vrlo često pogrešno prevodi kao "kontrola projekta", "kontrola projektovanja" itd. a u suštini se odnosi na operativno upravljanje (prevod reči "*control*") procesom dizajna ili projektovanja proizvoda. U predlogu nove revizije serije standarda ISO 9000:2000 zahtevi za operativno upravljanje procesom projektovanja proizvoda se proširuje na razvoj procesa i/ili sistema za proizvodnju i podršku proizvodu u fazi upotrebe, tj. na ono što se danas u nauci o projektovanju naziva integrisani razvoj proizvoda i procesa (IPPD - Integrated Product & Process Design). Predloženi su dodatni zahtevi u odnosu na zahteve iz standarda ISO 9001:1994, kao što su:

Ulazi u proces razvoja moraju uključiti zahteve za performanse proizvoda i/ili usluge koji dolaze od strane kupaca ili tržišta (7.3.2, *Design and development inputs*).

Izlazi iz procesa projektovanja i razvoja moraju da definišu karakteristike proizvoda i/ili usluge koje su suštinske za sigurnost i namensko korišćenje proizvoda (7.3.3, *Design and development outputs*).

Organizacija mora oceniti sposobnost da potpuno ispuni zahteve za kvalitet, da identifikuje bilo kakve probleme i da predloži rešenja za to (7.3.4, *Design and development review*).

Organizacija mora da odredi efekte promena koje mogu da nastanu u: interakciji izmedju elemenata koji učestvuju u projektovanju i razvoju; interakciji izmedju delova koji ulaze u finalni proizvod i/ili uslugu; funkcionisanju (upotrebi) postojećih proizvoda i proizvoda koji se neposredno isporučuju iz preduzeća, potrebi za ponovnom verifikacijom i validacijom za sve ili pojedine delove izlaza iz procesa projektovanja i razvoja (7.3.7, *Control of changes*).

3. SPECIFIČNOSTI OBEZBEDJENJA KVALITETA NA I&R POSLOVIMA

Obezbedjenje kvaliteta u I&R ima neke specifičnosti u skladu sa samom prirodom poslova koji se obavljaju u ovim organizacijama. Istraživačko razvojni poslovi spadaju, uglavnom, u domen usluga. Ovi poslovi su visoko kreativni i vrlo je teško striktno propisati njihov tok, odnosno detaljno ih planirati na početku rada. Svaki istraživački projekat je jedinstven i neponovljiv po predmetu istraživanja, obimu, rokovima, timu koji ga realizuje, potrebnim sredstvima i neizvestan u pogledu očekivanih rezultata.

Sa druge strane, koncept obezbedjenja kvaliteta dobija svoje puno značenje kada se implementira na istraživačko razvojne poslove. Da bi kupci naučno-istraživačkih rezultata bili sigurni da će dobiti tražena rešenja, moraju se pre realizacije projekta urediti svi ulazni

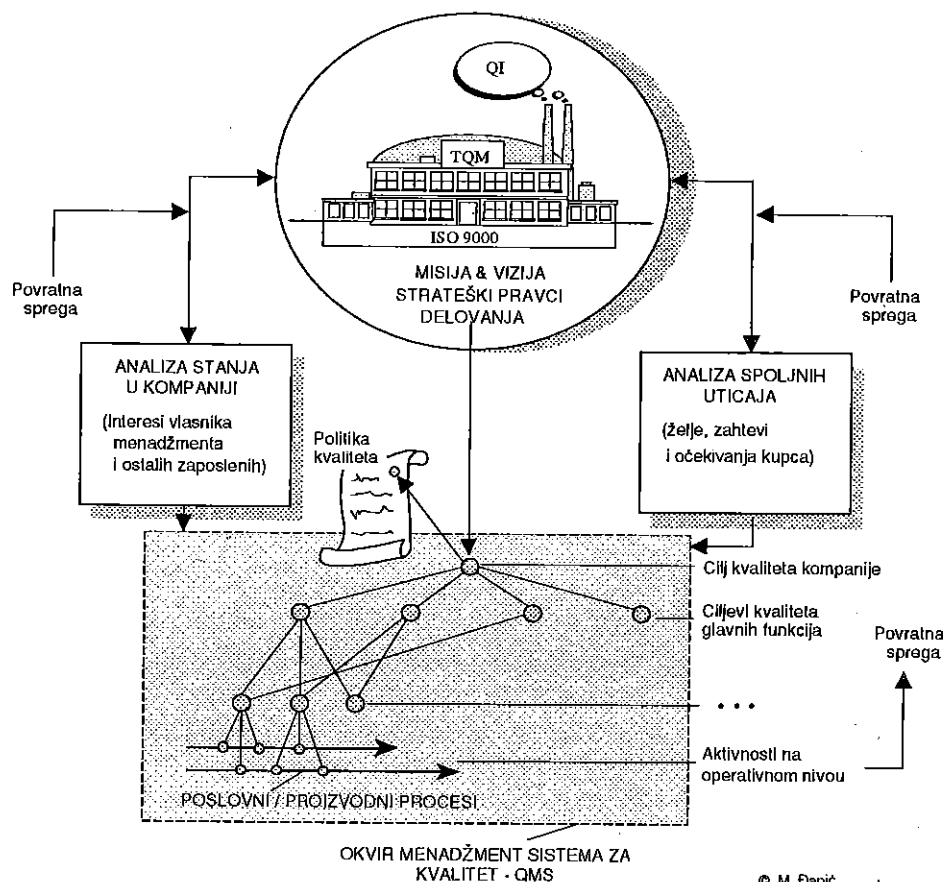
zahtevi, nabaviti svi potrebni resursi, uključujući i naučno istraživački kadar, sve pažljivo isplanirati, koristiti proverene naučnoistraživačke metode i tehnike, i, na kraju, operativno upravljati realizacijom projekta na najsavremeniji način.

Zbog toga koncept obezbedjenja kvaliteta u NIO mora biti fleksibilan, sa dominantnom ulogom planova kvaliteta kao osnovnih dokumenata koji pokazuju način obezbedjenja kvaliteta na konkretnim projektima.

Takodje, zbog nemogućnosti da se unapred potpuno predvidi kvalitet izlaznih rezultata, posebna pažnja mora se posvetiti samom procesu istraživanja i razvoja, načinu njegovog upravljanja, kontrolnim tačkama i naučno stručnoj kompetentnosti istraživačkog kadra kao najvažnijeg resursa.

Sve napred iznete specifičnosti obezbedjenja kvaliteta u I&R preduzećima moraju se ugraditi u menadžment sistem za kvalitet (QMS – Quality Management System).

Kako će izgledati QMS-a, koji će poslovno / proizvodni procesi biti ključni i kako će oni izgledati zavisi od ciljeva koje organizacija želi da postigne u planiranom periodu, vrste i tipa proizvoda, zahteva tržišta itd. Zbog toga svaka organizacija koja želi da posluje na bazi modernih menadžment principa mora da definiše svoje poslovanje u formi Vizije, Misije i Politike kvaliteta.



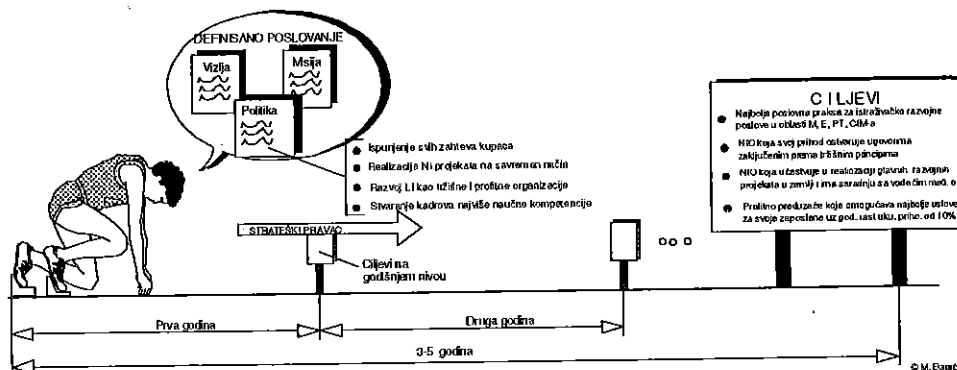
Slika 2. Pristup u definisanju poslovanja

QMS se razvija u skladu sa ciljevima (slika 3), koji se odnose na stratejske pravce delovanja I&R preduzeća u području kvaliteta njihovih usluga, poslovnih procesa, tržišne pozicije, politike naučno tehnološkog razvoja itd.

Sve procese u organizaciji je moguće grupisati u tri kategorije i to:

- osnovni ili ključni procesi,
- pomoćni procesi i
- menadžment procesi.

Kroz osnovne procese organizacija ostvaruje svoju misiju i kreira vrednost za kupca. Postoje neke preporuke da organizacija treba tako da strukturise svoj sistem da nema više od deset do dvadeset ključnih procesa /3/. Sigurno da je jedan od najvažnijih procesa iz ove grupe proces razvoja.

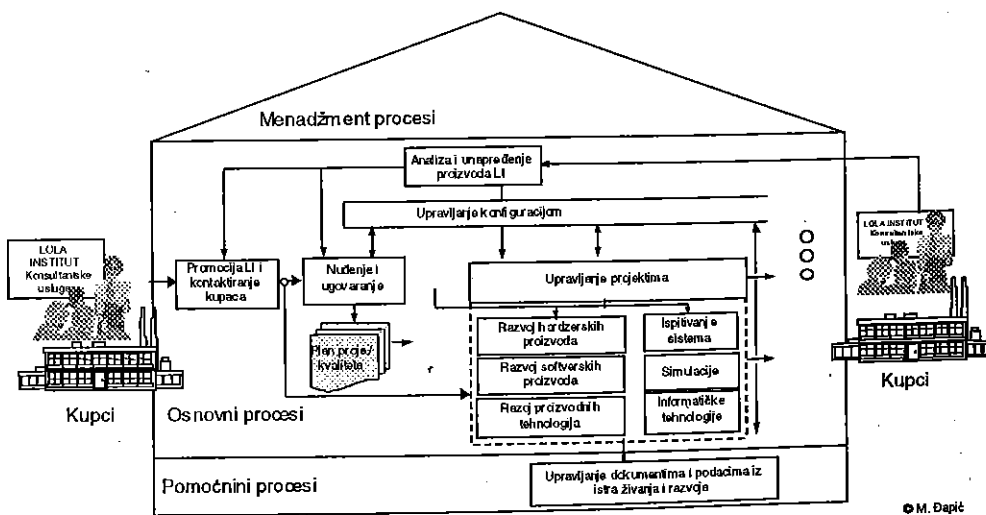


Slika 3 Definisano poslovanje kao osnova razvoja QMS-a

Pomoćni procesi služe za monitoring i pomažu izvršenje osnovnih procesa. Kroz menadžment procese organizacija definiše svoje poslovanje, postavlja ciljeve i kreira uslove za ostvarenje tih ciljeva. Kroz njih se nadzire i upravlja celim sistemom. Osnovne procese u I&R preduzećima treba tako strukturisati da zatvore petlju kvaliteta u uslugama, a da pri tome potpuno ispune njihovu misiju. Tako na primer, u LOLA Institutu u osnovne procese spadaju istraživačko razvojni procesi u domenu mašinstva, elektrotehnike, procesnih tehnologija i kompjuterski integrisanih tehnološki sistemi. Takođe, u grupu osnovnih procesa spadaju i procesi pružanja konsultantskih i obrazovnih usluga. Na slici 4 je dato mesto i struktura istraživačko razvojnih poslova u preliminarnoj strukturi QMS-a LOLA Instituta.

4. ZAKLJUČAK

Rad ukazuje na važnost unapređenja kvaliteta u istraživačko razvojnim institucijama, na neke specifičnosti koje su tu prisutne, kao i na nove zahteve koji se predviđaju u novoj reviziji serije standarda ISO 9000:2000.



Slika 4. Istraživačko razvojni poslovi u preliminarnoj strukturi QMS-a LOLA Instituta

Dat je generalni pristup u razvoju QMS-a koji obuhvata (1) definisanje poslovanja, (2) izbor ciljeva i strateških pravaca delovanja preduzeća i (3) određivanje strukture poslovno/proizvodnih procesa koji čine opseg QMS-a. Procese treba tako strukturisati da se prepoznaju osnovni ili ključni, pomoćni i menadžment procesi. Optimalno strukturisana mreža poslovno/proizvodnih procesa koja omogućava dobijanje vrednosti za kupca predstavlja vredan resurs koji treba stalno održavati i unapredjivati.

5. LITERATURA

- [1] Lukić, Lj., DJapić, M., Stamatović, S., Obezbedjenje kvaliteta u naučno istraživačkim organizacijama, Zbornik radova III jugoslovenskog savetovanja "Razvoj i realizacija nacionalne strategije unapredjenja kvaliteta", Zlatibor, 16-19, marta 1999.
- [2] DJapić, M., Bečejski-Vujaklija, D., Parežanin, V., An Approach to Ranking and Selection of Quality Objectives, EOQ '97, 41st EOG Congress, Trondheim, Norway, June, 1997., Proceedings Vol. 3, pp. (25 - 34).
- [3] DeToro, I., McCabe, T., How to Stay Flexible and Elude Fads, Quality Progress, March, 1997., (pp. 55-60)..
- [4] Lamprecht, J., Is ISO 9000:2000 the Beginning of the End? Quality Progress, Jul, 1999.

Summary:

Quality management system development and implementation represents the priority in the improvement of I&R companys' quality of business.

This paper, taking into a cosideration the requirements set by the new ISO 9000 standard revision, gives the general approach to a QMS development. This approach implies (1) company business defining, (2) goals structure defining and (3) business/production process network defining. Business/production processes are grouped into a basic (key), facilitating and management processes.

ISTRAŽIVANJE MEĐUZAVISNOSTI KARAKTERISTIKA KVALITETA I TROŠKOVA KVALITETA PROIZVODA

M.Kolarević¹, T.Pantelić²

REZIME

Upravljanje kvalitetom i ekonomijom kvaliteta proizvoda je praktično nemoguće bez poznavanja oblika i stepena međuzavisnosti karakteristika kvaliteta i troškova kvaliteta proizvoda. Formiranje odgovarajuće baze podataka o troškovima kvaliteta, utvrđivanje osnovnih karakteristika kvaliteta proizvoda i primena metoda regresione i korelacione analize su osnovni preduslov za definisanje ovih uzročno-posledičnih veza. U radu je dat predlog modela za rešenje pomenutog problema.

1. UVOD

Opšte je prihvaćena definicija da je kvalitet skup karakteristika proizvoda ili usluga kojima se zadovoljavaju potrebe kupaca-korisnika. konstantno unapređenje nivoa kvaliteta proizvoda je osnovni uslov da industrijsko preduzeće ne izgubi stečenu poziciju na tržištu. Međutim, osnovna ograničenja koja se pri tom nameću su tehničko-tehnološka izvodljivost i ekonomska održivost [1].

Tržišni opstanak preduzeća je uslovljen razlikom između cene prodaje (C_p) i cene koštanja (C_k) odnosno uslovom da je :

$$C_p - C_k = D_p > 0$$

Većina preduzeća ovo posmatra kao prostu razliku ukupnog prihoda i ukupnog rashoda preduzeća i pri tom zaboravlja činjenicu da je dobit preduzeća (D_p) u suštini rezultat zbira dobiti ostvarene realizacijom pojedinačnih proizvoda [1], tj.

$$D_p = \sum_{i=1}^n d_i$$

gde je:

D_p - dobit preduzeća [din],

d_i - dobit od i-tog proizvoda [din],

n - ukupan broj različitih proizvoda.

Dobit ostvarena realizacijom i-tog proizvoda je:

$$d_i = q_i (w_{cp_i} - w_{ck_i})$$

gde je:

q_i - obim proizvedenih i prodatih pojedinih vrsta proizvoda [kom],

w_{cp_i} - jedinična cena za i-ti proizvod [din],

w_{ck_i} - jedinična cena koštanja za i-ti proizvod [din].

¹ Mr Milan Kolarević, dipl.inž.maš., asistent, Mašinski fakultet u Kraljevu

² Dr Tihomir Pantelić, dipl.inž.maš.,red.prof., Mašinski fakultet u Kraljevu

Sada možemo napisati da je dobit preduzeća:

$$D_i = \sum_{i=1}^n q_i (w_{cp_i} - w_{ck_i})$$

Činjenica je da su retka preduzeća koja raspoložu podacima o stvarnoj ceni koštanja (w_{ck_i}) svojih proizvoda s obzirom da knjigovodstvo preduzeća sprovodi evidenciju troškova po mestima troškova a ne po nosiocima troškova, te se zato nameće potreba uspostavljanja sistema registrovanja i knjiženja troškova po proizvodima.

Utvrđivanje međuzavisnosti karakteristika kvaliteta proizvoda i troškova koji se odnose na kvalitet je osnova za upravljanje kvalitetom gledano sa ekonomskog aspekta. Dobijene relacije i odnosi između karakteristika kvaliteta i troškova koji se odnose na kvalitet nam pružaju mogućnost da izvršimo njihovo ocenjivanje, predviđanje i simulaciju i daju nam važne informacije za donošenje odluka u procesu upravljanja ekonomikom kvaliteta.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE PROIZVODA

Najznačajnije karakteristike proizvoda metaloprerađivačke industrije su prikazane u tabeli 1, i svrstane su u četiri osnovne grupe:

- konstrukcione karakteristike
- proizvodne karakteristike
- upotrebne (eksploatacione) karakteristike i
- ostale karakteristike.

Da bi se upravljalo kvalitetom proizvoda potrebno je izvršiti kvantifikovanje ovih karakteristika ali i njihovo stalno merenje i verifikovanje.

Ukupni kvalitet proizvoda možemo izraziti formulom:

$$Q = \frac{Q_K + Q_I + Q_E + Q_O}{\sum_{i=1}^n k_i} = \frac{\sum_{j=1}^m Q_j}{\sum_{i=1}^n k_i}$$

gde su:

- Q - ukupni kvalitet proizvoda,
- Q_j - kvalitet određene grupe karakteristika,
- Q_K - kvalitet konstrukcije,
- Q_I - kvalitet izrade (obrade),
- Q_E - kvalitet eksploatacije (upotrebe),
- Q_O - kvalitet ostalih karakteristika.
- k_i - težinski koeficijent koji pokazuje stepen uticaja i -te elementarne karakteristike kvaliteta
- m - broj osnovnih grupa karakteristika (u našem slučaju $m=4$)
- n - ukupan broj elementarnih karakteristika kvaliteta odnosno ukupan broj težinskih koeficijenata

Kvalitet određene j -te grupe karakteristika proizvoda (Q_j) možemo izraziti formulom:

$$Q_j = Q_{j1} + Q_{j2} + Q_{j3} + \dots + Q_{jr} = \sum_{l=1}^r Q_{jl}$$

gde je:

- Q_{jl} - kvalitet određene podgrupe karakteristika,
- r - broj podgrupa j -te grupe karakteristika,

T - 1.

GRUPA KARAKTERISTIKA	PODGRUPA KARAKTERISTIKA	ELEMENTARNE KARAKTERISTIKE	
KONSTRUKCIONE KARAKTERISTIKE PROIZVODA	Klasifikacione karakteristike	pripadnost proizvoda grupi, familiji idi.	
	Kvalitet projektovane koncepcije	oblik proizvoda	
		struktura	
		dimenzije	
		težina	
		stepen složenosti	
		možućnost modulame gradnje	
		stepen standardizacije	
	Ekonomičnost konstrukcije	stepen unifikacije	
		zamenljivost delova i jedinica u proizvodu	
materijal i svojstva materijala			
Tehnološćnost izrade i montaže	vreme izrade projekta		
	troškovi izrade projekta		
Kvalitet konstrukcione dokumentacije	tehnološćnost izrade delova		
	tehnološćnost montaže podsklopova i sklopova		
PROIZVODNE KARAKTERISTIKE	Kvalitet ulaznog materijala i gotove robe	kvalitet ulaznog materijala kvalitet gotove robe	
	Kvalitet proizvodne dokumentacije		
	Kvalitet karakteristike (kote) kvaliteta		
	Kvalitet elemenata		
	Kvalitet podsklopova		
	Kvalitet montaže proizvoda		
	Ekonomičnost izrade i montaže proizvoda		
UPOTREBNE KARAKTERISTIKE	Funkcionalne karakteristike (performanse)	radne karakteristike (tačnost, preciznost, brojevi obrtaja ...)	
		namena	
		proizvodnost	
	Bezbednost (sigurnost) u radu		
		Pouzdanost	bezotkaznost trajnost (vek proizvoda) remontabilnost (popravljivost)
	Ekonomičnost korišćenja	održivost radnih karakteristika za vreme konzerviranja i transporta	
		troškovi održavanja troškovi eksploatacije (potrošnja el.energije i sl.)	
	Ergonomske karakteristike	troškovi održavanja	
		troškovi eksploatacije (potrošnja el.energije i sl.)	
		higijenske antropološke fiziološke psihofiziološke	
	Ekološke karakteristike		
	Operativna gotovost (Availability)	prikladnost za efikasno održavanje	
raspoloživost servisnih usluga			
raspoloživost rezervnih delova			
podobnost proizvoda za upotrebu			
OSTALE KARAKTERISTIKE	Asortiman (raznovrsnost) proizvoda		
	Estetske karakteristike	izražajnost skladnost estetski izraz forme celovitost kompozicije racionalnost oblika	
		Ambalaža (pakovanje) proizvoda	
		Rok isporuke	
		Garantni rok	
	Marka proizvoda		
	Imidž (Image) proizvoda		
	Cena proizvoda		
	Možućnost transporta	transport do udaljenih tržišta klimatski uslovi transporta	
		stepen slobode proizvodnje stepen eksploatacije proizvoda	
	Patentno-pravne karakteristike	stepen patentne zaštite u zemlji i inostranstvu broj zemalja u kojima je patentiran proizvod	

dok se kvalitet svake od podgrupa može izraziti formulom:

$$Q_{jt} = \sum_{i=1}^s q_i k_i$$

gde je:

- q_i - kvalitet i -te elementarne relativne karakteristike kvaliteta,
- k_i - koeficijent i -te elementarne karakteristike kvaliteta.
- s - ukupan broj elementarnih karakteristika kvaliteta u podgrupi

S obzirom na to da priraštaj elementarne karakteristike kvaliteta može da utiče na povišenje ili sniženje kvaliteta proizvoda, elementarnu relativnu i -tu karakteristiku kvaliteta određujemo po formuli:

$$q_i = \frac{X_i}{X_{Ni}} \text{ ukoliko njen priraštaj izaziva povišenje kvaliteta proizvoda, i}$$

$$q_i = \frac{X_{Ni}}{X_i} \text{ ukoliko njen priraštaj izaziva sniženje kvaliteta proizvoda,}$$

pri čemu je:

- X_i - stvarana tj. procenjena vrednost elementarne i -te karakteristike kvaliteta
- X_{Ni} - nominalna (etalonska) vrednost odgovarajuće karakteristike kvaliteta tj. vrednost karakteristike kvaliteta proizvoda vrhunskog kvaliteta.

Vrednosti koeficijenata k_i elementarnih karakteristika kvaliteta se procenjuju zajedno za sve karakteristike kvaliteta određenog proizvoda pri čemu je njihov zbir 100 tj.

$$\sum_{i=1}^n k_i = 100$$

Za identifikaciju vrednosti karakteristika kvaliteta odnosno, nivoa kvaliteta na raspolaganju su nam tri osnovna metoda [2] :

- Eksperimentalni metod,
- Analitički metod, i
- Anketni metod,

a konkretna primena ovih metoda zavisi od specifičnosti elementarne karakteristike kvaliteta.

Za selekciju i rangiranje karakteristika kvaliteta su opisani u brojnoj literaturi te ovde neće biti posebno pominjani.

3. TROŠKOVI KVALITETA

Troškovi koji se odnose na kvalitet su prikazani u tabeli 2. Svi troškovi su svrstani u četiri grupe i to:

- Preventivni troškovi,
- Troškovi kontrole i ocene kvaliteta,
- Troškovi unutrašnjih (internih) gubitaka zbog lošeg kvaliteta, i
- Troškovi spoljašnjih (eksternih) gubitaka zbog lošeg kvaliteta.

ukupni troškovi vezani za kvalitet se mogu izraziti sledećom formulom:

$$T_Q = T_{pr} + T_{kk} + T_{gi} + T_{ge} = \sum_{j=1}^m T_j$$

gde su:

- T_Q - ukupni troškovi koji se odnose na kvalitet,
- T_{pr} - preventivni troškovi,
- T_{kk} - troškovi kontrole i ocenekvaliteta,
- T_{gi} - troškovi internih gubitaka zbog lošeg (neodgovarajućeg) kvaliteta,
- T_{ge} - troškovi eksternih gubitaka zbog lošeg (neodgovarajućeg) kvaliteta.

m - broj osnovnih grupa troškova (u našem slučaju $m=4$)
Trošak određene j -te grupe (T_j) možemo izračunati kao zbir elementarnih troškova tj.

$$T_j = T_{j1} + T_{j2} + T_{j3} + \dots + T_{jn} + \dots + T_{jr} = \sum_{i=1}^n T_{ji}$$

gde je:

T_{ji} - elementarni trošak u određenoj grupi troškova,
 n - broj elementarnih troškova j -te grupe.

Za troškove koji se ne mogu dobiti iz raspoloživih podataka preduzeća, potrebno je napraviti procene za određeni period ili određeni sektor preduzeća.

T - 2.

	GRUPA TROŠKOVA	ELEMENTARNI TROŠKOVI
TROŠKOVI PREVENTIVNE I TEKUĆE KONTROLE	PREVENTIVNI TROŠKOVI	troškovi planiranja kvaliteta (izrada postupaka i planova kvaliteta) troškovi razvoja metoda kontrolisanja troškovi analize i praćenja kvaliteta troškovi pripreme i projektovanja tehnologije kvaliteta razvoj kontrolne merne opreme obuka kadrova kontrola tehničke dokumentacije troškovi istraživanja tržišta (mogućnost prodaje kvalitetnijeg proizvoda) ostali troškovi preventive
	TROŠKOVI KONTROLE I OCENE KVALITETA	prijemna i ulazna kontrola i ispitivanje laboratorijska ispitivanja kontrolisanje i upravljanje kvalitetom u međufaznoj kontroli kontrolisanje i upravljanje kvalitetom u završnoj kontroli kontrola pakovanja troškovi materijala za kontrolisanje i ispitivanje troškovi energije amortizacija interne i eksteme usluge (odobrenja i potvrde) materijalni troškovi troškovi autokontrole i superkontrole održavanje i baždarenje merne i kontrolne opreme obrađa podataka za upravljanje kvalitetom ispitivanja na terenu (u eksploataciji) zalihe rezervnih delova
GUBICI ZBOG NEODGOVARAJUĆEG (LOŠEG) KVALITETA	INTERNI (UNUTRAŠNJI) GUBICI	gubici nastali usled škarta troškovi dorade i popravke delova i proizvoda otklanjanje kvarova troškovi naknadnog utvrđivanja kvaliteta proizvoda nakon dorade škart i dorada materijala (greška dobavljača) umanjeni kvalitet proizvoda troškovi zastoja u proizvodnji zbog lošeg kvaliteta troškovi identifikacije i dijagnostike škarta troškovi selekcije proizvoda lošeg kvaliteta ostali interni troškovi
	EKSTERNI (SPOLJAŠNJI) GUBICI	reklamacije korisnika (administrativni troškovi potrošača koji su dobili defektne proizvode) servisiranje proizvoda u garantnom roku transportni i putni troškovi u vezi sa reklamacijama i servisom u garantnom roku troškovi komisije i odeljenja za reklamacije troškovi gubljenja poslovnog poverenja i ugleda na tržištu Ostali eksterni troškovi

4. ANALIZA MEĐUZAVISNOSTI KARAKTERISTIKA I TROŠKOVA KVALITETA

Baze podataka o karakteristikama kvaliteta i troškovima kvaliteta proizvoda treba da nam omoguće da ustanovimo korelacione veze između ove dve kategorije. Pri tom je potrebno ove analize posmatrati na nivou elementarnih promenljivih, na nivou pojedinig grupa kao i na nivou skupa troškova i kvaliteta proizvoda u celini.

Osim toga, u pojedinačnim preduzećima je potrebno formirati skupove promenljivih troškova i karakteristika kvaliteta i utvrditi njihovu međuzavisnost:

- za svaki proizvod pojedinačno
- za grupu srodnih proizvoda i

• za sve proizvode iz proizvodnog programa.
 Za određene grane ili grupacije, ovu analizu je potrebno izvršiti za:

- određeni proizvod za više preduzeća i
- grupu sličnih proizvoda za više proizvođača.

Ocenjivanje parametara dobijenih regresionih modela i testiranje statističke značajnosti pojedinih parametara treba da nam obezbedi značajne informacije o uzročno-posledičnim vezama između karakteristika kvaliteta i troškova kvaliteta proizvoda.

5. ZAKLJUČAK

Stalno poboljšanje kvaliteta proizvoda je neophodni preduslov za postizanje i održavanje određene pozicije na tržištu. S druge strane, pak, parćenje i upravljanje troškovima je osnov da bi se rentabilno poslovalo. Zato se kao glavni zadatak nameće potreba za *racionalnim povećanjem kvaliteta proizvoda*. Na osnovu adekvatno formirane baze podataka o karakteristikama kvaliteta i troškovima proizvoda moguće je pomoću korelacione i regresione analize ustanoviti određene uzročno-posledične veze čime se dobijaju značajne informacije za donošenje pouzdanih odluka za racionalno poboljšanja kvaliteta.

LITERATURA

- [1] V. Bulat - Strategijski prioriteti usmeravanja Industrijskog inženjerstva, II Međunarodni
- [2] simpozijum "Industrijsko inženjerstvo" SIE '98, Beograd 1998., str.9-14.
- [3] J.Stanić - Upravljanje kvalitetom proizvoda - Metodi I, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.
- [4] B.Popović, B.Kamberović - Upravljanje kvalitetom-zbirka rešenih zadataka sa objašnjenjima, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
- [5] Ž.Mitrović - Osnove integralnog upravljanja kvalitetom proizvoda, IRO Sloboda, Beograd, 1989.
- [6] M.Đuričić - Principi savremenog upravljanja kvalitetom proizvoda, IC "IR-MIR", Užice, 1995.
- [7] J.M.Juran, F.M.Gryna- Planiranje i analize kvaliteta, Privredni pregled, Beograd, 1974.
- [8] Serija standarda JUS ISO 9000

RESEARCH OF DEPENDENCE BETWEEN QUALITY CHARACTERISTICS AND COSTS OF PRODUCT QUALITY

SUMMARY

Quality Control and Quality Cost Control are impossible without knowledge of form and level of dependence between quality characteristics and costs of product quality. Creation of data base for quality costs, establishing basic characteristics of product quality and application of regression and correlation methods are basic prerequisite for defining a connection between cause and effect. This paper presents the proposal of model for solution of this problem

NOVA PROIZVODNA FILOZOFIJA I KVALITET

B.Rakić¹⁾

REZIME:

Razvoj mernih i kontrolnih sredstava na bazi laserskih sistema i kompjuterskapodrška vode stopostotnoj kontroli parametara proizvodnog procesa. Iskustva pokazuju da je kvalitet modernog industrijskog proizvoda najuticajniji faktor njegove konkurentske sposobnosti i da je svetska integracija proizvodnje i podelarada u odmakloj fazi. To rezultira proizvodnjom velikog obima koja može podneti velike investicione zahvate i zadovoljiti potrebe svetskog tržišta, na kome je sve više prisutan princip Just in time. Nije reč samo o novom pristupu proizvodnji, već o novoj proizvodnoj filozofiji koja otvara nove vidike, postavlja nove ciljeve i pruža nova sredstva za njihovo ostvarivanje. Visoko automatizovana proizvodnja postavlja veće zahteve s obzirom na čovekovu ulogu u proizvodnom procesu. Obrazovanje i motivacija, odnosno zadovoljstvo u radu osnovni su faktori uspeha. Nema nikakvog poboljšanja kvaliteta bez aktivnog učestvovanja rukovodstva preduzeća i svih radnika koji sudeluju u proizvodnom procesu.

UVOD

Sa razvojem u Evropi i na drugim kontinentima u svetu za vreme ovih poslednjih godina, obezbedjenje kvaliteta i kvalitet proizvoda dobijaju jednu sasvim novu dimenziju. Jedno novo značenje koje privlači sve više preduzeća da povećaju svoju sklonost ka konkurenciji i kvalitetu. Danas se sve češće događa da kupci najrazličitijeg porekla, većinom stranci zahtevaju od svojih snabdevača da ispune njihove vrlo specifične zahteve po pitanju kvaliteta. Brza primena novih dostignuća nauke i tehnike, naročito kompjuterizacija proizvodnih sredstava, bitno menja i sam način industrijske proizvodnje. Razvoj merne i kontrolne opreme vode stopostotnoj kontroli svih parametara proizvodnog procesa. Jugoslovenska industrijska proizvodnja sa svojim karakteristikama, a naročito sa svojim obimom i kvalitetom proizvoda, treba da uloži velike napore da dostigne svetske standarde produktivnosti i kvaliteta. Primena naučnih metoda i rezultata visoko automatizovanih proizvodnih sredstava postavlja veće zahteve s obzirom na čovekovu ulogu u proizvodnom procesu. Današnja iskustva pokazuju tendenciju napuštanja dopuštenih odstupanja u modernim konstrukcijama, prisutno je pooštavanje tolerancija izrade u proizvodnji delova modernih proizvoda, koja je naročito uočljivaposlednjih desetak godina. Posebno su zanimljivi razlozi zbog kojih se zahteva veća preciznost sastavnih delova modernih proizvoda.

DETERMINISTIČKA METROLOGIJA

Visok stepen automatizacije proizvodnje i pooštavanje tolerancije obrade, postavljaju ciljeve i nove zadatke mernih tehnika i obezbedjenja kvaliteta. U mernim tehnikama ne postavlja se samo pitanje obezbedjenja tačnosti, preciznosti izradjenih proizvoda i pouzdanosti merenja, uz masovnu proizvodnju, već u kojem trenutku i na koji način treba obaviti merenje. U

¹⁾ Božidar Rakić, dipl. inž, pom. gen. dir. za upravljanje kvalitetom i razvoj, HK Fabrika Vagona Kraljevo AD, Industrijska 27.

istraživačkim laboratorijama NSB (National Bureau of Standards and Technology, SAD) stvoren je novi pristup, koji predstavlja merenje parametara proizvodnog procesa umesto merenja svojstava gotovih proizvoda. Ovaj pristup zasniva se na determinističkoj metrologiji i zahteva neprekidno praćenje određenih karakteristika proizvodnog procesa, pomoću uređaja koji daju povratnu informaciju o stanju proizvodne opreme na bazi poznatih odstupanja, programira se korekcija njegovih odstupanja. Filozofija determinističke metrologije pretpostavlja korišćenje proizvodne opreme kojom se postiže gotovo geometrijska identičnost svih proizvedenih delova, uz vrlo mala dopuštena odstupanja. To praktično znači da će, ako proizvodna oprema proizvodi dobre delove, a nisu se promenili parametri procesa, i dalje proizvoditi dobre delove. Međutim, ako se promene parametri procesa, korekcije se automatski obavljaju jer se proces automatski neprekidno prati. Na ovaj način se obezbeđuje siguran kvalitet svi urađjenih delova i eliminiše klasična kontrola gotovih delova.

Koncepcija determinističke metrologije vodi prema proizvodnji alatnih mašina povećane tačnosti na kojima će moći da se prate svi elementi proizvodnog procesa, i svi geometrijski i drugi zahtevi u pogledu tačnosti izrađenih delova. Funkcionalna zavisnost kvaliteta od proizvodne opreme, parametara procesa i geometrijske tačnosti izrađenih delova može se izraziti sledećom funkcionalnom zavinošću:

$$Q = f(P_p, T, P_0) \quad t_1 \leq T \leq t_2$$

P_p - parametri procesa, koji su konstantni ili se automatski podešavaju odnos broja poznatih i kontrolisanih parametara jednak je jedinici.

T - geometrijska tačnost delova, t_1 i t_2 su gornja odnosno donja granica dozvoljenog odstupanja.

P_0 - proizvodna oprema.

OGRANIČENJA MODERNE PROIZVODNJE I KVALITET

Industrijsku proizvodnju krajem ovog veka karakteriše veliki obim i širok asortiman gotovih proizvoda uz proizvodni proces visokog stepena automatizacije. Osnovni uslov koji mora biti zadovoljen za uspešno ostvarivanje takve proizvodnje je minimalni obim koji može podmiriti investicione troškove uložene u skupu investicionu opremu kratkog vremena amortizacije. To je problem kako za male zemlje tako i za velike, njegovo rešenje može da da visok stepen integracije proizvodnih sistema na svetskom nivou, uz preko potrebnu standardizaciju i tipizaciju delova i gotovih proizvoda. Za pojedine industrijske sisteme već je urađen tačan minimalni obim proizvodnje ispod kojeg takva proizvodnja nije ekonomski opravdana. Najvažniju ulogu u stvaranju zadovoljavajućeg obima proizvodnje ima izvoz. Izvoznici kvalitetom svojih proizvoda moraju da zadovolje stroge svetske standarde, što je moguće samo modernom proizvodnom opremom visokog stepena automatizacije. To je problem svih malih zemalja čija su tržišta premalena za organizovanje moderne proizvodnje. Svako razmišljanje koje ne uzima u obzir stanje na svetskom tržištu i svetske standarde, naročito u smislu kvaliteta, ne vodi pravilnom i dobrom rešenju. U nekoliko poslednjih decenija prisutno je stalno poboljšanje kvaliteta uz stalno unapredjenje proizvodnje, u kojoj se događaju radikalne promene uslovljenje povećanim zahtevima tržišta i mogućnostima stvorenim primenom novih materijala i novih tehnologija koji prvi put omogućavaju istovremeni porast produktivnosti uz istovremeno poboljšanje kvaliteta. Objavljeni rezultati istraživanja koja je izvršila Trgovačka komora iz Koblenca 1980. godine ukazuju na to da se u industrijskoj proizvodnji događja nešto novo a naročito u elementima konkurentske sposobnosti proizvoda. Iz ovih istraživanja proizilazi da je kvalitet sa 31% najuticajni element konkurentske sposobnosti proizvoda a zatim slede, proizvodno iskustvo sa 17%, rok isporuke sa 15%, cena sa 12%, i ostalo sa 3%. Time kvalitet postaje jedan od osnovnih ciljeva industrijske proizvodnje. Primena novih naučnih otkrića uklonila je suprotnost koja je postojala između

produktivnosti rada i kvaliteta proizvoda, nova proizvodna oprema i nova tehnika merenja sa visokim stepenom automatizacije osnova su nove proizvodne filozofije koja je danas sasvim uočljiva i veoma jasno određena. Elemente nove proizvodne filozofije srećemo u svim razvijenim zemljama a posebno su prisutni u SAD i Japanu.

Savremeno svetsko tržište industrijske robe pretpostavlja:

- visok kvalitet industrijskih proizvoda, teži se najboljem kvalitetu koji se može postići u datom trenutku,
- veliki obim i širok asortiman industrijskih proizvoda radi zadovoljenja svih zahteva korisnika, svetsko tržište omogućava veliki obim proizvoda, daleko veći od minimalne vrednosti koja optavdava upotrebu nove i skupocene opreme,
- nisku cenu industrijskih proizvoda, kako robe široke potrošnje tako i sredstava za proizvodnju. Cena različito utiče na konkurentsku sposobnost proizvoda i drugorazredna je u odnosu prema kvalitetu proizvoda.

Savremena proizvodnja pretpostavlja:

- fleksibilnu proizvodnju na bazi potpune automatizacije proizvodnog procesa,
- proizvodnju bez škarta, ostvaruje se uz pomoć mašina, opreme visokog stepena automatizacije i tačnosti, pomoću fleksibilnih proizvodnih linija, na kojima se eventualne greške otkrivaju i uklanjaju pre nego što zbog njih nastane škart. Ta kontrola omogućena je kontrolom parametara proizvodnog procesa,
- proizvodnju bez gubitaka, koja se postiže neprekidnom racionalizacijom proizvodnje i poboljšanjem ekonomskih činilaca te proizvodnje.

Nova proizvodna filozofija pretpostavlja:

- uvodjenje novih tehnologija, proizvodnji omogućiti takve zahvate koji su dotad bili nemogući,
- upotrebom novih materijala, što će rezultirati velikim povećanjem produktivnosti rada, poboljšanjem kvaliteta proizvoda i sniženjem troškova proizvodnje,
- primena determinističke metrologije, se zasniva na razlici između grešaka koje se čine u proizvodnom procesu i škarta koji zbog njih nastaje. Uzrok škarta su greške koje se moraju predvideti i eliminisati pre nego što nastanu,
- snižavanje troškova poslovanja, cena proizvoda postignuta na tržištu smatra se konstantnom, a dobit se izračunava oduzimanjem troškova poslovanja od postignute cene, dakle nova proizvodna filozofija povećanje dobiti vidi u snižavanju troškova poslovanja, a ne u povećanju cene proizvoda.

$$D = C - T_p$$

$$D = f(T_p)$$

D - dobit poslovanja

C - cena proizvoda (constantna)

T_p - troškovi poslovanja

Nova proizvodna filozofija rezultira ostvarivanjem krajnjeg cilja: Proizvodnje JUST IN TIME, koju karakterišu:

- kompjutersko upravljanje proizvodnjom, integralno i do poslednjeg detalja obuhvata sve elemente proizvodnog procesa od istraživanja tržišta, do izrade projekta, izrade tehnološke dokumentacije, izrade proizvoda do isporuke i praćenja proizvoda u toku eksploatacije,
- upravljanja kvalitetom, kvalitet se obezbeđuje na svakom radnom mestu kao nerazdvojivo svojstvo proizvoda i proizvodnje i to pre svega tehničkim sredstvima,
- proizvodni sistem deluje na svetskom nivou, on je sinteza svih zahteva i omogućuje ispunjenje zahteva korisnika, asortiman, rok isporuke i cenu proizvoda.

Proizvodnja "tačno na vreme" karakteriše proizvodnju koja nije ostvarena ni pre ni posle određenog termina, odnosno u kojoj se proizvod ne sme isporučiti ni pre ni posle ugovorenog roka. Primenjuje se u poslovanju medju preduzećima, na osnovu ugovora o isporukama, unutar poslovno proizvodnih sistema, i to sa minimalnim ili bez zaliha nedovršene proizvodnje. Pri planiranju proizvodnje i utvrđivanju termina isporuke moraju se rešiti dva problema:

- istraživanjem tržišta mora se ispravno predvideti potražnja za proizvodom i kretanje tržišta,
- izrada planova proizvodnje, koji se tokom ostvarivanja moraju prilagodjavati terminima potražnje.

U uslovima moderne proizvodnje na svetskom nivou sazrelo je shvatanje da se kvalitet proizvoda ne može vezivati isključivo za neposrednu proizvodnju koja se ostvaruje u proizvodnim halama, niti se može odvojiti i razmatrati izvan konkretne proizvodnje. Aktivnost obezbedjenja kvaliteta ostvaruje se u svim fazama proizvodnog procesa, na svim radnim mestima, a posebno u fazama : istraživanja, marketinga, prodaje, projektovanja, pripreme proizvodnje, nabavke, proizvodnje, korišćenja i servisiranja proizvoda. Unutar ovih faza obavljaju se brojne aktivnosti koje imaju veliku važnost na ostvarivanje kvaliteta proizvoda. Aktivnosti obezbedjenja kvaliteta usmerene su i na uspostavljanje pravilnog odnosa i saradnje sa dobavljačima, aktivnostima na permanentnom obrazovanju kadrova svih struka i profila u preduzeću. O kvalitetu obavljanja ovih i velikog broja drugih aktivnosti zavisi kvalitet proizvoda. Svest o potrebi neprekidnog poboljšanja kvaliteta, mnogo je veća u zemljama koje su već dostigle visok nivo svojih proizvoda (Japan, Nemačka, SAD, Francuska i dr.) nego u drugim zemljama sa nižim stepenom razvijenosti proizvodnje. Istraživanjima je potvrđeno da je razlog uspeha industrijske proizvodnje na svetskom nivou dostignut ostvarivanjem aktivnosti na temeljima Juranove trilogije: planiranja, kontrole i unapredjenja kvaliteta. Takodje je vidljivo da su u poslednjih desetak godina aktivnosti na unapredjenju kvaliteta usmerene ka postizanju sledećih konkretnih ciljeva:

- najvećeg mogućeg uvažavanja tržišta,
- ulaganju maksimalnog napora za smanjenje škarata u svim fazama procesa,
- uključivanje svih radnika u aktivnosti unapredjenja kvaliteta,
- rukovodstvo firme učiniti maksimalno odgovornim za kvalitet proizvoda.

Primena najsavremenije opreme, sama za sebe ne rešava u potpunosti problem kvaliteta proizvoda. Radni čovek i dalje ostaje izvor kvaliteta i njegov najopasniji ograničavajući faktor. Kvalitet proizvoda zavisi od raznih faktora, kao što su konstrukcija, tehnologija, materijal, kontrola kvaliteta, organizacija rada i dr. pri čemu se misli na proizvodnju u proizvodnim halama. Uzme li se u obzir ceo proizvodni proces, i ako se izvrši analiza kvaliteta uloženog rada na svim radnim mestima, nedvosmisleno se dolazi do zaključka da je čovek dominantan faktor kvaliteta proizvoda.

Čovekova uloga u obezbedjenju kvaliteta postapeno se afirmiše, sve se više uvažavaju njegove kreativne sposobnosti i stvara se pogodna atmosfera vrednovanja i iskorišćavanja takvih sposobnosti. Zastupnici teze primene čiste nauke i tehnike u proizvodnom procesu uvereni su da se njegovom mehanizacijom do najvišeg stupnja automatizacije može postići veća produktivnost i bolji kvalitet baš zato što je čovek sve više isključen iz tog procesa. Praksa u potpunosti odbacuje takva shvatanja. Uloga čoveka u obezbedjenju kvaliteta afirmisana je upravo u sradinama koje su postigle vrlo visok nivo automatizacije proizvodnje i koje su već prešle na primenu nove proizvodne filozofije. Angažovanje rukovodstva preduzeća ima presudnu ulogu za stvaranje atmosfere i uslova za

unapredjenje kvaliteta. Iskustva najrazvijenijih zemalja potvrđuju da bez maksimalnog angažovanja rukovodstva preduzeća ne može biti nikakve revolucije ni ni dostignuća na području kvaliteta.

LITERATURA

1. N.B. Freeman "Quality of the Mend" American Machinist, april 1986.
2. Shigeo Shingo "Nova japanska proizvodna filozofija" Beograd 1986.
3. F. Dusman "Osiguranje kvaliteta industrijskog proizvoda" Strojarsvo 32, 1990.
4. J.M. Juran "Planiranje strategije kvaliteta" Kvalitet i pouzdanost brojevi 55 i 56.
5. B. Rakić "Obrazovanje, motivacija i čovekova uloga u unapredjenju kvaliteta" Prvi medjunarodni kongres JUSK-a Beograd 1996. godine.

QUALITY ASSURANCE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY SUMMARY

Development of measuring and control devices on the basis of laser systems and computer support lead to a total control of production process parameters. Experiences show that quality of modern industrial product is the most influential factor of its competitiveness and that world production integration and work distribution are moving ahead. It results in largescale production which can stand great investment projects and satisfy world market needs where the principle Just in time is more and more present. The point is not only in new approach to production but also in new production philosophy which opens new perspectives, sets new goals and offers new means for their realization. Highly automated production establishes new demands with regard to man's role in production process. Education and motivation, that is satisfaction in work, are main factors of success. There is no improvement of quality without active participation of company management and all workers who participate in production process.



6. CAD / CAM / CAPP / CAE

RAZVOJ BAZE PODATAKA U SISTEMU ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA PRIMENOM RAČUNARA

Puzović, R., Kalajdžić, M.¹⁾

Rezime

Potreba za određenim 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. Imajući ovo u vidu neophodno je ove aktivnosti automatizovati primenom računara, zbog toga što se količina generisanih informacija povećava sa povećanjem broja različitih delova i smanjuje raspoloživo vreme za generisanje tehnoloških procesa. Automatizovano projektovanje tehnoloških procesa takodje nudi optimizaciju tehnoloških procesa i brzo generisanje alternativnih rešenja. Pored toga automatizacija projektovanja tehnoloških procesa ima za zadatak povećanje produktivnosti. Cilj automatizacije projektovanja tehnoloških procesa je da se generiše adekvatan tehnološki postupak u okviru ograničeno prihvatljivog vremenskog intervala. Generisanje perfektnih tehnoloških procesa nije cilj, jer za generisanje takvog procesa treba dosta vremena i umeća što nema ekonomsku opravdanost. U radu se daje prikaz razvijene baze podataka koja služi kao softver-ska podrška u sistemima za automatsko projektovanje tehnoloških procesa.

Ključne reči: Automatsko projektovanje, Tehnološki procesi, Baza podataka

UVOD

Potreba za određenim 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 njihova znanja za ovladavanje tehnološkim procesom respektivno rastu sa složenosti proizvoda. Prilikom projektovanja tehnoloških procesa treba voditi računa o svim medjuvezama prilikom transformacije polaznog materijala u gotov deo ili proizvod. Zbog toga je potrebno razviti niz dokumenata za razmenu podataka i informacija između pojedinih subjekata angažovanih na realizaciji tehnoloških procesa. Za manje složene proizvode manualna izrada potrebnih dokumenata i njihovo praćenje u realnom vremenu je moguće, dok za složene proizvode kao što su: avioni, motorna vozila, mašine alatke i sl. je veoma teško ili nemoguće. Zbog toga je neophodna primena računara za projektovanje tehnoloških procesa. Automatizovano projektovanje tehnoloških procesa takodje nudi optimizaciju tehnoloških procesa i brzo generisanje alternativnih rešenja. Pored toga automatizacija projektovanja tehnoloških procesa ima za zadatak povećanje produktivnosti. Cilj automatizacije projektovanja tehnoloških

¹⁾ Dr Radovan Puzović, dipl. inž., asistent, dr Milisav Kalajdžić, dipl. inž., redovni profesor
Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd

procesa je da se generiše adekvatan tehnološki proces u okviru ograničeno prihvatljivog vremenskog intervala. Generisanje perfektnih tehnoloških procesa nije cilj, jer za generisanje takvog procesa treba dosta vremena i umeća što nema ekonomsku opravdanost. Primena računara u aktivnostima projektovanja tehnoloških procesa rezultirala je razvojem većeg broja CAPP sistema, gde je struktura jednog od njih prikazana i u ovom radu. Dalje u radu je detaljnije razmatra razvijena baza podataka koja služi kao softver-ska podrška u sistemima za automatsko projektovanje tehnoloških procesa (SiMoTeP).

2. STRUKTURA SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA

SiMoTeP je polugenerativni CAPP sistem koji može da generiše tehnološki proces, listu potrebnih alata i NU program neophodne za proizvodnju delova u malim serijama. On je namenjen za projektovanje tehnoloških procesa za širok spektar složenosti geometrije gotovih delova i priprema na obradnim centrima. Sistem interpretira CAD-model gotovog dela i priprema (B-rep) i bira resurse neophodne za obradu delova kao što su: mašine alatke, pomoćni pribori, rezni alati i osnovni nosači, itd. SiMoTeP (videti sliku 1) se sastoji iz jedanest funkcionalno povezanih modula i centralne baze podataka. Modularni koncept dozvoljava nezavistan razvoj svakog modula pojedinačno. Takođe oni imaju svoje lokalne interfejsse i povezani su preko centralne baze podataka. Baza podataka predstavlja centralno mesto u sistemu na kome se čuvaju svi podaci (informacije) koji se mogu lako integrisati sa drugim aplikacijama i o njoj će biti više govora u nastavku.

3. BAZA PODATAKA

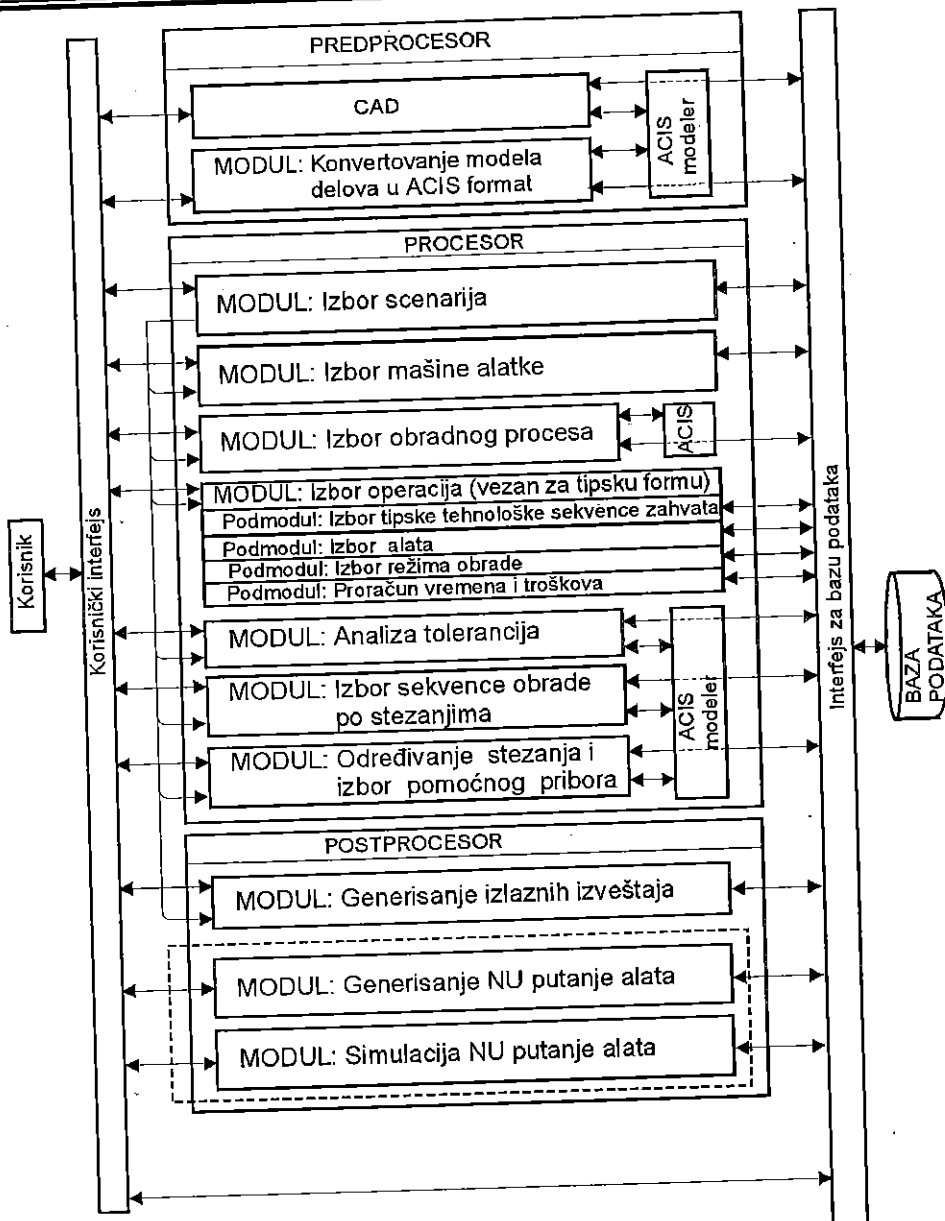
Baza podataka je potrebna za čuvanje svih podataka ali ona ne treba da propisuje način na koji će podaci biti prezentovani i razmatrani od strane korisnika. Baza podataka u CAPP sistemima treba da sadrži podatke o relevantnim učesnicima u aktivnostima projektovanja tehnoloških procesa. Vrlo je važno uočiti sve entitete i njihove atribute i predstaviti ih u odgovarajućem obliku uz mogućnost njihovog integrisanja sa odgovarajućom bazom znanja. U razvijenom prototipu sistema za projektovanje tehnoloških procesa (SiMoTeP) za prizmatične delove kreirana je relaciona baza podataka koja obuhvata atribute o sledećim entitetima kao što su: scenariji, modeli gotovog dela i priprema, proizvodi (obradci), tipske forme, tipske tehnološke sekvence, zahvati; radne stanice/mašine alatke, osnovni nosačim i adapteri, rezni alati i pločice, pomoćni pribori, materijali obradaka i režimi rezanja.

Za svaki od navedenih entiteta prethodno je potrebno projektovati njihov model u bazi podataka. Ovde ćemo zbog ograničenog prostora samo na modelu reznog alata pokazati primenjeni koncept za projektovanje baze podataka.

3.1 Model reznog alata u bazi podataka

Jedinstvena struktura podataka o alatima obuhvata geometrijske, tehnološke i logističke informacije. Model podataka prikazan u ovom paragrafu obuhvata geometrijske i logističke informacije koje pomažu u izboru reznih alata i odgovarajućih nosača alata, dok se tehnološka informacija razmatra u modelu podataka o režimima rezanja. Prezentovani model reznog alata ima modularnu strukturu koja je rezultat različitih tački gledišta na rezne alate.

Tehnolog posmatra rezne alate sa stanovišta njihove funkcije. Njegovo znanje o reznim alatima, kao i njihovo korišćenje, je klasifikovano unutar njihovih funkcionalnih mogućnosti.



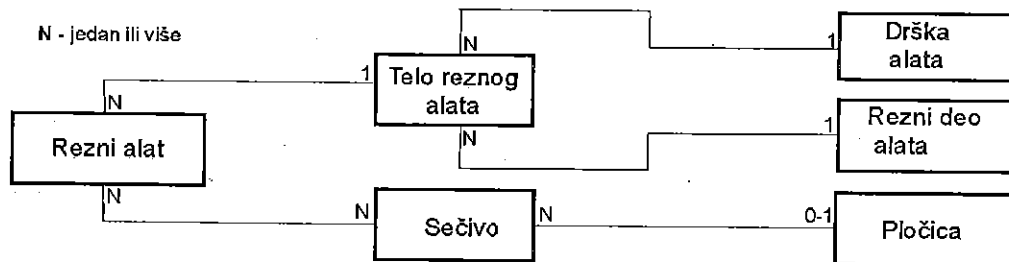
Slika 1 Struktura prototip SiMoTeP-a.

Ova klasifikacija obezbedjuje mogućnost izbora reznih alata u saglasnost sa njegovim proizvodnim mogućnostima. Takvom klasifikacijom pravi se grupisanje reznih alata po vrstama kao što su: burgije, glodala, ureznici, itd.. Model reznog dela mora imati fleksibilnost sadržanu u različitim klasama parametara reznog alata za svaku moguću klasifikaciju alata. Klasifikacija alata prema obradnom procesu klasifikuje rezne alate uzimajući u obzir samo njihova rezna svojstva, i ne može biti korišćen direktno u drugim funkcijama menadžmenta alata kao što je komponovanje reznog alata, izbor osnovnih nosača i traženje i komponovanje pločica za vreme pripreme alata. Tehnolog na osnovu znanja o nameni alata u proizvodnji može lako identifikovati vrste alata (zabušivače, burgije, čeonu glodala, itd.). Vrsta alata ne predstavlja entitete u fizičkom smislu raspoložive u pogonu, već samo koristi entitet za predstavljanje modela reznog alata u bazi podataka.

