

XVII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
BUDVA 1983. GOD.

# ZBORNİK RADOVA



*Budva  
11-14.10.1983  
V. J. Jovanović*

BUDVA 12., 13. i 14. OKTOBRA 1983. GOD.

Izdaje: MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA "VELJKO VLAHOVIĆ"  
TITOGRAĐ

Štampa: FTN OOUR ŠTAMPARIJA ZA GRAFIČKU DELATNOST  
NOVI SAD

Tiraž: 500 primjeraka

ORGANIZATOR XVII SAVJETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA "VELJKO VLAHOVIĆ" TITOGRAĐ

POKROVITELJ: INDUSTRIJA GRADJEVINSKIH MAŠINA "RADOJE ĐAKIĆ" TITOGRAĐ

SUORGANIZATORI: PRIVREDNA KOMORA SR CRNE GORE  
KOMBINAT ALUMINIJUMA TITOGRAĐ  
ELEKTRONSKA INDUSTRIJA "OBOD" CETINJE  
ŽELJEZARA "BORIS KIDRIĆ" NIKŠIĆ

SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA PREDSTAVLJA DIO AKTIVNOSTI ZAJEDNICE  
JUGOSLOVENSKIH NAUČNO-ISTRAŽIVAČKIH INSTITUCIJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

ČLANOVI ZAJEDNICU SU :

1. MAŠINSKI FAKULTET BEOGRAD,
2. FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE ZAGREB,
3. FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA NOVI SAD,
4. MAŠINSKI FAKULTET TITOGRAĐ,
5. FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO LJUBLJANA,
6. MAŠINSKI FAKULTET NIŠ,
7. MAŠINSKI FAKULTET SKOPLJE,
8. MAŠINSKI FAKULTET SARAJEVO,
9. MAŠINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC,
10. MAŠINSKI FAKULTET BANJA LUKA
11. MAŠINSKI FAKULTET MOSTAR
12. TEHNIČKI FAKULTET RIJEKA,
13. VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA MARIBOR,
14. INSTITUT ZA ALATNE MAŠINE I ALATE, BEOGRAD,
15. INSTITUT ZA ALATNE STROJEVE "PRVOMAJSKA" ZAGREB,
16. PEDAGOŠKO-TEHNIČKI FAKULTET ČAČAK
17. MAŠINSKI FAKULTET PRIŠTINA

ORGANIZACIONI ODBOR XVII SAVJETOVANJA:

1. Dr Vuko Domazetović, dipl. inž., v. prof. Mašinskog fakulteta u Titogradu,  
predsjednik
2. Radoje Kantić, dipl. inž., potpredsjednik Izvršnog vijeća SRCG
3. Jovan Vujošević, dipl. inž., potpredsjednik Privredne komore SRCG
4. Dr Radovan Kovačević, dipl. inž., v. prof. Mašinskog fakulteta u Titogradu
5. Dr Milan Perović, dipl. inž., v. prof. Mašinskog fakulteta u Titogradu
6. Mr Djordjije Kovačević, dipl. inž., v. pred. Mašinskog fakulteta u Titogradu
7. Mr Radomir Vukasović, dipl. inž., pred. Mašinskog fakulteta u Titogradu  
sekretar savjetovanja
8. Danilo Jovanović, dipl. inž., direktor razvoja IGM "Radoje Dakić" Titograd
9. Vojin Djukanović, dipl. inž., ecc., potpredsjednik Poslovnog odbora Željezare  
"Boris Kidrič" Nikšić
10. Veljko Marković, dipl. inž., direktor RO Kovačnica Kombinata aluminijuma Titograd
11. Mirko Daković, dipl. inž., direktor fabrike "Metalac" - Nikšić
12. Aleksandar Mijatović, dipl. inž., direktor fabrike frižidera "Obod" Cetinje
13. Milan Vukčević, dipl. inž., asistent prip. Mašinskog fakulteta u Titogradu
14. Marina Mijanović, dipl. inž., asistent prip. Mašinskog fakulteta u Titogradu
15. Vukašin Zogović, dipl. inž., asistent prip. Mašinskog fakulteta u Titogradu
16. Zdravko Krivokapić, dipl. inž., asistent prip. Mašinskog fakulteta u Titogradu

DOSADAŠNJA SAVJETOVANJA ODRŽANA SU:

I	Beograd	1965. godine
II	Zagreb	1966. godine
III	Ljubljana	1967. godine
IV	Sarajevo	1968. godine
V	Kragujevac	1969. godine
VI	Opatija	1970. godine
VII	Novi Sad	1971. godine
VIII	Ljubljana	1973. godine
IX	Niš	1974. godine
X	Beograd	1975. godine
XI	Ohrid	1977. godine
XII	Maribor	1978. godine
XIII	Banja Luka	1979. godine
XIV	Čačak	1980. godine
XV	Novi Sad	1981. godine
XVI	Mostar	1982. godine

Odlukom Zajednice jugoslovenskih naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva (ZJNIPM) organizovanje XVII Savjetovanja povjereno je Mašinskom fakultetu u Titogradu.

Koristimo priliku da se zahvalimo autorima saopštenja, radnim organizacijama i svima ostalima koji su doprinijeli uspješnom održavanju XVII savjetovanja proizvodnog mašinstva

ORGANIZACIONI ODBOR

**RECEZENTI:**

1. Prof.dr V.Šolaja
2. Prof.dr V.Milačić
3. Prof.dr P.Popović
4. Prof.dr D.Zelenović
5. Prof.dr J.Todorović
6. Prof.dr J.Stanić
7. Prof.dr V.Domazetović
8. Prof.dr M.Jovičić
9. Prof.dr P.Šmarčan
10. Prof.dr R.Kovačević
11. Prof.dr V.Mečanin





## I - UVODNI REFERATI



Vuko Domazetović x)

## STANJE I PRAVCI RAZVOJA IZVJESNIH OBLASTI POVRŠINSKOG I ZAPREMINSKOG OBLIKOVANJA METALA

### 1. Uvod

Obrada metala deformacijom je primijenjena nauka koja obrađuje procese plastične obrade, proučava promjenu strukture i mehaničkih osobina, daje mogućnost određivanja deformacionih sila i opterećenja na alat i opremu, kao i oblik radnog komada po operacijama, upućuje na postavljanje optimalnog tehnološkog procesa, koji obezbeđuje kvalitet, dugovječnost i pouzdanost u ispunjenju funkcije cilja radnog komada, uz najmanji utrošak rada, energije i materijala.

U teoriji obrade metala deformacijom moguće je uočiti dva osnovna pravca: mehaničko matematički i fizičko hemijski. Prvi bazira na teoriji mehanike neprekidnih sredina i teoriji plastičnosti, a drugi na teoriji fizike metala i teoriji fizičko hemijske mehanike.

Na osnovu teorije koja se koristi u prvom pravcu se određuju deformacione sile i rad različitih tehnoloških procesa, nalazi raspored napona na kontaktnim površinama alata, proračunava opterećenje koje na njih djeluje, određuju pokazatelji faznog i konačnog oblikovanja uz određivanje oblika i dimenzija radnog komada, i izračunavaju faktori granične deformabilnosti. Njihovim određivanjem je moguće: pravilan izbor tehnološke opreme, proračun radnih, osnovnih i nosećih djelova alata, izbor graničnih vrijednosti osnovnih tehnoloških parametara pri kojima neće doći do remećenja ili prekida kvalitetnog odvijanja tehnološkog procesa. Mnogi od ovih pokazatelja su uz odgovarajuća približenja riješeni za većinu tehnoloških procesa. Još uvijek se traže rešenja za određivanje rasporeda napona na odgovarajućim

kontaktnim površinama i odvijanje procesa tečenja metala tokom deformacije. Izvode se intenzivna istraživanja na određivanju parametara granične deformabilnosti i analize uticaja procesa oblikovanja na pouzdanost i dugovječnost elemenata.

U drugom pravcu se određuju: mehanizmi plastične deformacije metala, zavisnost strukture, mehaničkih i fizičkih osobina metala od stepena, predhodnog oblikovanja, kao i zavisnost otpora deformaciji i pokazatelja plastičnosti od hemijskog sastava, stanja, temperature, stepena i brzine deformacije, odnosno zakonitosti kontaktnog trenja i njegov uticaj na energetski režim i karakter oblikovanja. Dobijena rešenja su osnov za postavljanje tehnoloških režima koji daju kvalitetan gotov proizvod. Za veliku većinu metala koji se koriste u proizvodnji nadjeni su za date ispitne i radne uslove uočeni pokazatelji.

Ovim se može reći da je teorija obrade metala deformacijom naučna disciplina pomoću koje se postavljaju konkretni tehnološki procesi, rešavaju bitni tehnološki zadaci, ukazuje na mogućnost njihove kontrole i upravljanja, objašnjavaju eksperimentalni rezultati i ukazuje na pravce daljeg tehničko tehnološkog razvoja.

### 2. Stanje i pravci razvoja

Osnovni tehnološki procesi obrade metala deformacijom su: Kovanje, valjanje, presovanje, vučenje, površinsko i zapreminsko oblikovanje. Dalji rad je orjentisan na pregled istraživanja

Dr Vuko Domazetović, dipl.maš.ing., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u Titogradu

u oblasti tehnologije, alata i opreme oblikovanja. Posebna pažnja je posvećena obradi u stanju super plastičnosti.

## 2.1 Tehnologija

Proces oblikovanja metala moguće je izvršiti klasičnim postupcima u hladnom i toplom stanju. U posljednje vrijeme se naglo razvijaju progresivne tehnologije polu tople obrade, izotermičkog oblikovanja i oblikovanja u stanju super plastičnosti.

Sposobnost metala da se plastično deformiše je uslovljena njegovom prirodom. Relativna otpornost deformaciji različitih metala zavisi u osnovi od kretanja dislokacija koje su uslovljene strukturnim stanjem, temperaturom, stepenom i brzinom deformacije [2]. U osnovne strukturne osobine se ubrajaju: tip prostorne kristalne rešetke, postojanje legirajućih elemenata, dimenzije zrna i postojanje nečistoća. Naglašava se da su prisutne znatne teškoće kod oblikovanja livenih krupno zrnastih struktura, posebno sklonih obrazovanju pukotina po granicama krupnih kristala, te se rade u dvije operacije. U prvoj se razbije struktura, a u drugoj izvodi oblikovanje.

Savremeno stanje privrednog, tehničkog i tehnološkog razvoja uslovljava stalan porast kvalitativnih i kvantitativnih zahtjeva prema gotovim proizvodima, što uslovljava pooštrenje tehnoloških normi. Nameće se neophodno korišćenje tačnih i kvalitetno pripremljenih uložaka, Održavanje dimenzija izradka treba da bude stabilno, što se postiže ujednačavanjem radnih uslova i karakteristika materijala. Mogućnost da se na istoj opremi mogu oblikovati elementi različitih oblika i dimenzija, uz efikasno vođenje i kontrolu procesa korišćenjem programskog upravljanja, mikroprocesora i računara. Snižavanje buke i vibracija je uslovljeno i pooštavanjem odgovarajućih propisa. [32 - 36]

Nagli razvoj obrade metala oblikovanjem je ostvaren sa razvojem auto industrije koja apsorbira 85% oblikovanih proizvoda. To je bio period od pedesetih do sedamdesetih godina ovog vijeka. Tada su uglavnom postavljeni postojeći tehnološki postupci, koji se daljim radom sve više usavršavaju, sa tim da se javlja i po

neki novi [64]. Optimizacija procesa je naglašena u pravcu ekonomije metala i energije, uz skraćivanje vremena izrade. Time oblikovanje dobija na značaju i predstavlja ozbiljnu alternativu livenju i mehaničkoj obradi. Upoređenjem procesa hladnog, polu toplog i toplog oblikovanja, kao i procesa skidanjem strugotine ostvarena je ušteda u materijalu nabrojanim redosledom: 85%, 85%, 75-80% i 40-50%, dok je potrošnja energije po jednom kg mase čeličnog izradka iznosila:  $48 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ ,  $48 \cdot 10^6 \text{ kJ}$ , (53-56).  $10^6 \text{ kJ}$  i (80-100).  $10^6 \text{ kJ}$  [5]. Ovim se naglašava potreba korišćenja procesa navedenim redosledom uzimajući u obzir i druge komparativne prednosti. Hladno oblikovanje treba koristiti u svim uslovima gdje to dozvoljavaju zahtjevi po obliku, dimenzijama, tačnosti, materijalu i programu proizvodnje. Ranije su uglavnom računati rashodi na materijal, alate, pribore i primanja zaposlenih. Energetska kriza je istakla u prvi plan cijenu energije, te će se ti rashodi u budućnosti sve više isticati [5,35, 39,40]

Još uvijek se obradak po operacijama, kao i gotov proizvod oblikuju na osnovu iskustva i eksperimenta, što po pravilu uslovljava veće dimenzije i naknadnu obradu. Sada se primjenjuju analitično eksperimentalne metode za određivanje naponsko deformacionog stanja, tečenja metala, vremenske i dinamičke izdržljivosti. Pomoću njih se otkrivaju slaba mjesta, kao i mjesta povećanih karakteristika, što doprinosi da se izvrši smanjenje i bolja preraspodjela mase, ravnomjerniji raspored napona, odnosno povećana pouzdanost i dugovječnost elementa, ili pak da u krajnjoj mjeri ostane ista [1]. Oblik i dimenzije obradka tokom procesa se usvajaju na osnovu optimalnog oblikovanja, ekonomije metala, energije, alata i poštovanja osnovnih pokazatelja tehnološkog procesa. Optimizacija izrade je nametnula razradu varijantnih rešenja, kojima se obuhvatnije tretira prisutna problematika, a načini izrade razvijaju u skladu sa tehnološkim zahtjevima [7].

Proces automatizacije i programskog upravljanja kompleksnim procesima nalaže obuhvatne pripreme svakog uticajnog činioca. Prvo se obezbjeđuje kvalitetan uložak. Tendencija je da se uvedu načini zagreva koji stvaraju malo ogorine. Indukciono zagrijavanje se nastoji uvesti i za duži-

ne do 6 m[13]. Uobičajeni postupak pripreme površine je vučanje. U razradi je postupak skidanja površinskog sloja, neposredno prije odsijecanja, debljine 0,25mm, što za sitne profile iznosi 5-10% odpatka. Predviđa se da će u budućnosti imati sve veću primjenu zahvaljujući smanjenom ukupnom škartu i lakšoj završnoj kontroli[7].

Pri zapreminskom oblikovanju se najčešće koriste čelične toplo valjane šipke i žica, odnosno presovane ili vučene šipke iz obojenih metala. Odsijecanje priprema je na makazama. Kvalitet odsječene površine zavisi od: konstrukcije alata, oblika i veličine zazora, kvaliteta izrade i materijala alata, sile i brzine odsijecanja, radnog komada i drugih činioca. U posljednje vrijeme se uvode udarni noževi, pri čemu se povećava kvalitet površine. Istražuje se odsijecanje uvijanjem. Ugao okretanja određenog dijela iznosi 15°. Kvalitet površine je povećan, a nivo buke smanjen[12]. Pokazuje se da je moguće precizno rezati elemente od mikro legiranog sitno zrnastog čeličnog lima povišene čvrstoće. Rezna površina je glatka, bez pukotina, zadovoljavajuće čvrstoće ivica, te se naredna termička obrada ne mora koristiti

Rezne ivice noža imaju veliki uticaj na stanje površine odsijecanja. Koriste se presvlake od tvrdih legura koje se mogu regenerirati, što omogućava održavanje potrebnog kvaliteta površine rezanja. Obraduju se elektro erozijom[1].

**Rezanje laserskim zrakom** ima znatnih preimущества. Rez je vrlo uzak (0,2-0,4mm), a zona termičkog uticaja mala (1 mm). Ivice su oštre, površine paralelne i relativno ravne. Nema pucni a rezanje se može ostvariti velikom brzinom. Mogu se rezati vrlo tanki limovi, kao i srednji do debljine 4 mm. U odnosu na mehaničko odsijecanje preimущества su mu: Nema potrošnje alata, nije potrebna radna sila, nema povreda materijala pri odsijecanju, postoji mogućnost izrade uzkih šliceva, ostvarena je neprekidnost procesa pri velikim brzinama i nema buke. Dobre su kombinacije laserskog i mehaničkog razdvajanja materijala[12,18].

Obradom u hladnom stanju se dobijaju

elementi tačnih dimenzija, boljeg kvaliteta površine, manje mase, za kraće vrijeme izrade i uz utrošak manje energije nego drugim postupcima obrade. Kvalitet obradjene površine je IT7-IT9, a prema potrebi IT6. Hrapavost površine ne prelazi 10 $\mu$ m. Ostvaruje se u temperaturnom intervalu do 0,2 T<sub>c</sub>. Radni naponi tokom ostvarenja oblikovanja su visoki, što je uslovljeno otežnim kretanjem dislokacija kroz kristalnu rešetku i njihovim razmnožavanjem. To dovodi do deformacionog očvršćavanja[2]. Zahvaljujući ekonomiji materijala, energije, skraćenom vremenu izrade i kvalitetu gotovog proizvoda ona može biti ekonomična i za malo serijsku proizvodnju. Tada je potrebno koristiti fleksibilne sisteme za brzu i jednostavnu promjenu programa. Dokazane teorijske postavke omogućavaju upoređivanje pojedinih postupaka oblikovanja i sa aspekata potrošnje energije i škarta materijala, odnosno njihove ekonomske efektivnosti bez vođenja eksperimenta[15].

Materijali koji imaju visoku deformabilnost i nizak otpor deformaciji su pogodni za obradu u hladnom stanju. Takvi su meki nelegirani čelici umireni aluminijumom. Sa dodatkom titana ili niobija mogu se tako stabilizovati da se odstrani sivi lom. Čelicima za poboljšanje i cementaciju se dodaje silicijum. Njihovo dopunsko legiranje hromom pri minimalnom sadržaju ugljenika čini ih visoko otpornim i u isto vrijeme pogodim za hladnu obradu. Nerdjajući čelici imaju dobru plastičnost, ali brzo očvršćavaju te se podvrgavaju medju operacijskom žarenju[16]. Ovom obradom se oblikuje i aluminijum, bilo kao tehnički čist ili legiran sa manganom, magnezijumom, silicijumom, bakrom ili cinkom. Legiranja sa bilo kojim od ovih elemenata ili pak sa njihovim kombinacijama povećava čvrstoću legure zbog uvođenja atoma legiranog elementa u kristalnu rešetku putem deformacije ili ostvarenja tvrdih izlučenja u procesu difuzionog žarenja ili prinudnog starenja[16].

Dalja istraživanja su usmjerena na dobijanje elemenata sa gotovim funkcionalnim mjerama i površinama, uz smanjenje materijala, energije i vremena izrade. To podrazumijeva optimizaciju oblika i dimenzija komada, izbor najpogodnijeg materijala i načina oblikovanja[7]. Dalje se ispituje

i uticaj velikih brzina (kod Al:  $3 \cdot 10^3$ ,  $3 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ ) i ultra zvuka na proces oblikovanja.

**Obradom u toplom stanju** se oblikuju elementi složenog oblika koji bi se drugim postupcima morali raditi u više operacija. Tu se javljaju relativno male sile, a dimenzije su zbog neravnomyernog skupljanja pri hladjenju širih tolerancija. Radne temperature su u opsegu  $(0,4-0,8)T_f$ . Nivo napona je niži nego kod hladne obrade, zato što termička energija izaziva veliko oscilovanje atoma kristalne rešetke u odnosu na njihov ravnotežni položaj, usled čega je kretanje dislokacija kroz rešetku olakšano. Ne javlja se deformaciono očvršćavanje, zato što toplotna energija pogoduje izčežavanju mnogih dislokacija i defekata koji se javljaju tokom deformacije [2]. Obično se ovaj proces izvodi na brzohodnoj opremi, kako se ne bi komad ohladio. Osnovno joj je preimućstvo da se elementi složenog oblika rade iz toplo valjanog materijala [17]. Vrlo često se sreću radne kombinacije sa hladnom ili polutoplom obradom.

Toplom obradom se dobijaju elementi vlaknaste strukture, dobre čvrstoće i hemijske jednorodnosti. Hladnom obradom se dobijaju elementi sa dobrim mehaničkim osobinama i visokom tačnošću. Osobine komada dobijenih polu toplom obradom se nalaze između njih.

**Polu topla obrada** se u poslednje vrijeme naglo razvija. Temperaturni interval je između hladne i tople obrade. Ponekad se naziva hladnom jer materijal ima sposobnost deformacionog očvršćavanja, odnosno toplom obradom ako se izvodi u blizini temperature rekristalizacije. Ovim procesom se nastoje objediniti osnovna preimućstva hladne (visoka tačnost) i tople (dobra deformabilnost) obrade. Tako se ovim postupkom rade materijali koji se ne mogu oblikovati na hladno, a u pomenutom temperaturnom intervalu imaju zadovoljavajuću plastičnost, te se u zavisnosti od tih zahtjeva definiše radna temperatura. Tu spadaju visoko ugljenični, visoko legirani hromovi čelici, kao i čelici za cementaciju i kuglične ležajeve. Ugljenični čelici se rade između temperaturnog nivoa hladnog loma ( $500^\circ\text{C}$ ) i intenzivnog rasta ogorine ( $800^\circ\text{C}$ ). Kod austenitčnih čelika nema hladnog loma te se oni rade

i na  $400^\circ\text{C}$ . Ostaje problem oblikovanja teško deformišućih brzoreznih čelika [5, 18].

Kod polu tople obrade je relativna radna sila i potrebna energija oblikovanja manja nego kod hladne dok je količina ogorine manja, a tačnost veća nego kod tople obrade. Ispitivanja mikro strukture i mehaničkih osobina izradaka od različitih legura pokazuju da radna temperatura nema bitnijeg uticaja na njihove osobine [24]. Preporučuje se zagrijavanje u indukcionim, gasnim ili radijacionim pećima. Zaštitna atmosfera nije potrebna. Ovim postupkom se najčešće rade elementi tipa vratilo-zupčanik. U poređenju ove obrade, sa toplom mehaničkim presama i obradom skidanjem strugotine rashod materijala je iznosio: 9,6, 34% i 54% [6].

Savremeni načini **preciznog oblikovanja** zahtijevaju preciznu masu uloška, a daju gotov proizvod sa ostvarenim funkcionalnim dimenzijama i površinama povećanog kvaliteta IT7-IT6, tako da je naknadna mehanička obrada skoro nepotrebna. To je i perspektiva usavršavanja postojećih načina obrade [1]. Pri izradi zupčanika ovim postupkom, nosivost im se povećava za 25-30%. Imaju jedno obraznu vlaknastu strukturu, gdje vlakna prate konturu zuba. Pri radu su manje bučni i dobro se sprežu [23]. Vremenska izdržljivost osnove zuba se povećava i do 50%, ako se radijus zaobljenja poveća od 0,5 na 2,5 mm. Tolerancije mogu biti manje i do 80%, a odstupanja bitnih mjera u odnosu na etalon ne prelaze  $10 \mu\text{m}$ . Razugljenični površinski sloj ne prelazi 0,1 mm [26]. Ovim postupkom se rade elementi i iz spečenih praškastih materijala. Kod njih se relativno izduženje i udarna žilavost jako smanjuju ako se poveća šupljikavost na 4-8%, dok jačina na kidanje slabije opada. Ona zadovoljava ako je gustina veća od 95%. Poslije oblikovanja gustina se povećava iznad 99,5%, a osobine izjednačavaju sa odgovarajućim valjanim proizvodima.

Preciznim oblikovanjem se ispunjavaju konstrukcione, tehnološko eksploatacione karakteristike detalja, uz smanjenje mase i povećanje kvaliteta, što ga čini ekonomičnim i kod manjih serija [26].

**Izotermičko oblikovanje** se javlja kada

su izjednačene temperature radnog komada i alata. Kod klasičnih postupaka temperatura alata je niža, pa se površina komada hladi, usled čega se gubi plastičnost, mogućnost dobrog tečenja metala i zapunjenja kalupa. To je posebno izraženo pri oblikovanju titana i njegovih legura, kao i drugih vatro otpornih legura namijenjenih avio industriji: kada se i prostiji oblici rade u više operacija sa medju operacijskim žarenjem i velikom naknadnom mehaničkom obradom. Ovo je perspektivan postupak. Brzina deformacije može biti i niža, što uslovljava smanjeni otpor deformaciji. U odnosu na klasični postupak preimущества su mu: Manja potrebna radna sila prese (i do 10 puta), poboljšano zapunjenje kalupa, mogućnost oblikovanja u jednoj operaciji elemenata složenog oblika sa tankim rebrima i prelazima, manji gubitak metala, sniženi troškovi mehaničke obrade i mogućnost oblikovanja legura sa uskim temperaturnim intervalom deformacije.

Pri ocjeni efektivnosti procesa treba uzeti u obzir troškove izrade alata od vatro otpornih čelika, kao i njegov povećani zagrev i održavanje radne temperature[18].

Oblikovani elementi iz **spečenih praškastih materijala** su našli primjenu u raznim oblastima. Kada se rade u toplom stanju postiže se u odnosu na kompaktne materijale: ekonomija metala i energije, smanjenje broja operacija, povećanje tačnosti. Oblikovanjem se postiže gustina iznad 99,5%. Tokom operacije oblikovanja elementi dobijaju vlaknastu strukturu koja prati konturu, što im povećava noseću sposobnost. U strukturi su zrna različito orijentisana te nema pojave anizotropije[23]. Tradicionalni načini pečenja su ograničeni masom komada, te su dalja istraživanja usmjerena na korištenje organskih vezujućih sredstava i indukcionog zagreva. Dalje se ispituje ponašanje očvrslih cementnih slojeva tokom deformacije. Izvode se ispitivanja daljeg dobijanja praškova a time i elemenata od alatnih čelika.

Kod obrade u hladnom stanju spečenih praškastih elemenata problem predstavljaju šupljine u pripremu koje se popunjavaju sekundarnom masom, što sprečava sjedinjavanje pri

oblikovanju. Da bi se to odstranilo na pripremak se nanosi lak koji sadrži visok procenat disulfida molibdena tako da služi i kao mazivo.

Ne predviđa se i pored toga što se očekuje jeftinija proizvodnja prahova, da će u budućnosti detalji prostijeg oblika imati preimущества nad onim iz kompaktnijih materijala. Elementi složenijeg oblika koji bi se u hladnom stanju radili iz više operacija uz korištenje medju operacijskog žarenja će se ekonomičnije raditi iz spečenih praškastih materijala[21].

**Površinsko oblikovanje**, odnosno duboko izvlačenje aluminijumskih limova je predmet istraživanja niza laboratorija, čiji rezultati imaju praktičnu primjenu. Do sada su kao osnovni pokazatelji korišteni: čvrstoća, i koeficijenti anizotropije i obradljivosti. Sada su izraženi zahtjevi za: stabilnošću, statičkom i dinamičkom izdržljivošću, zvučnim reakcijama površine i pouzdanošću. Istražuju se metodi njihovom brzom određivanju[1]. Uporedo sa usavršavanjem postojećih materijala otkrivaju se i novi koji su namijenjeni zadovoljenju izraženih potreba. Kod njih nijesu riješeni problemi tehnološkog oblikovanja, konstrukcije alata i podmazivanja[1]. Dalja ispitivanja na korištenim materijalima su usmjerena na određivanje uticaja: mikro i makro strukture, veličine zrna, brzine stepena i temperature deformacije, karaktera krivih očvršćavanja i krivih granične deformabilnosti na proces oblikovanja[30]. Analiza deformaiconog stanja treba krive graničnih deformabilnosti sa poznavanjem uticaja pojedinih faktora na njih. Uglavnom se laboratorijski rezultati poklapaju sa proizvodnim, ma da postoje i znatna odstupanja, što se objašnjava: različitim uslovima vođenja eksperimenta, i procesa, različitim kontaktnim trenjem, nejednakim oblikom epruveta, različitim gradijentom napona, uticajem riseva, razmatranjem samo lokalnih zona, istorijom deformacije obradka i drugim uslovima[12]. Naglašava se da je metal u određenom stepenu nejednorodan. Ona može biti kako geometrijskog tako i fizičkog karaktera. U prvom slučaju je izražena odstupanjem dimenzija i nesavršenstvom površine. U drugom slučaju uzročnici su: pore, praznine, pukotine, primjese, kao i posebna orijentacija metalografskih ravni. Kao pokazatelj

nejednorodnosti se preporučuje odnos proizvoda granice tečenja i debljine lima sa proizvodom njihovih srednjih vrijednosti [14]. Radi obezbjeđenja bolje jednorodnosti koriste se materijali dobijeni kontinualnim livenjem [12].

Kod analize stabilnosti procesa oblikovanja lima neophodno je uzeti u obzir sve činioce koji izazivaju promjenu otpora deformaciji i smanjuju čvrstoću materijala. Ona se treba razmatrati sa pozicija realnih radnih uslova, kao i najvažnijih međuzavisnosti koje karakterišu lim, ulogu trenja, nestabilnost procesa i analizu deformacije. Savremena stremljenja su na izučavanju osobina materijala i karakteristika procesa. Kada obuhvataju proračun, modeliranje i eksperiment smatraju se naučnim [5].

Dalji razvoj auto industrije je usmjeren na smanjenje mase automobila korišćenjem materijala manje gustine, tako da se čelični djelovi po stupno zamjenjuju aluminijumskim. Prosječna masa ugrađenih aluminijumskih djelova po godinama iznosi: 1948-5,5 kg., 1966-27 kg., 1977 - 45 kg. dok se predviđa 1985 - 225 kg. Tendencija je da se ugljenični lim zamijeni aluminijumskim, sa tim da se noseći elementi rade od otpornijih čelika, koji će pri manjem presjeku imati zadovoljavajuću otpornost.

Proces smanjenja mase svih pokretnih elemenata zamjenom postojećim lakšim ili novo osvojenim materijalima je u toku. Sa smanjenjem težine utiče se na ekonomiju energo resursa i materijala. To se postiže i optimizacijom procesa izrade, kroz stanjenje zida elementa, zatim korištenjem, otpornijih materijala, što za sobom povlači rešenje niza tehnoloških problema [7]. U uslovima smanjenja mase i ekonomije energije dobre izgleda na upotrebu imaju elementi platirani aluminijumom, odnosno izradjeni od platiranog aluminijuma. To su prvenstveno proizvodi od lima čiji se izbor vrši ne samo na osnovu njegove sposobnosti za oblikovanjem, već u znatnoj mjeri na osnovu podobnosti gotovog proizvoda da odgovori funkciji cilja. Tako su dalja istraživanja usmjerena na određivanje karakteristika osnovnog materijala sa i bez platiranim slojevima, kao i podobnosti gotovog proizvoda. Platiranje tankih limova se intenzivno ispituje, a njihova upotreba

je vezana i za ekonomske efekte. Ono se izvodi u toplom i hladnom stanju. Uslovi pri platiranju aluminijumom u toplom stanju jako utiču na deformabilnost priprema. S obzirom na koroziju pogodniji su od pocinkovanih. Naglašava se da odlučujući uticaj u toku procesa oblikovanja detalja i vremena eksploatacije ima veza između osnove i nanesenog sloja [6].

Poboljšanje osobina čeličnih limova je usmjereno na zaštitu od korozije, ostvarenje dekorativnih sposobnosti, povećanje elektroprovodljivosti, sposobnosti za varenje i lemljenje, kao i uspješno platiranje, odnosno nanošenje odgovarajućih slojeva [18]. Veoma veliki značaj se pridaje korišćenju nerđajućih limova, i to ne samo zbog njihove plastičnosti, već i zbog vremenske izdržljivosti. Istraživanjem je utvrđeno da u poredjenju sa komparativnim aluminijumskim legurama, ovi čelici u zoni varenja imaju pri nauzmjenično promjenljivom opterećenju osjetno veću vremensku izdržljivost.

Na otpornost komada pri naizmjenično promjenljivom opterećenju odlučujući uticaj ima stanje površinskog sloja. Pozitivan uticaj ima njegovo očvršćavanje bombardovanjem mlazom čeličnih kuglica čime se ostvaruju u površinskom sloju zaostali naponi pritiska. Ovaj postupak je uspješno primijenjen pri izradi krila supersoničnih aviona, Dijametar kuglica je bio 2,5 mm, a brzina udara 60 m/s [5].

Oblikovanje lima se može razmatrati sa pozicija: stvarnih radnih uslova, najvažnijih međuzavisnosti parametara koji karakterišu lim, uticaja kontaktnog trenja, među zavisnosti parametara procesa deformacije, stabilnosti odvijanja procesa i njegovog pouzdanog ostvarenja. Granični stepen izvlačenja čvrstim alatima se postiže 2,2 dok je kod hidro mehaničkog postupka 2,7 što se postiže regulisanjem hidrostatičkog pritiska. kao i pritiska držača lima i tiskača [5,27 - 30].

Proces odsijecanja limova se intenzivno ispituje i uvode novi načini razdvajanja [1]. Razradjuju se metodi određivanja krivih granične deformabilnosti pri povišenim temperaturama. Povećani rashodi na sirovine energiju i radnu snagu upućuju na dalji razvoj tehnologije oblikovanja debelih limova, što zahtijeva optimalnu



konstrukciju elemenata, povećanje tačnosti lima i optimizaciju procesa [12]. Osnovni uzročnici re-meećenja procesa oblikovanja lima su: Pojava zone lokalizacije deformacije, što dovodi do plastičnog razaranja u najviše deformisanoj oblasti; Razaranja komada zbog narušavanja čvrstoće preko granice dozvoljene deformacije (otkidanje dna i sl.); mehaničke povrede površine ili njeno orebrenje, što dovodi do gubljenja stabilnosti i lomova, odnosno otkaza alata [14].

Pored klasičnih, u poslednje vrijeme se razvijaju postupci visoko energetskog oblikovanja lima, koji se karakterišu relativno brzim korištenjem energije. Razlikuju se ne po količini energije već po njenom prenosu. Bitna je i brzina kojom se izvodi oblikovanje elemenata, što povećava ulogu njihovih inercijalnih sila. U zavisnosti od energetskog izvora dijele se na: Eksplozivnu energiju hemijskih sredstava, energiju visokog naponskog pražnjenja koja se pretvara u elektrohidrauličnu ili elektro magnetnu i energiju efekta "hidro udara". Sve su našle odgovarajuću primjenu. Energijom eksploziva su radjeni djelovi kosmičkih brodova. Oblikovanje je uslovljeno ne samo osnovnim eksplozivnim talasom, već i odbojnim talasima i razvojem gasnog mjehura. Moguće je koristiti smjesu vodonika i kiseonika i ostvariti optimalni udarni talas pri oblikovanju metala. Kod elektrohidrauličnog oblikovanja udarni se impuls od mjesta pobude energije prenosi kroz radnu sredinu na obradak. Ispitne jedinice sa zalihom energije od 60kJ i naponom od 20kv ostvaruju pražnjenja u razmaku od nekoliko sekundi [ 5,58 ]. Elektro magnetno oblikovanje se izvodi pražnjenjem kondenzatorskih baterija što u namotaju stvara magnetno polje koje izaziva kretanje pripremk. Elektro provodljivost materijala utiče na odvijanje procesa. Na uređaju zalihe energije od 200 kJ radjeni su zavareni djelovi rezervara interkontinentalnih raketa [5]. Kod uređaja na principu "hidro udara" udarni talas prolazi kroz stub vode i djeluje na nosač alata, što izaziva oblikovanje velikim brzinama.

U posebne postupke se mogu ubrojiti hidro mehaničko oblikovanje cijevi i rotaciono oblikovanje. Oni se u poslednje vrijeme naglo razvijaju. Predstoje dalja istraživanja medjuzavisnosti osnov-

nih tehnoloških parametara pri obradi pojedinih materijala [ 27, 28, 29, 31 ]

**Kontaktno trenje** igra odlučujuću ulogu pri oblikovanju. Njegov uticaj je izraženiji pri izvlačenju krupno gabaritnih ili tanko zidnih elemenata. Radna sila zavisi od uslova oblikovanja, materijala i alata. Njen važan deo otpada na savladjivanje trenja. Pri optimalnom odnosu uticajnih parametara postiže se minimalno trenje i trošenje alata sa dobrim stanjem površine izradka. Odstupanja sile izvlačenja najviše zavise od uslova trenja u zoni prelaza radijusa zabljenja u cilindrični deo [1]. Uslovi trenja na površini radnog komada su uslovljeni mazivom i temperaturnim gradijentom izmedju hladnijeg alata i toplijeg komada. Obično su kod hladne obrade maziva na bazi sapuna, a kod tople na bazi grafita. Upućuje se da se kod tople obrade koriste vodeno grafitna a ne uljno grafitna maziva, zbog oslobadjanja velike količine dima [2]. Kod polu tople obrade se ne primjenjuje sapunica i disulfid molibdena, zbog razlaganja na tim temperaturama, već se kao mazivo koristi vodeni rastvor disperzionog grafita. Pripremom fosfatiziranog sloja i mazivom se utiče na proces deformacije i postojanost alata. Ta priprema nije problematična ako se komad oblikuje određenim postupkom. Kod više operacijskog oblikovanja treba upotrebljavati maziva širokog spektra dejstva. Na njegov izbor utiče; hemijski sastav komada, njegova priprema, stepen, temperatura i brzina deformacije, karakteristike alata i radni naponi. Ispitivanjem je ustanovljeno da je radi optimizacije procesa oblikovanja potreban sve veći broj tipova maziva. Preporučuje se da se kod sumpornih čelika koriste maziva na bazi fosfata željeza i mangana, sa dodacima florida barija, ili maziva na bazi nitrida cinka, sapuna i silfida molibdena, koja povećavaju postojanost alata i do 25% [3]. Istraživanjem deformabilnosti nisko ugljeničnih i nisko legiranih limova je ustanovljeno da se bez obara na pogoršanje mehaničkih osobina lima, povećanje visina mikro neravnina i povećanje deformacionog očvršćavanja pri izvlačenju dobijaju povoljni rezultati upotrebom maziva koja nijesu na vodenoj osnovi [14]. Ispituje se

moгуćnost da se neki djelovi automobila izvlače bez podmazivanja, što uslovljava pravilan izbor materijala za alat [7].

**Način pojave lomova** u radnom komadu tokom oblikovanja u mnogome zavisi od temperature. Pri obradi na hladno se lom obično razvija u obliku pukotina na površinama koje nisu u dodiru sa alatom, i na kojima djeluju naponi na rastezanje. U unutrašnjosti se javljaju pore koje mogu biti mikroskopske ili pak mnogo puta prevazilaziti dimenzije zrna. Male obično ne utiču na eksploatacione karakteristike elementa, dok velike, centralne, dovode i do njegovog loma tokom oblikovanja. Formiranje ravni smicanja se obično ostvaruje izmedju oblasti sa različitim stepenom deformacije, čemu pogoduju i nejednorodni uslovi trenja [2]. Kod polu tople obrade pojava pora pukotina i ravni smicanja predstavlja veliki problem, jer smanjuju deformabilnost. Javljaju se po granicama zrna usled dejstva sekundarnih napona rastezanja. Pore se javljaju usled kretanja dislokacija kroz kristalnu rešetku i njihovog zausavljanja na granicama zrna. Ako se tu nalaze mikroskopska izlučenja druge faze, dislokacije ih mogu prekinuti i otkriti slabe površine izmedju čestica i zrna. Naponi rastezanja dovode do njihovog rasta, usled čega nastaju pukotine i lom. Na temperaturama polu tople obrade, u tačkama trojnog dodira zrna se javljaju pore, jer je smicanje po njihovim granicama termički aktivan proces. Ako je nivo napona dovoljno visok može doći do koncentracije napona i pojave pora. Deformacija rešetke nije dovoljna za relaksaciju napona, što dovodi do razvoja pora, pukotina i loma. Ovakvi defekti se mogu izbjegavati povećanjem radne temperature [2]. Kada je otpor deformaciji osjetljiv na temperaturu, kao kod nekih titanovih legura, mogu se javiti ravni smicanja. Proces prelaza toplote od komada na alat izaziva nejednako hladjenje i stvaranje čvršćih površinskih slojeva, za koje su potrebni veći naponi oblikovanja, što dovodi do formiranja krutih zona i ravni smicanja. Izbjegavanje formiranja ovakvih ravni se, kod toplote obrade, izvodi podizanjem temperature na nivo gdje naponi malo

zavise od stepena deformacije. Dalje se koriste i maziva koja sprečavaju odvodjenje toplote a oblikovanje izvodi na brzohodnoj opremi. Tako se obradjuju metali kod kojih se javlja razočvršćavanje, i izvjesno lokalno očvršćavanje, što pogoduje obradovanju ravni smicanja. Dalja istraživanja su usmerena na rešavanje ove problematike [2]. Zbog sve većih zahtjeva prema oblikovanim detaljima konstrukcija alata i opreme postaje sve odgovornija, a rešenja kompleksnija. Razradjuju se uopštene metode proračuna radnih sila, tečenja metala i pojave pukotina. Do sada je to radjeno metodom proba-greška. Sada se vrši modeliranje, za šta se obično koristi vosak, olovo ili plastelin. Tečenje se prati metodom koordinatne mreže. Tako se mogu otkriti mjesta nepoželjnih naponsko deformacionih stanja [2]. Dalje se razvijaju matematički modeli koji uz pomoć programa i računara mogu uspješno predstaviti tok oblikovanja po operacijama [6]. Široku primjenu je našao metod konačnih elemenata. Treba naglasiti da u proizvodnim organizacijama upotreba računara zavisi od njihove strukture. Ona je cjelokhodna pri rešavanju velikog broja problema koji se ponavljaju, kao i pri obradi velikog broja podataka [7]. Pomoću njih se racionalizuju proračuni i vrlo brzo dobijaju rešenja u preglednom obliku.

Ubrzano se radi na uvođenju sistema kontrole i upravljanja procesima oblikovanja metala. Pri tom se pazi na moguće gubitke i efektivnost. U tim slučajevima opslužni personal radi na odstranjivanju nepravilnosti rada opreme, periodičnoj kontroli kvaliteta, obezbjeđenju materijala, isključivanju u pauzama i na kraju rada. Jedan operator može opsluživati i veći broj jedinica u zavisnosti od raspoloživog vremena koje je isplanirano. Nepredvidjeni zastoji mogu dovesti do velikih gubitaka. Zato se ubrzano radi na korištenju senzorskih jedinica čije se informacije logički obradjuju i tako otkrivaju nastale nepravilnosti. Razradjuju se parcijalni i integralni senzorski sistemi, čime se obezbjeđuje jednoobraznost komada povećanog kvaliteta, bolje iskorisćenje opreme i olakšava rad opslužnog personala [7].

## 2.2 Alati

Oblikovanje elemenata se izvodi alatima koji odgovaraju uočenom procesu. Konstrukcija,

izrada i eksploatacija alata su veoma složeni poslovi. Do skoro je konstrukcije izvodjena na osnovu iskustva i opita. Sada se koriste posebne računске metode. Među njima se najčešće pominje metod konačnih elemenata. Pri razradi se koriste sledeći uticajni parametri: dimenzije, tačnost, materijal, preporučiva tehnologija izrade, obim proizvodnje i oprema na kojoj će se alat izraditi i na kojoj će raditi.

Alati za krupno serijsku proizvodnju su postali veoma složeni. Ranije je dovod i odvod materijala izvodjen ručno. Zatim su se pojavili prvi manipulatori, mehaničke ruke i transporteri. Sistem za automatsko podmazivanje i mehaničko automatsko obezbeđenje priprema je kasnije uveden. Sada se uvode roboti sa elektronskim upravljanjem i programiranim radnim operacijama, što ima znatan uticaj na alat. U uslovima mehanizacije i automatizacije u alatima se sve više koriste hidraulični i pneumatski cilindri, posebni elektro motori i transporteri do opreme, vibracioni stolovi, vakuumske jedinice i slični pomoćni uređaji. Sve to prati i poseban razvod energije i fluida, kao i poseban sistem programskog upravljanja. Uz to sva ta oprema treba da bude fleksibilna, lako demontažna pouzdana, dugovječna i da ne stvara buku [11]. U pauzama proizvodnog procesa se izvodi zamjena alata, što zavisi od programa proizvodnje, tipa opreme, gabarita, konstrukcionog rešenja pribora. Nastoji se obezbediti promjenjiv alata u kom letu, sa tim da se izvrši zamjena samo radnih elemenata.

U osnovi fond znanja iz oblasti konstruisanja alata je skroman. Postupno se povećavaju informacije o geometrijskim parametrima i načinima izrade, te je uspješna konstrukcija uslovljena znatnim poteškoćama. Kod razrade se vrši izbor: optimalnih gabaritnih i radnih dimenzija, određuje srednja debljina dna i traže mogućnosti povećanja zaobljenja, nagiba i rebara [1]. Alati rade pri različitim radnim režimima. Rad na povišenim temperaturama zahtijeva njegov zagrev, prije rada, moguć dogrev tokom rada i u pauzama, a po potrebi i hladjenje. Zagrijavanje i dogrijavanje sa spo-

ljne strane, zbog neravnomjernog prenosa toplote djeluje kao armiranje u pojedinim pravcima, te treba da se izvodi sa strane radnih površina. a odvojenje toplote sa strane suprotne njima [1]. Održavanje radne temperature u užim granicama snižava moguće termičko opterećenje tokom oblikovanja i povećava postojanost alata. Ukoliko se javljaju termičke pukotine, ili je smanjena žilavost materijala zbog povišene temperature treba riješiti odvođenje toplote. Otkazi alata su uglavnom: trošenje istiranjem, mehaničke i termičke pukotine, deformisanje gravure i lomovi. Na termo mehaničko opterećenje je moguće uticati: izborom materijala, uslovima oblikovanja i konstrukcionim rešenjima. Nastoje se smanjiti naponi na radijusima ivica gravure, odnosno na mjestima najvećeg istiranja.

Tokom konstruisanja se vrši izbor materijala alata imajući u vidu osnovne uticajne parametre: radne napone i radne sile, uslove oblikovanja i eksploatacije, opremu i pribore. Za alate se koriste materijali širokog spektra osobina, počev od običnih, legiranih, preko visoko legiranih alatnih do visoko otpornih legura koje mogu izdržati velike pritiske na visokim temperaturama. Radi povećanja otpornosti na habanje i pouzdanosti se na osnovu iz običnih čelika nanose tvrdi slojevi koji su postojani na habanje i mogu se regenerisati. U nekim slučajevima se koriste umeci od karbida. Za izotermičko oblikovanje se čitav alat radi od vatro otporne legure. Neke od njih izdržavaju radnu temperaturu preko 1000°C. Kada se oblikuju materijali koji su skloni stvaranju ogorina (legure titana, nikla, berilijuma) oblikovanje se izvodi u zaštitnoj atmosferi, što uslošnjava konstrukciju alata. Za alate se istražuju novi materijali, kao što su: tvrde legure, više komponentne bronze, tvrdo legirani čelici, epoksidne smole i slični [1]. Od dugovječnosti, pouzdanosti i funkcionalnosti alata u velikoj mjeri zavisi ekonomičnost procesa. Radi toga je potrebno što tačnije odrediti radne napone i opterećenje, izabrati optimalnu konstrukciju i materijal, kontrolisati proces površinske i termičke obrade. Za neke procese i radne uslove su date preporuke za korištenje armiranih matrica.

Otkazi alata su najčešći zbog loma ele-

menata, a redji zbog istiranja. Sada se pojedini djelovi alata rade od spečenih praškastih materijala, koji imaju povećanu žilavost i otpornost na istiranje. U stadijumu ispitivanja i korištenja su jedinjenja TiC i CrC koja se putem plazme nanose na radne površine. Dalje se upotrebljava azotiranje i bruniranje sa zasićenim hromom.

Svi novo razradjeni postupci izrade i dorade alata obezbjeđuju poboljšane fizičke i mehaničke osobine. Ispitivanjem je ustanovljeno da radne površine matrica koje su izradjene od tvrde legure sa osnovom karbida volframa i kobalta, ni jesu definisane istiranjem samo meke kobaltne faze, nego i lomljenjem zrna karbida volframa. Izvode se ispitivanja za korištenje jedinjenja  $Al_2O_3$ . Legure aluminijuma zbog svoje čvrstoće, toplo provodljivosti, obradljivosti i težine se sve više koriste tamo gdje su djelovi alata pokretni, posebno pri eksploataciji visoko brzinske opreme [18].

Kod alata za odrezivanje veliki značaj ima krutost sistema vodjenja, od koga zavisi: otpor odsijevanju, zakošenje i zazor reznih površina. U razradi su različite konstrukcione mjere za povećanje pouzdanosti i krutosti. Visoku proizvodnost, uz veliko opterećenje alata je moguće postići primjenom spečenih praškastih materijala. Kada se primjenjuju tvrdo legirani materijali mora se posebna pažnja usmjeriti na onemogućavanje vibracija prese. Režim brzine ne bi trebalo da utiče na radne temperaturne uslove [18]. Pri radu je potrebno obraditi pažnju i na to da radni materijal odgovara prezentiranim karakteristikama. Oko 60% cijene komada je uslovljeno cijenom alata.

Za alat kod polu tople obrade se ne mogu koristiti materijali koji se koriste kod hladne (zbog smanjenih karakteristika na povišenim temperaturama) ili tople (zbog neizdržljivosti pri visokim pritiscima) obrade, već se svajaju novi materijali. Dobre osobine ima brzorezni čelik sa dodatkom kobalta, koji ima visoku temperaturu otpuštanja i otporan je na povišenim temperaturama. Međutim osjetljiv je na brzo hladjenje mazivom na vodnoj osnovi, kada se rasprskava površinski sloj [6,20].

Kriterijumi za izbor materijala za alat su njegove osobine, otpornost na trošenje i žila-

vost. Mnogo novih materijala nema. Tendencija razvoja je u poboljšanju postojećih očvršćavanjem površina termičkom obradom, ili nanošenjem pogodnih otpornih slojeva. Obrada se sve više izvodi na programski upravljanim mašinama, uz sve primjetnije korištenje elektro erozione obrade [61, 62].

U budućnosti će sve više koristiti paketi programa pomoću kojih se uz korištenje računara mogu uspješnije konstruisati alati. Pomoću njih je moguće odrediti napone u željenim zonama i obraditi tečenje metala pri oblikovanju. Uz pomoć displeja je moguće razraditi niz varijantnih rešenja, unoseći u njih željene izmjene i dopune. Računar na kraju može dati crtež, štampati informaciju ili je pak unijeti na magnetnu traku koja se koristi na mašinama sa programskim upravljanjem [2]. Najveća pažnja će se pokloniti metodama proračuna, konstrukcije i izrade alata, kao i povećavanju njegove postojanosti, pouzdanosti i dugovječnosti [15, 61, 62].

### 2.3 Oprema

Površinsko i zapreminsko oblikovanje se uglavnom izvodi na mehaničkim i hidrauličnim presama, odnosno automatima, koji se u zavisnosti od namjene snabdijevaju odgovarajućim priborima i uređajima za uspješno ostvarivanje funkcije cilja. Pred takvim radnim sistemima se postavljaju odgovarajući zahtjevi: povećanje tačnosti gotovog komada, mogućnost primjene jednino i više pozicionih alata, ostvarivanje ujednačene visoke proizvodnje, smanjenje pomoćnog vremena putem primjene brzo zamjenljivih alata, pribora i uređaja, povećanje pouzdanosti i dugovječnosti mašine, alata i uređaja pri jednostavnom održavanju i opsluživanju, ispunjenje mjera higijensko tehničke zaštite, zadovoljenje ergonomskih zahtjeva, čuvanje mikro okoline, kao i niska investiciona ulaganja [15]. Sve ih je teško ispuniti. Najveći deo opreme je u eksploataciji i na njoj treba izvesti odgovarajuće izmjene i dopune. Kod novo projektovane opreme zadovoljenje ovih zahtjeva je moguće ostvariti na samom startu. Nastoje se izvesti tehnološke linije tako da se element radi u jednom hodu. Mehaničke i hidraulične prese se razvijaju u pravcu ostvarenja većih brzina [2]. Kolenaste

prese se ne rade sa silom većom od 120 MN, a zavojne od 70 MN. Najveća hidraulična presa od 750 MN je izvedena u SSSR-u, a od 650 MN je montirana u Francuskoj. Dvije takve prese od 500 MN rade u SAD-u, dok ih od 300 MN ima više u Evropi [50]. Kod nas je najveća hidraulična presa od 50 MN, dok je realizacija programa u toku da se montira jedna hidraulična presa od 300 MN i jedna od 50 MN u Titogradu. Proizvodni program ovako velikih presa je prije svega namijenjen izradi dijelova posebne namjene (avio, kosmička, vojna industrija [50]). Treba na glasiti da su nova konstrukciona rešenja opreme uslovljena potrebama inoviranih ili novih tehnoloških procesa. Da bi se tehnološki proces od laboratorijskog ispitivanja postavio i uveo u proizvodni lanac potrebno je 8 - 10 godina, što za sebe govori da odgovarajuća rešenja moraju biti rigorozno razmatrana kako se ne bi desilo da zastaraju prije nego se počne sa redovnom proizvodnjom [22].

Istraživanja na postojećoj opremi se kreću u pravcu omogućavanja što veće automatizacije sa programskim upravljanjem pomoću računara, uz korištenje senzorskih jedinica. Da bi se to ostvarilo pored ostalog su potrebni podrobni podaci o ponašanju opreme u radnim uslovima, kao i podaci o režimu opterećenja i rasporedu napona u kritičnim zonama. Na tačnost dobijenog elementa poseban uticaj imaju: geometrijski parametri, tip prese, način pogona, krutost nosećih struktura u vertikalnom i horizontalnom pravcu, ugib i paralelnost stola i nosača alata. Za određivanje ovih pokazatelja radi se na svim tipovima presa, ali se najdalje otišlo kod onih sa otvorenim nosećim strukturama. Kod njih je na djelo karakter elastične deformacije stalaka, stola i nosača alata pri opterećenju u centralnoj ili pomjerenoj tački, uz horizontalno pomjeranje i zakošenje. Za povećanje tačnosti u bočnom pravcu potrebno je povećanje krutosti prese u ravni upravnoj na pravac dejstva sile. Ispitivanjem je ustanovljeno da oko 70% elastične deformacije prese otpada na pogon, a 24% na deformaciju stalaka. Pri ekscentričnom opterećenju oko 80% opšte deformacije je uslovljeno zakošenjem stola i nosača alata, dok elastična deformacija stalaka

iznosi 15% [1]. Otkrivanje uticaja pojedinih bitnih parametara je vezano sa velikim teškoćama. Razvijaju se novi metodi modeliranja. Najviše je u primjeni metod konačnih elemenata. Njima se daje proračun u opštem obliku, ali pri grančnim uslovima i geometrijskim parametrima dobijeni rezultati se mogu koristiti i u konkretnim slučajevima. Za izvjesne slučajeve su razradjeni posebni algoritmi. Mogu se koristiti i pri prenosu toplote [1]. Ovim metodama je moguće razraditi konstrukcione šeme sa mogućnošću odabiranja rešenja. Tako su dobijena rešenja krljavno kolenastog prenosa, kao i ponašanje nosećih struktura pri centralnim i pomjerenim opterećenjima.

U razradi tehnološkog procesa posebna pažnja se poklanja rešenjima koja nijesu vezana za masovnu proizvodnju. Razradjuju se sistemi za brzu promjenu alata, efikasnu kontrolu, ostvarenje brze i kontinualne veze izmedju jedno i više pozicionih presa. Posebni su zahtjevi da se na opremi može ostvariti proces polu toplog oblikovanja koji se u poslednje vrijeme naglo razvija. Kod novih automata se obično predvidja jedna pozicija za odsijecanje, a ostalih pet za oblikovanje. Mehaničke prese se sve više zamjenjuju hidrauličnim, zato što ih je lakše automatizirati, posebno pri malim partijama. Veliki uspjeh je postignut u oblasti korištenja elektronskih sistema upravljanja. Na njemu se i dalje radi što predstavlja dalji pravac razvoja. Isto tako su istraživanja usmjerena u pravcu sveukupne automatizacije procesa, povećanja tačnosti odsijecanja i oblikovanja, uvođenje malo oksidnih načina zagrijavanja, usavršavanje konstrukcije alata, pribora i osnovne opreme, kao i na povećanju kvaliteta osnovnih materijala [19]. Sincronizacija rada u liniji omogućava povećanje proizvodnosti, smanjenje trošenja opreme, smanjenje nivoa buke i povećanje ujednačenosti kvaliteta gotovog komada. Posebno se intenzivno radi na kompleksnom razvoju mašina za rotaciono oblikovanje i hidro mehaničko oblikovanje cijevi, gdje se već pojavljuju kompletne linije sa programskim upravljanjem uz korištenje računara [21].

**Smanjenje buke** je jedan od prioritarnih zadataka. Na njemu se intenzivno radi, posebno

kada je u pitanju više radnih jedinica. Troškovi rastu sa smanjenjem njenog nivoa. U zavisnosti od stepena smanjenja i mjesta sniženja buke traži se rešenje. Po pravilu se prvo interviru više na presama, za šta se razradjuju modeli. Za već postignuta rešenja kapitalna ulaganja se povećavaju za 5 - 20%. Njima se u osnovi postiže pored smanjenja buke još i povećanje postojanosti alata i opreme uz smanjuje razbacivanja sitnih čestica, odnosno snižava zagađenost okoline. Kod postavljanja zvučno izolovanih kabina ulaganja su manja a predpostavka je da je proizvodnja automatizovana. One se najčešće koriste kod postojeće opreme. Na novoj opremi se daju kombinovana rešenja kojima se postižu i ekonomski efekti [12]. Kod hidrauličnih presa se najprije traži rešenje smanjenja buke na pogonskim pompnim agregatima. Veći uspjeh se postiže kada je pumpna jedinica odvojena od mašine, što povećava ulaganja. Na pogonskim pumpnim jedinicama snage 90 kW buka je snižena na 80 db. Dalja tendencija je ukupno snižavanje buke, posebno one koju ostvaruje alat u procesu oblikovanja kao i one koja se javlja tokom ulaganja materijala i odlaganja gotovih komada i škarta. Novim rešenjima fundamenta opreme smanjene su vibracije za 80% a buka za 10% [47].

Mjere higijensko tehničke zaštite kao i rešenja tehničke zaštite opslužnog personala su dostigli takve razmjere da im je potreban naučni prilaz [2]. Broj nesrećnih slučajeva zbog tehničkih uzroka se smanjuje, dok se usled ljudskog faktora povećava. Zato svi zahtjevi moraju biti jasni i svrsishodni da konstruktori mogu dati posebna funkcionalna rešenja koja će se tokom eksploatacije i koristiti. U tom pravcu je i tendencija razvoja.

### 3. Oblikovanje metala u stanju super plastičnosti

#### 3.1. Uvod

Burni razvoj pojedinih grana industrije, kao što su: avio, hemijska, kosmička i dr., zahtijevaju osvajanje novih konstrukcionih materijala specijalnih osobina. Iz godine u godinu se povećava primjena elemenata od legura titana, aluminijuma i magnezija, koje su visoko otporne,

što uz ostale podobnosti uslovljava da se od njih rade odgovorni konstruktivni elementi velike dugovječnosti i visoke pouzdanosti. Obrada deformisanjem elemenata od takvih legura je skupčana sa velikim teškoćama koje uglavnom proizilaze iz niskih tehnološko plastičnih osobina i visokih otpora deformisanju. Za dobijanje detalja potrebno je koristiti veoma jaku opremu na kojoj se izvodi veći broj operacija uz korištenje medju operacijskog žarenja. Pri tom niske plastične osobine dovode do povećanja defekata na gotovom proizvodu, velikog škarta skupog metala i smanjenja efektivnosti procesa [63].

Za obradu deformisanjem elemenata od ovakvih legura je perspektiva korišćenje obrade deformisanjem u stanju super plastičnosti. Njena praktična primjena uslovljava usavršavanje tradicionalnih i razvijanje novih tehnoloških procesa. Time se doprinosi ubrzanju tempa naučno-tehničko-tehnološkog progressa u oblasti proizvodnje i uvodi progresivna tehnika i tehnologija, kojom se povećava proizvodnost i kvalitet proizvoda i ostvaruje ekonomija metala i energije a poboljšavaju uslovi rada. Poseban interes za obradu metala i legura u stanju super plastičnosti dolazi od njihovih tehnoloških karakteristika da im je deformaciona sposobnost veća i desetak puta, a deformacioni otpor manji i nekoliko puta nego što je to slučaj sa istim materijalima u plastičnom stanju. Ovi procesi se mogu izvesti na opremi relativno male radne sile, sa tim da se rade detalji veoma složenih oblika i velike tačnosti. Najbolji rezultati se postižu pri deformisanju malo plastičnih i teško deformišućih metala i legura, kao i pri oblikovanju elemenata veoma složenih oblika i velikih dimenzija, koji se u plastičnom stanju, zbog velikih radnih sila, na postojećoj opremi ne bi mogli dobiti.

#### 3.2. Osnovne teorijske postavke

Klasična teorija plastičnosti polazi od pretpostavke da je napon tečenja nezavisan od vremena ostvarenja deformacije. Kod realnih materijala-metalna, pri obradi deformisanjem u toplom stanju se javlja znatna zavisnost napona tečenja od vremena, stepena i brzine deformacije (relaksacija i puzanje), što je posebno izraženo u stanju super plastičnosti.

Napon tečenja zavisi od mnoštva parametara. Osnovni su: sastav, struktura, temperatura i stepen deformacije  $\varphi$ , brzina deformacije  $\dot{\varphi}$  i vrijeme deformacije  $t$ . Njihova međuzavisnost za određeni materijal, koji ima nepromjenljivu strukturu tokom deformisanja se može prema Nadai-ov izraziti zavisnošću (1), kao totalni diferencijal funkcije  $k=k(T, \varphi, \dot{\varphi}, t)$ .

$$dK = \frac{\partial K}{\partial T} dT + \frac{\partial K}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} d\dot{\varphi} + \frac{\partial K}{\partial t} dt \quad (1)$$

Pri rastezanju epruvete poprečnog presjeka  $A$  silom  $F$  u izotermičkim uslovima se može dati zavisnost (2).

$$\frac{dF}{F} = \frac{1}{K} \left( \frac{\partial K}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} d\dot{\varphi} + \frac{\partial K}{\partial t} dt \right) - \frac{1}{A} \left( \frac{\partial A}{\partial \varphi} \right) d\varphi \quad (2)$$

Period stabilne jednoosne deformacije se završava pojavom zone lokalizacije deformacije, čemu odgovara  $dF/d\varphi \geq 0$ . Sa tim se iz zavisnosti (2) može izvesti zavisnost (3), koja pokazuje da je def-

$$\frac{1}{K} \left( \frac{\partial K}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} d\dot{\varphi} \right) \geq \frac{1}{A} \left( \frac{\partial A}{\partial \varphi} \right) d\varphi + \frac{1}{K} \left| \frac{\partial K}{\partial t} \right| dt \quad (3)$$

ormacija stabilna ako priraštaj deformacionog  $\frac{\partial K}{\partial \varphi}$  i brzinskog  $\frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}}$  ojačavanja kompenzira geometrijsko slabljenje epruvete na mjestu pojave lokalne deformacije  $\frac{\partial A}{\partial \varphi}$  i fizičko razočvršćavanje za veličinu pada napona  $\frac{\partial K}{\partial t}$ . Ovoj zakonitosti se podvrgavaju svi metali i legure koji se plastično deformišu [63]. U zavisnosti od njihovog sastava, strukture i temperaturno brzinskih uslova deformacije mijenja se karakter parcijalnih zavisnosti  $\frac{\partial K}{\partial \varphi}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}}$ ,  $\frac{\partial K}{\partial t}$ . U određenom dijapazonu režima deformacije ove zavisnosti je moguće aproksimirati izrazima koji mogu imati empirijskih koeficijenata. Kod izotermičke deformacije žilavo plastičnog tijela moguće je uvesti koeficijente (eksponente) deformacionog  $\frac{\partial K/K}{\partial \varphi} = n$  i brzinskog  $\frac{\partial K/K}{\partial \dot{\varphi}} = m$  očvršćavanja, koji zavise za određenim materijal od strukture, deformaciono brzinskih uslova i istorije procesa deformacije. Korisćenjem predhodnih uslova i jednačine (2) se da napisati zavisnost (4), gdje su:  $\dot{F}$ ,  $\dot{A}$  i  $\dot{A}$  odgovarajući izvodi po vremenu.

$$\frac{\dot{F}}{F} = \frac{\dot{A}}{A} \left( 1 - \frac{n}{\varphi} - m \right) + \frac{\dot{A}}{A} m \quad (4)$$

Ona izražava približnu zavisnost parametara plastično žilavog materijala, koji tokom procesa i očvršćava. Kod mehaničkih ispitivanja sreću se i parcijalna rešenja koja su data zavisnostima (5), (6), (7) i (8)

-pri stalnoj brzini istezanja:  $A = \text{const} = 0$

$$A = 0, \quad \frac{d \ln F}{d \ln A} = 1 - \frac{n}{\varphi} - m \quad (5)$$

-pri stalnoj sili (ispitivanje na puzanje):

$$F = \text{const}, \quad \dot{F} = 0,$$

$$\frac{d \ln \dot{A}}{d \ln A} = 1 - \frac{n}{\varphi m} - \frac{1}{m} \quad (6)$$

-Pri stalnoj brzini deformacije:  $\dot{\varphi} = \frac{\dot{A}}{A} = \text{const}$

$$\ddot{\varphi} = \left( \frac{\dot{A}}{A} \right)^2 - \frac{\ddot{A}}{A} = 0$$

$$\frac{d \ln K}{d \ln \dot{\varphi}} = n \quad (7)$$

- pri stalnom naponu:  $k = \text{const.}, \dot{k} = 0$

$$\frac{d \ln \dot{A}}{d \ln A} = 1 + \frac{n}{\varphi m} \quad (8)$$

Sila postaje maksimalna kada se intezitet očvršćavanja pokaže nedovoljnim da kompenzira smanjenje poprečnog presjeka kod rastezanja, kada počinje i formiranje vrata. Ako radni materijal ima sposobnost brzinskog ojačavanja to sa povećavanjem brzine deformacije u predjelu vrata epruvete dolazi do lokalnog povećanja napona tečenja usled čega dolazi do kočenja procesa lokalizacije deformacije. Iz zavisnosti (5) i kada je  $F = F_{\text{max}}$  i  $d \ln F / d \ln A = 0$  se može dati

$$\varphi_{\text{max}} = n / (1 - m) \quad (9)$$

relacija (9), iz koje slijedi da je zona ravnomjerne deformacije tim viša čim su veći eksponenti deformacionog i brzinskog očvršćavanja. Kod hladne deformacije je  $m = 0$ , a  $\varphi_{\text{max}} = n$ , dok kod deformisanja u stanju super. plastičnosti  $n \rightarrow 0$  i moguće je primijetiti na radnoj dužini epruvete više mjesta početka lokalizacije deformacije.

Kod istezanja epruvete početnog pre-

sjeka  $A_0$  i oslabljenog presjeka  $A$  dolazi od odgovarajućeg smanjenja presjeka za  $\Delta A_0$  i  $\Delta A$ . Na osnovu tih zapažanja i zavisnosti (6) izvodi se relacija (10). U njoj se vidi jaka zavisnost odnosa  $\Delta A / \Delta A_0$  od koeficijenta brzinskog oja-

$$\frac{\Delta A}{\Delta A_0} = \exp\left(\frac{K}{m} - 1\right) \quad (10)$$

čavanja  $m$ . Sa njegovim povećavanjem prisutan je otežan razvoj lokalizacije deformacije, odnosno proces postaje stabilniji, a totalna stabilnost nastaje kada je  $m=1$  iz čega slijedi da je  $\Delta A / \Delta A_0 = 1$ .