Svaka vrsta entiteta može da ima mnogo različitih atributa, koji su karakteristični za različite vrednosti parametara. Rezni alati moraju biti komponovani pre nego što će biti primenjeni na mašini alatki. Na ovaj način rezni alat je komponovan zavisno od tipa i oblika drške reznog alata i tipa osnovnog nosača. Drška reznog alata u principu, ne zavisi od reznih svojstava alata i ima tip koji ne zavisi od vrste reznog alata, već predstavlja entitet različitih vrsta drški. Sa

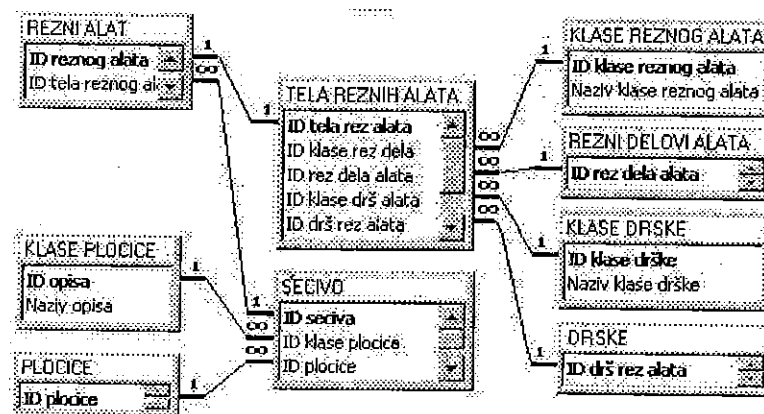
ovim vrstama drški je moguće definisati relacije za komponovanje između reznih alata i osnovnih nosača za različite vrste skupova drški, umesto njihovog traženja i određivanja za svaki alat pojedinačno. Telo reznog alata je definisano kao kombinacija jednog entiteta vrste reznog alata i jednog entiteta vrste drške. Telo reznog alata je entitet reznog alata u bazi podataka koji fizički postoji u pogonu.

Svako telo reznog alata je modelirano samo jednom u modelu podataka reznih alata. Moderni rezni alati su opremljeni sa reznim pločicama. Ove pločice se mogu menjati vrlo jednostavno za vreme održavanja, ili mogu obezbediti druge performanse u procesu obrade za različite materijale priprema. Medjutim, entitet- sečivo je uveden da identifikuje svojstva pločice specificiranog reznog alata. Entitet-vrsta pločica sadrži attribute kao što su: oblik, mere, tip materijala, itd. Rezni alati imaju neke opšte attribute kao što su: identifikacioni broj, dužina, proizvođač, oznaka proizvođača, cena, broj na zalihama itd. Reznom alata pripadaju entiteti kao što su: rezni deo, drška i pločica. Ovi entiteti sadrže samo attribute koji su specificirani za rezni deo, dršku ili pločicu. Na slici 2 prikazan je model reznog alata u obliku dijagrama koji prikazuje relacije između entiteta reznog alata. Primenom ovog modela podataka reznog alata, svi različiti rezni alati u pogonu mogu biti modelirani. Rezni alat je definisan kao kombinacija jednog tela reznog alata i jednog ili više sečiva. Telo reznog alata i sečivo mogu biti uključeni u više od jednog reznog alata. Telo reznog alata je kombinacija entiteta rezni deo reznog alata i entiteta drške. Entiteti: rezni deo reznog alata i drška mogu biti uključeni na više od jednog tela reznog alata.



Slika 2 Model podataka reznog alata

Sečivo se odnosi na pločice, osim u slučaju kada je rezni alat napravljen izjedna sa sečivom (na primer, zavojna burgija od Bč). Pločice se mogu uključiti u više od jednog sečiva. Za razvoj baze podataka u SiMoTeP korišćen je softverski proizvod Microsoft Access za rad sa bazama podataka. On se koristi za izradu novih sistema baza podataka i za proširivanje i nadogradjivanje postojećih sistema. Microsoft Access prihvata podatke u različitim formatima datoteka, što ga čini idealnim za konverziju podataka iz različitih sistema. On, takodje, poseduje grafički interfejs, što ga čini vrlo podesnim alatom za manje iskusne korisnike. Segment relacija između tablica dat je na primeru reznog alata videti sliku 3. A izgled ekrana za unos podataka o reznim alatima u bazu podataka na slici 4.



Slika 3 Prikaz relacija medju tablicama kojima se opisuje model reznog alata u bazi podataka

UNOS ZAVOJNE BURGIGE		SLIKA
Prečnik alata	20.00	
Max. dužina radijusa dela	140.00	
Ugao vrha alata	120.00	
Broj serija	2.00	
Smern obrtanja alata	CCW	
Tip alata	N	
Ugao zaobljice	30.00	
Sredstvo za hlađenje	DA	
Klasa	2	
Record: 1	1	

Slika 4 Prikaz ekrana za unos podataka oreznom alatu

ZAKLJUČAK

U radu je prikazana struktura projektovanog sistema za modeliranje tehnoloških procesa "SiMoTeP". Fleksibilnost razvijenog sistema je omogućena njegovim modularnim konceptom i razvijenom odgovarajućom bazom podataka koja dozvoljava korisniku izbor različitih scenarija u toku aktivnosti projektovanja tehnoloških procesa. Za razvoj relacione baze podataka korišćen je softverski alat Microsoft Access. Takođe razvijena baza podataka omogućava povezivanje razvijenog sistema za projektovanje tehnoloških procesa sa drugim sistemima iz njegovog okruženja. Razvijeni relacioni model baze proizvoda i njegovog tehnološkog procesa je vrlo kompleksan i testiranje performansi pokazuje da je vreme odziva baze podataka primenom tako kompleksnog modela prilično dugo za interaktivne sisteme. I u budućnosti se predviđa razvoj objektno orijentisane baze podataka.

LITERATURA

- [1] Bojanić, P., Modeliranje proizvoda-osnovna integracija CAD/CAPP/CAM sistema, 26. Medjunarodno savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Podgorica, 1996.
- [2] Gindy, N.N.Z., Automated feature validation for creating/editing feature-based component data models, International Journal of Production Research, Vol. 36, No.9, 2479-2495, 1998.
- [3] Halevi, G., Weill, R. D., Principles of Process Planning, Chapman & London, 1995.
- [4] Jonkers, F., A software architecture for CAPP, systems, Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, the Netherlands, 1992.
- [5] Kalajdžić, M. (redaktor), Tanović, Lj., Babić, B., Miljković, Z., Puzović, R., et al., Tehnologija obrade rezanjem - priručnik, Mašinski fakultet, Beograd, 1998.
- [6] Puzović, R., Razvoj sistema modeliranja tehnoloških procesa FTS-a primenom računara, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Univerziteta u Beogradu, 2000.

DEVELOPMENT OF DATA BASE IN THE SYSTEM OF MANUFACTURING PROCESSES DESIGN USING COMPUTERS

Symmary

The necessity for certain products imposes as the aim products design and manufacturing processes for its production. Both activities are, as a rule, very complex and require knowledge and skill of larger number of people with different qualifications. Considering this, it is necessary to automate these activities by the use of computers because the quantity of generated information is growing up with growth of different parts and it reduces the necessary time for generating manufacturing processes. Automated design of manufacturing processes also offers optimization of manufacturing processes and fast generating of alternative solutions. Besides, automation of manufacturing processes design aims to enlarge productivity. The aim of automation of manufacturing processes design is to generate adequate technological procedure within limited time interval. Generating perfect manufacturing processes isn't the goal because generating such process requires a lot of time and skill which is not economically justified. This paper shows developed data base used as a software support in systems for automatic manufacturing processes design.

OSNOVNA KONCEPCIJA JEDNOG PROTOTIPA TROOSNE MAŠINE SA PARALELNO KINEMATIKOM

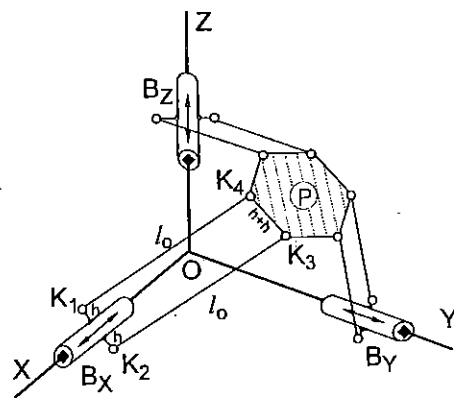
N. Čović, S. Živanović, M. Glavonjić¹

Rezime

Konfigurisan je jedan prototip troosne (3D) mašine sa paralelnom kinematikom (MPK). Sprovedena je ideja da se iskoriste tradicionalni resursi sa numeričkim upravljanjem na netradicionalan način. Na raspolaganju je bio jedan horizontalni obradni centar (ILR HBG80), CAD/CAM sistem (Pro/Engineer) za projektovanje proizvoda i programiranje obrade delova i oprema za komunikaciju obradnog centra sa radnom stanicom (CP NiceLink). Tako je taj postojeći tradicionalni resurs iskorišćen za pogoni i upravljanje MPK. Data je osnovna koncepcija troosne MPK sa uzajamno upravljanim pogonskim osama. Opisano je rešavanje inverznog i direktnog kinematičkog problema. Pokazane su granice radnog prostora za jedan položaj završnog člana na platformi. Postavljena analiza ove koncepcije MPK omogućila je uprošćavanje rešenja inverznog kinematičkog problema (IKP) za potrebe programiranja, kalibracije koordinatnih sistema baze i platforme i modeliranja grešaka i kompenzacija ovakve mašine. Ceo postupak koncipiranja ovog prototipa vršen je po pravilima simultanog inženjerstva korišćenjem jednog specifičnog CAD/CAM/CAE sistema.

1. UVOD

Troosna mašina sa paralelnom kinematikom (3D MPK) zamišljena je da se realizuje kao tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, po uzoru na uopštenu koncepciju paralelnog mehanizma sa translatorno pokretnim zglobovima i spojkama istih konstantnih dužina. Ovakav modul se ugrađuje na postojeće ose raspoloživog (tradicionalnog) obradnog centra HBG80. Uopštena skica, sa osnovnim parametrima pomenutog paralelnog mehanizma, data je na slici 1. Detaljno je pokazana samo osa X. Ostale dve imaju iste ili slične uslove. Oznake imaju sledeća značenja: B_x je klizač na osi X, na kome su upareni sferni zglobovi K_1 i K_2 , simetrični u odnosu na osu X i udaljeni od nje za po h ; K_3 i K_4 su sferni zglobovi na pokretanoj ploči i na rastojanju $h+h$; l_0 je konstantna dužina spojki; P je (pokretana) platforma; pravac K_1K_2 je stalno nagnut pod 45 stepeni prema ravni (X,Y); figura sa temenima K_1, K_2, K_3, K_4 je (ravanski) paralelogram za sve vreme kretanja mehanizma. Kretanje klizača B_x, B_y, B_z ostvaruje se pomoću osnovne mašine HBG80. Za MPK to su pogonske ose. Kretanja platforme po koordinatnim pravcima ovde se zovu virtuelnim osama mašine. Ostvaruju se tek pomoću programiranja MPK. Istraživanjem je obuhvaćeno: izrada raznih fizičkih modela [1,2], konfigurisanje i realizacija ovog prototipa MPK [1] i detaljna analiza stanja koncepcija MPK u svetu [2]. Korišćeni CAD/CAM/CAE



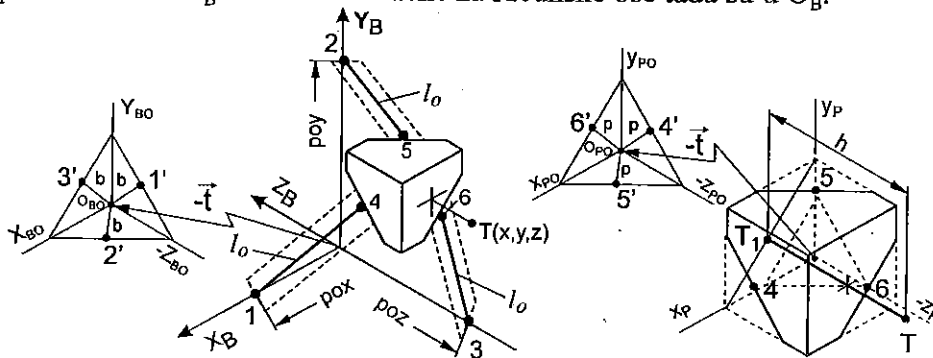
Slika 1. Osnovni parametri razmatranog paralelnog mehanizma

¹ dr Nebojša Čović, dipl. maš. inž., predsednik Upravnog odbora, AD FMP, Beograd, Lazarevački drum 6. Mr Saša Živanović, dipl.maš.inž., asistent-pripravnik, dr Miloš Glavonjić, vanr.prof., Katedra za Proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet, Beograd, 27.marta 80

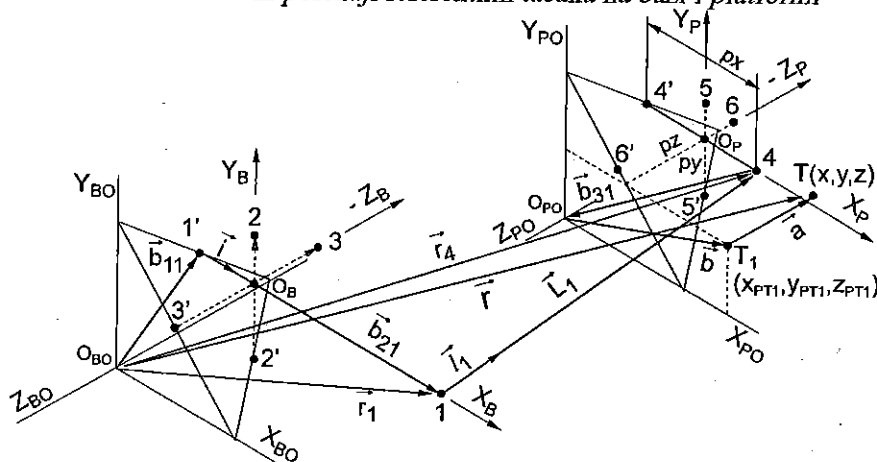
sistem omogućio je uporedo odvijanje koncipiranja, analize mehanizma, konstruisanja vitalnih komponenata, analize i izrade modela radnog prostora, izrade dokumentacije, projektovanja i programiranja tehnologije, itd.

2. KINEMATIKA 3D MPK

Za potrebe programiranja-upravljanja potrebno je rešiti inverzni kinematički problem (IKP). Rešenje direktnog kinematičkog problema (DKP) može da se koristi za određivanje granica radnog prostora, uglova spojki prema bazama zglobova i pozicija, brzina i ubrzanja platforme prilikom unutrašnje interpolacije na pogonskim osama. Rešenje DKP može da se dobije u algebarskom obliku jer je mašina troosna. Zbog toga i parovi susednih spojki stalno grade paralelograme. Tada se mogu uvesti računске srednje spojke 14, 25, 36, slika 2. Njihova dužina je takođe po l_0 . Posle toga se i formalno postavlja koordinatni sistem baze (O_B) tako da mu ose prolaze kroz računске srednje zglobove 1, 2, 3. On je dobijen translacijom baznog koordinatnog sistema (KS) za \vec{t} . Za toliko je transliran i KS na platformi. Detalji su pokazani na slici 3. Tako se dobija da je kretanje sistema O_{PO} u odnosu O_{BO} istovetno sa kretanjem sistema O_P u odnosu na O_B . Referentne tačke za računске ose tada su u O_B .



Slika 2. Osnovni položaji referentnih tačaka na bazi i platformi



Značenja karakterističnih veličina:

- $O_{BO}(X_{BO}Y_{BO}Z_{BO})$ - bazni koordinatni sistem,
- $O_{PO}(X_{PO}Y_{PO}Z_{PO})$ - koordinatni sistem na (pokretnoj) platformi,
- $O_B(X_BY_BZ_B)$ - bazni koordinatni sistem uprošćenog modela,
- $O_P(X_PY_PZ_P)$ - koordinatni sistem na (pokretnoj) platformi, uprošćenog modela,
- $1', 2', 3'$ - referentne tačke na bazi O_{BO} ,
- $4', 5', 6'$ - referentne tačke na platformi O_{PO} ,
- $1, 2, 3$ - zglobovi na translatorno pokretnim

- x, y, z - koordinate vrha glavnog vretena u koordinatnom sistemu mašine,
- p_{ox}, p_{oy}, p_{oz} - translatorna pomeranja klizača,
- l_0 - dužine spojki paralelnog mehanizma,
- h - rastojanje od vrha alata do ravni (X_{PO}, Y_{PO}) (rastojanje između tačaka T i T_1),
- b - intenzitet vektora položaja referentnih tačaka baze ($1', 2', 3'$) u O_{BO} ,
- p - intenzitet vektora položaja referentnih tačaka platforme ($4', 5', 6'$) u O_{PO} ,

klizačima, odnosno, pogonskim osama,
 4,5,6 - zlobovi na platformi,
 T_1 - projekcija tačke T na ravan (X_{PO}, Y_{PO}),
 T - vrh alata,

$c = \cos 45^\circ, s = \sin 45^\circ,$
 $\vec{l} = O_{BO} O_B = O_{PO} O_P$ - vektori translacije
 koordinatnih sistema posle uvođenja
 računskih srednjih spojki.

Slika 3. Vektorski model za inverzni i direktni kinematički problem

Za sam prototip 3D MPK izvršeno je naknadno podešavanje pozicija referentnih tačaka da bi rešenje za IKP, pa i programiranje bili najjednostavniji [1,3]. Za rešavanje IKP potrebno je sprovesti sledeći postupak: (i) preuzeti koordinate vrha T alata iz prethodnog računa; (ii) izračunati koordinate zglobova 4, 5 i 6 na platformi; (iii) izračunati koordinate pozicija pogonskih osa (zglobova 1, 2 i 3 na bazi), odnosno pox, poy, poz i (iv) sprovesti ostalo izračunavanje (na primer: koordinata ortova $\vec{l}_j, j = 1,2,3$ srednjih osa). To se svodi na

pozicioniranje zglobova 1, 2 i 3 tako da od pripadajućeg zgloba na platformi budu udaljeni tačno za l_0 . To se može napisati kao u (1).

$$\begin{aligned} (x_4 - x_1)^2 + (y_4 - y_1)^2 + (z_4 - z_1)^2 &= l_0^2 \\ (x_5 - x_2)^2 + (y_5 - y_2)^2 + (z_5 - z_2)^2 &= l_0^2 \\ (x_6 - x_3)^2 + (y_6 - y_3)^2 + (z_6 - z_3)^2 &= l_0^2 \end{aligned} \quad (1)$$

Posle uvođenja već izračunatih koordinata u sistem O_{BO} dobija se:

$$\begin{aligned} (x - x_{PT1} + px - pox)^2 + (y - y_{PT1} + p \cdot s - b \cdot s)^2 + (z + h - z_{PT1} - p \cdot c + b \cdot c)^2 &= l_0^2 \\ (x - x_{PT1} + p \cdot c - b \cdot c)^2 + (y - y_{PT1} + py - poy)^2 + (z + h - z_{PT1} - p \cdot s + b \cdot s)^2 &= l_0^2 \\ (x - x_{PT1} + p \cdot c - b \cdot c)^2 + (y - y_{PT1} + p \cdot s - b \cdot s)^2 + (z + h - z_{PT1} - pz + poz)^2 &= l_0^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Obično je $p=b$ i $z_{PT1}=0$. Prelaskom u sistem O_B uslovljava se da bude $px=py=pz=0$, dok je rešenje IKP u tom sistemu u obliku (3).

Podrazumeva se da su koordinate tačke T(x,y,z) i h sada dati u sistemu O_B . Rešavanje direktnog kinematičkog problema 3D MPK, svodi se na određivanje spoljašnjih koordinata,

$$\begin{aligned} pox &= x - x_{PT1} \mp \sqrt{l_0^2 - (y - y_{PT1})^2 - (z + h)^2} \\ poy &= y - y_{PT1} \mp \sqrt{l_0^2 - (x - x_{PT1})^2 - (z + h)^2} \\ poz &= -z - h \mp \sqrt{l_0^2 - (x - x_{PT1})^2 - (y - y_{PT1})^2} \end{aligned} \quad (3)$$

odnosno pozicije vrha alata T(x,y,z), za zadate vrednosti unutrašnjih koordinata, odnosno, pozicija pogonskih osa (pox, poy, poz). Model za DKP takođe bazira na vektorskoj postavci sa slika 2. i 3. Rešenje DKP-a se izvodi na bazi sledećih jednačina, datih u sistemu O_{BO} :

$$\begin{aligned} \vec{b}_{11} + \vec{b}_{21} + \vec{l}_1 + \vec{b}_{31} + \vec{b} + \vec{a} &= \vec{r} & \vec{b}_{21} + \vec{l}_1 &= \vec{r} - \vec{b}_{11} - \vec{b}_{31} - \vec{b} - \vec{a} \\ \vec{b}_{12} + \vec{b}_{22} + \vec{l}_2 + \vec{b}_{32} + \vec{b} + \vec{a} &= \vec{r} & \vec{b}_{22} + \vec{l}_2 &= \vec{r} - \vec{b}_{12} - \vec{b}_{32} - \vec{b} - \vec{a} \\ \vec{b}_{13} + \vec{b}_{23} + \vec{l}_3 + \vec{b}_{33} + \vec{b} + \vec{a} &= \vec{r} & \vec{b}_{23} + \vec{l}_3 &= \vec{r} - \vec{b}_{13} - \vec{b}_{33} - \vec{b} - \vec{a} \end{aligned} \quad (4)$$

Zna se da je: $|\vec{l}_1| = |\vec{l}_2| = |\vec{l}_3| = 1 \quad l_{1x}^2 + l_{1y}^2 + l_{1z}^2 = 1 \quad l_{2x}^2 + l_{2y}^2 + l_{2z}^2 = 1 \quad l_{3x}^2 + l_{3y}^2 + l_{3z}^2 = 1 \quad (5)$

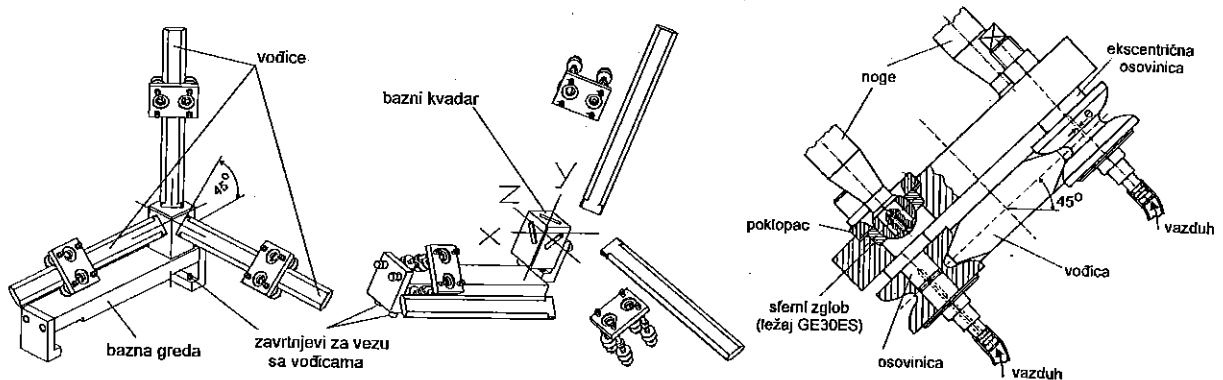
Svaka od vektorskih jednačina (4) svodi se na po tri skalarne jednačine, što daje ukupno devet jednačina. Iz uslova da su $\vec{l}_1, \vec{l}_2, \vec{l}_3$ jedinični vektori dobijaju se još tri nove jednačine (5). Ovo čini ukupno 12 jednačina sa 12 nepoznatih veličina. Nepoznate veličine su: devet projekcija vektora $\vec{l}_1, \vec{l}_2, \vec{l}_3$ i koordinate vrha alata T(x,y,z), kao osnovno rešenje DKP. Polazi se od prvih devet jednačina. One se najpre svode na šest jednačina, a zatim na tri: jednu kvadratnu i dve linearne. Dovoljno je odrediti koordinate samo jediničnog

$$\begin{aligned} x_1 &= pox + l_{01} \cdot l_{1x1} - px + x_{PT1} \\ x_2 &= pox + l_{01} \cdot l_{1x2} - px + x_{PT1} \\ y_1 &= l_{01} \cdot l_{1y1} + b \cdot s - p \cdot s + y_{PT1} \\ y_2 &= l_{01} \cdot l_{1y2} + b \cdot s - p \cdot s + y_{PT1} \\ z_1 &= l_{01} \cdot l_{1z1} - b \cdot c + p \cdot c + z_{PT1} - h \\ z_2 &= l_{01} \cdot l_{1z2} - b \cdot c + p \cdot c + z_{PT1} - h \end{aligned} \quad (6)$$

vektora jedne spojke. Pomoću njih se dobijaju koordinate vrha alata $T(x,y,z)$, kao par osnovnih rešenja DKP (6) u sistemu O_{B0} . Dalje se ovo rešenje prevodi u sistem O_B po postupku pokazanom za rešavanje IKP, a onda se i bira adekvatno rešenje među ova dva dobijena.

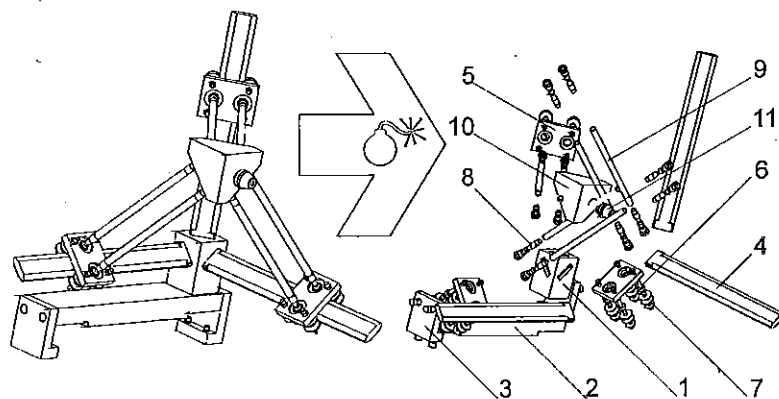
3.0 KONCEPCIJA 3D MPK

Prototip 3D MPK postavljen je na vođice ose X osnovne mašine HBG80. Veza se ostvaruje pomoću grede koja služi za baziranje na vođicama, a stezanje se vrši pomoću šapa sa zavrtanjima. Vođice, po kojima se kreću klizači, paralelne su odgovarajućim osama HBG-a. Da bi pravac K_1K_2 položaja zglobova bio stalno pod 45° , vođice pogonskih osa su zaokrenute za 45° . Po vođicama se kreću klizači u vidu pokretnih ploča, na kojima su napravljeni upusti za smeštaj sfernih ležaja. Svaki klizač na sebi nosi četiri točkića sa osovinicama (slika 4.), s obzirom na opredeljenjè da vođice budu kotrljajne. Uležištenje točkova je kombinovano: kotrljajno i aerostatičko [3].



Slika 4. Bazni segment tehnološkog modula sa paralelnim mehanizmom sa elementima veze za HBG80 i poprečni presek podsklopa klizača sa kotrljajnim aerostatičkim elementima

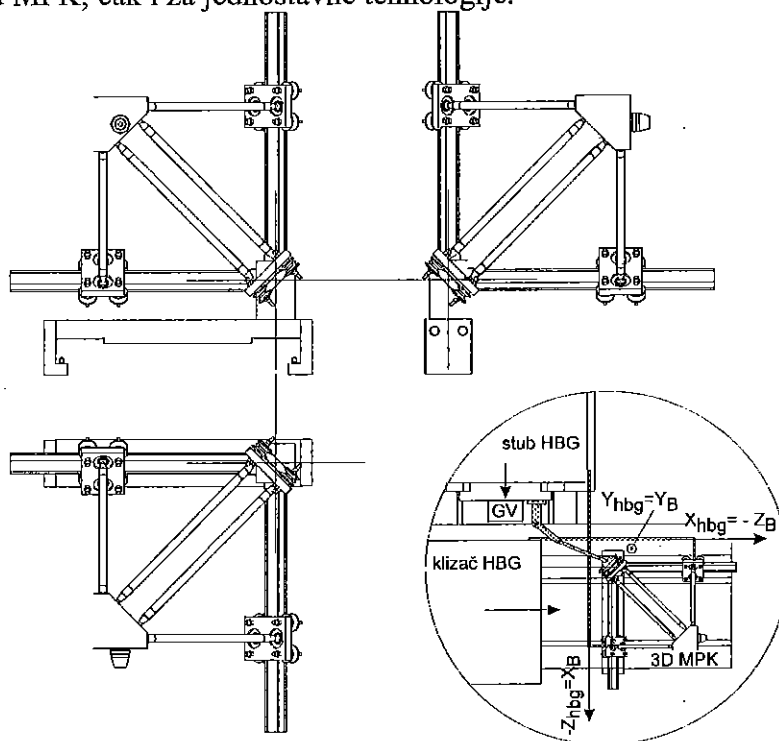
Na slici 4. dat je i prikaz poprečnog preseka klizača u sklopu sa vođicama, na kome je prikazan način dovoda vazduha, ekscentričnost druge osovinice, kao i način vezivanja ležaja, kao sfernog zglobova. Po dve osovinice sa jedne strane klizača imaju ekscentritet e , radi neophodnog poništavanja zažora i prednaprezanja. Točkići imaju karakterističnu geometriju u obliku kružnih lukova, koji tangiraju nagnute stranice vođica. Konstrukcija platforme je takva da predstavlja kocku kojoj su tri strane oborene pod 45° , što joj daje nagnute površine, koje su uparene sa odgovarajućim nagnutim površinama klizača. Na platformi se postavlja glavno vreteno (GV). Položaj GV je ovde takođe specifičan u odnosu na dosadašnje realizacije. Obično bi GV trebalo da bude na samom roglju kocke, kao platforme. S obzirom da su pogonske ose uzajamno upravne, zadržan je pravac ose X na HBG, odnosno Z na MPK, kao pravac ose GV. Položaj GV može biti i duž preostala dva pravca (X i Y). Na slici 5. dat je izometrijski prikaz sklopa projektovane 3D MPK, kao i prikaz eksplodiranog modela, na kome su rednim brojevima označeni osnovni delovi konstrukcije.



1-bazni kvadar, 2-bazna greda, 3-stezna šapa, 4-vođice, 5-klizač, 6-osovinica, 7-toččić, 8-sferni zglobovi, 9-spojka, 10-platforma, 11-glavno vreteno

Slika 5. Izometrijski i eksplodirani prikaz 3D MPK

Za pogonske ose 3D MPK koriste se pogoni translatornih osa X_{hbg} , Y_{hbg} i Z_{hbg} osnovne mašine HBG. Ose tehnološkog modula su obeležene sa X_B , Y_B i Z_B . Dve ose X_B i Z_B , pogone dobijaju direktnom vezom sa odgovarajućim osama HBG-a. Treća osa, Y_B , dobija pogon od odgovarajuće ose Y_{hbg} , s tim da je ova veza realizovana preko serijskog mehanizma (sa dve rotacije), koji raspoređuje dve spregnute ose HBG (slika 6.). Ovakav način prenosa kretanja omogućava upotrebu raspoloživih osa HBG, kao pogona nove mašine, koja od stare nasleđuje i upravljačku jedinicu, kao i mogućnost komunikacije PC sa upravljačkom jedinicom Bosch (CP NiceLink). To je od posebnog značaja s obzirom na veličinu upravljačkih NC programa, koji se javljaju kod MPK, čak i za jednostavne tehnologije.



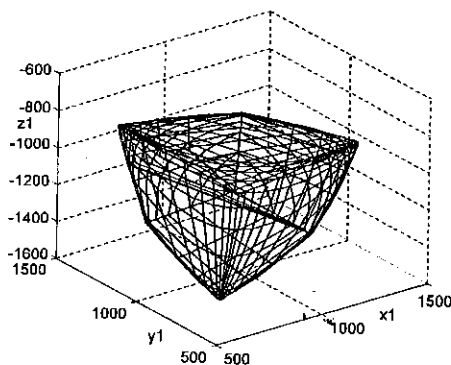
Slika 6. Dispozicija prototipa 3D MPK i sprega sa HBG

4. RADNI PROSTOR 3D MPK

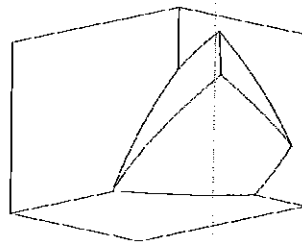
Radni prostor MPK je značajno manji, u odnosu na radni prostor tradicionalne mašine alatke sličnog gabarita. Prilikom projektovanja nove MPK potrebno je odrediti veličinu i oblik radnog prostora, jer on značajno može uticati na veličine ključnih parametara i samu koncepciju mašine. Njegove granice treba da budu poznate i prilikom pozicioniranja obratka

radi programiranja obrade na ovoj mašini. Postoje različiti pristupi određivanja radnog prostora. Ovde su primenjena dva načina procene granica radnog prostora: geometrijski, primenom nekog CAD paketa, uz uvažavanje postojećih ograničenja i drugi, primenom rešenja direktne kinematike, izračunavanjem ostvarivih položaja, za sve moguće pozicije na pogonskim osama. Da bi se dobio model radnog prostora u vidu plašta, pristupilo se formiranju algoritma i programa za proračun koji bazira na specifičnom kombinovanju kretanja svih pogonskih osa [1,2]. Kada se na ovo primeni rešenje DKP dobija se plašt ili omotač radnog prostora u vidu mreže, slika 7. Ovako dobijene koordinate iskorišćene su i za obradu omotača radnog prostora još u fazi projektovanja 3D MPK (slika 8.).

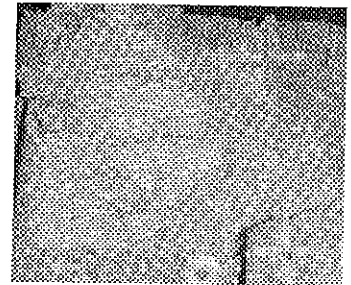
$px=py=pz=100; lo=1200;$
 $poj=200-600, j=x,y,z ;$ gustina 50
 mm



Slika 7. Plašt radnog prostora 3D MPK na bazi rešenja DKP-a



a) solid model Pro/ENGINEER



b) model dobijen obradom na HBG80

Slika 8. Modeli stvarnog oblika omotača radnog prostora 3D MPK, približni i napravljeni

5. ZAKLJUČAK

Tradicionalne mašine alatke sa serijskim mehanizmom upravo pune dva veka svog postojanja i sada one služe i za gradnje prvih prototipova obećavajućih mašina sa paralelnim mehanizmom, koje veće zahteve postavljaju upravljачkom podsistemu, zato što nisu kadre da ostvare i najjednostavnija koordinatna kretanja u pozicioniranju, a da ne slažu kretanja, po pravilu, svih svojih raspoloživih osa. Za očekivati je da će se mašine sa paralelnom kinematikom održati kao aktuelne koncepcije i da će biti reafirmisane posle sadašnjeg prividnog zastoja u informacijama o istraživanju u tom domenu. U tom očekivanju ovde su prikazane osnovne ideje, od kojih se pošlo tokom istraživanja u ovoj oblasti, čime se tematski zasniva jedan novi pravac u analizi i sintezi mašina alatki za obradu rezanjem.

6.0 LITERATURA

1. Čović N., Razvoj konceptijskog projektovanja jedne klase fleksibilnih tehnoloških sistema, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
2. Živanović S., Tehnološki modul sa paralelnim mehanizmom, magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.
3. Glavonjić, M., Čović, N., Naša prva troosna mašina sa paralelnom kinematikom, 26. JUPITER konferencija, 22. simpozijum NU - Roboti - FTS, Zbornik radova, str.3.201-3.208, Mašinski fakultet, Beograd, 2000.

THE BASE CONCEPTION OF ONE THREE-AXES MACHINE PROTOTYPE WITH A PARALLEL KINEMATICS

Absratct

One three-axes (3D) machine prototype with a parallel kinematics (MPK) is established. The idea of using traditional resources with a machining center (ILR HBG80), a CAD/CAM system (Pro/Engineer) for designing of the products and programming of work pieces machining, as well as an outfit for the communication of the machining center with the work station (CP Nice Link) was on disposal. That was the way of using the traditional resource for driving and controlling of the MPK. The base conception for the three-axes MPK with mutual-normal driving axes is given. The solution for the inverse and direct kinematics problem is described. The working space borders are given for one position of an end effector at the platform. Stated analyze of the described conception of the MPK, enabled simplification of the solution for the inverse kinematics problem (IKP) for the needs of programming, calibration of coordinate systems of a base and a platform and for modeling of errors and compensations of the machine. The whole conception system for the prototype is made under the rules of concurrent engineering by using a specific CAD/CAM/CAE system

NEOPHODNOST IMPLEMENTACIJE ZNANJA O TEHNOLOŠKIM STRUKTURAMA PRI PROJEKTOVANJU TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA U USLOVIMA NEPREKIDNIH TOKOVA¹

S. Sekulić²

Rezime

U radu se na sistematičan način izlaže metodologija pri projektovanju postupaka obrade u uslovima neprekidnih tokova zasnovana na dekompoziciji površina obratka. Za svaku površinu koja se obrađuje, na osnovu zahteva sa konstrukcionog crteža, određuju se potrebni radni zahvati. Sledeći korak je određivanje prvenstva između zahvata i njihovo grupisanje u operacije zasnovano na izboru optimalne tehnološke strukture, koja treba da obezbedi zahtevanu produktivnost i uravnoteženje - sinhronizaciju vremena trajanja operacija odn. pozicija linije obrade.

1. UVOD

Kao što je poznato tokovi materijala mogu biti prekidnog i neprekidnog karaktera. Prostorne strukture prekidnih tokova su jediničnog i procesnog, a neprekidnih višepredmetnog i jediničnog tipa [1].

U uslovima neprekidnih tokova tehnološki sistemi, u prostornoj strukturi, čine liniju obrade po redosledu izvođenja operacija, odn. pozicija obrade. Da bi se ostvarili potrebni efekti potrebno je zadovoljiti uslov koji se odnosi na takt izlaza

$$T_k = F/N \quad ; \quad F = const. \quad (1)$$

gde je F fond vremena i N broj izradaka u kojem ih treba izraditi.

Pored toga mora biti zadovoljen i dodatni uslov, koji se odnosi na uravnoteženje - sinhronizaciju vremena trajanja operacija odn. pozicijama obrade.

$$t_{ki} \approx T_k = t_{kmax} \quad (2)$$

Da bi se oba gore navedena uslova mogla ispuniti potrebno je odrediti radne zahvate za sve površine koje se obrađuju i izvršiti odgovarajuće grupisanje zahvata u operacijama odn. pozicijama, pri čemu je neophodno analizirati više varijanti i usvojiti najekonomičniju (efektivni sistem).

¹ Rad pripada projektu: ISTRAZIVANJE I RAZVOJ STRUKTURA RACUNARSKI INTEGRISANIH, ROBOTIZOVANIH PROIZVODNI SISTEMA, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike

² Dr Sava St. Sekulic, dipl. ing., red. prof., Institut za industrijsko inženjerstvo i menadžment, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovica, 7, tel. 021/350-122/128, fax 021/59-536, E-mail rado@iis.ns.ac.yu, Jugoslavija

Za svaku od površina koje se obrađuju, u zavisnosti od traženih zahteva, potrebno je taksativno po redosledu, odrediti sve radne zahvate. Pri tome se mora zaključiti da je broj potrebnih zahvata veći ukoliko su postavljeni strožiji uslovi za posmatranu površinu (npr. uska tolerancija mere, uska tolerancija odstupanja oblika, visok kvalitet obrađene površine, ...). Određivanjem radnih zahvata za sve površine koje se obrađuju dobija se ukupan skup zahvata neophodnih za obradu posmatranog izratka. Zatim se pristupa grupisanju radnih zahvata u operacije pri čemu je neophodno zadovoljiti uslov takta izlaza (1). Gore navedeno se može postići poštujući principe vezane za:

- prvenstva (redoslednost),
- ekonomičnost (varijantni izbor redosleda izvodjenja pojedinih zahvata) i
- složenost strukture pojedinih operacija (veću ili manju koncentraciju zahvata u operacijama)

Potrebni zahvati za pojedine površine koje se obrađuju može odrediti ekspert, ali se oni mogu uspešno odabrati iz prikladnih, detaljnih, tablica, koje sadrže podatke, za pojedine vrste obrade, vezane za postizanje tačnosti i kvaliteta obrađene površine.

Određivanjem radnih zahvata za sve površine, koje se obrađuju, dobija se ukupan skup zahvata u procesu izrade izratka.

2. GRUPISANJE RADNIH ZAHVATA U OPERACIJE

Povezivanje pojedinih zahvata u operacije predstavlja složenu proceduru obzirom da je moguće ostvariti veliki broj varijanti različitih izlaznih karakteristika koje se odnose, pre svega, na produktivnost i troškove obrade.

U principu najveći broj operacija može biti ravan broju radnih zahvata, ukoliko se svaki zahvat obavlja na posebnom radnom mestu, a može biti i manji broj, ali i svi radni zahvati na jednom radnom mestu tj. u jednoj operaciji [6]

Pojedini radni zahvati mogu se ostvariti pri različitim vrstama obrade, pri čemu se mogu realizovati veće ili manje koncentracije radnih zahvata istih i različitih vrsta procesa. Pored toga pri istoj vrsti obrade mogu se, za istu vrstu materijala izratka, koristiti različiti alatni materijali kojima se postižu različiti režimi obrade. Pojedininim tehnološkim procesima, odgovaraju različiti tehnološki postupci, zavisno od njihovih struktura. U principu broj mogućih tehnoloških procesa je vrlo veliki, i iz ovog mnoštva brzo se može izdvojiti određeni broj, između kojih treba odabrati najpovoljniji.

Pitanja vezana za ekonomičnost i učinak su u međusobnoj zavisnosti i to u obrnutom odnosu, pri čemu se za isti učinak mogu ostvariti različiti troškovi, pa se problem svodi na izbor efektivnog sistema, zasnovanog na kompleksnoj optimizaciji, koja obuhvata razmatranja svih primarnih uticaja koji menjaju izlazne karakteristike svih operacija:

- vrste obrade,
- tehnološke strukture i
- režim obrade.

Uticaj vrste obrade, tehnološke strukture i režima rada na vreme u operaciji zavisi od uzajamnih odnosa koji uslovljavaju pomenu učinka [7].

Povećanje učinka može se postići i prelaskom sa manje produktivne metode na produktivniju (npr. umesto rendisanja glodanje, a pri masovnoj proizvodnji provlačenje), uz napomenu da izabrana vrsta procesa rada obezbeđuje potrebnu tačnost, pri čemu, često, produktivnija vrsta obrade zahteva složeniji alat (nož za rendisanje, glodalo, provlakač).

Učinak ne zavisi samo od vrste obrade, već i od strukture operacije tehnološkog postupka.

Tehnološke strukture u obradi predstavljene su kao proces koji obezbeđuje određenu vezu i preklapanje osnovnih i pomoćnih prolaza i broja tokova, koji karakterisu kvantitativni sastav operativnog vremena

$$t_{op} = T/n_o = (t_g + t_p)/n_o \quad (2)$$

Veza između strukture i produktivnosti sledi iz izraza za vreme trajanja operacije t_k

$$t_k = t_g + t_p + t_d \quad (3)$$

gde je t_g glavno vreme, t_p pomoćno vreme, t_d dodatno vreme
Vreme radnog ciklusa određeno je izrazom

$$T_r = t_g + t_p \quad (4)$$

Za jednopotočni proces operativno vreme iznosi

$$t_{op} = T_r = t_g + t_p \quad (5)$$

a za višepotočni

$$t_{op} = T_r / n_o = (t_g + t_p) / n_o \quad (6)$$

gde je n_o broj tokova.

Operativno vreme može se smanjiti:

- skraćanjem radnog ciklusa T_r odn. efektivnog (mašinskog) vremena t_g ,
- pomoćnog vremena t_p i
- uvećanjem broja tokova n_o .

Veličina efektivnog (nepreklopljenog) vremena zavisi od:

- vrste, odn. kvaliteta materijala alata koji, uz iste uslove, (materijal obratka, elemente preseka strugotine i ostale uslove obrade) dozvoljava različite brzine rezanja, pa se na taj način utiče na glavno (mašinsko) vreme

$$t_g = iL/sn = iL\#D/sv = C/v \quad ; \quad C = iL\#D/s = const. \quad (7)$$

- preklapanja, odn. paralelno-redne ili paralelne obrade, odn. koncentracije radnih zahvata (prolaza),

Skraćenje pomoćnog vremena moguće je:

- međusobnim preklapanjem praznih hodova i
- preklapanjem radnih i praznih hodova.

Tako se promenom strukture menja učinak. Prema tome uvođenjem automatizacije, preko prethodno podešenih alata i aktivnih merenja u toku procesa i uslozljavanjem strukture mogu se značajno eliminisati pasivna vremena i povećati učinak.

To znači da promenom preklapanja i veza dolazi do promene strukture. Vrsta obrade i struktura operacija čine jedinstvenu celinu, jer se vrsta obrade ne može predstaviti bez strukture, pa sledi da se učinak može menjati prelaskom na produktivniju vrstu obrade ne menjajući strukturu, ali i prelaskom na složeniju strukturu pri istoj vrsti obrade.

Kada tehnološka struktura u jednom toku, i posle prelaska na produktivniju vrstu obrade, ne obezbeđuje potreban učinak prelazi se na rad u više tokova (neki put i ne postoji produktivnija vrsta). To ne znači da se odmah mora uvećati broj tehnoloških sistema, već razmotriti mogućnost rada u više tokova, na jednoj mašini, pri čemu se učinak uvećava onoliko puta koliko ima tokova. Najčešće ova varijanta predstavlja ekonomičnije rešenje u odnosu na povećanje broja jedinica opreme.

Ukoliko je zadatkom postavljen cilj da se izradi određeni broj izradaka u određenom vremenskom periodu (ograničenje), tada je neophodno ustanoviti uslove pri kojima je to moguće postići (stanje).

Kako je

$$T_k = F/N \quad ; \quad F = const. \quad (8)$$

i

$$T_k = T_r / n_o \quad (9)$$

to je

$$F/N = T/n_o \quad (10)$$

iz čega sledi broj tokova

$$n_o = T_r / T_k = T_r (N/F) \quad (11)$$

Kada su gornji elementi poznati moguće je prići analizi varijanti tehnoloških procesa i postupaka obrade polazeći od realnih uslova u kojima treba da se obavlja proizvodnja, što značajno smanjuje broj mogućih varijanti. Od razmatranih varijanti koje zadovoljavaju veličinu takta izlaza i približno isto vreme trajanja obrade u pojedinim operacijama odn. pozicijama, treba usvojiti onu koja je najekonomičnija, odn. pri kojoj se postižu najniži troškovi.

2.1 Troškovi obrade

Da bismo odredili vrednosti troškova moramo postaviti odgovarajuće matematičke modele koji ih predstavljaju.

Troškovi se mogu strukturirati na najrazličitije načine, ali se oni u osnovi sastoje iz troškova:

- materijala,
- obrade,
- radne snage,
- mašine i pribora,
- alata i
- energije.

Ostali troškovi se obično uzimaju u obzir uvećanjem zbira gore navedenih troškova koeficijentom većim od 1.

Troškovi obrade U_o određuju se kao zbir troškova na svim operacijama odn. pozicijama U_{oi}

$$U_o = \sum U_{oi} = \sum (R + M + A)_i \quad (12)$$

Troškovi radne stage iznose

$$R = n k_1 (t_g + t_a + t_p + t_{pz} + t_m + t_d) \quad (13)$$

gde je $n = 1 + (k_2/k_1)(N_1/N_2)$ koeficijent učesca troškova stručnog radnika koji opslužuje više mašina, k_1 bruto lični dohodak radnika, k_2 bruto lični dohodak stručnog radnika, N_1 broj mašina koje opslužuje proizvodni radnik, N_2 broj mašina koje opslužuje stručni radnik, $t_a = t_z (t_g/T)$ vreme zamene alata svedeno na jedan obradak, t_m međuvreme, $t_{pz} = T_{pz}/z$ pripremno-završno vreme svedeno na jedan obradak (z broj izradaka u seriji) i T postojanost alata.

Troškovi mašine i pribora

$$M = (t_g + t_a + t_p + t_{pz} + t_m + t_d) C_M p / (F \eta 100.60) \quad (14)$$

gde je C_M cena mašine i pribora na posmatranoj operaciji, p amortizaciona stopa, F godišnji fond vremena mašine, η stepen iskorišćenja masine.

Troškovi alata

Troškovi alata koji se preoštravaju

Ovi troškovi iznose

$$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad (13)$$

gde je: $A_1 = n k_1 t_g t_g / T$, troškovi zamene alata, $A_2 = k_2 t_2 t_g / T$, k_2 bruto lični dohodak štraca, t_2 vreme potrebno za oštrenje, troškovi amortizacije alata svedeni na jedan obradak $A_3 = C_A t_g / (i_o + 1) T + C_{PA} / n_o$, gde je: C_A cena novog alata, i_o broj oštrenja, C_{PA} cena

pribora za stezanje alata, n_o broj obradaka koji se mogu obraditi priborom do njegove pune amortizacije.

Tako su ukupni troškovi alata koji se preoštravaju za jednu operaciju

$$A = [n k_1 + k_2 t_2 + C_A / (i_o + 1)] t_g / T + C_{PA} / n_o \quad (14)$$

Troškovi alata sa izmenljivim pločicama

Troškove alata sa izmenljivim pločicama svedene na jedan obradak čine: $A_1 = n k_1 t_z t_g / T$ troškovi zamene alata $A_2 = 0$ troškovi oštrenja, $A_{3P} = [(C_D + k C_P) / k x] t_g / T = (C_D + k C_P) t_g / k x T$, pa su ukupni troškovi alata sa izmenljivim pločicama

$$A = [n k_1 t_z + (C_D + k C_P) / k x] t_g / T \quad (15)$$

gde je: C_D cena držaca alata, C_P cena izmenljive pločice, k broj zatupljenih pločica do potpune amortizacije držaca alata i x broj sečiva na izmenljivoj pločici ($f = k x$ broj stezanja izmenljivih pločica do potpune amortizacije držaca alata).

Zamenom pojedinih troškova za ukupne troškove operacije dobijamo

$$U = E \{B + t_g \{1 + [t_z + (G/E)] / T\}\} \quad (16)$$

gde je:

$$B = t_p + t_m + t_{pz} + t_d = \text{const.},$$

$$E = n k_1 + C_M p / (F \eta 100 \cdot 60) \quad (17)$$

(18.1)

$$G = k_2 t_2 + C_A / (i_o + 1) \quad \text{za alate koji se preoštravaju}$$

odn.

$$G = (C_D + k C_P) / k x \quad \text{za alate sa izmenljivim pločicama koje se ne preoštravaju} \quad (18.2)$$

3. ANALIZA

Prema gore izloženom, sledi da se grupisanje radnih zahvata u pojedine operacije ne bazira na mogućnostima pojedinih vrsta i tipova mašina alatki već se projektuje optimalna tehnološka struktura i kada se ona definiše onda se za nju bira mašina alatka na kojoj se ta struktura može ostvariti ili se pristupa projektovanju i konstruisanju nove mašne alatke koja ostvaruje obradu tražene strukture. Ovaj prilaz projektovanju operacija obrade nazvan je tehnološkim.

Kao rezultat tehnološkog projektovanja struktura operacija, kada su u pitanju pre svega složenije strukture (veća koncentracija radnih zahvata), dovela je do razvoja mašina alatki specijalne namene i modularnog sistema gradnje mašina alatki. Prve karakteriše manja, a drugu povećana fleksibilnost.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- Predložena metodologija grupisanja radnih zahvata u pojedine operacije u uslovima neprekidnih tokova zasnovana na identifikaciji svih površina koje se obraduju i njima pripadajućih radnih zahvata, omogućuje da se na sistemski i sistematičan način izvrši identifikacija i grupisanje radnih zahvata u operacije, pri čemu su implementirana znanja vezana za proučavanje tehnoloških struktura, koji obezbeđuju željeni učinak i sinhronizaciju pojedinih operacija, odn. pozicija linija obrade.
- Postupak se svodi na varijantnu proceduru, a od mogućih varijanti usvaja se ona koja

zadovoljava uslove efektivnog sistema.

LITERATURA

1. Zelenović D.: Projektovanje proizvodnih sistema, Naučna knjiga Beograd, 1987.
2. Čarnko, D., V.: "Osnovy vybora tehnologičeskogo processa mehaničeskoj obrabotki", Mašgiz, 1958.
3. Sekulić, S.: "Tehnološke strukture procesa obrade", FTN - Institut za industrijske sisteme, 1986.
4. Weill, R., Spur, G., Eversheim W.: "Survey of Computer-Aided Process Planning Systems", Annals of the CIRP, Vol. 31/2, 1982.
5. Kusiak, A.: "Knowledge-Based Systems in Manufacturing", Taylor & Francis, 1989.
6. Sekulić, S.: "Tehnološke strukture - značaj, stanje i tendencije razvoja", Mašinstvo za XXI vek, Monografija, Fakultet tehničkih nauka, 1995, pp. 603-624.
7. Sekulić, S., Čosić, I.: "Kompleksni prilaz u razvoju tehnoloških struktura", International journal INDUSTRIAL SYSTEMS, Vol. 1, 1998, pp. 25-31.
8. Sekulić, S., Radaković, N.: "Identifikacija primarnih elemenata tehnoloških struktura postupaka obrade", International journal INDUSTRIAL SYSTEMS, Vol. 2, 1999, pp. 1-12.
9. Sekulić, S., "Optimizacija obradnih procesa", Zbornik radova Medjunarodnog savjetovanja o dostignućima elektro i mašinske industrije, DEMI 2000, april 2000., Banja Luka, 2000., pp. 22-25.
10. Sekulić, S., "Identifikacija radnih zahvata i njihovo grupisanje i povezivanje u pojedine operacije tehnološkog postupka obrade", Zbornik radova VII Međunarodne konferencije MMA 2000 - Fleksibilne tehnologije, , jun 2000., Novi Sad, 2000., pp. 33-34.

S. Sekulić

NECESSITY OF IMPLEMENTATION OF KNOWLEDGE OF TECHNOLOGICAL STRUCTURES WHILE PROJECTING TECHNOLOGICAL PROCEDURES IN CONTINUAL MATERIAL FLOW CONDITIONS

Summary

In paper, on systematical way, is presented the methodology by projecting technological procedure in continual material flow conditions, based on the decomposition of the work piece area. For each feature necessary work passes are determined depends on drawing request. Next step is determination of precedence of individual passes and grouping into an operations based on the choose of optimal technological procedure, which must secure requested productivity and balance of each operation i.e. position on the manufacturing flow line

NADGRADNJA CAD SISTEMA OPŠTE NAMENE ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODA²⁾

Milojević Z., Navalušić, S., Gatalo, R., Zeljković, M.¹⁾

Rezime

U radu je prikazana metodologija korišćenja programskog sistema opšte namene AutoCAD R14, i njegovog razvojnog okruženja ObjectARX, pri projektovanju proizvoda i to u fazi koncipiranja. Polazeći od pregleda karakteristika dosadašnjih razvojnih sistema daju se osnovne karakteristike i prednosti ObjectARX razvojnog sistema. Kao primer razvijene metodologije prikazan je model sistema za automatizovano modularno projektovanje strugova. Na kraju su dati i određeni konkretni rezultati testiranja razvijenog sistema.

1.0 UVOD

CAD sistemi opšte namene predstavljaju značajnu podršku konstruktorima prilikom projektovanja proizvoda, posebno u fazama konstruisanja i razrade konstruktivne dokumentacije, što je i razumljivo pošto je većina CAD sistema orijentisana na geometrijsko modeliranje (2D/3D) objekata projektovanja. Stvaranje uslova za korišćenje CAD sistema u fazi koncipiranja, odnosno, mogućnost povezivanja koncepcionih proračuna i geometrijskog modeliranja proizvoda je, do sada, bila u drugom planu. Da bi se mogućnosti CAD sistema podigle na kvalitativno viši nivo, razvijaju se posebni "alati" koji omogućavaju njihovu nadgradnju, odnosno stvaranje uslova za njihovo uspešno korišćenje u nekoj užoj grani tehnike. Razumljivo je da ovakav pristup podrazumeva i viši nivo znanja projektanta.

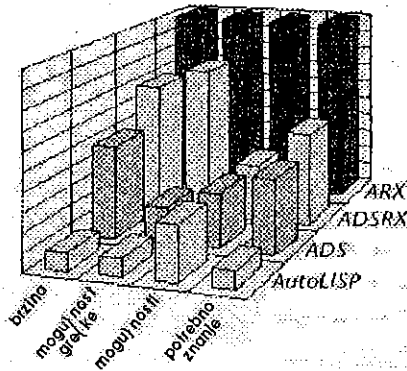
AutoCAD je zamišljen i realizovan kao CAD paket opšte namene, a da bi se mogao uspešno primeniti u bilo kojoj užoj grani tehnike neophodno ga je proširiti dodatnim mogućnostima. Proširenja su najčešće nezavisni programi, aplikacije koje rade u okviru AutoCAD-a i za koje on praktično igra ulogu operativnog sistema. Pre ARX-a (koji se pojavio u verziji 13 AutoCAD-a), prvi razvojni sistem za AutoCAD bio je ADS(AutoCAD Development System), koji je u osnovi bio namenjen programiranju u C-u, mada su veće aplikacije mogle biti napisane u C++ -u, uz korišćenje MFC(Microsoft Foundation Class library) biblioteka. Najveća mana ADS-a je što je on samo proširenje AutoLISP-a.

Biblioteke iz ARX-ovog kompleta za razvoj softvera, omogućavaju jednostavniju manipulaciju grafičkim entitetima i definisanje novih komandi koje su potpuno ravnopravne

¹⁾ Prof. dr Gatalo Ratko, Doc. dr Navalušić Slobodan, Doc. dr Zeljković Milan, asist. Milojević Zoran, dipl. ing., Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad., V. Perića Valtera br. 2, Tel. (021) 450-366, Fax: (021) 54-495, E-mail: milanz@uns.ns.ac.yu

²⁾ Rad je rezultat istraživanja na projektu "Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju razvoja fabrika budućnosti i obezbeđenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašingradnji (11E08PT)"

sa ugrađenim komandama AutoCAD-a. ARX aplikacije se prevode u standardne DLL biblioteke čije se funkcije izvršavaju u istom procesu i u istom adresnom prostoru u kome radi i AutoCAD, čime se znatno poboljšavaju performanse celog sistema, za razliku od ADS programa gde postoje tri procesa koji rade paralelno: AutoCAD, AutoLISP interpreter i ADS



program. Pored svega navedenog ARX poseduje i mogućnost korišćenja MFC biblioteke, što uz poznate mogućnosti jezika C++, omogućava izradu aplikacija sa menijima, dijalozima i mogućnošću korišćenja baza podataka i to sve u AutoCAD-u. Autodesk je najavio da u budućnosti neće više razvijati biblioteke za ADS, već samo za ARX, tako da ovaj programski sistem postaje prioritetan za AutoCAD. Na slici 1, dato je uporedno poređenje razvojnih alata za AutoCAD.

Slika 1. Uporedni pregled karakteristika različitih programskih okruženja za AutoCAD R14[1]¹⁾

2.0 METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA POMOĆU ObjectARX PROGRAMSKOG OKRUŽENJA

Metodologija projektovanja proizvoda pomoću ObjectARX programskog okruženja sastoji se u tri koraka. Postupak izrade ARX aplikacije, korak po korak, sastoji se u sledećem:

- definisanje objekata u ARX Wizardu 2
- definisanje projekata u Visul C++
- rešavanje u Auto CAD R14.

1. Definisane u ARX Wizardu 2 :

Prvi korak se odnosi na ObjectARX Wizard 2, koji omogućava jednostavno pravljenje ARX projekata za Visual C++ 4.2, što značajno olakšava rad programeru, jer je uz pomoć njega moguće kreirati projekat sa potrebnim zaglavlјima, bibliotekama, klasama, funkcijama i komandama. Naravno na programeru je da napiše potreban kod za klase i funkcije.

Direktorijuma projekta (pod projektom se podrazumevaju svi potrebni fajlovi povezani u jednu celinu, koju zatim kompajler može prevesti u izvršni kod),

- Potrebni biblioteka-*libraries* (.LIB fajlova koji su potrebni pri linkovanju programa),
- Potrebni zaglavlјa-*headers* (*.h fajlova u kojima su definisane sve klase (za entitete, lejere..)),
- Novih komandi-*kommands* (pri pokretanju ARX aplikacije moguće je pozivati više novih komandi, koje pozivaju određene funkcije),
- Poruka-*messages* (definisati poruke AutoCAD-a na koje treba ARX aplikacija da reaguje),
- Reaktora-*reactors* (objekti koji nadgledaju šta se dešava u sistemu i kada detektuju interesantan događaj reaguju na način koji je odabrao programer, na primer ako se određenom entitetu promeni boja, reaktor može da preduzme neku akciju),
- Klasa-*classes* (može se definisati sopstvena klasa npr. strug),
- Funkcija-*functions* (koje će pripadati nekoj klasi i izvršiti određene operacije na tom objektu, ili funkcija koje će se startovati pozivom neke novoformirane komande).

Rezultat koji se dobije pri izlasku iz ARX Wizarda 2, je projekat koji sadrži sve potrebne

¹⁾ Pod mogućnošću greške, misli se da je pri radu u AutoCAD-u kada se startuje ARX program (pošto on radi u istom adresnom prostoru kao i AutoCAD), moguće potpuno blokirati AutoCAD (ukoliko se napravi neka greška u ARX programu), pri čemu će se svi podaci na crtežu bespovratno izgubiti. ARX zahteva da se u njegovo izučavanje uloži najviše napora i vremena (*potrebno znanje*), dosta više nego za ostale razvojne alate, naravno da njegove mogućnosti i brzina opravdavaju uloženi trud.

fajlove za programiranje u Visual C++ 4.2

2. Definisanje u Visual C++ 4.2 :

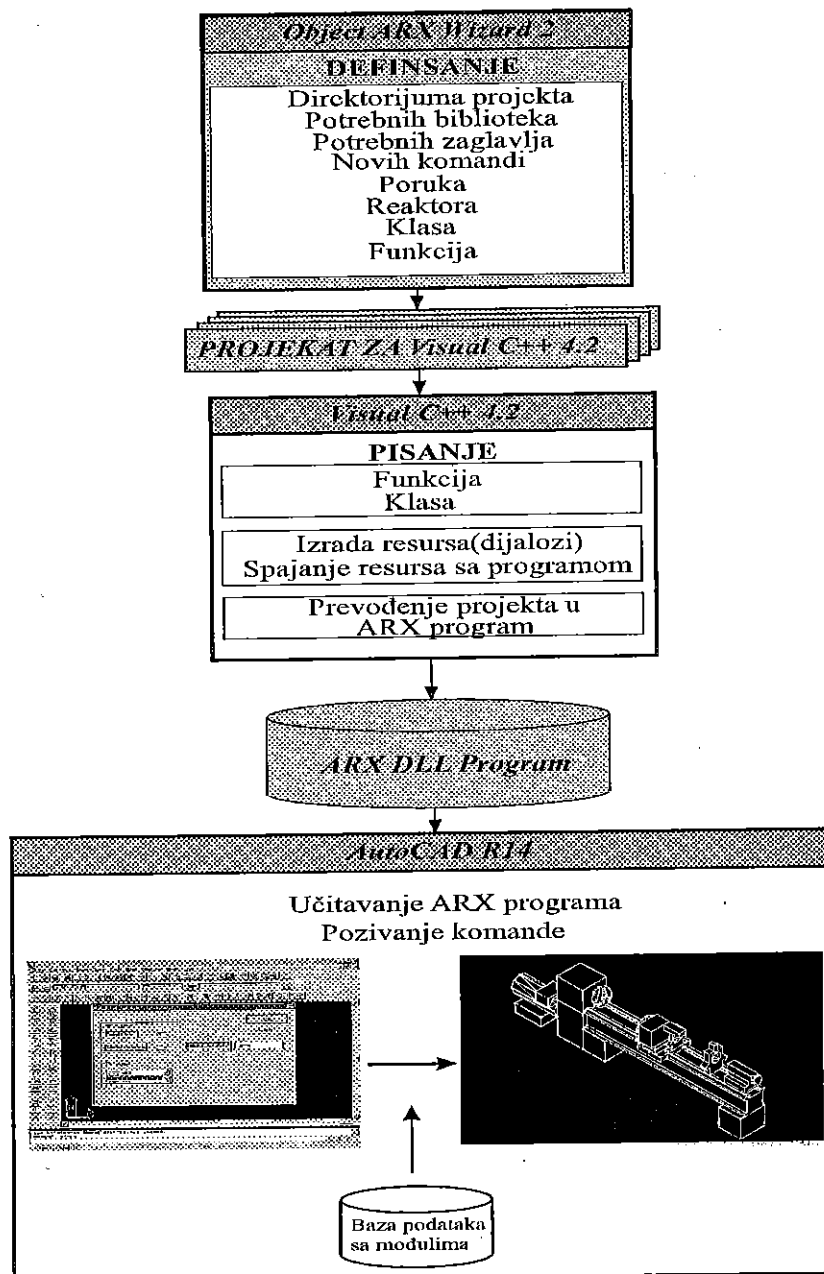
- Pisanje koda za funkcije,
- Pisanje koda za klase,
- Izrada resursa-*resources* (dijalozi, meniji koji će se pojavljivati u ARX aplikaciji), i njihovo spajanje sa kodom,
- Prevođenje projekta u ARX program.

Rezultat pri izlazu iz Visual C++ 4.2 kompajlera je ARX DLL program, koji se startuje u AutoCAD-u R14.

3. Rešavanje u AutoCAD R14 :

- Učitavanje ARX aplikacije,
- Pozivanje komande.

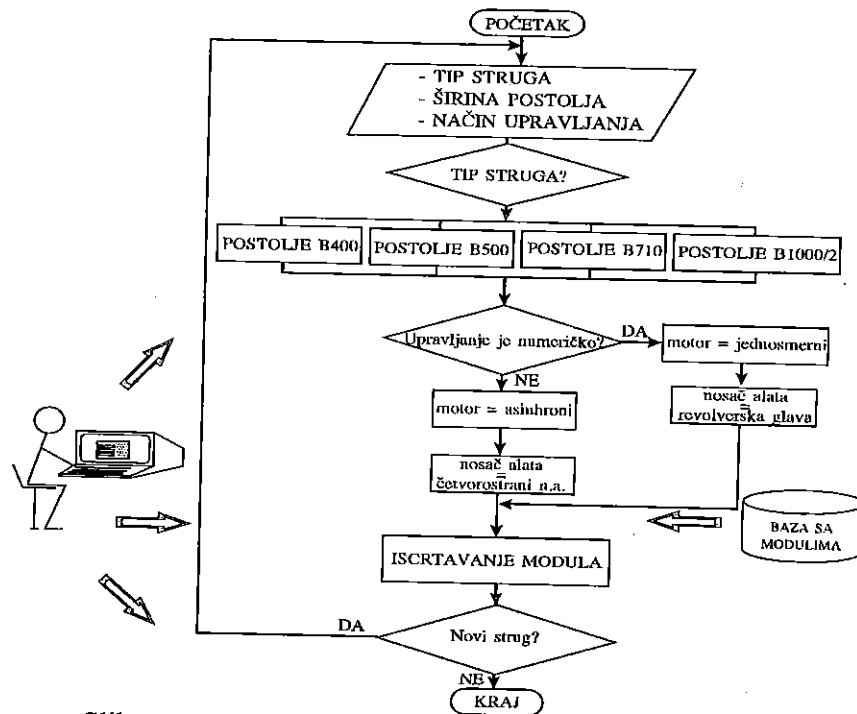
Celokupna metodologija projektovanja šematski je predstavljena modelom na slici 2.



Slika 2. Globalni model postupka projektovanja proizvoda pomoću AutoCAD-a i ObjectARX-a

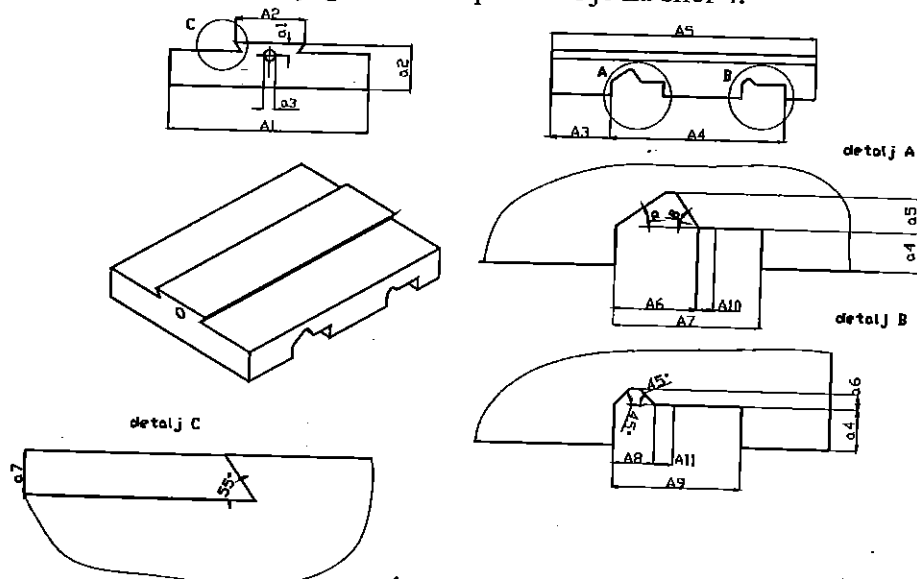
3.0 MODEL SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO MODULARNO PROJEKTOVANJE STRUGOVA

Definisanje modela za automatizovano modularno projektovanje strugova oslanja se na razvojno istraživački projekat [6] rađen u Laboratoriji za mašine alatke na Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu. Razvijena je ObjectARX aplikacija za projektovanje strugova u zavisnosti od: tipa struga, širine postolja i načina upravljanja. Aplikacija omogućava projektovanje: lakih, srednjih i teških strugova. Model sistema je prikazan na slici 3.



Slika 3. Model sistema za modularno projektovanje strugova

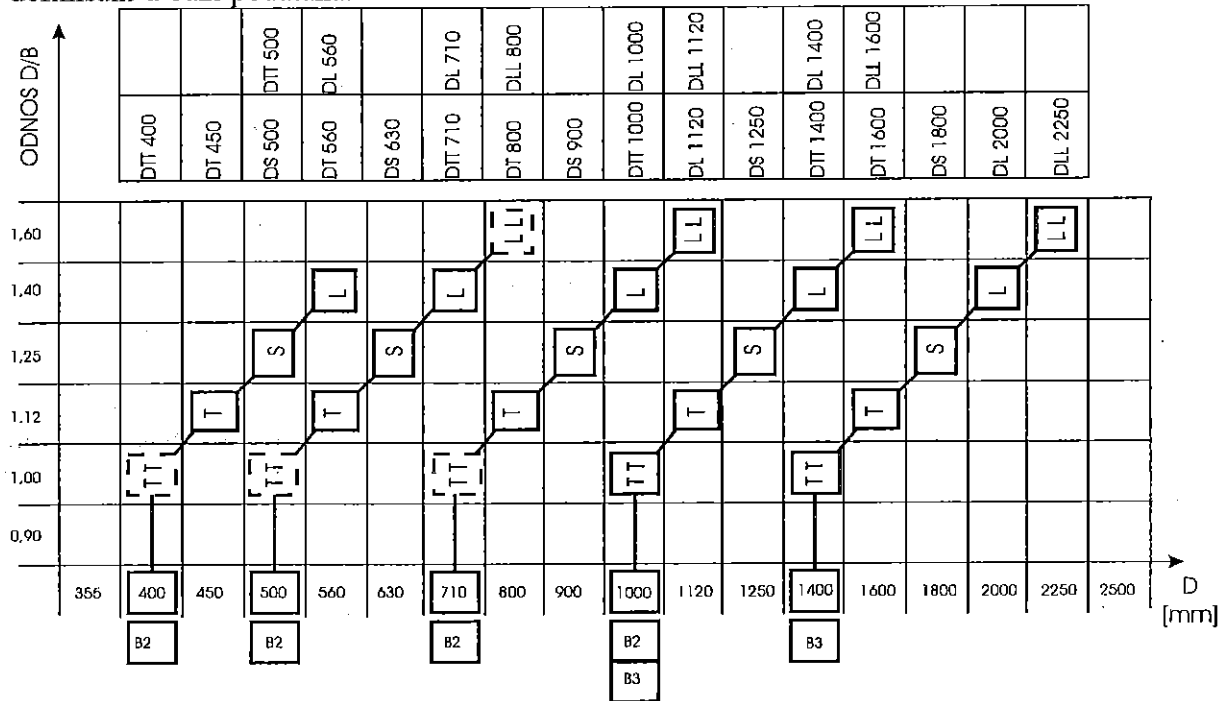
Svi moduli, u okviru razvijenog sistema strugova, rešeni su parametarski, i definisani u bazi podataka napravljenoj u MS Access-u 97. Jedan od modula (uzdužni klizač sa dve vođice) sa svim parametrima koji ga definišu prikazan je na slici 4.



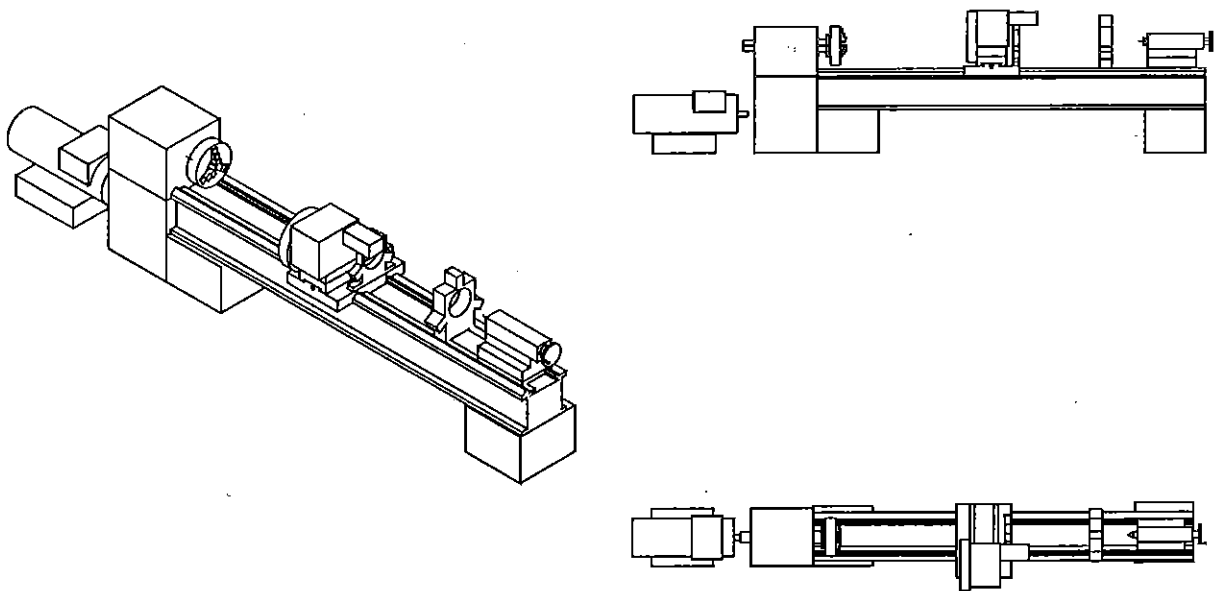
Slika 4. Parametarski definisan uzdužni klizač sa dve vođice

4.0 REZULTATI VERIFIKACIJE RAZVIJENOG SISTEMA

Na slici 5, prikazan je pregled osnovnih veličina sistema strugova i prečnika obrade, dok je na slici 6, predstavljeno jedno od rešenja dobijeno razvijenim sistemom, i to strug DTT500 sa dužinom postolja od 4000 mm. Treba napomenuti da se uz jednostavnu komunikaciju korisnika sa sistemom (preko dijaloga), mogu dobiti svi tipovi strugova definisani u bazi podataka.



Slika 5 Pregled osnovnih veličina sistema strugova i prečnika obrade[6]



Slika 6. Jedno od rešenja dobijeno razvijenim sistemom

5.0 ZAKLJUČAK

Automatizovano projektovanje proizvoda primenom CAD sistema opšte namene i njihovih "alata" za nadgradnju (u ovom slučaju AutoCAD-a i ObjectARX-a), ima veliki značaj. Prvo kao provera rešenja dobijenih konvencionalnim metodama projektovanja. Posebna oblast primene je postupak modularnog projektovanja mašina alatki. Mogućnosti da se napravi 3D model određene mašine alatke sa svim njenim modulima, znatno olakšava projektantu mašine da otkloni greške koje su eventualno nastale pri projektovanju modula. Mogućnost brze promene u bazi podataka sa modulima i provera novog rešenja, rad projektanta čini znatno lakšim.

6.0 LITERATURA

- [1] Autodesk Inc.: "ObjectARX developers guide", Autodesk Inc., 1997 god.
- [2] Autodesk Inc.: "ObjectARX migration guide", Autodesk Inc., 1997 god.
- [3] Prosise J.: "Programming Windows 95 with MFC", Microsoft Press, 1996 god.
- [4] Navalusić S., Gatalo R., Milojević Z., Hodolić J.: "System for Automated Product Design Based on the ObjectARX(AutoCAD Run-time Extension) programming Environment", CAR&FOF 98, 14th International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the future, Coimbatore, India, 1998.
- [5] Navalusić S., Gatalo R., Milojević Z.: "New Trends on Product Design based on the "Intelligent" CAD Systems", Manufacturing Simulation for Industrial Use, edited by J. Jedrzejewski, Poland, 1998, pp 121-129.
- [6] Rekecki, J., Janoši, J., Gatalo R., Brauhler, J., Nađabonji, G., Zeljković, M., Borojev, L.J., Hodolić, J.: "Sistem strugova – Koncepcija razvoja i konstrukciona rešenja familije horizontalnih strugova za oblast prečnika obrade od 450 do 2000 mm", elaborat istraživačkog-razvojnog projekta (rađeno za potrebe FAMIL "POTISJE" iz Ade), Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1982. god.
- [7] Milojević, Z., Navalusić, S., Gatalo, R., Zeljković, M.: "Automatizovano projektovanje proizvoda primenom programskih paketa opšte namene", VII međunarodna konferencija MMA2000- fleksibilne tehnologije, zbornik radova, FTN-IPM, Novi Sad, 2000, pp 137-138.

CAD SYSTEMS OF A COMMON PURPOSE UPGRADE FOR PRODUCT DESIGN

Summary

In this paper a methodology of using program system of a common purpose and its developing tool ObjectARX, in design stage of product design is presented. Starting from developing tools characteristics overview in this paper are presented based characteristics and advantages of ObjectARX. As an example of design methodology, a system model for automated modular lathes design is presented. On the end concrete testing results of developed system are shown.

INTEGRACIJA SAVREMENOG CAD SISTEMA U PROCES RAZMENE PODATAKA NA BAZI STEP MODELA PROIZVODA PRIMENOM INTEGRISANOG PROGRAMSKOG INTERFEJSA (API)**

Lužanin O., Gatalo R., Hodolič, J.*

Re z i m e

Efikasna primena sistema za simultano projektovanje zahteva pravovremenu razmenu i deljenje podataka o proizvodu. Pored komercijalnih rešenja, savremeni CAD sistemi omogućuju da se problem razmene podataka reši i programskom nadgradnjom, korišćenjem aplikacijskih programskih interfejsa - API (Application Programming Interface).

U radu je predstavljen koncept programske nadgradnje savremenog CAD sistema Pro/Desktop 2000i. Pri tom su korišćene prednosti integrisanog API-a, sa ciljem da se omogući integracija ovog sistema u eksperimentalni sistem za simultano projektovanje na bazi STEP modela proizvoda.

1.0 UVOD

Na polju razvoja sistema i postupaka automatskog projektovanja i konstruisanja proizvoda, protekle deceniji obeležili su intenzivan razvoj i usavršavanje softverskih rešenja koja obezbeđuju računarom podržan kooperativni rad i simultano projektovanje i analizu.

Centralnu komponentu takvih rešenja čini standardizovani, integrisani model proizvoda kojem mogu da pristupaju svi učesnici u razvoju proizvoda. Time se obezbeđuje jednoznačno preslikavanje svih varijanti parcijalnih modela generisanih primenom CAX sistema, u jedinstvenu, centralizovanu strukturu ukupnog modela proizvoda. Kao jedini standard koji obezbeđuje podršku razvoju takvog integrisanog modela proizvoda, STEP ISO 10303 u komercijalnim i eksperimentalnim sistemima za simultano projektovanje ostvaruje sledeće ključne zadatke:

- Razmenu CAX modela posredstvom standardnog, neutralnog formata
- Podršku simultanom projektovanju i inženjerskoj analizi
- Podršku multidisciplinarnom (simultanom) projektovanju (npr. elektronskih i mehaničkih komponenata u okviru elektromehaničkog proizvoda)

Polazeći od navedenih zadataka, može se zaključiti da početnu fazu u gradnji eksperimentalnog sistema za simultano projektovanje čini odabir CAX sistema koji imaju podršku za razmenu podataka u STEP formatu, odnosno, razvoj takve podrške za one CAX komponente sistema koje njome ne raspolažu.

** Rad je nastao kao rezultat rada na projektu: *Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju razvoja fabrika budućnosti i obezbeđenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašingradnji (11E08PT).*

* Dr Ratko Gatalo, red.prof., Dr Janko Hodolič, red.prof., Ognjan Lužanin, dipl.ing., str.saradnik, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, V.Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad, ☎(021)450-366, 450-367, Fax: (021)54-459, luzanin@uns.ns.ac.yu

U radu je predstavljena koncepcija razvoja STEP AP203 translatora, koji će savremenom CAD sistemu, Pro/Desktop 2000ⁱ, kao komponenti za razradu koncepcije i opšte projektovanje mašinskih delova, omogućiti uključivanje u eksperimentalni sistem za simultano projektovanje. Pri tom su za pristup topološko-geometrijskom modelu ovog sistema korišćene prednosti dobro razvijenog i dokumentovanog integrisanog aplikacijskog programskog interfejsa (*API - Application Programming Interface*), dok su, za potrebe generisanja STEP objekata iz aplikacionog protokola AP203 i njihovo zapisivanje u format *Part21* datoteke, iskorišćene pogodnosti koje pruža razvojno programsko okruženje *ST-Developer 7 (STEP Tools)*.

2.0 APLIKACIJSKI PROGRAMSKI INTERFEJS (API) CAD SISTEMA Pro/DESKTOP 2000ⁱ

2.1 Uvodne napomene o sistemu Pro/Desktop 2000ⁱ

Kao sistem zasnovan na *obeležjima (features)* i *parametarskom modeliranju (parametric modeling)*, Pro/Desktop¹ pripada srednjoj (*midrange*) klasi na tržištu CAD sistema. Iako je prvenstveno namenjen projektovanju koncepcije proizvoda i razradi koncepcijskih rešenja, Pro/Desktop može naći primenu i u opštem projektovanju u mašinstvu, te u izradi tehničke dokumentacije.

Poput većine predstavnika savremene generacije CAD sistema, Pro/Desktop odlikuju sledeće ključne karakteristike:

- Modeliranje zasnovano na *obeležjima (Feature based modeling)*
- Parametarsko modeliranje (*Parametric modeling*)
- Asocijativnost (*Associativity*)

Obeležja se mogu podeliti na *solid obeležja (solid features)* i *detalje (detail features)*. Solid obeležja su zapreminska tela koja se generišu translacijom ili rotacijom zatvorenih, ravanskih kontura, koje se nazivaju *profili (profiles)*. Kao osnova za generisanje *detalja* koriste se *solid obeležja*, a primenjuju se operacije kao što su obaranje ivice (*chamfer*), zaobljivanje ivice (*fillet*), itd.

Parametri su promenljive veličine kojima se definišu karakteristične dimenzije objekata ili dimenzioni odnosi i ograničenja.

Na osnovu *asocijativnosti*, omogućuje se da promena parametarske vrednosti karakteristične dimenzije jednog objekta, automatski aktivira odgovarajuće promene karakterističnih dimenzija drugih objekata.

Pored *ATB* tehnologije (*Associative Topology Bus*) koja omogućuje integraciju sa sistemom Pro/Engineer i ostalim proizvodima iz PTC i – serije, Pro/Desktop raspolaže i mogućnošću za integraciju sa eksternim aplikacijama, budući da raspolaže razvijenim programskim interfejsom, sa preko 1500 funkcija.

2.2 Karakteristike Pro/Desktop programskog interfejsa (API)

Osnovna namena Pro/Desktop *API*-a jeste da omogući direktan pristup internoj strukturi Pro/Desktop-a, i na taj način omogući nadgradnju njegovih osnovnih funkcija. Koristeći *OLE automatizaciju (Object Linking and Embedding)*, Pro/Desktop API obezbeđuje pristup osnovnim funkcijama sistema, što, pored velike uštede u vremenu, rezultuje aplikacijama koje imaju korektan i dobro testiran kod.

U formi standardizovanih funkcijskih poziva, OLE definiše osnovne okvire za medjusobnu komunikaciju različitih aplikacija. Ovaj vid automatizacije omogućuje da jedna softverska aplikacija upravlja drugom. Pri tom se aplikacija koja manipuliše objektima u

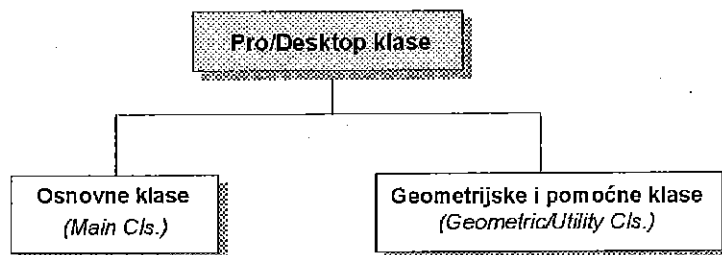
¹ Nastao kao proizvod kompanije *Computer Vision*, pod originalnim nazivom *Design Wave*, ovaj CAD sistem je otkupljen od strane *PTC (Parametric Technology Corporation)*, da bi, razvojem potonjih verzija, svoj današnji naziv dobio 1998.

okviru druge aplikacije, naziva *kljentom (Automation client)*, dok se aplikacija koja svoju internu strukturu stavlja na raspolaganje eksternim aplikacijama, naziva *serverom (Automation server)*. Objekti, koji su, putem OLE-a, stavljeni na raspolaganje eksternim aplikacijama, nazivaju se *objektima automatizacije (Automation objects)*.

Pro/Desktop objekti stavljeni su na raspolaganje eksternim aplikacijama u formi Pro/Desktop biblioteke objekata (*Object Library*). Biblioteci se može pristupiti korišćenjem objektno-orijentisanih programskih jezika, kao što su *Visual Basic, C++ i Java*. Dalja objašnjenja primene API-a odnosiće se na *Visual Basic*, tačnije *VBA (Visual Basic for Applications)*, budući da je to razvojna platforma koja je korišćena u ovom radu.

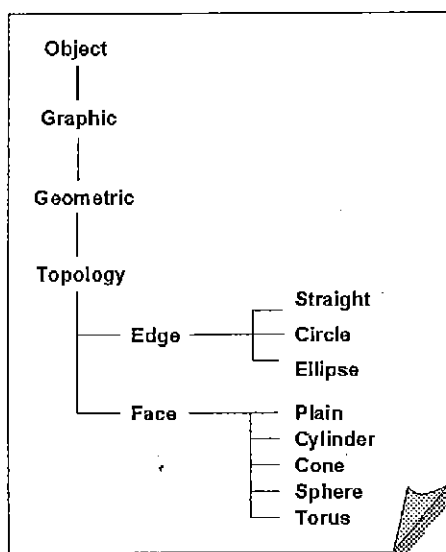
2.3 Objektna hijerarhija Pro/Desktop API-a

Pro/Desktop API je zasnovan na strogo definisanoj objektnoj hijerarhiji, što znači da je svakom objektu automatizacije dodeljena hijerarhijska klasifikacija. U vezi s tim, API je podeljen na dve osnovne hijerarhijske grupe objekata automatizacije (*Slika 1*). Prva grupa obuhvata tzv. osnovne (*main*) Pro/Desktop klase, za pristup modelskim datotekama i datotekama sa crtežima. Drugom grupom su obuhvaćene geometrijske (*geometric*) i pomoćne (*utility*) klase, koje omogućuju manipulaciju geometrijskim elementima i pristup širokom skupu klasa za podršku matematičkim operacijama (vektori, matrice transformacije, itd.)



Slika 1 Objektna hijerarhija Pro/Desktop API-a

Na Slici 2. prikazana je hijerarhijska struktura Pro/Desktop API objekata koji su direktno korišćeni za generisanje sadržaja metadatoteke sa podacima o geometriji Pro/Desktop modela.

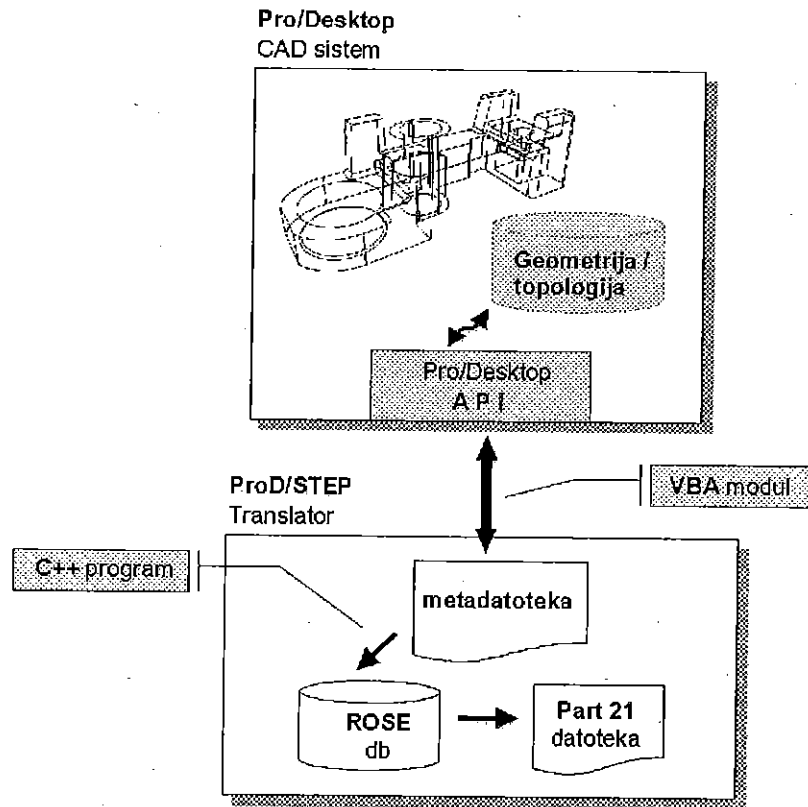


Slika 2. Hijerarhija klasa Pro/Desktop API-a koje su korišćene u razvoju translatora

3.0 KONCEPCIJA ProD/STEP TRANSLATORA

Kako je u uvodu napomenuto, koncepcija ProD/STEP translatora jednim delom bazira na mogućnostima Pro/Desktop API-a, dok se, s druge strane, oslanja na softversko okruženje ST-Developer, koje omogućuje značajnu uštedu u vremenu kada je u pitanju rad sa EXPRESS informacionim modelima.

Na Slici 3. prikazane su osnovne komponente ovog translatora.



Slika 3. Šema osnovnih komponenti jednosmernog ProD/STEP translatora

3.1 Faze realizacije translatora

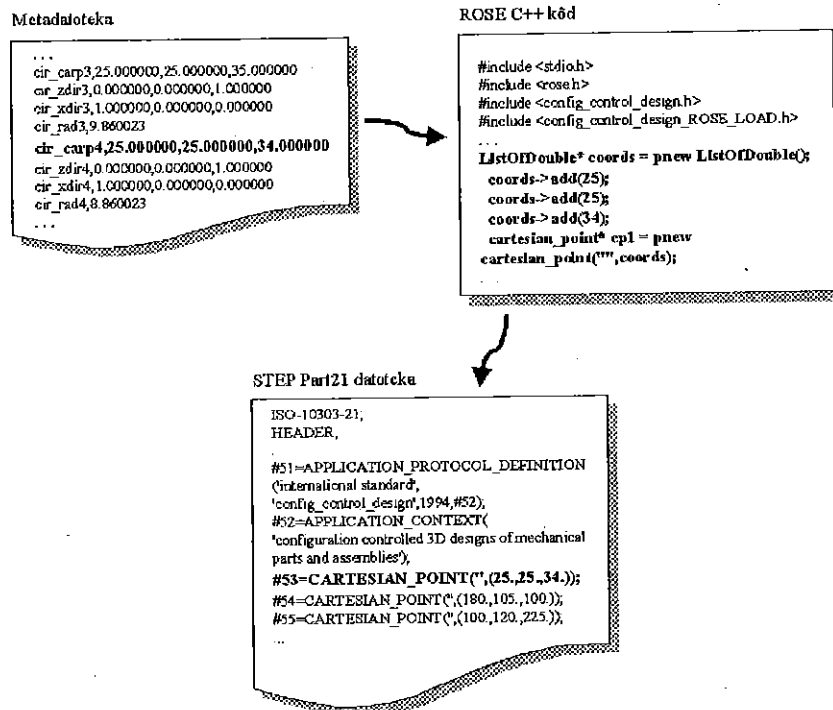
U prvoj fazi programske realizacije ProD/STEP translatora iskorišten je VBA (*Visual Basic for Applications*), kao razvojno okruženje koje je integrisano u Pro/Desktop sistem. VBA modul pri tom treba da omogući obavljanje sledećih operacija: Uspostavljanje veze sa otvorenom Pro/Desktop modelskom datotekom (*design file*) čitanje Pro/Desktop modela i selekcija neophodnih tipova geometrijskih/topoloških primitiva sa neophodnim atributima (na osnovu tabele mapiranja). Zapisivanje selektovanih primitiva sa atributima, u ASCII metadatoteku.

Izlazni rezultat predstavlja metadatoteka u kojoj su zapisani svi neophodni geometrijski entiteti, sa relevantnim atributima.

U okviru druge faze (Slika 3.), C++ program treba da omogući sledeće:

- Učitavanje podataka iz metadatoteke i generisanje STEP objekata iz AP203.
- Zapisivanje STEP objekata u ROSE bazu podataka.
- Konverziju ROSE baze podataka u STEP Part21 datoteku za razmenu.

Slika 4. ilustruje navedene korake na primeru tačke (*cartesian_point*), kao geometrijskog primitiva.



Slika 4. Ilustracija faza u translaciji podataka iz matičnog formata u format STEP Part21

4.0 APLIKACIONI PROTOKOL AP203 I FORMIRANJE TABELE MAPIRANJA ProDesktop/AP203

4.1 Aplikacioni protokol AP203

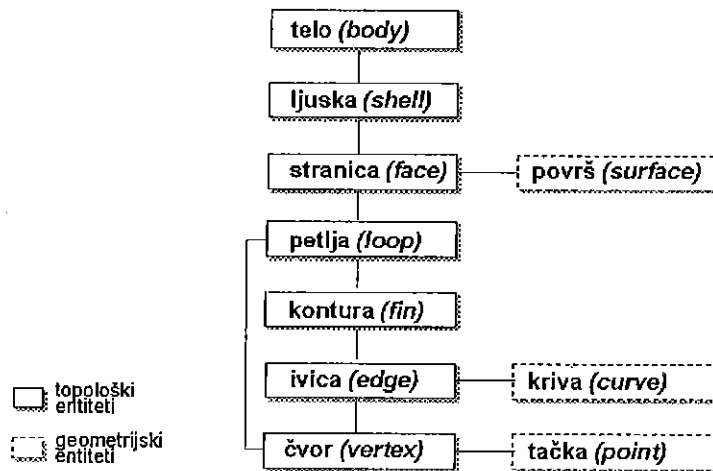
Okosnicu STEP standarda čine *aplikacioni protokoli (Application Protocols)*, bez kojih nije moguća implementacija STEP-a u praksi. Aplikacioni protokol *AP203 (Configuration Controlled 3D Designs of Mechanical Parts and Assemblies)* ima status zvaničnog ISO standarda i definiše razmenu podataka o trodimenzionalnim modelima mašinskih delova i sklopova, kao i podatke o identifikaciji i konfiguraciji proizvoda u fazi projektovanja. Klase konformnosti AP203 protokola omogućuju razmenu šest različitih tipova modela, koji su navedeni u Tabeli 1.

Oznaka klase	Naziv klase
CCL 1	Upravljanje konfiguracijom proizvoda bez informacija o obliku (<i>Configuration control without topology</i>)
CCL 2	CCL 1 + žičani i/ili površinski modeli opisani geometrijom (<i>Geometrically bounded wireframe and surface</i>)
CCL 3	CCL 1 + žičani modeli sa topologijom (<i>Wireframe with topology</i>)
CCL 4	CCL 1 + Površinski model sa topologijom (<i>Manifold surface with topology</i>)
CCL 5	CCL 1 + Slobodni model granične prezentacije (<i>Faceted boundary representation</i>)
CCL 6	CCL 1 + Model granične prezentacije (<i>Advanced boundary representation</i>)

Tabela 1. Klase konformnosti za aplikacioni protokol AP-203 Š3C

4.2 Problem translacije topologije

Pro/Desktop model bazira na *Parasolid (Unigraphics)* geometrijskom modeleru, i zasniva se na hijerarhijskom tipu organizacije. Na vrhu hijerarhije se nalazi osnovni topološki entitet *telo (body)*, koji sadrži jedan ili više entiteta tipa *ljuska (shell)*. Hijerarhijska struktura je realizovana po istoj logici sve do čvora (*vertex*), kao najnižeg entiteta u topološkoj hijerarhiji (Slika 5). Svaki topološki primitiv tipa *stranica, ivica* i *čvor*, može sadržati samo jedan geometrijski entitet tipa *površ, kriva* i *tačka*. Imajući u vidu ograničenja koja nameće primena *Klase konformnosti 2* (Tabela 1), u procesu translacije neophodno je registrovati sve pojave topoloških primitiva *stranica, ivica* i *čvor*, da bi se izvršilo prevodjenje geometrijskih entiteta *površ, kriva* i *tačka* u odgovarajuće STEP entitete.



Slika 5. Hijerarhija topološko-geometrijskog modela Pro/Desktop

4.3 Problem translacije geometrije

Uopšteno posmatrajući, Pro/Desktop i STEP u domenu proste geometrije koriste podudarne tipove entiteta i koriste slične metode za njihovo definisanje. S tim u vezi, treba razmotriti postojeće sličnosti i razlike u pogledu definisanja *tačaka, krivih* i *površi*.

Tačke (Points)

Iako STEP definiše tri tipa tačaka, Pro/Desktop koristi samo tačku u Dekartovom koordinatnom sistemu (*cartesian_point*).

Krive (Curves)

Iz skupa tipova krivih koje definiše STEP – *duž (line)*, *krive koničnog preseka (circle, ellipse, parabola, hyperbola)*, 4 tipa *interpolacijskih krivih (bounded_curve)*, 4 tipa *krive na površi (curve_on_surface)*, i 2 tipa *distantne krive (offset_curve)* – ProD/STEP translator podržava tri tipa: *line, circle* i *ellipse*.

Površi (Surfaces)

ProD/STEP podržava sve tipove elementarnih površi: ravan (*plane*), cilindar (*cylinder*), konus (*cone*), sferu (*sphere*) i torus (*torus*). Pored toga, STEP definiše i *profilisanu površ (swept_surface)*, interpoliranu površ (*bounded_surface*) i distantnu površ (*offset_surface*).

Dopunski geometrijski entiteti

Pored topoloških i geometrijskih entiteta do kojih se dolazi direktnom analizom Pro/Desktop modela, potrebno je generisati i dopunske entitete koji su neophodni za kompletan opis modela na osnovu AP203 CCL2. Pre svega se misli na entitet za definisanje lokalnog koordinatnog sistema (*axis2_placement_3d*), kao i na geometrijske entitete *trimmed_curve* i *geometric_curve_set*.

4.4 Tabela mapiranja entiteta

Uvažavajući činjenice iznete u okviru Tačaka 4.1, 4.2 i 4.3, moguće je formirati tabelu mapiranja entiteta iz matičnog formata Pro/Desktop topološko-geometrijskog modela, u

model STEP AP203 CCL2. Tabela mapiranja prikazana je kao Tabela 2.

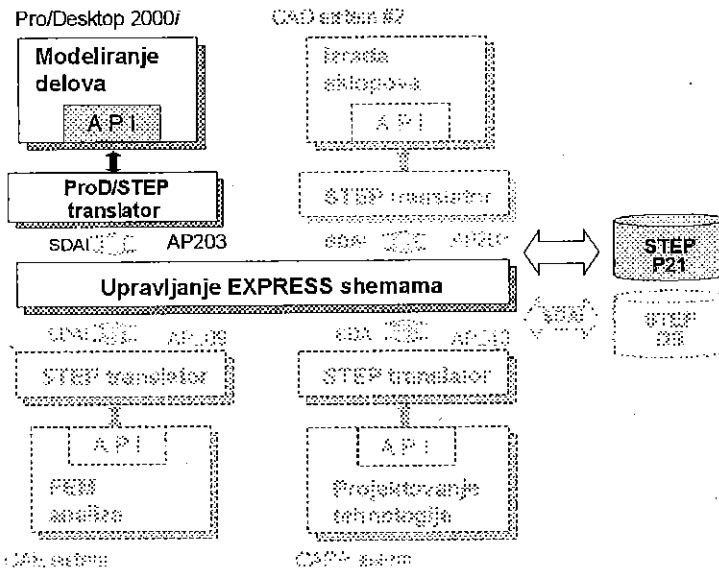
Pro/Desktop klasa	STEP geometrijski entitet
circle (<i>kružnica</i>)	ENTITY circle
cone (<i>konus</i>)	ENTITY conical surface
cylinder (<i>cilindar</i>)	ENTITY cylindrical surface
direction (<i>pravac</i>)	ENTITY axis2_placement_3d
ellipse (<i>elipsa</i>)	ENTITY ellipse
plane (<i>ravan</i>)	ENTITY plane
sphere (<i>sfera</i>)	ENTITY spherical surface
straight (<i>duž</i>)	ENTITY line
torus (<i>torus</i>)	ENTITY toroidal surface
vector (<i>vektor</i>)	ENTITY cartesian point

Tabela 2. Mapiranje ProDesktop klasa u STEP entitete

Brojni parametri kojima su precizno definisani navedeni entiteti (npr. centar ili radijus kružnice, radijus baze cilindra, itd.) sadržani su u metadatoteci i u drugoj fazi se, kao *atributi*, dodeljuju STEP objektima, na osnovu EXPRESS sheme za AP203.

5. ProD/STEP TRANSLATOR U KONTEKSTU EKSPERIMENTALNOG SISTEMA ZA SIMULTANO PROJEKTOVANJE

Kako je u uvodu napomenuto, po završetku programske realizacije, ProD/STEP translator treba da omogući integraciju Pro/Desktop 2000i sistema u eksperimentalni sistem za simultano projektovanje (*ESSP*)(Slika 6).



Slika 6. ProD/STEP translator u kontekstu modela eksperimentalnog sistema za simultano projektovanje

Kao komponenta ESSP, ovaj CAD sistem treba da preuzme ulogu sistema za razradu koncepcije i opšte projektovanje mašinskih delova, dok bi komunikaciju sa ostalim komponentama sistema ostvarivao preko STEP integrisanog modela proizvoda. U prvoj fazi razvoja celokupnog sistema, komunikacija izmedju komponenata sistema odvijala bi se na nivou razmene *Part21* datoteka (Nivoi STEP implementacije 1 i 2), dok bi, razvojem neophodnih programskih rešenja za integraciju, u drugoj fazi bila omogućena komunikacija

preko zajedničke baze podataka o proizvodu (Nivo STEP implementacije 3), u kojoj bi bio smešten integrisani STEP model proizvoda.

6.0 ZAVRŠNI OSVRT

Savremeni CAx sistemi danas omogućuju programsku nadgradnju primenom viših programskih jezika, pri čemu je, korišćenjem biblioteke standardnih sistemskih funkcija moguće dobiti sve neophodne informacije o topološko-geometrijskom modelu. Konceptija razvoja STEP translatora predstavljena u ovom radu, bazira na praktičnim mogućnostima nadgradnje osnovne funkcionalnosti CAD sistema Pro/Desktop 2000i, kao tipičnog predstavnika sistema najnovije generacije, u cilju gradnje jednosmernog STEP translatora.

Sa stanovišta manipulacije EXPRESS shemama i STEP objektima, iskorištene su prednosti komercijalnog razvojnog okruženja ST-Developer 7, pri čemu informacionu osnovu za razvoj translatora čini međunarodni standard ISO10303-203.

Konceptija eksperimentalnog sistema za simultano projektovanje, koja je sažeto predstavljena u radu, pruža osnovu za postupni razvoj i detaljnu razradu ostalih komponenata sistema. Razvoj budućih rešenja za testiranje i usavršavanje ovog sistema, i dalje će se bazirati na integrisanom STEP modelu proizvoda, što uslovljava ovladavanje i usavršavanje u domenu brojnih informacionih tehnologija i standarda iz ove oblasti.

7.0 LITERATURA

- [1] Fowler, J.: STEP for Data Management, Exchange and Sharing, Technology Appraisals Ltd. , 1996,, <http://www.techapps.co.uk/step.html>
- [2] Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 42: Integrated Resources: Geometric and Topological Representation, ISO 10303-42:1994 (E), ISO, Geneva, 1994
- [3] Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 203: Application Protocol: Configuration Controlled Design, ISO 10303-203:1994 (E), ISO, Geneva, 1994
- [4] Kramer, T.R.: Extracting STEP Geometry and Topology from a Solid Modeler: Parasolid-to-STEP, NISTIR 4577, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1991
- [5] ROSE Library Tutorial manual, STEP Tools, Inc., Ranssaelaer Technology Park, Troy, New York, 1999
- [6] STEP Application Handbook, Ramp Program Document OCR2017001-0, SCRA, June, 2000

Summary

Efficient exploitation of concurrent design systems requires product data exchange and sharing. Beside proprietary solutions, modern CAD systems allow the data exchange problem to be solved using Application Programming Interface - API. This paper presents a concept of unidirectional STEP translator for Pro/Desktop 2000i CAD system. Advantages of API were used to facilitate integration of this CAD system into a STEP-based experimental system for concurrent design.

TEHNOLOŠKI MODULI PO PRINCIPIMA EKSPERTNIH SISTEMA U SAPOR-S SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NC MAŠINA ALATKI¹

Zeljковић, Ž., Gatalo, R., Zeljković, M.²

Rezim e

Na Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu intenzivno se radi na usavršavanju SAPOR-S sistema za automatizovano projektovanje upravljačkih informacija za numerički upravljane mašine za obradu struganjem. Na polju daljeg usavršavanja SAPOR-S sistema značajno mesto zauzimaju istraživanja koja se odnose na usavršavanje modula za projektovanje tehnoloških procesa po principima ekspertnih sistema (ES).

U radu se daje prikaz modela ES SAPOR-S sistema u kome su moduli za projektovanje tehnološkog toka (TEHTOK), operacionog postupka (OPPOST), izbor alata (ALAT), izbor mašine (MASIN) i aktuelizacija alata (ALAT2) realizovani po principima gradnje ES primenom jedinstvene ljuske ES. Osnovu čini baza znanja koja sadrži hijerarhijski organizovana znanja, predstavljena u vidu IF-THEN pravila. Za svaki modul se učitava potrebna baza znanja koja sadrži kako deklarativno znanje (činjenice i pravila) tako i proceduralno, potrebno za rešavanje konkretnog zadatka. Programska rešenja modula baziraju sa jedne strane na korišćenju baza ekspertskih ocena, a sa druge strane na eksplicitnom odlučivanju na osnovu literaturnih znanja i činjenica. Rezultati koji se dobijaju arhiviraju se u eksternim datotekama radi njihovog daljeg korišćenja kako od ostalih modula ES SAPOR-S sistema tako i za rad modula koji su realizovani klasičnim programskim tehnikama.

1.0 UVOD

Rad ima za cilj da se prikaže stanje u istraživanjima koja se odnose na usavršavanje modula SAPOR-S sistema koja se odnose na projektovanje tehnoloških procesa po principima ekspertnih sistema (ES).

SAPOR-S sistem je u potpunosti tehnološki orijentisan i kao takav omogućava projektovanje detaljnog tehnološkog procesa (operacije obrade, izbor mašine, izbor alata, optimizacija parametara rezanja), generisanje putanje alata i upravljačkih informacija za NC mašine alatke.

Osnovna koncepcija familije SAPOR sistema za automatizovano projektovanje oslanja se na jedinstveni pristup u projektovanju tehnološkog procesa obrade za numerički upravljane i konvencionalne mašine alatke. Pri tome je koncepcija prvenstveno usmerena na

¹ Rad je rezultat istraživanja na projektu "Istraživanje i osvajanje metoda, tehnologija i sredstava u cilju razvoja fabrika budućnosti i obezbeđenja tehnološke nezavisnosti i konkurentnosti u mašinogradnji (11E08PT)"

² Gatalo dr Ratko, red. prof., Zeljković dr Milan, docent, Zeljković Željko, str. saradnik
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V. Perića Valtera br. 2,
Tel.(021) 450-366, Fax (021) 54-495
E-mail: zeljkoz@uns.ns.ac.yu, gatalora@uns.ns.ac.yu

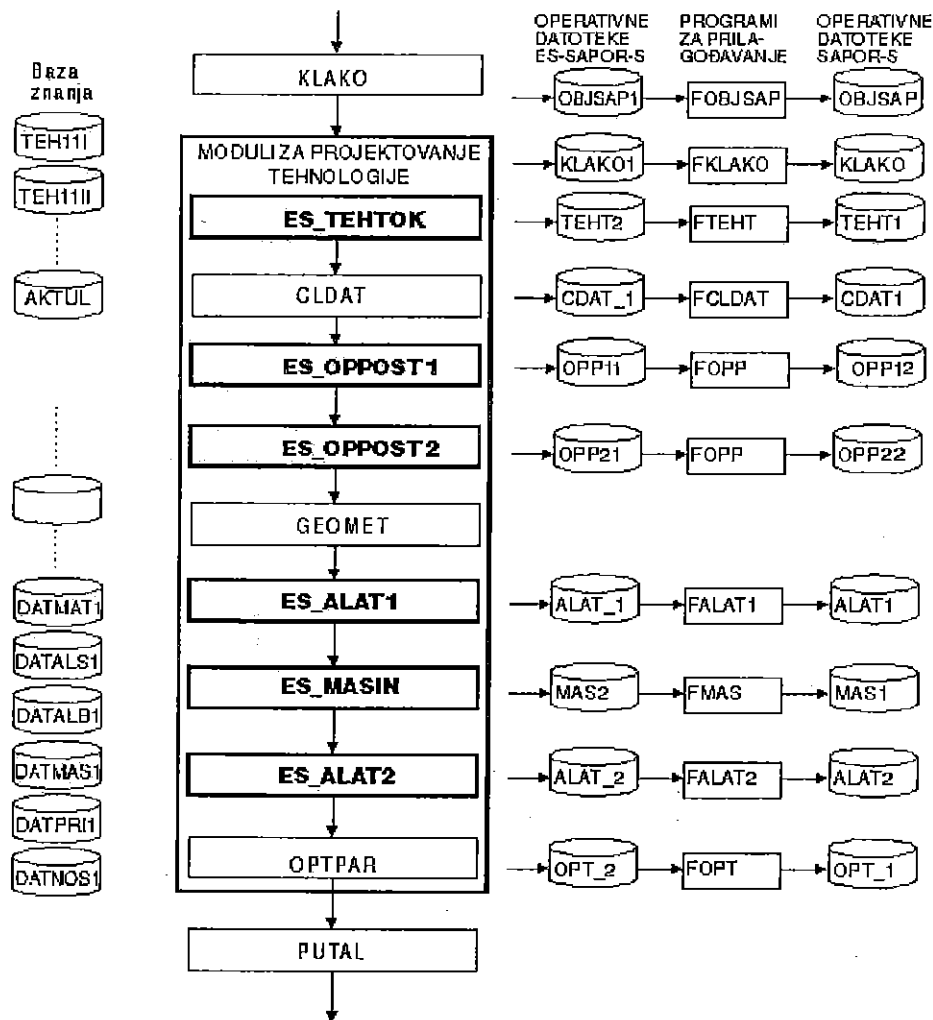
rotacione delove kao najčešće prisutne delove u proizvodnji.

Primenom metoda programiranja zasnovanim na krutim algoritamskim rešenjima razvijeno je pet verzija SAPOR-S sistema od "osnovne" do "usavršene" u periodu od 1980. do 1987. godine. U poslednje vreme značajni naponi su usmereni na razvoj SAPOR-S sistema po principima gradnje ekspertnih sistema [1], [2], [3].

2.0 KONCEPCIJA ES SAPOR-S SISTEMA

Dosadašnja rešenja modula za projektovanje tehnološkog procesa su bazirana na krutim algoritamskim rešenjima pa je za cilj postavljen zadatak da se ovi moduli razviju po principima gradnje ekspertnih sistema.

Rezultat analize dosadašnjeg modela SAPOR-S sistema i analize razvijenih rešenja CAPP sistema na bazi ekspertnih sistema je definisanje koncepcija novog rešenja modela ES SAPOR-S sistema (slika 1).



Sl. 1 Model ES SAPOR-S sistema [3]

Osnovna odlika predloženog novog rešenja tehnoloških modula je da su oni deo integralnog SAPOR-S sistema. Kao ulazni podaci u novim rešenjima modula koriste se izlazni rezultati iz prethodnih modula, dok se njihovi izlazni rezultati koriste u narednim modulima SAPOR-S sistema.

Globalna koncepcija modula, koju čine: baza znanja, mehanizam zaključivanja i sprega sa korisnikom, realizovana je u programskom jeziku LPA PROLOG, firme Logic

Programming Associates Ltd iz Londona.

Pored toga bitna odlika novih rešenja tehnoloških modula je da baziraju na jedinstvenoj ljusci ES-SAPOR-S sistema koju čine:

- univerzalne procedure za učitavanje i proveru ulaznih podataka iz prethodnih modula
- univerzalne procedure za rad sa pravilima (mehanizam zaključivanja)
- univerzalna metodologija predstavljanja znanja u vidu činjenica i pravila
- univerzalna metodologija vrednovanja valjanosti pojedinih rešenja na bazi ocene eksperata
- univerzalna metodologija za prikaz izlaznih rezultata.

Osnovu novog rešenja čini baza znanja koja sadrži hijerarhijski organizovana znanja, predstavljena u vidu IF-THEN pravila i činjenica. Na najvišem nivou je tzv. meta znanje koje služi za upravljanje radom ES SAPOR-S sistema sa aspekta izbora modula koji će raditi.

Nakon izbora modula koji se treba izvršiti, interaktivno od strane korisnika, za svaki modul se učitava potrebna baza znanja koja sadrži kako deklarativno znanje (činjenice i pravila) tako i proceduralno, potrebno za rešavanje konkretnog zadatka.

Rezultati koji se dobijaju arhiviraju se u eksternim datotekama radi njihovog daljeg korišćenja kako od ostalih modula ES SAPOR-S sistema tako i za rad modula koji su realizovani klasičnim programskim tehnikama.

2.1 Metodologija vrednovanja valjanosti pojedinih rešenja u ES SAPOR-S sistemu

Nova rešenja tehnoloških modula zbog aspekta problema koji se u njima rešavaju zahtevaju mnoga ekspertska znanja koja su u sistemu predstavljena u vidu činjenica i pravila. U svemu tome nedostajao je način kako da postojeća rešenja, kojih u osnovi uvek ima više, vrednovati da bi se izbor sveo na najbolje rešenje.

U tom cilju je izvršena detaljna analiza metodologija vrednovanja. Rezultat te analize je izbor jedinstvene metodologije koja će se primenjivati u svim tehnološkim modulima, a koja se zasniva na metodi analize vrednosti i ocene eksperata. Za svaki modul definisani su parametri za ocenu kao i težinski koeficijenti uticaja pojedinih parametara u ukupnoj zbirnoj oceni, a koja se dobija kao suma proizvoda ocena po pojedinim parametrima sa odgovarajućim težinskim koeficijentom. Da bi se izvršilo ocenjivanje pored utvrđivanja parametara za vrednovanje postavljeni su i kriterijumi - karakteristike na bazi kojim se neko rešenje ocenjuje, tj. na taj način se vrednuju varijante primene nekog rešenja. Pri tome se uvek vodi računa o jedinstvenom prilazu u metodologiji vrednovanja za koju su u bazi znanja na jedinstven način predstavljena znanja kako o oceni valjanosti pojedinih rešenja tako i o iznosu težinskih koeficijenata. Na taj način je omogućeno da se baza znanja veoma jednostavno može dopuniti novim rešenjima, ili promena postojećih, bez da se vrši bilo kakva izmena u programskom rešenju ljuske ES SAPOR-S sistema.

Parametri uzeti za vrednovanje su:

- tačnost
- proizvodnost
- ekonomičnost i
- opšti utisak.

Kriterijumi za razvrstavanje su

- tip izradka
- stepen tehnološke složenosti
- vid proizvodnje
- klasa mašine alatke
- tip zahvata

Metodologija bazira na ocenjivanju-vrednovanju valjanosti rešenja od strane više eksperata po unapred utvrđenim kriterijumima ocenjivanja. Na bazi popunjenih obrazaca vrši se obrada - analiza ocena i za svaku ocenu, po svakom utvrđenom parametru, formira se 'zbirna ocena'.

Zbirne ocene se u vidu činjenica unose u bazu znanja. One se kasnije koriste od strane ES SAPOR-S sistema za određivanje valjanosti nekog rešenja za zadate uslove primene. Postupak dobijanja najboljeg rešenja svodi se prvo na izbor svih mogućih rešenja koja zadovoljavaju zadate uslove. Nakon toga se vrši određivanje - učitavanje ocena valjanosti i formiranje zbirne ocene za svako rešenje. Rešenja se rangiraju po zbirnoj oceni i rešenje koje ima najveću zbirnu ocenu se predlaže kao najbolje za zadate uslove. Na slici 2 dat je prikaz

jednog obrasca za vrednovanje za slučaj modula ES TEHTOK.