Istraživanjem se došlo do stanovišta da je pri  $m \leq 0,3$  pojava lokalne deformacije vrlo brza, a izduženja u najboljem slučaju mogu iznositi 100-200%, što predstavlja i uslovno prihvaćenu granicu stanja super plastičnosti u kojem je  $0,3 \leq m \leq 1$ . Kada je  $m=0,5$  lokalizacija se razvija lagano te izduženje može ići 500-1000%. Kod većih  $m$  lokalizacija može i da se ne osjeća, te izduženje može znatno prevazići 1000%.

Super plastičnost se javlja u dva različita strukturalna stanja: pri deformaciji metala i legura sa stabilnom sitno zrnastom strukturom i pri deformaciji polimorfni metala i legura u procesu faznog pretvaranja [63].

Kod izotermičke plastične deformacije specifični deformacioni otpor  $k$  zavisi od napone na granici tečenja  $k_v$ , stepena  $n$  i brzine  $\dot{\varphi}$  deformacije kako je to dato zavisnošću (11). U stanju super plastičnosti  $n \rightarrow 0$ , dok se  $k_v$  zanemaruje, te se  $m$  može izraziti zavisnošću (12),

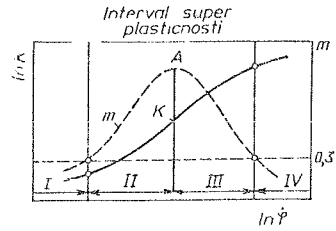
$$k_f = k_v + \sigma \dot{\varphi}^n \dot{\varphi}^{m'} \quad (11)$$

koja je predstavljena na sl.1. On nije konsta-

$$m = \frac{d \ln K}{d \ln \dot{\varphi}} \quad (12)$$

ntna već bitno zavisi od temperaturno brzinskih uslova deformacije, sastava i strukture materijala. Pogodan je za izražavanje eksperimentalnih vrijednosti, kao karakteristika stabilnosti deformacije pri istezanju.

Kada se uzmu u obzir dimenzija zrna i temperatura; brzina deformacije se može izraziti relacijom (13), gdje je  $p=2-3$ -stepen uticaja dijametra zrna, a  $v_d$  - efektivna brzina difu-



Sl.1 Uslovna podjela krive super plastičnosti zije, koja je izražena zavisnošću (14). Tu su: Q-

$$\dot{\varphi} = \frac{\sigma K^{1/m}}{d^p} v_d \quad (13)$$

-entalpija procesa difuzije, R-gasna konstanta i T-apsolutna temperatura.

$$v_d = v_0 e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (14)$$

Kod legura sa kalajnom i cinkovom osnovom, kao i kod čelika i titana, difuzija se ostvaruje po granicama zrna, a kod legura bakra i austenitnih čelika difuzija se ostvaruje kroz rešetku [42]. U opštem slučaju se  $v_d$  izražava zavisnošću (15),

$$v_d = D_L f_L + C D_S f_S \quad (15)$$

gdje su  $f_S$  i  $f_L = 1 - f_S$  odgovarajući dijelovi skupina atoma koji difunduju kroz granice zrna  $f_S$  i kroz rešetku  $f_L$ , dok su  $D_S$ ,  $D_L$  i  $C$  odgovarajući koeficijenti. Posljednja konstanta zavisi od hemijskog sastava i u opštem slučaju je jednaka jedinici, dok se usvaja da je  $f_S = 2b/d$ , gdje je  $b$ -vektor Bjurgersa. Eksperimenti potvrđuju da relacija (15) dobro opisuje prelaz od difuzije kroz rešetku prema difuziji kroz granice zrna.

Na sl.1 interval brzine deformacije je podijeljen na četiri zone. U zoni I pri  $\dot{\varphi} < 10^{-3} s^{-1}$  je  $m < 0,3$ . Mehanizam deformacije legura u ovoj zoni nije sasvim razjašnjen, a i ne predstavlja praktičan interes za obradu zbog veoma malih brzina deformacije. Kod srednjih  $\dot{\varphi}$  postiže se na prelazu zone II u zonu III maksimalni  $m$ , koji je obično oko 0,5 a kad kad i 0,7-0,9. To je interval stanja super plastičnosti koje se javlja pri  $\dot{\varphi} = 10^{-2} - 10^{-1} s^{-1}$ . Potom se  $m$  smanjuje na 0,3 na ulazu u zonu IV. Praktični interes predstavljaju zone II i III, sa tim da se teži da se deformacija izvede sa većim  $\dot{\varphi}$  i  $m$ , odnosno da se tačka



A pomjeri udesno i naviše.

Do sada je najviše izučavana zavisnost graničnog stepena deformacije od eksponenta brzinskog očvršćavanja. Nalazi upućuju da eksponent  $m$  nije jedinstven faktor koji definiše granični stepen deformacije, na koga još bitno utiču struktura i temperatura.

Ako se usvoji (upročšćeno) da je deformaciona sila proporcionalna specifičnom deformacionom otporu pri izotermičkom oblikovanju moguće postaviti relaciju (16), gdje se indeksi  $k$  i  $i$  odnose na klasični ili izotermički postupak, dok je  $v$  označena brzina kretanja alata (deformisanja) [46]

$$F_k/F_i = (v_k/v_i) \quad (16)$$

Kod super plastičnih materijala, gdje je  $m=0,3-0,8$ , odnos brzina  $v_k/v_i=1/100$ , što iznosi smanjenje sile za 10 puta.

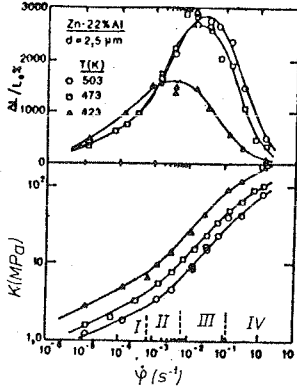
### 3.3 Stanje i pravci razvoja

Istraživanjem stanja super plastičnosti ukazuje se na osnovne njegove pokazatelje: Osetljivost na promjenu brzine deformacije, visoku deformacionu sposobnost i niži napon tečenja. Da bi se stanje super plastičnosti iskoristilo neophodan je odgovarajući termo brzinski režim oblikovanja [42]. Ako je brzina deformacije nešto veća i plastična deformacija se ostvaruje na račun kretanja dislokacija, to se sposobnost metala prema oblikovanju naglo snižava i zona plastične deformacije se lokalizuje [42]. Zbog toga je neobično važno da kod praktičnog korištenja stanja super plastičnosti brzina deformacije u opasnim presjecima, u kojima može doći do kidanja, ne pređe odgovarajuću graničnu vrijednost.

Granični stepeni deformacije se povećavaju sa povećavanjem temperature oblikovanja. Kod radnih temperatura koje su ispod polovine temperature topljenja ( $T_t$ ) u metalu se uporedo sa procesom očvršćavanja javlja i proces raz očvršćavanja, kao što su oporavljanje i rekristalizacija. Kada se radi o stanju super plastičnosti mehanizam njegovog odvijanja je poseban, a najjasnija karakteristika je mala radna sila.

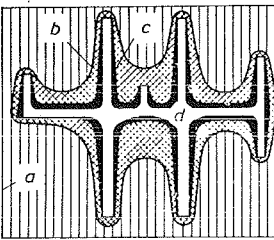
Oporavljanje i rekristalizacija se javlja kod deformisanog metala jednorodne strukture i visokog nivoa nakupljene energije defekata, pri čemu dimenzije zrna mogu biti različite. Super plastičnost se javlja kod metala i legura čije su dimenzije zrna 1-5 a najviše 10  $\mu\text{m}$ . Pri rekristalizaciji se ostvaruje porast novih zrna, čija su jezgra ćelije kristalne strukture kod kojih rešetka nije izobličena, pri čemu dimenzije obrazovanih zrna zavise od temperature i brzine deformacije. Ako je komad u stanju super plastičnosti struktura metala ostaje, nezavisno od stepena deformacije, sitnozrnasta i unutar zrna se dislokacije ne javljaju. Pri oblikovanju u stanju super plastičnosti nema pojave tekture, dok je poslije otpuštanja i rekristalizacije izražena. Otpuštanje i rekristalizacija se javljaju pri brzinama deformacije  $\dot{\epsilon}=10^{-1}-10^{-3} \text{ s}^{-1}$  i koeficijentom deformacionog ojačavanja  $m=0,15-0,25$  a super plastičnost pri  $\dot{\epsilon}=10^{-3}-10^{-1} \text{ s}^{-1}$  i  $m=0,3-0,8$ . Granično dozvoljeni stepen deformacije pri postojanju oporavljanja je 20-50%, a kod rekristalizacije 20-100%, dok se u stanju super plastičnosti može naći i u granicama 1000-5000% [42]. Oporavljanje i rekristalizacija se praktično ostvaruju u procesima oblikovanja gdje je čitava zapremina elementa pretežno izložena naprezanju na pritisak, dok se u stanju super plastičnosti pri obradi limova, mogu u pojedinim zonama pojaviti i znatni naponi na istezanje [42]. Usled rekristalizacije pri faznim prelazima uspjelo se postići, kod čeličnih komada, sumarno izduženje 100%. Struktura tih čelika je bila takva da je u procesu deformacije, na mjestima lokalizacije deformacije, austenit prelazio u martenzit. Tako je materijal brže deformaciono očvršćavao u lokalnim zonama, a samim tim produžavao stabilnost deformacije u zonama gdje je ostajao austenit, uz napomenu da se po pravilu ovakvi čelici ne podvrgavaju oblikovanju. Na sl.2 je data kriva super plastičnosti legure Zn-22%Al. Super plastičnost se najviše zapaža kod legura sitno zrnaste strukture, koji se koriste za dobijanje elemenata složenog oblika. Kod eutektoidne legure Bi-Zn se uspjelo dobiti izduženje 1950% [42].

Za metal koji se nalazi u stanju super plastičnosti karakteristična je sitno zrna struktura kod koje su dimenzije zrna 1-5  $\mu\text{m}$  i nikom slučaju ne prelaze 10  $\mu\text{m}$ . Super plastično stanje



Sl.2 Kriva super plastičnosti legura  
Zn - 22 % Al

može biti prisutno i kod takvih legura koje u normalnom stanju imaju krupno zrnastu strukturu, ali u određenom temperaturnom intervalu, između  $0,5 T_t$ , se usitne do navedenih dimenzija. Kod čistih metala i jednorodnih čvrstih rastvora dimenzije zrna zavise od brzine deformacije, i zato se u određenim temperaturno brzinskim uslovima velika većina od njih može naći u stanju super plastičnosti. U toku procesa oblikovanja temperaturno brzinski režim se mijenja kako po površini tako i po dubini presjeka, usled čega praktičnu primjenu nalaze samo one legure kod kojih se polazeći od njihovog hemijskog sastava i osobnosti dobijanja priprema stanje super plastičnosti može realizovati u relativno širokom intervalu temperature i brzine deformacije. Na sl.3 je data kontura oblikovanog komada tokom više procesa.



Sl.3. Kontura oblikovanog komada  
a-kovanje; b-pripremno oblikovanje; c-završno oblikovanje; d-precizno oblikovanje u stanju super plastičnosti

Pri deformaciji metala u stanju super

plastičnosti dimenzije zrna ostaju nepromijenjene, bez obzira na visoke stepene deformacije. Ispitivanja pokazuju da se u tim uslovima velika većina zrna ne podvrgavaju plastičnoj deformaciji, a oblikovanje komada se izvodi klizanjem po granicama zrna i njihovom rotacijom. Rezultat toga su znatni stepeni deformacije bez obrazovanja teksture, odnosno ako je materijal imao teksturu, tokom deformisanja ona je uništena. Takođe tokom procesa ne dolazi do razdvajanja zrna, bez obzira što su prisutna znatna klizanja i rotacije.

U stanju super plastičnosti javlja se neznatno kretanje dislokacija, a plastične deformacije se ostvaruju na granicama zrna ili u njihovoj blizini.

Dosadašnji radovi ukazuju na tri osnovna pokazatelja koji karakterišu stanje super plastičnosti:

1. Povećana osetljivost materijala u stanju super plastičnosti na promjenu brzine deformacije, odnosno njihova pojačana sklonost prema brzinskom očvršćavanju,
2. Izvanredno velika zaliha deformacione sposobnosti, što se ogleda u mogućnosti da se materijali mogu rastezati tako da izduženje može iznositi i nekoliko hiljada procenata, a da se ne razvije zona lokalne deformacije,
3. Napon tečenja je nekoliko puta manji u odnosu na materijale u plastičnom stanju.

Najuticajniji od ovih parametara je prvi, dok se ostali dobijaju kao posledica njegovog postojanja.

Super plastičnost metala i legura sa super malim zrnom ( $d \leq 10 \text{ m}$ ), kod kojih su dimenzije zrna jednake dimenziji blokova substrukture, koja je postojana pri datoj temperaturi se uobičajeno naziva strukturalnom ili izotermičkom super plastičnošću. Njena posebna odlika je zavisnost efekata super plastičnosti od dimenzije zrna, i skoro nepromijenjeno strukturalno stanje materijala u procesu deformacije. U super sitno zrnasto stanje legure se obično prevode predhodnom termičkom ili termomehaničkom obradom. Za ostvarenje strukturalne (izotermičke) super plastičnosti važno

je da zrna imaju približno osno simetričan oblik, i da im se dimenzije u procesu zagreva i deformacije bitnije ne mijenjaju. Najmanju sklonost prema rastu zrna imaju dvo fazne legure, zato se efekat super plastičnosti najčešće postiže kod legura eutektičkog i eutektoidnog sastava. Istina on se može javiti i kod jedno faznih legura ili čistih metala. U posljednje vrijeme sve se više govori o super plastičnosti spečenih praškastih materijala. Pri odgovarajućem izboru dimenzija čestica praška koji se peče, moguće je dobiti super sitno zrnaste materijale s postojanim dimenzijama zrna, čiji porast sprečava oksidna skrampa na njihovoj površini. Pod strukturnom se može podrazumijevati i super plastičnost izvjesnih legura koje imaju polaznu krupno zrnastu strukturu kod koje se poslije male početne deformacije u određenom temperaturno brzinskom režimu razvija sub struktura, čiji se blokovi, usled povećane razorjentacije, koja je izazvana uzastopnom deformacijom, pretvaraju u super sitna zrna. Tako se ponašaju neke legure titana.

Temperaturni interval postojanja strukturne super plastičnosti je relativno širok, i različit za razne metale i legure. Nalazi se u granicama od početka temperature rekristalizacije  $T=0,4T_p$  pa do temperature koja je bližnja temperaturi topljenja  $T_f$ . Donja granica temperaturnog intervala uslovljena je ulogom difuzionih procesa u mehanizmu deformacije super sitno zrnastih super plastičnih materijala, a gornja granica odgovara temperaturi početka totalne rekristalizacije, čija granica je početak intenzivnog rasta zrna. Kod strukturne super plastičnosti se temperatura mora po čitavoj zapremini održavati konstantnom, radi ravnomjernog tečenja metala, zbog čega se ona još naziva i izotermičkom.

Za razliku od strukturne super plastičnosti kod super plastičnosti faznih pretvaranja karakteristična je stalna promjena faznog sastava i strukture materijala u procesu deformisanja.

Super plastičnost faznih promjena (pretvaranja) može biti realizovana pri različitim temperaturnim režimima: u procesu monotono

promjenljive temperature, koja prolazi kroz interval direktnog (pri zagreву) ili obratnog (pri hlađenju) pretvaranja; Pri termo cikliranju u granicama temperaturne amplitude, koja uključuje interval temperatura pretvaranja i pri fiksiranoj temperaturi u blizini temperaturnog intervala pretvaranja. Tako se temperatura deformisanog materijala, isto kao i njegova struktura, znatno mijenjaju pri deformaciji u režimu super plastičnosti, koje su uslovljene faznim promjenama [63]. Visoki stepeni oblikovanja komada iz legura koje su sposobne za alotropske modifikacije, postižu se tokom ponovnog opterećenja, poslije izvršene alotropske modifikacije, kako je to slučaj sa čelikom, titanom i uranom [42]. Pri tome se komad na početku zagrijava do temperature prve niske temperaturne faze i izvodi njegovo oblikovanje, dok se ne pojavi zona lokalizacije deformacije. Potom se komad zagrijava, usled čega dolazi do fazne promjene i rekristalizaciju, te ponovo izvodi oblikovanje. Tako je kod eutektoidnog čelika dobijeno sumarno izduženje 40%.

Najlakši i najčešće korišteni metod za dobijanje komada koji se mogu deformisati u stanju super plastičnosti je livenje zamrzivanjem. Naime se dobija sitno zrnasta eutektoidna struktura, kod koje se u krajnjoj mjeri jedna faza javlja super plastičnom (druga se javlja kao inter metalističko zapunjenje). Na taj način se dobija eutektoid Pb-Zn i Al-Zn, gdje se kod prvog postiže ( $m=0,7$ ) izduženje 4850%.

Drugi način dobijanja sitno zrnaste strukture se izvodi termo mehaničkom obradom pri  $T>0,5T_f$ . On se primjenjuje za legure koje u tom temperaturnom intervalu imaju dvofaznu strukturu,

kao što su legure titan-aluminijum-vanadijuma i nerđajući čelici [42].

Nerđajući čelici koje je moguće prevesti u stanje super plastičnosti imaju dvo faznu strukturu koja se sastoji od približno 50% austenita i 50% ferita [45]. Oni se rade u stanju super plastičnosti na temperaturi od 1000°C dok se kod 800°C vraćaju u svoje obično stanje. Kod njih stepeni deformacije mogu i nositi do 500%, a praktično se koriste do 200%, sa tim da je stanje zida moguće i do 80% [45].

Treći način ostvarenja sitno zrnaste struk-

ture je njeno fiksiranje i primjenjuje se kod tvrdih rastvora koji nemaju alotropskih pretvaranja. On se sastoji u tome da se sitno zrnasta struktura koja je dobijena kao rezultat termo mehaničke obrade fiksira nakupljanjem po granicama zrna malih čestica inter metalne faze, koje sprečavaju njihovo objedinjavanje. Tako je dobijen tvrdi rastvor Al-Cu u kojem dodatak od 0,4% Zn služi za fiksiranje tanko disperzne strukture. Jedna od varijanti ovog načina se koristi u metalurgiji praha, gdje se rastopina osnovne kompozicije razliva do čestica čije su dimenzije vrlo male, atomskog reda, i brzo hladi. Tako dobijeni sitno disperzioni prašak se presuje na temperaturama koje su nešto niže od temperature rekristalizacije. Temperatura pri presovanju dozvoljava da počne rekristalizacija, a da se pri tom sačuva veoma sitna zrnasta struktura. Tako dobijeni elementi se mogu podvrgnuti oblikovanju u stanju superplastičnosti, sa tim da se naknadno termički obrade radi povećanja zrna i otpora pužanju [42].

Pri obradi u stanju superplastičnosti moguća je pojava pora koje prerastaju u pukotine, što snižava granični stepen deformacije. Pore se obrazuju pri deformaciji takvih legura (bakra, nikla i sl.) koje pucaju pri pužanju. One se javljaju i pri deformaciji takvih legura u čiji se stav, radi fiksiranja disperziono sitne strukture uvode dodaci koji se ne deformišu pri usvojenim brzinama i stepenima deformacije. Nadjeno je da je oblik pukotina uslovljen mehanizmom njihovog rasta i brzinom deformacije. Njihov rast se objašnjava difuzijom atoma u odgovarajuće praznine rešetke, usled čega se one povećavaju, posebno pri malim  $\dot{\epsilon}$ . Pravac pukotina je paralelan pravcu dejstva napona.

Kod nekih legura dolazi do obrazovanja pukotina između superplastične i nerastvorne tvrde faze, što neosporno dovodi do pre vremena kidanja.

Oblikovanje u stanju superplastičnosti se po pravilu izvodi u jednoj operaciji, dok se u dva prolaza rade elementi koji se koriste u avio, raketnoj i kosmičkoj industriji [43].

Kod oblikovanja komada u stanju superplastičnosti nema zaostalih napona, što skoro sa svim isključuje njihovo elastično povraćanje, koje

ne iznosi više od 0,1%, te utiče na povećanu tačnost izradka [44].

Pri deformisanju u toplom stanju u području plastičnosti alat se zagrejava na temperaturu koja je osjetno niža od radne temperature komada. Proces se potom izvodi relativno brzo da se komad ne bi ohladio. To uslovljava veći specifični deformacioni otpor. Da bi se to izbjeglo za alate se koriste takvi radni materijali koji dozvoljavaju da se temperatura alata izjednači sa temperaturom komada tako da se proces odvija izotermički, što je potrebno i kod oblikovanja u stanju superplastičnosti.

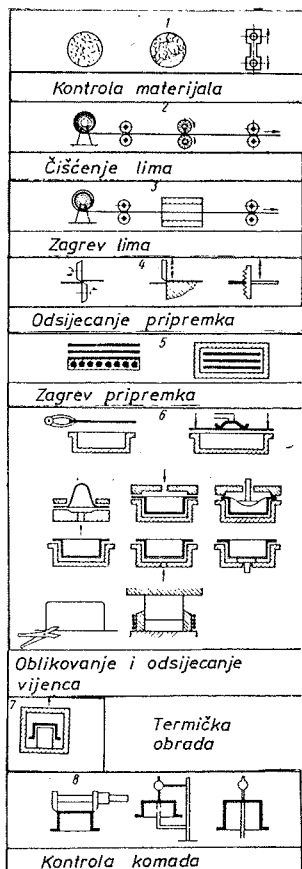
Kod oblikovanja u stanju superplastičnosti radni djelovi alata se rade od aluminijumskih legura i livenog gvoždja, dok se pri izotermičkom oblikovanju radni djelovi alata rade od vrlo otpornih čelika na osnovama nikla ili molibdena, tako se u posljednje vrijeme uvode i keramički materijali kao što su nitridi i karbidi silicijuma. Pri radu je najveći problem vakumiranje alata [V].

Osnovni načini deformisanja priprema u stanju superplastičnosti su reljefno oblikovanje limova i zapreminsko izotermičko oblikovanje. Limovi se uobičajeno oblikuju pod pritiskom gasa, sa tim da su po obodu dobro pričvršćeni tako da se vijenac ne deformiše, već se izvodi oblikovanje samo onog dijela obradka koji je unutar alata i nalazi se pod direktnim pritiskom gasa. U zavisnosti od oblika, dimenzija i režima oblikovanja dolazi do neravnomjernog stanjenja debljine. U istom alatu je moguće raditi komade od lima različite debljine. Moguće je raditi veoma složene detalje, kao što su oni kod kojih su nagibi strana 2-3°, sa radiusima zaobljenja 3-5 puta većim od debljine lima. Radni pritisak gasa obično ne prelazi 10 bara. Na izradku nema površinskih grešaka koje se javljaju pri deformisanju čvrstim alatima. Tipična šema tehnološkog procesa je data na sl. 4.

Oblikovanje metala u stanju superplastičnosti ima svojih preimущества i nedostataka od kojih se neki navode.

Osnovna preimущества su:

- Usled povećane sposobnosti materijala prema



Sl.4. Šema tehnološkog procesa oblikovanja lima u stanju super plastičnosti

oblikovanju broj operacija neophodnih za izradu detalja svodi se na minimum, dok se velika većina njih oblikuje u jednoj operaciji,

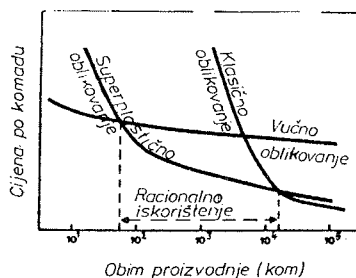
-Jako se povećava ekonomska efektivnost procesa zbog smanjenja gubitka materijala, smanjenja korištenja radne snage, korištenja jeftinijeg i prostijeg radnog alata, kao i zbog smanjenja potrošnje energije,

- Temperatura termičke obrade komada koji su oblikovani u stanju super plastičnosti je niža od temperature pri klasičnom postupku oblikovanja, a sitno zrnasta struktura poboljšava plastičnost, statičku i dinamičku otpornost dobijenih komada. Osnovni nedostaci su:

-Obrazovana sitno zrnasta struktura izradka ima malu otpornost na puzanje, a za njeno povećanje potrebna je specijalna termička obrada,

- Mala brzina deformacije obradka uslovljava da je ovaj postupak racionalno primjenljiv samo kod sitno i srednje serijske proizvodnje.

Oblast racionalnog korištenja procesa je data na sl.5. Obim proizvodnje je pri obli-



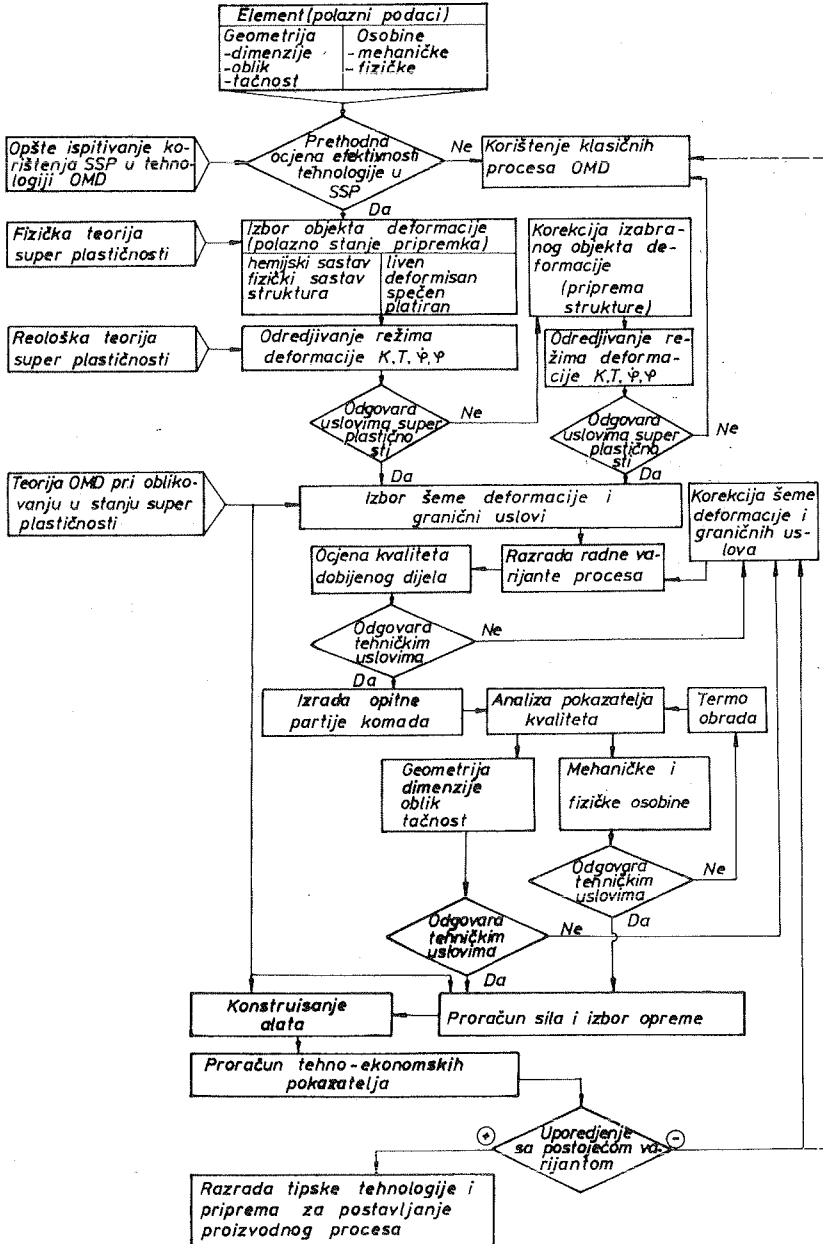
Sl.5 Oblast racionalnog irkorištenja stanja super plastičnosti

kovanju u stanju super-plastičnosti 20-40 puta niži nego kod jedno operacijskog klasičnog postupka. Troškovi proizvodnje aluminijuma su za 40% veći nego troškovi proizvodnje čelika, dok su detalji dobijeni od aluminijuma za 20% jeftiniji od odgovarajućih detalja dobijenih od čelika, ukoliko se rade obradom deformisanjem. Oblast racionalne primjene postupka oblikovanja u stanju super plastičnosti je na nivou 50 do 10000 kom. Ako je oblik komada složeniji gornja granica se povećava.

Na sl.6 je data šema algoritma razrade tipskog tehnološkog procesa pri oblikovanju u stanju super plastičnosti.

Glavno ekonomsko preimućstvo procesa oblikovanja u stanju super plastičnosti je cijena alata koja je znatno niža nego kod klasičnog načina oblikovanja. Alati za izotermičko oblikovanje su nekoliko puta skuplji od klasičnih

Najveći uticaj na povećanje efektivnosti procesa reljefnog oblikovanja pokazuje dimenzija zrna. U izvjesnim slučajevima je sa smanjenjem dimenzija zrna 4 puta povećana brzina deformacije u stanju super plastičnosti i do 100 puta. Kod visoko ugljeničnih čelika sma-



Sl.6. Šema algoritma razrade tipskog tehnološkog procesa pri oblikovanju u stanju super plastičnosti

njenje dimenzija zrna od 0,2 na 0,04  $\mu\text{m}$  omogućilo je povećanje dozvoljene brzine deformacije i do 1000 puta.

Dalja istraživanja nastoje proširiti oblast praktičnog korištenja stanja super plastičnosti. Nastoji se povećati dijapazon brzina od  $10^{-4}$  -  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  do  $10^{-1}$  -  $1 \text{ s}^{-1}$ , koje se po pravilu mogu ostvariti na postojećoj opremi. Dalje se nastoji maksimalno povećati eksponent brzinskog očvršćavanja  $m$  i smanjiti dijаметar zrna  $d$ , uz povećanje dijela atoma koji difunduju kroz granice zrna ( $p=3$ ). Temperatura deformacije treba da je optimalna, tako da omogućiti povećanje brzinskog koeficijenta očvršćavanja  $m$  bez povećanja dimenzija zrna.

Široka primjena obrade deformisanjem u stanju super plastičnosti nije obezbijedjena u dovoljnoj mjeri u realnim radnim procesima zato što još uvijek nisu istraženi osnovni radni parametri pri kojima se proces odvija. Nijesu izučena osnovna stanja super plastičnih materijala, kao ni uticaj stanja uloška na naponsko deformaciono stanje zone deformacije, koje utiče na energetske parametre, karakter tečenja uloška i oblikovanje kvalitetnog gotovog proizvoda.

#### 4. Literatura

1. Doege E.: Stand und Tendenzen in der Umformtechnik., "VDI-Z", 1981, 123, N<sup>o</sup>10, 385-394.
2. Semiatin S.L., Lahoti G.: The forging of metals., "Sci. Amer.", 1981, 245, N<sup>o</sup>2, 82-90
3. Gibbins M.D.: Production of aluminium alloy drop forgings—a bright future. "Metallurgia" 1981, 48, N<sup>o</sup>7, 303-304, 306-307.
4. Doege E., Witthüser K.P., Mohagheghi D., Strackerjahn W.: Heutiger Stand zur Erfassung der übergeordneten Einflüsse beim Tiefziehen. "VDI-Ber.", 1978, N<sup>o</sup>330, 12-26.
5. Mamalis A.G.: Gegenwärtige Entwicklungstendenzen auf dem Gebiet der Blechumformung., "VDI-Ber", 1978, No 336, 104-110.
6. Buchinger P.: Current trends in cold, warm and hot forming cut costs while increasing production. "3-rd Semin. Effect. Metal Form. and Mach. Pretoria, 3 Nov. 1981, Pap". S.I.s.a. 1-8.
7. Wirtschaftliches Kaltmassivumformen. "Techn. Zbl.prakt. Metallbearb". 1982, 76, N<sup>o</sup>10, 51-56.
8. Kudo H.: An attempt for classification of metal forming operations. "CIRP Ann". 1980, 29, No2, 469-476
9. Gunasekera J.S., Gegel H.L., Malas J.C. Doraivelu S.M., Morgan J.T., Altan T.: Computer-aided process modelling of hot forging and extrusion of aluminum alloys. "CIRP Ann" 1982, 31, No1, 131-135.
10. Wlang Z.R., Li S.D., Liu L.J.: On the division of stress states on the yield locus and correspondence between the regions on the yield locus and the size variation of workpieces during metal forming. "SME Manuf. Eng. Trans. Vol 9: 9th North Amer. Manuf. Res. Conf. Proc., University Park, Pa, May 19-22, 1981", Dearborn, Mich, 1981, 120-124.
11. Hilbert H.L.: Werkzeugkonstruktionen in der Blechverarbeitung. Stand der Technik und Entwicklungstendenzen. "Blech Rohre Profile", 1980, 27, No10, 699-704.
12. Feldmann H.D.: Neure Entwicklungen in der Blechbearbeitung. "Techn. zbl. prakt. Metallbearb". 1980, 74, No10, 79-84.
13. Croom E.A.G.: Progress in forging. "Hot Working and Form. Process. Proc. Int. Conf. Sheffield 1979". London, 1980, 193-195,
14. Narciniak Z.: Sheet metal forming limits. "Mech. Sheet Metal Forming Mater. Behav. and Deformation Anal. Proc. Symp., Warren, Mich., 1977". New York - London, 1978, 215-233.
15. Feldmann H.D.: Fachgebiete in Jahresübersichten; Kaltmassivumformung. "VDI-Z", 1981, 123, N<sup>o</sup>1-2, 41-54
16. Lange K., Kling E.: Stand und Entwicklung der Kaltmassivumformung. T.I., "Draht", 1981, 32, N<sup>o</sup>1, 25-30.
17. Hirsig H.: Das Warm/Kalt Umformverfahren Umformtechnik - Vorführwoche. "Draht", 1980, 31, N<sup>o</sup>12, 900-901.
18. Radtke H.: Blechbearbeitung. "VDI-Z", 1980, 122, N<sup>o</sup>20, 901-908.