			OCENA EKSPERATA							
			Vrednovaje TIPSKOG TEHNOLOŠKOG TOKA							
Tip izradka	Stepen tehnološke složenosti	Vid proizvodnje	Tačnost		Proizvodnost		Ekonomičnost		Opšta ocena	
			$g_1 = 0,40$		$g_1 = 0,20$		$g_1 = 0,20$		$g_4 = 0,20$	
			Ocena p_1	$p_1 \cdot g_1$	Ocena p_2	$p_1 \cdot g_2$	Ocena p_3	$p_3 \cdot g_3$	Ocena p_4	$p_4 \cdot g_4$
Delovi tipa diska	S ₁	P	9	0,36	9	0,18	9	0,18	9	0,18
		M	9	0,36	9	0,18	9	0,18	9	0,18
		K	9	0,36	9	0,18	9	0,18	9	0,18
	S ₂	P	7	0,28	7	0,14	6	0,12	7	0,14
		M	8	0,32	8	0,16	7	0,14	8	0,16
		K	9	0,36	9	0,18	8	0,16	9	0,18
	S ₃	P	6	0,24	6	0,12	4	0,08	5	0,10
		M	7	0,28	5	0,10	5	0,10	5	0,10
		K	8	0,32	3	0,06	6	0,12	6	0,12
	S ₄	P	5	0,20	3	0,06	2	0,04	4	0,08
		M	6	0,24	3	0,06	3	0,06	4	0,08
		K	7	0,28	2	0,04	4	0,08	5	0,10
S ₅	P	4	0,16	3	0,06	1	0,02	3	0,06	
	M	5	0,20	2	0,04	2	0,04	3	0,06	
	K	6	0,24	1	0,02	3	0,06	4	0,08	

Slika 2 Primer popunjenog obrasca za vrednovanje za modul ES TEHTOK[3]

3.0 NOVA REŠENJA TEHNOLOŠKIH MODULA ES-SAPOR-S SISTEMA

Polazeći od koncepcije dosadašnjih rešenja modula u okviru SAPOR-S sistema postavljene su strukture novih rešenja modula po principima gradnje ekspertnih sistema. U nastavku se daje kratak opis namene tehnoloških modula ES-SAPOR-S sistema.

3.1 Modul ES TEHTOK

Modul ES TEHTOK je namenjen za definisanje osnovnog tehnološkog toka, a baziran je na izboru najboljeg kompleksnog tehnološkog postupka. Kompleksni tehnološki postupci su formirani za uže grupe delova prema tipu izradka:

- delove tipa diska $l/d \leq 0,5$
- dugačka vratila $l/d \text{ je } 3 \div 10$
- delove tipa vratila $l/d \text{ je } 0,5 \div 3$
- vitka vratila $l/d > 10$

Pri formiranju ocena valjanosti tehnološkog postupka iste su formirane za delove razvrstane ne samo po tipu izradka već i prema stepenu tehnološke složenosti i vidu proizvodnje. Za tako razvrstane varijante i uslove primene tipskog tehnološkog postupka izvršeno je njihovo vrednovanje od strane eksperata po prethodno prikazanoj jedinstvenoj metodologiji vrednovanja.

Nakon izbora najboljeg tipskog tehnološkog postupka pristupa se aktuelizaciji operacija za konkretan deo.

3.2 Modul ES OPPOST1

Modul ES OPPOST1 - definisanje redosleda podoperacija unutar operacija struganja za prethodno definisan tehnološki postupak. S obzirom na to da je realno moguće postaviti dva redosleda izvođenja podoperacija u ovom modulu se izbor bazira na eksplicitnom odlučivanju za jedan od njih, primenom odgovarajućih pravila.

3.3 Modul ES OPPOST2

Modul ES OPPOST2 - definisanje zahvata i grupa zahvata unutar podoperacija struganja. Rad modula se odvija u dve faze. U prvoj fazi se vrši određivanje najboljeg

tipičnog redosleda zahvata za podoperaciju struganja. Primenom usvojene metodologije vrednovanja bira se najbolje rešenje za konkretan slučaj primene. Nakon toga se na bazi pravila za aktuelizaciju zahvata vrši aktuelizacija zahvata.

Ocena valjanosti rešenja tipičnog redosleda zahvata unutar podoperacije struganja vrši se po jedinstveno utvrđenim kriterijumima - parametrima. Ocena se vrši za različite slučajeve primene koji su razvrstani prema tipu izradka, vidu proizvodnje i na bazi procene kompleksnosti površina izradka (da li je za obadu komplikovanija spoljašnja ili unutrašnja kontura).

3.4 Modul ES ALAT1

Modul ES ALAT1 - namenjen je za izbor alata za zahvate definisane u prethodnom modulu. Iz baze znanja o alatima za konkretan zahvat najpre se biraju svi mogući alati kojim se on može izvesti. Nakon toga se vrši vrednovanje izabranih alata po usvojenoj metodologiji i njihovo rangiranje po zbirnoj oceni.

Kod formiranja ocena za alate oni su razvrstani prema tipu zahvata.

3.5 Modul ES MASIN

Modul ES MASIN - namenjen je za izbor mašine za podoperacije obrade struganjem definisane u modulu ES OPPOST1.

Prva faza izbora mašina je bazirana na eksplicitnom odlučivanju u smislu izbora svih raspoloživih mašina iz baze znanja koje se mogu koristiti za obradu izradka. Kriterijum izbora je veličina radnog prostora mašine i potrebna snaga za glavno kretanje. U narednoj fazi se vrši vrednovanje mašina po utvrđenoj metodologiji i njihovo rangiranje po zbirnoj oceni. Kriterijumi za razvrstavanje mašina kod formiranja ocena su: tip izradka, stepen tehnološke složenosti i vid proizvodnje. Kao rezultat se dobija rangiran spisak mašina na kojima se može izvršiti konkretna podoperacija struganja.

3.6 Modul ES ALAT2

Modul ES ALAT2 - namenjen je za konačan izbor alata za zahvate unutar podoperacija struganja i za konkretnu mašinu na kojoj će se zahvat izvoditi.

Ulaz u modul je spisak alata koji je za svaki zahvat definisan u modulu ES ALAT1, s tim što im se u ovom modulu daje konačna ocena pogodnosti njihove primene po jedinstvenoj metodologiji vrednovanja.

Ocena je formirana po utvrđenim kriterijumima, a razvrstavanje varijanti primene alata urađeno je prema tipu zahvata i tipu - klasi mašine (laka, srednja i teška).

4.0 ZAVRŠNI OSVRT

U radu je dat prikaz modela ES SAPOR-S sistema i razvijenih modula za projektovanje tehnološkog procesa.

Kada se uporede novo razvijena i dosadašnjih rešenja tehnoloških modula u SAPOR-S sistemu može se zaključiti sledeće:

- nova rešenja su fleksibilnija u odnosu na dosadašnja jer je omogućena daleko jednostavnija dogradnja baze znanja promenom pravila, a da se pri tom ljuska ekspertnog sistema uopšte ne menja,
- metodologija projektovanja kod novih rešenja modula uključuje ekspertska znanja i ocene valjanosti pojedinih rešenja
- svi tehnološki moduli su razvijeni po jedinstvenoj metodologiji, primenjena je jedinstvena univerzalna ljuska ekspertnog sistema, jedinstven način predstavljanja znanja i njegovog korišćenja, jedinstvena metodologija vrednovanja rešenja

LITERATURA

- [1] ZELJKOVIĆ, Ž., GATALO, R., HODOLIĆ, J.: Prilog usavršavanju SAPOR-s sistema po principima gradnje ekspertnih sistema, 27. međunarodno savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Niš, 1998, CD-ROM

- [2] GATALO, R., ZELJKOVIĆ, Ž., ZELJKOVIĆ, M., HODOLIĆ, J.: Manufacturing Process Planning Based on the Principles of Expert System Building, within SAPOR-S System for Automated NC Programming, Advancement of Intelligent Production, JSPE Publication, Series No. 1, pp. 106-110, Elsevier Science B. V., Amsterdam, ... Tokyo, 1994.
- [3] ZELJKOVIĆ, Ž.: Prilog usavršavanju modula SAPOR-S sistema po principima gradnje ekspertnih sistema, magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, 2000. (radna verzija)
- [4] GATALO, R., HODOLIĆ, J.: Tendencije razvoja sistema za automatizovano programiranje NU mašina alatki, 25. Savetovanje prizvodnog mašinstva sa međunarodnim učešćem, Zbornik radova, 437-443, Beograd, 1994.
- [5] GATALO, R., HODOLIĆ, J., BOROJEV, LJ., ZELJKOVIĆ, M., KLARIĆ, R., ZELJKOVIĆ, Ž.: SAPOR-S sistem za automatizovano programiranje NU mašina i sistema, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo FTN, br. 10, Novi Sad, 1993.
- [6] ZELJKOVIĆ, Ž., GATALO, R., LUŽANIN, O., HODOLIĆ, J.: Prilog usavršavanju modula SAPOR-S sistema na principima gradnje ES, VI Međunarodna konferencija MMA'97 "FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE", Zbornik radova, 981-988, Novi Sad, 1997.
- [7] EVERSHEIM, W., SCHNEEWIND, J.: Computer - Aided Process Planning - State of the Art and Future Development, Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 10, No.1/2, pp.65-70, 1993.
- [8] SPASIĆ, Ž., HODOLIĆ, J., PILIPOVIĆ, M., STOILJKOVIĆ, V., ARSOVSKI, S.: Na putu ka inteligentnoj računarom integrisanoj proizvodnji, Naučna konferencija sa međunarodnim učešćem MAŠINSTVO za XXI vek, Monografija, str.753-772, Novi Sad, 1995.
- [9] ALTING, L., ZHANG, H.: Computer Aided Process Planning: the state-of-the-art survey, Int. J. Prod. Res., Vol. 27, No. 4, pp.553-585, 1989.
- [10] GAWLIK, E.: The analysis of methods for computer aided process planning, WEB Electronic Journal CA SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESS PLANNING, University of Zilina, Slovakia, Cracow University of Technology, Poland, 1998. (<http://fstroj.utc.sk/journal/engl/>)
- [11] DUDA, J., HABEL, J., POBOZNIAK, J.: Prototype of CAPP system based on expert system technology, WEB Electronic Journal CA SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESS PLANNING, University of Zilina, Slovakia, Cracow University of Technology, Poland, 1998. (<http://fstroj.utc.sk/journal/engl/>)
- [12] KURIC, I., JANAC, A.: Current approaches and trends in CAD/CAPP systems, WEB Electronic Journal CA SYSTEMS IN PRODUCTION PROCESS PLANNING, University of Zilina, Slovakia, Cracow University of Technology, Poland, 1998. (<http://fstroj.utc.sk/journal/engl/>)
- [13] JAIN, P. K., MEHTA, N. K., PANDE, P. C.: Automatic cut planning in an operative process planning system, B03196 IMechE 1998, Proc Instn Mech Engrs Vol 212 Part B, pp.129-140
- [14] MCMAHON, C. A., COX, D. R., SIMS WILLIAMS, J. H., SCOTT, J. A.: Representation and reasoning in computer aided process planning, B03196 IMechE 1997, Proc Instn Mech Engrs Vol 211 Part B, pp. 473-485

AI BASED TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN SAPOR-S SYSTEM FOR AUTOMATED NC MACHINE TOOL PROGRAMMING

At the Institute for production Engineering of the Faculty of Engineering in Novi Sad, there is an extensive work on improvement of SAPOR-S system for automated programming and process planning for numerically controlled lathes. Special emphasis is placed on further improvement of AI-based modules for process planning.

This paper reviews the model of SAPOR-S system, whose modules for process planning (TEHTOK), operation sequence (OPPOST), tool selection (TOOL), machine tool selection (MASIN) and tool actualization (ALAT2) are based on expert system with integral ES shell. The pivotal component is the knowledge base which contains hierarchically organized knowledge in the form of IF-THEN rules. For each module, an appropriate knowledge base is called up, containing declarative knowledge (facts and rules), as well as the procedural knowledge which is used for solving the task in hand. Modules are based on the use of both expert evaluation database and explicit decision-making based on references and facts. The results thus obtained are archived for further use by other ES SAPOR-S modules, as well as for use by conventional, non-ES modules.

KONCEPTUALNI OKVIR PRIMENE FAZI SKUPOVA I NEURONSKIH MREŽA U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJE OMR¹

Dr Goran Devedžić², Zoran Stošić³, dipl.ing.

Rezime

U radu je predstavljen deo preliminarnih rezultata vezanih za definisanje konceptualnog okvira primene soft computing tehnologija u sistemima za projektovanje tehnologije obrade metala rezanjem (OMR). Potreba za definisanjem nove arhitekture CAPP sistema potaknuta je savremenim proizvodnim trendovima, kao i razvojem informacionih tehnologija. Suština pristupa ogleda se u nadgradnji postojećih sistema modulima za rad sa nepotpunim, nepreciznim i neizvesnim podacima, aproksimativno rezonovanje, učenje, adaptaciju i optimizaciju. U ovoj fazi razvoja nove arhitekture CAPP sistema u tu svrhu su primenjeni fazi sistemi i neuronske mreže.

1. UVOD

Razvoj sistema za projektovanje tehnologije pomoću računara (Computer Aided Process Planning - CAPP) u protekle dve decenije doveo je do definisanja široko prihvaćene metodologije. Ona obuhvata najveći broj komponentnih funkcija, od izbora i određivanja metoda obrade, mašina, operacija, alata i režima, do optimizacije putanja alata, generisanja NC koda, proračuna ekonomskih parametara i sl. [2, 15, 11]. Takvi sistemi su, u najvećem broju slučajeva, zasnovani na primeni tehnologije ekspertnih sistema, iako se u literaturi mogu naći i drugi pristupi koji se primenjuju, kao i druge tehnike veštačke inteligencije i, šire, inteligentnih informacionih tehnologija [15, 7, 12, 10, 16].

Iako su mnogi problemi koji su se javljali u razvoju CAPP sistema rešeni na zadovoljavajući način, još uvek postoji jedan broj problema koji su predstavljali i dalje predstavljaju usko grlo ovih sistema. To se, u prvom redu, odnosi na modeliranje i rad sa nepreciznim, nepotpunim i nepouzdanim podacima, kao i na učenje, adaptaciju i optimizaciju (visoko) nelinearnih problema u oblasti projektovanja tehnologije OMR [15, 7, 2]. Ovi problemi su ponovo dobili na značaju pojavom i razvojem teorija i koncepata koji dozvoljavaju njihovo daleko efikasnije modeliranje, a objedinjeni su u okviru tzv. *soft computing* metoda (fazi sistemi, neuronske mreže, genetski algoritmi, probablističko rezonovanje, ...). Pri tome, treba napomenuti da je intenzivni razvoj informatičkih i matematičkih disciplina otvorio i nove probleme u ovoj oblasti, kao na primer, distribuirano projektovanje tehnologije, projektovanje tehnologije u virtuelnom ambijentu, itd. Sve ovo implicira razvoj otvorene (referentne) arhitekture ovakvih sistema koja danas još uvek ne postoji, a za kojom je u akademskom i industrijskom okruženju iskazana potreba.

Poseban napredak u automatizaciji postupaka odlučivanja u projektovanju tehnologije učinjen je tokom 90-tih godina kroz primenu fazi sistema i neuronskih mreža [1, 10, 16, 15, 7, 19, 18, 3, 11]. Rezultat primene ovih tehnologija ogledaju se, pre svega, kroz fleksibilniji

¹ Projekat MNIT Republike Srbije 11M04

² Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, e-mail: gorand@knez.uis.kg.ac.yu

³ DD Zastava Automobili, Fabrika "Mehanička obrada", 34000 Kragujevac, e-mail: zorans7@hotmail.com

pouzdaniji rad CAPP sistema. Pri tome, njihovi osnovni elementi su uglavnom ostali nepromenjeni, a nadgradnja je učinjena kroz relaksaciju sistemskih ograničenja, učenje i adaptaciju. Drugim rečima, klasični ekspertni CAPP sistemi se mogu nadgraditi algoritmima za aproksimativno rezonovanje, adekvatnim fazi bazama znanja i sistemom neuronskih mreža različitih namena da bi se postigla bolja efikasnost i sveukupne performanse. Tradicionalni pristupi na taj način postaju mnogo funkcionalniji i generalniji.

Osnovna ideja istraživanja, čije preliminarne rezultate iznosimo u ovom radu, sadržana je u korišćenju raznih vrsta neizvesnosti koje se javljaju tokom procesa projektovanja tehnologije OMR kao prednost, odnosno kao pogonsku snagu, umesto pretvarajući ih u izvesnosti i precizne, diskretne vrednosti. U tom cilju je već razvijen veći deo modela i algoritama [4-6, 14]. Takođe, jedan od bitnih nedostataka većine CAPP sistema izloženih u literaturi vezan je za (ne)sposobnosti adaptacije i učenja, koje takođe predstavljaju prirodne procese, pa samim tim i neophodnost kod CAPP sistema. Uvođenjem modula zasnovanih na primeni neuronskih mreža stiču se uslovi za uspešnije rešavanje jednog dela problema vezanih za projektovanje tehnologije OMR, nezavisno od kadrovske potencijala okruženja u kome se sistem koristi.

U radu je predstavljena struktura nadgrađenog ekspertnog sistema za projektovanje tehnologije OMR i u kratkim crtama opisani svi fazi i neuro moduli. Ovakva struktura reprezentuje konceptualni okvir primene savremenih matematičko-informatičkih tehnologija za rešavanje nekih od ključnih problema CAPP sistema. Na kraju su date smernice daljeg razvoja nove otvorene arhitekture CAPP sistema.

2. MOTIVACIJA

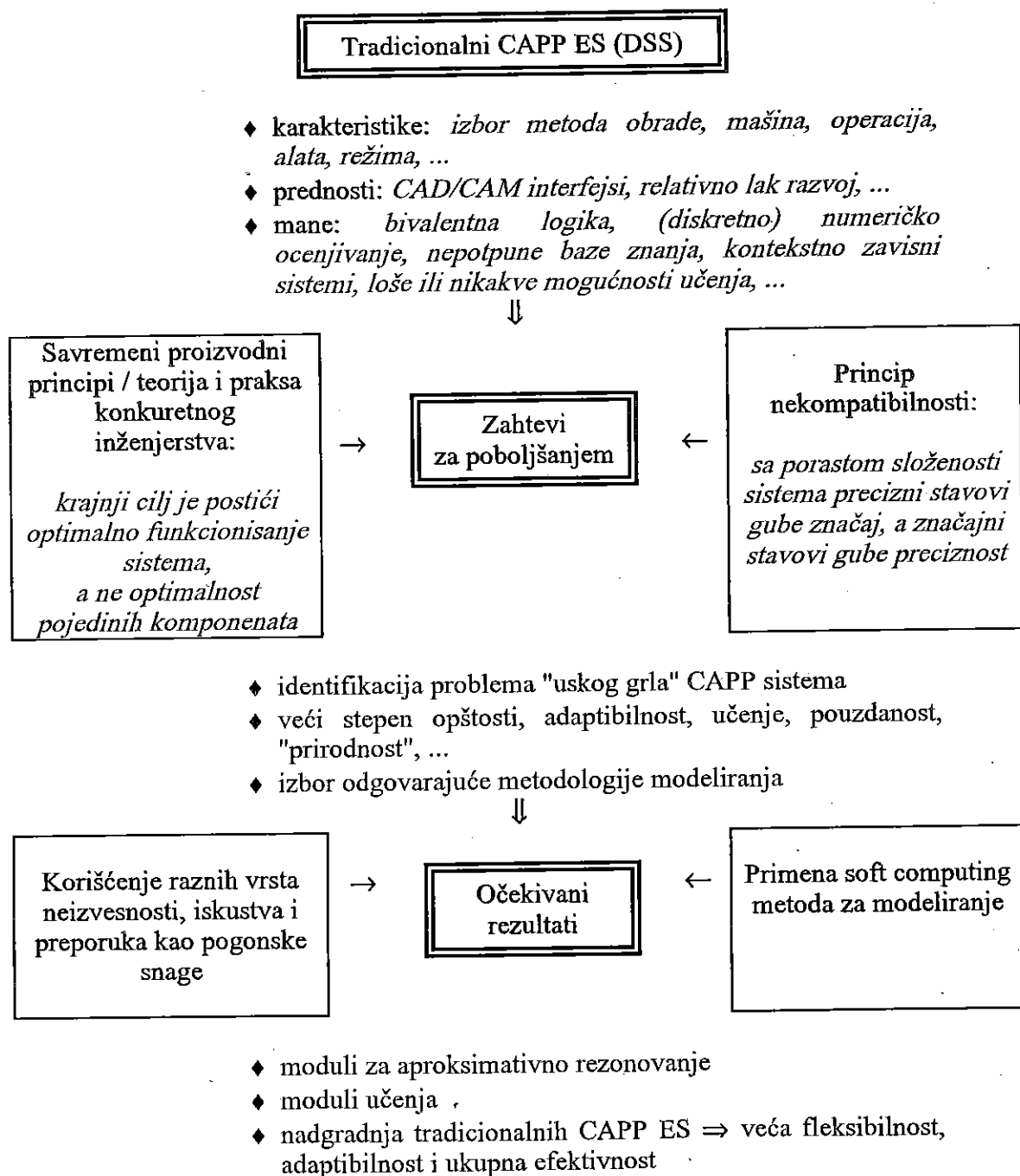
Pri projektovanju tehnologije koriste se, kako kvantitativni, tako i kvalitativni podaci i informacije. Veliki deo tih podataka i informacija je iskustvenog karaktera ili predstavljaju manje ili više opšte preporuke. Stoga se donošenje odgovarajućih odluka tokom ovog procesa često odvija na osnovu nepotpunog znanja vezanog za razne segmente (veoma) složenog obradnog i proizvodnog sistema. Sa druge strane, preciznost i jednoznačnost u ovoj oblasti nisu potpuno neophodne, često su i neracionalne. Ova konstatacija je u potpunoj saglasnosti sa *principom nekompatibilnosti* [17], koji glasi: *sa porastom složenosti sistema precizni stavovi gube značaj, a značajni stavovi gube preciznost*. Sem toga, savremeni proizvodni principi izraženi kroz teoriju i praksu konkurentnog inženjerstva naglašavaju neophodnost optimizacije sistema kao celine, za razliku od ranijih pristupa koji su zahtevali optimizaciju komponenata sistema [13]. Poštujući ove principe i primenjujući teoriju fazi sistema kompleksnost procesa odlučivanja u sistemima za projektovanje tehnologije može se značajno smanjiti. Od posebnog je značaja što se na taj način uvodi daleko prirodniji i ljudima bliži način kvantifikovanja, u smislu korišćenja lingvističkih kvantifikatora za ocenjivanje parametara sistema i zadavanja vrednosti promenljivama.

Proces obrade rezanjem karakterišu, između ostalog, i dinamičnost, nelinearnost, učešće velikog broja međuzavisnih parametara, itd. U situaciji kada je praktično nemoguće uspostaviti sveobuhvatan i primenljiv matematički model, može se pribeci drugačijem načinu modeliranja sistema. Naime, sistem može biti predstavljen i na osnovu sopstvenog rada, odnosno neuronske mreže, koristeći svoju sposobnost samoadaptacije, omogućavaju modeliranje pojedinih funkcija sistema bez poznavanja preciznih matematičkih modela [8-10]. Pri tome mogu biti korišćeni i podaci "sa greškom", odnosno šumom, što neuro modulima daje mogućnost generisanja rešenja koja mogu biti ravna ekspertskim, a ako su pravilno obučeni i bolja od njih. Treba naglasiti da se ovde primena neuro mreža predviđa za rešavanje nekih suštinskih problema procesa projektovanja tehnologije OMR, dok se za druge probleme koriste konvencionalne metode. Zato se, u strukturi i funkcionisanju (novog) sistema za projektovanje tehnologije OMR, vrši kombinovanje klasičnih načina rešavanja datih problema i neuroračunarstva.

Sumirajući u kratkim crtama navedeno stanje u oblasti, na slici 1 su šematski

prikazana taksonomija nadgradnje tradicionalnih CAPP ekspertnih sistema. Osnovni elementi motivacije za ova istraživanja sadržani su u nedostacima tradicionalnih CAPP ekspertnih sistema identifikovanim, kako u prototipovima, tako i kod sistema primenjenih u industrijskim uslovima.

Ključ za rešavanje mnoštva problema koji proističu iz navedenih ograničenja današnjih CAPP ekspertnih sistema, kao i za radikalnije unapređenje postojećih metodologija, leži u sveobuhvatnijoj primeni inteligentnih tehnika. Ovoj konstataciji pretpostavljena je kompjuterizacija, pre svega, onih projektnih i proizvodnih funkcija (na primer, CAD, CAM, ...) koje su u direktnoj interakciji sa funkcijom projektovanja tehnologije.



Slika 1: Taksonomija razvoja nove strukture CAPP sistema

U ovom radu se posebno ističu fazi logika i neuro mreže, ali tim tehnikama svakako treba dodati, u prvom redu, objektno modeliranje, inteligentne agente, genetske algoritme i sl. Njihovom adekvatnom integracijom će se stvoriti uslovi za daleko pouzdanije i efikasnije funkcionisanje CAPP sistema u realnim industrijskim uslovima. Posebno ohrabrenje pružaju rezultati testiranja do sada razvijenih modela i algoritama [4-6, 14].

3. STRUKTURA NOVOG CAPP EKSPERTNOG SISTEMA

Modifikacija strukture tradicionalnih CAPP ekspertnih sistema (CAPP ES) izvršena je uvođenjem modula za rad sa fazi informacijama i podacima i sistema neuronskih mreža. Njihov osnovni zadatak je da obezbede [3], [4], [7], [15], [10], [16], [1]:

- prevođenje vrednosti atributa iz nekog koncepta, koji je identifikovan kao fazi, u fazi skupove,
- rezonovanje sa takvim vrednostima, generišući na kraju, opet, diskretnu izlaznu vrednost,
- rangiranje mogućih rešenja,
- učenje,
- samoadaptaciju za novonastale situacije,
- analizu raspoloživih arhivskih, eksperimentalnih, empirijskih, proizvodnih i literaturnih podataka i informacija
- generisanje (fazi) pravila i funkcija pripadnosti, i
- identifikaciju fazi mera, neophodnih za rangiranje alternativnih rešenja.

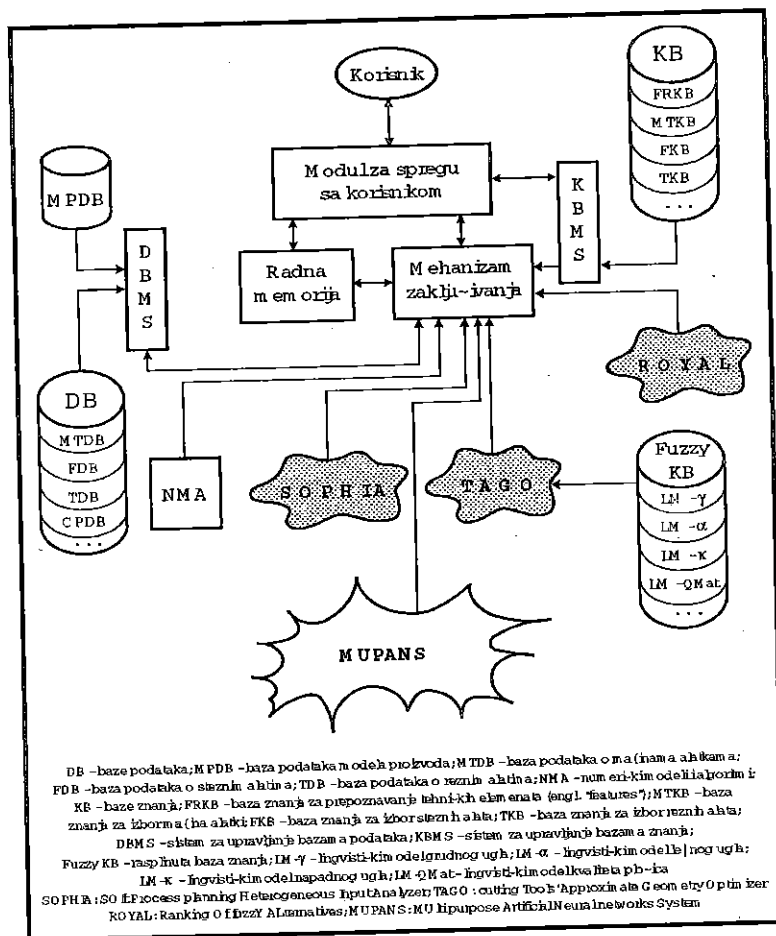
U metodologiji koja se predlaže u ovom radu predviđena su četiri modula za izvršavanje navedenih zadataka. To su (Sl.2):

- * *SOPHIA* ("SOft Process planning Heterogeneous Input Analyzer"),
- * *TAGO* ("cutting Tools' Approximate Geometry Optimizer"),
- * *ROYAL* ("Ranking Of fuzzY Alternatives"), i
- * *MUPANS* ("MUlti-Purpose Artificial Neural networks System").

Prva tri modula imaju relativno visok nivo autonomnosti. To značajno doprinosi performansama rada celog sistema, s obzirom da je njihova osnovna uloga korišćenje podataka i informacija koje nije moguće, ili nije potrebno, zadati precizno i kompletno. Kako klasični CAPP ES nisu u stanju da koriste takve podatke i informacije, to se ovim modulima isti mogu nadgraditi bez značajnijih modifikacija. Za razliku od ostalih standardnih elemenata CAPP ES, čije je funkcionisanje bazirano na simboličkom izračunavanju, rasplinuti moduli su numeričkog i višedimenzionalnog karaktera. To im omogućava bolje prilagođavanje konkretnim situacijama, jednostavnije modifikovanje i daje im veću fleksibilnost. Četvrti modul predstavlja skup neuro mreža od koji svaka ima svoju specifičnu ulogu. Formalno, one koriste aktuelne baze podataka iz datog okruženja, pa stoga sistemu pružaju visok stepen (samo)adaptacije, odnosno obezbeđuju neophodnu generalnost.

Struktura CAPP ES prikazana na slici 2 razlikuje se od strukture klasičnih CAPP ES po priključenim modulima za rad sa fazi podacima i informacijama i izdvojenoj fazi bazi znanja (*FuzzyKB*), kao i posebnom višenamenskom neuro modulu. Na taj način se zadržavaju sve dokazano dobre strane klasičnih ekspertnih sistema za ovu namenu, a modifikuju se samo oni delovi, pre svega baze znanja (*KB*) i omogućava učenje, koji izazivaju nefleksibilnost i nekonzistentnost u radu. Naglašava se da u integralnom sistemu za projektovanje tehnologije OMR prikazana struktura može sadržati još neke elemente i dodatne module, ali se ona

suštinski ne menja..



Slika 2: Struktura novog CAPP ekspertnog sistema

Unutrašnja građa svakog od navedenih fazi i neuro modula je relativno složena. U osnovi ona se sastoji od skupa modela, algoritama i procedura koji prevode diskretne ulazne vrednosti u fazi skupove, odnosno vrše njihovu fazifikaciju (*SOPHIA*), podržavaju proces aproksimativnog rezonovanja, defazifikuju, po potrebi, generisane fazi skupove (*TAGO*) i, konačno, rangiraju dobijena rešenja (*ROYAL*). Skup neuronskih mreža i ugrađeni algoritmi učenja, čiji je zadatak da daju rešenja za novonastale situacije, vrše samoadaptaciju, generišu pravila za donošenje odluka i funkcije pripadnosti odgovarajućih fazi skupova i vrše identifikaciju fazi mera u procesu rangiranja alternativa, sadržani su u *MUPANS* modulu.

Aktiviranje rasplinitih pravila tesno je povezano sa načinom rada pomenutih modula. Globalno posmatrano, *SOPHIA* modul koji sadrži algoritme za fazifikaciju pojedinih ulaznih vrednosti primenjuje fazi pravila komponovanja, pomoću kojih dodeljuje adekvatne rasplinite vrednosti atributima datih entiteta. *TAGO* modul, koji predstavlja nadgradnju mehanizma zaključivanja, aktivira fazi pravila komponovanja u okviru lingvističkih modela (*LM*), kao i prilikom dodeljivanja konačnih vrednosti nakon defazifikacije. U postupku rangiranja mogućih alternativa primenom *ROYAL* modula se, takođe, aktivira niz procedura i pravila kojima se vrši manipulacija fazi podacima i informacijama. Skup neuro mreža u *MUPANS* modulu ima višestruku ulogu. Izbor odgovarajuće mreže i trenutak njenog aktiviranja određuje mehanizam zaključivanja autonomno ili tu odluku sistem donosi interaktivno sa korisnikom. Tipični zadaci su: izbor režima obrade, generisanje skupa fazi pravila i njihovih funkcija pripadnosti na osnovu raspoloživih podataka (što sistemu daje veliku dozu generalnosti i kontekstne nezavisnosti), kao i identifikaciju inicijalnih vrednosti fazi mera neophodnih za primenu fazi integrala prilikom rangiranja alternativnih rešenja. Pri tom treba

posebno podsetiti na važnost određivanja značajnosti, odnosno težine uticaja pojedinih parametara sistema, kako individualne, tako i mere združenog dejstva dva ili više faktora. U ovoj fazi razvoja nove strukture CAPP sistema kao algoritam učenja primenjuje se samo *back propagation* algoritam, ali se razmatra primena i drugih algoritama i tipova mreža koji bi mogli dodatno poboljšati efikasnost sistema.

4. ZAKLJUČAK I PRAVCI DALJEG RAZVOJA

Projektovanje tehnologije pomoću računara (CAPP), kao direktna veza između CAD i CAM sistema, predstavlja kariku od izuzetnog značaja između konstruisanja i proizvodnje. Istraživanja sprovedena u protekle dve decenije umnogome su unapredila ovu oblast. Nedostaci koji su se ticali klasičnih metodologija i pratili dosadašnje pristupe i neke razvijene sisteme uglavnom su otklonjeni. Međutim, jedan deo problema nije moguće zadovoljavajuće rešiti klasičnim pristupima, te je stoga u radu predložen novi pristup koji se najvećim delom zasniva na primeni tzv. *soft computing* metodologije i, šire, tehnologije inteligentnih sistema. Na taj način se značajno smanjuje kompleksnost sistema, uvodi prirodan način kvantifikovanja pojedinih parametara čije se vrednosti najčešće zadaju iskustveno, omogućava učenje i samoadaptacija, stvara se osnova za izgradnju sistema otvorene arhitekture, itd. Rezultati dobijeni testiranjem u realnim industrijskim uslovima svih modula novog CAPP sistema su veoma pouzdani i ohrabruju dalja istraživanja u tom pravcu. Istraživački naporu su sada usmereni ka unapređenju karakteristika sistema u smislu dinamičnosti, fleksibilnosti i inteligencije. Takav trend u razvoju CAPP sistema ukazuje na težnju za integracijom, modularnošću, otvorennošću i primenom hibridnih inteligentnih tehnologija.

5. LITERATURA

- [1] Balazinski M., Bellerose M., Czogala E.: "Application of Fuzzy Logic Techniques to the Selection of Cutting Parameters in Machining Processes", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.63, pp.307-317, 1994.
- [2] Chang T. -C.: "*Expert Process Planning for Manufacturing*", Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, U.S.A., 1990.
- [3] Chen Y., Hui A., Du R.: "A Fuzzy Expert System for the Design of Machining Operations", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol.35, No.12, pp.1605-1621, 1995.
- [4] Devedžić G.: "Fuzzy Sets Based Global Evaluation in the Metal Cutting Process Planning", FUZZ-IEEE '98, Anchorage, Alaska, USA, May 5-9, 1998.
- [5] Devedžić G., Pap E.: "Multicriteria - Multistages Linguistic Evaluation and Ranking of Machine Tools", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.102, pp.451-461, 1999.
- [6] Devedžić G.: "Linguistic Evaluation in Process Planning: Methodology Issues", 8th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge Based Systems - IPMU'00, Madrid, Spain, 3-7 July 2000.
- [7] Devireddy C.R., Ghosh K.: "Feature-Based Modelling and Neural Networks-Based CAPP for Integrated Manufacturing", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.12, No.1, pp.61-74, 1999.
- [8] S. Haykin, *Neural Networks*, Macmillan College Publishing Company, New York, 1994.
- [9] R. Hecht-Nielsen, *Neurocomputing*; Addison-Wesley Publishing Company, San Diego, 1990.
- [10] Lin C.-T., Lee C.S.G.: "*Neural Fuzzy Systems - A Neuro-Fuzzy Synergism of Intelligent Systems*", Prentice Hall PTR, Upper saddle River, New Jersey, 1996.
- [11] Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J.: "Computer-Aided Process Planning: A State

- of Art", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol 14, pp.261-268, 1998.
- [12] Medsker L.R.: *"Hybrid Intelligent Systems"*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.
- [13] Prasad, B.: *"Concurrent Engineering Fundamentals"*, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1996.
- [14] Stošić Z.: "XXX", Magistarski rad (u pripremi), Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd.
- [15] Teti R., Kumara S.R.T.: "Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems", Annals of the CIRP, Vol.46/2/1997.
- [16] Yen J., Langari R., Zadeh L.A. (eds.): *"Industrial Applications of Fuzzy Logic and Intelligent Systems"*, IEEE Press, New York, 1995.
- [17] Zadeh, L.A.: "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics, Vol.3, No.1, pp.28-44, 1973.
- [18] Zhang H.-C., Huang S.H.: "A Fuzzy Approach to Process Plan Selection", International Journal of Production Research, Vol.32, No.6, pp.1265-1279, 1994.
- [19] Zhao Z.: "Process Planning With Multi-Level Fuzzy Decision-Making", Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol.8, No.4, pp.245-254, 1995.

CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR FUZZY SETS AND NEURAL NETWORKS APPLICATION IN CAPP SYSTEMS

Abstract

The paper presents a part of preliminary results related to development of conceptual framework for soft computing technology application in computer aided metal cutting process planning (CAPP). Modern manufacturing trends and development of informational technologies have emerged the need for a novel architecture of CAPP systems. The essence of the approach described in the paper is to upgrade existing systems by modules which role is to handle and provide processing of incomplete, imprecise, and uncertain data and information, approximate reasoning, learning capabilities, (self)adaptation, and optimization. For that purpose, in this stage of development of a novel structure of CAPP system, we have applied fuzzy systems and neural networks. Further development will introduce more hybrid intelligent technologies

KOCEPTUALNO MODELIRANJE PROIZVODA I PROCESA U PROJEKTOVANJU VAGON CISTERNE

Babić. A., Miodragović G., Milojević, M.¹⁾

Rezime

Koncept projektovanja vagon cisterne prema kriterijumu pasivne sigurnosti obuhvata kompleksno modeliranje proizvoda uvažavajući FEM i FEA analizu, uspostavljena ograničenja i proces montaže kao najznačajniji tehnološki proces sa aspekta smanjenja troškova izrade.

Ključne reči: FEM, FEA, projektovanje proizvoda, projektovanje procesa

1. UVOD

U železničkom saobraćaju razlikujemo dve vrste sigurnosti: aktivnu i pasivnu. Pod aktivnom sigurnošću se podrazumeva sigurnost sadržana u samoj koncepciji železnice. Aktivnu sigurnost obezbeđuju signalna postrojenja, način vođenja voza, kontrolni mehanizmi i tehnička rešenja, koja verovatnoću da dođe do sudara svode na nulu.

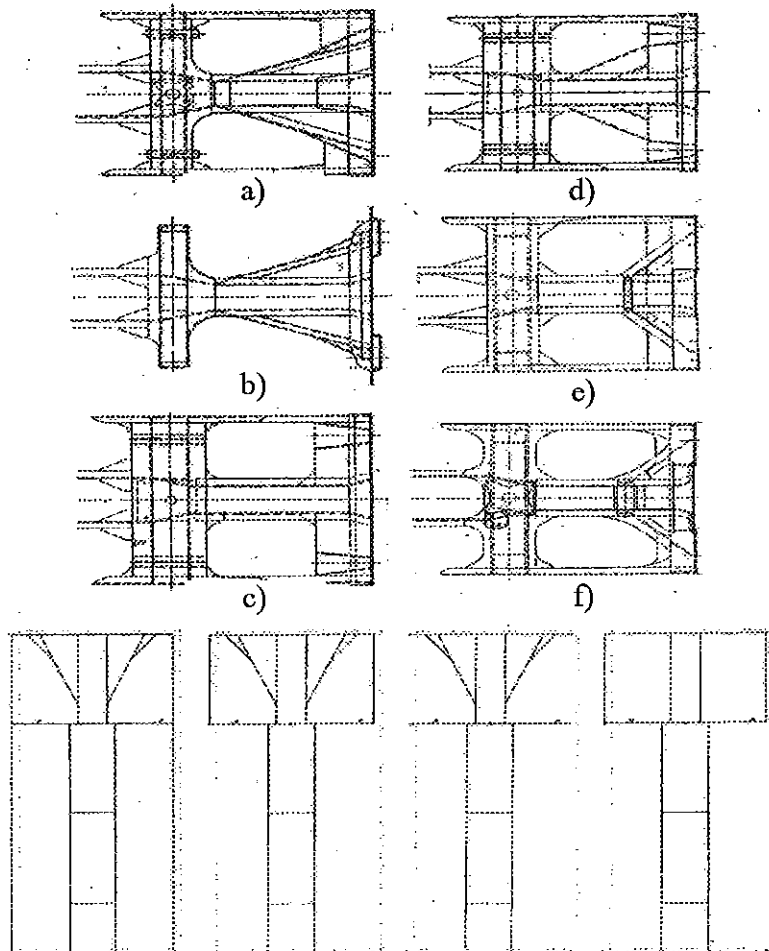
Međutim, sve druge neprilike koje se mogu desiti na železnici uslovljavaju da je neophodno predvideti pasivnu sigurnost voznih sredstava koja podrazumeva čvrstoću vozila da zaštiti putnike, robu i opremu i ograniči oštećenja u slučaju udesa.

S obzirom na namenu vagon cisterne (prevoz zapaljivih materija), osnovni funkcionalni zahtev pri projektovanju proizvoda i procesa, je takozvana pasivna sigurnost vagon cisterne sa aspekta sudara. U okviru konceptualnog modeliranja treba generisati rešenja uvažavajući funkcionalne zahteve prema postavljenim ograničenjima u pogledu brzine, ubrzanja, čvrstoće i deformacije.

U toku veišegodišnjeg razvoja noseih struktura vagon cisterni generisana su moguća konceptualna rešenja čeonih delova noseće strukture prikazana na slici 1. Kriterijum pasivne sigurnosti se ogleda u prihvatanju maksimalnih horizontalnih sila (2×1500 kN/po odbojniku pri $v=12-15$ km/h) koje nastaju u sudaru kola pri brzini većoj od 15 km/h.

Usvojeno konceptualno rešenje poseduje element strukture, bočni čeon nosač, projektovan da pri pojavi većih sila od navedenih dolazi do njegove deformacije (totalnog uništenja). Rešenje l.f., predstavlja optimalno projektno rešenje zasnovano na detaljnim ispitivanjima prototipa [1].

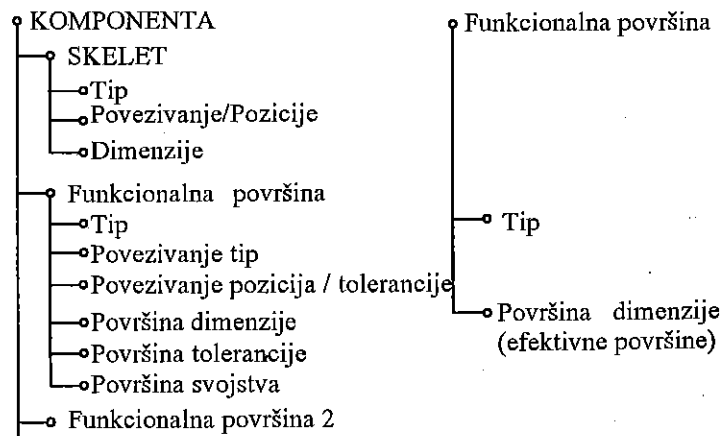
¹⁾ Docent dr Arandjel Babić, dipl. ing. E-mail: ababic@zptt.yu, Goran Miodragović, dipl. ing., E-mail: mijac@zptt.yu, prof. dr Mihailo Milojević, dipl. ing., Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19., 36000 Kraljevo, Jugoslavija, Tel.: +381 36 339 794, Fax: +381 36 336 866.



Slika 1. Konceptualna rešenja čeonih delova noseće strukture

2. MODELIRANJE NOSEĆE STRUKTURE

U modeliranju nosećih struktura postavlja se kriterijum kompleksnog hijerarhijskog strukturisanja komponenti, s jedne strane i funkcionalnih zahteva (opterećenja sa aspekta sudara) s druge strane (Slika 2.).

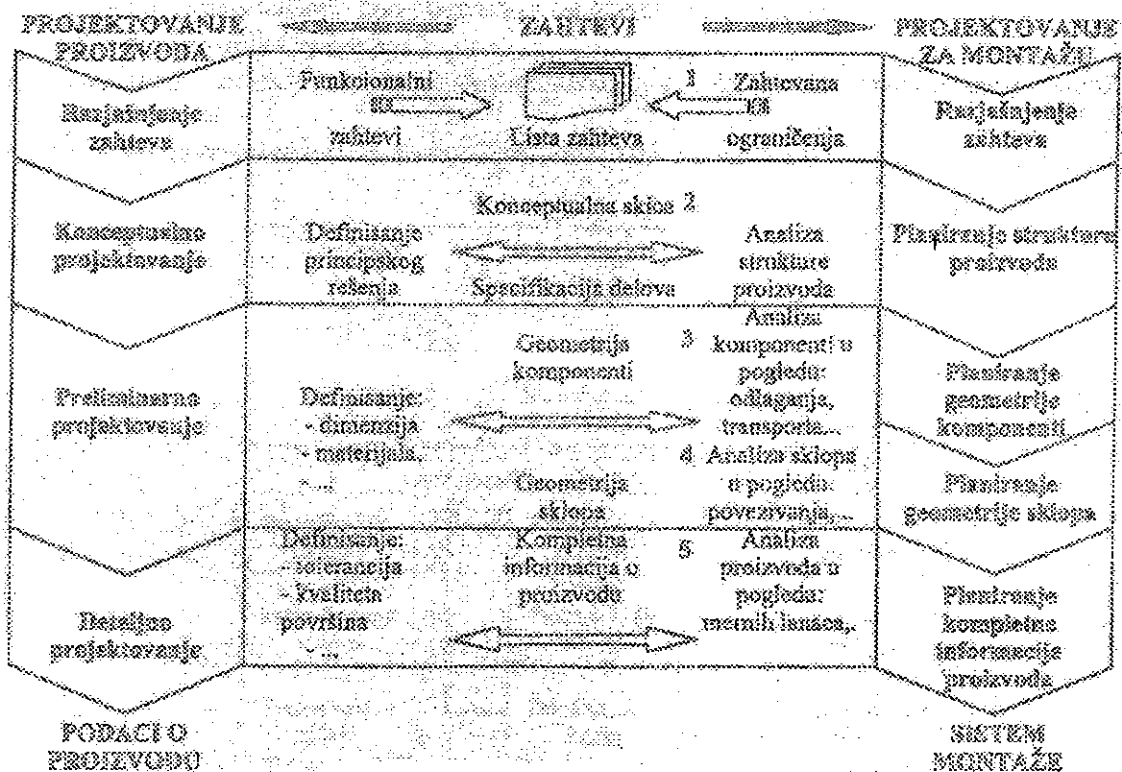


Slika 2. Hijerarhijsko strukturisanje vagon cisterne

Uvažavajući ovaj kriterijum, noseću strukturu vagon-cisterne sačinjavaju donje postolje i

kotao jedinstveno povezani. U ovom slučaju je zanemarena funkcija obrtnog postolja.

Primenjeni koncept u modeliranju je zasnovan na integraciji projektovanja proizvoda i procesa (slika 3.). Iza nivoa specifikacije funkcionalnih zahteva i ograničenja, sledi nivo koji obuhvata aktivnosti bazirane na konceptualnoj strukturi proizvoda, odnosno planu montaže delova. Na trećem nivou gradi se informacija o geometriji pojedinih komponenti u pogledu rukovanja, odnosno manipulacije komponentama prema zahtevima u procesu montaže, da bi se na četvrtom nivou prikazale relacije između komponenti. Poslednji nivo obuhvata informacije o kompletnom proizvodu [2][3].



Slika 3. Integrisani model proizvoda

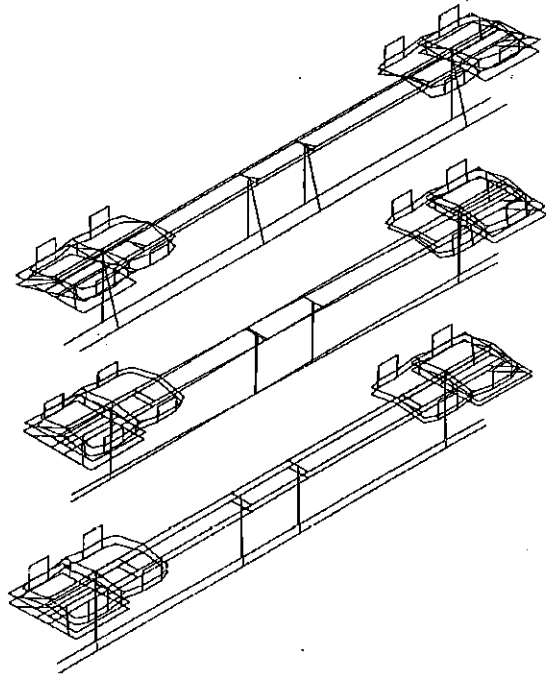
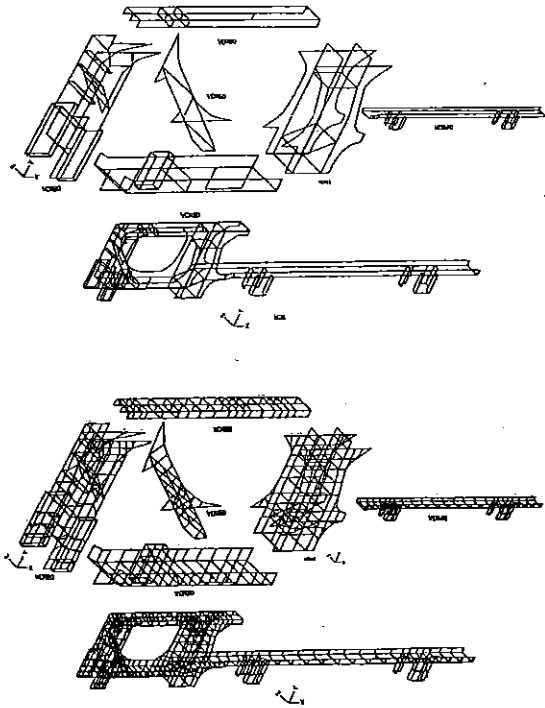
U modeliranju proizvoda i procesa montaže Mechanical Desktop. Ovaj programski paket omogućava automatsko projektovanje i ispravke koristeći parametarsku geometriju, koja upravlja relacijama između projektovanih elemenata i automatski apdejtuje model.

Za modeliranje i analizu konačnim elementima (FEM/FEA) korišćen je programski paket KOMIPS [4].

Kao rezultat projektovanja dobijeno je naponsko stanje u nosećoj strukturi donjeg postolja i kotla (slika 6.), a verifikacija postavljenog koncepta i kriterijuma je izvršena u jednom akcidentu naletanje vagon cisterne na lokomotivu (slika 7.), u kome je potvrđen koncept pasivne sigurnosti.

U kompleksnoj analizi vagon cisterne, sl. 1. f., formirani su:

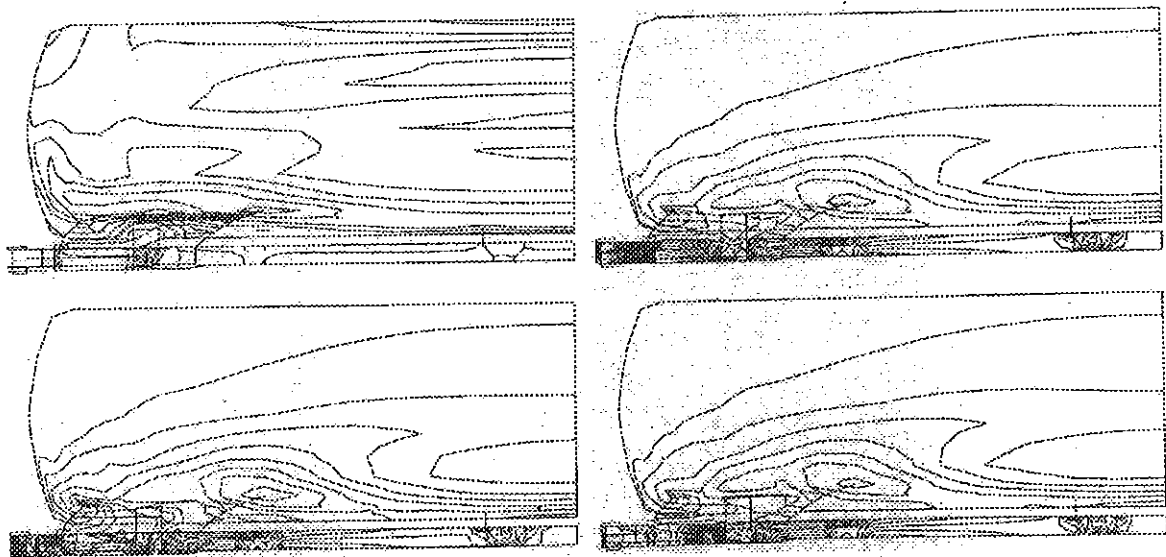
- grubi (gredni) i fini (pločama) modeli u analizi čvrstoće, (slika 4.)
- gredni redukovani modeli sa koncetrisanim masama u dinamičkoj analizi slobodnih i prinudnih oscilacija, (slika 5.).



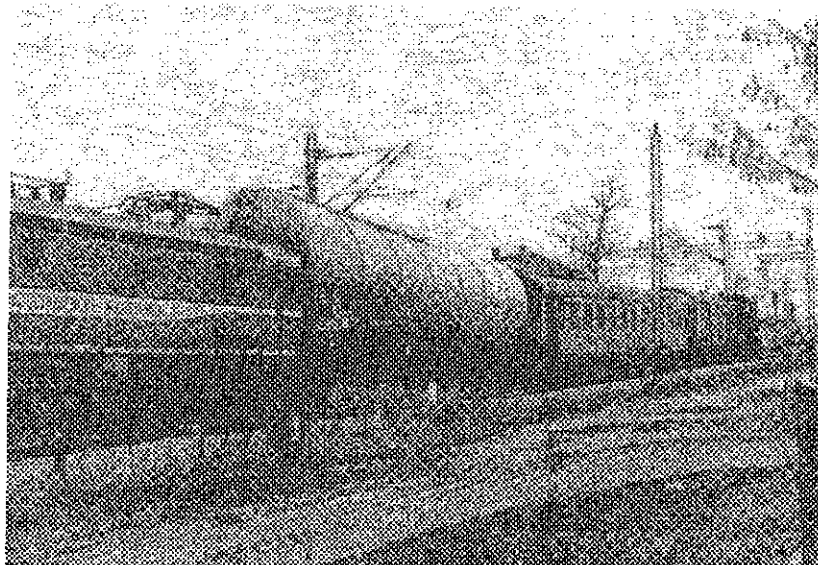
Slika 4. Model noseće strukture donjeg postolja Slika 5. Glavni oblici oscilovanja vagon cisterne

Uvažavajući osnovnu postavku teme u radu daju se rezultati raspodele naponskog stanja na nosećoj strukturi cisterne pri mogućim opterećenjima u eksploataciji (slika 6.)

Bilans napona pokazuje da značajan deo opterećenja preuzima i kotao. Raspodela napona je potvrdila opredeljenje usvojeno u konceptualnom projektovanju. Pri naletanju vagon cisterne na lokomotivu deformisani su samo bočni nosači koji su imali ulogu ventila sigurnosti prema usvojenom kriterijumu pasivne sigurnosti (slika 4.).



Slika 6. Bilans napona u nosećoj strukturi donjeg postolja i kotla



Slika 7. Akcident: naletanje vagon-cisterne na lokomotivu

3. ZAKLJUČAK

Konceptualno projektovanje vagon cisterne se zasniva na vrlo kompleksnom modeliranju proizvoda i procesa pri čemu se pasivna sigurnost sudara vagon cisterne u akcidentnim situacijama stavlja u prvi plan.

Bez ovakvog postavljenog pristupa je nemoguće ostvariti funkcionalne zahteve u odnosu na postavljena ograničenja.

4. LITERATURA

- [1] Babić, A.: *CA modeliranje u projektovanju teretnih vagona*, Monografija 30 biblioteke DISSERTATIO, Zadužbina Andrejević, Beograd, 1997.
- [2] Babić, A., Miodragović, G., Milojević, M.: *Carrying structure design for manufacture and assembly*, The Third International Conference HEAVY MACHINERY HM'99, 3.73 - 3.76, Kraljevo 28-30. oktobar, 1999., Mašinski fakultet Kraljevo
- [3] Babić, A., Miodragović, G., Milojević, M., Đorđević, Lj.: *Modeliranje u integrisanom projektovanju proizvoda, procesa izrade i montaže vagon-cisterne*, 26. JUPITER konferencija, 13. simpozijum CAD/CAM, 2.41 - 2.46, Beograd, februar, 2000., Mašinski fakultet Beograd.
- [4] Maneski, T.: *Kompjutersko modeliranje i proračun struktura*, Mašinski fakultet Beograd, 1998.

CONCEPTUAL MODELLING OF PRODUCTS AND PROCESSES IN DESIGN OF TANK-WAGGON

Abstract

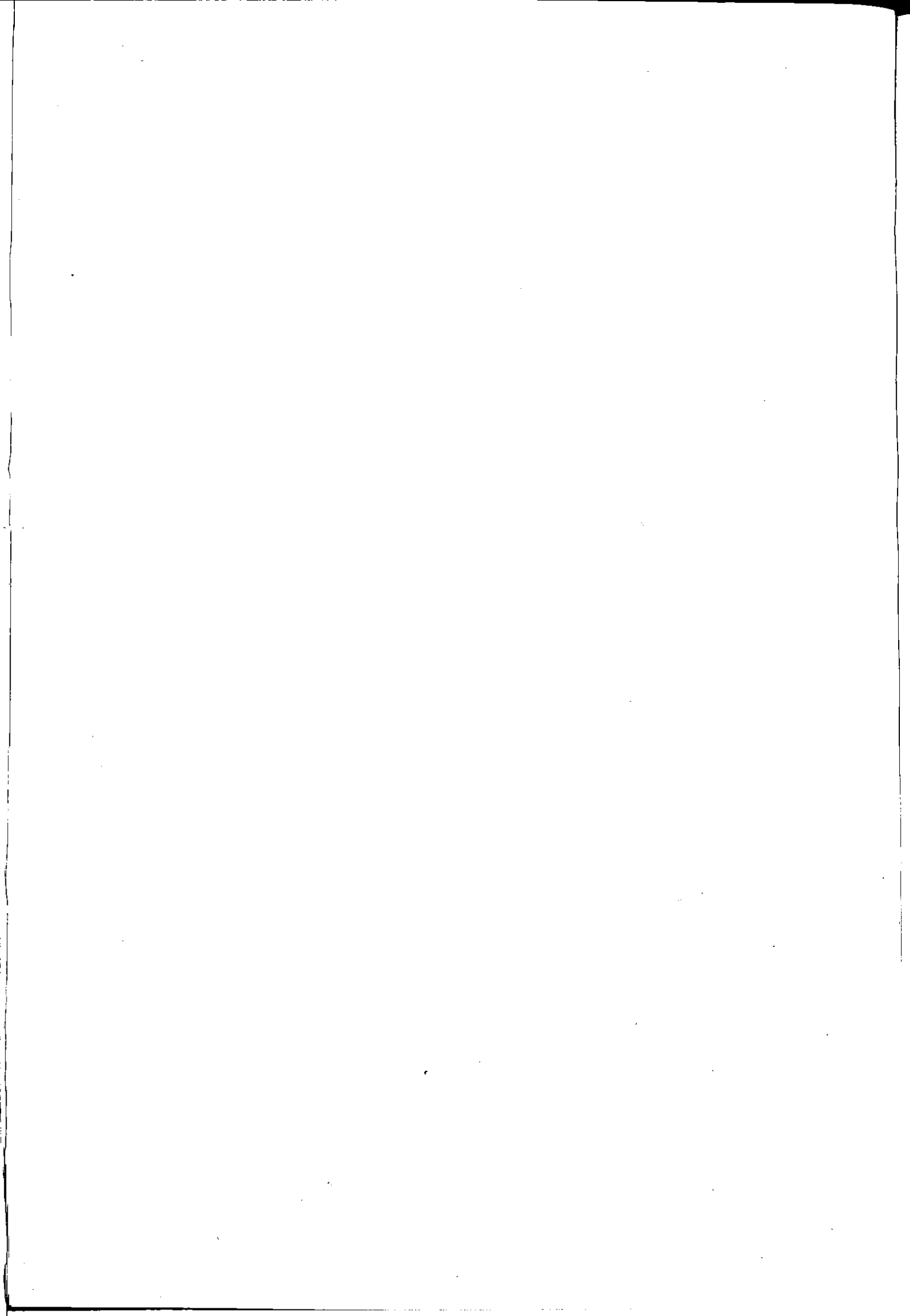
The concept of design of tank-waggon according to the criterion of passive safety covers complex modelling of products taking into consideration FEM and FEA analysis, established restrictions and assembly process as the most important technological process from the aspect of reduction of manufacturing costs.

Key words: FEM, FEA, product modeling, process modeling



**28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.**

**7. NEKONVENCIONALNE METODE, MONTAŽA,
ZAVARIVANJE, MATERIJALI**



METODOLOGIJA ZA OCENU I POVIŠENJE POGODNOSTI PROIZVODNOG PROGRAMA ZA MONTAŽU

ČOSIĆ I.¹, ANIŠIĆ Z.²

Rezime:

U radu je dat kratak prikaz metodologije za ocenu i povišenje pogodnosti proizvodnog programa za montažu. Opisano je mesto i uloga metodologije u kontekstu integralnog razvoja proizvoda, kao i neophodnost njene primene pri oštrim zahtevima tržišta. Metodologija se primenjuje na nivou proizvodnog programa, strukture proizvoda predstavnika i nivou delova pri čemu se teži ostvarenju dva osnovna cilja: racionalizacija ukupnog broja delova i optimizacija rukovanja i spajanja. U radu je detaljnije objašnjena funkcionalna analiza kao jedan od alata metodologije.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Zašto oblikovanje proizvoda pogodnog za montažu? Montaža je ključna aktivnost u procesu proizvodnje kako po ukupnom učešću u vremenu trajanja izrade proizvoda (30-70%), tako po značaju, kao poslednja karika u lancu proizvodnje. Najveći broj proizvoda koji dolaze do potrošača se sastoje iz više delova koji moraju biti međusobno integrisani u projektovani geometrijski položaj, kako bi proizvod ispravno funkcionisao. Sa druge strane, kvalitet montaže je mnogo manje uočljiv u odnosu na estetiku, funkcionalnost, pouzdanost, bezbednost ili kvalitet izrade, koji se prvo uočavaju sa aspekta kupca. Zbog toga se troškovi montaže ne mogu ugraditi u cenu proizvoda već naprotiv, ona mora biti minimizirana jer predstavlja "nužno zlo" koje niko neće dodatno da plati.

Osnovna pažnja proizvođača, u toku razvoja proizvoda, je često usmerena isključivo ka obezbeđenju "uočljivih" karakteristika kvaliteta, usled čega se i danas mnogi proizvodi montiraju nekvalitetno, skupo i uz nisku produktivnost. Ne pridavanje adekvatnog značaja procesu montaže je takođe posledica:

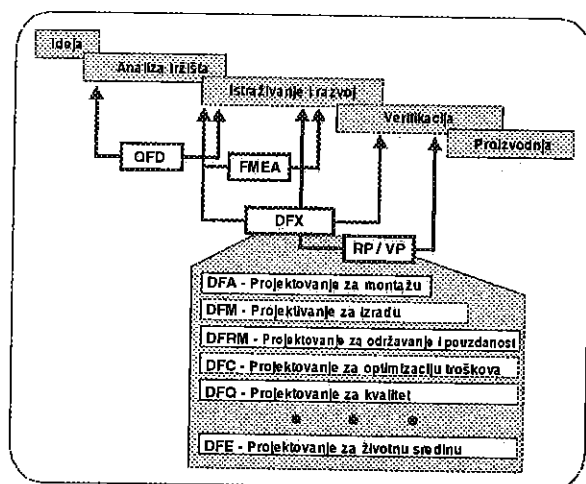
- nedovoljno poznavanje procesa montaže,
- nedostatka znanja o pogodnosti proizvoda za montažu,
- shvatanja da se uočene neadekvatnosti po pitanju montaže mogu kompenzirati u toku proizvodnje,
- zanemarivanje procesa montaže u odnosu na druge segmente proizvodnje (posebno obradu) i
- nedostatak komunikacije i saradnje između različitih odeljenja (konstrukcija - tehnologija)

Iskustvo ukazuje da se najveće uštede u troškovima mogu ostvariti ako se unapredi montaža proizvoda, kao celine (Sl. 1). Ovo je, pre svega, rezultat činjenice da eliminisanje delova predstavlja najveći potencijal za uštedu, jer su eliminisani materijal, rad i energija potrebni za izradu, a kasnije i ugradnju dela. Niži troškovi proizvoda nisu jedini rezultat unapređenja montaže proizvoda, već su to svakako i drugi značajni aspekti kao npr. održavanje i recikliranje proizvoda. Za očekivati je da se proizvod jednostavan za montažu, može isto tako

¹ Dr ILIJA ČOSIĆ, red.prof., Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, tel. 021-350-240, fax.021-59-536,

² Mr ZORAN ANIŠIĆ, viši predavač, Viša tehnička škola, Marka Oreškovića 16, 24000 Subotica, tel. 024-552-501, fax. 024-555-087, e-mail: azoran@vts.su.ac.yu

jednostavno demontirati prilikom održavanja ili reciklirati na kraju svog životnog ciklusa. Proizvod projektovan kao pogodan, jednostavan za montažu se može mnogo brže lansirati na



Slika 1 Dimenzije DFX-a i mesto u IRP-u

tržište jer ima manje delova koje je potrebno konstruisati, izraditi, transportovati, ugraditi, kontrolisati i uskladišiti. Proizvod sa manje delova ima takođe predispozicije za veću pouzdanost i kvalitet.

Iz napred iznetog se može zaključiti da je neophodno da analiza pogodnosti proizvoda za montažu bude prva u redosledu, jer je o pogodnosti delova za obradu racionalno raspravljati tek kada se vidi koji su delovi eliminisani, a koji su zadržani u proizvodu. Konstruisanje orijentisano ka montaži (DFA-Design For Assembly) je tehnika koja podrazumeva primenu serije konstrukcionih smernica ili iskustvenih pravila ka oblikovanju proizvoda, sklopova i podsklopova i pojedinačnih delova u vidu

ekspertskog znanja iz oblasti:

- metoda i postupaka spajanja,
- relacija (veza) između konstrukcije proizvoda i procesa montaže i
- relacija (veza) između konstrukcije proizvoda i karaktera i vrste montažnog sistema.

2. IIS-DFA METODOLOGIJA

2.1 Ciljevi metodologije

IIS-DFA analiza u svojoj osnovi ima DVA cilja:

- Racionalizaciju broja delova i
- Optimizaciju zahvata rukovanja i spajanja delova.

Racionalizacija broja delova kao i optimizacija zahvata rukovanja i spajanja preostalih delova se sprovodi sa krajnjom željenom posledicom:

- **minimizacija ukupnog vremena montaže** (2.1) proizvoda, koje predstavlja zbir vremena trajanja svih montažnih operacija (osnovnih i pomoćnih zahvata), kao i količnika pripremno - završnog vremena i veličine serije koja se lansira kroz **eliminisanje** pojedinih osnovnih i pomoćnih zahvata i **skraćanjem** navedenih vremena primenom smernica za projektovanje.

$$(2.1) \quad t_{pj} = \frac{t_{pz}}{n} + \sum_{i=1}^m t_{ii} = \frac{t_{pz}}{n} + \sum (t_{io} + t_{ip} + t_{id}) \quad (\text{vr. jed.})$$

Izvršenje bilo pomoćnih bilo osnovnih zahvata je u direktnoj funkcionalnoj zavisnosti od nivoa automatizacije koja se želi primeniti, a time i visini potrebnih investicionih troškova. Dakle, sledeći efekat koji se očekuje je:

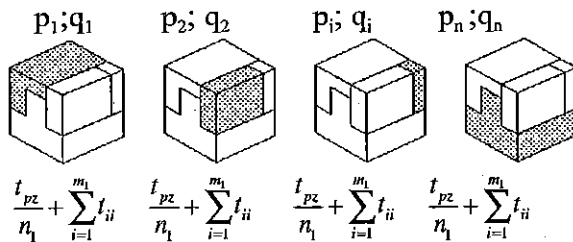
- **minimiziranje troškova montaže.** Utvrđivanje troškova montaže, pored optimizacije unutar samog IIS-DFA alata, ima veoma važnu ulogu prilikom implementacije predloga za izmenu konstrukcije koji moraju biti verifikovani od strane drugih DFX alata. Utvrđivanje mogućih kolizija je jedino moguće poređenjem troškova određenih alternativa.

Osnovu IIS-DFA metodologije čini postupak za razvoj proizvoda pogodnog za montažu, koji podrazumeva vršenje kompleksne analize na tri nivoa (Sl.2) i to na nivou:

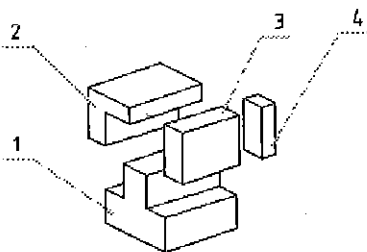
- proizvodnog programa,

- proizvoda predstavnika *i*
- delova.

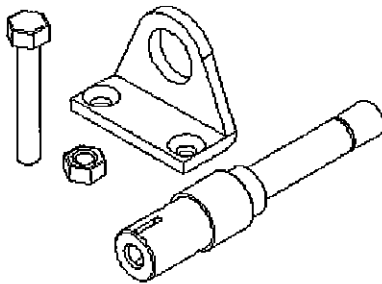
PROIZVODNI PROGRAM



STRUKTURA PROIZVODA PREDSTAVNIKA



DELOVI (KOMPONENTE)



Slika 2. Nivoi analize proizvoda sa aspekta pogodnosti za montažu

IMA ZA CILJ

Minimizaciju ukupnog broja delova koji čine proizvodni program putem:

- standardizacije, unifikacije i tipizacije,
- primenom modularnog prilaza,

Minimizaciju broja delova koji čine strukturu kompleksnog proizvoda, putem:

- standardizacije, unifikacije i tipizacije,
- funkcionalne analize,

Optimizaciju strukturne šeme proizvoda putem:

- minimizacije pravaca spajanja,
- formiranja razgranate strukture

Optimizaciju zahvata rukovanja i spajanja delova, ugradnjom iskustva vezanih za:

- izuzimanje delova,
- transport delova,
- orijentaciju delova,
- pozicioniranje,
- dodatno obezbeđenje pozicije.

u skladu sa mogućim nivoima

2.2 RACIONALIZACIJA BROJA DELOVA-ELIMIZACIJA MONTAŽNIH OPERACIJA

Eliminisanje dela/ova je *najefikasniji* princip projektovanja proizvoda pogodnog za montažu. S tim u vezi poznata su mišljenja svetskih priznatih istraživača iz oblasti razvoja proizvoda, tako na primer Henry Stoll kaže da "najveći potencijali unapređenja konstrukcije primenom DFX prilaza leže u oblasti montaže" [4]. U prilog ovome ide i čuvena Einstein-ova fraza koja glasi: "Najbolje konstrukciono rešenje je najjednostavnije koje radi".

Ukoliko se uspe elimisati određeni deo, ostvaruju se *primarni* ali i *sekundarni efekti*, daleko-sežniji od bilo kako uspešne optimizacije po pitanju rukovanja, spajanja i sl. jer se:

- radikalno smanjuje ukupno vremena montaže eliminacijom osnovnog i pomoćnog vremena za tu operaciju - efekti su direktno merljivi,
- eliminiše potreba za tehnološkim sistemom za montažu - radikalno smanjenje troškova montaže (troškovi amortizacije i troškovi radne snage),
- posledice se manifestuju i šire - manje tehničke dokumentacije, manje magacinskog prostora, manje delova za pripremu, lakše upravljanje proizvodnjom čime se smanjuje pripremno završno vreme za seriju,
- prethodno izneta poboljšanja se odražavaju i na ostale vrste troškova - troškovi površina, održavanja, itd.

Stoga najviše pažnje i napora treba posvetiti upravo racionalizaciji broja delova proizvodnog

programa i izvršiti je uvek kad za to postoji prilika.

2.3 OPTIMIZACIJA RUKOVANJA DELOVIMA I SPAJANJA MINIMIZACIJA VREMENA I TROŠKOVA MONTAŽE

Ukoliko u datim uslovima okruženja nije moguće izvršiti dalju redukciju delova, bilo da je to posledica:

- dostizanja praga konstrukciono-tehnoloških znanja iz date oblasti,
- prisutne kolizije sa nekim drugim konstrukciono-tehnološkim zahtevom iz čitave grupe DFX alata ili su u pitanju
- drugi razlozi (nepouzdan kvalitet delova, ograničenja u pogledu investicija, itd.),

ostaje da se izvrši optimizacija vremena i troškova montaže preostalih delova koji čine proizvod, pri čemu se podrazumeva razmatranje i odgovarajućeg nivoa automatizacije. G.Boothroyd Š2Ć je ovaj pojam definisao kao "teorijski minimalan broj delova". U radu neće biti šire razmatrane metode i tehnike za optimizaciju sa aspekta rukovanja i spajanja delova jer su one najstarije, najraširenije i uglavnom dobro poznate za razliku od metoda za racionalizaciju broja delova ili optimizaciju strukture proizvoda, a čiji su efekti dalekosežniji. Stoga će u nastavku biti ukratko opisana funkcionalna analiza kao jedan od postupaka za racionalizaciju broja delova proizvoda.

3. FUNKCIONALNA ANALIZA

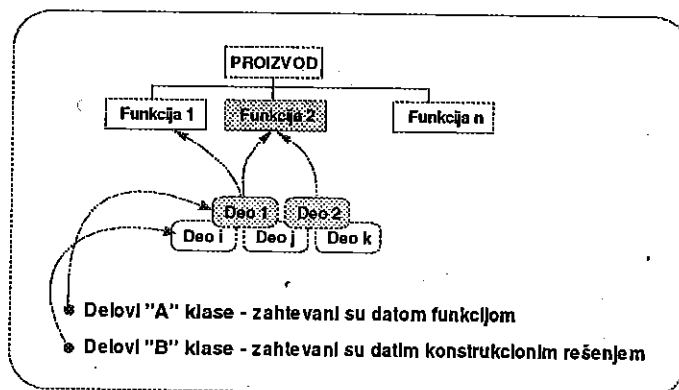
Funkcionalna analiza u okviru IIS-DFA metodologije predviđa 5 faza:

I FAZA: *Utvrdjivanje funkcije dela.*

Za svaki deo potrebno je utvrditi funkciju i razlog njegovog postojanja. To je fundamentalni preduslov bez kojeg DFA analiza ne može biti uspešna. Lista svih signifikantnih funkcija mora biti pridodata informacijama koji opisuju geometrijski model sklopa/dela, kao što su materijal, kvalitet površine, masa, itd., kako bi u svakom trenutku one bile dostupne DFX/DFA analitičarima. U listu ne treba unositi najosnovnije funkcije koje su očigledne i dobro poznate kako se ne bi trošilo nepotrebno vreme (opisivati funkciju vijka, ukoliko on eventualno nema neku specifičnu funkciju kao što je npr. regulacija) i zbog te preopširnosti ugrozila sama implementacija prilaza u realnim uslovima. Takvim sistematizovanim prilazom u razvoju proizvoda, se obezbeđuju trajno memorisanje znanja i iskustva u jednom preduzeću.

II FAZA: *Klasifikacija delova i ocena efektivnosti konstrukcije*

U drugoj fazi funkcionalne analize vrši se klasifikacija delova na delove "A" klase čiji je cilj ispunjavanje funkcionalnog zahteva, primarnog po značaju, i na delove "B" klase prisutni izborom datog rešenja, ostvarujući time sekundarnu funkciju kako bi ostvarenje primarne funkcije bilo moguće (Sl.3).



Slika 3 Suština podele delova na "A" i "B" klasu

Andreasen [1] navodi sedam razloga postojanja održenog sklopa, a time i potrebe za

njegovom montažom, pri čemu su prva tri fundamentalna i predstavljaju osnovnu podlogu za vršenje klasifikacije (Sl.4). Da bi deo pripadao klasi "A", svi odgovori na postavljena pitanja u algoritmu moraju biti pozitivni.

Uočavanjem delova "B" kase, kao delova za koji ne postoji čvrst argument zbog kojeg se zahteva montaža, otvaraju se potencijalna mesta za racionalizaciju broja delova, ali se ovom podelom, što je takođe veoma značajno, omogućuje ocenjivanje kvaliteta konstrukcionog rešenja.

Koeficijent funkcionalne pogodnosti je pokazatelj koji predstavlja količnik broja delova "A" klase i ukupnog broja delova (3.1).

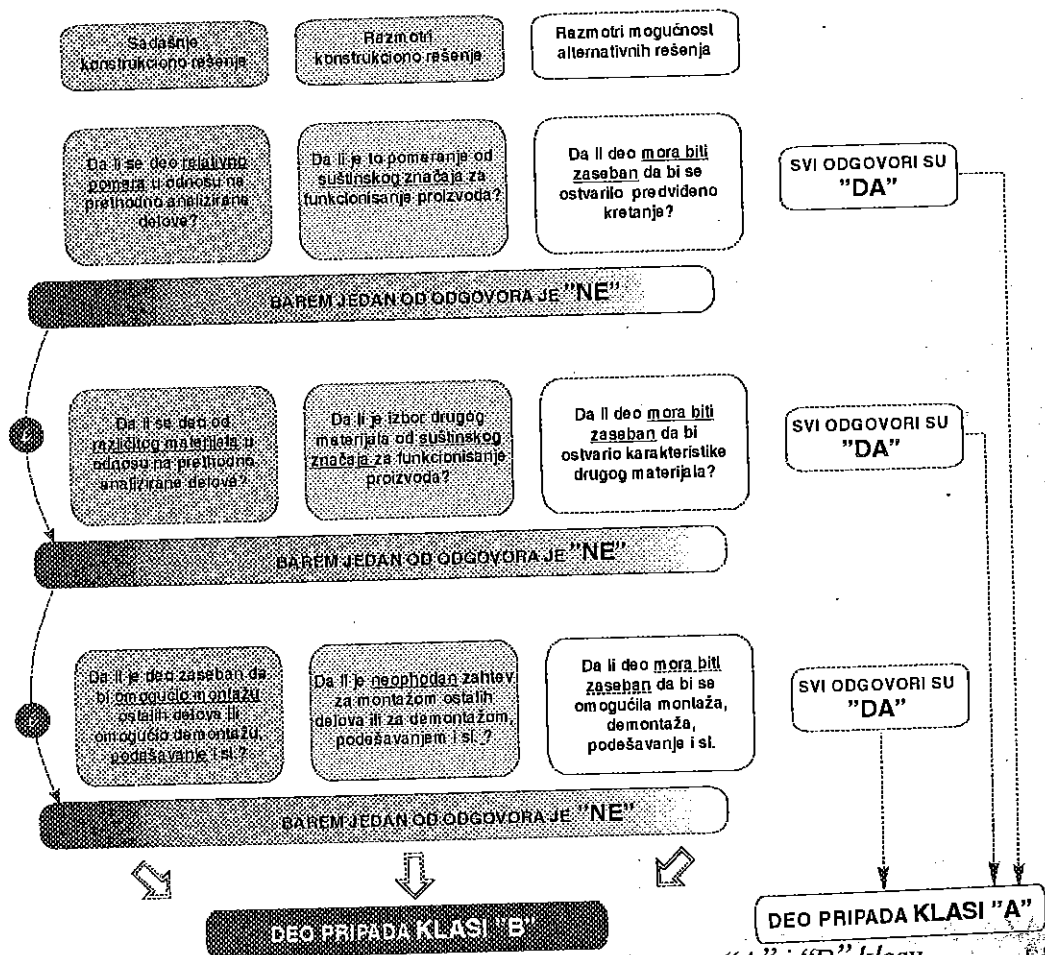
$$(3.1) \quad K_f = \frac{\text{delovi "A" klase}}{\text{delovi "A" klase} + \text{delovi "B" klase}}$$

Smisao koeficijenta funkcionalne pogodnosti K_f je dubok jer ukazuje na *efektivnost* datog konstrukcionog rešenja sa dva značajna aspekta:

sa koliko delova "A" klase su zadovoljeni svi postavljeni funkcionalni zahtevi i koliko je još sekundarnih delova "B" klase potrebno unutar datog rešenja kako bi delovi "A" klase vršili funkciju.

Zahvaljujući svojoj dubini koeficijent K_f se koristi za proveru efektivnosti u svim fazama funkcionalne analize i prema istraživanjima (x) konstrukciono rešenje se smatra uspešnim ako je:

$$K_f \geq 0.60$$



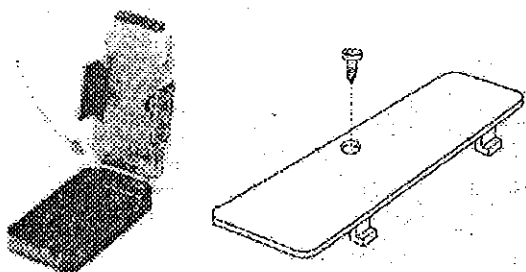
Slika 4 Algoritam za klasifikovanje delova na "A" i "B" klasu

III FAZA: Integracija funkcija

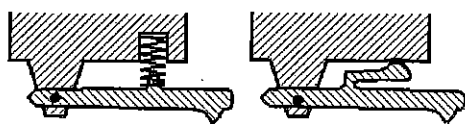
U ovoj fazi vrši se razmatranje mogućnosti integrisanja funkcija dva ili više delova u jedan. Neku krutu proceduru u ovom smislu nije moguće definisati, i uspešnost ove faze isključivo

zavisi od inventivnosti i kreativnosti konstruktora. Integracija se prvo razmara za delove "B" klase, ali se ona takođe odnosi i na delove "A" klase. Od velike pomoći može biti skup IIS-DFA smernica za povišenje pogodnosti u vidu baze rešenih primera:

- a) *Integrirati šarke.* Šarke se mogu integrisati u mnoge plastične delove ukoliko je plastika savitljiva, a zid dovoljno tanak. Ovim se eliminišu dva ili tri dela kao i elementi veze za međusobno povezivanje. Mnoge kutije su projektovane sa integrisanim šarkama, što bezbeduje postupak livenja pod pritiskom i termičko oblikovanje. (Sl. 5).
- b) *Integrirati opruge.* Opruge se mogu integrisati u metalne i plastične delove ili pak druge materijale kao što je fiber. Rezultat je jednostavnija i brža montaža. Opruge kao delovi su problematične sa stanovišta rukovanja materijalom jer se lako zakačinju, ali i sa stanovišta montaže jer su savitljive. Integrisane opruge stoga predstavljaju značajno unapređenje montaže. (Sl. 6).

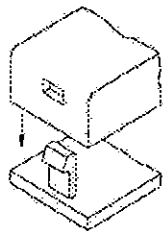


Slika 5

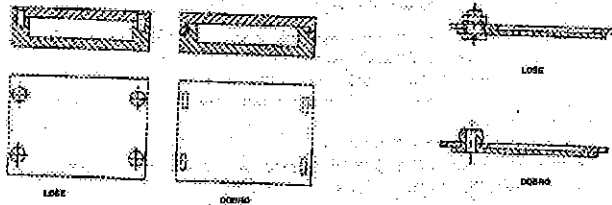


Slika 6

- c) *Koristiti spajanje sa preklopom (prosto spajanje)* Korišćenje prostog spajanja može zameniti elemente veze kao što su npr. vijci. (Sl. 7)
- d) *Integrirati elemente kao što su vođice, ležajevi i poklopci.* U mnogim procesima integracija navedenih elemenata sa osnovnim delom je moguća dovodeći do značajnog smanjenja u ukupnom broju delova. Mnogi plastični materijali imaju prirodno svojstvo podmazivanja što ih čini pogodnim za primenu kod kliznih ležajeva i vođica, posebno kada brzina i pritisak to dozvoljavaju.
- e) *Električne i elektronske komponente grupisati na jednu lokaciju.* Integrisana elektronska ploča je pogodnija od nekoliko pojedinačnih razmeštenim na različitim lokacijama zbog olakšanog (izbegnutog) povezivanja, ventilacije, zamene itd.
- f) Identifikaciju delova obezbediti livenjem umesto lepljenjem etiketa, jer je identifikacija tada trajna i pouzdana i eliminiše potrebu za nabavkom, skladištenjem i lepljenjem zasebne nalepnice.
- g) Koristiti itegrisane kukice, usnice i dr. kako bi zamenili neke od elemenata veze (Sl. 8).
- h) Presovani spojevi, zakovice ili zakačaljke često mogu zameniti navojne veze.



Slika 7

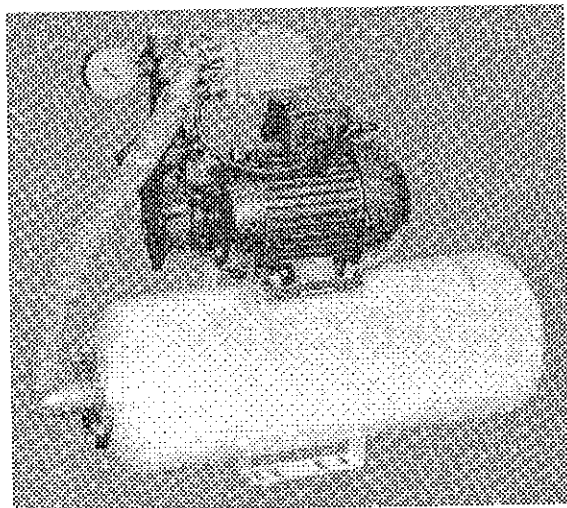


Slika 8

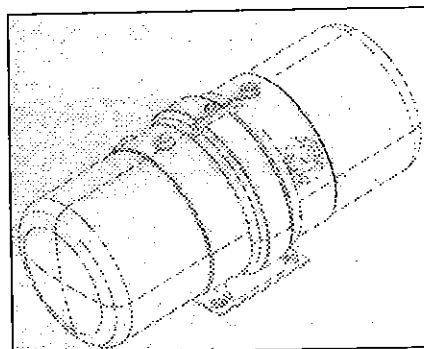
IV FAZA: Potpuna rekonstrukcija proizvoda

Ukoliko je i posle integracije određenih delova koeficijent funkcionalne pogodnosti $K_f \leq 0.60$, potrebno je pažnju preusmeriti na delove klase "A" i izvršiti rekonstrukciju proizvoda jer postojeća koncepcija ne zadovoljava. I ovde je teško ukazati na neke determinističke i konkretne korake za rekonstrukciju. DFA smernice za poboljšanje se sastoje

iz niza rešenih primera u oblasti industrije kojom se preduzeće nalazi. U nastavku je prikazano postojeće rešenje hidropaka za vodu koji se u osnovi sastoji iz elektromotora i rezervoara za vodu (Sl.9). U novom rešenju (Sl.10) elektromotor i rezervoar su integrisani u jednu celinu čime su postignute značajne uštede u pogledu broja delova i složenosti montaže.



Slika 9. Postojeće rešenje hidropaka



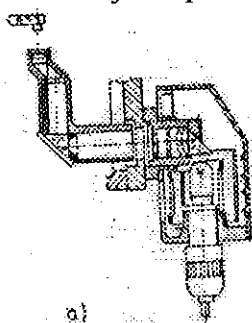
Slika 10 Rešenje nakon rekonstrukcije

V FAZA: *Primena različite/nove tehnologije*

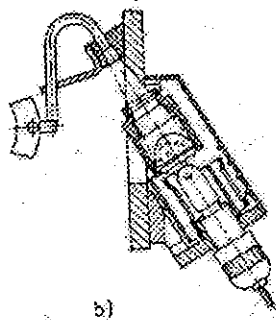
Poslednja faza je najradikalnija, ali ako ju je tehnički moguće ostaviti, donosi najviše koristi. Primena različite/nove tehnologije se vezuje za razvoj unutar primenjenih nauka i najnovijih rezultata iz oblasti fundamentalnih nauka. U prošlosti je nastanak ovakvih pojava bio uglavnom slučajan, a dešavao se samo odabranim osobama sa talentom. Danas svaka firma teži proizvodu koji bi prednjačio konkurentskim proizvodima i originalnim funkcionalnim principima zaštićenih patentom.

U nastavku je dat primer na kojem su prikazana dva sistema za osvetljavanje podeonog kruga Š3C.

Posmatrano sa stanovišta montaže, rešenje pomoću prizmi (sl.11) koje ima 30 delova je znatno poboljšano uvođenjem optičkog kabela (sl.12) čime se broj delova svodi na 10.



Slika 11. Rešenje pomoću prizmi



Slika 12 Rešenje primenom optičkog kabela

4. UMESTO ZAKLJUČKA

Rezultati sprovedenih analiza u okviru IIS-DFA metodologije za ocenu i povišenje pogodnosti proizvoda za montažu, predstavljaju značajne podloge za razvoj tehnološkog postupka i sistema za montažu. Postupak projekovanja se značajno skraćuje jer su projektantu na raspolaganju gotovo svi potrebni podaci vezani za geometrijski model proizvoda (proizvodnog programa) i praktično odmah može pristupiti formiranju varijanti montažnih sistema, a zatim i olakšanom izboru optimalne varijante putem simulacije i tehnokonomske analize. Važno je reći da je IIS-DFA metodologija deo IIS-DFX platforme (Design for eXcellence) i da se razvija u CAD okruženju u kome se u potpunosti može

sprovedbi paralelnost u vršenju analiza primenom različitih DFX alata, a zatim i jednostavno unošenje izmena na geometrijskom modelu proizvoda uz prethodnu tehnoeкономsku verifikaciju.

LITERATURA

- [1] Andreasen, M., Kahler, S., Lund, T.: *Design for Assembly*, JFS Public., UK, 1988.
- [2] Boothroyd, G., Dewhurst, P.: *Design for Assembly*, U. of Rhode Island, 1983.
- [3] Zelenović, D., Ćosić, I.: *Montažni sistemi*, Nauka, Beograd, 1992.
- [4] Bralla, J.G.: *Design for Excellence*, McGraw-Hill, Inc., 1996.
- [5] Ćosić, I., Anišić, Z., Furstner, I.: *IIS-DFA softver za analizu pogodnosti proizvoda za montažu kao deo integralnog razvoja proizvoda*, Zbornik radova, 26.JUPITER konferencija sa međunarodnim učešćem, 12.simpozijum CAD/CAM, Beograd, Jugoslavia, 2000
- [6] Ćosić, I., Pletikosić, M., Anišić, Z.: *Integralni razvoj proizvoda u CAD okruženju*, Zbornik radova str. 3.Međunarodno savjetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije, Banja Luka, R. Srpska, 2000.
- [7] Ćosić, I., Anišić, Z., Furstner, I.: *Development of DFA and DFM Modules in CAD Environment*, Proceedings pp 236-240, Tools'2000 Conf., Trencin, Slovakia, 2000.
- [8] Ćosić, I., Anišić, Z.: *DFA kao podloga za izbor optimalne varijante procesa montaže*, Zbornik radova str.Međunarodna konferencija MMA'2000, Fleksibilne tehnologije, Novi Sad, 2000.

A METHODOLOGY FOR RATING AND ENHANCEMENT OF THE DESIGN FOR ASSEMBLY SUITABILITY

Abstract:

The paper gives the short review of a methodology for rating and improving design characteristics from the aspect of the assembly process. The role and place of the methodology as a part of the IRP (Integrated Product Development) has been also described as well as the need for it's application in present demanding market situation. It has to be applied on the level of the product assortment, structure of the complex product-representative and on the component level, aiming to achieve two primary goals: rationalisation of the part count and the optimisation of handling and fitting parts. The paper describes functional analyse as one of the developed tools enabling successful rationalisation and optimisation.

METALOGRAFSKA ISPITIVANJA TEKKEN PROBA

L. Šidjanin, B. Sabo, D. Stojaković, J. Dakić

Rezime

U radu su ispitivane Tekken probe čelika Č 4732 i Č 0561, debljine 50 mm, sa ciljem utvrđivanja sklonosti ka pojavi prslina u zavisnosti od temperature predgrevanja. Za identifikaciju i karakterizaciju prslina korišćena je svetlosna mikroskopija sa nekonvencionalnom pripremom uzoraka primenom metode replika. Rezultati ispitivanja su pokazali da temperatura predgrevanja nije imala presudan uticaj na pojavu makro i mikro prslina. One su se isključivo javile zbog prisustva martenzitne mikrostrukture u ZUT-u.

UVOD

U cilju obezbedjenja propisanog kvaliteta izrade zavarenih konstrukcija vrši se ispitivanje i kontrola zavarenih spojeva. Ispitivanje zavarljivosti je jedna od metoda ispitivanja koja se sastoji u određivanju osetljivosti šava i zone uticaja toplote na pojavu toplih i hladnih prslina pri zavarivanju čelika sa datim postupkom. Metoda koja definiše sklonost ka stvaranju toplih i hladnih prslina je Tekken proba, a najčešće korišćena mera za sprečavanje te pojave pogotovo kod čelika sa većim sadržajem ugljenika i delova većih debljina je primena postupka predgrevanja osnovnog materijala [1].

U ovom radu prikazani su rezultati metalografskog ispitivanja Tekken proba urađenih od čelika Č 4732 i Č 0561 koji su predgrevani na različite temperature. Za pripremu uzoraka je razvijena i prvi put primenjena metoda bez razaranja -¹ metoda replike.

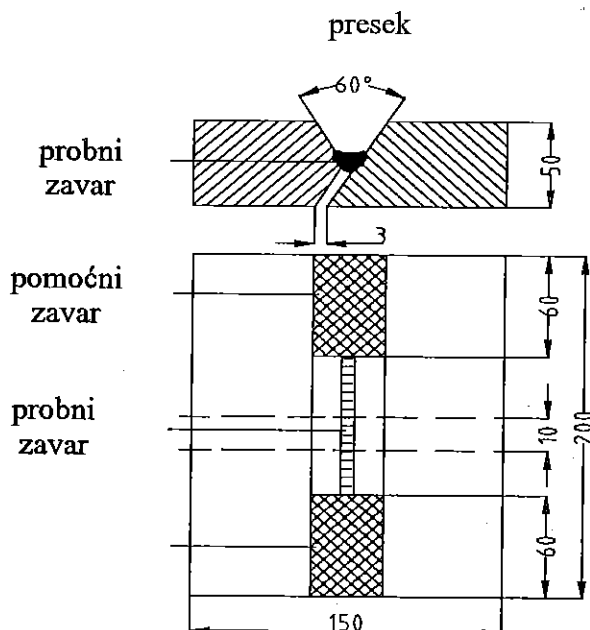
EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje korišćene su ploče debljine 50 mm od čelika Č 4732 i čelika Č 0561 čiji su hemijski sastavi prikazani u tabeli 1:

Tabela 1: Hemijski sastav čelika

	C %	Si %	Mn %	S %	Cr %	P %	Mo %
č 4732	0,45	0,16	0,709	0,010	0,974	0,021	0,263
č 0561	0,21	0,26	1,418	0,036	0,074	0,018	

Od izabranih čelika urađeno je po pet Tekken proba. Izgled i dimenzije zavarenih uzoraka dati su na slici 1:



Sl.1. Izgled i dimenzije zavarenih uzoraka [4]

Referentna temperatura predgrevanja je proračunata prema jednačini Tekken [3], i u odnosu na nju odabrane su temperature predgrevanja u intervalu cca 30°C ka višim odnosno nižim temperaturama, tabela 2:

Tabela 2: Temperature predgrevanja uzoraka

Materijal	Oznaka uzorka	Temperatura predgrevanja T_p (°C)
Č 4732	1	380
	2	350
	3	320
	4	285
	5	260
Č 0561	11	170
	22	140
	33	110
	44	80
	55	50

Pre zavarivanja pomoćnih (korenih) šavova uzorci su predgrevani do pomenutih temperatura gorionikom, a nakon zavarivanja izvršeno je stabilizaciono žarenje. Režimi stabilizacionog žarenja su:

- Zagrevanje do 650°C brzinom 50°C/h
- Držanje na 650°C u trajanju od 2h
- Hladjenje brzinom 25°C/h do 250°C
- Hladjenje na mirnom vazduhu od 250°C do 20°C

Kod zavarivanja probnih šavova izvršeno je takodje predgrevanje svih uzoraka do pomenutih temperatura i to u električnoj peći, s tim što su uzorci od čelika Č 4732 po dostizanju maksimalne temperature peći od 250°C izvadjeni i dogrevani gorionikom do traženih temperatura. Nakon zavarivanja, uzorci od čelika Č 0561 ostavljeni su da se ohlade

na vazduhu, a uzorci 1 i 2 (č 4732), zamotani su u azbestno platno i ostavljeni da se ohlade, a uzorci 3,4 i 5 dogrevani su gorionikom u trajanju od oko 5 min na temperaturama datim u tabeli 3:

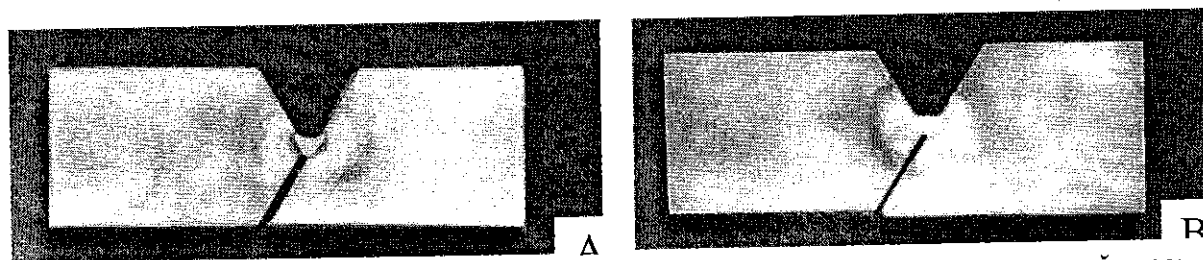
Tabela 3: Temperature dogrevanja

č 4732	Temperatura dogrevanja Td (°C)
Uzorak 3	360
Uzorak 4	350
Uzorak 5	340

Za metalografsko ispitivanje Tekken proba razvijena je i prvi put primenjena posebna metoda pripreme uzoraka bez razaranja. U tu svrhu korišćen je poseban alat i pribor. Principijalno tok pripreme uzoraka je isti kao kod konvencionalnog metoda koji se sastoji od: brušenja, poliranja i nagrizanja. Sa ovako pripremljenih površina uzeti su otisci - replike i analizirani svetlosnim mikroskopom tipa "Leitz".

REZULTATI

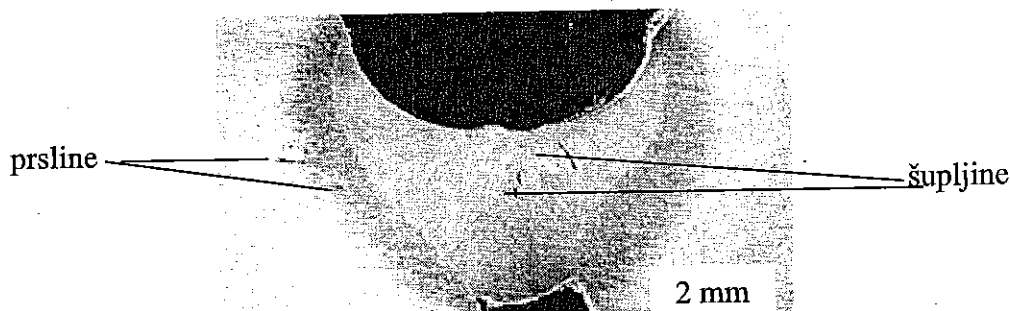
Makroskopski izgled pripremljenih uzoraka Tekken proba kao reprezentativni primeri su dati na slici 2.



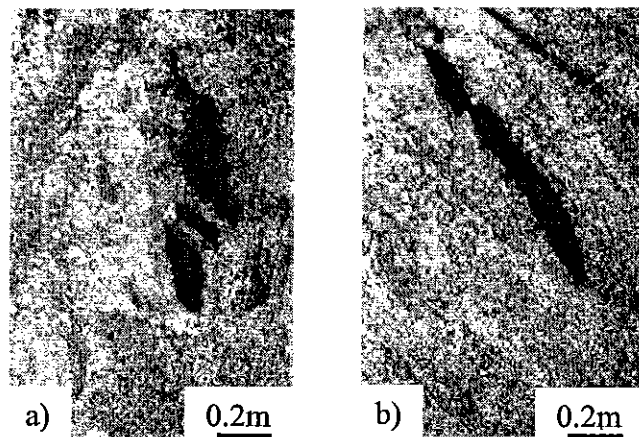
Sl.2. Poprečni presek nekonvencionalno pripremljenih i nagriženih uzoraka: a) - uzorak 3 (Č 4732); b) - uzorak 11 (Č 0561), (umanjeње 2,5x)

Makroskopskim ispitivanjem uzorka 1 uočeno je prisustvo šupljina u metalu šava i hladnih prslina u zoni uticaja toplote, slika 3.

Sl.3. Uzorak 1

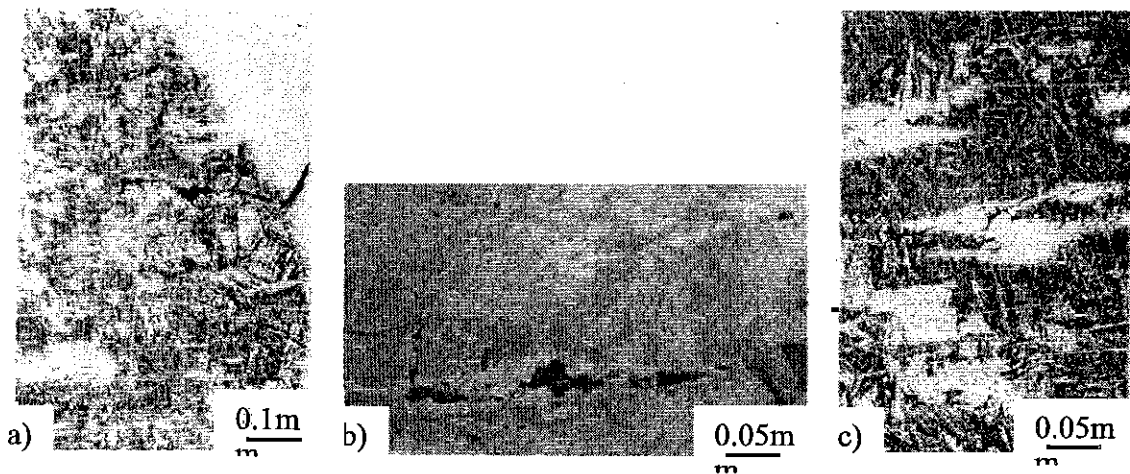


Na slici 4 prikazan je mikroskopski izgled uočenih šupljina:



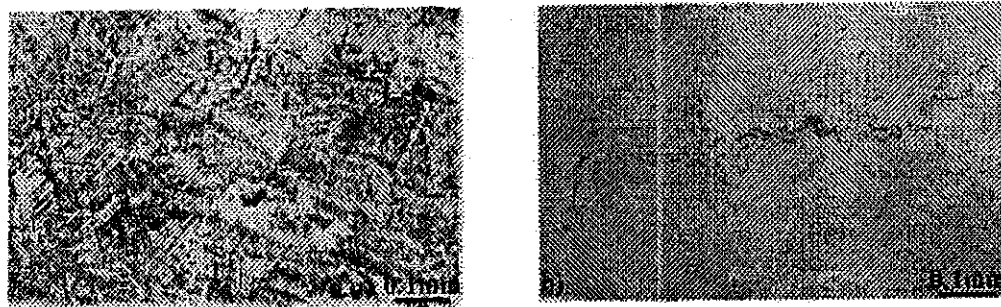
Sl.4. Šupljine u metalu šava u uzorku 1

Otkrivene prsline u uzorku 1 prikazane su na slici 5, gde je na slici 5b prikazan otisak prsline koja je u originalu prikazana na slici 5a.



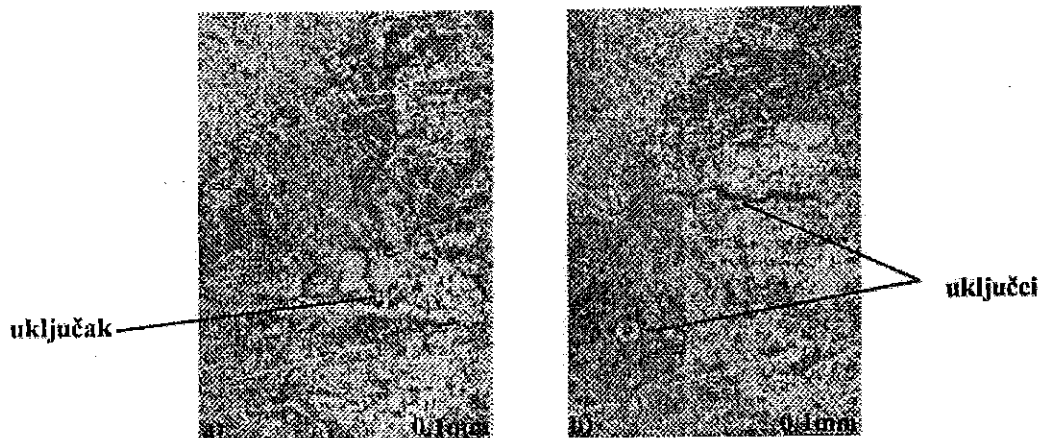
Sl.5. Hladne prsline u ZUT-u

Na slici 6 prikazana je prslina u uzorku 2:



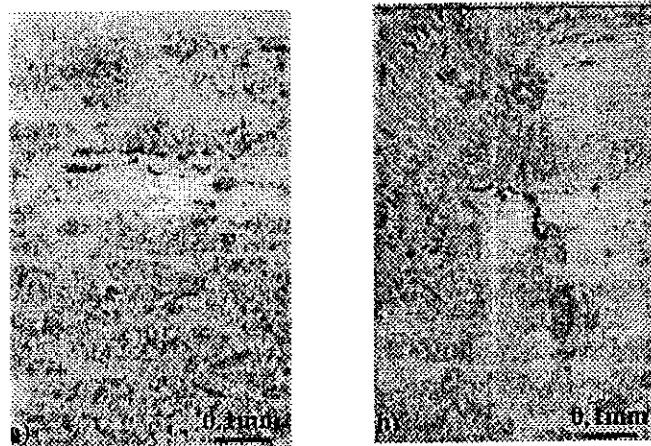
Sl.6. Hladna prslina u ZUT-u
a) - na uzorku; b) - na otisku (replika)

U uzorku 3 u zoni uticaja toplote otkrivene su lamelarne prsline, (slika 7). One su povezane sa nemetalnim uključcima koje se nalaze u samim prslinama i neposrednoj blizini.



Sl. 7. Lamelarne prsline u ZUT-u

U uzorku 4 je utvrđeno prisustvo hladnih prsline koje se nalaze u zoni uticaja toplote, slika 8:



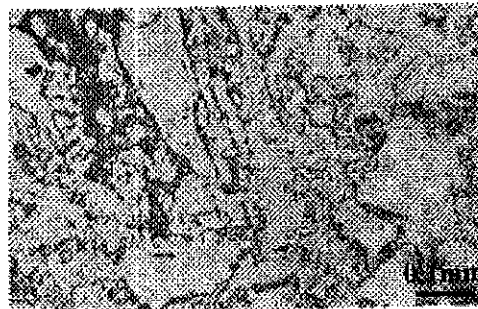
Sl. 8. Mikrostruktura ZUT-a (otisak)

U uzorku 5 i svim uzorcima od čelika č 0561, nisu otkrivene prsline.

Mikrostrukture osnovnih materijala prikazane su na slici 9 i 10.



Sl. 9. Mikrostruktura čelika Č4732



Sl. 10. Mikrostruktura čelika Č0561

Kod čelika Č 4732 mikrostruktura se sastoji iz zrnatog perlita i ostrvca slobodnog ferita količine do 10%, a kod čelika Č 0561 je pretežno feritna sa kolonijama lamelnog perlita.

DISKUSIJA

Identifikovane šupljine u metalu šava (slike 3 i 4) su najverovatnije posledica neravnomernog skupljanja metala šava u trenutku očvršćavanja. Hladne prsline u zavarenom spoju mogu da nastanu usled difuzije vodonika iz metala šava u zonu uticaja toplote, prisustva martenzitne mikrostrukture u zoni uticaja toplote i pojave unutrašnjih napona. Nastale prsline (slike 5, 6 i 8) su posledica hladjenja uzoraka velikom brzinom, većom od kritične, čime je izazvana martenzitna transformacija i time se povećali unutrašnji naponi u materijalu. Prsline u uzorku 3 su lamelarne prsline (slika 7). Njihova pojava je uzrokovana prisustvom nemetalnih uključaka u čeliku [1]. S obzirom da se uključci po osobinama razlikuju od osnovnog materijala, njihovo prisustvo izaziva anizotropiju osobina kao i izrazit pad plastičnosti. Anizotropija po debljini čelika naročito je izražena kod limova većih debljina [2]. Identifikovane lamelarne prsline su u osnovnom materijalu u pravcu debljine lima i pružaju se slojevito.

Kod uzorka 5 (č 4732) i svih uzoraka od čelika č 0561 nije došlo do pojave hladnih prslina jer je izbegnuto hladjenje brzinom većom od kritične. Uzorak 5 ima bainitnu mikrostrukturu u zoni uticaja toplote što znači da je dogrevanje uzoraka do pomenute temperature počelo pre nego što se uzorak ohladio do temperature martenzitne transformacije.

čelik č 0561 je niskougljenični čelik, sa sadržajem ugljenika od 0,21% i kao takav ima veću kritičnu brzinu hladjenja te nije sklon stvaranju krte martenzitne strukture.

ZAKLJUČAK

Rezultati ispitivanja Tekken proba pokazali su da uzorci od čelika Č 0561 nisu skloni pojavi prslina, dok uzorci čelika Č 4732 ukazuju na sklonost ka njihovom obrazovanju. Kod uzoraka od 1 do 4 uprkos svim preduzetim merama termičke obrade nije postignuto hladjenje brzinom manjom od kritične što je prouzrokovalo nastajanje martenzita u zoni uticaja toplote, a time i pojavu prslina.

LITERATURA

- [1] I. Hrivnjak, Zavarljivost čelika, Beograd, 1982., 48, 57, 59, 81
- [2] V. Šijački-žeravčić, A. Milosavljević, A. Sedmak, Priručnik za mašinske materijale-zavarivanje, lemljenje, livenje, Beograd, 1996, 125
- [3] D. Uwer, H. Höhne, Ermittlung angemessener Mindestvorwärmtemperaturen für das kaltrißsicher Schweißen von Stählen, Schweißen und Schneiden, 43 (1991), H.5, S.282/86
- [4] D. Stojaković, Diplomski rad, Novi Sad, 2000, 16

SUMMARY

In this paper two steels Č 4732 and Č 0561 of 50 mm thickness have been investigated by Tekken test, using different heat treatments. For micro structural analysis specimens were prepared by nonstandard metallographic technique (replica method) and examined with a light microscope.

It was found that preheating temperature did not have crucial influence on macro and micro cracks appearance. The cracks were always associated with present of martensite in heat-affected zone.

VIBRATION CUTTING OF GAS-THERMAL COATINGS

Alexander Pilipenko¹⁾, Leonid Polonsky²⁾

The article includes the results of the theoretical and experiments investigations of the processes of production of parts of machines with wear-resistance coatings. The method which deals with the improving efficiency of the machining and exploitation of details coating with help of external vibrator has been suggested. The possibilities of the coatings cutting by means of vibration and the elimination of damage level during exploitation have been defined. The results of the research of the vibrating processes in the technological system with a diamond grinding of the wear resistant covering Rutil-2 (TiO_2) have been shown in the work. The whole results of analytical dependence of the parameters of the vibrating field system and roughness of processing on the method of processing and the dependence of the roughness on the vibration field parameters have been given.

INTRODUCTION

The machining of the extremely hard and solid materials, including surfacing, building up by welding and coverings, can be made up using the instrument of extremely solid materials. The relevant materials are gexanit, amborit, kiborit and so on [1].

With the aim of development of the instrument's solidity it is necessary to describe the thermopower loading in the area of contact "covering - instrument". The decline of the regime parameters decreases the process efficiency so there is no point in it.

The decision of this question can be implemented by applying a thin film (5...7) mkm of ultradisperse diamonds as antifriction material on the out plane of extremely solid material.

The previous researches have proved that the strength of the blade cutting tools, made up from kiborit, can be improved by means of the antifriction covering up to 10...20%. The HRC 55...60 samples with surfacing, building up by welding and metallic coverings have been machined. The further researches of the cutting tools can be fulfilled in future [2].

At present the attention of researchers and mechanical engineers is attracted by metallic coatings Ni-Cr-B-Si system and ceramics. But their processing of mechanical is very difficult.

In comparison with other high wear resistance materials, the coating of complexes and ceramics have the significant hardness and strength at high temperatures.

All coverings of wear resistance can be divided into simple and complex ones. The simple coatings represent the compounds of the metal, complex coatings are compounds of two or several materials. The coating of ceramics are often refractory materials, however their melting temperatures is less than melting temperature of components. The coating of ceramics in many cases have the low plasticity and resistance to the shock loads.

¹⁾ Cherkassy, Institute of Engineering and Technological, Ukraine.

²⁾ Zhitomir, Institute of Engineering and Technological, Ukraine.

METHOD OF RESEARCHES

At present the coating of ceramics and metallic (aluminium oxide Al_2O_3 , titanium dioxide (Rutil-2) TiO_2 , zirconium dioxide ZrO_2 , chromium oxide Cr_2O_3 , Ni-Cr-B-Si system: ПГ-CP4, ПГ-10H-01, ЧГГ-50, as more wear resistance materials. Some properties their and chemical compositions are listed in table 1 and table 2.

Table 1. Chemical composition of the coatings.

Coating	Ni	Cr	Si	B	Fe	Mn	C
ПГ-CP4	basis	1,6-1,8	3,8-4,5	3,1-4,0	0-5,0	-	0,8-1,2
ПГ-10H-01	basis	8-20	1,2-5,5	1,7-4,5	1,2-5,5	-	-
ЧГГ-50	basis	13-19	3-5	2,7-4,7	>4	-	-

Table 2. Mechanical properties of the coatings.

Coating	Hardness, HRC	Thickness, [mkm]	Strength, [MPa]		Ultimate Elongation, [%]	Adhesion,* [MPa]
			Impact	Tensile		
ПГ-CP4	55	200	21	115	8,5	35
ПГ-10H-01	53	300	24	120	9,0	40
ЧГГ-50	57	250	18	98	12	50

* Adhesion coatings with steel St.3.

The aim of the worring is to research the state of machining of the wear resistant coatings under the influence of the vibrator field of the technological system while producing and restoring the highly deficit foreign-produced parts and to work out highly efficient technological process on this basis.

The tasks of the working are the following:

- to classify the parts in accordance with the nature of wear and the operating conditions;
- to work out the model of machining which have of parts with wear-resistant coatings of increased adhesion;
- to work out the technological means of the process of machining and their testing on the production conditions;
- to work out and implement the progressive machining processes in to the production.

The reseaches have been carried out by the methods of grinding and polishing with the use of the instruments made of kiborit and the artificial diamond instruments. The forced vibrations of an instrument or a detail have been carried out with the help of a vibrator with frequency 15...20 Khertz and amplitude 10...15 mkm. A vibrator has been installed in a special device.

EXPERIMENTAL RESULTS.

A traditional cutting of the coatings is carried out without taking into consideration of special properties of their structure. It leads to instability of cutting and an appearance of vibrations in a technological system. A capacity of a nucleus of particles which are inclined is known to exceed a cohesion capacity it 4,5...5,0 times [3]. A vibration cutting destroys the coating in cohesion connections among particles (Fig.1), such process considerably reduces thermopower conditions of processing and provides a better quality of a detail.

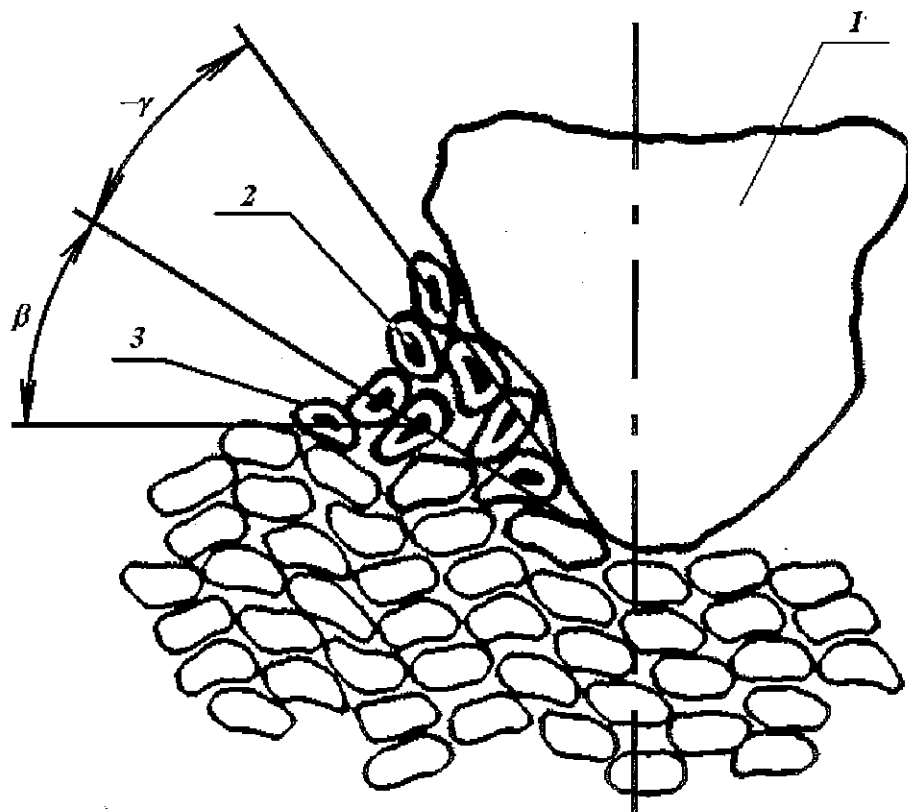


Fig. 1. A plan of a destruction of the coating by an abrasive kernel.

A destruction of continuous materials can be presented as a momentary break of the forces of interatomic interaction along the flatness which is perpendicular to a direction of an action P and tangential constituent of a force of cutting without any vibration. If we approve a function $\sigma(X)$ which characterises a dependence of a tension from a coordinate of an interatomic distance X by a harmonious function then the highest possible tension of a destruction will be determined

$$\sigma_{max} = \left(\frac{V_0 \cdot E}{r_0} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

where V_0 – is a specific superficial energy which is used for a formation of two new surfaces after a destruction of a crystal gzh/m^2 ;
 E – is a module of a normal spring;
 r_0 – is an interatomic distance.

We must take into consideration that $P_x(P_2^1)$ formulates attached tensions

$$\tau = G \cdot v, \quad (2)$$

where G – is a module of a spring at a displacement;

v – is a relative displacement, the highest possible tensions G_{max} in 4,5...5,0 times less than attached tensions τ .

The experimental researches of a vibration grinding of metal and ceramic coatings are presented in a table 3 [4,5].