19. Kirkness D.K., May M.: Forgings. "Metals Austral", 1979, 11, N<sup>0</sup>3, 13-16.
20. Grzeskowiak J.: Possibility on cold and warm rotary forging of gears. "Proc. 18th Int. Mach Tool Des. and Res. Conf. London, 1977". London-Basingstoke, 1978, 290-296.
21. Hirschvogel M.: Sonderver-fahren der Kaltmassivumformung. "Werkstatt und Betr" 1979, 112, N<sup>0</sup>10, 721-726.
22. Groom E.A.G.: The relevance of newprecision forming methods to the forming industry. 9th Int.Drop.Forg.Conv., Kyoto, Oct. 1977.
23. Mages W.J.: Präzisionsschmieden. "Werkstattstechnik", 1979, 69, N<sup>0</sup>9, 541-549.
24. Mamalis A.G., Johnson, W., Marcziński H.J.: A Current st review of the warm-working of metals. "Proc 18th Int. Mach. Tool Des Und Res. Conf., London, 1977, "London-Basingstoke, 1978, 173-182.
25. Subramanian T.L., Altan T.: A practical method for estimating forging loads with the use of a programmable calculator. "Appl.Metalwork", 1980, 1, N<sup>0</sup>2, 60-68.
26. Weissmann G., Hammersen H.: Präzisionsschmieden-die wirtschaftliche Herstellung von einbaufertigen Verzahnungen und komplexen Formelementen. "Automob. Ind." 1982, 27,N<sup>0</sup>2, 197-294.
27. Bensmann G., Lindigkeit J., Ziegler W.: Möglichkeiten und weiterentwicklung des hydromechanischen Tiefziehens., "Werkstatt Und Betr. +, 1981, 114, N<sup>0</sup>9, 679-685.
28. Reissner J., Hora P., Matthias E.: Hydro-mechanical deep drawing., "CIRP Ann", 1981, 30, N<sup>0</sup>1, 207-210.
29. Herold U.: Hydromechanisches Tiefziehen ergibt genauere Formen und Maße. "Bänder Bleche Rohrc", 1981, 22, N<sup>0</sup>3, 45-49.
30. Mellov P.B.: Sheet metal forming. "Int. Metals Rev", 1981, 26, N<sup>0</sup>1, 1-20.
31. Younger A.: Trends in automatic spinning. "Cheet Metal Ind.", 1981, 58, N<sup>0</sup>7, 505-509, 511-522.
32. Page M.: Metalforming Review. "Iron Age Metal-Work.Int." 1981,20,N<sup>0</sup>2, 33-35, 38-40.
33. Hemingway T., Middleton A.E., Hanison R.H.: Development in opendie forging equipment. "Hot Working and Forming Processes. Proc. Int. Conf. Sheffield, 1979", London, 1980, 209-211.
34. Prudic L.V.: Schmiedepressen, Neuentwicklungen, stand und Technik."Berg-und Hüttenmänn". Monatsh., 179, 124, N<sup>0</sup>5, 221-228.
35. Haller H.W.: Automatisieren des warmmassivumformens. T.2. "Werkstatt technik", 1980, 70, N<sup>0</sup>10, 631-634.
36. Booth Douglas E.: Robots-their use in metal stapning. P.1. "Sheet Metal Ind." 1981, 58, N<sup>0</sup>11, 875-885.
37. Roll K., Lange K.: Comparison of different numerical methods for the calculation of metal forming processes. CIRP Ann" 1979, 28, N<sup>0</sup>1, 141-146.
38. Tsuchiya H., Inoue T., Mori Y.: Generation and propagation of pressure wave by spark discharge in liquid. "CIRP Ann" 1982, 31, N<sup>0</sup>1, 107-110.
39. Avitzur B., Ache L.: Energie consideration in the forging industry., "SME Manuf.Eng.Trans. Vol 9: 9th North Amer. Manuf.Res.Conf.Proc. University Park, Pa, May 19-22, 1981 "Dearborn, Mich., 1981, 170-177.
40. Courdille R.: Le chauffage avant formage des metaux ferreux. L`application. Les procedes electiques. L`induction. "Metaux deform", 1979, N<sup>0</sup>56 49-58.
41. Severin H.: Induktive Erwärmung in der Schmiede. "Werkstatt un Betr" 1980, 113, N<sup>0</sup>5, 299-301.
42. Brook G.B.: Superplastic forming of metallic materials. P.1, P.2, P.3, "Scheet Metal Ing." 1981, 58-N<sup>0</sup>8, 576-582; N<sup>0</sup>10, 801-809; N<sup>0</sup>11, 887-891.
43. Sawie R.: Commercial aspects of superplasticity, "Metallurgia", 1979, 46, N<sup>0</sup>10, 621-627.
44. Eicher A.J.: Fertigenkomplexer Formstücke in kleinen und mittleren Serien aus superplastischen Aluminium. "Werkstattund Betr". 1981, 11, N<sup>0</sup>10, 715-718.



45. Comley P.N.: A process for superplastic deformation of stainless steel sheet. "Sheet Metal Ind." 1979, 56, N<sup>o</sup>1, 12-14.
46. Schröder G.: Isothermes und Superplastisches Umformen beim Gesenkschmieden. "Werkstat und Betr". 1980, 113, N<sup>o</sup>11, 765-770.
47. Wong N.K., Arkin B.H., Roberts W.T., Wilson D.V.: The formability of steel sheets at moderately elevated temperatures. "Mem. sci. Rev. met." 1980, 77, N<sup>o</sup>3, 413-422.
48. Maier J., Jagode K.: Eigenschaften von Aluminiumlegierungen zum Kaltfließpressen. "Werkstattstechnik"
49. Lange K., Gleich M.: Forming of aluminium alloys for autobody components. "Mem. sci. Rev. met", 1980, 77, N<sup>o</sup>3, 373-381.
50. Meyer-nolkemper H.: Gesenkschmieden von Aluminiumwerkstoffen, T.III, T.IV, T.V, T.VI, T.VII, T.VIII, Aluminium (BRD), 1979, 55, N<sup>o</sup>5, 348-351; N<sup>o</sup>6, 412-415; N<sup>o</sup>8, 541-545; N<sup>o</sup>9, 607-608; N<sup>o</sup>10, 671-673, N<sup>o</sup>11, 739-741.
51. Brungs D., Raas F.: Gestalten von Aluminium. "Blech-Rohre-Profil", 1982; 29, N<sup>o</sup>7/8, 303-306.
52. Misiolek Z.: Untersuchungen der Verfahren der plastischen Verformung Von Metallen. "Blech-Rohre-Profil". 1980, 27, N<sup>o</sup>2, 82-85.
53. Falkenstein H.P.: Formability of aluminium alloys for deep end stretch forming parts. "Mem. sci. Rev. met". 1980, 77, N<sup>o</sup>3, 383-389.
54. automatic hot forged increased capacity, capability. "Automat.Mech". 1980, 41, N<sup>o</sup>8, 48-50.
55. Ragob A.R.: Producing superplastic tubular tee-joints by thermo forming. "Proc. 21 st. Int. Mach. Tool Des. and Res. conf., Swansea, 1980". London-Basingstoke, 1981, 223-229.
56. Bhattacharyya S., Kulkasni K.M.: Development of high strength aluminium P/M isothermally forged component. "P/M 78. 5-th Fur. Symp. Powder. Met.", Stockholm, 1978, Prepr. Vol.1. Chap.1-3.
57. Drabing G.: Practical forging die design. "Tooling and Prod". 1980, 46, N<sup>o</sup>7, 82-84.
58. Eymann K.: Stute-Schlamme W.: Belastung und beanspruchungsgerechte Gestaltung von Gesenken. "Ind. Anz". 1980, 102, N<sup>o</sup>73, 71-74.
59. Bannier P., Graf V.D.: Rationalisierungslösungen in der Blechumformung. "Blech-Rohre-Profil". 1982, 29, N<sup>o</sup>11, 521-524.
60. Leykamm H.: Beitrag zur Arbeitsgenauigkeit das Kaltmassivumformens". Ber. Inst. Umformtechn. Univ. Stuttgart". 1980, N<sup>o</sup>57, 1-165.
61. Mullineux G., Knight W.A.: Intergrafed CAD/CAM of dies for hot forgings. "Proc. 21 st. Int. Mach. Tool Des. and Res. Conf. Swansea 1980". London-Basingstoke, 1981, 593-602.
62. Arnold W., Kübert M.: NC in der Umformtechnik. "Werkstatt und Betr.", 1980, 113, N<sup>o</sup>8, 547-558.
63. Smirnov O.M.: Obrabotka metalov davleniem V sostojanii sverhplastičnosti. "Mašinstroenie" Moskva 1979,
64. Fujimori N.: New process of cold forming with combined forces of static compression and impulsive pulsating torsion of circular cylinders made of commercially pure aluminium. "Rep. Castings Res. Lab. Waseda Univ.", 1980, N<sup>o</sup>31, 31-41



Vladimir Milačić\*)

## INDUSTRIJSKI ROBOTI I MANIPULATORI

### 1. UVOD

Industrijski roboti nesumnjivo predstavljaju jedan od najsloženijih inženjerskih proizvoda koje je do danas čovek izmislio. Simbioza fizičkih jedinica i artifičijelnog intelekta čini još čudesnijim ovaj proizvod ljudskog uma i ruku.

Čovek je krenuo iz manufakture da bi danas već značajno zakoračio u doba robotofakture.

Ove konstatacije sugerišu složenost kao i duboku naučnu i tehnološku sadržinu oblasti robota i robotizacionih procesa.

Autor je svestan brojnih ograničenja u pisanju ovog uvodnog referata za Savetovanje o proizvodnom mašinstvu, ali je pokušao da koncizno iznese neke od sadržaja ali i svoje gledanje na ovu oblast.

Ukupna problematika je podeljena na sledeća poglavlja:

1. Klasifikacija i osnovne definicije robota
2. Stanje i perspektiva razvoja industrijskih robota
3. Osnovi teorije industrijskih robota
4. Automatsko projektovanje industrijskih robota
5. Fabrike budućnosti i roboti

### 2. KLASIFIKACIJA I OSNOVNE DEFINICIJE ROBOTA

Roboti se mogu smatrati novom klasom tehničkih sistema "koji mogu a ne moraju da imaju spoljnu sličnost sa čovekom ali u svom funkcionisanju u nekoj meri izvode funkcije kretanja i intelektualne funkcije čoveka" /11/. Medjutim, ono što je još važnije je da se radi o tehničkim sistemima koji na principijelno novom nivou rešavaju pitanje mehanizacije i automatizacije raznih fizičkih i misaonih radnji. Ovako široko shvaćen robot kao simbioza fizičkih i umnih radnji, čime se vrši dalja i dublja preraspodela posla između čoveka i njegove veštačke tvorevine - mašine, ukazuje na postojanje širokog spektra klasa robota. Tablica 1 koja je preuzeta iz /11/ daje pet osnovnih klasa robota. za nas je od posebnog interesa klasa A - manipulacioni roboti. Manipulacioni roboti imaju sposobnost izvođenja funkcije čovekovih

ruku u nekom prostoru rada. Ovu klasu čine tri tipa:

- . automatski manipulacioni roboti,
- . biotehnički manipulacioni roboti, i
- . interaktivni manipulacioni roboti.

Osnovna razlika između ova tri tipa robota je u sistemu sprežavanja rada robota i čoveka. Prvi tip je samostalan sistem gde čovek ne učestvuje. Biotehnički manipulacioni roboti rade samo u sprezi sa čovekom, dok interaktivni manipulacioni roboti po pravilu imaju dva režima rada i to automatski i spregnuto sa čovekom. Ovo se vidi i iz dalje klasifikacije na određene vrste.

Još jednu karakteristiku ovde treba istaći. To je nivo veštačke inteligencije pojedinih tipova i vrsta robota unutar jedne klase ili pak između klasa. Razvoj je naročito intenzivanu pravcu ugradnje veštačke inteligencije u ove tehničke sisteme. Neki zadaci koji predstavljaju veštačku inteligenciju koje klasa manipulacionih robota rešava biće kasnije navedeni.

U cilju preciznog definisanja naučnog i (inženjerskog) tehnološkog prostora za analizu i projektovanje industrijskih robota daje se prethodno osnovna klasifikacija i neke definicije koje je ISO - grubo predložila novembra 1982. godine u Ženevi na Ad hoc sastanku za proučavanje proizvodnje i korišćenje industrijskih robota.

Industrijski robot je definisan kao:

... multifunkcionalni (višefunkcionalni) manipulator kod koga je automatski upravljani položaj sa mogućnošću reprogramiranja, koji ima nekoliko osa, i ima mogućnost rukovanja materijalom, delovima, alatima ili specijalnim uređajima kroz različito programiranje operacija u cilju izvođenja različitih zadataka...

Industrijski roboti na poslednjem članku imaju završetak sa jednom ili više ruku. Upravljačka jedinica koristi memoriski uređaj a neke imaju senzorski ili adaptorski uređaj koji uzimaju u obzir okruženje i uslove rada. Ove višenamenske mašine su projektovane za izvođenje repetitivnih funkcija i mogu da se prilagode za druge funkcije bez stalne promene uređajaja.

Raznovrsnost dosadašnjih rešenja, s obzirom na

Tablica 1.

KLASA	T I P	VRSTA
A. MANIPULACIONI	I. Automatski	1. Programirani (prva generacija) 2. Adaptivni (druga generacija) 3. Intelektualni (treća generacija)
	II. Biotehnički	1. Komandni 2. Kopirni 3. Poluautomatski
	III. Interaktivni	1. Automatizovani 2. Supervajzorski (nadgledanje) 3. Dijalogni
B. LOKOMOCIONI	I. Antromorfni	1. Programirani 2. Biotehnički 3. Intelektualni
	II. Samohodi	1. Programirani 2. Adaptivni 3. Intelektualni
	III. Egzoskeletni	1. Otvoreni 2. Skafandarski
C. INFORMACIONI	I. Istraživači	1. Neprekidni 2. Sakupljački 3. Adaptivni
	II. Tragači	1. Kontaktni 2. Daljinski pasivni 3. Daljinski aktivni
	III. Odredjivači	1. Kontaktni 2. Daljinski pasivni 3. Daljinski aktivni
D. STVARALAČKO -IGRAČKI	I. Projektanti	1. Programirani 2. Interaktivni 3. Intelektualni
	II. Igrači	1. Pozicione igre 2. Dinamičke igre 3. Odredjivanje efektivnosti sistema i mere
	III. Kompozicioni	1. Automatski prevodilac 2. Referent, bibliograf, kasir 3. Kompozitor, pesnik
E. KOMPLEKSNI	I. Manipulaciono-informacioni	1. Programirani 2. Biotehnički 3. Intelektualni
	II. Mobilni manipulacioni	1. Programirani 2. Biotehnički 3. Intelektualni
	III. Kompleksi raznih robota	1. Programirani 2. Biotehnički 3. Intelektualni

funkcije za koje su projektovani kao i način na koji su izvedena, otežava klasifikaciju industrijskih robota. Sama definicija, ako se dovoljno tačno sprovede, daje mogućnost da se podje od opšte klase uređaja koji sa elementima koji su pokretni u nekom prostoru (zvaćemo ih pokretni uređaji). Ako se kao kriterijumi za klasifikaciju usvoje:

- . funkcionalna verzatilnost,
- . specificiranje kretanja, i
- . korišćenje programa,

dobijaju se tri klase uređaja. Prvu klasu čine manipulacioni kao uređaji koji se ko-

riste za poslove manipulacije materijala na bazi ručnog upravljanja kretanjem. U ovu grupu spadaju i teleoperatori koji su na daljinu upravljani manipulatori. "Pick and Place" (uzmi i postavi) jedinice kao automatizovani pokretni uređaji spadaju u drugu klasu. Kretanje se ostvaruje sekvencijalnim komandama preko fiksnog programa koji ne može da se modifikuje bez fizičkih intervencija. Ovi uređaji imaju hvataljke i uglavnom se koriste za rukovanje materijalom.

Treću klasu čine industrijski roboti. Kretanja

koja su rezultat sekvencijalnih komandi su programirana i mogu da se modifikuju bez fizičkih intervencija a upravljaju se preko senzorske povratne veze. Industrijski roboti su opremljeni hvataljkama, alatima ili drugim proizvodnim uredjajima i mogu da obavljaju rukovanje materijalom ili tehnološke zadatke. Klasu industrijskih robota je moguće podeliti u tri podklase robota. Prvu podklasu čine industrijski roboti bez mogućnosti modifikacije programa. To znači da modifikacije postojećeg uzorka (toterne) kretanja predpostavlja novi program ili reprogramiranje. Druga podklasa su industrijski roboti sa automatskim izborom programa. Uz pomoć spoljnog signala (npr. granični prekidači ili svetlosni graničnici) različiti programi kretanja se automatski pozivaju iz memorije. Industrijski roboti sa automatskim prilagodjavanjem (adaptacijom) programa čine treću podklasu. Programirani uzorci kretanja se automatski prilagodjavaju promeni okruženja ili tehnološkim uslovima. Ovo se ostvaruje primenom odgovarajućih senzora koji primaju kompleksne informacije iz radnih uslova koje transformišu u upravljački signal da modifikuje uzorak kretanja.

Navedena klasifikacija je detaljno prikazana na slici 1.

Predmet daljih razmatranja se odnosi na sisteme sa programabilnom logikom (podklase označene na slici 1 sa duplom linijom).

Osnovna struktura industrijskog robota data je na slici 2. Prostor industrijskog robota podeljen je na tri celine:

- . upravljačku jedinicu robota (UJR),
- . objekti upravljanja (OU), i
- . okruženje sa tehnološkom opremom i tehnološkim procesima.

Fizički (hardware) upravljačka jedinica robota - hardware sastoji se iz: pulta za upravljanje (PU), procesora računara gde se izvode operacije vezane za algoritam rada (P), memorije računara sa potrebnim podacima (ME) kao i jedinice za upravljanje pogonima manipulatora robota i lokomocionog sistema (UP). Ovde je uključena i senzorska grupa (S) koja preko povratne veze vrši upravljanje na bazi stanja u okruženju i tehnološkom prostoru.

Objekti upravljanja su složeni aktivni prostorni mehanizmi koje nazivamo manipulator u užem smislu (to je ustvari mehanička ruka robota) kao i lokomocioni sistem za pokretanje ukupne konfiguracije robota.

Navedena struktura može da bude realizovana na različite načine, tako da je moguće formirati klasifikaciju industrijskih robota na bazi sledećih karakteristika:

- . glavnog energetskog izvora,
- . upravljanja kretanjem,
- . metoda programiranja, i
- . interakcije senzora.

Glavni energetski izvor izvodi se kao pneumatski, hidraulični ili električni.

Sistemi na bazi upravljanja kretanjem mogu da se klasifikuju u dve osnovne grupe:

- . upravljanje tačka po tačka (PTP), i
- . upravljanje po konturi (CP).

Sistemi kod kojih je upravljanje tačka po tačka izvode se kao:

- . mehaničko upravljanje tačka po tačka
- . kontinualno upravljanje tačka po tačka,
- . kontinualno upravljanje tačka po tačka i upravljanje brzinom.

Mehaničko upravljanje tačka po tačka obezbeđuje da svako upravljanje kretanje se izvodi između mehanički podešenih položaja; kretanja duž različitih osa nisu međusobno povezana i mogu da se izvode istovremeno ili redosledno, dok brzine nisu specificirane sa ulaznim podacima.

Kontinualno upravljanje tačka po tačka se ostvaruje za svako upravljanje kretanje a izvodi saglasno sa instrukcijama koje specificiraju samo naredni zahtevan položaj; kretanja duž osa nisu povezana i mogu se izvoditi istovremeno ili redosledno; dok brzina nije specificirana sa ulaznim podacima.

Kontinualno upravljanje tačka po tačka i upravljanje brzinom se vrši tako što za svako kretanje instrukcija obuhvata naredni položaj i potrebnu brzinu do tog položaja; upravljana kretanja duž osa nisu međusobno povezana; i upravljana kretanja su paralelna osama mašine.

Upravljanje po konturi se izvodi tako da dva ili više upravljana kretanja se izvode sa instrukcijama koje daju naredni položaj i potrebne brzine za te položaje; kao i brzine se menjaju jedna u odnosu na drugu da bi se generisala željena kontura.

Ova klasifikacija je saglasna klasifikaciji sistema za numeričko upravljanje kod mašina alatki.

Klasifikacija sistema na bazi metoda programiranja obuhvata:

- . programiranje na bazi varijabilne sekvence i mehaničko podešavanje položaja osa,
- . obučavanje u programiranju,
- . off-line programiranje.

Obučavanje u programiranju može da se izvodi:

- . ručnim vođenjem ruke robota,
- . vođenjem simulacionog uredjaja, i
- . ručnim upravljanjem jedinicom za programiranje.

Na slici 3 je prikazan primer vođenja simulacionog uredjaja koji kao analogni mehanički računar vrši preko mehaničkog kopiranja zadanje položaja izvršnom organu.

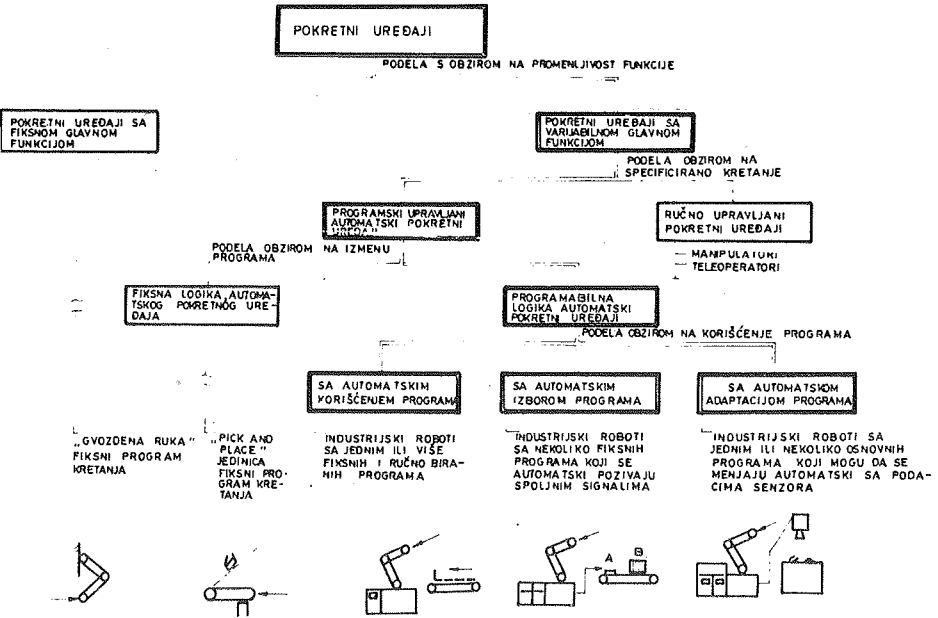
Neka je  $S$  vektor parametara hvataljke a vektor generalisanih koordinata mehanizma  $q$  takod da je:

$$S = F(q)$$

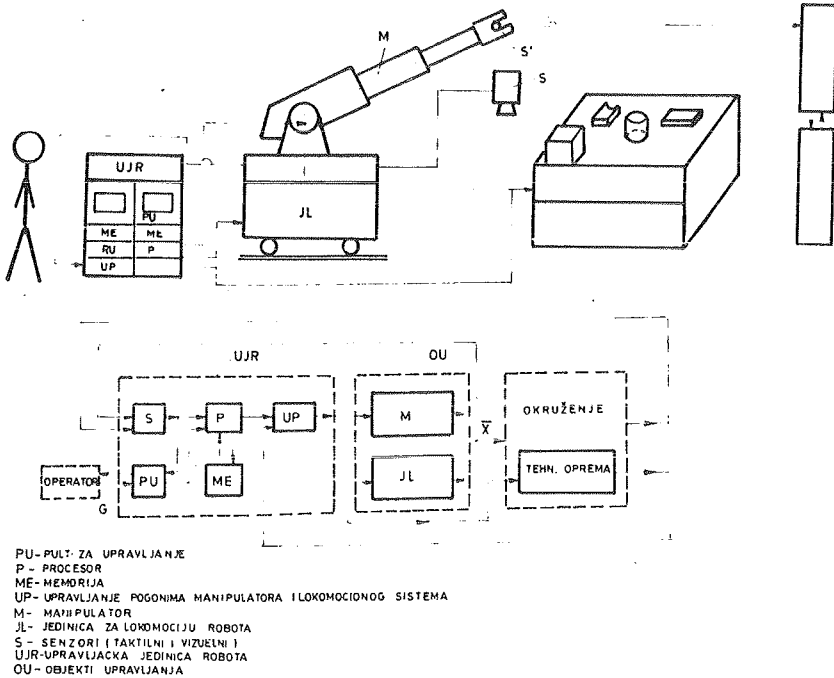
dok operator misaono rešava zadatak inverznog preslikavanja

$$q = F^{-1}(S)$$

a realizuje konfiguraciju metodom postepenog približavanja tako što rukohvatom simulira položaj hvataljke. Ovde se problem mnogoznačnosti



SL.1. KLASIFIKACIJA POKRETNII UREĐAJI (UREĐAJI ZA KRETANJE)



SL.2. OSNOVNA STRUKTURA INDUSTRIJSKIIH ROBOTA

ti rešava slučajno.

Spoljne ili off-line programiranje obuhvata eksplicitno ili analitičko programiranje, i programiranje orijentisano cilju.

Na kraju klasifikacija može da se vrši na bazi interakcije senzora. Navodi se četiri glavna tipa:

- bez senzora,
- uključeno/isključeno - senzori,
- senzori sa kontinualnom adaptacijom,
- senzori sa adaptacijom na bazi više podataka.

Poslednja grupa obuhvata senzore za silu, dodir i vizuelne koji imaju poseban interes u izgradnji inteligentnih robota.

Kroz sprovedenu klasifikaciju i neke definicije dat je okvir za dalje analize kao i mogućnost za definisanje pravaca istraživanja.

## 2. STANJE I PERSPEKTIVA RAZVOJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA

Na osnovu navedenih definicija i klasifikacija robota i uže industrijskih robota može se zaključiti da je u značajnom obimu ova nova generacija tehničkih sistema definisana kao i da je razvijena solidna teorijska osnova. Samo Japan ima preko 47.000 robota (slika 4), dok će Švedska imati devedesetih godina oko 10.000 /10/.

Poznat je model spirale tehnološkog rasta naveden u knjizi Mašine alatke I od autora. Proširenjem ovog modela može se doći i do ukupnog rasta industrije prerade metala kao osnove ukupnog tehnološkog rasta. Prelaskom iz manufakturnog koncepta na industrijski koncept imamo tzv. prvlu industrijsku revoluciju. Osnovu ove revolucije čini pronalazak mašine alatke. Druga industrijska revolucija je vezana za automatizaciju. Medjutim uvodjenjem fleksibilne automatizacije kroz pronalazak kompjutera imamo praktično zrelo doba ove druge revolucije. U industriji prerade metala javlja se numerički i kompjuterski upravljane mašina alatka.

Danas se nalazimo na pragu nove, treće poradu, industrijske revolucije koja se izvođa kroz uvodjenje robota u industriju prerade metala. To znači da je moguće spiralu tehnološkog razvoja industrije definisati sa četiri nivoa:

- nivo manufakture - čovek - alat,
- industrijski nivo - čovek - mašina alatka,
- nivo elektronskog industrijskog koncepta - ovde nastaje dalja preraspodela funkcije između čoveka i mašine tako što se uvodi kompjuter kao kibernetička mašina koja upravlja mašinom alatkom ali služi i rešavanju zadatka prema zadacima koje postavlja čovek,
- robotofaktura - ovde na jednoj strani imamo čoveka i robot a na drugoj kompjuter i mašinu alatku. To znači da konačno se ostvaruje koncept fab-

rike sa ograničenim brojem radnika tako što u noćnom režimu roboti preuzimaju funkciju fabrikacije.

Na slici 5 data je ova spirala, s tim što su bočno prikazani delovi spirala razvoja kompjuterske tehnologije i tehnologije robota.

Industrijski nivo robotofakture treba da obezbedi:

- a) Podizanje produktivnosti i kroz to dobiti Ovo bi se ostvarilo i sa povećanjem:
  - produktivnosti radnika kroz zamenu ljudskog rada mašinskim,
  - produktivnosti kapitala smanjenjem vremena izrade i skraćenjem vremena za vraćanje investicija.
- b) Unapredjenje uslova rada
- c) Podizanje tačnosti i kompleksa alata
- d) Sticanje iskustva iz novih tehnologija
- e) Smanjenje potrošnje energije i sirovina
- f) Ostvarenje rezerve kapaciteta

Na današnjem nivou razvoja za svaki poseban slučaj u industriji treba ispitati koji od navedenih efekata ima dominantan uticaj. Navode se samo neki primeri. Ako se uporedi cena robota sa sredstvima potrebnim za lični dohodak za godinu onda se u poslednjih 10 godina taj odnos smanjio sa 10 na 3 puta (slika 6). Proizvodjač robota UNIMATE je na bazi svoje analize /12/ pokazao da troškovi rada robot/čas će biti konstantni u vremenu, dok troškovi rada radnik/čas će eksponencijalno rasti (slika 7). Od posebnog su značaja kvalitetne promene u narednom periodu. Ako se sledi navedena klasifikacija robota onda prema analizi /9/ u Japanu je u poslednjoj dekadi smanjeno učešće manufakture sa 81% na 74%, dok je poraslo učešće inteligentnih robota (slika 8). Ovde su NU roboti ona grupa koja obuhvata upravljanje tačka po tačka i upravljanje po konturi.

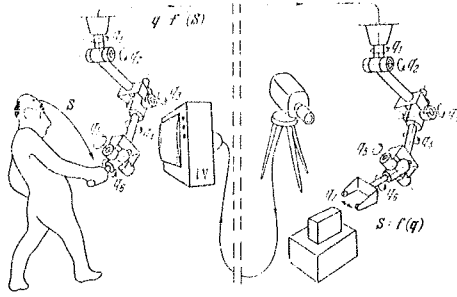
Posebno u narednom periodu treba očekivati nagli skok u razvoju i proizvodnji robota sa jačkom veštačkom inteligencijom. To znači da proplemu veštačke inteligencije robota treba posvetiti posebnu pažnju.

Oblasti primene robota proizilaze iz zahteva koji se pred njih postavljaju. U delu industrijskih robota za oblast metaloprerade se navodi četrnaest oblasti primene (Tablica 2). Ova specifikacija se odnosi na Japan sa pregledom za narednu dekadu. Procentualno učešće za pojedine oblasti primene ukazuje da treba očekivati nagli porast primene robota u montaži i kontroli sa merenjem. Posebno je značajno učešće primene robota u ostalim operacijama (18%). Obim proizvodnje očekuje se na nivou od 2.3 milijarde dolara u Japanu u 1990. godini

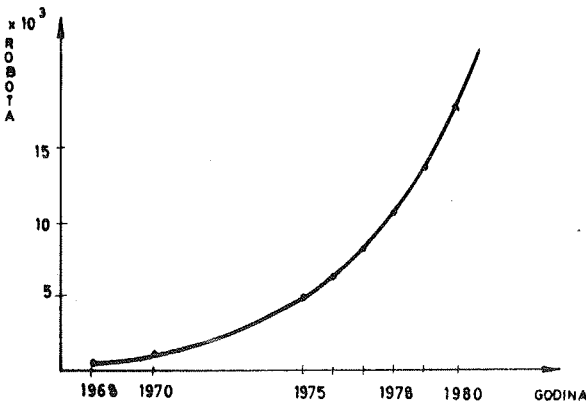
Iz svega navedenog može se zaključiti da u narednoj dekadi jedan od ključeva reindustrijalizacije predstavlja robotizacija industrije.

## 3. OSNOVI TERORIJE INDUSTRIJSKIH ROBOTA

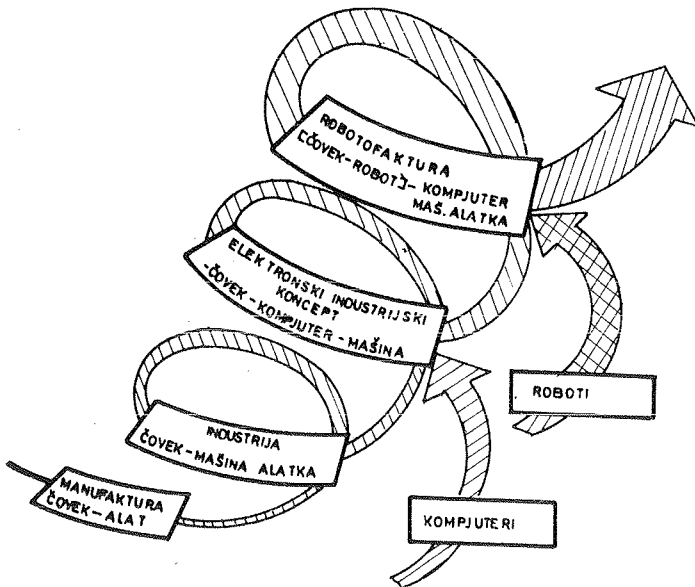
Dinamička analiza aktivnih mehanizama obuhvata za poznate pogonske sile i momente, određivanje odgovarajućih kretanja u generalisanim ko-



Sl. 3. Princip kopirnog upravljanja

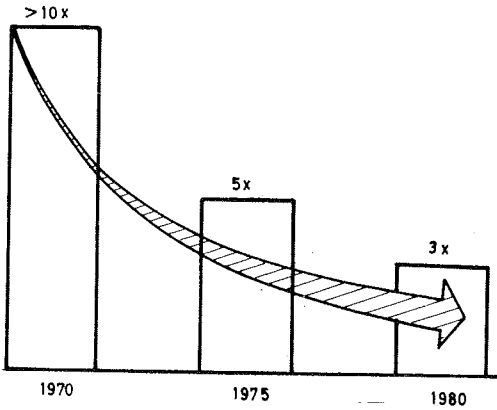


Sl. 4. PROIZVOĐNJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA U JAPANU [9]



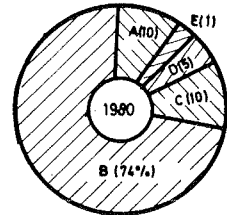
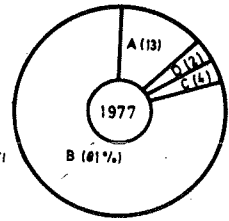
Sl. 5. SPIRALA TEHNOLOŠKOG RAZVOJA INDUSTRIJE



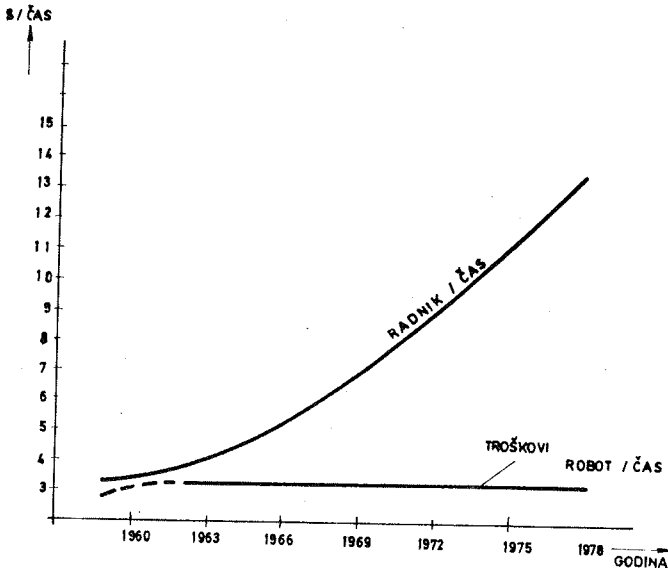


SL. 6. UPOREĐIVANJE CENE ROBOTA SA GODIŠNJIM LIČNIM DOHOTKOM RADNIKA

- A - MANIPULATORI
- B - SEKVENCIJALNI ROBOTOI
- C - ROBOTOI
- D - NU-ROBOTOI
- E - INTELIGENTNI ROBOTOI



SL. 8. PROCENTUALNA PROIZVODNJA ROBOTA PO TIPOVIMA U JAPANU [ 9 ]



SL. 7. UPOREĐENJE TROŠKOVA RADA RADNIKA I ROBOTA ZA AUTOMOBILSKU INDUSTRIJU ZA UNIMATE -ROBOTE [ 12 ]

VRSTA OPERACIJE	1980	1985	1990
1. Obrada rezanjem	22.8	15 - 13.6	14.7 - 12
2. Tačkasto zavarivanje	11.4	10.8 - 8.6	8.7 - 6.6
3. Montaža	9.8	12.6 - 20.3	16.7 - 25.5
4. Lučno zavarivanje	7.3	12.0 - 10.0	11.7 - 9.9
5. Livenje plastike	7.3	4.8 - 4.2	3.7 - 3.0
6. Obrada lima	4.9	6.9 - 5.1	5.0 - 4.1
7. Bojenje	4.9	5.4 - 4.4	5.7 - 4.4
8. Kontrola i merenje	4.9	6.0 - 9.4	6.7 - 12.5
9. Livenje	3.3	1.8 - 1.9	2.3 - 2.1
10. Livenje u kalupima	3.3	1.8 - 1.6	1.3 - 1.1
11. Termička obrada	1.6	3.0 - 2.6	2.7 - 2.3
12. Kovanje	1.6	1.8 - 1.6	1.3 - 1.2
13. Prevlačenje slojeva	0.8	1.2 - 1.2	1.3 - 1.1
14. Ostalo	16.1	17.8 - 15.5	18.2 - 14.8

Tablica 2. Predviđanje potreba za industrijskim robotima za razne oblasti primene u procentima /9/.

ordinatama ili obrnuto za poznato kretanje određivanje pogonske sile i momente. Medjutim, funkcionalno kretanje robota postavlja dopunske uslove koji treba da zadovolje određene zadatke u praksi, npr. za zadati zakon kretanja vrha manipulatora i zakon promene orijentacije hvataljke u prostoru treba naći takve pogone koji obezbeđuju takvo funkcionalno kretanje. To znači da kod ovih sistema imamo povezivanje dinamike aktivnih mehanizama i upravljanja a u cilju optimalnog projektovanja ovih sistema.

Kod aktivnih mehanizama kinematski parovi povezani zglobovima imaju u njima postavljene aktuatore.

Prilikom projektovanja manipulatora javljaju se dve grupe problema:

- Za jednu klasu manipulacionih zadataka dobija se višeznačno rešenje tako da je potrebno izvršiti optimizaciju konfiguracije (strukture) robota, i
- Za zadatke koji se izvode pod uslovom da se robotom upravlja u realnom vremenu. Sračunata dinamika mehanizma u realnom vremenu doprinosi sintezi upravljačkih algoritama za praktičnu upotrebu.

Direktni i inverzni dinamički problemi postavljaju rešavanje sledećih izraza:

$$\ddot{u} = f(u, \dot{u}, P, \text{konfiguracija mehanizma}) \quad (1)$$

$$\dot{P} = g(u, \dot{u}, \ddot{u}, \text{konfiguracije mehanizma}) \quad (2)$$

Ovde vektor  $u$  predstavlja skup veličina kojima se određuje položaj mehanizma. Može se uzeti da su generalisane koordinate  $q_1, \dots, q_n$  tako da je

$$u = q = [q_1, q_2, \dots, q_n]^T$$

Vektor  $P$  je pogonska sila i momenti koji deluju u zglobovima mehanizama.

Funkcije  $f$  i  $g$  predstavljaju postupke - algoritme za sračunavanje navedenih izraza (1) i (2). Ovi algoritmi su različiti za razne matematičke modele.

Kroz uprošćen primer prikazaćemo neke osnovne korake u definisanju dinamike manipulatora i sintezi sa ciljem automatskog upravljanja.

#### Transformacije

Osnovni zadatak u manipulaciji robota je utvrđivanje odnosa između objekata i objekata i manipulatora. Teorijski ovo pitanje je rešeno u oblasti kompjuterske grafike i numeričkog upravljanja mašina alatki (programski jezici) koje se u osnovi odnosi na sisteme homogenih transformacija sa ciljem dobijanja jednačina transformacija.

Neka je dat manipulator i objekat kao na slici 9. Manipulator ima položaj u odnosu na osnovni koordinatni sistem sa transformacijom  $Z$ . Vrh manipulatora je opisan transformacijom  $Z_{T_6}$  a krajnji efektor sa  $T_6E$ . Objekat ima položaj zadat transformacijom  $B$  dok je krajnji efektor manipulatora u poziciji u odnosu na objekat  $B_G$ . Ovim je opisan položaj krajnjeg efektoru u odnosu na manipulator i na objekat. Ova dva položaja su ista tako da je

$$Z Z_{T_6} T_6 E = B B_G \quad (3)$$

Transformacija manipulatora se dobija množenjem sa  $Z^{-1}$  i  $E^{-1}$  tako da je

$$T_6 = Z^{-1} B_G E^{-1} \quad (4)$$

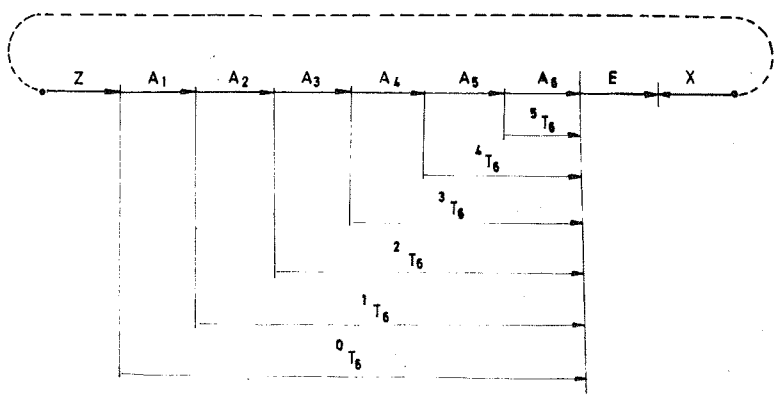
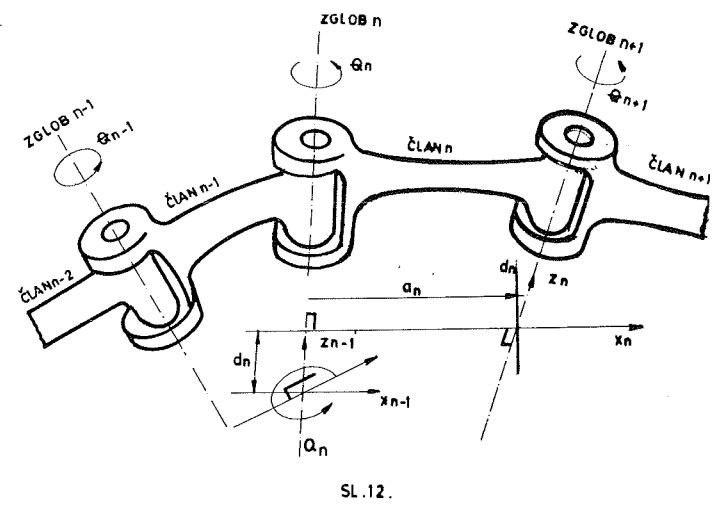
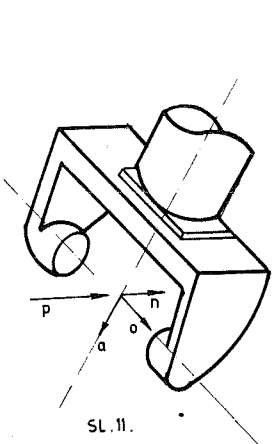
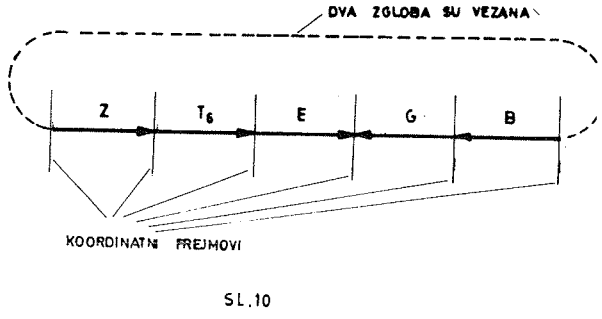
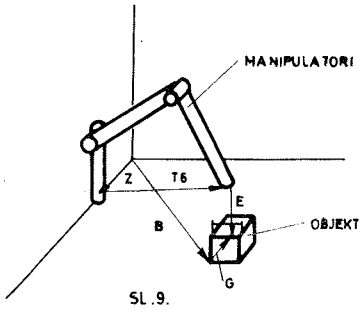
koji može da se prikaže kao graf transformacije (slika 10).

#### Kinematika

Kinematska određenost manipulatora je data kroz opis položaja i orijentacije. Ako se posmatra mehanizam koji ima dva elementa međusobno vezana, onda matrica homogenih transformacija određuje relativan položaj jednog u odnosu na drugi član (translacije i rotacije) preko odgovarajućih koordinatnih sistema. Ova matrica se obeležava sa  $A$  - matrice. Manipulator sa šest članova ima šest stepeni slobode. Tri stepena određuju položaj a druga tri poziciju.

Matrica  $T_6$  definiše položaj i orijentaciju manipulatora,

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \quad (5)$$



To znači da ako se hvataljke kao poslednja orijentiše tako da je centar između prstiju (P-vektor) onda tri vektora daju orijentaciju hvataljke:

- a (z) - vektor pristupa objektu
- 0 (y) - vektor orijentacije, i
- n (x) - vektor normale (slika 11).

Transformacija  $T_6$  ima sledeće elemente

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & 0_x & a_x & p_x \\ n_y & 0_y & a_y & p_y \\ n_z & 0_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Neka se uzmu dva uzastopna člana kinematskog lanca manipulatora n-1, n sa sledećim rotacijama i translacijama:

- rotacija oko  $Z_{n-1}$  za ugao  $\theta_n$ ;
- translacija duž  $Z_{n-1}$ , rastojanje  $d_n$ ;
- translacija duž rotacije  $X_{n-1}$   $X_n$  dužine  $a_n$ ;
- rotacije oko  $X_n$  ugao uvrtnja  $\alpha_n$  (slika 12).

Tako je A matrica

$$A_n = \text{Rot}(z, \theta) \text{Trans}(0, 0, d) \text{Trans}(a, 0, 0) \text{Rot}(x, \alpha) \quad (7)$$

ili kada se uvrsti

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

ili

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \cos\alpha & \sin\theta \sin\alpha & a \cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \cos\alpha & -\cos\theta \sin\alpha & a \sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Iz grafa transformacije manipulatora (slika 13) može da se napiše

$${}^{n-1}T_6 = A_n A_{n+1} \dots A_6 \quad (10)$$

Ako se kao primer uzme Stanford-ski manipulator (slika 14) koji ima šest člana onda su A transformacije

$$A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_2 = \begin{bmatrix} C_2 & 0 & S_2 & 0 \\ S_2 & 0 & -C_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$A_5 = \begin{bmatrix} C_5 & 0 & S_5 & 0 \\ S_5 & 0 & -C_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; A_6 = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & 0 \\ S_6 & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

gde su:  $\sin\theta_i$   $S_i$  i  $\cos\theta_i$   $C_i$ .

Graf transformacije manipulatora (slika e) neka je modifikovan za slučaj da je manipulator u koordinatnom početku (Z 0), da nema na vrhu alat (E 0) i da je orijentacija i položaj manipulatora određen sa  $T_6$  (X  $T_6$ ). Korišćenjem izraza (5) i grafa sa slike 13 rešenje kinematskih jednačina se traži iz sledećih matričnih jednačina

$$\begin{aligned} A_1^{-1} T_6 &= {}^1 T_6 \\ A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 &= {}^2 T_6 \\ A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 &= {}^3 T_6 \\ A_4^{-1} A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 &= {}^4 T_6 \\ A_5^{-1} A_4^{-1} A_3^{-1} A_2^{-1} A_1^{-1} T_6 &= {}^5 T_6 \end{aligned} \quad (12)$$

Rešenje se dobija kada se odrede sve koordinate za analizirani sistem.

$$q = [\theta_1, \theta_2, d_3, \theta_4, \theta_6]^T \quad (13)$$

### Trajektorija kretanja

Roseban problem predstavlja upravljanje kretanjem (definisanje trajektorije) manipulatora. Na primeru manipulacionog zadatka koji se odnosi na umetanje osovinice iz frejma Z pokazuje se osnovni opis (slika 15). Struktura manipulacionog zadatka definisana je strukturom manipulatora kao proizvod tri transformacije

$$\text{MOVE } p_n = \text{MOVE } Z T_6 E \quad (14)$$

Struktura posla može da se definiše pomoću sledećih transformacija:

- P - položaj osovinice u osnovnim koordinatama
- H - položaj prizmatičnog tela sa dva otvora
- ${}^H HR_1$  - položaj i-tog otvora u prizmi u odnosu na H-koordinatni sistem
- ${}^P PG$  - položaj hvataljke koja drži osovinicu u odnosu na osovinicu
- ${}^P PA$  - hvataljka prilazi osovinici
- ${}^P PD$  - hvataljka odlazi sa osovinicom
- ${}^H RPHA$  - osovinica prilazi i-tom otvoru
- ${}^H RPCH$  - osovinica je u kontaktu sa otvorom
- ${}^H RPAL$  - osovinica je na početku umetanja
- ${}^H RPN$  - osovinica je umetnuta.

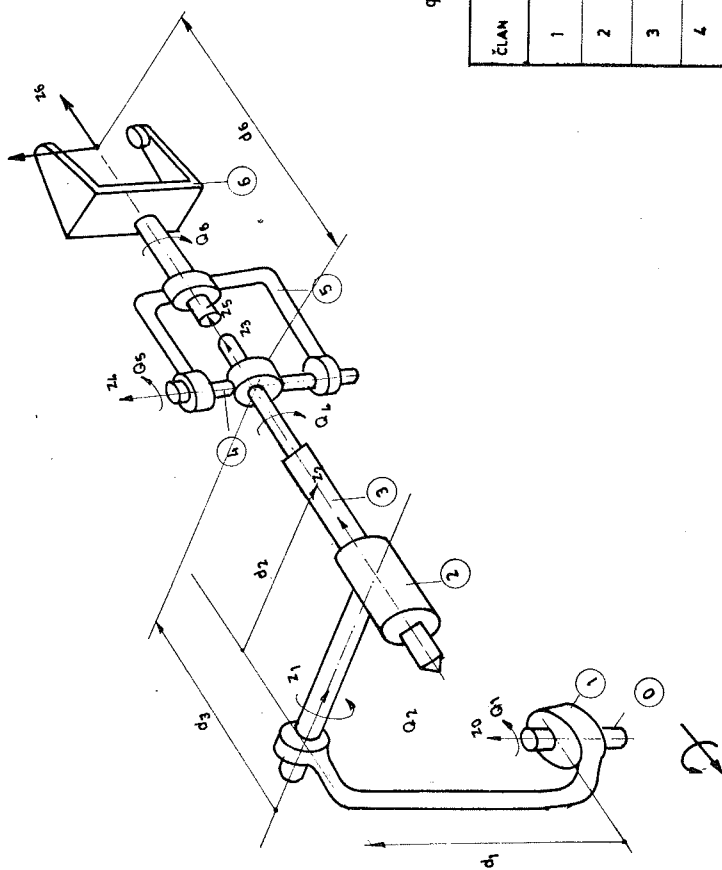
Koristeći ove transformacije mogu se uspostaviti jednačine transformacije koje se rešavaju za  $T_6$  - upravljani ulaz manipulatora

- p1:  $ZT_6 E = P PA$
- p2:  $ZT_6 E = P PG$
- hvatanje
- p3:  $ZT_6 E = P PD PG$
- p4:  $ZT_6 E = H HR_1 PHA PG$
- p5:  $ZT_6 E = H HR_1 PCH PG$
- p6:  $ZT_6 E = H HR_1 PAL PG$
- p7:  $ZT_6 E = H HR_1 PNH PG$
- otpuštanje
- p8:  $ZT_6 E = H HR_1 PNH PA$

kako je pokazano na slici 16.

### Dinamika

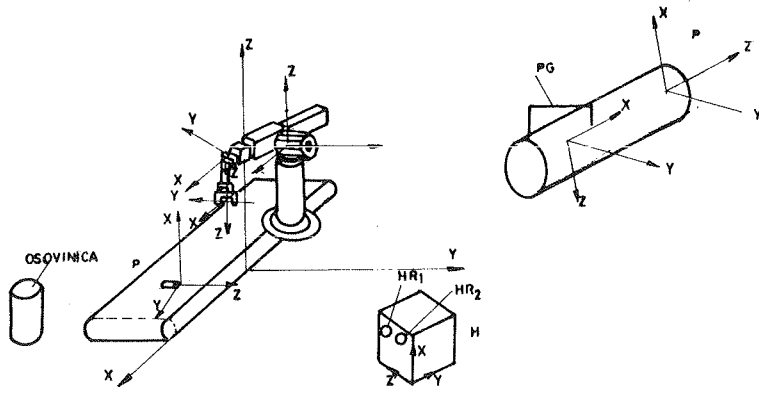
Dinamika manipulatora se razmatra sa stanovišta upravljanja tako da predstavlja vrlo složen inženjerski zadatak. Napisane su brojne knjige o ovoj problematici kao centralnoj u projekto-



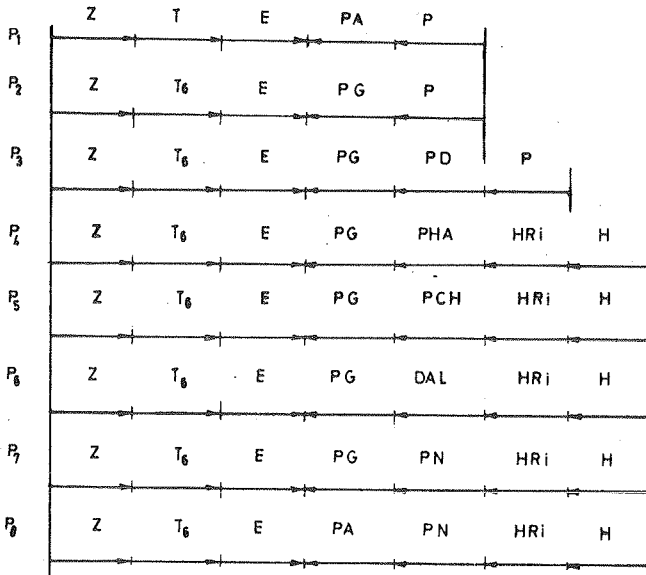
$$q = [ Q_1, Q_2, d_3, Q_4, Q_5, Q_6 ]^T$$

ČLAN	PROMIJENA	$\alpha$	a	d	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$
1	$Q_1$	$-90^\circ$	0	0	0	-1
2	$Q_2$	$90^\circ$	0	$d_2$	0	1
3	$d_3$	$0^\circ$	0	$d_3$	1	0
4	$Q_4$	$-90^\circ$	0	0	0	-1
5	$Q_5$	$90^\circ$	0	0	0	1
6	$Q_6$	$0^\circ$	0	0	1	0

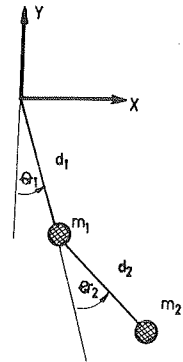
Sl. 14.



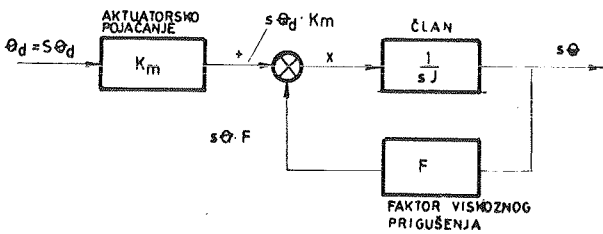
SL. 15.



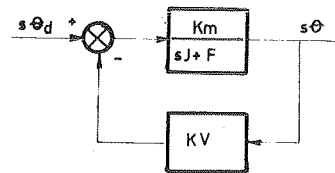
SL. 16. GRAFOVI TRANSFORMACIJE ZA DODATAK POZICIJA



SL. 17. DVOČLANI MANIPULATOR



SL. 18.



SL. 19

vanju i upravljanju robotima. Navode se samo neke koje zaslužuju posebnu pažnju za proučavanje /1, 2, 3, 7, 8, 11, 13, 14, 15/.

Koristeći Lagranževu jednačinu druge vrste da je generisana sila definisana kao

$$F_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} \quad (15)$$

gde je označena sa  $L = E_k - E_p$  razlika kinematike i potencijalne energije.

Dinamika manipulatora je određena izrazom (15) kao

$$F_i = \sum_{j=1}^6 D_{ij} \ddot{q}_j + I_{ai} \ddot{q}_i + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^6 D_{ijk} \dot{q}_j \dot{q}_k + D_i \quad (16)$$

gde su:

- $D_{ii}$  - efektivni momenti inercije u zglobu  $i$
- $D_{ij}$  - spregnuti momenti inercije između zglobova  $i$  i  $j$
- $D_{ijj}$  - centritetalne sile u zglobu  $i$  usled brzine u zglobu  $j$
- $D_{ijk}$  - Koriolistove sile u zglobu  $i$  usled brzine u zglobovima  $j$  i  $k$
- $D_i$  - opterećenje usled gravitacije u zglobu  $i$
- $I_{ai}$  - moment inercije aktuatora

Navodi se kao primer prost mehanizam sa dva elementa člana (slika 17).

Kinematička i potencijalna energija se određuju za mase  $m_1$  i  $m_2$ , tako što se uzima u obzir i njihov koordinatni položaj. Tako su energije

$$\begin{aligned} E_{k1} &= \frac{1}{2} m_1 d_1^2 \dot{\theta}_1^2 & E_{p2} &= -m_1 g d_1 \cos \theta_1 \\ E_{k2} &= \frac{1}{2} m_2 d_1^2 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 d_2^2 (\dot{\theta}_1^2 + 2\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_2^2) + \\ &+ m_2 d_1 d_2 \cos \theta_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2) \\ E_{p2} &= -m_2 g d_1 \cos \theta_1 - m_2 g d_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \quad (17)$$

Momenti u zglobovima su prema izrazu (15) i (16)

$$\begin{aligned} T_1 &= D_{11} \dot{\theta}_1 + D_{12} \dot{\theta}_2 + D_{111} \dot{\theta}_1^2 + D_{122} \dot{\theta}_2^2 + D_{112} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_{121} \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1 + D_1 \\ T_2 &= D_{12} \dot{\theta}_1 + D_{22} \dot{\theta}_2 + D_{211} \dot{\theta}_1^2 + D_{222} \dot{\theta}_2^2 + D_{212} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 + D_{221} \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1 + D_2 \end{aligned} \quad (18)$$

gde je izvršeno uprošćenje s obzirom da aktuatora nema, jer se posmatra model a ne manipulacioni uredjaj. Kod manipulatora je samo postupak složeniji, s obzirom da imamo šest članova i uticaj aktuatora.

#### Upravljanje

Za zadatu trajektoriju treba ostvariti kretanje preko funkcije upravljanja manipulatorom. Ovome treba dodati i efekte drugog reda od zgloba do zgloba.

Radi iniciranja problema navodi se primer upravljanja manipulatora sa jednim članom. Neka

je dat aktuator (električni ili hidraulični) sa pojačanjem  $km$  i faktorom viskozno prigušenja  $F$ . Ulaz je željena brzina u zglobu  $\dot{\theta}_d$  (preko Laplasove transformacije  $s\theta_d$ , dok je član definisan preko momenta inercije  $1/sJ$ ). Izlaz je stvarna brzina u zglobu  $\dot{\theta}(s\theta)$ . Model je dat na slici 18, tako da je prenosna funkcija

$$\frac{s\theta(s)}{s\theta_d(s)} = \frac{km}{sJ + F} \quad (19)$$

U cilju povećanja prirodnog prigušenja aktuatora dodaje se povratna veza za brzinu (npr. tahogenerator) dobija se modifikovan model (slika 19), dok je prenosna funkcija

$$\frac{s\theta(s)}{s\theta_d(s)} = \frac{km}{sJ + (F + KVkm)} \quad (20)$$

Dodavanjem povratne veze za pozicioniranje (ke) oko celog sistema (slika 20) dobija se sistem drugog reda sa prenosnom funkcijom

$$\frac{\theta(s)}{\theta_d(s)} = \frac{kek m}{s^2 J + S(F + KVkm) + kek m} \quad (21)$$

Za ukupan sistem blok dijagramom je dat na slici 21 tako što je uveden poremećajni moment  $T$  koji predstavlja kombinaciju momenta koji nastaju usled greške pri određivanju opterećenja, spoljnih sila, Kulonovog trenja i uticaja gravitacije.

Ovo dalje predpostavlja dalju analizu izraza kao i primenu na manipulatore sa većim brojem članaka.

#### 4. AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE INDUSTRIJSKIH ROBOTA

Navedene teorijske osnove daju samo neke od osnovnih grupa naučno-inženjerskih problema koji su osnova za projektovanje industrijskih robota. Složenost sistema kao i raznovrsnost zadataka čije bogatstvo sadržaja sve više zadire u oblast primene veštačke (artificijelne) inteligencije pretpostavlja nužnost automatskog projektovanja industrijskih robota.

##### Koncept projektovanja

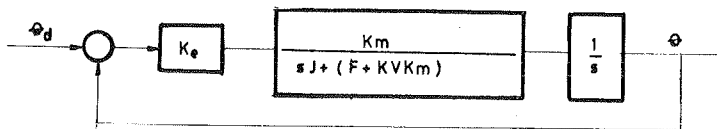
Saglasno postavljenom konceptu za automatsko projektovanje mašina alatki i fleksibilnih tehnoloških sistema autor je postavio osnovni koncept automatsko projektovanje industrijskih robota (slika 22).

Na bazi tehnološkog zahteva - zadatka koji se postavlja projektantu koriste se:

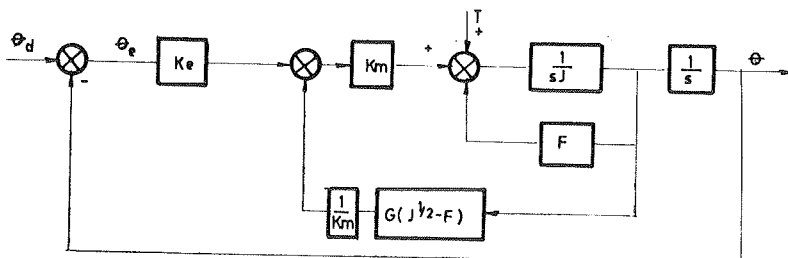
- a) procesor za projektovanje robota
- b) pri-procesor I - za izbor robota i metoda proračuna, i
- c) pri-procesor II - za izbor tehnologije i metode.

Pri-procesor I koristi banku izvedenih konstrukcija i komponenta robota, patentiranih robota i metoda za njihov proračun, simulaciju kao i izbor jezika za njihovo upravljanje. Ova selekcija se vrši na osnovu definicije tehnološkog zadatka.

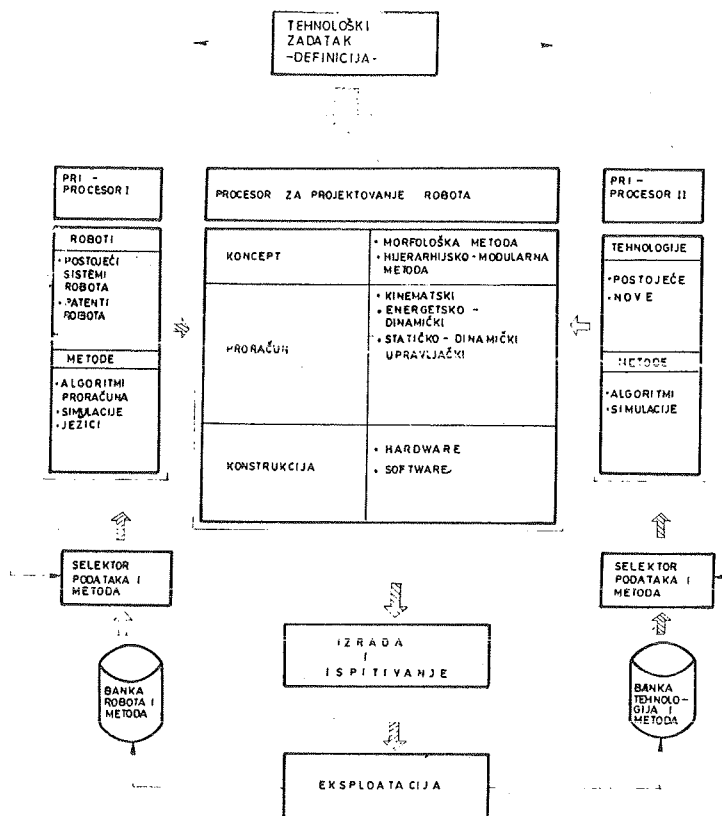
Definicija tehnološkog zadatka se koristi i za selektor podataka i metoda iz banke tehnologi-



SL. 20



SL. 21.



SL. 22. KONCEPT AUTOMATSKOG PROJEKTOVANJA INDUSTRIJSKIH ROBOTA



je za pri-procesor II. Tehnologije u kojima će se koristiti robot mogu da budu poznate ili nove. Npr. tehnologije zavarivanja, montaže, obrade itd. ima svoje specifičnosti koje moraju da budu ugrađene u ukupan tehnološki zadatak robota. Ili kada se projektuje fleksibilni tehnološki sistem sa robotima onda je od značaja utvrđivanje ukupnog stepena iskorišćenja FTS kao i svakog pojedinog člana a posebno robota. Ovo se detaljnije razmatra u narednom naslovu.

Procesor za projektovanje robota treba da predstavlja relativno složenu software-sku strukturu koja vremenom treba da preraste i u specifičan jezik.

Procesor obuhvata tri osnovna podprocesora i to:

- . podprocesor za koncept robota,
- . podprocesor za proračun robota, i
- . podprocesor za konstrukciju robota.

### Koncepcija robota

Odredjivanje koncepta svakog inženjerskog proizvoda, a tim pre i industrijskog robota, predstavlja složen inženjerski zadatak. Prethodno je potrebno definisati osnovne konceptijske karakteristike robota koji se projektuje. Za ostvarenje ovog cilja u toku je razvoj morfološke metode koja omogućuje kretanje kroz prostor. Na jednostavnom primeru se daju elementi ove metode. Neka je prostor (tj. površina) ograničena sa dve ose koje predstavljaju konstruktivne i tehnološke karakteristike robota. Površina je podeljena u neka stanja koja su definisana karakteristikama za dve ose. Neka je poznato (11 i 12) a treba da se izabranom strategijom zauzme položaj (32 33) (slika 23). Za izabranu strategiju drvo mogućnosti daje rešenje u opštem slučaju na pet nivoa (slika 24). Za ovu strategiju navodi se i odgovarajući graf (slika 25). Početno stanje je označeno sa A a završno sa F. Izlazi predstavljaju odgovarajuća pravila izvodjenja da bi se ovaj morfološki prostor osvojio.

Hijerarhijsko-modularna metoda vrši dalje strukturisanje ovako dobijene konceptijske karakteristike robota.