Table 3. The Comparative Results of Usual and Vibration Grinding of the Coatings.

A number of an experiment	A type of the coating	Conditions of cutting			Constituents of a force of cutting			
		t, mm	V _{part} , m/m	S _p , mm/h	Without vibrations		With vibrations	
					P _y , n	P _z , n	P _y , n	P _z , n
1	ПГ-CP3	0,03	5,0	2,5	25	5,0	14	3,5
2	ПГ-CP4	0,03	7,2	3,4	28	5,8	15	3,8
3	CHГН-50	0,03	6,8	2,8	32	6,4	18	4,0
4	Al ₂ O ₃	0,02	4,0	1,5	47	8,0	22	4,8
5	TiO ₂	0,02	3,5	1,8	54	10,0	26	5,4
6	Zr ₂ O ₃	0,02	3,0	2,2	46	7,2	20	4,5
7	Cr ₂ O ₃	0,02	3,8	2,0	52	10,2	27	5,2

A grinding has been carried out by a diamond circle A1A 200x127x20x3-AC-15-100/80-M1-01-100% at optimum conditions of cutting. A rough of a surface was determined by an optimum criterion.

CONCLUSIONS.

The wear and tear stable coatings are considered to be an effective means of a renewal and strengthening of the details of machines. But the peculiarities of their structure make some problems for machining. The use of some traditional technologies of the coatings has achieved its limit both in its efficiency and quality.

The forced vibrations of an instrument or a detail in ultrasonic diapason are suggested with a purpose of an intensification of a machining. The researches have shown a considerable reduction of the constituents of the force of cutting by the vibration grinding of the coatings. It is explained by a change of a nature of the destruction of the surface of a detail by a shaving-formation. The destruction is carried out by cohesion connections, but not by nucleus of particles (it is by the vibration cutting).

The cutting forces by the grinding of the metal coatings are less into three times than by the grinding of ceramic ones. It is explained by more solidity of the last ones. The forced ultrasonic vibrations reduce considerably the forces of cutting (into 1,5...1,8 times). Especially it is important for radical constituents of the force of cutting as normal tensions from its constituents reduce adhesion of the coating and lead to its exfoliation.

REFERENCES.

1. Точение износостойких защитных покрытий / Клименко С.А., Муковоз Ю.А., Полонский Л.Г., Мельничук П.П. – Киев: Техника, 1997. – 140 с.
2. Пилипенко А.М. Обработка самофлюсующихся покрытий киборитовыми резцами с ультрадисперсными алмазами // Ремонт машин и механизмов: Сб. науч. тр. – Киев: ИСМ АН Украины, 1993. – С. 61–63.
3. Пилипенко О.М. Передумови вібраційного шліфування покриттів // Вісник ЧІТІ. – 1998. – №1. – С. 77–79.
4. Пилипенко О.М. Структурно-функціональний аналіз оброблюваності зносостійких покриттів // Машинознавство. – 1997. – №1. – С. 31–33.
5. Пилипенко О.М. Стружкоутворення при віброшліфуванні покриттів // Машинознавство. – 1998. – №8. – С. 29–31.

MOGUĆNOSTI PRIMENE LASERA PRI PROIZVODNJI KAROSERIJSKIH DELOVA

B. Nedić, D. Čučuzović, Ž. Vasiljević ¹⁾

Rezime

U okviru rada date su osnovne informacije o mogućnosti primene lasera u industriji prerade metala sa posebnim akcentom na obradu sečenjem. U skladu sa izraženim potrebama za maloserijskom proizvodnjom odpresaka u preduzeću ZASTAVA KAMIONI Kragujevac, intenzivno se razmatra mogućnost nabavke opreme za obradu sečenjem laserom. Pre toga potrebno je sagledati karakter, obim i mogućnosti njegove primene.

1. UVOD

Proizvodnja odpresaka u maloserijskoj proizvodnji zahteva projektovanje takvog tehnološkog procesa koji će obezbediti maksimalnu ekonomičnost i racionalnost proizvodnje uz povećano učešće rada radnika. Pri tome kvalitet proizvoda mora biti na zadovoljavajućem nivou, a proizvodnja kontinualna, bez zastoja i otkaza.

Kod proizvodnje odpresaka u velikim serijama kod nas i u svetu uglavnom je zadržan konvencionalni oblik tehnološkog procesa, odnosno proizvodnja se odvija sa klasičnom opremom i alatima. Zahvaljujući, na prvom mestu, velikim ulaganjima u opremu i alate izvršena je odgovarajuća mehanizacija, automatizacija i robotizacija procesa i postignuta je ekonomičnost proizvodnje. Međutim ovakav koncept primenjen kod velikoserijske proizvodnje se ne može primeniti kod maloserijske proizvodnje odpresaka jer bi takva proizvodnja bila neracionalna i neekonomična. Jedan od mogućih rešenja za izradu odpresaka u uslovima maloserijske proizvodnje predstavlja svakako i primena laserske tehnologije, koja je u uslovima malih serija visokog asortimana, ekonomična i brzo isplativa.

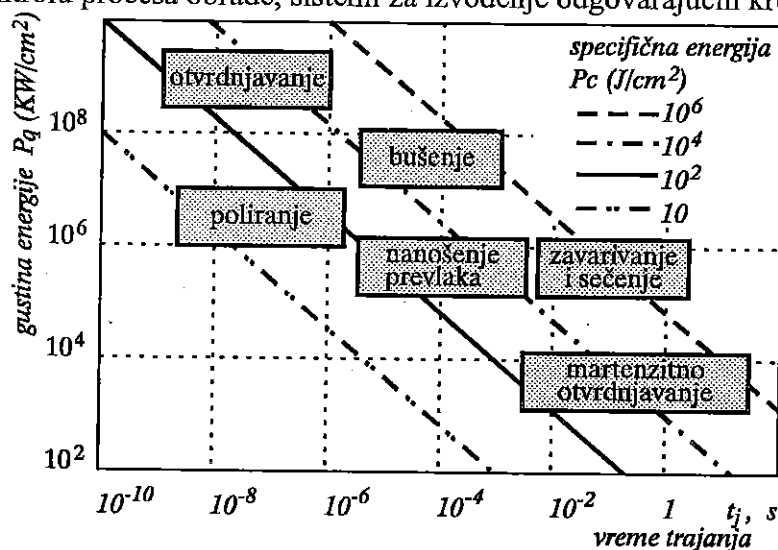
2. LASERSKA OBRADA

Specifične osobine laserskog zračenja omogućile su široku primenu lasera u industriji, informatici, medicini, vojnoj industriji i nauci. Iako su prvi laseri napravljeni šezdesetih godina, tek u osamdesetim su dobili veći značaj i postali osnova za potpuno nove procesne i proizvodne tehnologije. Laserska tehnologija je našla primenu u većini industrijskih grana za obradu materijala i metrologiji. U metaloprerađivačkoj industriji laserska tehnika se trenutno najviše koristi za sečenje limova, bušenje, termičku obradu i zavarivanje.

Laserska obrada (Laser Beam Machining LBM) je zasnovana na primeni visoko-koncentrisane svetlosne energije, dobijene stimulisanim zračenjem, za obradu materijala topljenjem ili isparavanjem. Laserski zrak fokusiran na radni prečnik 0,15 do 0,2 mm postao je univerzalni alat kojim je, tako reći, moguće izvoditi čitav niz proizvodnih operacija: lasersko bušenje, lasersko sečenje, otvrdnjavanje laserom - termička obrada, zavarivanje, lasersko obeležavanje (graviranje) itd (slika 1). Osnovne elemente instalacije za obradu laserom čine: sistem za formiranje - generisanje laserskog zraka, sistem za prenos i fokusiranje zraka na predmet obrade, sistem za hlađenje predmeta obrade, sistem za praćenje,

¹⁾ Doc. dr Nedić Bogdan, Dragana Čučuzović, Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac
Živorad Vasiljević, dipl. ing. Zastava kamioni, Trg topolivaca 4, 34000 Kragujevac

upravljanje i kontrolu procesa obrade, sistemi za izvođenje odgovarajućih kretanja.



Slika 1. Proizvodne operacije obrade laserom

Mogućnost obrade metala laserom je različita i zavisi od svojstava materijala, a naročito od toplotnofizičkih svojstava (specifični toplotni kapacitet, toplotna provodnost, toplota topljenja i sublimacije, temperatura topljenja i isparavanja itd.). Kod nemetala ovakva konstatacija ne važi jer su fizički procesi znatno kompleksniji.

Obrada laserskim bušenjem podrazumeva izradu otvora i rupa u materijalu prečnika do 4 mm (max prečnik fokusiranog zraka potrebnih karakteristika). Sadašnji laserski sistemi sa svojim optičkim elementima omogućuju izradu otvora veoma malih prečnika (0,01 mm, laseri sa čvrstim emiterom) i dubina većih od 50 mm u pojedinim materijalima (srebru, itd). Tačnost izrade otvora je velika, greške dimenzija su 5 - 8%.

Obrada laserskim sečenjem je nazastupljenija obrada laserom pločastih materijala (limovi i folije) pri čemu se izvode operacije odsecanja ili rezanja (krojenja). Sam princip obrade se zasniva na lokalnom topljenju metala i odnošenju produkata obrade pod dejstvom struje radnog gasa. U primeni su uglavnom CO₂ laseri za sečenje svih vrsta metala (ugljeničnih i legiranih čelika, aluminijuma, bakra, mesinga, titana i dr.) i nemetala (plastične mase, guma, koža, drvo, papir i dr.), kao i neorganskih materijala (azbest, keramika, grafit i dr.). Na kvalitet obrade utiče veliki broj faktora od kojih su najznačajniji: snaga lasera, vremenska stabilnost snage, osobine materijala predmeta obrade, brzina rezanja, vrsta i pritisak radnog gasa, karakteristike laserskog zračenja, mogućnost upravljanja procesom rezanja i parametrima lasera, karakteristike sistema za fokusiranje itd.

Zavarivanje laserom se karakteriše time da se laserski zrak manje snage fokusira duže vremene na predmet obrade, usled čega dolazi do zagrevanja i stvaranja centara zavara, odnosno materijali na tim mestima počinju da se tope i stapaju. Pri ovome ne koristi se dodatni materijal, a formirani var je visokog kvaliteta, homogen je i bez uključaka vazduha. Laserskim zavarivanjem moguće je izvršiti varenje i raznorodnih materijala debljine i do 50 mm, što klasičnim postupcima zavarivanja nije jednostavno izvesti. Ostali postupci laserske obrade su znatno manje u primeni pri izradi odpresaka.

3. OPRAVDANOST PRIMENE LASERSKE OBRADU U PROIZVODNJU ODPRESAKA

Kao što se analizom karakteristika laserske obrade može videti razvoj proizvoda u automobilskoj industriji i mašingradnji se može zasnivati velikim delom na primeni lasera zbog svoje preciznosti, pouzdanosti, ujednačenog kvaliteta, velike brzine obrade, kao i mogućnosti automatizacije i robotizacije procesa.

U maloserijskoj proizvodnji, kojom raspolažu ZASTAVA KAMIONI od primene laserske tehnologije obrade lima očekuje se da ona zauzme značajno mesto u tehnološkom

procesu iz više razloga:

- optimalno iskorišćenje materijala (limova i traka),
- mogućnost da se jedna ili više operacija rade istovremeno (opsecanje, probijanje, prosecanje otvora različitih oblika i dimenzija itd.) što se postiže programiranje potrebnih kretanja, čime se eliminiše veliki broj klasičnih alata,
- izrada programa i njegovo ažuriranje u računaru za kasniju upotrebu, pri čemu se nakon programiranja isključuju aktivnosti radnika i ciklus obrade se automatski izvodi i ponavlja po potrebi,
- kvalitet obrade je veoma visok i konstantan u toku izrade cele serije,
- u zavisnosti od snage lasera, brzina rezanja može biti znatno velika (i preko 50 m/min) čime je obezbeđena ekonomičnost obrade,
- smanjena je potreba za održavanjem velikog broja presa i preserskih alata.

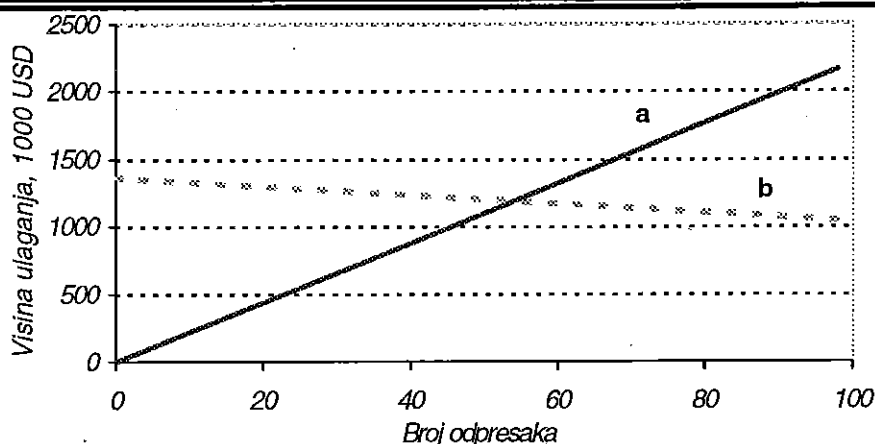
Polazeći od pretpostavke da se proizvodnja jednog tipa privrednog vozila završava nakon 60.000 jedinica, to je amortizacija klasičnih alata veoma niska (danas se teško i može izraziti u uslovima veoma smanjene proizvodnje), što je sa aspekta potrebnih ulaganja u iste neracionalno i ne može imati ekonomsko opravdanje.

Da bi se na što relevantniji način mogla izraziti ekonomska opravdanost uvođenja laserske tehnologije u proces proizvodnje odpresaka potrebno je izvršiti klasifikaciju delova na male, srednje i srednje velike odpreske veoma složenih kontura razvijenog oblika koji posle sečenja idu na obradu hladnim deformisanjem (izvlačenje, savijanje, povijanje, razvlačenje i sl.). Podela je izvršena prema približnoj (razvijenoj) dužini reznih kontura alata i debljina lima na osnovu čega se može utvrditi cena klasičnih alata kao i vreme laserskog sečenja. Shodno izvršenoj klasifikaciji dobijene su sledeće grupe odpresaka prikazane u tabeli 1. Ova analiza se odnosi na ravansko sečenje laserom (dvodimenzionalna obrada).

Na osnovu usvojene brzine rezanja laserom (5 m/min), usvojenog stepena iskorišćenja 0,9 i godišnjeg obima proizvodnje (pretpostavljenih 5000 jedinica jednog modela karoserije) mogu se izračinati potrebno vreme, mogući kapacitet mašine za lasersko sečenje, vrednosti alata i odgovarajući troškovi. Mogući broj različitih odpresaka jedne grupe u seriji od 5000 kom. se može izračunati kao odnos raspoloživog godišnjeg fonda časova rada (3100 časova) i vremena potrebnog za izradu svih sedam različitih grupa odpresaka (225 h) i iznosi 14. To znači, broj različitih alata u okviru jedne grupe odpresaka iznosi 14, odnosno ukupan broj različitih alata je $14 \times 7 = 98$.

Tabela 1. Klasifikacija odpresaka i vrednosti ulaganja

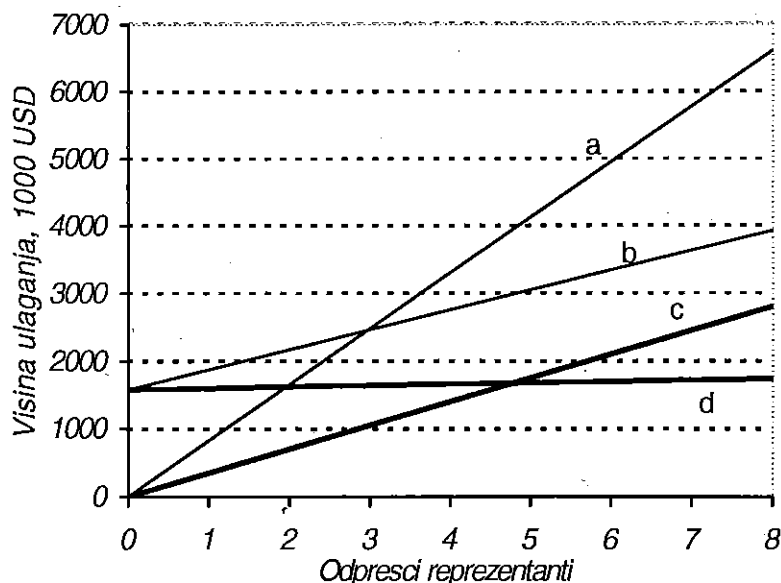
R. br.	Dimenzije odpreska	Deblji na mm	Vreme rezanja h/kom.	Prosečna vrednost alata USD	Ukupna vrednost svih alata	Vrednost laserske mašine
1	odpresci ~80 x 150 mm, dužine konture do 500 mm	1-3	0,0025	11.700	2.158.300 USD	1.052.000 USD
2	odpresci ~60 x 150 mm, dužine konture do 500 mm	3-6	0,0033	14.200		
3	odpresci ~120 x 250 mm, dužine konture do 900 mm	1-3	0,0040	17.500		
4	odpresci ~100 x 200 mm, dužine konture do 700 mm	3-6	0,0050	21.700		
5	odpresci ~200 x 350 mm, dužine konture do 1300 mm	1-3	0,0066	24.200		
6	odpresci ~250 x 500 mm, dužine konture do 1800 mm	1-3	0,0100	29.200		
7	odpresci ~350 x 700 mm, dužine konture do 2500 mm	1-3	0,0130	35.800		
Ukupno vreme za seriju od 5000 kom. = 225 h				Ukupan broj različitih alata = 98		



Slika 2. Dijagram zavisnosti visine ulaganja od broja odpresaka a - ulaganja u klasične alate, b - ulaganja u lasersku mašinu

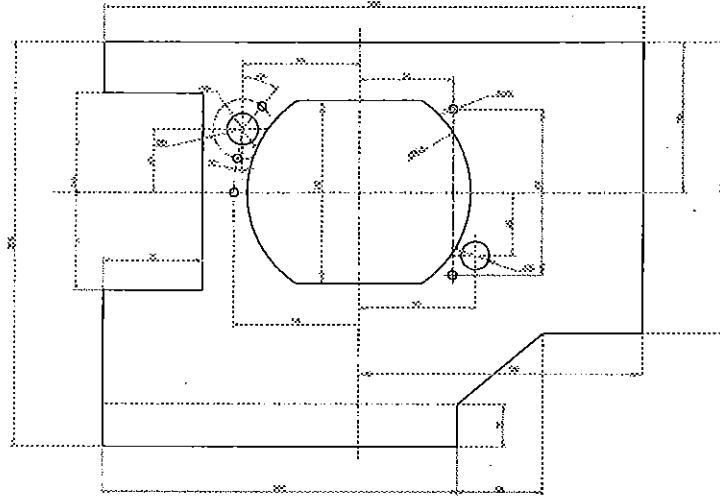
Ako se posmatra odnos vrednosti potrebnih alata za 98 različitih odpresaka i vrednost laserske mašine, vidi se da je ulaganje u alate znatno veće, 205% u odnosu na ulaganje u lasersku mašinu. Na slici 2 prikazan je dijagram zavisnosti visine ulaganja od broja različitih odpresaka. Može se zaključiti da je u slučaju proizvodnje manjeg broja odpresaka (manje od 40 različitih odpresaka) ulaganje u lasersku mašinu neekonomično, što sa druge strane, direktno ukazuje na opravdano ulaganje u slučaju širokog asortimana odpresaka kao što je slučaj u ZASTAVA KAMIONIMA.

Prethodna analiza je sprovedena za tehnološki proces dvodimenzionalnog ravanskog laserskog sečenja. Radi upoređenja ulaganja u alate za izradu trodimenzionalnih odpresaka i mogućnost primene lasera izvršen je izbor 8 odgovarajućih reprezentata kojim su obuhvaćeni: spoljna i unutrašnja, leva i desna obloge zadnjih vrata, unutrašnji desni zadnji blatobran, centralni i zadnji deo krova i spoljna obloga ispod zadnjih vrata karoserije vozila RIVAL - generacija 2. Za ove delove formirane su konkretne cene za klasične alate. Sprovedena analiza se odnosi na ulaganje u alate sa klasičnom tehnologijom i kombinovani tehnološki postupak pri čemu se koristi laser i klasični alati koji se ne mogu zameniti laserom. Na dijagramu na slici 3 prikazani su odnosi ulaganja u laser sa pripadajućim alatima i ulaganja u klasičnu tehnologiju.



Slika 2. Dijagram zavisnosti visine ulaganja od broja odpresaka a - ulaganja u klasične čelične alate, b - ulaganja u kombinovani tehnološki postupak (laser + čelični alati), c - ulaganja u čelične alate koji mogu da se zamenju laserom, d - ulaganje u laserski sistem i alate koji zamenjuju čelične alate

Polazeći od detaljnog sagledavanja laserske tehnologije i njenih mogućnosti, kao i raspoloživih kapaciteta u zemlji, Zastava kamioni su, mada ne raspolažu sa potrebnom opremom, počeli da koriste njene mogućnosti. Naime, za određeni broj odpresaka - elemenata karoserijskih sklopova se vrši usluga laserskog sečenja već duži period kod preduzeća koja raspolažu sa laserskom opremom. Na slici 4 je prikazan crtež jednog dela čija se obrada izvodi laserskim sečenjem.



Slika 4. Crtež levog nosača fara pripremljen za lasersko sečenje

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dosta grube uporedne tehnološke analize mogu se izvući zaključci: Početna ulaganja u laserske sisteme za dvodimenzionalno ili trodimenzionalno rezanje lima su znatna, potrebna je veoma kvalifikovana radna snaga i funkcije tehnologije, pripreme, logistike i proizvodnje u organizacionom smislu mora biti na veoma visokom nivou.

Nasuprot ovim činjenicama stoji niz argumenata u korist laserske tehnologije: povrćaj uloženi finansijskih sredstava kod laserskih sistema je za veoma kratko vreme, znatno su niži troškovi proizvodnje, proizvodnja je bez zastoja, visoka fleksibilnost laserskih sistema omogućuje izradu najrazličitijih delova za kratko vreme u količini od jednog komada do srednjih serija, oslobađaju se značajni preserski kapaciteti, smanjuju se površine za skladištenje čeličnih alata i unutrašnji transport za manipulaciju sa alatima, eliminišu se troškovi održavanja alata, pojava buke i vibracija i zagađenja radne i životne sredine su svedena na minimum, smanjuje se mogućnost pojave lošeg kvaliteta i "škarta", odnosno, kvalitet izrađenih delova je veoma visok.

Na kraju treba istaći da je ovo samo prvi korak u zameni klasičnog tehnološkog procesa proizvodnje odpresaka novim visoko fleksibilnim tehnologijama, kao i mogućim alternativnim postupcima koji će ga uspešno, efikasno, kvalitetno i ekonomično zameniti. Zbog toga je za ekonomičnu proizvodnju odpresaka u malim serijama najbolje uvoditi kombinovani tehnološki proces presovanja koji u sebi sadrži nove tehnologije, alternativne postupke, kao i konvencionalne metode presovanja.

LITERATURA

1. Lazić, M., Nekonvencionalni postupci obrade, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
2. Lazarević, D., Radovanović, M., Nekonvencionalne metode obrade materijala odnošenjem, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš, 1994.
3. Trajkovski, S., Dudeski. L.J., Nekonvencionalni metodi na obrabotka, Univerzitet "Sv. Kiril i Metodij", Mašinski fakultet, Skoplje, 1999.
4. Grupa autora, Nekonvencionalni postupci izrade alata za obradu materijala plastičnim deformisanjem sa stanovišta uvećanja veka alata i minimiziranja troškova proizvodnje alata, Zastava kamioni, Kragujevac, 1990.

NANOŠENJE PREVLAKE POMOĆU PLAZME

D. Lazarević, V. Krstić, A. Lazarević¹⁾

Rezime

U okviru rada analiziran je postupak nanošenja sloja legure (prevlake) na osnovni materijal navarivanjem pomoću plazme. Eksperiment obuhvata iznalaženje optimalnih parametara za nanošenje Stelit 12 legure na čelik Č0371, kao i uticaj različitih parametara na tvrdoću i strukturu nanešene prevlake.

1. UVOD

U cilju poboljšanja karakteristika gotovih delova često puta se pribegava prevlačenju osnovnog materijala izradnog dela nekim drugim materijalom koji ima bolje zhtevane osobine. Danas je razvijen širok dijapazon tehnologija koje omogućuju ovakav tretman materijala. Od tehnologija koje se često koriste u ove svrhe mogu se pomenuti sledeće: galvanizacija, metalizacija, legiranje osnovnog materijala u površinskom sloju itd.

U ovom radu dat je poseban osvrt na nanošenje prevlake plazmom. Ova metoda obrade spada u grupu savremenih tehnologija, koja sve više nalazi primenu u mašinstvu a naročito u oblasti kosmičke industrije, avio industrije, u proizvodnji nuklearnih reaktora, postrojenja koja rade u agresivnim sredinama itd.

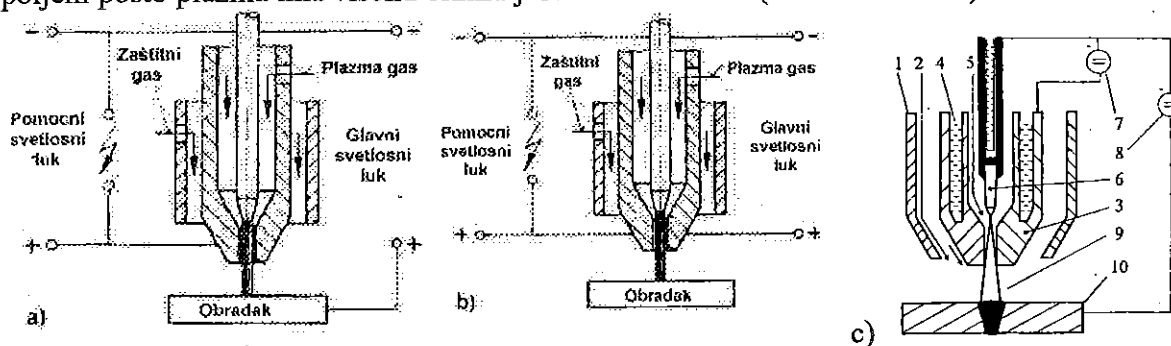
2. OBRADA PLAZMOM

2.1 Teorijske osnove obrade plazmom

Materija na temperaturi $8000 \div 11000^\circ\text{K}$ je u stanju jonizovanog gasa koja se naziva plazmom (četvrto agregatno stanje). U tom slučaju, uporedo sa neutralnim i pobuđenim atomima, postoje pozitivni joni i slobodni elektroni. Materija pri zagrevanju prelazi iz čvrstog preko tečnog u gasovito stanje, a moguć je i sublimacioni prelaz (iz čvrstog stanja u gasovito). Pri tome se povećava kinetička energija molekula i atoma, jer slabe njihova međudelovanja. Daljim zagrevanjem kidaju se i veze između jezgra i elektrona, pa nastupa jonizacija gasa, tj. plazma. Mlaz plazme koji se koristi pri obradi dobija se jakom jonizacijom neutralnog gasa (helijuma ili argona sa procentualno manjom nečistoćom vodonika) (slika 1). Neutralni gas (plazma gas) uvodi se u gorionik preko luka u električnom polju između elektroda gde je električno pražnjenje. U tom polju elektroni bivaju ubrzani do te mere da nastupa jonizacija, tj. dobija se mlaz plazme. Na slici 1a. prikazan je plazma gorionik otvorene izvedbe gde se osnovni luk stvara između katode u gorioniku i obratka - anode. Gorionik zatvorene izvedbe prikazan je na slici 1b, kod koga luk gori u uskom međuelektrodnom prostoru i ne izlazi iz gorionika. U tom slučaju luk se ostvaruje između katode u gorioniku i anode-mlaznice. Na slici 1c. prikazana je kombinovana izvedba gorionika. Prelaz gasa u plazmu vrši se postepeno, pa se pri temperaturi od oko 5000°C javlja neznatna količina naelektrisanih čestica; na temperaturi od $5000 \div 10000^\circ\text{C}$ već ih ima nekoliko procenata, dok na temperaturi $30000 \div 50000^\circ\text{C}$ nastupa 100% jonizacija gasa. Termička ravnoteža u mlazu plazme postiže se dodavanjem manjih količina primesa kroz otvor. Hlađenje gorionika izvodi se vodom. Povećanje pritiska gasa izaziva veću frekvenciju

¹⁾ dr Dragoljub Lazarević, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Nišu
Vladimir Krstić, diplomirani mašinski inženjer
Anđela Lazarević, student IV godine Mašinskog fakulteta u Nišu

sudara elektrona, jona i neutralnih atoma pa se dobija povećanje gustine naelektrisanih čestica i temperatura plazme. Sabijanjem lučnog pražnjenja, dodavanjem u mlaznicu gasa pod pritiskom, dobija se visokotemperaturna plazma. Ovo sabijanje može da se vrši magnetnim poljem pošto plazma ima visoku brzinu joniziranih čestica (do 15000 /m/s/).



Slika 1

2.2. Nanošenje prevlake plazmom

2.2.1. Princip nanošenja prevlake plazmom

Sam princip nanošenja prevlake plazmom istovetan je sa tehnologijom navarivanja legure pomoću plazme. Sama tehnologija se bazira na činjenici da se otopljeni osnovni materijal meša sa dodatnim materijalom i zajedno sa njim gradi leguru koja je krajnji produkt ove metode obrade materijala. Novonastala legura tj. prevlaka je sada sa novim mehaničkim i tehnološkim osobinama koje su poboljšane u odnosu na karakteristike osnovnog materijala.

Iz ovoga logično proizilazi činjenica da nanošenjem prevlake može da se obezbede različite performanse gotovog dela, a sve se to postiže pravilnim izborom dodatnog materijala tj. legure. U daljem delu rada daju se osnovne karakteristike legura koje se koriste za nanošenje prevlake plazmom.

2.2.2. Stelit legure

2.2.2.1. Osnovni uvid u kvalitet legura

Stelit legure dele se u tri osnovne grupe: legure na bazi kobalta (Co), legure na bazi nikla (Ni) i legure na bazi gvočđa (Fe). Izvedena podela podrazumeva minimum 50% baznog elementa u leguri. Najčešći odnosi su 60–70% baznog elementa i 40–30% svih ostalih elemenata. Legure na bazi kobalta imaju sledeće osobine: otporne su prema koroziji, eroziji, abraziji i prema habanju.

2.2.2.2 Otpornost prema koroziji

Otpornost Stelit 12 legure prema najčešće korišćenim kiselinama prikazana je u tabeli 1. Otpornost Stelit 12 legure je data za maksimalne vrednosti koncentracija medijuma. Oznaka E označava odličnu otpornost (istrošenost legure je manja od 10 mgr/dan), a oznaka N označava lošu otpornost (ne preporučuje se upotreba legure, ovde je istrošenost veća od 250 /mgr/dan/).

Tabela 1

Medijum	Koncentracija (% težine)	Temperatura (° C)	Legura na bazi Co
HCL	30	20	N
HNO ₃	60	100	N
H ₂ SO ₄	90	20	E
H ₂ SO ₄	90	66	N
H ₂ SO ₄	60	66	E

2.2.2.3 Otpornost prema eroziji

Erozija je proces površinskog oštećenja prouzrokovana velikim brzinama tečnosti i gasa, pri čemu fluid može sadržati i čvrste čestice. Oštećenje dela je brže u uslovima rada pri povišenim temperaturama i u prisustvu agresivnih medijuma. Tipični slučajevi su kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem, ventili za gasove, ventili za regulaciju protoka, lopatice parnih i gasnih turbina, lopatice izduvnih ventilatora itd. Neke Stelit legure vrlo dobro podnose opisane uslove eksploatacije. Pri izboru legure treba voditi računa da ona pored velike tvrdoće poseduje i dobre otpornosti prema mehaničkim i termičkim udarima. Mikro udari mogu razoriti tvrde primarne karbide koji se nalaze u Stelit legurama, tvrdoće iznad 550 HV (51 Rc), što bi imalo za posledicu brzo habanje.

Najbolji rezultati su dobijeni sa legurama Stelit 7,8 ili X40 kao i sa Stelitom 1 (tabela 2).

Tabela 2

Materijal	Ispitni uzorak	Tvrdoća (HV)	Prosečan gubitak tečine (% /min)
Stelit 7,8 ,X40	odlivak	350	0
Stelit 1	odlivak	620	27,3

2.2.2.4. Otpornost prema habanju

Stelit legure imaju veoma dobru otpornost pri sobnim ili većim temperaturama prema habanju usled trenja. Ove legure ostaju vosoko polirane i pokazuju niski koeficijent trenja vrednosti između 0,11 i 0,15 zavisno od obrade površine, kada dođe do trenja između njih samih i tvrdih čelika.

2.2.2.5. Zahtev pri nanošenju Stelit legura

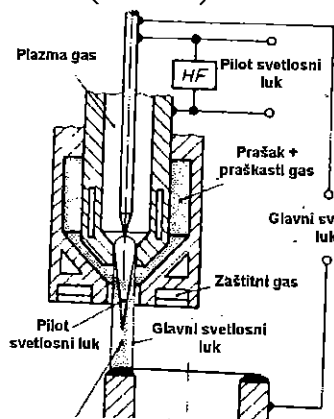
Kao i uvek pri nanošenju važno je da se nanošenje obavlja sa što manjim mešanjem kako bi se u što većoj meri obezbedio uticaj dodatnog materijala na osobine izradnog dela. Za osnovnu ocenu podobnosti pojedinih postupaka nanošenje topljenjem u tabeli 3 date su ispitivanjima utvrđene vrednosti mešanja pri nanošenju Stelit legura.

Tabela 3

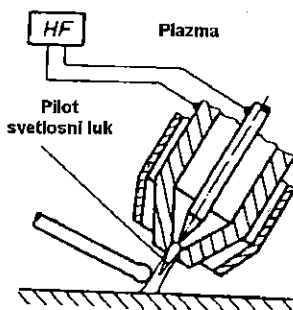
Postupak nanošenja	Mešanje u (%)
Kiseoničko acetilenski plamen	oko 5
Elektrolučnom obloženom elektrodom	20 do 30
Plazminim lukom-žica	5 do 15
Kiseonično-acetilenski plamen + prašak	oko 1
Plazminim lukom + prašak	oko 1

2.3 Metode za nanošenje prevlake plazmom

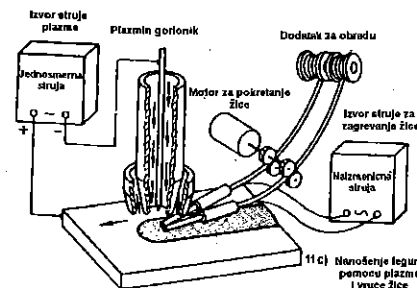
Kod nanošenja sloja legure putem plazme, u svetlosni luk se dovodi prašak (slika 2a) ili se u otopinu dodaje dodatak za navarivanje i to "hladan" (nestrujno vodeći) odnosno "vruć " (strujno vodeći).Nestrujno vodeći dodatak za navarivanje dovodi se mehanički ili ručno (slika2b.).



Slika 2a.



Slika 2b.



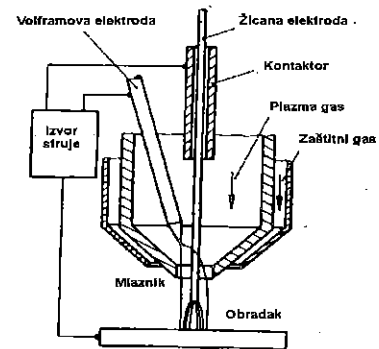
11c) Nanošenje legure pomoću plazme i vruće žice

Slika 2c

Kod zavarivanja plazmom sa vrelim (usijanim) žičanim elektrodama, se jedna ili više, zagrevanje se ostvaruje Đulovom toplotom, i kao takve se mehanički dovode do otopine i tu se rastapaju. Za zagrevanje žičanih elektroda potreban je sopstveni izvor naizmjenične struje sa konstantnim naponom (slika 2c).

2.3.1. Plazma MIG metoda

Kod ove metode suštinska prednost je u kombinaciji MIG metode i metode varenja plazmom. Ova metoda koristi dva prenosna svetlosna luka između volframove elektrode, žičane elektrode i radnog komada. Svetlosni lukovi napajaju se iz izvora struje. Radni učinak (efekat) otapanja ove metode je visok. Prednosti su: smanjeno prskanje i izvanredna sposobnost podešavanja na različite oblike šavova.



Slika 3

Glavna oblast korišćenja je kod mehanizovanog zavarivanja aluminijuma gde je debljina radnog komada $t \leq 5$ mm, sa istaknutim dejstvom čišćenja, a kod primene mešavine Ar-He dobijen je najmanji nagib pora. Pored toga ova metoda se koristi i za nanošenje sloja legure putem navarivanja pomoću plazme (slika 3).

3. EKSPERIMENT

Naime, poznato je da je moguće napraviti proizvod od manje kvalitetnog materijala koji će se kasnije u kombinaciji sa drugim kvalitetnijim materijalom pomoću adekvatne tehnologije da se poboljša i tako dobije traženi kvalitet.

U skladu sa tim sprovedena su odgovarajuća eksperimentalna istraživanja sa ciljem dobijanja različitih parametra koji daju mogućost da se manje kvalitetan materijal legira u površinskom sloju i tako dobije proizvod koji će imati tražene karakteristike u odnosu na tvrdoću. S obzirom da je tvrdoća prioritetan parametar to je u odnosu na nju izvršena optimizacija parametara pri legiranju pomoću plazme.

Eksperimentalna istraživanja su izvršena u Institutu für Schweißtechnik in Chemnitz, Germany

3.1. Korišćeni materijali

Kao osnovni materijal korišćen je konstruktivni čelik "s 23576" po JUS-u Č0371. Dimenzije čeličnih ploča koje su obrađivane su 20x150x250 mm. Kao dodatni materijal izabrana je praškasta legura Stelit 12 na bazi Kobalta. Debljina praškastog sloja je 50-145 μ m. Sastav Stelita 12 dat je u tabeli 4.

Tabela 4

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	W	Fe	B
1,6-2,0	<1,4	<1,0	<0,02	<0,02	28,0-31,0	<2,0	51,05-62,40	8,0-10	<1,5	<0,01

Sve vrednosti u navedenoj tabeli su izražene u procentima.

3.2. Podešavanje parametara

Podešavani su sledeći parametri : jačina struje (ovde je podešavana struja Pilot svetlosnog luka, osnovna struja, struja varenja i impulsno vreme); struja pilot svetlosnog luka je bila 25 A; klačenje (njihanje glave koja vari, misli se na amplitudu njihanja);prah (podeševa se protok praha); gasovi: ovde se koriste tri gasa : pilot gas, inertni gas, zaštitni gas. Svi gasovi su bili podešni. Protoci gasova su bili sledeć: Plazma gas (Pilot gas) 1.5 l/min, zaštitni gas 3.5 l/min, inertni gas 1 l/min ose (ovde je podešena samo brzina u pravcu x-ose).

Da bi se izbegli unutrašnji naponi ploče su bile zagrevane na temperaturu od 300°C. Na ploči

osnovnog materijala nanošen je sloj legure širine 15/mm/ i dužine 100/mm/.
Eksperiment je rađen klasičnom i impulsnom tehnikom.

3.3. Rezultati eksperimenta

U ovom podpoglavlju dati su rezultati merenja tvrdoće prevlake, a koja je dobijena tehnologijom nanošenja legure pomoću plazme. Sva ispitivanja su izvršena u saglasnosti sa standardom DIN 50133.

Karakteristični parametri pri ispitivanju tvrdoće po Vickersu su bili konstantni za sve uzorke i dati su u sledećoj tabeli.

Karakteristični parametri pri ispitivanju

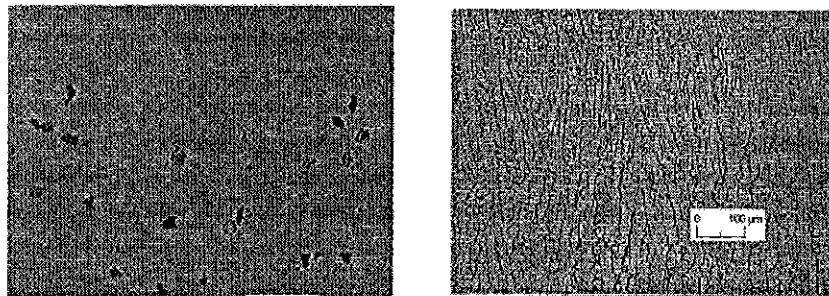
Opterećenje HV	Period opterećenja /s/	Uvećanje objektiva	Broj merenih dijagonala /mm/
10	15	20:1	2

Za svaki uzorak merene su po dve dijagonale na osnovu kojih je računata tvrdoća po Vickersu (HV 10). Na osnovu veličine otiska utvrđena je distanca između dva susedna otiska i ona iznosi 0,2 mm (konstantna je za sve uzorke). Tačke u kojima je izvršeno merenje su u srednjoj oblasti navara kao i sa desne strane navara; pri tome tačke obuhvataju oblasti navarenog dela, prelazne zone i zone osnovnog materijala.

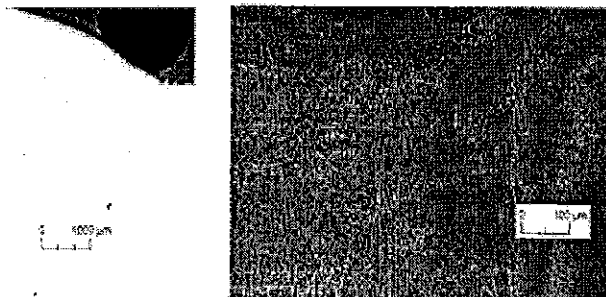
U eksperimentu su dobiveni različiti parametri koji daju mogućnost da se manje kvalitetan materijal legira u površinskom sloju i tako dobije proizvod koji će imati tražene karakteristike s obzirom na tvrdoću.

S obzirom da je tvrdoća prioritetan parametar to je u odnosu na nju izvršena optimizacija parametara pri legiranju pomoću plazme. Na osnovu dobijenih rezultata proizilaze optimalni parametri za površinsko legiranje konstruktivnog čelika (s23576 odnosno po JUS-u čelik Č0371):- pilot svetlosni luk: jačina struje 25A, napon 18,5V,-impuls: vreme impulsa 100s, vreme trajanja pauze između dva impulsa 400s, struja koja odgovara između dva impulsa 140A,- klaćenje gorionika: u smeru $\pm Y$ - ose radnog stola; vreme zadržavanja gorionika 35s, amplituda 7,5mm,- prah: plazma gas 1,5 l/min, zaštitni gas 3,5 l/min, inertni gas 1 l/min. Gorionik se kretao duž pozitivnog smera X-ose na dužini od 100/mm/.

Na slici 5 dat je izgled površine i strukture mikrošlifova sa i bez grešaka.



Mikrošif sa greškom (porama)



Mikrošif bez grešaka (pora)

Slika 5. Izgled mikrošlifova

4. ZAKLJUČAK

U praksi se javlja potreba za iznalaženjem najekonomičnijeg rešenja za dati proizvod. Ovde se podrazumeva da se sa što manje materijala i sa što jeftinijom tehnologijom napravi proizvod određene upotrebne vrednosti u određenom kvalitetu. Ovo je moguće ostvariti putem odgovarajućeg konstruktivnog rešenja i putem kombinacije odgovarajućih tehnologija. Isto tako je bitno da ako je to moguće kombinuju i različiti materijali. Naime, poznato je da je moguće napraviti proizvod od manje kvalitetnog materijala koji će se kasnije u kombinaciji sa drugim kvalitetnijim materijalom, uz pomoć adekvatne tehnologije poboljšati i tako dobiti traženi kvalitet.

Cilj ovoga rada je bio iznalaženje optimalnih parametara za postupak prevlačenja (nanošenja prevlake) čelika Č0371 legurom Stelit12 pomoću plazme. S obzirom da se od prevlake tražila dobra tvrdoća, to je ista bila prioritetan parametar u odnosu na koji je izvršena optimizacija procesa.

LITERATURA

- [1] D.Lazarević i M. Radovanović: Nekonvencionalne metode-obrađa materijala odnođenjem, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet
- [2] DVS 2707: Plasmaschweißen Verfahrensuebersicht, Gasauswahl, und Kennwerte zum Schweißen
- [3] Međunarodno savetovanje: Tehnologičnost zavarenih proizvoda, Zagreb maj 1980.

Drifting of plate by Plasma

Abstract

At bay of this paper has been analysed proceeding of drifting of alloy layer on rudimentary material by Plasma welding. The aim of the experiment is contrivance of optimal parameters for drifting of Stelit12 alloy on steel Č0371, as ascendancy of different parameters on attained structure of layer.

TRIBOLOŠKA KARAKTERIZACIJA TVRDIH PREVLAKA DEPONOVANIH PLAZMA TEHNIKOM NA KONSTRUKTIVNOM ČELIKU

B. Škorić, D. Kakaš¹⁾

REZIME

U radu su prikazane strukturne karakteristike tvrdih prevlaka, tipa TiN, dobijene klasičnim PVD (fizička depozicija iz parne faze) i IBAD (depozicija pomognuta sa jonskim snopom) postupkom, ispitivane pomoću skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) i difrakcionom analizom x-zračenja (XRD). Prevlake su deponovane na čelik sa relativno mekanom osnovom Č.4732. Kako su fenomeni na tehničkim površinama vrlo komplikovani i nedovoljno razjašnjeni, ispitivanje je izvršeno i pomoću metoda za površinsku analizu materijala, kao što je energetska disperzivna analiza (EDAX). Tribološka ispitivanja su izvršena sa ciljem da se utvrdi otpornost na habanje tvrdih prevlaka pri čemu su posebno mereni koeficijent trenja i kontaktna temperatura. Promene osobina prevlaka mogu da nastanu zbog različitih uslova rasta prevlake, koji na atomskom nivou zavisi od mnogobrojnih parametara. Na osnovu rezultata je utvrđena zavisnost između mehaničkih, strukturnih i triboloških karakteristika prevlake.

1. UVOD

Razvoj metalne industrije postavlja sve veće zahteve za pouzdanu eksploataciju mašinskih delova. Postojeći visoko kvalitetni materijali kao i novo stvoreni materijali su se pokazali nedovoljno efikasni za rešavanje sve složenijih zahteva, kao što su velika dinamička čvrstoća i otpornost na zamor uz dobru otpornost na habanje.

Danas postoji težnja da se u metalnoj industriji poboljšavanje eksploatacionih osobina kod komercijalnih materijala pre svega ostvari odredjenim modifikacijama površinskih slojeva. Nažalost, klasični postupci termičke obrade ne daju optimalne rezultate kada se istovremeno zahteva visoka otpornost na habanje, visoka čvrstoća i žilavost radnog elementa izloženog visokom specifičnom pritisku.

Koeficijent trenja je jedan od najvažnijih faktora koji utiču na mehaničku izdržljivost /1,2/. Posebno je značajno da se tribološke osobine prevlake povežu sa ispitivanjima kao što su merenje tvrdoće i adhezije /3/.

Deponovanje tvrdih prevlaka se sve više koristi za rešavanje kritičnih triboloških problema kako u fazi konstruisanja tako i u toku upotrebe delova i mašina /4/.

¹⁾ Mr Branko Škorić, Dr Damir Kakaš

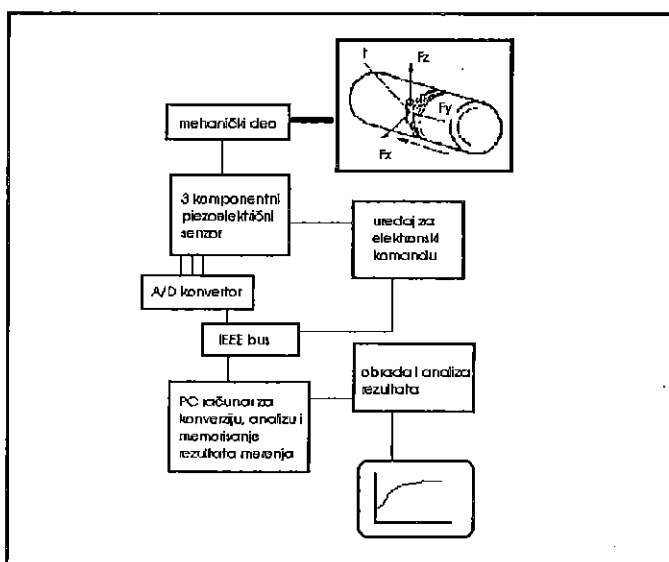
Fakultet tehničkih nauka - Institut za proizvodno mašinstvo, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad; E-mail: skoricb@uns.ns.ac.yu

2.METOD

Parametri za (PVD) depoziciju TiN su bili sledeći: osnovni pritisak $p_0=1 \times 10^{-5}$ Torr, temperatura deponovanja oko 200°C , napon predpolarizacije (bias) $U_b=1\text{kV}$, jačina struje $I_b=50\text{mA}$, vreme trajanja $t=15\text{min}$. Pritisci za vreme deponovanja su bili $P_{N_2}=3 \times 10^{-4}$ Torr i $P_{Ar}=1 \times 10^{-3}$ Torr. Na uzorku je prvo deponovan sloj čistog Ti, debljine oko 50nm , kako bi se površina bolje pripremila za deponovanje TiN.

Deponovanje TiN podržano jonskim snopom (IBAD), pod uglom 15° , je izvršeno sa sledećim parametrima: radni pritisak $P_{\text{total}}=1.2 \times 10^{-5}$ mbar, parcijalni pritisci i procentualni sastav $P_{Ar}=4.0 \times 10^{-6}$ mbar (34%) i $P_{N_2}=7.6 \times 10^{-6}$ mbar (64%), energija Ar^+ jona: $E_{Ar}=2\text{keV}$, brzina deponovanja $0.8-0.11 \text{ \AA/s}$. Izmerena debljina prevlake pomoću kvarca $d=8930 \text{ \AA}$.

Za prikupljanje triboloških podataka (koeficijenta trenja i kontaktne temperature), korišćena je specijalno konstruisana oprema, koja uz pomoć hardverskih i softverskih rešenja omogućava kompletnu, potpuno automatizovanu proceduru za prikupljanje, obradu, analizu i prikazivanje izmerenih vrednosti u realnom vremenu, (slika1).



Slika 1 Šematski prikaz tribološkog uređaja.

Laboratorijsko ispitivanje habanja je izvršeno sa *pin-on-ring* kontaktnom konfiguracijom. Ispitivanje habanja sa ovakvom geometrijom, gde čelik sa tvrdom prevlakom kontinualno klizi (bez podmazivanja), preko sveže površine kontra materijala, pruža mogućnost za "on-line" praćenje toka habanja odnosno koeficijenta trenja i kontaktne temperature

Cilindrični pin je prečnika 5mm i dužine 50mm . Za kontra materijal je izabran čelik č.5432 sa prečnikom 200mm i dužine 300mm . Sva ispitivanja su uradjena normalnim opterećenjem od 50N i brzinom klizanja 80mmmin^{-1} (Tabela 1). Normalna sila na pinu je ostvarena pomoću opruge sa konstantom $k=4\text{Nmm}^{-1}$.

Toplotne pojave u toku procesa habanja su praćene merenjem temperature u zoni kontakta pina. Korišćen je standardni termo par tipa NiCr-Ni sa prečnikom žice 0.1mm . Na jednom kraju su žice zavarene u vidu perle prečnika 0.5mm . Kao izolacioni materijal su korišćene keramičke cevčice prečnika 0.9mm , sa dva paralelna otvora prečnika 0.2mm i PVC izolacijom.

Termopar je postavljen na rastojanju 1mm od površine habanja, u otvor prečnika 1mm , dubine 4mm , na sredini pina, koji je napravljen pomoću erozimata.

Na osnovu prethodnih ispitivanja odredjeni su uslovi ispitivanja (tabela 1)

Tabela 1 Uslovi ispitivanja.

Kretanje	klizanje bez podmazivanja
sila (N)	50
brzina klizanja (mm ⁻¹)	80
okolina	vazduh
temperatura	sobna temperatura

Za analizu uzoraka korišćen je svetlosni optički mikroskop (LOM), tipa LEITZ, i skenirajući elektronski mikroskop (SEM), tipa PHILIPS.

Pomoću svetlosnog mikroskopa je analiziran trag scratch-testa, i trag habanja (veličina zone), na pinu.

Skenirajućim elektronskim mikroskopom (PHILIPS XL SERIES 300) je analiziran prelom uzorka kako bi se video presek prevlake (tip strukture) i analizirala granična površina (athezija), između prevlake i substrata, kao i trag habanja.

Za ispitivanje hemijskog sastava prevlake i površine traga habanja korišćen je EDX uređaj (DX-4) za energetska disperzivnu analizu X-zracima, koji je u sklopu skenirajućeg elektronskog mikroskopa. Dobijeni rezultati omogućavaju detaljniju analizu mehanizma habanja, odnosno da li je došlo do transfera materijala sa kontra tela na pin, kao i utvrđivanje hemijskog sastava prevlake.

Difraktometrijska analiza je analiza izvršena na PHILIPS APD 1700, uređaju, radi identifikacije kristalne strukture (fazna analiza). Strukturna ispitivanja su izvršena sa θ -2 θ Bragg-Brantano difraktometrom (Philips), sa Bakar CuK_{α} zračenjem (talasne dužine 1.54056Å i 1.54439Å).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Čelik za poboljšavanje Č.4732 se najčešće koristi u praksi za izradu metalnih konstrukcija jer je veoma pogodan za termičku obradu. Nakon termičke obrade dobija se relativno mala tvrdoća, tako da je izražen problem habanja.

Rezultati merenja tvrdoće prevlaka su prikazani u tabeli 2.

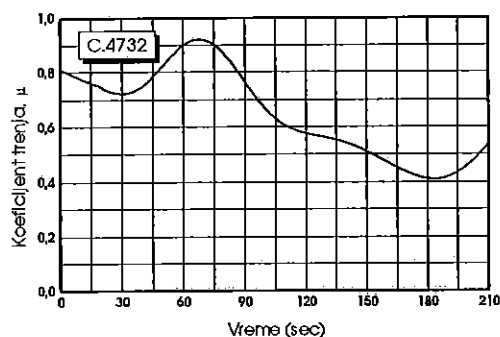
Tabela 2 Mikrotvrdoća ispitivanih uzoraka ($HV_{0.01}$)

materijal	bez	TiN(PVD)	TiN(IBAD)
č.4732	401	1625	1430

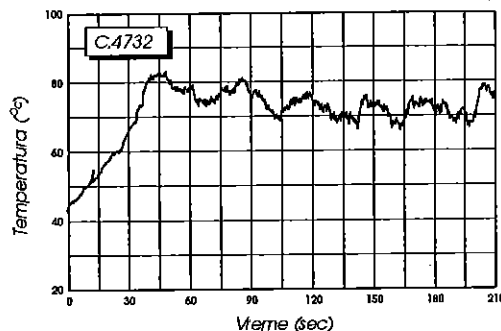
Izmerena tvrdoća ukazuje na znatno povećanje površinske tvrdoće, nakon deponovanja tvrde prevlake. Za TiN (PVD) je izmerena nešto veća tvrdoća ali treba imati u vidu da je izmerena debljina TiN (PVD) oko 3 μm a TiN (IBAD) oko 1 μm , tako da je uticaj mekanog substrata u drugom slučaju veći na izmerenu vrednost.

Na slikama 3 do 8 su prikazane izmerene vrednosti koeficijenta trenja i kontaktne temperature u zavisnosti od vremena trajanja klizanja, na slici 9 difraktogrami rentgenografskih ispitivanja, na slici 10 rezultati skreć testa i na slici 11 prelom prevlake.

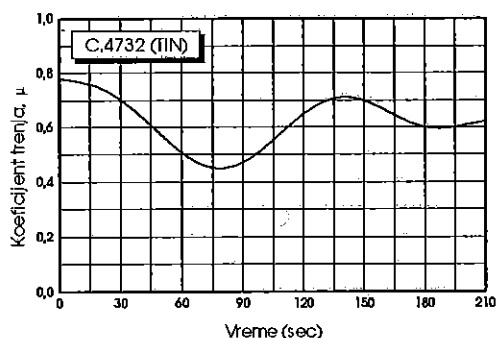
Energo disperzivna analiza je pokazala da je na površini pina došlo da prijanjanja produkata habanja sa suprotstavljenog materijala, što znači da je došlo da abrazivnog habanja.



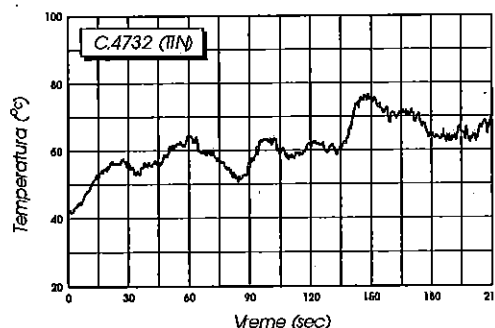
Sl.3 Koefficient trenja u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732



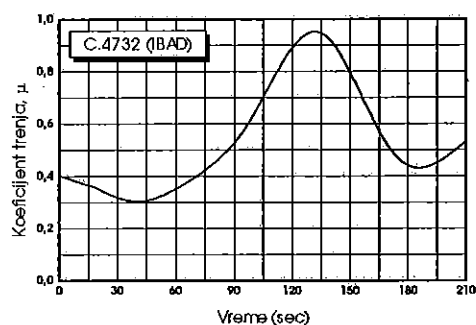
Sl.4 Kontaktna temperatura u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732



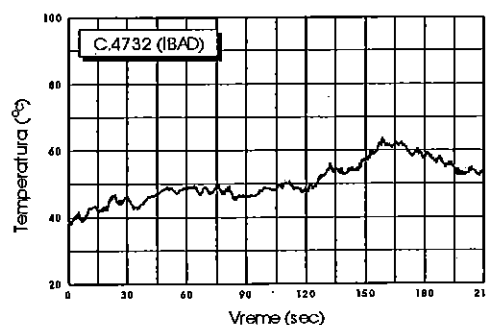
Sl.5 Koefficient trenja u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732: TiN(PVD)



Sl.6 Kontaktna temperatura u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732: TiN(PVD)

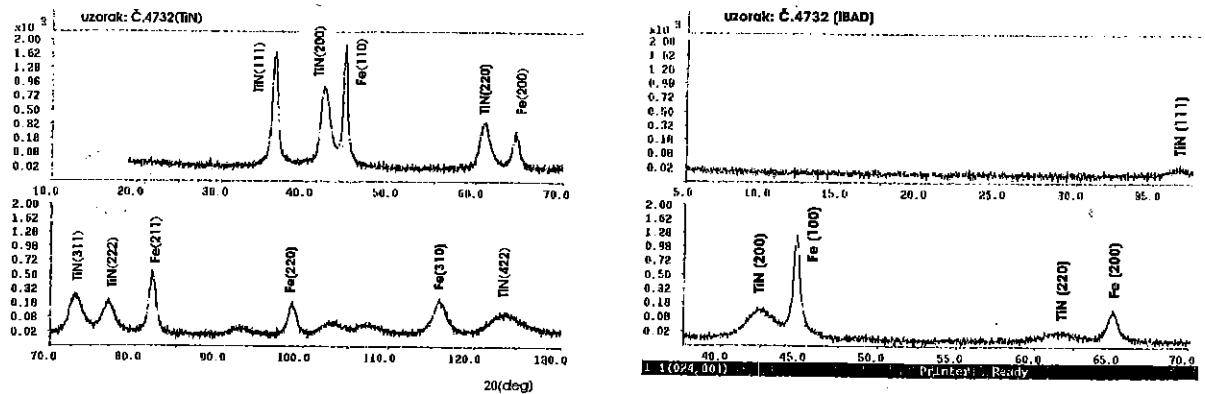


Sl.7 Koefficient trenja u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732: TiN(IBAD)



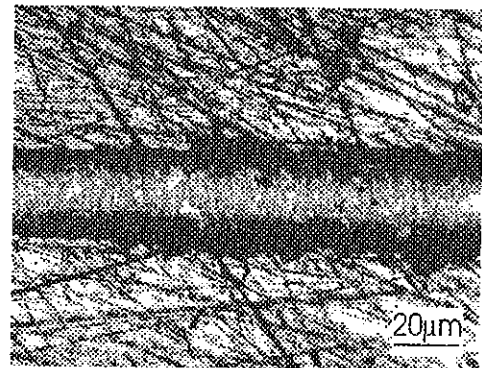
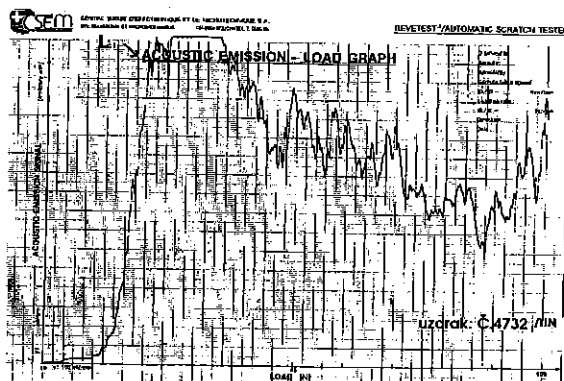
Sl.8 Kontaktna temperatura u zavisnosti od vremena trajanja klizanja Č 4732 TiN(IBAD)

Rezultati merenja koefficienta trenja i kontaktne temperature ukazuju da je sa deponovanim prevlakama smanjen koefficient trenja i kontaktna temperatura. U prvoj polovini merenja kod uzorka bez prevlake je srednji koefficient trenja oko 0.8, kod uzorka sa TiN (PVD) oko 0.6, a kod uzorka sa TiN (IBAD) oko 0.4. U drugoj fazi su poremećeni uslovi kontakta jer je došlo do odvajanja prevlake od osnove i promovisanje uslova u kojima je došlo do intenzivnog habanja metalne osnove, sa abrazivnim habanjem (EDAX-analiza). Kontaktna temperatura je smanjena sa TiN (PVD) a nešto više sa TiN (IBAD), jer TiN ima mali koefficient provodjenja toplote.



Slika 9. Difraktogram uzorka a) Č 4732: TiN (PVD), b) Č 4732: TiN(IBAD)

Na difraktogramu se vidi da je prevlaka TiN (PVD) rasla sa usmernom orijentacijom (111), a prevlaka TiN (IBAD) ima izraženu preferiranu orijentaciju (200), koja ima veću gustinu.

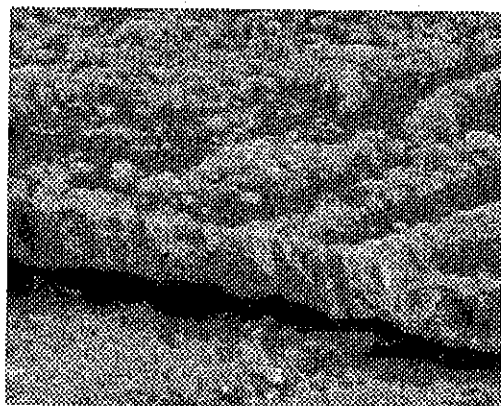


a)

b)

Slika 10. (Č 4732:TiN) a) Akustično emisioni signal u funkciji opterećenja, b) detalj skreč-testa

Prevlaka TiN (PVD) ima malu vrednost kritičnog opterećenja Lc_1 , i vrlo strma kriva akustično emisionog signala, pri kome dolazi do odvajanja prevlake (slika) i vidi se da je pri scratch-testu došlo do porečnog pocanja pri zaparavanju dijamantskim vrhom, što je izazvalo i potpuno odvajanje prevlake.



Slika 11. SEM mikrografija TiN prevlake

SEM mikrografija prevlake TiN (PVD) pokazuje da je prevlaka sa stubastom strukturom, na površini prevlake se vide krajevi pojedinih stubova, i da je pri izazivanju loma prevlake došlo do odvajanja prevlake od mekane osnove.

4.ZAKLJUČAK

Optimizacija procesa deponovanja prevlake bi mogla da bude znatno efikasnija ako bi se još više poznavale osnovne fizičke i mehaničke osobine prevlaka, njihove međuzavisnosti i njihov uticaj na osobine habanja.

Osnovne osobine kao što su tvrdoća, atezija, struktura prevlake i tribološke osobine zavise od vrste depozicije.

Na čelik za poboljšavanje č.4732 se može deponovati prevlaka tipa TiN, PVD i IBAD tehnikom, ali su poboljšanja triboloških osobina relativno mala.

Da bi se tvrde prevlake TiN, deponovane PVD i IBAD tehnikom, uspešno primenjivale potrebno je rešiti problem nesklada između visokih tvrdoća prevlake i relativno mekane metalne osnove, formiranjem medju sloja koji će poboljšati ateziju, povećati nosivost prevlake i formirati gradiranu strukturu.

5.LITERATURA

1. S. Suzuki, H. Ohkaki and E. Ando, Materialistic Difference in Macroscopic Friction Coefficient of Sputtered Metal Oxide Thin Films Deposited on Glass, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, 1996, 1862-1867
2. Mankova, Tribology of coated and uncoated ceramic cutting tool when machining, 6th International Symposium INTERTRIBO, Bratislava, 1996, 103-106.
3. K. Rutherford, S. Bull, E. Doyle and I. Hutchings, Laboratory characterization of the wear behaviour of PVD-coated tool steels and correlation with cutting tool performance, Surface and Coatings Technology 80, 1996, 176-180.
4. S.Zheng, Y.Sun, T.Bell and J.M. Smith, Mechanical properties microprobing of TiN coatings deposited by different techniques, Euromat 95, Venice, 1995, 177-184

Abstract

In the paper are presented characteristics of hard coatings, type TiN, produced by classic technology PVD (physical vapour deposition) and IBAD (ion beam assisted deposition). Coatings are deposited on steel with relatively soft metallic base (hardenable steel). We have to study the sometimes complicated and obscure phenomena of the technical surfaces by most modern methods of surface analysis. Following the tests, the wear zone morphology and characteristics of surface layer structure as well as important properties were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction analysis (XRD). Scratch adhesion testing was performed using commercially available equipment. Energy dispersive X-ray analysis (EDAX) of the wear-scars on pins provided essential information on the wear characteristics. Based on all results the correlation between the mechanical properties, the surface structure and tribological characteristics were explained.

OTPORNOST PREMA RASTU PRSLINA U ZONI UTICAJA TOPLOTE

K. Gerić, S. Sedmak¹⁾

REZIME

Zavarivanja mikrolegiranih čelika često je praćeno stvaranjem prslina u zoni uticaja toplote. Zbog malih dimenzija i heterogenosti mikrostrukture, ispitivanje ovog područja je veoma otežano. Zato se na uzorcima vrši simulacija zavarivanja. Na simuliranim uzorcima od dva mikrolegirana čelika je ispitivana otpornost prema rastu prsline, definisana vrednostima J-integrala.

Dobijeni rezultati pokazuju da većim temperaturama simulacije, odgovaraju manje vrednosti J-integrala. Krto ponašanje je otkriveno kod čelika A, simuliranog na 1350 i 1100°C. Za čelik B su dobijene velike vrednosti J-integrala na svim temperaturama simulacije.

1. UVOD

Da bi se obezbedila sigurnost pri upotrebi zavarenog spoja, koji je u eksploataciji veoma često izložen velikim opterećenjima, koriste se mikrolegirani čelici povišene čvrstoće. Zavarivanje ovih čelika često je praćeno stvaranjem prslina u zoni uticaja toplote gde se usled različitih temperatura zagrevanja, javljaju veoma heterogene mikrostrukture, koje imaju različitu otpornost na rast prsline /1/. Zbog malih dimenzija i heterogenosti mikrostrukture, ispitivanje ovog područja je veoma otežano. Zato se na uzorcima vrši simulacija zavarivanja, zagrevanjem na različite temperature i hladjenjem brzinama koje odgovaraju hladjenju zavarenog spoja /2/. Na simuliranim uzorcima je ispitivana otpornost prema rastu prsline.

Otpornost prema rastu prsline definisana je parametrima mehanike loma. Kod krutih materijala, gde se pri opterećenju na vrhu prsline stvara zanemarljiva plastična zona, može se primeniti linearno elastična mehanika loma, sila razvoja prsline je definisana faktorom intenziteta napona K_{Ic} , a otpornost materijala prema rastu prsline njegovom kritičnom vrednošću, K_{Ic} , nazvanom žilavost loma pri ravnoj deformaciji. Ukoliko veličina plastične zone na vrhu prsline pri opterećenju ne može da se zanemari u odnosu na veličinu komponente, onda se koristi elasto-plastične mehanike loma, a sila razvoja prsline se iskazuje J-integralom ili otvaranjem vrha prsline, CTOD (crack tip opening displacement), a otpornost materijala prema rastu prsline njihovim kritičnim vrednostima, J_{Ic} , nazvanom žilavost loma, ili kritičnim otvaranjem δ_{c} (CTOD_c).

Cilj ovog rada je da se odredi energija za rast prsline u zoni uticaja toplote pri zavarivanju dva čelika povišene čvrstoće.

¹⁾ Katarina Gerić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, e-mail ageric@eunet.yu

Stojan Sedmak, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Karnegijeva 4

2. MATERIJAL

Ispitivanja su izvedena na dva mikrolegirana čelika. Ispitani lim debljine 14 mm, od čelika sa oznakom A, proizvodnje Sartid, Smederevo, sadrži 0,07% ugljenika i mikrolegiran je niobijumom i vanadijumom. Dobijen je termomehaničkom obradom i ubrzanim hladjenjem. Mikrostruktura je feritno-perlitna, krupnoća zrna je prosečno 9, ali je veličina zrna neujednačena,

Čelik oznake B, mikrolegiran niobijumom i titanom, je takodje proizvodnje Sartid, debljina lima je 12 mm. Dobijen je termomehaničkom obradom i ubrzanim hladjenjem i sadrži oko 0,08% ugljenika. Mikrostruktura je feritno-perlitna. Krupnoća zrna je 10 standardu, sa neujednačenom veličinom feritnog zrna. Hemijski sastav čelika dat je u tabeli 1, a mehaničke osobine u tabeli 2.

Tabela 1. Hemijski sastav čelika

čelik	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	Cr	Ni	Mo	Ti	V
B	0,07	0,43	1,43	0,012	0,012	0,037	0,043	0,031	0,018	-	0,017	-	0,087
C	0,08	0,20	1,12	0,027	0,011	0,033	0,065	0,026	0,027	0,019	0,010	0,017	-

Tabela 2. Mehaničke osobine

čelik	Napon tečenja, MPa	Zatezna čvrstoća, MPa	Izduženje, %	Energija udara, J	Tvrdoća, HV5
B	462	596	32,7	142,7	204
C	433	520	34,6	228,9	199

3. SIMULACIJA ZAVARENIH SPOJEVA

Za simulaciju su korišćene epruvete kvadratnog poprečnog preseka, dimenzija 11x11x60 mm. Na sredini epruvete se navari termopar Pt-RhPt, pomoću koga se prati temperatura tokom simulacije.

Simulator zavarivanja je uređaj kojim se postiže kontrolisano zagrevanje i hladjenje, slično onom pri zavarivanju. Ispitivanja su izvedena na simulatoru SMITWELD LS 1402, u Institutu za zavarivanje i ispitivanje materijala (ISIM) u Temišvaru, Rumunija.

Toplotni ciklusi na simulatoru se postižu elektrotopnim grejanjem, prema zadatom vremenskom planu. Kroz epruvetu se propušta unapred podešena struja zagrevanja. Nakon što se epruveta zagreje na maksimalnu temperaturu, prekine se dovod struje. Za hladjenje čeljusti za držanje uzorka koristi se voda, a za sam uzorak mlaz inertnog gasa ili CO₂. Pomoću fotoćelije se upravlja toplotnim ciklusom, a prate se krive hladjenja, zadate programatorom sa karticom.

Za detaljnija ispitivanja otpornosti prema prslinama, odabrane su četiri karakteristične temperature za jednostruki ciklus simuliranja:

- 1350°C, temperatura nastajanja grubog zrna;
- 1100°C, temperatura nastajanja finog zrna;
- 950°C, temperatura iznad A_{c3}, nastajanje finog zrna
- 850°C, temperatura između A_{c1} i A_{c3}, područje gde se odvija delimična transformacija.

Brzina hladjenja između 800 i 500°C je 15 sekundi.

3. ISPITIVANJE J-INTEGRALA

Parametar mehanike loma, J-integral je linijski ili površinski integral koji obuhvata

vrh prsline od jedne površine do druge, nezavisan od putanje integracije, a opisuje lokalno polje napona i deformacije oko vrha prsline. Površina ispod krive sila - otvaranje predstavlja energiju u skladu sa razmerom opterećenja i otvaranja, a veličina J-integrala može se odrediti planimetričnim ili numeričkom integracijom. J-integral se izražava u kJ/m² ili kN/m, a za uzorak za savijanje u tri tačke se izračunava prema izrazu :

$$J = J_{el} + J_{pl} \quad (1)$$

J_{el} - elastična komponenta

J_{pl} - plastična komponenta

Za neku tačku V_i i P_i na krivoj sila - otvaranje:

$$J_{(i)} = \frac{K_{(i)}^2 (1 - \nu^2)}{E} + J_{pl(i)} \quad (2)$$

gde se K_i određuje po JUS C.A4.084.

Veličina plastične komponente se određuje:

$$J_{PL(i)} = \frac{2 A_{PL(i)}}{B b_0} \quad (3)$$

gde je:

i - tačka pri opterećenju (P) prema krivoj otvaranja (v)

A_{pl} - površina ispod krive sila-otvaranje

B - debljina epruvete

b_0 - ligament ($W-a$), širina epruvete umanjena za dužinu prsline a ,

S - raspon oslonaca

Širenje prsline se može aproksimirati iz izraza:

$$\Delta a_i = \Delta a_{i-1} + \left(\frac{b_{i-1}}{\eta_{i-1}} \right) \left(\frac{C_i - C_{i-1}}{C_{i-1}} \right) \quad (4)$$

gde su:

Δa_i - promena dužine prsline između dve uzastopne tačke rasterećenja u mm

Δa_{i-1} - prethodna dužina prsline u mm

b_{i-1} - ligament ($W - a_i$)

$\eta = 2$ - koeficijent za uzorak za savijanje

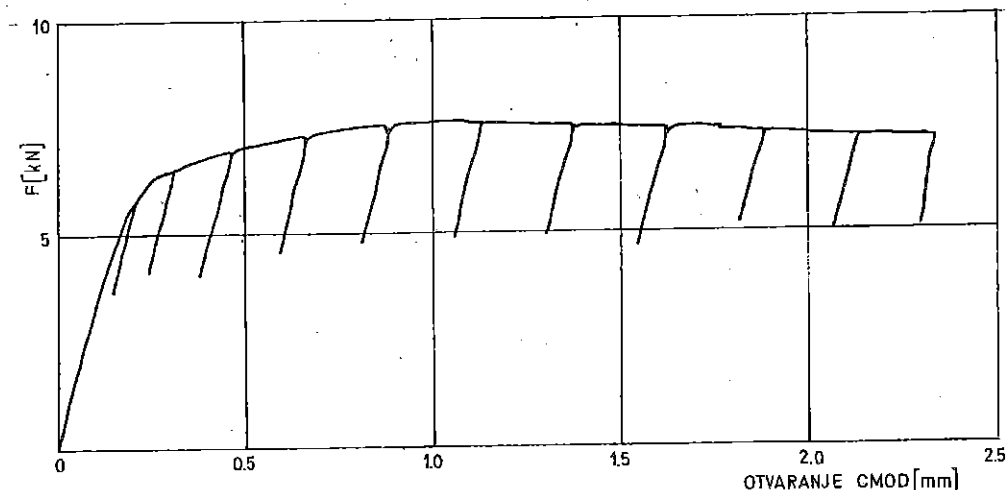
$C_i = 1/\text{tg } \alpha_i$ - nagib posmatrane linije rasterećenja (popustljivost otvaranja prsline epruvete)

$C_{i-1} = 1/\text{tg } \alpha_{i-1}$ - nagib prethodne linije rasterećenja

Dobijanje kritične vrednosti J_{ic} je opisano u standardu /3/.

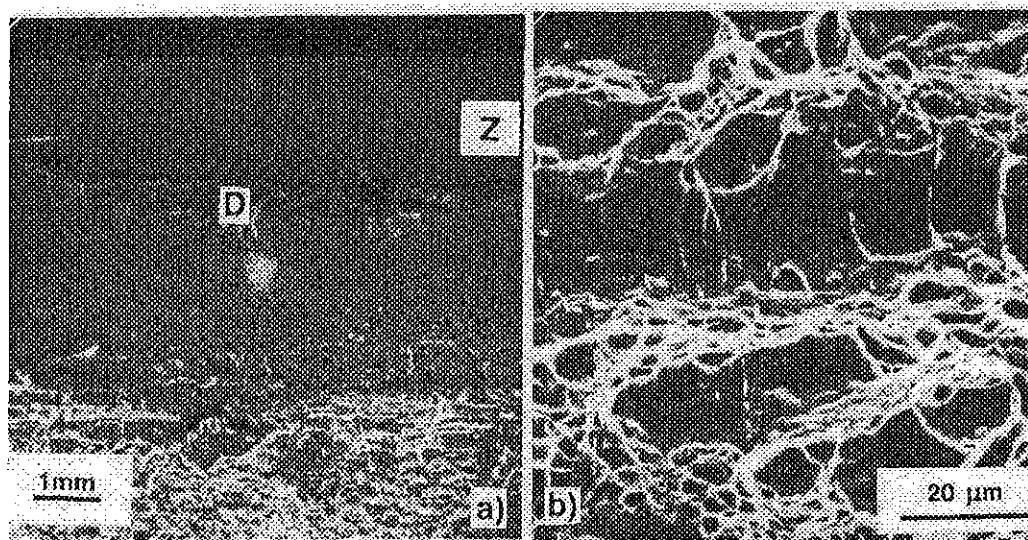
Za ispitivanje su se koristili uzorci dimenzija 10 x 10 mm, sa V zarezom dubine 1 mm. Dužina zamorne prsline je oko 2 mm, tj. sa zarezom je ukupna dužina prsline oko 3 mm. Zamorna prsline je dobijena na Cracktronic pulzatoru, koristeći promenljivo opterećenje sa odnosom napona $R = 0,1$, a moment sile je bio oko 40 Nm, biran je tako da zamorna prsline poraste na željenu dužinu za oko 80000 ciklusa. Ostvarena učestanost je oko 200 Hz, a zavisi od hemijskog sastava i termičke obrade materijala.

Određivanje J integrala je radjeno metodom jedne epruvete, savijanjem u tri tačke, sukcesivnim opterećivanjem i rasterećivanjem, pri čemu se na osnovu nagiba linije rasterećenja može proračunati rast prsline. Na automatskom pisaču zapisuje se dijagram sila - otvaranje, sl. 1.



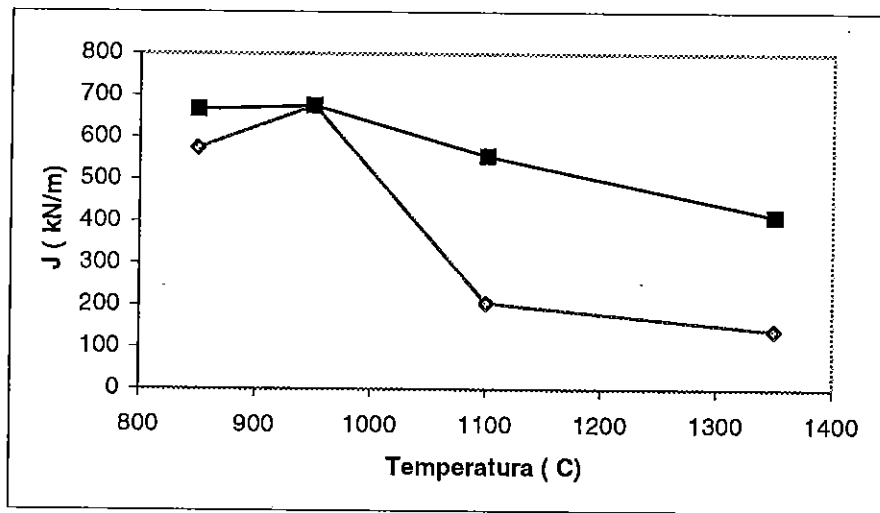
Sl. 1. Dijagram sila – otvaranje za čelik B, simuliran na 950°C

Na dijagramu sila-otvaranje dobijenog za čelik zagrevan pri simulaciju na 1350°C, se javlja skok sile (pop-in), odnosno pad sile pri nekom otvaranju, a zatim dalji rast prsline. Za uzorak čelika zagrevanog pri simulaciju na 1100°C takodje dolazi do loma pre dostizanja maksimuma sile /4/. Za sve ostale uzorke čelika A i čelika B, kriva otvaranja je tipična za duktilne metale, sa maksimumom, sl. 1. Površine preloma ovih uzoraka imaju tipičan izgled za duktilno ponašanje (izgled oblika palca), koja je porasla za oko 1,2 mm, sl.2a, sa tipičnim jamicama, sl. 2b.

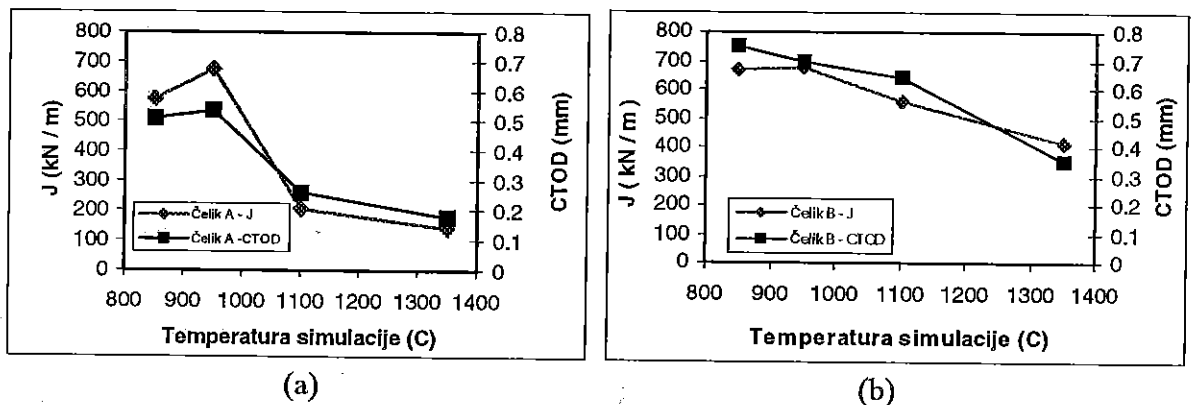


Sl. 2. Površina preloma za čelik B, simuliran na 850°C, Z-zamorna prslina, D-duktilni lom u obliku palca

Vrednosti J-integrala su računane do maksimuma sile. Veličine J-integrala i za čelik A i za čelik B opada kako raste temperatura simulacije, sl. 3. Za čelik B se za više temperature simulacije dobijaju nešto veće vrednosti. Veličine otvaranja otvaranja (CTOD) i veličina J integrala imaju isti trend, kako za čelik A, sl. 4a, tako i za čelik B, sl.4b.



Sl. 3. Zavisnost veličine J integrala za čelik A i čelik B od temperature simulacije



Sl. 4. Zavisnost vrednosti J -integrala i otvaranja CTOD od temperature simulacije a) za čelik A i b) za čelik B

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Korišćeni simulirani uzoci ne zadovoljavaju zahteve geometrije uzorka, odnosno veličinu uzorka koja se zahteva u standardu. Verovatno iz tog razloga nisu mogle biti dobijene kritične vrednosti za J integral, koje definišu potrebnu energiju za rast prsline. Kod uzoraka čelika A zagrevanih na 1350 i 1100°C, lom nastaje pre dostizanja maksimuma sile, tako da se može smatrati da je dobijena vrednost J -integrala bliska kritičnoj, sila potrebna za rast prsline je mala. Kod ostalih uzorak čelika A i kod svih uzoraka čelika B, vrednosti J -integrala su veoma velike, što ukazuje na veliku otpornost prema rastu prsline. Zbog ograničenja u veličini uzorka pri simulaciji, dobijene vrednosti J integrala mogu da posluže samo za poredjenje otpornosti prema prslini različitih mikrostruktura u području zone uticaja toplote zavarenog spoja.

Prema nekim radovima vrednosti J -integrala i otvaranja vrha prsline CTOD imaju pravolinijsku zavisnost /5/, što se za ispitane čelike u ovom radu ne bi moglo u potpunosti tvrditi.

REFERENCE

- /1/ Thaulow C., Hauge M., Paauw A.J., Toyoda M., Minami F., 1994, Effect of notch tip location in CTOD testing of the heat affected zone of steel weldments, Proceedings ECF 10, "Structural Integrity: Experiments - Models - Applications ", Edited by K-H. Schwalbe, C. Berger, 1053-1066.
- /2/ Gerić K: Pojava i rast prslina u zavarenim spojevima čelika povišene čvrstoće, doktorska disertacija, 1997, Beograd.
- /3/ Standard ASTM E813-87: Test method for J_{1c} , a measure of fracture toughness, 1987
- /4/ Gerić K, Sedmak S, Sedmak A: Konstrukcijske karakteristike zone uticaja toplote mikrolegiranih čelika, 27. Medjunarodno savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, 1998, Niška banja, 68.
- /5/ Petrovski B, Sedmak S: Evaluation of crack driving force for HAZ of mismatched weldments using direct J integral measurements in tensile panels, Proc. of Intern. Conference, WELDING90, ed. Kocak M, 1990, 341-353

ABSTRACT

Welding of microalloyed steel is often followed by in-service crack occurrence in heat affected zone. Due to heterogeneous microstructures in heat affected zone, it is difficult to define the position of critical region. In order to study individual microstructures in detail, the simulation procedure has to be applied. The crack resistance of heat affected zone had been analysed on weld simulated samples of two microalloyed steels. J-integral values had been obtained.

Obtained results show that smaller J integral values corresponded to higher simulation temperatures. Brittle behaviour had been experienced with the specimens of steel A, simulated at 1350 and 1100°C. In the case of steel B, satisfactory J-integral values had been found for all simulation temperatures.

REVITALIZACIJA OŠTEĆENIH ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Sava Djurić, dr Ljubodrag Djordjević¹⁾

Rezime:

U toku prošlogodišnjih ratnih dejstava došlo je do velikih razaranja vitalnih kapaciteta naše privrede, kao i objekata infrastrukture. Obnova zemlje i uništenih i oštećenih kapaciteta zahtevala je angažovanje svih raspoloživih resursa, različitih tehnologija i opreme. Značajno mesto u obnovi zemlje pripalo je zavarivanju i srodnim tehnologijama. U radu je data jedna od metodologija koje su primenjivane u revitalizaciji oštećenih čeličnih konstrukcija. Opisan je redosled aktivnosti pri popravci zavarenih konstrukcija koje su oštećene usled dejstava projektila i bombi, kao mere za obezbeđivanje kvaliteta izvedenih radova. Takođe, dato je i nekoliko primera popravke oštećenih konstrukcija zavarivanjem.

Ključne reči: defektaža, materijal, gasno sečenje, zavarivanje, kontrola

IUVOD

U toku agresije snaga NATO na SRJ Rasinski okrug je u više navrata bio na udaru NATO avijacije. Mnogi vitalni objekti su u toku tih bombardovanja i raketiranja potpuno uništeni ili teško oštećeni. Uništena je Gradska toplana u Kruševcu. Razoreni su vitalni kapaciteti IMK "14.oktobar" AD Kruševac i jedan pogon "Trayal" Korporacije u Kruševcu. Nekoliko preduzeća, škola i dosta stambenih objekata pretrpelo je manja ili veća oštećenja. Uništeni su mostovi na Zapadnoj Moravi u Trsteniku, Jasici i Varvarinu, na Južnoj Moravi u Djunisuu i na Rasini u Bivolju. Materijalna šteta je ogromna, a odneto je i više ljudskih života. Iako je i sama pretrpela teška oštećenja IMK "14.oktobar" AD Kruševac je sa svojim radnicima, stručnjacima na preostalim kapacitetima krenuo u obnovu i izgradnju dajući značajan doprinos normalizaciji života i rada u zemlji. U radu je dat pregled objekata na čijoj su se obnovi angažovali "oktobarci", a ukazano je i na značajnu primenu zavarivanja i srodnih tehnologija pri izradi novih ili revitalizaciji oštećenih objekata, opreme i uređaja.

2.0 PREGLED OBJEKATA U ČIJOJ JE OBNOVI I IZGRADNJI UČESTVOVAO IMK " 14.0TOBAR" AD KRUŠEVAC

Poštoje IMK "14.oktobar" AD Kruševac u dva navrata bio raketiran i bombardovan, pri čemu mu je naneta ogromna šteta koja se procenjuje na oko 186.000.000 USD, prioritet je dati obnovi i izgradnji sopstvenih pogona. S obzirom da su u potpunosti uništene fabrike za izradu i obradu zavarenih sklopova, montažu građevinskih, rudarskih i poljoprivrednih mašina i procesne opreme, pristupilo se najpre rasčišćavanju proizvodnih pogona, a zatim rekonstrukciji i obnovi manje oštećenih objekata i opreme i stvaranje uslova za sopstvenu obnovu, ali i za obnovu i izgradnju drugih objekata.

¹⁾ Sava Đurić, dipl.inž.maš. Inštitut IMK "14.oktobar" Kruševac; Prof.dr Ljubodrag Djordjević, dipl.inž. Mašinski fakultet Kraljevo

U IMK "14.oktobar" AD Kruševac izvedeni su sledeći radovi:

- Rasčišćeno je oko 10.000 metara kvadratnih proizvodnih hala.
- Osposobljeno je obnovljeno oko 4.500 metara kvadratnih poslovnog prostora.
- Obnovljeno je oko 12.000 metara kvadratnih krovnih pokrivača
- Izradeno je oko 18.000 metara kvadratnih krovne konstrukcije i krovnih pokrivača
- Saniranaje mreža razvoda tehničkih gasova, električne struje i vode
- Saniranaje sopstvena kotlarnica
- Zastakljeno je oko 15.000 metara kvadratnih staklenih površina
- Vraćeno je i pušteno u rad preko 200 dislociranih mašina, - Revitalizovane su preseljene i puštene u rad 4 vitalne mašine na nove lokacije, u toku su aktivnosti za osposobljavanje još 4 mašina čija pojedinačna vrednost iznosi par stotina hiljada dolara
- Više desetina oštećenih mašina i uređaja je osposobljeno i pušteno u rad
- Više programaje dislocirano u manje oštećene i sanirane pogone
- U toku je realizacija više razvojnih i istraživačkih projekata, sertifikovan je sistem kvaliteta, produženaje akreditacija laboratorije, štampanje časopis itd.

Sve ovo je urađeno sopstvenim snagama uz podršku državnih i opštinskih organa i finansijsku podršku Fonda za razvoj RS, Zavoda za tržište rada RS, Ministarstva za nauku i tehnologiju RS, banaka i dela polovnih partnera.

U razrušenim pogonima ovog giganta njegovi radnici su obnavljali svoje hale, vidali svoje rane, ali su našli mogućnosti da rade i na drugim gradilištima:

- U Biljanovcu je obnovljen čelični most na Ibru. Izradena je tehnološka dokumentacija, izradenaje čelična konstrukcija i izvršena montaža mosta u predviđenom roku.
- Za Gradsku toplanu u Kruševcu izradena je neophodna dokumentacija za sanaciju deponije uglja. U teško oštećenim pogonima Fabrike procesne i rudarske opreme izradeni su uništena čelična konstrukcija i komponente transportera za dopremanje uglja sa deponije do kotlova, a potom i njihova montaža u Gradskoj toplani Kruševac.
- Za most u Varvarinu na Zapadnoj Moravi izradenaje neophodna čelična konstrukcija u rekordnom roku i ugrađena u most.
- Za mostove u Trsteniku na Zapadnoj Moravi i Dunisu na Južnoj Moravi urađena je neophodna tehnička dokumentacija, elementi čelične konstrukcije, pripremljena su gradilišta i otpočeta je montaža čelične konstrukcije. Očekuje se kvalitetno okončanje radova u optimalnim rokovima.
- U okviru svojih mogućnosti, a prema potrebi "oktobarci" su se uključivali i u radove na mostovima na Zapadnoj Moravi u Varvarinu i na Rasini u Bivolju.
- Za dmmski most preko Dunava na lokaciji porušenog Varadinskog mosta, za Varadinsku dugu, urađenaje konstruktivno tehnološka dokumentacija i izradeno je oko 550 tona čelične konstrukcije središnjeg dela mosta.
- Pored ovoga zaposleni u IMK "H.oktobar" AD Kruševac u okviru raspoloživih tehnoloških mogućnosti rade na izradi i revitalizaciji opreme, mašina, komponentata i delova za potrebe elektroprivrede, građevine, putne privrede, poljoprivrede. i Vojske Jugoslavije.

3.0 REDOSLED RADOVA PRI IZVODENJU RADOVA NA OBJEKTIMA

Pri sanaciji objekta ili izgradnji novog redosled radova ili aktivnosti je sledeći:

- Snimanje stanja objekta i terena

- Izrada projekta sanacije ili izgradnje novog objekta
- Izrada neophodne tehničke dokumentacije (konstruktivne, tehnološke, alatne,...)
- Priprema gradilišta (rasčišćavanje terena, uklanjanje oštećenih i uništenih delova i konstrukcija, ...)
- Izrada elemenata čelične konstrukcije u radioničkim uslovima
- Predmontaža u radioničkim uslovima
- Montaža na terenu
- Kompletiranje neophodne dokumentacije i dobijanje upotrebne dozvole

Sa aspekta zavarivanja treba napomenuti da izvođač radova treba da ispuni sledeće uslove i da ih striktno poštuje i održava:

- Izvođač radova treba da bude registrovan za izvođenje zavarivačkih radova i čeličnih konstrukcija
- Preduzeće treba da ima adekvatnu licencu Ministarstva građevina RS
- Pogoni moraju da budu atestirani (da poseduju uverenje o ispunjavanju uslova za izvođenje zavarenih konstrukcija); odnosno proizvođač mora da poseduje atestiranu opremu, stručni kadar (inžinjere specijaliste za zavarivanje i zavarivače sa položenim ispitom i uverenjem o stručnoj osposobljenosti), kao i izvršenu kvalifikaciju referentnih tehnologija
- Izvođač radova treba da ima sopstvenu akreditovanu laboratoriju ili da koristi usluge neke od akreditovanih laboratorija
- Pri izvođenju radova mora se obavezno voditi dnevnik sa svakodnevnim beleženjem situacije o odvijanju radova
- Za svaku konstrukciju izvođač mora da obezbedi adekvatnu dokumentaciju kojom dokazuje da su otpoštovani svi propisani zahtevi (atesti pogona, uverenja specijalista, atesti zavarivača i opreme, atesti osnovnih, dodatnih i potrošnih materijala, kontrolni listovi, nalazi ultrazvučne, radiografske ili druge zahtevane nalaze kontrole kvaliteta itd)

IMK "H.oktobar" AD Kruševac ispunjava sve zahtevane uslove uključujući i sopstveni Institut IMK "H.oktobar" Kruševac sa sertifikatom o ispunjenju uslova i zahteva standarda JUS ISO 9001, nezavisnu Direkciju kontrole kvaliteta i akreditovanu Tehničku laboratoriju.

4.0 REDOSLED OPERACIJA PRI IZRADI ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

U realizaciji radova, a to se može zaključiti i iz strukture nabrojanih objekata, opreme, uređaja i mašina, značajno mesto zauzimaju zavarivanje i srodne tehnologije. U većini slučajeva izrade zavarenih konstrukcija redosled tehnoloških operacija je sledeći:

- Peskarenje polufabrikata (limova, profila, cevi, otkovaka, otpresaka, odlivaka ...)
- Sečenje na predmere za dalju obradu postupcima mehaničke obrade (struganje, sečenje na testeri, glodanje, sečenje vatrenim točilom...), postupcima plastične deformacije (sečenje na giljotinskim makazama, probijanjem, prosecanjem, odsecanjem, "niblovanjema"/"grickanjem ...) i postupcima termičkog sečenja (gasno sečenje, plazma sečenje, lasersko sečenje, ...)
- Obrada plastičnom deformacijom (savijanje na presama za ugaono savijanje limova, kružno savijanje na mašinama sa više valjaka., ispravljanje na frikcionim presama ili na mašinama sa više valjaka, oblikovanje na toplo,...)
- Mehanička predobrada priprema (struganje, glodanje, bušenje, brušenje,...)
- Sastavljanje i privarivanje (razmeravanjem ili u alatima)
- Zavarivanje (gasno zavarivanje, zavarivanje REL, MIG/MAG, EPP ili TIG AVIG postupkom)

- Obeležavanje i ispravljanje
- (Po potrebi žarenje)
- Mehanička obrada na završne mere
- Završna kontrola
- Površinska zaštita
- Montaža sklopa, komponente, uređaja, konstrukcije

U najvećem broju slučajeva veoma važnu ulogu igraju zavarivanje i srodne tehnologije na koje u izvođenju zavarenih konstrukcija otpada i preko 70% radova. Najčešće se izvode sledeće operacije i oprema:

- Gasno sečenje i zavarivanje ručno gorivim smešama acetilen-kiseonik i propan-butan-kiseonik (gorionici proizvodnje Teleoptik" Beograd, "Mirox" Beograd)
- Gasno sečenje mašinsko gorivim smešama acetilen-kiseonik i propan-butan-kiseonik (mašine proizvodnje "Messer Griesheim" Nemačka i "Uljanik" Pula)
- Plazma sečenje ručno i mašinsko (uređaji proizvodnje "Esab" Švedska i "Rade Končar" Skoplje)
- Lasersko sečenje CO2 laserom (uređaj proizvodnje "Optičke tehnologije" Bugarska)
- Zavarivanje REL postupkom (uređaji proizvodnje "Rade Končar" Skoplje i "Uljanik" Pula)
- Zavarivanje MIG/MAG postupkom (uređaji proizvodnje "Uljanik" Pula, "Rade Končar" Skoplje i "ISKRA AUTOMATIKA" Ljubljana)
- Zavarivanje EPP postupkom (uređaji proizvodnje "Esab" Švedska i "Rade Končar" Skoplje)
- Zavarivanje TIGAVIG postupkom (uređaji proizvodnje "Rade Končar" Skoplje) č Metalizacija (uređaji "Metko" V. Britanija i "Catolin" Švajcarska)
- Elektrootporsko zavarivanje (uređaji "Elektroda" Zagreb i "14.oktobar" Kruševac)

U PC Održavanje sredstava rada postoji specijalizovana služba koja se bavi održavanjem i servisiranjem navedene opreme, ali su značajan doprinos održavanju funkcionalne sposobnosti zavarivačkih pogona dale i sledeće firme: "Joniko" Niš, "Rade Končar" Skoplje, "Galeb Group" Šabac, "Tehnovar" Beograd, "Mirox" Beograd itd.

Što se tiče dodatnih materijala u najvećoj meri se koriste dodatni, potrošni i pomoćni materijali sledećih proizvođača i isporučioaca: FEP Plužine, "Elvaco" Bijeljina, "Železame Jesenice" Jesenice i "Lincoln".

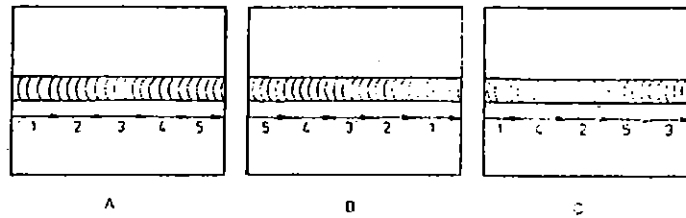
Najčešći proizvođači osnovnih materijala su "SARTID" Smederevo, železara Skoplje i "Železame Jesenice", a za kovanje se skoro isključivo koriste materijali Železare Nikšić.

Kompletnu konstruktivnu i tehnološku dokumentaciju izrađuju specijalisti Instituta IMK "14.oktobar" Kruševac i razvojne funkcije na nivou pojedinih funkcionalnih celina.

Kompletnu kontrolu materijala, komponenti, procesa i gotovog proizvoda uključujući i neophodnu doloimentaciju izvodi Direkcija za kontrolu kvaliteta.

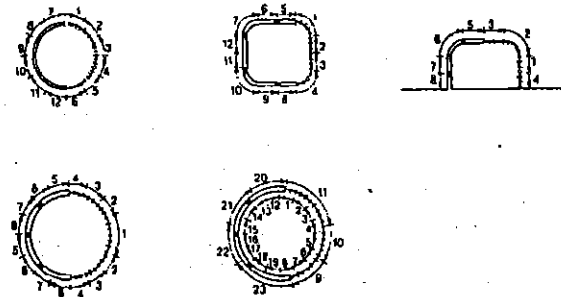
5.0 NEKE PREPORUKE I PRIMERI

U cilju sprečavanja deformacija, obezbedenja kvalitetetne popravke oštećenih konstrukcija, njihove funkcionalnosti pouzdanosti pri propisivanju tehnologije zavarivanja, pored ustaljenih preporuka za izbor odgovarajućeg postupka, dodatnih materijala i parametara zavarivanja treba voditi računa i o preporukama za izradu planova zavarivanja, odnosno redosleda zavarivanja. Navedeno je nekoliko primera i preporuka.

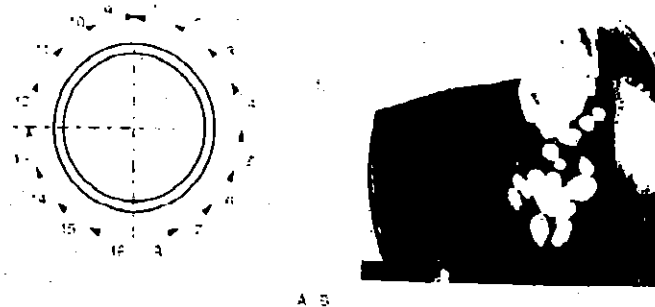


Slika 1. Preporučeni redosled zavarivanja podužnih šavova:

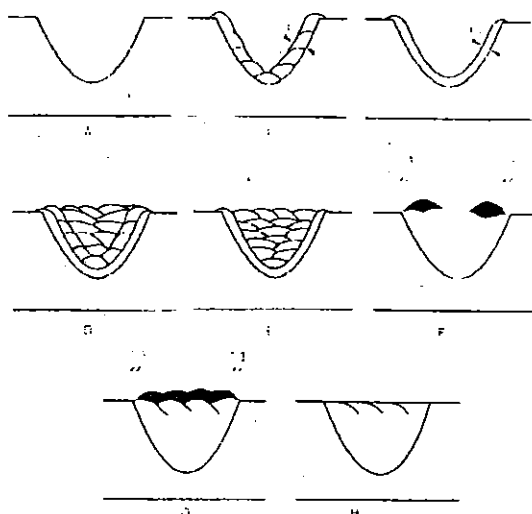
- A – Najčešći redosled zavarivanja, koji izaziva najveće deformacije
 B - Zavarivanje povratnim korakom ("Rakov korak"), kojim se znatno smanjuju deformacije
 C - Zavarivanje napreskok, kojim se smanjuju deformacije



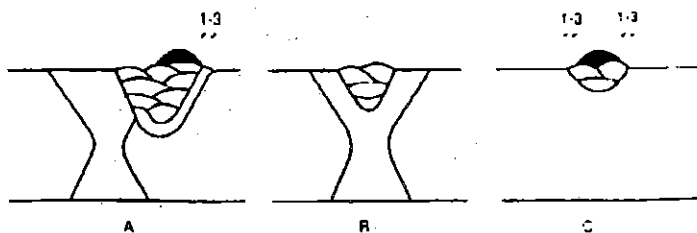
Slika 2. Primeri redosleda zavarivanja "zakrpa" u cilju postizanja završene kvaliteta i smanjenja deformacija



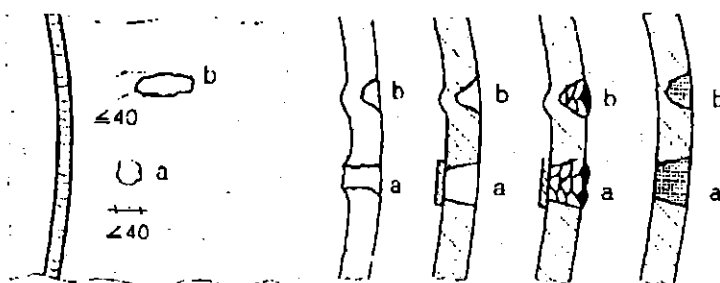
Slika 3. Redosled zavarivanja okrugle zakrpe (A) i zavarena okrugla zakrpa na rezen-oaru (B)



Slika 4. Redosled izvođenja zavarivanja pri popravci prslina na delovima velikih debljina izradenim od čelika sklonih prslinama: A - Oblik pripreme žleba, B - Polaganje prvog sloja, C - Brušenje prvog sloja, D - Polaganje ostalih slojeva dopopune žljeba, E - Popuna u slučaju manjeg žljeba, F - Izvođenje za vršnih slojeva za odžarivanja kritične prelazne zone, G - Izvođenje slojeva za odžarivanje cele površine zavora, H - Brušenje površine zavora



Slika 5. Redosled izvođenja zavarivanja pri popravci prslina na delovima velikih debljina izradenim od čelika sklonih prslina na različitim položajima prslina koje treba popraviti: A - Prslina se nalazi na prelaznoj zoni šava, B - Prslina se nalazi na šavu, C - Prslina se nalazi na osnovnom materijalu



Slika 6. Redosled popravke površinskog oštećenja zida posude:
 a - Površinski oštećeno mesto bez proboja b - Površinski oštećeno mesto sa probojem
 1 - Šematski prikaz oštećenja, 2 - Brušenje žleba i stavljanje podloške na mestu proboja, 3 - Izpunavanje žlebova zavarivanjem, 4 - Brušenje površine zavora i skidanje podložne pločice

6.0 ZAKLJUČAK

Iako je pretrpela značajna razaranja svojih proizvodnih pogona i uništenja objekata, opreme i infrastrukture IMK "H.oktobar" AD Kruševac zahvaljujući stručnim kadrovima, iskustvima u oblasti projektovanja i izvođenja zavarenih čeličnih konstrukcija i ulaganju u razvoj i praćenje zavarivanja i srodnih tehnologija uspeo je relativno brzo da osposobi deo svojih kapaciteta i da se uključi u obnovu i izgradnju zemlje. Značajnu ulogu u uspešnosti realizacije postavljenih zadataka imali su i poslovni partneri koji su isporučili rezervne i potrošne delove za osposobljavanje opreme i uređaja, kao i proizvođači osnovnih, dodatnih, pomoćnih i potrošnih materijala.

7.0 LITERATURA

1. Projektna dokumentacija "Mostprojekta" Beograd
2. Tehnička dokumentacija IMK "14.oktobar" AD Kruševac
3. Zakonski propisi iz oblasti građevine
4. ISO, EN, JUS standardi iz oblasti zavarivanja
5. Prospektni materijali i katalogi proizvođača opreme, uređaja i materijala za zavarivanje i srodne tehnologije
6. Dokumentacija Komisije za procenu ratne štete u IMK "14.oktobar" AD Kruševac
7. Dokumentacija Komisije za procenu ratne štete u opštini Kruševac

REGENERACIJA OŠTEĆENIH MAŠINSKIH ELEMENATA NAVARIVANJEM

Marković S.* , Ćirić-Kostić S.**

REZIME

Metod navarivanja u procesu regeneracije oštećenih mašinskih elemenata je ekonomičan, pouzdan, produktivan, relativno prost u organizacionom smislu i daje mogućnost promene hemijskih, fizičkih, mehaničkih i metalurških karakteristika radnih površina regenerisanih mašinskih elemenata. Može se primeniti za regeneraciju elemenata izrađenih od raznovrsnih materijala i sa različitim oštećenjima. Navareni sloj, po potrebi, može biti i značajnije debljine, što je posebno značajno kod dosta pohabanih mašinskih elemenata. Izvođenje postupaka navarivanja ne zahteva i korišćenje skupe i složene opreme.

Razvijen je veliki broj postupaka regeneracije mašinskih elemenata navarivanjem. U radu su date osnovne karakteristike elektrolučnog (ručnog, u zaštitnom gasu, pod zaštitom praška, automatskog pod topiteljem, poluautomatskog pločastim elektrodama, vibracionim električnim lukom - elektroimpulsnog, pod šljakom) i gasnog navarivanja.

Ključne reči: regeneracija, navarivanje.

1. UVOD

Pod regeneracijom pohabanih mašinskih elemenata podrazumeva se takav redosled operacija, koji ima za cilj povratak izgubljenih pokazatelja radne sposobnosti mašinskog elementa. Problematika popravke oštećenih mašinskih elemenata je vrlo kompleksna i zahteva veliko stručno znanje i iskustvo, od poznavanja funkcionalnosti mašinskog elementa i sklopa i svih uslova pod kojima radi, kvaliteta materijala od koga je izrađen, njegove tvrdoće do eventualne termičke obrade. Postoji ogromna količina mašinskih elemenata koji su zbog minimalnog habanja izbačeni iz dalje eksploatacije. Tu se vrlo često radi o stotim i desetim delovima milimetra. Za tu svrhu se koriste razrađene tehnologije koje omogućavaju ne samo da se ti elementi obnove i vrate u eksploataciju, već da nakon obnavljanja budu kvalitetniji nego što su pre bili. Velika raznolikost metoda, načina i vidova regeneracije pohabanih mašinskih elemenata može, u praksi, stvoriti predstavu o potpunom odsustvu bilo kakve sistematizacije ovih metoda i njihovoj nezavisnosti od vrste oštećenja. Svi ti metodi se lako klasifikuju ako se u osnovu klasifikacije stave principi regeneracije geometrijskih i kvalitativnih pokazatelja elemenata. Po tom principu sve metode regeneracije mašinskih elemenata moguće je razvrstati u pet grupa: metodi otklanjanja oštećenog sloja materijala i obrada mašinskih elemenata na remontne mere, bravarski metodi, metodi plastičnog deformisanja, metodi nanošenja metalnih slojeva na pohabane površine mašinskih elemenata i metodi navarivanja. Praksa naprednih remontnih preduzeća pokazuje da vek trajanja pravilno

* Mr Svetislav Lj. Marković, Viša tehnička škola, Svetog Save 65, 32000 Čačak.

** Mr Snežana Ćirić-Kostić, Mašinski fakultet, Dositejeva 19, 36000 Kraljevo.

regenerisanog mašinskog elementa nije samo isti, već često i viši od novog. Pri tom njegova vrednost čini tek 5+ 40 % cene novog mašinskog elementa.

2. REGENERACIJA NAVARIVANJEM

Navarivanje predstavlja proces nanošenja dodatnog materijala po određenoj površini u cilju dobijanja željenih karakteristika ili dimenzija mašinskog elementa koji se regeneriše. Primenuje se za regeneraciju najodgovornijih mašinskih elemenata (zupčanika, vratila, osovina, lančanika i drugih). Navarivanjem se regeneriše više od 50 % mašinskih elemenata [3]. Navareni materijal obrazuje zajedničku celinu sa osnovnim materijalom elementa i vezan je s njim čvrsto i pouzdano. Za navarivanje se koriste elektrode koje se primenjuju pri zavarivanju, ili specijalne elektrode za navarivanje. Nužne karakteristike navarenog sloja obično se dobijaju legiranjem. Osnovne osobine prema kojima se određuje način legiranja su: pouzdanost dobijanja zadatog hemijskog sastava navarenog materijala pri mogućim odstupanjima režima navarivanja, jednorodnost sastava navarenog sloja po zapremini, ekonomičnost i pogodnost primene načina legiranja. Za određivanje karakteristika navarenog materijala potrebni su sledeći podaci: hemijski sastav i tvrdoća, brzina hlađenja, režim termičke obrade i orijentacija osnovnih kristala u odnosu na razarajuća opterećenja. Tip navarenog materijala bira se na osnovu analize uslova eksploatacije radnih površina mašinskog elementa koji se navaruje.

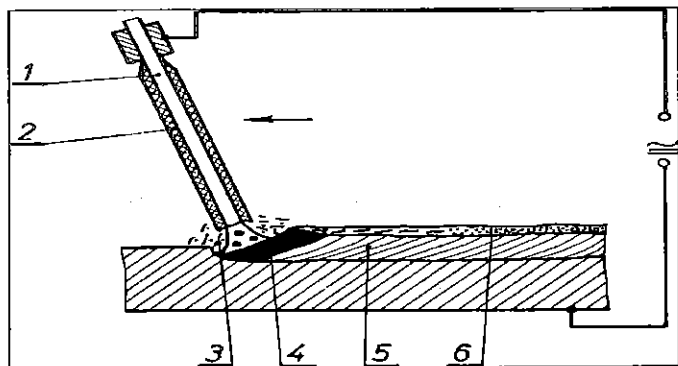
Metode regeneracije mašinskih elemenata dele se na: elektrolučne metode navarivanja i gasno navarivanje. Elektrolučno navarivanje se dalje deli na niz metoda u zavisnosti od načina stvaranja i održavanja luka, vrste elektrode i topitelja, kao i mehanizovanosti procesa. U radu su opisane najčešće korišćene metode.

Tehnološki proces regeneracije metodima navarivanja je gotovo isti kao i kod svih metoda nanošenja prevlaka i sastoji se iz: pranja i čišćenja elemenata, pripreme površina koje se navaruju, samog navarivanja, skidanja šljake, mašinske obrade nakon navarivanja, eventualne termičke obrade i završnog brušenja. Režim navarivanja pohabanih površina mašinskih elemenata određuje se sledećim redosledom: prvo se odredi debljina navarenog sloja materijala, zatim se bira vrsta i prečnik elektrode u zavisnosti od zahtevane tvrdoće i od debljine navara, posle čega se određuje brzina dovođenja žice i brzina navarivanja. Navarene površine elemenata tvrdoće do HRC 45 mogu se mašinski obrađivati alatima sa pločicama od tvrdog metala i brusiti, a veće tvrdoće samo prethodno i završno brusiti. Pri izvođenju postupka navarivanja mora se voditi računa o redosledu nanošenja navara i da navar koji se nanosi mora zahvatati 1/3 prethodnog. Elemente složene konfiguracije potrebno je predgrevati, a nakon navarivanja sporo hladiti, sve u cilju da se izbegnu veliki unutrašnji naponi, koji u eksploataciji dovode do pucanja regenerisanog elementa.

2.1. Ručno elektrolučno navarivanje

Ručno elektrolučno navarivanje je jedan od najsporijih, najneekonomičnijih i najneproduktivnijih metoda. Navarivanje se može izvoditi jednosmernom ili naizmeničnom strujom, direktnog ili indirektnog polariteta, zavisno od vrste elektrode. Pri izboru elektrode neophodno je zadovoljiti sledeći uslov: materijal žice elektrode mora odgovarati materijalu navarivanog elementa. Marka elektrode i vrsta topitelja biraju se u zavisnosti od zahteva koji se postavljaju navarenom materijalu. Primenuju se dva tipa elektroda: gole i obložene. Debljina jednog navarenog sloja je 3+6 mm. Ukoliko je neophodno navariti sloj veće debljine, upravno na prvi navaruje se drugi sloj. Pri tom prvi sloj mora biti pažljivo očišćen od šljake, skrame i drugih nečistoća. Navarivanje se vrši snopom elektroda. Na slici 1 prikazan je proces ručnog elektrolučnog navarivanja obloženom elektrodom. Topljiva elektrodna žica (1) i njena obloga (2) obrazuju zaštitu (3) koja izoluje zonu električnog luka i rastopljenog materijala (4) od atmosferskog vazduha. Pomeranjem električnog luka nastaje hlađenje i formiranje šava (5) i kore od šljake (6). Strelicom je prikazan smer navarivanja.

Ručno elektrolučno navarivanje je težak i spor proces. Često se dobijaju debeli i nejednako naneti slojevi, što zahteva skupu mašinsku obradu, posebno ako navareni materijal ima veliku tvrdoću kada u obzir dolazi samo obrada brušenjem. Ovaj metod ima i sledeće prednosti: na ovaj način se mogu regenerisati gotovo svi mašinski elementi, veliki asortiman vrsta dodatnog materijala, neznatni investicioni troškovi, pogodnost za rad na terenu i u različitim uslovima i svim položajima.

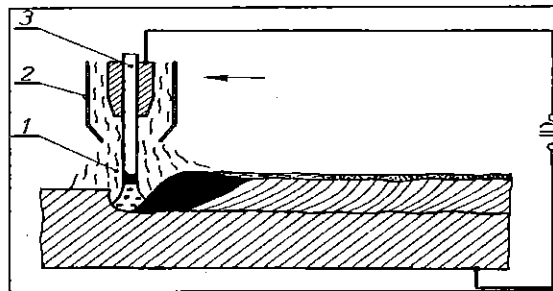


Slika 1. Ručno elektrolučno navarivanje obloženom elektrodom

2.2. Elektrolučno navarivanje u zaštitnom gasu

Postoji više načina elektrolučnog navarivanja u zaštitnom gasu, ali su dva osnovna:

- navarivanje u zaštitnom gasu netopljivom volfram (tungsten) elektrodom - TIG (WIG) postupak i
- navarivanje u zaštitnom gasu topljivom (metalnom) elektrodom - postupci MIG i MAG.



Kod elektrolučnog navarivanja u zaštitnom gasu zona električnog luka i rastopljenog materijala (sl. 2) okružena je gasom (1), koji se dovodi pod malim pritiskom isticanja iz mlaznice (2). Zaštitni gas najčešće se dovodi koncentrično u odnosu na elektrodu (3). Pored toga, ovi postupci navarivanja mogu biti poluautomatski i potpuno automatizovani.

Slika 2. Elektrolučno navarivanje u zaštitnom gasu

Navarivanje u zaštitnom gasu netopljivom elektrodom (TIG). Navarivanje u zaštiti argona i drugih inertnih gasova netopljivom elektrodom nalazi primenu pri navarivanju specijalnih legura koje moraju biti u rastopljenom stanju zaštićene od vazduha. Netopljiva volframova elektroda služi da održava električni luk. Prednosti TIG-postupka navarivanja su: mogućnost navarivanja gotovo svih metala, moguće je precizno doziranje i raspored rastopljenog materijala vara. Nedostaci su: mala brzina navarivanja, pri navarivanju lakih metala neophodna naizmenična struja, umereni investicioni troškovi za opremu i materijal.

Navarivanje u zaštitnom gasu topljivom elektrodom (MIG i MAG). Postupak navarivanja u zaštiti inertnih, plemenitih gasova, uglavnom argona, (MIG-postupak) prikladan je za navarivanje nerđajućih i visokokvalitetnih čelika, bakra i njegovih legura (mesing i bronza), aluminijuma i aluminijumskih legura. Za navarivanje čelika i tvrdih legura koristi se ugljendioksid kao zaštitni gas (MAG-postupak). Argon daje miran električni luk bez raspršivanja, dok kod ugljendioksida postoji znatno raspršivanje i znatno dublja penetracija.