U opstem slučaju upravljanje robotom može se podeliti na upravljanje koje se izvodi u računaru i samom robotu. Na slici 26 navodi se moguća hijerarhijska struktura upravljanja u robotu preko pogona, i samog manipulatora vrši na prvom nivou. (NU O), dok su pet viših nivoa:

- . servoupravljanje,
- . upravljanje primitivnom funkcijom,
- . upravljanje elementarnim pokretima,
- . upravljanje radnom stanicom, i
- . upravljanje sistemom.

Navedeni su za svaki nivo funkcije koje se obavljaju, ulazi i izlazi.

Četiri viša upravljačka nivoa sa strukturom zadataka data su na slici 27.

Modularnost u projektovanju se odnosi na hardware (upravljanje i manipulator) i software-

programsku podršku za upravljače industrijskim robotom. Razvijena koncepcija modularnog projektovanja mašina alatki se primenjuje uključujući i sistem upravljanja.

### Proračun

U osnovi podprocesor proračuna obuhvata:

- . kinematski modul,
- . energetsko-dinamički modul,
- . statičko-dinamički modul, i
- . upravljački modul.

Ovde je u odnosu na dosadašnje razvijene metode za proračun izvedene modifikacije utoliko što se vrši proračun same statičko-dinamičke strukture pošto nije kruta kako se u većini modela uzima. Metoda konačnih elemenata je jedan pravac ovih proračuna koja se koristi i za proračun nosećih struktura mašina alatki.

Uvidom u literaturu a posebno u /2, 3/ sačinjen je tabelarni pregled metoda za proračun i sintezu upravljanja kod robota (Tablica 3). Navedene su dve osnovne grupe:

- . dinamičke, i
- . automatske.

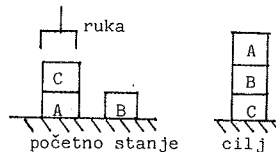
Za nas je od posebnog značaja ova druga grupa koja sadrži korišćenje računara za izvodjenje složenih proračuna.

Paket programa za sintezu upravljanja manipulatora razvijen je u nas /7 - prof. M. Vukobratović/. Na slici 28 navodi se opšti algoritam sinteze upravljanja. Sigurno da svaki od navedenih delova algoritma ima dalje raščlanjavanje. Na slici 29 dat je primer algoritma za dinamičku analizu za manipulacione pokrete.

Predstoji poseban rad na razvoju sistema proračuna za više nivoa (npr. nivo globalnog upravljanja). Na slici 27 na šestom nivou se nalazi blok prepoznavanje oblika gledanjem kao ulaza za formiranje modela sredine. To ukazuje na potrebu izgradnje upravljanja za sistem sa veštačkom inteligencijom. Uprošćeno se objašnjava na primeru pravac aktivnosti u ovoj oblasti.

Programiranje robota obuhvata percepciju sveta u njegovoj sredini, vrši formulisanje plana akcije i nadgledanje izvršenja ovog plana. Ovo pretpostavlja korišćenje TV kamere.

Neka je dat sledeći primer: Manipulacioni zadatak robota je da tri kocke koje imaju svoje oznake A, B, C ili su različite boje i imaju jedan raspored (početno stanje) iz koga treba da predju u drugi (krajnje stanje - cilj).



koji mogu da se opišu:

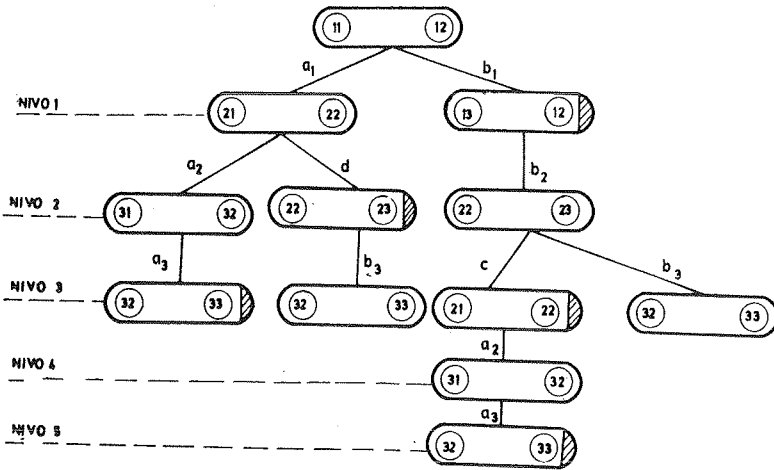
početno stanje: CLEAR (B) ON(C,A)  
CLEAR (C) HANDEMPY  
ONTABLE (A)  
ONTABLE (B)

krajnje stanje: [ON (B,C) ^ ON (A, B)]

D I M E N Z I J A 2	3	13	23	33
	2	12	22	32
	1	11	21	31
		1	2	3

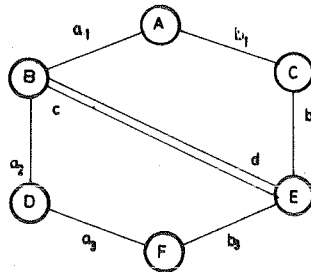
DIMENZIJA 1

SL. 23.



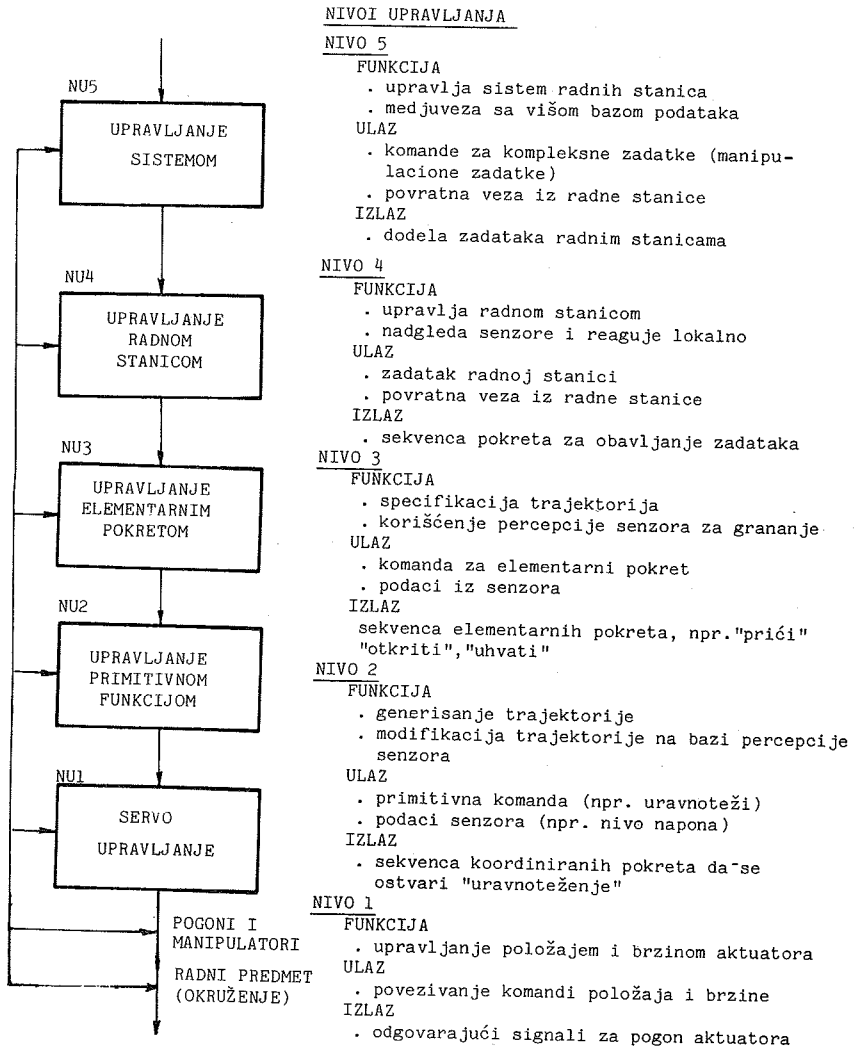
DRVO MOGUĆNOSTI ZA STRATEGIJU 1

SL. 24.

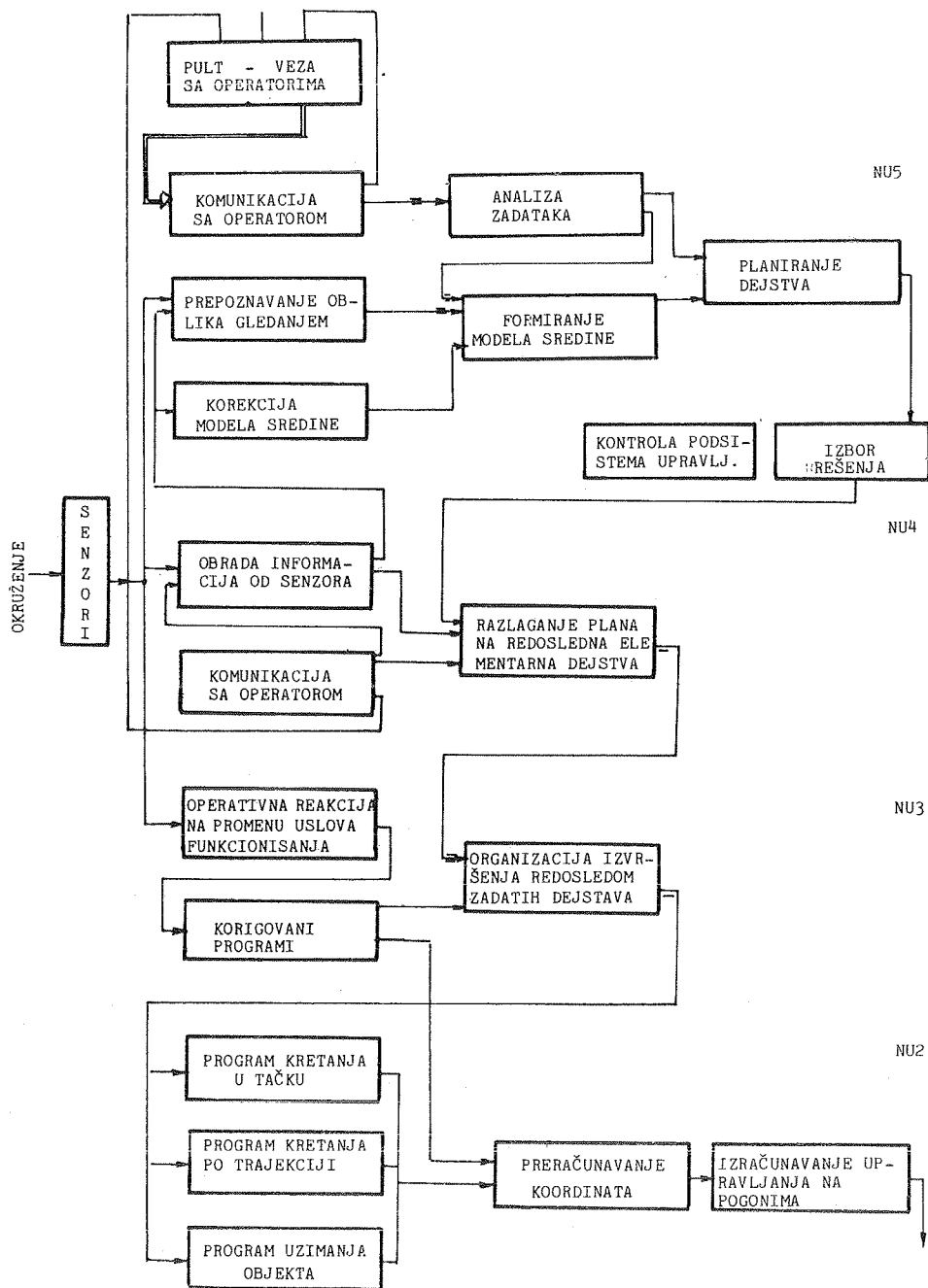


GRAF STRATEGIJE 1

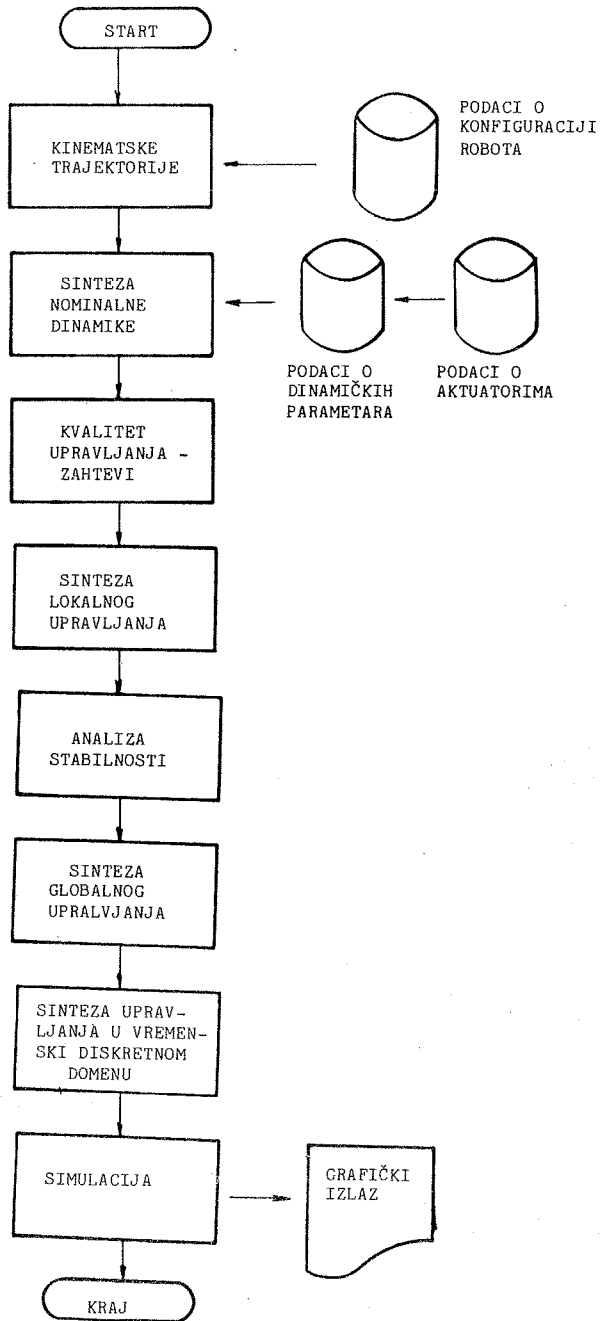
SL. 25.



Sl. 26. Hijerarhijska struktura upravljanja robotom



Sl. 27. Struktura zadataka koji se rešavaju na pojedinim niovima hijerarhije upravljanja



31. 28. Algoritam sinteze upravljanja

		PRISTUPI - OSNOVE	METODE	POREKLO - BLIŽA OZNAKA
ANALITIČKE METODE	I	Opšte teoreme mehanike	1. Metoda I 2. Metoda II 3. Metoda III 4. Metoda IV 5. Metoda V 6. Metoda VI 7. Metoda VII	Nj.Fletcher, L. Rongved, Ey, YU W. W. Hooker, G. Margulies R.E. Roberson, J. Wittenburg E. W. Hooker, Likins J. Wittenburg F.On. Ossenberg Frances J.C.Samin (virtuaini radovi D'alambert)
	II	Lagranže-ove jednačine II vrste	8. Metoda VIII 9. Metoda IX 10. Metoda X 11. Metoda XI	J.J.Uicker, M.E.Kahn, A.K.Bejczy G.V. Koronev M. Renaud S.S.Mahil-eksplicitno rešenje
AUTOMATSKE METODE	III	Opšte teoreme dinamike i Njtn-Ojlerovim jednačinama	12. Metoda XII	M. Vukobratović, Y, Stepanenko, (kinetostatička metoda
			13. Metoda XIII	V.S.Medvedov, A.G.Leskov, Yuščenko-"blok" matrica
			14. Metoda XIV	M. Vukobratović, V. Potkonjak-Njtn-Ojlerove jednačine
			15. Metoda XV	M. Vukobratović - Ojlerovi uglovi
	IV	Lagranžeove jednačine	16. Metoda XVI	V. Potkonjak - Lagranžeove jednačine II vrste
V	Gausov princip i apelove jednačine	17. Metoda XVII 18. Metoda XVIII	E.P.Popov, A.F.Vereščagin - Gausov princip V. Potkonjak, M. Vukobratović - Apelove jednačine	

Tablica 3. Pregled metoda za proračun i sintezu upravljanja manipulatora

Upravljanjem se omogućuje sinteza sekvenci robota da bi se postigao definisan cilj na osnovu zadatog početnog stanja. Sintezu zadatka robota može da se reši sa "produkcioni" sistemima koji baziraju na globalnoj bazi podataka za opisivanje stanja u kojima se robot nalazi, pravila za računanje kojima se definišu aktivnosti robota i sistemom kojima se definišu aktivnosti robota i sistemom za donošenje odluka. Prikazivanje jednog stanja u odnosu na druga vrši se preko frejmova (okvirom definisan informacioni sadržaj - termin je uzet po filmskoj traci na kojoj imamo stalnu pozadinu a samo se karakteri menjaju). Kretanje kroz zadatak može da se izvodi unapred (odnos nekog stanja i cilja) i to nazivamo F-pravila ili unazad (od cilja do tog početnog stanja koji nazivamo B-pravila. Kretanjem unapred ostvaruje se preko F-pravila.

Instrukcije za dati zadatak su:

- PICK UP (X) - uzeti element  
P&D: ONTABLE(X), CLEAR(X), NADEMPY  
A : HOLDING(X)
- PUTDOWN(X) - staviti element na podlogu  
P&D: HOLDING(X)  
A : ONTABLE(X), CLEAR(X), HANDEMPY
- STACK (x,y) - staviti (složiti) jedan na drugi element  
P&D: HOLDING(X), CLEAR(X)  
A : HANDEMPY, ON(x,y) CLEAR(X)
- UNSTACK (x,y) - skinuti elemente koji su jedan na drugi  
P&D: HANDEMPY, CLEAR(X), ON(x,y)  
A : HOLDING(X), CLEAR(X)

U ovim pravilima imamo formulu P&D koja opisuje prethodno stanje (P) i listu brisanja (D),

dok A-formula govori o promeni stanja-dodavanju (A).

Za rešenje postavljenog zadatka (kretanje kroz prostor stanja kao što je dato na slici 23) ima 22 stanja. Navodi se na slici 30 samo grane koja dovodi do cilja.

Ovaj pristup na bazi veštačke inteligencije zaslužuje posebnu pažnju u daljim istraživanjima.

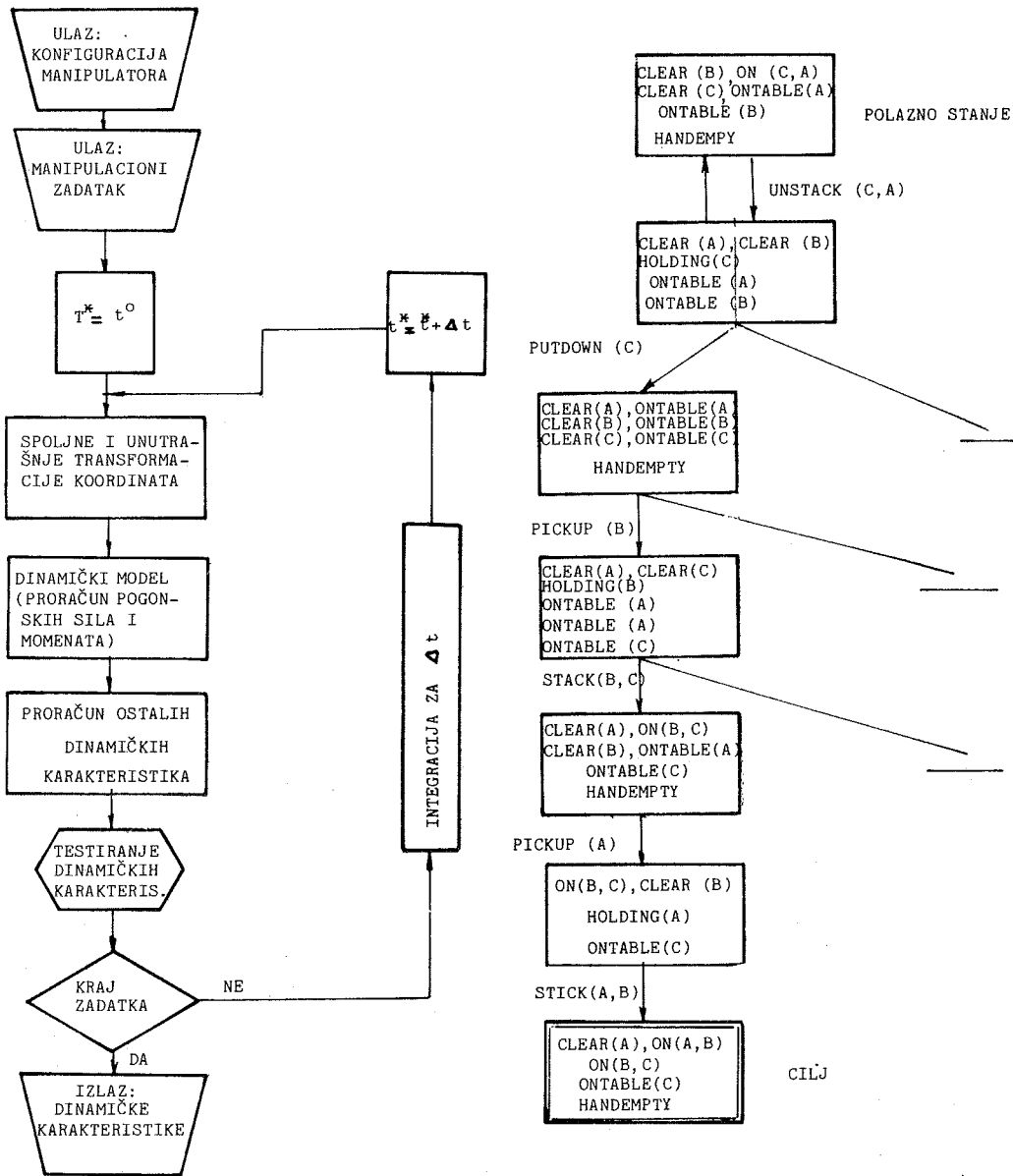
#### Konstruisanje

Na bazi usvojene koncepcije i proračuna manipulacionog robota pristupa se konstruisanju. Konstruisanje se odnosi na konstrukciju samog hardware-mehanike, hidraulike, pneumatike, elektrike i elektronike (zavisno od koncepcije robota) i software-programske podrške za upravljanje robotom za repertoar zadataka za koji se projektuje.

Za razliku od dosadašnjih mašina manipulacioni roboti imaju u svom konstruktivnom delu značajnih specifičnosti koje u ovaj podprocesor treba da budu ugrađene.

Konstruisanje obuhvata izradu potrebne konstrukcione dokumentacije, dokumentaciju za tehnologiju izrade i dokumentaciju za montažu i održavanje. Konstruisanje se zasniva na modularnom principu tako da je potrebno katalogizirati sve nivoe komponovanja proizvoda, s tim što treba povezati mehaničko-elektronske podsisteme.

U procesu projektovanja hardware koristi se kompjuterska grafika za izradu sklopnih i radioni-



Sl. 29. Dinamička analiza za manipulacione pokrete

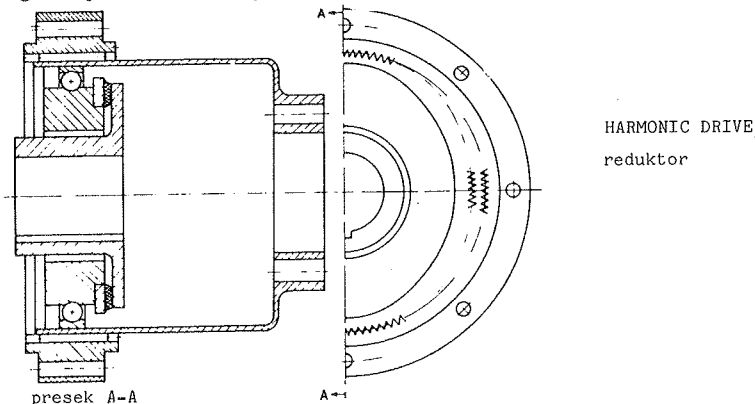
Sl. 30. Deo drva stanja robota za naveden manipulacioni zadatak

čkih crteža pa sve do izrade količinskih i strukturalnih sastavnica i pregleda upotrebe.

Navode se neki od specifičnih sklopova koji se koriste kao projektantski kompleti za projektovanje robota. Oude se pre svega misli na komponente pogonskih sistema industrijskih robota.

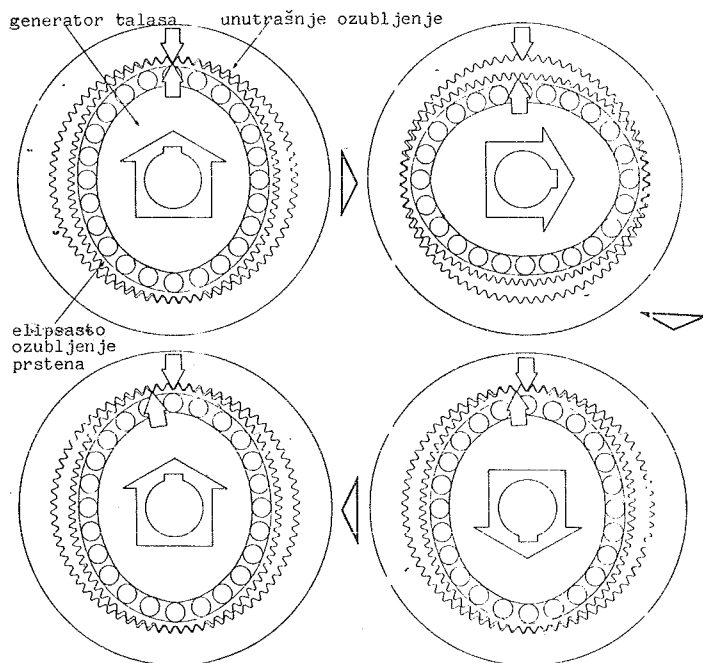
Razvojem motora jednosmerne struje sa svojim poznatim osobinama regulacije sve češće se po-

javljaju roboti osnaženi ovim pogonima. Međutim, za ugradjivanje električnih motora potrebni su reduktori pošto naponi od 10-50 V daju snage od 5-400 W pri maksimalnom broju obrta do 15000  $\text{min}^{-1}$ . Pošto se za ovakve uslove zahtevaju veliki prenosni odnosi i veliki ulazni obrtni momenti i male mase u obzir dolazi mali broj rešenja izvedenih reduktora. Ovi se zahtevi u potpunosti rešavaju HARMONIC DRIVE reduktorima. Izgled jednog ovakvog prenosnika je dat na sledećoj slici:



Ovi talasni prenosnici su vrlo slični planetnim prenosnicima i omogućavaju vrlo velike izlazne obrtne momente, veliku tačnost (ispo 1') ne zahtevaju kočnicu, malih su dimenzija i mase i imaju veliki stepen iskorišćenja.

Osnovni sastavni delovi su kružno unutrašnje ozubljenje, eliptični prsten sa spoljašnjim ozubljenjem i generator talasa. Princip rada je prikazan sledećom slikom:



Princip rada HARMONIC DRIVE reductora



Pogonski eliptični generator talasa pomera zupčasti elastični prsten tako da nastaje kretanje po krutom unutrašnjem ozubljenju. Pretpostavka za veliki prenosni odnos su veliki brojevi zuba i mala razlika u broju zuba između spoljašnjeg i unutrašnjeg ozubljenja (min 2). Prenosni faktor ovih prenosnika je dat izrazom

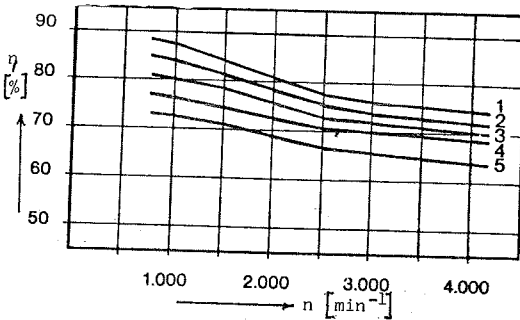
$$i = \frac{Z_f - Z_c}{Z_f}$$

gde je:

$Z_f$  - broj zuba spoljašnjeg ozubljenja

$Z_c$  - broj zuba unutrašnjeg ozubljenja

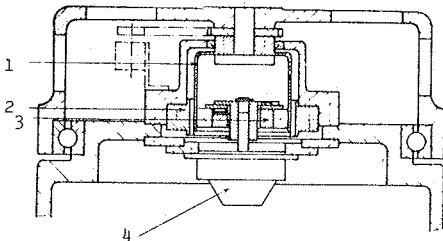
Do sada realizovani sistemi imaju prenosne odnose od 60-360. Za razliku od pužnih prenosnika koji imaju velike mase, i mimoilaženje osa što je vrlo nepovoljno, ovi prenosnici imaju otklonjene sve ove nedostatke uz znatno veći stepen iskorišćenja. Zavisnost stepena iskorišćenja od broja obrtaja i prenosnog odnosa prikazan je sledećom slikom:



1 = i 80, 96    2 = i 128    3 = i 160    4 = i 194  
5 = i 258

Stepen iskorišćenja HARMONIC DRIVE reduktora

Ovi reduktori spregnuti sa elektromotorima jednosmerne struje, tahogeneratorom i enkoderom predstavljaju kompletnu obrtnu "osu" i do sada su vrlo uspešno primenjivani kod robota sferne i zglobne konfiguracije. Na sledećoj slici je dat primer ugradnje ovog reduktora na vertikalnu obrtnu osu VW-robota.



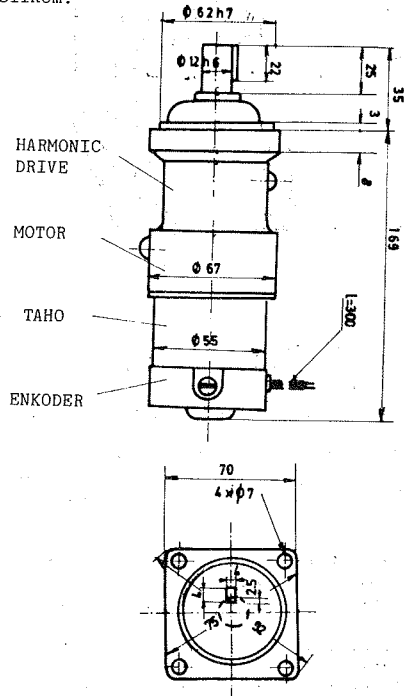
1 - spoljašnje ozubljenje, 2-unutrašnje ozubljenje, 3-talasnog generatora, 4 - motor

Primer ugradnje HARMONIC DRIVE reduktora kod VW - robota

Pri komponovanju jedne "ose" koju čine REDUKTOR-MOTOR-TAHO-ENKODER javljaju se problemi pravilnog izbora i ugradnje ovih komponenata

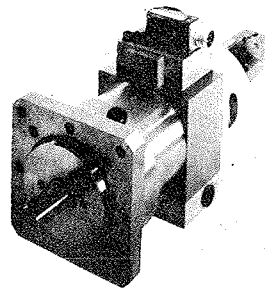
s obzirom na njihove karakteristike i različite proizvodjače.

Uočivši ovaj problem kod velikog broja korisnika ovih sistema, istoimena firma HARMONIC DRIVE je razvila kompletnu "osu" vrlo dobrih karakteristika, male mase i dimenzija. Primer jedne kompletne "ose" HARMONIC DRIVE-MOTOR-TAHO-ENKODER sa karakteristikama dat je sledećom slikom:

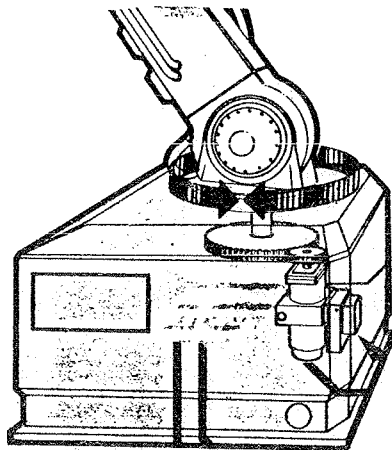


Kompletna "osa" HARMONIC DRIVE-MOTOR-TAHO-ENKODER

Veliki broj izvedenih rešenja industrijskih robota ima hidraulični pogon sa svojim poznatim osobinama. Jedan od najpoznatijih proizvođača ovih sistema je firma MOOG. Na sledećoj slici dat je primer ugradnje i izgled servo obrtnog hidromotora.



Izgled servo obrtnog hidromotora



Primer ugradnje servo obrtnog hidromotora

### Izrada i ispitivanje

Ovaj deo je izvan procesora za projektovanje. Samo tehnologija propisuje izradu robota. Zavisno od konstruktivnog rešenja, s obzirom na pogon (npr. pneumatski, hidraulični ili električni), u znatnoj meri se razlikuje tehnologija izrade. Poseban problem je izrada elektronskih kompleta pošto je robot izrazito mehanotronska (simbioza mehanike i elektronike) mašina.

Izrada i laboratorijsko-pogonsko ispitivanje predstavlja u tehnološku celinu koja treba da obezbedi kvalitet i pouzdanost ovih sistema.

Ispitivanje robota može da se podeli na tri osnovne grupe:

- . ispitivanje manipulacionog sistema (mehaničko-hidraulično-pneumatsko-električna struktura),
- . ispitivanje upravljačkog sistema, i
- . ispitivanje software za upravljanje.

Drugi pravac ispitivanja se odnosi na ispitivanje komponenti sklopova i ukupne konfiguracije robota.

Navodi se primer naše razvijene procedure ispitivanja sistema industrijskih robota - manipulacionih sistema /17/. Na slici 31 data je struktura ispitivanja koja je u značajnoj meri saglasna sa metodom projektovanja. Za dinamičko ispitivanje same strukture manipulatora data je potrebna instrumentacija na slici 32, dok je iz rezultata ispitivanja navedena dobijena frekventna karakteristika (slika 33).