Svakako da je najznačajniji postupak *poluautomatskog elektrolučnog navarivanja u zaštiti gasa (najčešće ugljendioksida)*. Na ovaj način se regenerišu cilindrične i ravne površine, a takođe i cilindrični otvori. Ima široku primenu za navarivanje elemenata od ugljeničnih, niskolegiranih i nekih visokolegiranih čelika. Prednosti ovog metoda su: manja zona pod uticajem toplote, visoka produktivnost i poboljšana ekonomičnost. Nedostaci su: otežano dobijanje glatke površine, neophodna primena jednosmerne struje, veliko raspršivanje materijala, a takođe i korišćenje specijalnih sredstava zaštite radnika od štetnih isparenja luka.

Sve više u upotrebi je i *elektrolučno impulsno navarivanje u zaštiti inertnog gasa*. Uređaj za navarivanje ima dva izvora električne struje, uključena paralelno. Jedan izvor daje jednosmernu struju male jačine, koja osigurava održanje luka i topljenje elektrode, dok drugi

daje periodično ponavljajuće impulse struje veće amplitude i kratkog trajanja. Na taj način može se upravljati odvajanjem kapljica rastopljenog materijala elektrode, regulišući veličinu impulsa. Dobija se navareni sloj željene debljine i širine. Prednosti su što se postiže visok učinak uz malo zagrevanje, primena raznovrsnog dodatnog materijala i omogućeno fino nanošenje navara. Nedostaci su: veliki investicioni troškovi za opremu i složenije rukovanje istom.

Plazma-navarivanje metalnim prahom je savremen metod regeneracije navarivanjem. Dodatni materijal, pripremljen u vidu sitnog metalnog praha, dovodi se pomoću dozatora i struje gasa u zonu plazma-luka, gde se prašak zagreva i rastapa. Gas koji obrazuje plazmu prenosi zagrejane čestice na regenerišuću površinu zagrejanu plazma-lukom. Zaštita navarenog sloja od dejstva okoline obezbeđuje se dovođenjem inertnog gasa. Prednosti ovog metoda su: glatke navarene površine, mala završna mašinska obrada, mogućnost mehanizovanja procesa, održavanje zahtevane visine navarenog sloja, veoma visoka produktivnost. Nedostatak predstavljaju veliki investicioni troškovi za opremu i materijal.

Pored ovih metoda praktičnu primenu imaju i: automatsko navarivanje u zaštiti ugljendioksida, automatsko navarivanje u zaštiti vodene pare, automatsko navarivanje u kombinovanim zaštitnim sredinama (12 % CO₂ i 88 % argona, ili 97 % argona i 3 %).

2.3. Navarivanje pod zaštitom praška

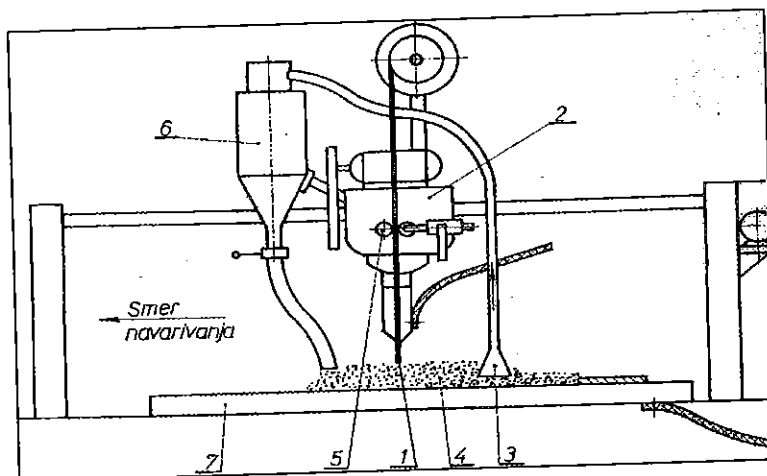
Električni luk gori između materijala regenerišućeg elementa i elektrode, koja je namotana na kolut, dok se u zonu luka dodaje prašak. Prašak topljenjem u električnom luku stvara obilnu šljaku, koja osigurava dobru zaštitu i sporo hlađenje, pa ne dolazi do stvaranja zakaljene strukture

Kod *višeelektrodnog navarivanja pod praškom* električni luk se premešta sa elektrode na elektrodu, koje su priključene na zajednički izvor električne struje. Može se izvoditi jednosmernom ili naizmeničnom električnom strujom. Ovim postupkom se postiže velika širina navarivanja i smanjuje utrošak električne struje za 15+20 % [2].

Automatsko navarivanje trakom pod zaštitom praška ima visoku produktivnost zbog velike širine navarenog sloja. Ono omogućuje da se u jednom prolazu postigne navareni sloj širine 100 mm, debljine 2+8 mm sa penetracijom manjom od 1 mm.

2.4. Automatsko elektrolučno navarivanje pod topiteljem

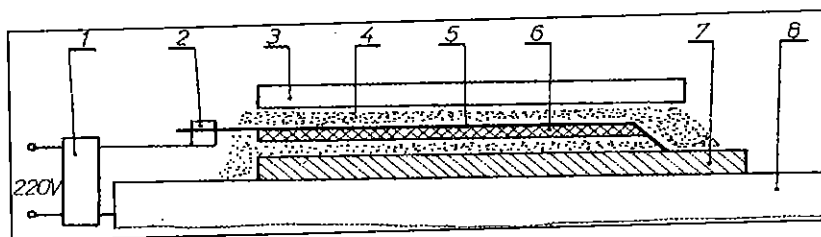
Ovaj metod se primenjuje pri regeneraciji skupih i deficitarnih mašinskih elemenata. Sastoji se u tome što su električni luk i rastopljeni materijal dobro zaštićeni od štetnog delovanja vazduha omotačem rastopljenog topitelja. Rezultat je: dobro formiran i adekvatno legiran navareni sloj. Automatsko navarivanje pod topiteljem (sl.3) izvodi se jednosmernom ili naizmeničnom strujom pomoću automatske navarivačke glave (2). Ovo navarivanje se izvodi na mašinama ili specijalnim uređajima (navarivanje cilindričnih površina elemenata - na prerađenim strugovima). Elektroдна žica (1) se dovodi preko mehanizma (5) u zonu električnog luka. Topitelj (4) stihijski se dovodi iz bunkera (6) na regenerišući element (7). Pod dejstvom visoke temperature luka topitelj se topi i obrazuje sredinu koja obezbeđuje materijal od oksidacije i zasićenja azotom, a takođe otežava brzo hlađenje navara. Sloj rastopljenog topitelja se pri hlađenju pretvara u tvrdu šljakanu koru, na kojoj često ostaje neka količina nerastopljenog topitelja, koja se usisnim cevovodom (3) vraća u bunker (6). Proces navarivanja je veoma brz, a navareni materijal ima visoke mehaničke karakteristike.



Slika 3. Šema uređaja za automatsko elektrolučno navarivanje pod topiteljem

2.5. Poluautomatsko elektrolučno navarivanje pločastim elektrodama

Poluautomatsko navarivanje pločastim elektrodama primenjuje se pri regeneraciji pohabanih mašinskih elemenata. Pločaste elektrode se izrađuju od niskougleničnih čelika u vidu pločica debljine od 0,3 mm, pokrivene legirajućom oblogom. Dimenzije i oblik pločica određuju se prema konstruktivnim karakteristikama površine elementa, koja se regeneriše. Pločica mora biti za 100÷200 mm duža i za 5 % šira od te površine. Navarivanje se vrši sledećim redosledom (sl.4): površina elementa koja se regeneriše (7) prekriva se tankim slojem topitelja (4) na koji se smešta pločasta elektroda (5) stegnuta u nosač (2), pri čemu obloga (6) mora biti ispod pločice. Kraj elektrode mora dodirivati površinu elementa radi stvaranja luka. Postavljena elektroda se pokriva slojem topitelja i bakarnom pločom (3), radi zaštite luka od vazduha i sprečavanja mogućeg prodora gasova. Sa (1) je označen transformator sa regulatorom. Prednosti ove metode su: znatno povećana produktivnost rada, olakšan rad varioca, poboljšan kvalitet navarivanja, ne zahteva se specijalna aparatura za izvođenje navarivanja. U nedostatke ovog metoda treba ubrojati velike specifične rashode električne energije i neophodnost izrade pločastih elektroda.



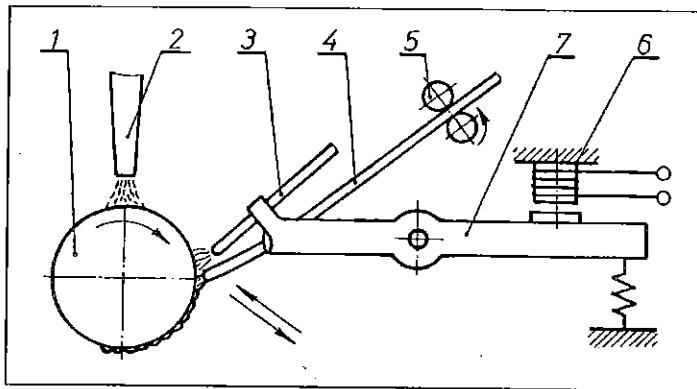
Slika 4. Šema uređaja za poluautomatsko navarivanje pločastim elektrodama

2.6. Navarivanje vibracionim električnim lukom - elektroimpulсно

Ovo navarivanje se sastoji u nanošenju materijala vibrirajućom elektrodom u struji tečnosti za hlađenje. Za nanošenje sloja materijala koristi se efekat električnog varničnog pražnjenja. Elektroda se pomera gore-dole, pri čemu nastaje uspostavljanje i prekidanje električnog luka između elektrode i regenerisanog elementa. Navarivanje vibracionim električnim lukom primenjuje se za regeneraciju unutrašnjih i spoljnih površina livenih i čeličnih elemenata.

Postupak navarivanja je sledeći (sl.5). Element koji se navaruje (1) postavlja se u steznu glavu ili među šiljke prerađenog struga, ili se nepokretno učvrsti, u zavisnosti od oblika površine koja se navaruje. Elektrodna žica (4), prečnika $d = 1,4 \pm 2$ mm, dovodi se u zonu navarivanja pomoću specijalnog mehanizma (5) i držača elektrode (7). Držač elektrode sa mehanizmom za stvaranje vibracija (6) vezan je na suportu struga i dobija uzdužno pomeranje. Držač elektrode se izoluje od struga pomoću specijalnih podmetača. Na regenerišući element i elektrodnu žicu dovodi se jednosmerna ili naizmenična struja. U zonu kontakta elektrode i regenerišućeg elementa dovodi se tečnost za hlađenje pomoću mlaznice (3). Mlaznicom (2) se dovodi tečnost za hlađenje navarenog elementa. U momentu udara elektrode o regenerišući element nastaje struja kratkog spoja, a pri prekidu između elektrode i elementa obrazuje se električni luk. Pri tom nastaje prenos rastopljenog materijala sa elektrodne žice na element i njegovo stapanje sa osnovnim materijalom elementa.

Prednosti ove metode navarivanja su: navareni sloj je čvrst, tanak, ravan, kompaktno,



Slika 5. Šema elektrolučnog navarivanja vibrirajućom elektrodom

tvrd i otporan na habanje, pri ovom navarivanju nema vitoperenja elemenata i ne dolazi do otpuštanja termički obrađenih radnih površina, pouzdano sprezanje navarenog sloja debljine do 2,5 mm sa osnovnim materijalom, jednostavna tehnološka oprema, navareni sloj se istovremeno kali. Nedostaci su: znatno smanjenje granice izdržljivosti elementa, mala čvrstoća sloja pri radu u uslovima trenja kotrljanja sa klizanjem i velikih kontaktnih opterećenja.

Ovaj metod se ne primenjuje za elemente koji rade dugo sa promenljivim opterećenjem, a takođe i za radne površine zubača zupčanika i lančanika. Elektrolučno navarivanje vibrirajućom elektrodom se može izvoditi pod slojem topitelja i u zaštiti gasova. Tada se dobija navar boljeg kvaliteta i jednorodnije strukture.

2.7. Navarivanje pod šljakom

Primenjuje se za regeneraciju elemenata velikih gabarita i tamo gde se moraju navariti vrlo velike količine dodatnog materijala. Topljenje topitelja se izvodi lukom, koji nastaje između osnovnog materijala i elektrodne žice. Navarivanje ovim postupkom može se vršiti samo u vertikalnom položaju. Zbog toga se oko elementa koji želimo navariti mora napraviti kalup od grafita ili livačkog peska, ili bakra hlađenog vodom.

Dubina kade od šljake održava se u zadatim granicama strogo doziranim dovođenjem topitelja. Ovaj metod daje najveću produktivnost navarivanja. Gubitaka od raspršivanja praktično nema. Pored toga, prednosti ovog metoda su i: mogućnost dobijanja navarenog materijala zahtevanog hemijskog sastava i sa dobrim mehaničkim karakteristikama.

2.8. Gasno navarivanje

Gasno navarivanje se zasniva na iskorišćenju toplote koja nastaje u procesu sagorevanja smeše od zapaljivog gasa i oksida. U remontoj praksi prvenstveno se koristi oksiacetilensko navarivanje. Za navarivanje gasna smeša mora biti neutralna (odnos kiseonika i acetilena je $1 \pm 1,25$). Treba voditi računa da se prema debljini osnovnog i dodatnog materijala pravilno odabere jačina gorionika. Debljina dodatnog materijala se bira

prema debljini sloja koji treba navariti. Kvalitet navarivanja zavisi od hemijskog sastava dodatnog materijala i pravilnog izbora topitelja. Prednost ovog postupka je u tome da se istovremeno vrši predgrevanje (redukovanim plamenom, sa malim viškom acetilena), jer se ne može izvršiti rastapanje i vezivanje osnovnog i dodatnog materijala ukoliko osnovni materijal pre toga nije predgrejan. Ovaj postupak obezbeđuje dobijanje glatke površine navara, koja zahteva malu naknadnu mašinsku obradu. Nedostaci su: sporo izvođenje postupka, mali učinak, veliki rashodi toplote.

3. ZAKLJUČAK

Navarivanje je najefikasniji način regeneracije oštećenih mašinskih elemenata. Regeneracija mašinskih elemenata metodima navarivanja ima niz prednosti: može se primeniti za regeneraciju elemenata izrađenih od raznovrsnih materijala i sa različitim oštećenjima, postupak je relativno prost, za njegovo izvođenje potrebna je jeftina i jednostavna oprema, metodi su pouzdani, ekonomični i produktivni, dobijene prevlake imaju dobra antifrikciona svojstva, otporne su na habanje, kiseline, temperaturu, regenerisani element je nekoliko puta jeftiniji od novog sa istim ili boljim karakteristikama radne sposobnosti.

Pored velikih prednosti regeneracija mašinskih elemenata navarivanjem ima i svojih nedostataka: promena strukture materijala usled velikog lokalnog zagrevanja, pojava lokalnih napona u šavu i vitoperenje elemenata. Krupan nedostatak regeneracije navarivanjem je što kvalitet regenerisanog elementa u velikoj meri zavisi od znanja i pažljivosti izvršioca posla - zavarivača.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju kvalitetnom navarivanju su: pouzdano sjedinjavanje navara sa osnovnim materijalom, odsustvo oštećenja u navarenom materijalu, identičnost karakteristika navarenog materijala sa osnovnim.

Svi metodi navarivanja imaju svoje tehnološke karakteristike, pa se različite površine pohabanih i oštećenih elemenata visokokvalitetno, najekonomičnije i najefikasnije mogu regenerisati samo pravilnim izborom jednog od njih.

4. LITERATURA

- [1] Marković S.: *Regeneracija oštećenih mašinskih elemenata - neizbežan proces u održavanju mašinskih sistema*, Tehnika - Mašinstvo, 49(2000), br. 2, str. M17+M22.
- [2] Paton B. E. i dr.: *Tehnologija električeskoj svarki metalov i splavov plavljenijem*, "Mašinstrojenje", Moskva, 1974.
- [3] Petrov J. N. i dr.: *Osnovi remonta mašin*, "Kolos", Moskva, 1972.

REGENERATION OF DAMAGED MACHINE MEMBERS BY BRAZE WELDING

Braze welding method in the process of regeneration of damaged machine members is economical, reliable, productive, relatively simple in an organizational sense and offers the possibility of change of chemical, physical, mechanical and metallurgical characteristics of working surfaces of regenerated machine elements. It can be applied for regeneration of elements made of various materials and with different damages. The braze welded layer, if necessary, can be of considerable thickness, which is particularly important in very worn machine elements. Carryng out of the braze welding procedure does not require use of expensive and kompleks equipment.

A great number of procedufes of regeneration of machine elements by braze welding have been developed. This paper presents basic characteristics of arc braze welding (manual welding in protective gas, under protection of powder, automatic under melting, semi automatic by plate electrodes, electroimpulse by vibrating electrical arc, under slag) and gas braze welding.

NEW METHODS AND TECHNOLOGY ELECTROCHEMICAL MARKINGS

SMOLENCEV V. P., SMOLENCEV G. P., KOPTEV I. T.¹⁾

Abstract

In this paper are given the results of investigation in the field of finding new methods and automation of processes electrochemical marking by deposition (application) of the information on small and large-sized parts and important industrial goods.

The known methods of impact deposition of the information do not meet the requirements the standards on width of a stroke, create stress concentration, invoke (produce) damage of parts Electrochemical labelling exchanging in many cases impact, nor is dispossessed of lacks, the diffuence of an electrolyte on a marked surface, necessity of manufacturing of profile welding rods of tools concerns to which one.

For elimination of the maiden lack the writers offer the new scheme of processing (ampere-second. 965694, USSR), on which one the submission(supply) of an electrolyte in a zone of labelling is dosed on an input(entrance), and further liquid is pumped out by a vacuum pump. It has allowed completely to avoid hit reactive mediums in configuration items. For deposition of steep signs at the constant information the digits and characters of a typographical font, character set for typewriters, texts or digits obtained by an engraving, photochemical method, nonrigid of a sheet, allowance through die holes, carving by a not contoured welding rod will be used. The gang of such signs in the tool for obtaining the variable information increases sharply labour input of operation, demands padding operational development (reseat) of a working surface before labelling, that invokes(produces) rapid wear of the tool, For deposition of the variable information most effectively to use a raster way, at which one of the character or the digits are synthesized from separate insulated from each other pieces, which one by command of microprocessor in definite combination are hooked up to a current source.

Small-sized (colour) labelling execute through cliches from a film or special paper, on which one with the help of a typewriter or punch put demanded text stuffs. For implementation of a way the nonrigid automated module KM3-1, executed(made) on the CETA Device (weight of all installation about 100 kg.) is designed, it is possible to deliver which one to an item manually. In a different complete set the module allows to label simultaneously up to 6 items arranged apart up to 2 m from a gantry. Are available of the offset head with a self-contained supply, unit of raster labelling. The place of deposition of the information can be flat or curvilinear.

Small-sized labelling execute(design) on cliches or paper. Thus the depth of signs makes for the majority of alloys less than 0,05 mms, main(basic) time about 3 seconds. Steep

¹⁾ Prof. dr Smolencev Vladislav Pavlovi~, VGTU, Vorone`, Rossia, e-mail: smol@comch.ru
Prof. dr Smolencev G. P., VGTU, Vorone`, Rossia
Koptev I. T., Co. Aggregate, Vorone`, Rossia

(up to 0,2 mm) the labelling can be executed (designed) through a cliché with прокачкой of an electrolyte, at a no-bottom of indexes - profile tools. In this case run time does not exceed 30-40 seconds at depth of signs up to 0,3 mms. The speed of an electrolyte makes about 7 m/s, thus it is required to supply(ensure) atmospheric attenuation in a working area about 50 KPa. For labelling several stuffs the working bosh of a module is parted into compartments(baies) connected to a general (common) main (line) of the installation. The current is made from the built-in rectifier (current intensity 5 A). The independent(autonomous) device enters in a structure of a module, which one provides obtaining the information without прокачки of an electrolyte in hard-to-reach places of designs with a feed (meal, power) from a module, lighting mains or socket of any machine tool. Such devices are friend for deposition of the personal sign to the worker, workers of a technical inspection department, identification marks of the in-process control. The machining time of operation does not exceed 3 seconds. The module allows to apply to labelling constant (with changeable polarity) and alternating current, in a broad band (from 4 up to 24 volts) to change pressure(voltage, stress) on welding rods. The time of weep of process is adjusted(regulated) a time element and varies depending on depth of signs and stuff of a part.

If the part is entered in the sizes 500x500 mm, her (it) establish (set) on desktop of a module, above which one on a cross-piece the slide with the marking head, coherent mains(lines) with a bosh and current source, and in a workpiece range she поджимается by a rod to a part is displaced. It is simultaneously possible to put up to 25 signs by an altitude up to 6 mms. The treatment schedules can be changed in a broad band преднабором on the control panel.

Till ampere-second. 1041255 the offset marking head with a radius of action up to 2 m is designed. In the head there is a sucker sealed by a vacuum pump. In case of loss of airtightness the process of labelling automatically ceases and there is a fault signal. The module provides full localization of a zone of weep of process, eliminates hit of an electrolyte on adjacent parts, drains a place of labelling. For the collected clusters of items it allows to actuate electrochemical labelling in a master schedule without fear of corrosion of parts and hit of salts in mating surfaces.

The process of deposition of the information with a suction of an electrolyte eliminates accumulation of light-end products of processing, accelerates absorption by a handling medium reaction product on an electrolytic furnace and accelerates their diffusion deep into of electrolyte. Осциллографирование of process has shown, that in earlier used process with pressure of an electrolyte in a zone of labelling, the increase(rising) of a current descended nonuniformly, last was explained by passivating action of light-end products of processing. The stable value of a current was reached only in 1,55 seconds, that invoked(produced) large dissipation of a current, «fluid wash» of edges of a stroke and decrease of a definition of the sign. In an offered way with a suction of an electrolyte the current fast rises and through 0,75c. reaches limiting value, which one is a little bit higher, than in a precursor way. The improvement of conditions of an evacuation firm and light-end products accelerates process and allows on 20-30 of % to increase depth of the sign without detail loss. With allowance for of features формообразования of recesses at a suction of an electrolyte the refinement of modes of labelling is required, in particular (personally), the pressure (voltage, stress) (on 20-30 of %), run time (to 1,5 times) can be reduced, the stable depth of indexes up to 0,3 mms (is obtained in case of pressure at such depth it fails to receive width of strokes which are conforming the requirements a GOST). It results in economies of energy and manpowers.

The software for the microprocessor, control all units of a module is designed. The general (common) problem of design augmented by computer of master schedules of electrochemical labelling is parted into a number (series) of subtasks, the solution which one

realised in matching components of a programmatic complex.

The designing of master schedules on a computer descends in a batch mode sequentially in process of input of a following massif to an input information. The programmatic complex contains five subroutines with one control module.

The supply with information of a system includes 2 kinds (views) of the information: operating and conditionally - constant. The operating information contains the items of information on overall dimensions and stuff of a marked part, depth of signs, phylum and information destination plotted on a part. She is input at designing of a master schedule.

The conditionally - constant information represents set(combination) of the items of information about the used equipment, stuffs, electrolytes, treatment schedules. These items of information are made out by the way of reference books, each of which represents the separate file with series organization. The reference books are arranged on a magnetic disk.

At fulfilment of problems of design augmented by computer of a master schedule ЭХМ the special method - search of mutually solutions with the help of look-up tables, представляющих собой a record of conformity of set of versions of the possible(probable) solutions to a diversity of their implementation will be used, Usage of such tables eases the introducing of changes in the programs with change of the production conditions.

On look-up tables the selection of the equipment implements. If the equipment is not retrieved, the program reshapes definite tag in an input information and finishes the activity. In remaining cases the selected equipment is an input information for further designing, namely, for formation of sequence of technological transitions and selection of an electrolyte. The formation of sequence of transitions implements sorting of a massif for a key by a method of simple inserts. The selection of process conditions of electrochemical labelling is reduced to definition of an operation voltage and time of labelling depending on a type of equipment, marks of a stuff and depth of operational labels. The kind (view) of the tool is determined by phylum and assigning of the plotted information, and also kind (view) of the equipment. As a result of activity of the program the engineering specifications by the way of operational card are reshaped, which one is contained the items of information on the naming of operation, mark of a stuff, handling medium, tool, model of the equipment, the full description of sequence of transitions selected treatment schedules is given.

The degree of entirety of problems, solved at designing, can change depending on the production conditions.

The application of automated design engineering systems allows considerably to reduce terms of technological opening-up of effecting, to improve the quality of master schedules up to a level indispensable for operation of nonrigid computeraided productions (ГАИ).

Last allows to build a module for labelling into automatic complexes and lines with a direct control from a computer. Are designed and the automated units of deposition of the invariant information are inserted at a production computeraided production of cylinder pistons, sleeves and other parts of motor industry.

The writers have the indispensable documentation and can put technology and equipment for deposition of the small-sized and steep information on a part from all kinds (views) of alloys, switching on the hard-alloy tool.

NOVI METOD I TEHNOLOGIJA ELEKTROHEMIJSKOG MARKIRANJA

Rezime

U radu su dati rezultati istraživanja na polju novih metoda i automatizacije procesa elektrohemijskog markiranja primenom informacija na malim i široko dimenzioniranim delovima i važnih industrijskih proizvoda.

RAZVOJ EJEKTORA ZA POVEĆANJE KOEFICIJENTA ATHEZIJE PESKARENJEM ŠINA ZA ELEKTROMOTORNE VOZOVE SERIJE JŽ 412 / 416¹

Ljubomir Moravčević, Mile Nikolić²

Rezime

U radu su dati rezultati istraživanja nepouzdanosti rada uređaja za peskarenje šina Elektromotornih vozova serije JŽ 412/ 416. Na osnovu zaključaka analize o uzrocima nepouzdanosti postojećeg rešenja i definisanih tehničkih zahteva za izradu novog konstrukcijskog rešenja ejektora, u uslovima ugradnje umesto postojećeg, konstruisan je novi ejektor i izvršena je rekonstrukcija izvršnih sklopova uređaja za peskarenje. Probna serija od osam ejektora, ugrađena je na garnituri EMV serije JŽ 412/416. Dobijeni rezultati eksploatacionih ispitivanja su u okvirima preporuka ORE, izveštaja B44.

Ključne reči - athezija, ejektor, peskarenje, železnica.

1. UVOD

U eksploataciji vučnih vozni sredstava, u fazama ubrzanja ili kočenja, naročito u lošim vremenskim uslovima, neophodno je povećati koeficijent athezije između šina i pogonskih točkova u smislu eliminacije proklizavanja. Prosipanje peska po šinama je metoda koja se već dugo primenjuje za efikasno poboljšanje athezije između točka i šine. U tu svrhu vučno vozno sredstvo - lokomotiva je opremljena uređajem[1,2,3]za peskarenje koji omogućava ubacivanje peska, određene granulacije, između tačke dodira točka i šine.

2. POSTOJEĆI UREĐAJ ZA POVEĆANJE ATHEZIJE PEKARENJEM ŠINA U ZONI KONTAKTA TOČAK ŠINA EMV JŽ 412/416

Kod elektromotornog voza serije JŽ 412 /416 (EMV) uređaj za peskarenje se sastoji od komandnog dela, elektromagnetnog ventila, smeštenog u upravljačnici EMV-a i izvršnih sklopova (sl.1) koji su postavljeni na oba obrtna postolja elektromotornog voza serije JZ 412/416 (EMV) - ukupno osam.

Komandni deo-elektromagnetni ventil, omogućava dasabijeni vazduh, iz pneumatskog sistema voznog sredstva, prolaskom kroz mlaznicu (2a, sl.1) povuće pesak, koji je došao slobodnim padom iz spremista za pesak u ulazni deo ejektora i izbaci ga kroz otvor (2b) u cevovod za transport peska (3) , a preko usmeravajuće (4) mlaznice na šinu, u zonu dodira točka i šine.

¹ Rezultati prikazani u ovom radu predstavljaju deo istraživanja u okviru projekta I.5.594 koji je finansiralo

Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije

²Ljubomir Moravčević, dipl.maš.ing, vodeći projektant, SI-CIP, Nemanjina /IV, Beograd, Email: memo@infosky.net

Mile Nikolić, dipl.maš.ing, vodeći projektant, SI-CIP, Nemanina 6/IV, Beograd, Email: zobra@zeunet.yu

2.1 Analiza uzroka nepouzdanosti postojećeg rešenja

Prikazani izvršni sklopovi uređaja za peskarenje u toku eksploatacije pokazali su se nepouzdanim. Obavljena je analiza uzroka nepouzdanosti postojećeg rešenja.

Prema dobijenim rezultatima istraživanja[6], uzroci nepouzdanog rada sistema za peskarenje EMV serije JŽ 412/416 su sledeći :

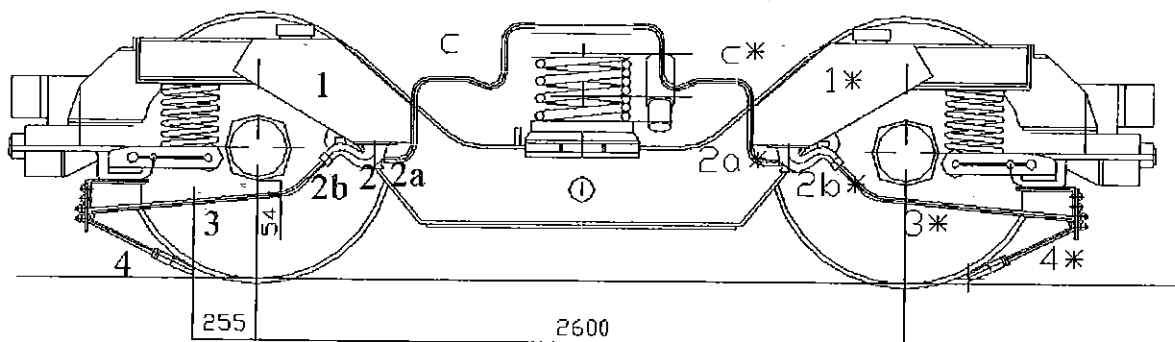
a) neodgovarajuća konstrukcija ejektora

Predmetni ejektori su jednokomornog tipa, sa jednom mlaznicom za prolaz sabijenog vazduha (2a) i velikim ulaznim konusnim delom (konus $\varnothing 90/\varnothing 50 \times 100$), u koji pesak dospeva slobodnim padom iz spremišta (1.sl.1). Taj deo peska je stalno izložen hidrostatičkom pritisku stuba peska iz spremišta i vertikalnim oscilacijama obrtnog postolja, što uzrokuje sabijanje peska. Pri aktiviranju elektromagnetnog ventila vazduh pod pritiskom, prolaskom kroz mlaznicu (2a) ne uspeva da u dovoljnoj meri izazove vrtloženje i rasprskivanje peska kao ni njegovo dizanje u izlazni deo ejektora (2b).

b) neodgovarajuća konstrukcija mlaznice (2a)

Neodgovarajuća konstrukcija mlaznice (prolazni otvor $\varnothing 7$ mm, za prolaz sabijenog vazduha) omogućava negativan efekat : Naime pri kretanju voznog sredstva, usled strujanja i turbulencije vazdušne mase u zoni točka i izlaznog otvora mlaznice(4*), u mlaznice (4*), koje su usmerene u pravcu kretanja voznog sredstva (u tom smeru vožnje ova 4 kom. ejektora peskara nisu aktivni), ulazi vazduh velikom brzinom, prolazi kroz cevovod(3*) ulazi u izlazni deo ejektora (2b*) i pesak koji je u zoni ispred mlaznice (2a*) uduva u nju , a kroz nju dalje u cevovod za dovod sabijenog vazduha(C*).

U zimskim uslovima, usled navedenog efekta, dolazi do pojave kondenzacije vlage u zoni ispred mlaznice (2a*) ejektora. Kondenzovana vlaga uzrokuje stinjanje peska i začepljenje mlaznice (2a*). Pri promeni smeru vožnje dolazi do iste pojave na druga četiri ejektora.



Sl.1. Izvršni sklopovi uređaja za peskarenje: 1- spremište za pesak, 2 - ejektor, 2a - mlaznica, 2b - izlazni otvor, 3-cevovod za transport peska, 4- usmeravajuća mlaznica peska na šinu

c) Cevovod za transport peska, od izlaza iz ejektora dozone dodira točka i šine, je dugačak (cca1.500 mm). Postavljen je pod mali nagibnim uglom (6°), što uslovljava slabo oticanje peska, pogotovu pri smanjenom pritisku sabijenog vazduha u napojnom vodu sistema za peskarenje.

d) Položaj spremišta za pesak je nepovoljan

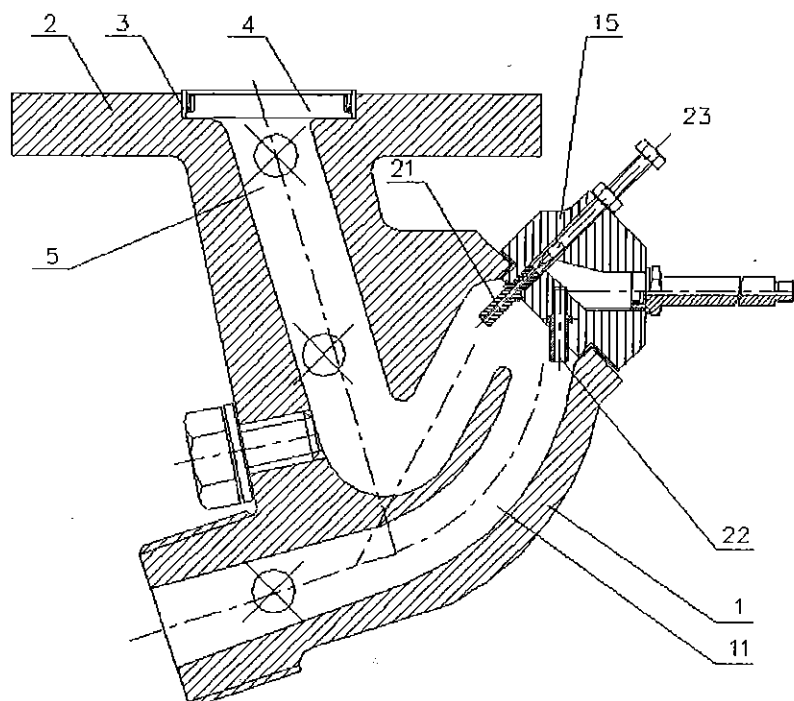
S obzirom da su spremišta za pesak smešteni na obrtnom postolju (a ne u košu), koje osciluje relativno visokim vertikalnim frekvencijama prisutna je izražena pojava sabijanja peska.

2.2. Definisane tehničke zahteve za izradu novog konstrukcijskog rešenja ejektora u uslovima ugradnje umesto postojećeg

Na osnovu analize izvedenih zaključaka o uzrocima otkaza i nedostacima postojećeg konstruktivnog rešenja ejektora peskare za EMV JZ 412/416 definisani su zahtevi za izradu

novog konstrukcijskog rešenja ejektora:

- novi ejektor konceptirati tako da se može montirati umesto postojećeg, u zato predviđen prostor. Priključne dimenzije postojeće prirubnice, za vezu za spremištem peska, zadržati,
- novokonstruisani ejektor mora da obezbediti izbacivanje optimalne količine rastresenog peska u zonu dodira točak-šina, koja prema preporukama ORE B 44 iznosi: 0,3 - 0,7 (lit /min) peska po ejektoru[5].
- oblik i prečnik kanala za transport peska, od veze sa spremištem do izlaza izejektora, mora eliminisati *negativne efekte postojećeg rešenja: sabijanje peska i kondenzaciju vlage,*
- obezbediti mogućnost određene regulacije protoka količine peska,*
- razmotriti mogućnost rekonstrukcije spremišta za pesak i cevoda za transport peska (do zone dodira točka i šine) u smislu povećanja brzine proticanja peska kroz isti.*



Sl.2. Novokonstruisani ejektor uređaja za povećanje koeficijenta athezije peskarenjem šina za EMV 412/416 1- kućište, 2-prirubnica, 3- otvor, 4- rešetka, 5-kanal, 15- nosač mlaznica, 21,22- mlaznice, 23-vijak

3.KONSTRUKTIVNO REŠENJE NOVOG EJEKTORA

Shodno postavljenim zahtevima konstruisan je novi ejektor uređaja za peskarenje za EMV JŽ 412/416, prikazan na sl.2.

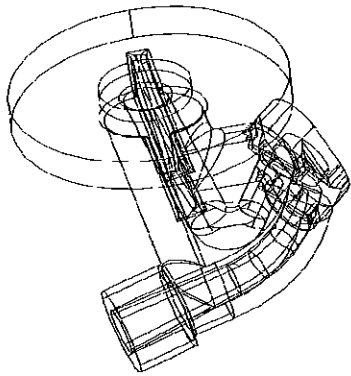
3.1. Opis tehničkog rešenja ejektora

Novokonstruisani ejektor obuhvata kućište (1,sl.2) sa kružnom prirubnicom (2), za vezu sa spremištem peska u čijem su telu izvedeni kanali za prolaz peska. U centru prirubnice (2) je otvor (3) sa rešetkom (4) za prosejavanje kvarcnog peska koji dolazi, slobodnim padom, iz spremišta za pesak za koji je, prirubnica ejektora,vezana vijcima. Po prolasku kroz rešetku, pesak prolazi kroz kanal (5), posebnog oblika i određene putanje, pored nosača (15) mlaznica do izlaska iz ejektora. Nosač mlaznica (15), poseduje dve duvnice sa različitim centralnim otvorima. Jedna duvnica (21) je usmerena prema ulaznom delu kanala ejektora sa ciljem vrtloženja, odnosno podizanja peska koji dotiče iz spremišta peska u ejektor. Druga (22) pak duvnica, postavljena u nosaču mlaznica, usmerena je prema izlaznom kanalu (11) i povlači pesak, stvorenim vakuumom, formirajući struju peska i vazduha na izlazu iz ejektora,

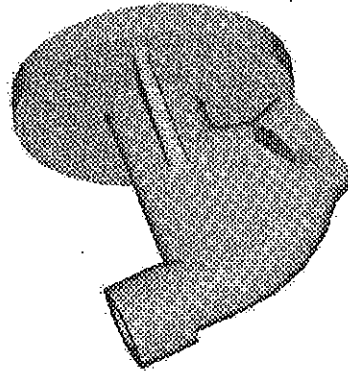
odnosno na ulazu u cevovod za njegov transport do mesta dodira oboda točka, vučnog voznog sredstva, sa površinom šine.

Mlaznice (21) i (22) su promenljive i mogu imati različite unutrašnje otvore (d_{21} i d_{22}) u zavisnosti od potrebnog protoka peska koji treba da se ostvari, a shodno pritisku vazduha u instalaciji vučnog voznog sredstva.

Fino podešavanje, optimalne količine peska koji struji kroz ejektor, vrši se pomoću regulaciomog vijka (23), odvrtanjem i uvrtnjem istog i blokiranja položaja kontranavrtkom.



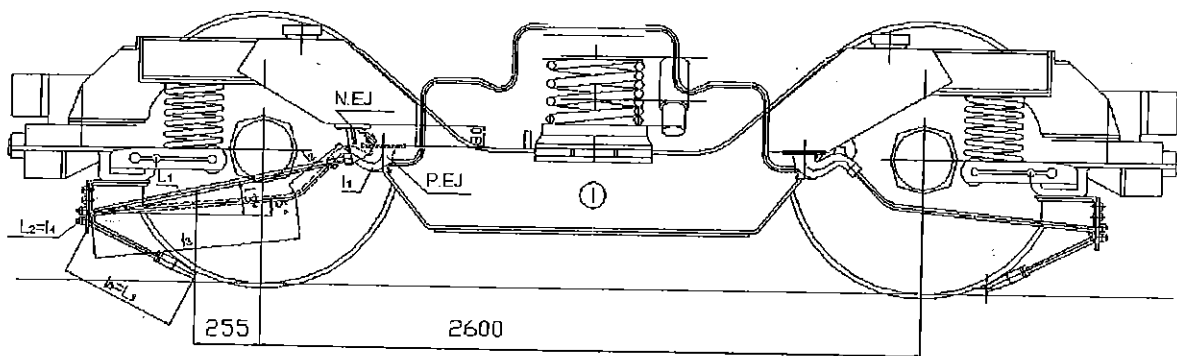
Sl.3. Žičani model odlivka ejektora sa konturama



Sl.4. Rasterska slika solida odlivka ejektora (Mechanical desktop 4- Power Pack)

3.4 Rekonstrukcija spremišta za pesak

Izvršena je i rekonstrukcija spremišta za pesak. Spremište je sa donje strane skraćeno za 80 mm (sl.4). Tačka vezivanja novokonstruisanog ejektora, za postojeći cevovod za transport peska do mesta dodira točka sa šinom, ostala je na predhodnom nivou. Zbog izmenjenog ugla izlaznog otvora novokonstruisanog ejektora izvršeno je ispravljanje cevovoda čime je povećan nagibni ugao cevovoda, sa 6° na 13° (Sl.5)



Sl.5. Položaj novokonstruisanog ejektora NE (L_1, L_2, L_3) u odnosu na postojeći PE (l_1, l_2, l_3, l_4, l_5)

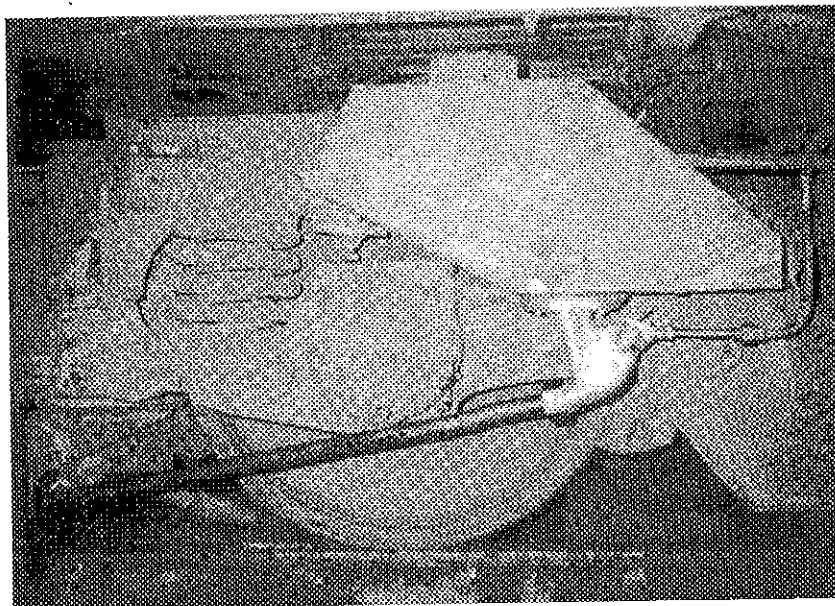
ZAKLJUČAK:

Dato je novo rešenje ejektora sa rekonstrukcijom spremišta za pesak, u cilju povećanja efikasnosti transporta peska do mesta dodira točak - šina.

Novokonstruisani ejektor, kao sastavni deo uređaja za povećanje athezije peskarenjem šina kod šinskih elektromotornih vozila (EMV), čiji prečnik kanala i oblik putanje kretanja peska, od veze sa spremištem peska do izlaza iz ejektora u cevovod za njegov transport do mesta dodira šine sa obodom točka, eliminiše negativne efekte postojećeg rešenja:

1. problem sabijanja peska, usled hidrostatičkog pritiska stuba peska iz bunkera i vertikalnih

- vibracija obrtnog postolja, posebno kada se koristi vlažan pesak.
2. kondenzaciju vlage u ejektoru u zimskim uslovima, što je imalo za posledicu stinjanja peska i začepljenje mlaznice za prolaz komprimovanog vazduha, odnosno otkaz rada ejektora peskare.



Sl.6. Novokonstruisani ejektor sa spremištem za pesak i cevovodom za transport peska u zonu dodira točak- šina

LITERATURA

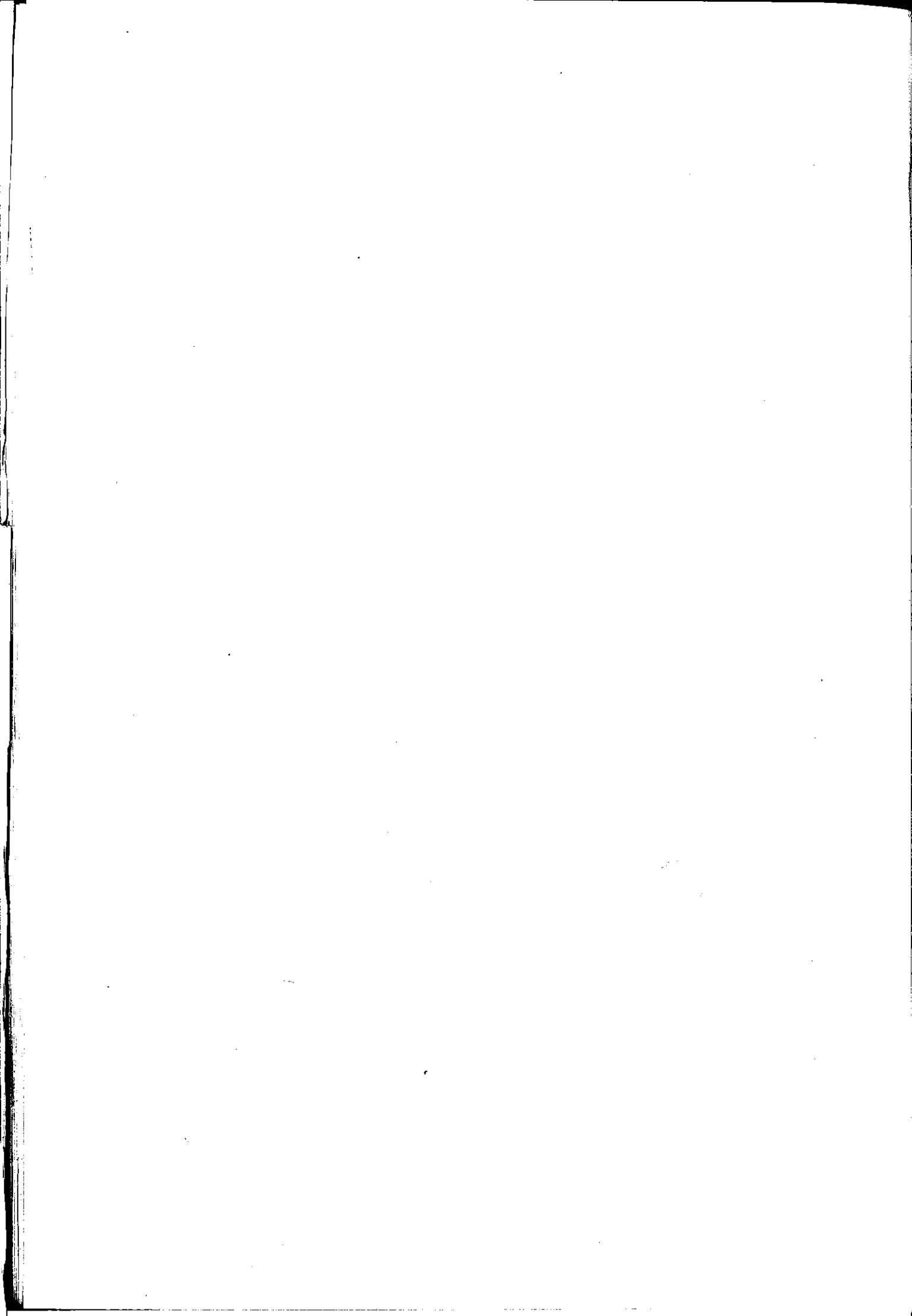
- [1] Radojković B. : Električna vuča, Beograd, 1974.
- [2] Paunović D. : Vuča vozova, Beograd, 1980.
- [3] Miličević Z. : Elektromotorni vozovi JŽ 412/416, Beograd, 1990.
- [4] ORE B44 : Atezijska lokomotiva sa aspekta njihove konstrukcije i eksploatacije
- [5] ORE B44, Tačka 3.1: Metode za poboljšanje athezijske sile
- [6] Moravčević Lj.: Istraživanje i razvoj ejektora za povećanje koeficijenta athezije peskarenjem šina za elektromotorne vozove serije JŽ 412/ 416, SI-CIP, Beograd 1998.

DEVELOPMENT NEW EJECTOR FOR ADHESION COEFFICIENT IMPROVEMENT BY SANDING FOR ELECTRO-MOTOR UNITS SERIES JŽ 412/416

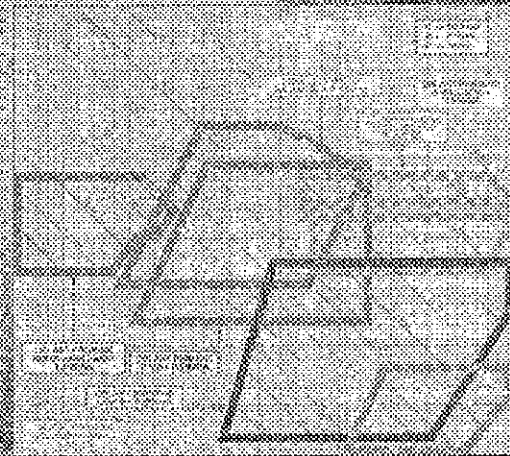
Abstract

In this paper are given results obtained within the sanding device ineffectiveness analysis that is done for Electric Multiple Unit class 412/416. The sanding device ineffectiveness analysis had been done and further the new ejector was designed. Redesigning of all sanding device assemblies was also done. EMU CLASS JŽ 412/416 no. 005/032 was fitted with prototype series of eight ejectors with redesigned sand boxes. Results obtained in service testing are in between limits suggested by ORE report B44.

Key words - adhesion, ejector, sanding, railway



Proizvodi i usluge bazirani na znanjima i tehnologijama u domenu mašinstva, elektrotehnike, proizvodnih tehnologija i kompjuterom integrisanih sistema.

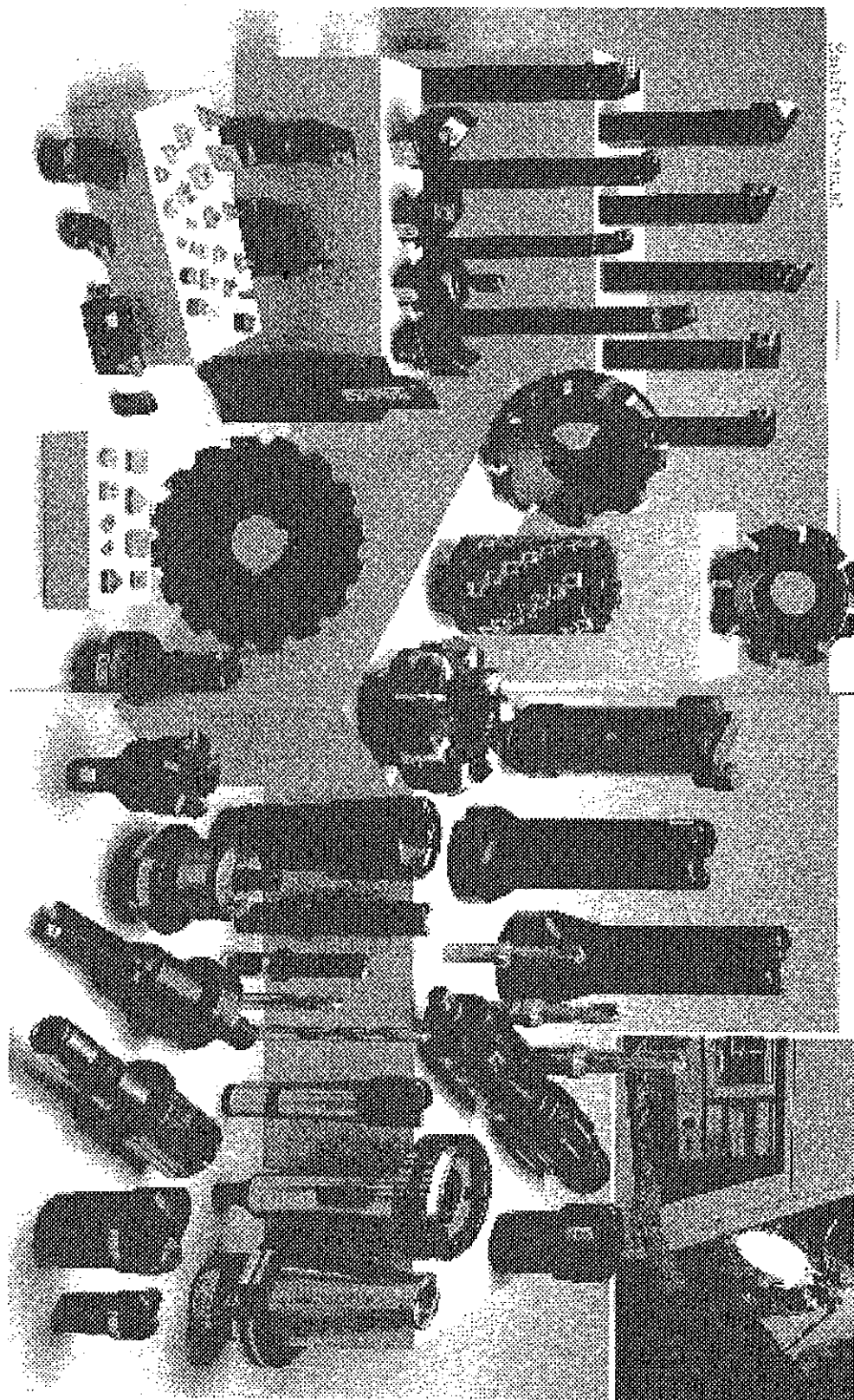


LOLA INSTITUT

www.lola-ins.co.yu

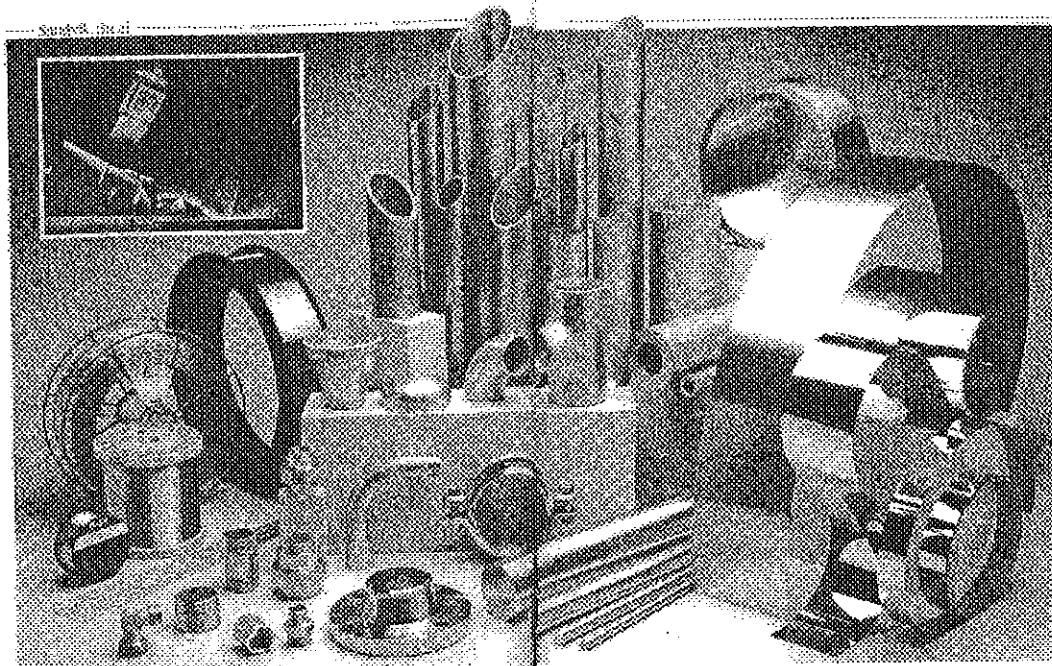


28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.

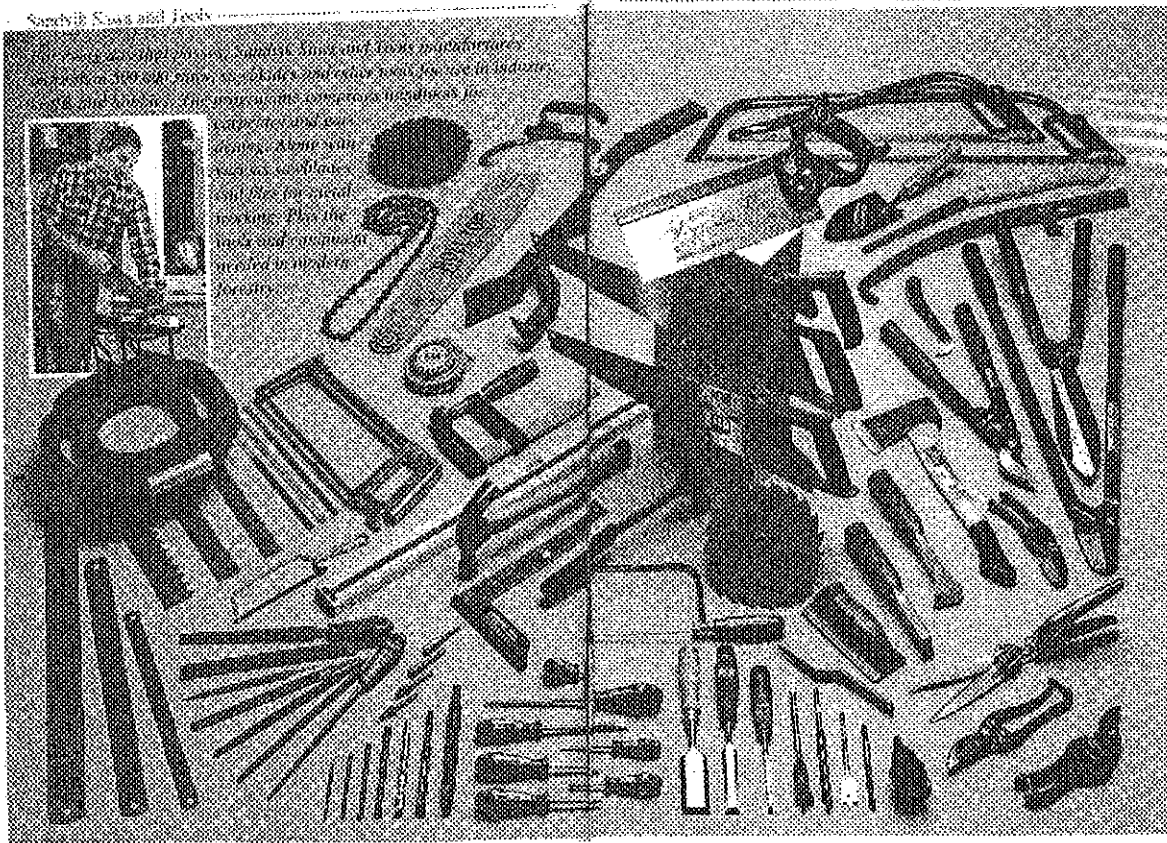


SANDVIK
International

sandvik@EUnet.yu



SANDVIK
International
sandvik@EUnet.yu



Holding kompanija a.d.

Petar Drapšin

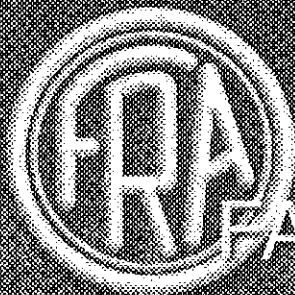
Kralja Petra I 34, Mladenovac



tel. 011/8221-060 centrala, 8222-846 marketing, 8221-539 prodaja



28. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
KRALJEVO 28-29. SEPTEMBRA 2000.



FABRIKA REZNOG ALATA

ČAČAK - YUGOSLAVIA

AKO ŽELITE NAJBOLE
WHEN YOU WANT THE BEST