Problem određivanja pouzdanosti sistema predstavlja jedan od značajnih segmenata u ispitivanja s obzirom na zahtev da ovi sistemi rade u režimu 24 časa i to za period amortizacije uz minimalne otkaze.

## 5. FABRIKE BUDUĆNOSTI I ROBOTI

Prelaskom na kibernetiku automatizaciju vrši

se u industrijski najrazvijenijim zemljama re-industrijalizacija. Osnovu novih fabrika u industriji prerade metala čini koncept tzv. "fabrika bez ljudi", ili fabrike sa ograničenim brojem radnika ili pak sistemi varijabilne misije. Vrš se projekcije razvoja na bazi broja tako projektovanih fabrika. Ove fabrike baziraju na integraciji:

- . projektovanja proizvoda primenom kompjutera (PPK - CAD),
- . projektovanje za proizvodnju primenom kompjutera (PPK\* - CAM),
- . numerički i kompjuterski upravljani mašina alatki (NUMA i KUMA-sistema), i
- . robota.

Industrija mašina "Ivo Lola Ribar" - Železnik u svom delu proizvodnje mašina alatki čini značajne napore u pravcu projektovanja i izgradnje osnovnih konfiguracija fabrika budućnosti.

### Osnovni koncept fabrike

Preliminarni koncept fabrike budućnosti je dat još prilikom postavljanja JUPITER-sistema. Kroz višegodišnji rad na njegovoj realizaciji stvorene su osnovne pretpostavke da se pristupi novom metodu projektovanja fabrika ili njihovih delova u nas.

Kao osnovu ovih sistema koristimo fleksibilnu tehnološku ćeliju. Struktura jedne integralne tehnološke ćelije je data na slici 34.

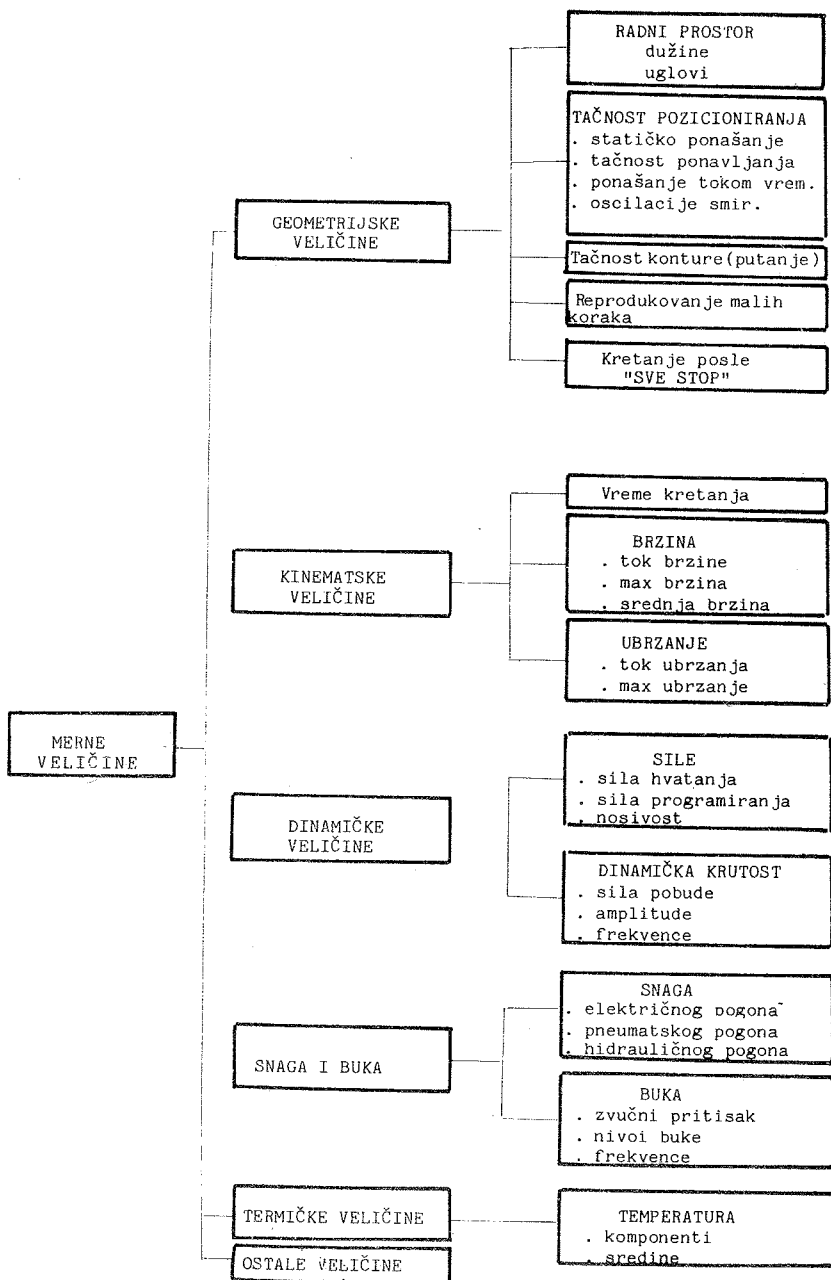
Nova generacija mašina alatki i robota, kao posebne familije mašina alatki za industriju prerade metala, bazira na koncepcijama koje polaze od mogućnosti ugradnje veštačke inteligencije. Kako se veštačka inteligencija jedne mašine sve više povezuje sa okruženjem to je neophodno razviti i podsistem receptora (čula). Poseban značaj ima vizuelna percepcija. Tako da je moguće ukupan sistem mašine kao kibernetске tvorevine definisati kao sistem koji se sastoji iz:

- (a) vizuelnog podsistema
- (b) veštačke inteligencije, i
- (c) mašine (mašina alatka, robot, fleksibilni sistemi, itd.) - slika 34.

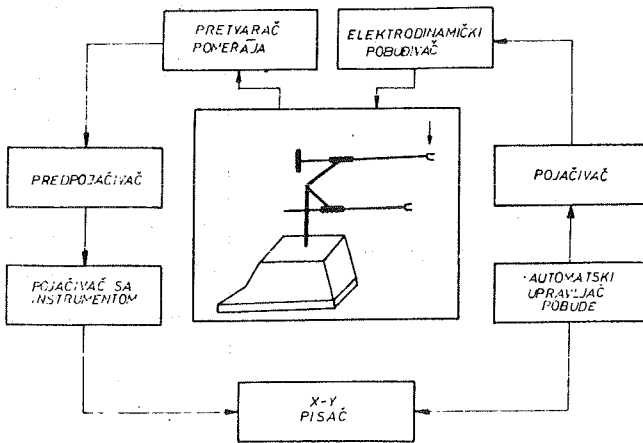
### Vizuelni podsistem

Gledanje jedne scene je proces koji je težak za razumevanje. Sve se više približavamo stanju da govorimo o razvoju nauke o razumevanju slike.

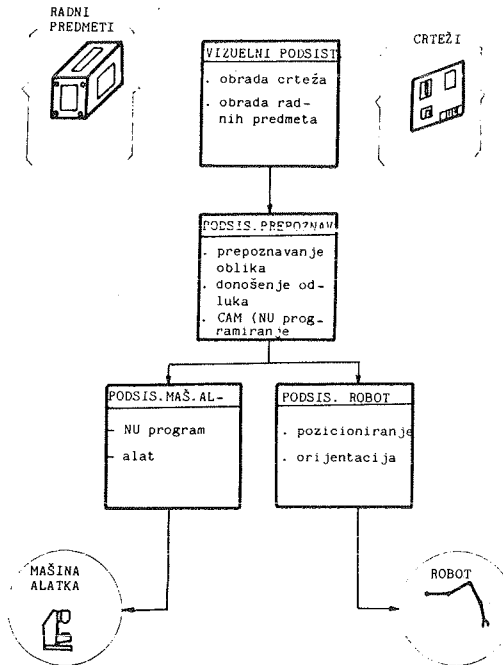
Ovde su od posebnog interesa problemi procesiranja slike, objekata kao i kompleksne scene. Do sada je razvijena bogata naučna podloga za mašinsko gledanje i procesiranje scena. Stvorena su i tehnička sredstva sa TV-kamerom kao okosnicom ovog sistema. Međutim, kao što je već istaknuto daleko smo od zadovoljavajućih rešenja. Od skora se sve više ulazi u sisteme sa bojama. Ovakav podsistem je u fazi instalisanja, na Mašinskom fakultetu, dok se prethodna istraživanja već dugo vremena sprovođe.



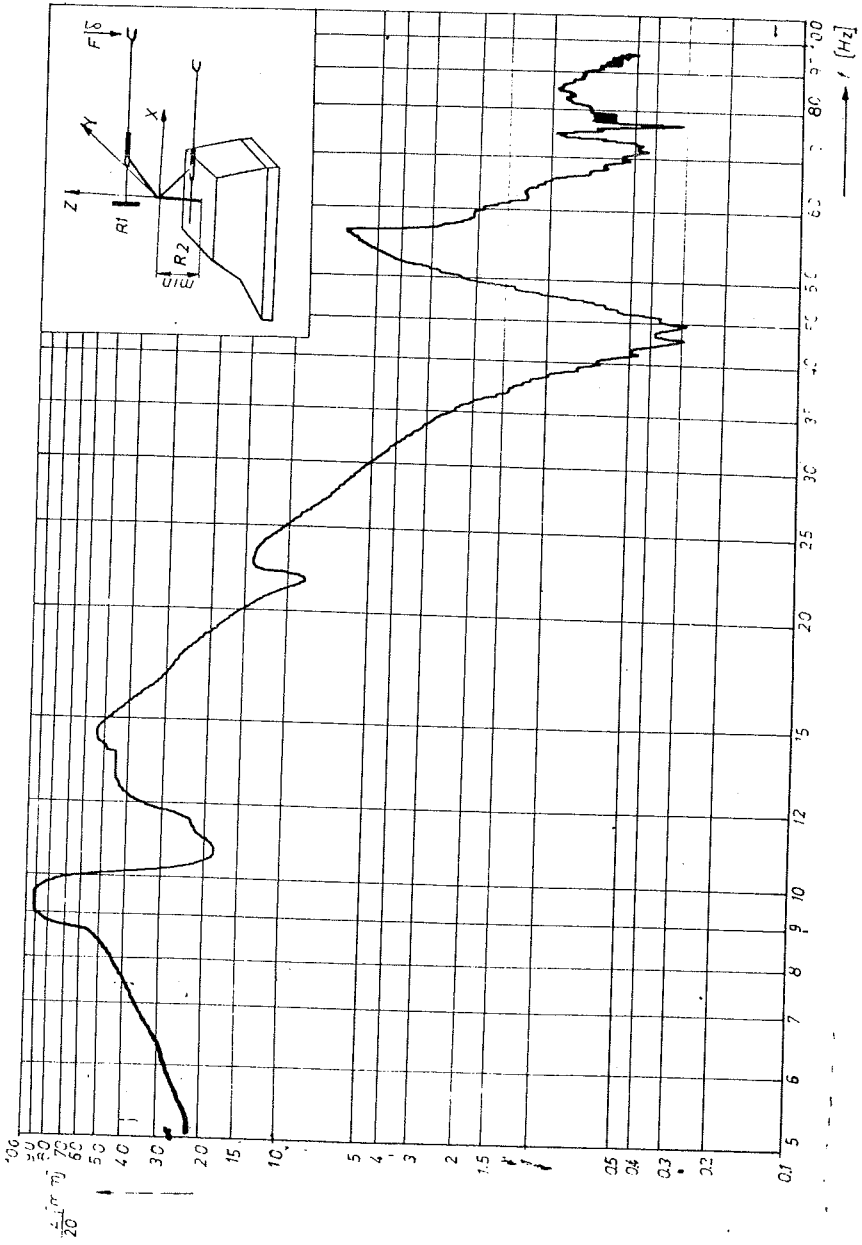
Sl. 31. Klasifikacija veličina koje određuju ukupno ponašanje IR i manipulatora



Sl. 32. Blok shema kompozicije eksperimentalne opreme za dinamičku identifikaciju



Sl. 34



Sl. 33. Amplitudno-frekventne karakteristike

### Veštačka inteligencija

Naredni korak u cilju vizuelnog poimanja slike, objekta ili scene je prepoznavanje. Prepoznavanje predstavlja važan sadržaj u oblasti veštačke inteligencije. Medjutim, prepoznavanje nekog objekta se sastoji od vidljivih i latentnih sadržaja tako da je to vrlo složen proces. Npr. geometrijsko prepoznavanje scene ili objekta je pretežno sastavljeno iz vidljivih, a manje od latentnih sadržaja. Medjutim, ako se posmatra tehnološko prepoznavanje oblika imamo inverznu situaciju.

Druga oblast koja se odnosi na veštačku inteligenciju je pretraživanje i donošenje odluka. Za čitave grupe zadataka neophodno je razviti sistem za kretanje kroz prostor u cilju traganja (searching) za konačnim ciljem kako bi se donela i odgovarajuća odluka.

Sistem produkcije u veštačkoj inteligenciji se sastoji iz globalne baze podataka, produkcijskih pravila i globalnog sistema upravljanja.

Globalna baza podataka je ona struktura podataka koju koristi produkcijski sistem VI. Nad ovom bazom podataka se izvode pravila produkcije. Prethodno se ispituje uslov da li produkcijsko pravilo zadovoljava ili ne zadovoljava globalnu bazu podataka. Primena pravila produkcije menja bazu podataka. Opis stanja problema određuje globalnu bazu podataka odgovora i inicijalnom stanju sistema. Struktura podataka koja opisuje stanja su: lančiči, vektori, skupovi, drvo, matrice, listinzi itd.

Sistem globalnog upravljanja bira primenljiva pravila i prekida proračun kada se konačni (terminirani) uslov globalne baze podataka zadovolji. Izbor pravila, praćenje traga redosleda pravila koja su korišćena i baza podataka koja se proizvode su rezultat strategije upravljanja..

Navodi se procedura nedeterminističkog tipa koja ne sadrži precizno specificiran zahtev izbora (iskaz 4):

#### PRODUKCIJA

1. **PODACI** ← polazna baza podataka
2. dok **PODACI** zadovoljava konačne uslove, do:
3. **POČETAK**
4. **IZBOR** nekih pravila, R, u skupu pravila koja mogu da se primene na podatke
5. **PODACI** ← rezultat primenjenih R na **PODATKE**
6. **KRAJ**

Operacije produkcijskih sistema VI može da se smatra kao proces pretraživanja (search process) u kome se pravila primenjuju, dok se neka od tih sekvenci ne nadje da proizvede bazu podataka koja zadovoljava terminirano stanje.

Strategija upravljanja može da bude nepovratnog i probnog tipa. Strategije nepovratnog tipa predpostavlja da se od jedne izabrane tačke krećemo kroz prostor stanja bez mogućnosti korekcije ili vraćanja u tačku već predjenog puta. Probna ili eksperimentalna strategija

polazi od izabranog atributa ili od tačke izabrane na bazi osećaja, s tim da postoji mogućnost vraćanja na tu tačku. To znači da je moguće pretraživanje unazad kao i pretraživanje grafova.

### Mašina alatka, robot, fleksibilni tehnološki sistemi

Produkcijski sistemi VI mogu da posluže kao osnova za rešavanje čitavog niza zadataka u oblasti proizvodnog mašinstva. Osnovu fizičkih jedinica čine mašina alatka (MA), industrijski robot (IR) i fleksibilni tehnološki sistem (FTS) kao kombinacija prva dva sistema.

Kombinovanje industrijskih robota sa mašinama alatkama zahteva peti nivo upravljanja sistemom (slika 26). Funkcije na ovom nivou upravljanja su:

- . upravljanje sistemom radnih stanica, i
- . medjuveza sa višom bazom podataka (PK<sup>2</sup> - nivo).

Eksperimentalna stanica za ovaj koncept postavljena je u Zavodu za mašine alatke na Mašinskom fakultetu u Beogradu (slika 35). Ovaj sistem ima mogućnost povezivanja za višom bazom podataka preko TV-1 ili pak sistema za generisanje poslova.

### Simulacioni model

Korišćenjem GPSS-paketa programa već duže vremena autor sa grupom saradnika razvija metod projektovanja FTS. Kao model je poslužio, između ostalih i prva fleksibilna tehnološka ćelijska - FLEXI - 101 ILR. Na slici 36 data je osnovna konfiguracija ove ćelije koja se sastoji iz dve mašine alatke i jednog robota za posluživanje ovih mašina.

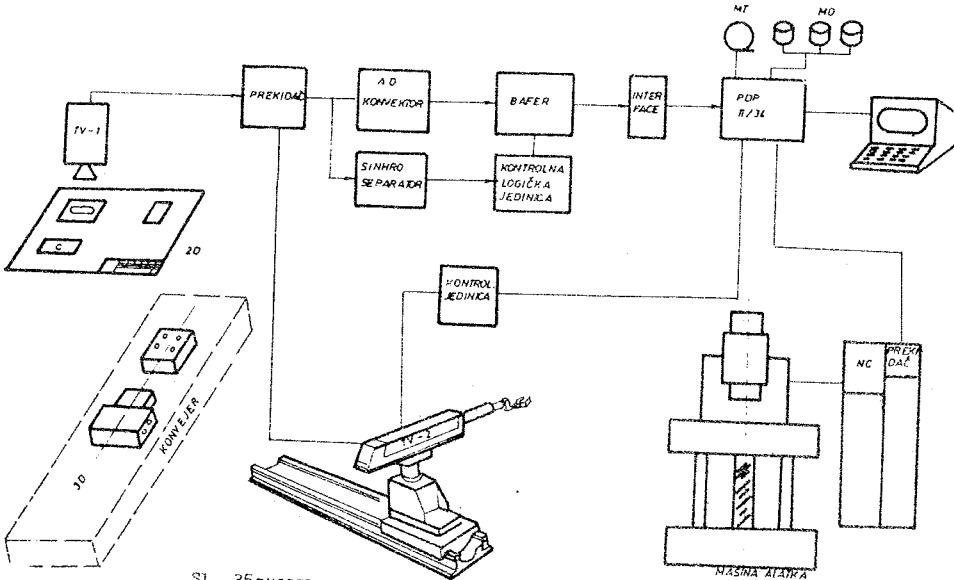
Ne ulazeći u mehanizam funkcionisanja GPSS-paketa daje se primer jednog testa za izabrani proizvodni zadatak. Neka proizvodni zadatak obuhvata tri grupe radnih predmeta označene sa A, B i C. Na ulazu u sistem je prema termin planu formiran tehnološki red. Za zadate parametre obrade i rada robota dobija se u radnom intervalu slika medjusobnog odnosa delova u redu čekanja. Na donjem delu je dat tehnološki red izlaza iz ćelije (slika 37). Rezultat dobijen simulacijom predstavljen je na slici 38. Razvijeni su delovi koji se u nekom od navedenih trenutaka nalazi u ćeliji a koji su gotovi, pri čemu se strogo vodi medjusobni redosled delova. Na narednoj slici 39 pokazana su stanja ćelije s obzirom na delove koji se izrađuju, a sve saglasno prethodnim rezultatima.

Ovde je naveden samo deo dobijenih rezultata dok se posebna studija bavi ovim problemom.

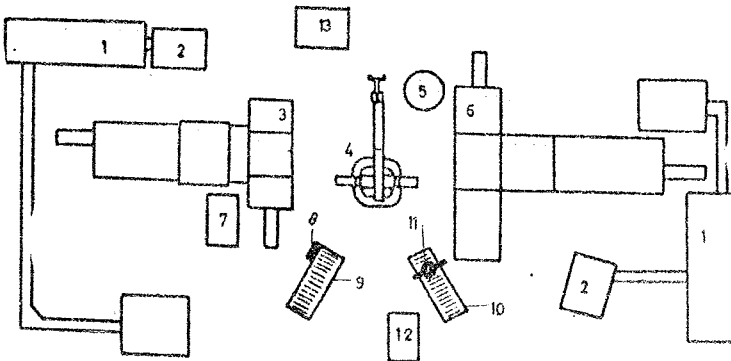
### Izvedeni sistemi

Ne navodeći rezultate ostvarene u svetlu, koji su nema sumnje značajni, ovde se daje kratak pregled domaćih rezultata.

U domenu projektovanja i izrade robota već je

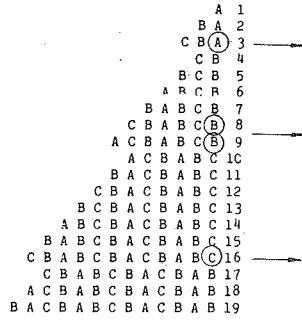
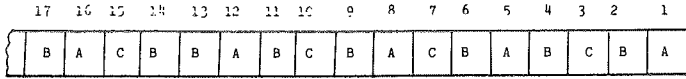


Sl. 35 EKSPERIMENTALNA STRUKTURA OPREME TEHNOLOŠKE ČELIJE

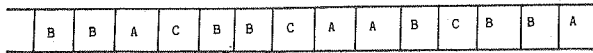


- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1 - električnom energijom                     | 7 - magacin alata                     |
| 2 - CNC-LOLA 30 upravljačka jedinica          | 8 - identifikacija paleta             |
| 3 - OC-HBG-50 horizontalna bušilica glodalica | 9 - Transporter gotovih delova        |
| 4 - ILROT-5z industrijski robot               | 10 - Transporter priprema             |
| 5 - Jedinica za prepoznavanje                 | 11 - TV kamera                        |
| 6 - VBG-50-CNC vertikalna bušilica glodalica  | 12 - Centralna upravljačka jedinica   |
|   | 13 - CRC-LOLA 42 upravljačka jedinica |

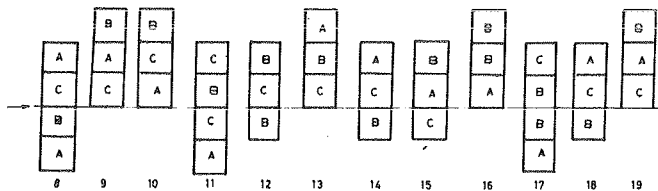
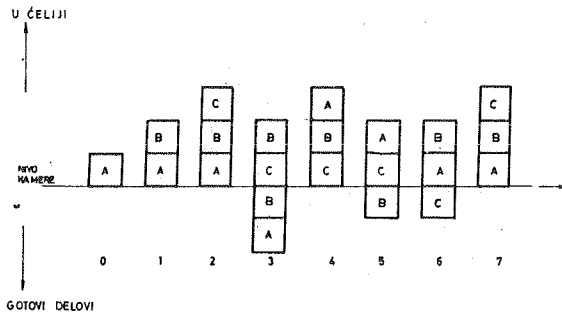
TEHNCLOŠKI RED - ULAZA



TEHNCLOŠKI RED - IZLAZ



Sl. 37. Rezultat smilacionog modela FLEXI-101 ćelije



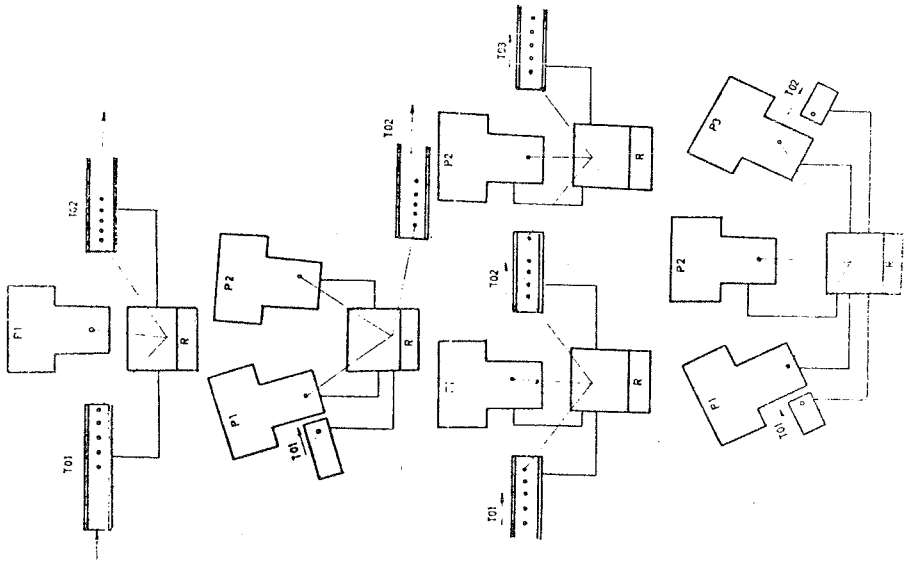
Sl. 38. Prikaz redosleda izrade delova u ćeliji



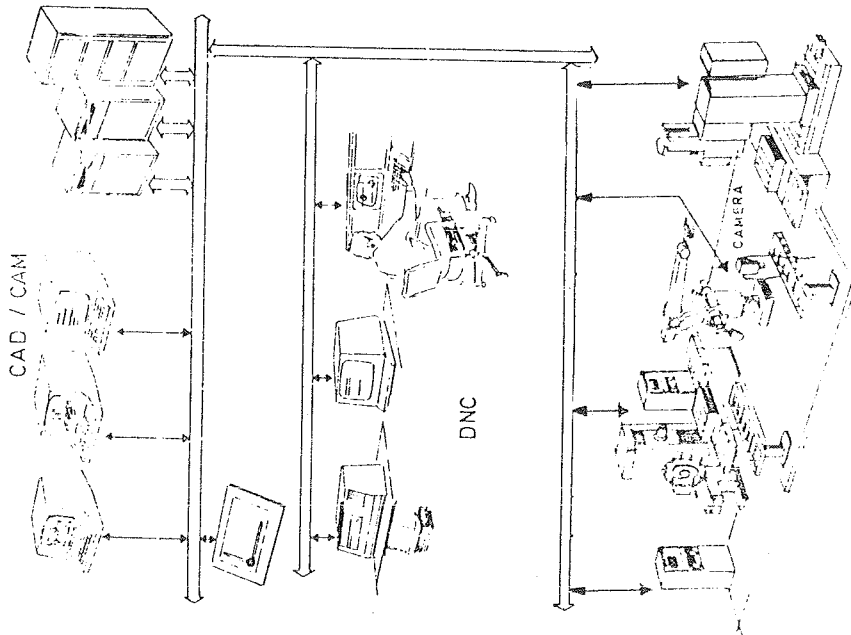
1, 2			11		
3		4		12a	
5		6		14	
7		8		16	
9a		10		17	

Sl. 39. b) Prikaz stanja delje

Sl. 39 a) Prikaz stanja delje



SI. 41.



SI. 42.

realizovano desetak domaćih rešenja koja predstavljaju solidnu osnovu za dalji brži razvoj. Industrija se priprema da počne i sa serijskom proizvodnjom robota.

Drugi, ništa manje značajan pravac je izgradnja FTS sa robotima u čemu ILR sigurno danas ima vodeće mesto u nas. Koncept jednog takvog sistema je dat na slici 40.

Na bazi konstruisanog i izvedenog dvorukog robota u ILR-Železnik na Mašinskom fakultetu u Beogradu u Zavodu za mašine alatke izvršena su istraživanja za njegovo korišćenje za posluživanje presa. Na slici 41 data je struktura mogućih konfiguracija za formiranje FTS-presa. Ovaj projekat je u toku.

## 6. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Prošlo je pet godina od kako se šire shvatila potreba da u domaću industriju prerade metala treba ići energičnije u pravcu robotizacije.

Zajednica nauke SR Srbije finansiral već treći godinu projekat "Industrijski roboti" čiji je rukovodilac akademik Miomir Vukobratović. U ovom projektu učestvuju: Institut "Mihailo Pupin" - Beograd, Mašinski fakultet - Beograd, Institut "Kirilo Savić" - Beograd, Industrija mašina "Ivo Lola Ribar"-Železnik, Industrija hidraulike i pneumatike "Prva petoletka" - Trstenik, Industrija "Teleoptik" - Beograd i Industrija "Goša" - Smederevska Palanka.

Uključenjem ove teme u redovna jugoslovenska savetovanja iz oblasti proizvodnog mašinstva nesumnjivo je dalji doprinos da domaća industrija kao i naučno-istraživačke organizacije sada već na jugoslovenskom nivou pojačaju istraživanja, proizvodnju i primenu industrijskih robota i doprinesu domaćoj reindustrijalizaciji a samu industriju osposobe za uspešnu međunarodnu saradnju.

## 7. LITERATURA

- /1/ Paul P. R., Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control, Mit press, Cambridge, Mass. (1981)
- /2/ Vukobratović, M., Potkonjak, V., Dinamika manipulacionih robota i aktivnih prostornih mehanizama, knjiga 1, Institut "Mihailo Pupin"- Beograd (1981)
- /3/ Vukobratović M., Stokić, D., Sinteza i algoritmi upravljanja manipulacionim robotima, knjiga 2, Institut "Mihailo Pupin" - Beograd (1981)
- /4/ Milačić, V., Milojević, M., Milutinović, D., Roboti i manipulatori, Makroprojekat "Istraživanje i razvoj domaćih složenih obradnih sistema, 41-01, knjiga III, Mašinski fakultet, Beograd (1979)
- /5/ NUMA & ROBOTI, Peto jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota, Zbornik radova, Beograd (1982)
- /6/ NUMA & ROBOTI, Šesto jugoslovensko savetovanje korisnika i proizvođača numerički upravljanih mašina alatki i robota, Zbornik radova, Beograd (1983)
- /7/ Primenjena robotika, Treći jugoslovenski simpozijum za primenu robotiku, Zbornik radova, Vrnjačka banja (1983)
- /8/ Pervy Sovetsko-jugoslavskij seminar po robotehnici, Tezici dokladov, Moskva (1983)
- /9/ Industrial Robots now in Japan, Jetro, Japan (1981)
- /10/ The promotion of robotics and CAD/CAM in Sweden, Industri-departementet, Stockholm (1981)
- /11/ Popov, PE., Vereščagin, F.A., Zenkevič, L.S., Manipulacionnye roboty - dinamika i algoritmy, Moskva "Nauka" (1978)
- /12/ Dodo, G.G., Rossol, L., Computer Vision and Sensor-Based Robots, Plenum press, New York (1979)
- /13/ Jurević, I.E., Upravljenje robotamy ot EVM, Leningrad "Energija" (1980)
- /14/ Petrov N. B., Kemur Džiana, Dinamika plane-tohoda, Moskva "Nauka" (1979)
- /15/ Jurević, I. E., Avetikov G. B., Korytko, B. O. i dr. Ustrojstvo promyšlennyh robotov, Leningrad "Mašinstroenie" (1980)
- /16/ Pozdnjak. E. G. (redaktor) Integralnye roboty, VIP 2, MIR, Moskva (1975)
- /17/ Milačić, V., Milutinović, D., Production and use of Industrial Robots - the State of the art in SFR Yugoslavia, United Nations, Economic and Social Council, Geneva (1982)



## **II – OBRADA SKIDANJEM MATERIJALA**



Lj. S. Lukić, V. B. Šolaja \*

PRILOG TEORIJI MATEMATIČKOG MODELIRANJA  
VIŠESEČNIH ALATA ZA DUBOKO BUŠENJE

R e z i m e

Definisanje položaja perifernih vodjica kod višesečnih alata za duboko bušenje zahteva kompromis između jednakosti napadnih sila i visine stepena stabilnosti alata u obradnom procesu. U radu se prezentira razvijeni matematički model za iznalaženje optimalnog rešenja.

A CONTRIBUTION TO THE THEORY OF MATHEMATICAL  
MODELLING OF MULTI-EDGE TOOLS FOR DEEP-HOLE DRILLING

S u m m a r y

Defining the position of the guide pads of multi-edge tools for deep-hole drilling requires a compromise between the equality of applied forces and the degree of tool stability in the drilling process. The paper presents a developed mathematical model which is to discover an optimum solution.

1. Uvod

Do sada su publikovani rezultati uglavnom parcijalnih istraživanja nekih tipova višesečnih alata za duboko bušenje. Takva ispitivanja uticajnih faktora na ponašanje alata u obradnom procesu dubokog bušenja, sprovedena su u nekoliko naučno-istraživačkih centara u svetu. U rezultatima se daju uzajamni odnosi komponenata otpora rezanja, rešenja za prigušivanje sa-

mopobudnih oscilacija dugog nosača glave za bušenje, mere za poboljšanje odvođenja strugotine i kvaliteta obradjene površine, tačnosti mera i oblika, ukazuje se na neke mogućnosti razvoja senzora za direktnu identifikaciju sila i momenata u obradnom procesu. Daju se neke zavisnosti između parametara režima obrade i temperature na sečivima i perifernim vodji-

\*) Mr Ljubomir S. Lukić, dipl. ing., saradnik Instituta za alatne mašine i alate - IAMA, 27. marta 80, 11001 Beograd, p. fah 802.

Dr Vladimir B. Šolaja, dipl. ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu i direktor Instituta za alatne mašine i alate - IAMA, 27. marta 80, 11001 Beograd, p. fah 802.

cama i niz drugih pojedinosti. Ali još uvek nije razvijen adekvatan sveobuhvatni model za definisanje optimalne konstrukcijske forme i konstrukcijskih parametara, višesečnih alata za duboko bušenje, u zavisnosti od obradnih uslova i izlaznih karakteristika kvaliteta obradjenog otvora.

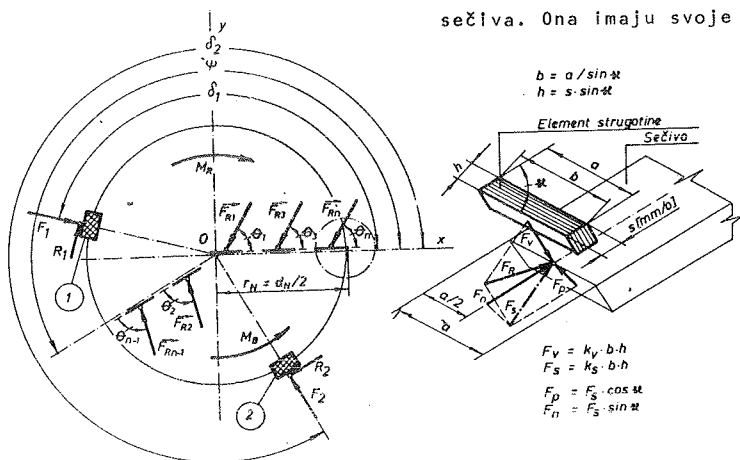
Cilj je da se iznadje takva geometrijska forma alata sa maksimalnom stabilnošću a minimalnim i jednakim silama na perifernim vodjicama, u obradnom procesu. Maksimalnom stabilnošću postiže se tačnost mera i oblika obradjenog otvora, a minimalnim i jednakim silama obezbedjuje sporo i ravnomerno habanje perifernih vodjica, odnosno maksimalna postojanost alata [1]. Težnja je da se većim silama na perifernim vodjicama obezbedi veća stabilnost alata, ali je intenzitet tih sila ograničen uslovima hidrodinamičkog podmazivanja u oslonim tačkama perifernih vodjica.

aproksimacija i eksperimentalnih rezultata. Time je postavljen osnov za definisanje optimalne geometrijske forme višesečnih alata za duboko bušenje i za razvoj drugih specijalnih tipova alata za obradu dubokih otvora.

## 2. Matematički model sistema napadnih sila i momenata na višesečnom alatu za duboko bušenje

Napadne sile na glavi za duboko bušenje imaju odlučujući uticaj na stabilnost oslanjanja perifernih vodjica o zid obradjenog otvora i tačnost vodjenja alata. Zbog toga je neophodno poznavanje kako intenziteta, tako i pravca i smera delovanja svih napadnih sila u procesu dubokog bušenja, da bi se u toku obradnog procesa moglo upravljati ponašanjem alata [2].

Identifikacija i definisanje sistema napadnih sila na višesečnom alatu za duboko bušenje izvedeno je na uopštenom modelu sa  $n$  sečiva i  $n-1$  medjusečiva. Ona imaju svoje osnovne geo-



Sl.1.- Sistem napadnih sila i momenata na višesečnom alatu za duboko bušenje sa parametrima sečiva i strugotine [3].

Razvijeni matematički model izgradjen u vidu software-skog proizvoda, prezentira jedan optimizacioni postupak na bazi teorijskih rešenja, pretpostavki,

metrijske karakteristike, širinu ( $a$ ) i napadni ugao ( $\alpha$ ) i na osnovu poznatog pomaka ( $s$ ) odredjuju se veličine elementa strugotine (sl.1). Poznat



je materijal obradka, a time i njegove karakteristike, specifična sila rezanja ( $k_v$ ) i prodiranja ( $k_s$ ), pa se za dati režim obrade mogu odrediti parcijalne komponente sile rezanja na svakom sečivu. Zatim se one redukuju u dve faze i nakon toga se definiše

- (i) moment rezanja ( $M_R$ ),
- (ii) horizontalna ( $F_{hor}$  u pravcu x-ose) i vertikalna ( $F_{ver}$  u pravcu y-ose) komponenta sile rezanja u baznoj ravni upravnoj na pravac pomoćnog kretanja,
- (iii) reakcija oslanjanja alata perifernim vodjicama pomoću sila  $F_1, F_2 = f(F_{ver}, F_{hor}, \mu, \delta_1, \delta_2)$  i
- (iv) moment bušenja,  $M_B = M_R + \mu(F_1 + F_2)r_N$  za konkretne obradne uslove.

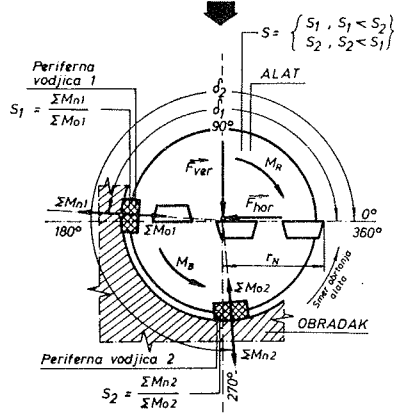
3. Kriterijum stabilnosti

Tačnost vođenja i stabilnost oslanjanja alata u obradnom procesu dubokog bušenja direktno utiču na karakteristike kvaliteta obradjenog otvora (tačnost mera i oblika), i na stabilnost samog procesa. Kao generalni pokazatelj valjanosti ponašanja alata u datom režimskom tretmanu dubokog bušenja uzet je stepen stabilnosti. On se definiše kao odnos momenata naleganja ( $\sum Mn$ ) i momenata odvajanja ( $\sum Mo$ ) za oslone tačke perifernih vodjica [4].

Momenti naleganja posmatrani u odnosu na jednu perifernu vodjicu izazivaju pritisak druge vodjice na zid otvora koji se obradjuje, dok momenti odvajanja imaju tendenciju da je odvoje od zida i dovedu u neki nedefinisan položaj (sl.2). Neophodno je razmatranje stepena stabilnosti u odnosu na obe periferne vodjice da bi se formirao opšti zaključak o stabilnosti procesa rezanja.

Stepen stabilnosti je statički pojam

- A.)  $90^\circ < \delta_1 < 180^\circ, 180^\circ < \delta_2 < 270^\circ$
- B.)  $90^\circ < \delta_1 < 180^\circ, 270^\circ < \delta_2 < 360^\circ$
- C.)  $180^\circ < \delta_1 < 270^\circ, 180^\circ < \delta_2 < 270^\circ$
- D.)  $180^\circ < \delta_1 < 270^\circ, 270^\circ < \delta_2 < 360^\circ$



Sl.2.- Tendencija delovanja momenata naleganja i momenata odvajanja

i služi kao pokazatelj ravnotežnog stanja alata u obradnom procesu. Zavisí od vektora u sistemu napadnih sila i momenata, kao i položaja tačkaka oslanjanja, pa može poslužiti kao jedan od osnova za optimizaciju geometrijske forme radnog dela alata.

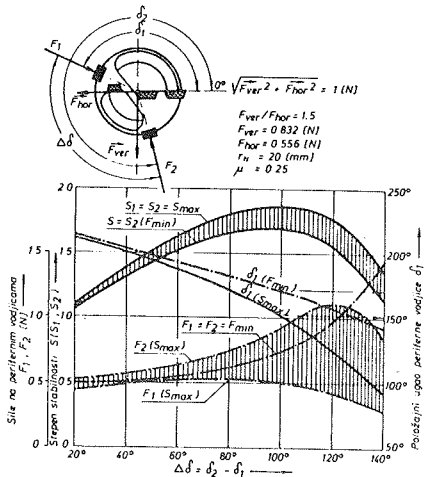
4. Izbor geometrijskog koncepta višesežnog alata za duboko bušenje

Radi uopštavanja problematike u vezi obradnih uslova u razmatranje se uvodi jedinična sila rezanja od 1[N] sa odnosom vertikalne i horizontalne komponente  $F_{ver}/F_{hor} = 1,5$ . Rešenje kao izlaz iz razvijenog matematičkog modela je kompromisno u odnosu na postavljene ciljeve u uvodnom delu (sl.3). Ista geometrijska forma alata ne ispunjava istovremeno oba osnovna uslova:

- (i) maksimalna stabilnost u obradnom procesu i
- (ii) jednake i minimalne reakcione sile na perifernim vodjicama.

Položaj perifernih vodjica alata u

slučaju da se zadovolji prvi uslov je:  $\delta_1=170^\circ$ ,  $\delta_2=270^\circ$  ( $\Delta\delta=100^\circ$ ) uz stepen stabilnosti  $S=1,71$ , a da se zadovolji drugi uslov  $\delta_1=152^\circ$ ,  $\delta_2=252^\circ$  ( $\Delta\delta=100^\circ$ ) uz maksimalni stepen stabilnosti  $S=1,86$  za date obradne uslove.



Sl.3.- Dijagramski prikaz rešenja geometrijske forme jednog višesečnog alata za duboko bušenje u zavisnosti od obradnih uslova

Kako je stepen stabilnosti kriterijum kvaliteta obradnog procesa, ono rešenje koje omogućuje njegovu veću vrednost ima prioritet. Pri tome sile na perifernim vodjicama neće biti istog intenziteta (u ovom slučaju su  $F_1=0,50 \text{ [N]}$  i  $F_2=0,92 \text{ [N]}$ ) ali se rešenje može naći na drugoj strani da bi habanje, zagrevanje, ... , bilo sporo i ravnomerno na obe vodjice.

## 5. Zaključak

Razvijeni matematički model daje samo osnovna opredeljenja u izboru geometrijskog koncepta višesečnog alata za duboko bušenje, pa se zbog toga mora proširiti respektovanjem ut-

icaja inercijalnih i drugih sila. Geometrija, raspored i položaj sečiva i medjusečiva utiču direktno na sliku napadnih sila i momenata na alatu, a time i na neke polazne parametre u ovom modelu. U duhu pomenutih pravaca u Institutu IAMA se već sprovode dalja istraživanja, kako bi se došlo do sveobuhvatnog i praktično primenljivog modela kao osnove za razvoj novih domaćih alata za duboko bušenje.

## 6. Literatura

- [1] Lukić, Lj., Šolaja, V., Aspekti optimizacije konstrukcijske forme alata za duboko bušenje sa ožlebljenim dugim nosačem, TEHNIKA - Mašinstvo 32(1983)2, str.283-287.
- [2] Lukić, Lj., Šolaja, V., Sile na perifernim vodjicama višesečnog alata u procesu dubokog bušenja, III naučno-stručni skup MMA'83, Novi Sad (1983).
- [3] Lukić, Lj., Položaj perifernih vodjica na alatu za duboko bušenje, XIII Simpozijum upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd (1983).
- [4] Lukić, Lj., Analitička metoda za identifikaciju stabilnosti višesečnih alata u procesu dubokog bušenja, Saopštenja IAMA 29 - u štampi (1983).
- [5] Uzunović, R., Lukić, Lj., Slavković, R., Razvoj i primena tehnologije dubokog bušenja, XIV Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Čačak (1980).
- [6] Lukić, Lj., Uzunović, R., Tehnologija obrade dubokih otvora i karakteristike obradnog procesa, Elaborat 631/81, Institut IAMA, Beograd (1981).
- [7] Slavković, R., Identifikacija dinamičkog ponašanja obradnog sistema za duboko bušenje, magistrski rad, Mašinski fakultet, Beograd (1983).

Joko Stanić 1)

Vidosav Majstorović

NEKI ANALITIČKI METODI OPTIMIZACIJE OBRADNIH  
PROCESA I RAZVOJ PROGRAMSKE PODRŠKE ZA NJIH

R e z i m e

Razvoj i primena automatizovanih i automatskih obradnih sistema (NUMA i FTS), predpostavlja razvojne sisteme tehnoloških banki podataka. Sastavni elementi ovih banki podataka su i segmenti za optimizaciju obradnih procesa. Do sada je razvijen niz modela za optimizaciju obradnih procesa, kao što su: (i)metod klasične matematičke analize, (ii)metod Lagranževih multiplikatora, (iii) gradijentni metod, (iv)simpleksni metod, (v)metod pretraživanja optimuma, i drugi. Poseban problem njihove efikasne primene je razvoj programske podrške za njih. U ovom radu se detaljno razmatraju neki metodi optimizacije obradnih procesa na bazi pretraživanja optimuma, kao i razvoj programske podrške za njih, na čemu se posebno radi u CeNT-u.

SOME ANALITICAL METHODS OF OPTIMIZATION MANUFACTURING PROCESS AND SOFTWARE DEVELOPMENT

S u m m a r y

The development and application of automated and automatic manufacturing systems (NCMT and FMS) is conditioned by developed systems of manufacturing data banks. The component segments of these data banks are at the same time optimization segments for manufacturing processes. So far, a series of manufacturing process optimization models have been developed, such as: (i)method of conventional mathematical analysis, (ii)method of Lagrange's multipliers, (iii)gradient method, (iv)simplex method, (v)methods of optimum characteristics retrieval, and others. A special problem connected with their effective application is the software development for these methods. The paper considers in detail some manufacturing process optimization methods based on optimum characteristics retrieval, especially the software development, which task is successfully pursued at the CeNT.

1. UVOD

Poseban doprinos razvoju teorije optimizacije obradnih procesa, da li je pojava numerički i adaptivno upravljanih mašina alatki. Analitičke metode polaze od matematičkog

modela obradnog i/ili tehnološkog procesa, na osnovu koga se izvodi optimizacioni model. U ovu grupu spadaju poznati klasični i nešto noviji metodi optimizacije [1,2]:

1) Prof. dr. Joko Stanić, dipl. maš. inž., mr Vidosav Majstorović, dipl. maš. inž., Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd.

(i)metod klasične matematičke analize, (ii)metod Lagranževih multiplikatora, (iii)gradijentni metod, (iv)simpleksni metod, (v)metod geometrijskog programiranja, (vi)metod stohastičkog programiranja, i (vii)metodi pretraživanja optimuma, koji će se ovde posebno razmatrati. Postoji više metoda pretraživanja, a najpoznatije su: (i)Gaus - Zajdelov metod, (ii)metod relaksacije, (iii)metod skeniranja, (iv)metod slučajnog pretraživanja (slučajni EVOP metod), i neki drugi. U metode slučajnog pretraživanja spadaju gradijentni i simpleksni metod, ali se ova dva metoda posebno izdvajaju zbog svoje specifične procedure, i ovde se neće analizirati. Oni su detaljno prikazani u [1,2].

### 2.1. Gaus - Zajdelov metod

Ovaj metod se karakteriše promenom ulaznih veličina, polazeći od polazne tačke  $M_p = M_1$ . Pri tome se menja svaka nezavisno promenljiva veličina  $x_i, i=1, \bar{k}$  sve dotle dok se u pravcu te promenljive veličine ne dostigne ekstrem funkcije cilja (maksimum ili minimum), tj. do tačke  $M_2$ , slika 1. Zatim se od ove tačke -  $M_2$ , menja po istoj proceduri sledeća promenljiva veličina, i tako redom, sve do tačke optimuma funkcije  $F_c$ . Pri promeni jedne,

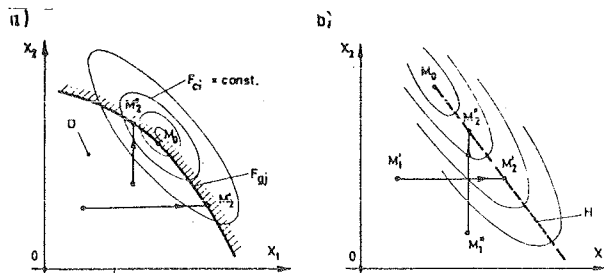
ostale promenljive veličine zadržavaju stalnu vrednost, dok je redosled uzastopnih promena nezavisnih veličina proizvoljan. Procedura određivanja optimuma se nešto usložnjava nailaskom na granične funkcije, slika 1a, i na oštri greben funkcije  $F_c$ , slika 1b kao i otkrivanje lokalnog ekstremuma. Ovi problemi se prevazilaze kombinacijom ovog sa drugim analitičkim metodama optimizacije.

### 2.2. Metod relaksacije

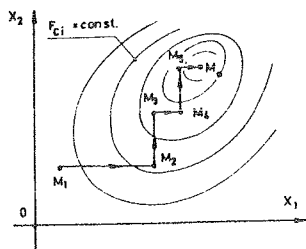
Ovde put kretanja ka optimumu od početne tačke započinje u pravcu najveće promene funkcije cilja. Ovaj pravac se određuje na osnovu vrednosti parcijalnih izvoda funkcije  $F_c$ , po svim nezavisno promenljivim veličinama. Iz dobijenog skupa bira se onaj čija je apsolutna vrednost najveća, pa se ovaj pravac uzima za put kretanja. Procedura se u sledećim koracima odvija na isti način, a završava se u optimalnoj tački  $M_0$ , koja se utvrđuje na sledeći način. Kada pri kretanju iz tačke  $M_0$  po bilo kom osnom pravcu, ne nastupi bitna promena vrednosti funkcije cilja  $F_c$ , smatra se da je tačka  $M_0$  optimum. Ovaj kriterijum izražava se uslovom,

$$\sum_{i=1}^k \left( \frac{\partial F_c}{\partial x_i} \right)^2 < \delta \quad (1)$$

Kada  $\delta \rightarrow 0$ , tada su parcijalni izvodi u tački nagomilavanja (tački optimuma), a na slici 2 je prikazana ova metoda.



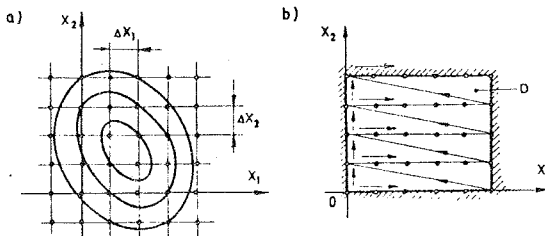
Sl. 1. Zaustavljanje procedure uzastopnih promena ulaznih veličina (za slučaj dvodimenzionalne funkcije  $F_c$ ) na granici  $F_{Gj}$  (a) i hrbatu H (grebenu) funkcije  $F_c$  (b).



Sl. 2. Iterativna procedura metoda relaksacije

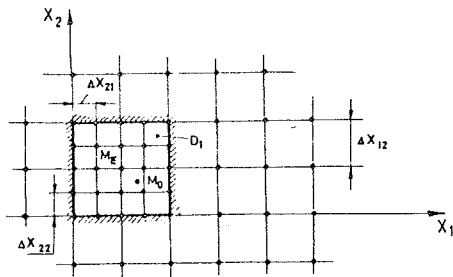
### 2.3. Metod skeniranja

Ovaj metod naziva se još i metod potpunog pretraživanja, a karakteriše se pretraživanjem vrednosti funkcije cilja  $F_C$ , po tačkama dopuštene oblasti, u kojoj se ili na čijoj se granici nalazi optimum funkcije  $F_C$ . Korak skeniranja zavisi od gustine tačaka u kojima se ispituje vrednost funkcije  $F_C$  u dopuštenoj oblasti  $D$ , slika 3. Primena



Sl. 3. Ilustracija metoda skeniranja po trezi sa stalnim korakom  $\Delta x_i$  sa planom (a) i tokom procedure (b)

računara u ovoj oblasti je posebno efikasna za veliki broj ulaznih promenljivih. Plan pretraživanja optimuma u dopuštenoj oblasti može da bude u obliku mreže, spirale, sa stalnim ili promenljivim korakom  $\Delta x_i$ . Metodologija skeniranja sa promenljivim korakom odvija se tako što se prvo identifikuje uža oblast optimuma  $D_1$ , pa se zatim u drugoj fazi uzima korak  $\Delta x_{21}$ , slika 4.



Sl. 4. Metod skeniranja sa promenljivim korakom

U tački  $M_E$  funkcija  $F_C$  imala je ekstremnu vrednost za oblast  $D$ , ali

smanjenjem koraka pretraživanja otkriva se i optimalna tačka  $M_O$ , funkcije  $F_C$ .

### 2.4. Slučajni EVOP metod

Ovaj metod spada i u grupu adaptivnih metoda optimizacije, kada se vrednosti funkcije cilja mere pomoću senzora. On se primenjuje za optimizaciju procesa sa vrlo velikim brojem ulaznih faktora. Signifikantni faktori se određuju pomoću nepotpunih ortogonalnih planova, slučajnog bilansa ili sukcesivne selekcije. Za izbor pravca kretanja ka ekstremumu koriste se slučajni brojevi.

Navedeni metodi analitičke optimizacije primenjuju se uvek kada se neki proces može matematički modelirati. Pri analizi efektivnosti primene pojedinih metoda optimizacije, nemogu se povući oštre granice, već se najčešće primenjuje više njih u kombinaciji. Detaljne karakteristike pojedinih metoda su date u [1,2].

### 3. RAZVOJ PROGRAMSKE PODRŠKE ZA METODE PRETRAŽIVANJA OPTIMUMA

Primena računara za ovu oblast, mora se razmatrati u sklopu razvoja software-a za projektovanje za proizvodnju. U CeNT-u se za ovu oblast software-ska podrška razvija i koristi za: (i) automatizovano projektovanje tehnologije, (ii) NU tehnologija, i (iii) tehnološku banku podataka. Software za tehnološku banku podataka ima nekoliko celina: (i) podsistem za određivanje funkcija obradljivosti, na bazi primene plana eksperimenta i provere adekvatnosti matematičkog modela, (ii) podsistema za formiranje i ažuriranje baze podataka tehnološke banke podataka i štampanje izlaznih izveštaja, i (iii) podsistem za optimizaciju obradnih procesa.

Osnovni principi koji su pri razvoju

programske podrške za oblast optimizacije obradnih procesa postavljene su: (i) modularni princip razvoja, pa prema tome i korišćenja, (ii) interaktivni rad između računara i korisnika, i (iii) korišćenje razvijenog sistema baze podataka (TOPIS i TOTAL). Blok model za razvoj programske podrške za metode optimizacije obradnih procesa pretraživanjem optimuma ima nekoliko modula: (i) definisanje matematičkog modela obradnog procesa, (ii) definisanje funkcije cilja, (iii) definisanje funkcije ograničenja, (iv) primena jednog ili više različitih metoda analitičke optimizacije sa pretraživanjem optimuma, i (v) određivanje optimalne tačke. U okviru modula za primenu odgovarajućeg metoda pretraživanja optimuma, proces optimizacije se izvodi na bazi interaktivnih procedura koje konvergiraju optimalnom rešenju. Razvijene metodologije optimizacije na bazi pretraži-

vanja optimuma se na bazi programske podrške, koja se sada razvija u CeNT-u, proveravaju na nekoliko funkcija obradljivosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

Metode analitičke optimizacije obradnih procesa se karakterišu interaktivnim procedurama pretraživanja optimuma, koji se vrlo brzo otkriva korišćenjem računara. Zbog toga se efikasnost ovih metoda isključivo zasniva na primeni računara. Iz tih razloga se i prišlo razvoju programske podrške za njih u CeNT-u, u okviru šire oblasti software-a za projektovanje za proizvodnju.

#### 5. LITERATURA

- [1]. Stanić, J., 1983, Osnove tehnološke optimizacije obradnih i ekonomskih procesa, Mašinski fakultet, Beograd.
- [2]. Stanić, J., 1983, Pregled analitičkih metoda optimizacije, IX JUPI-TER konferencija, Herceg Novi.

Hinko Muren \*

## KINEMATSKA OPTIMIZACIJA MIJENJACKIH KUTIJA STROJEVA ZA OBRADU SKIDANJEM STRUGOTINE

### Rezime

Najveći utjecaj na dimenzije i ekonomičnost mijenjačke kutije ima kinematski proračun u toku kojeg se određuju brojevi zubi zupčanika. Priказani algoritam objašnjava program pomoću kojeg se mogu ispitati sva moguća rješenja i pronaći rješenja s minimalnom sumom zubi potrebnih zupčanika. Budući da u granicama standardnih propisa često nema rješenja, dati su prijedlozi za promjenu standarda.

## KINEMATISCHE OPTIMIERUNG DER WERKZEUGMASCHINEN-WECHSELGETRIEBEN

### Resümee

Den größten Einfluß auf die Größe und auf den Preis des Wechselgetriebes hat die kinematische Berechnung, mit der die Zahnzahlen der Zahnräder bestimmt werden. Mit dem vorgestellten Algorithmus kann man ein Programm zum Erfinden aller möglichen Varianten, sowie der Variante mit der kleinstmöglichen Summe der Zähne aller Zahnräder erstellen. Da es oft im Rahmen der Normvorschriften überhaupt keine Lösung gibt, werden die nötigen Veränderungsvorschläge gegeben.

### 1. Uvod

Optimizacija mijenjačke kutije treba načelno započeti kod konceptualnog izbora rasporeda zupčanika. U tom dijelu konstrukcije treba izabrati na osnovu zatraženih tehnoloških performansi stroja:

- broj stupnjeva  $z$
- mijenjačko područje  $B_m$
- granične brojeve okretaja  $n_{min}$  i  $n_{max}$
- faktor stupnjevanja  $\phi$ .

U toku kinematskog proračuna biraju se:

- ulazni broj okretaja  $n_1$
- interni prenosni odnosi  $e$ .

Na osnovu toga računaju se brojevi zubi svih zupčanika.

Ulazni broj okretaja bira se jednak broju okretaja pogonskog motora ako je ovaj direktno vezan za prvu osovinu, u suprotnom slučaju bira se proizvoljno, svakako u određenim granicama.

Interni prenosni odnosi biraju se na osnovu Germarovog i Schlesingerovog dijagrama uz poznata ograničenja (minimalni i maksimalni broj zubi, izbjegavanje ubrzanja).

Pod kinematskom optimizacijom podrazumijevamo takav izbor ulaznog broja okretaja  $n_1$  i internih prenosnih odnosa  $e$  da dobijemo prenosnik s najmanjim mogućim dimenzijama.

U nastavku prikazan je algoritam pomoću kojeg je sastavljen program za računalno. Prema tom programu moguće je vrlo brzo pronaći rješenje koje je s velikom vjerojatnosti optimalno.

Ovakvo pronađeno rješenje je svakako samo relativno optimalno, zbog toga treba optimizaciju proširiti i na konceptualni dio.

### 2. Optimizacija koncepta

Zbog izvanredno velikog broja mogućih izvedbi praktički je nemoguće izraditi algoritam za optimizaciju koncepta. Program za taj dio može biti jedino u obliku kataloga s podacima o mogućim izvedbama i uputama konstrukteru koji u dijalogu s računalom može donositi odgovarajuće odluke.

Prva dosadašnja ispitivanja pokazala su da kod izvedbi s maksimalnim mogućim mijenjačkim područjem često nema mogućih rješenja ako biramo maksimalno teoretski moguće mijenjačko područje.

U većini takvih slučajeva moguće je bilo dobiti upotrebitivo rješenje ako se dozvoljava mehanička tolerancija za izlazne brojeve okretaja veća od standardne. Prema prvim iskustvima dovoljno bi bilo dozvoliti odstupanje u granicama od -3% do +3%, da se dobiju sasvim upotrebitiva rješenja.

Drugi način koji skoro uvijek dovodi do dobrog rješenja je upotreba profilnog pomaka kod pojedinih zupčanika - obično u završnim stupnjevima. Ovaj način je prilično nepovoljan za obradu pomoću računala, budući da treba dodatno obraditi vrlo veliki broj varijanata.

Jako povoljne dimenzije mijenjačke kutije se mogu svakako dobiti ako u potpunosti odstupimo od standardnih propisa i upotrebimo nestandardni faktor stupnjevanja i nestandardne brojeve okretaja. Ovim se jasno odričemo prednostima standardizacije kod planiranja tehnološkog postupka.

Vrlo interesantna mogućnost je još upotreba geometrijskog stupnjevanja koje ćemo u nastavku nazivati binarno stupnjevanje.

\* Dr. Hinko Muren, dipl. ing., red. prof. na Fakulteti za strojništvo Ljubljana, Murnikova 2

Kod decimalnog geometrijskog stupnjevanja kao faktori stupnjevanja upotrebljavaju se potencije broja  $10^{1/20} = 1,12202$ . Ovim brojevima su vrlo blizu potencije broja  $2^{1/6} = 1,12246$  (tabela 1).

Tabela 1.

decimalni	Faktori stupnjevanja $\varphi$			
	$10^{1/10}$	$10^{2/20}$	$10^{1/5}$	$10^{6/20}$
	1,259	1,413	1,585	1,995
binarni	$2^{1/3}$	$2^{1/2}$	$2^{2/3}$	$2^1$
	1,260	1,414	1,587	2,000

U praksi se već sada često računa s binarnim faktorima stupnjevanja, najčešće jasno s faktorom  $\varphi = 2$ .

Budući da su prenosni odnosi skoro uvijek potencije faktora stupnjevanja, može se očekivati da će biti često moguće za ove odnose dobiti odgovarajuće parove zupčanika s apsolutno tačnim prenosnim odnosom. Zbog toga će biti s velikom vjerojatnosti moguće naći prenosnike s manjim dimenzijama.

Prvi pokusi konstrukcije mjenjačkih kutija pomoću računala stvarno su potvrdili ovu pretpostavku.

Standardni decimalni redovi izvode se iz osnovnog reda R 20 koji se dobije opetovanim množenjem broja 1 s faktorom  $\varphi_{20} = 1,1220$ . Ako bismo na isti način odredili odgovarajući binarni red B 20 opetovanim množenjem broja 1 s binarnim faktorom  $\varphi_{20} = 1,2225$ , članovi tog reda se postepeno sve više udaljavaju od odgovarajućih članova standardnog reda R 20.

Odstupanja bi međjutim bila u praksi neznatna ako bismo sve binarne redove odredili opetovanim množenjem ili dijeljenjem brojem:

$$n_0 = 100 \cdot 10^{11/20} = 354,81$$

Tabela 2.

Brojevi okretaja			
R 20	B 20	R 20/2	B 20/3
100,00	99,57		
112,20	111,76	111,76	11,09
125,89	125,45		125,89
141,25	140,80	140,80	1419,25
158,49	158,05		15,68
177,82	177,41	177,41	177,41
197,52	199,13		2007,13
223,87	223,52	223,52	22,18
251,19	250,89		250,89
281,84	281,62	281,62	2838,51
316,23	316,10		31,36
354,81	354,81	354,81	354,81
398,11	398,26		4014,25
446,68	447,04	447,04	44,35
501,19	501,78		501,78
562,34	563,23	563,23	5677,01
630,96	632,21		62,72
707,95	709,63	709,63	709,63
794,33	796,53		8028,49
891,25	894,07	894,07	88,70
1000	1003,6		1003,6

Ovaj broj je izabran iz tog razloga, što se nalazi u svim standardnim decimalnim redovima (brojevi 1 i 100 nisu u svim redovima!), a ujedno i u sredini mjenjačkog područja velikog broja suvremenih strojeva. Na taj način se postiže da granični brojevi okretaja  $n_{\min}$  i  $n_{\max}$  minimalno odstupaju od standardnih brojeva (obično manje od 1%).

Tabela 2 prikazuje nezaokružene, tačne vrijednosti osnovnog decimalnog reda i binarnih redova B 20 i B 20/3.

### 3. Kinematska optimizacija

Nakon izbora optimalnog koncepta treba kao prvo izabrati broj okretaja ulazne osovine  $n_1$ . Ovdje je zadatak konstruktera da odluči da li će biti pogonski motor vezan direktno za prvu osovinu.

Izbor internih prenosnih odnosa sada nije više prepušten konstrukteru. Odgovarati moraju Germarovom dijagramu, standardnim ograničenjima i omogućiti što manja opterećenja na medjuosovinama. Uz sve ovo mora biti moguća odgovarajuća kombinacija zupčanika koja daje izlazne brojeve okretaja unutar dozvoljenih granica.

Teoretski postoji samo jedno optimalno rješenje (ako uopće postoji). Da bismo ga pronašli, trebalo bi ispitati beskonačno varijantata, što je jasno nemoguće.

Za rješavanje ovog problema predlaže se algoritam koji ne garantira apsolutno najbolje rješenje, ali je vrlo velika vjerojatnost da ćemo to rješenje naći ili se mu jako približiti.

Budući da optimalno rješenje nije isključivo ono s najmanjim ukupnim brojem zubi svih zupčanika, nego tu igraju važnu ulogu problemi čvrstoće, za praksu nije potrebno ispitati sve moguće varijante unutarnjih prenosnih odnosa. Kod proučavanja prve varijante svrsishodno je koristiti neka iskustva o tome, kako je moguće smanjiti naprezanja i dinamičke pojave.

Zbog dinamičkih pojava nepoželjni su unutarnji prenosni odnosi s ubrzanjima. U slučaju da se ne mogu izbjeći, svrsishodno je ubrzanja podijeliti podjednako na čitav prenosnik. Pri tome s druge strane maksimalna usporenja nemaju biti veća od 1:4 ako dozvoljavamo kao minimalni zupčanik  $z_{\min} = 20$  i kao maksimalni  $z_{\max} = 80$ .

Podjednaku raspodjelu postizavamo ako uzmemo:

$$e_{1\max} = e_{2\max} = \dots = (n_{\max}/n_1)^{1/d}$$

$e_{1\max}, e_{2\max}, \dots$  - interni prenosni odnosi za najveće brojeve okretaja na pojedinim osovinama,  $n_1$  - ulazni broj okretaja,  $n_{\max}$  - najveći izlazni broj okretaja,  $d$  - broj osovina.

Sada treba provjeriti, dali su ispunjeni uslovi:

$$e_{1\min} \leq 0.25 \quad e_{2\min} \leq 0.25 \quad \text{itd.}$$

U suprotnom slučaju treba za prenosni odnos koji ne ispunjava gornji uslov staviti:

$$e_{1\min} = 0.25$$



Sada treba ispraviti još:

$$e_{1\max} = 0.25 \cdot \varphi^x$$

Maksimalni broj okretaja na odgovarajućoj osovinu je sada:

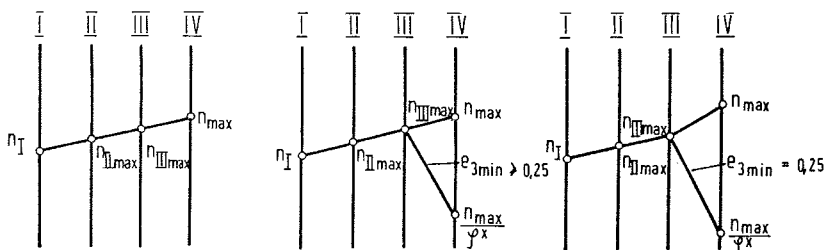
$$n_{i\max} = n_{i+1\max} / e_{i\max}$$

$e_{1\min}$ ,  $e_{2\min}$ ... - interni prenosni odnosi za najmanje brojeve okretaja na pojedinim osovinama,  $\varphi$  - faktor stupnjevanja,  $x$  - eksponent stupnjevanja za dio medju osovinama  $i$  i  $i+1$ .

Za preostali dio prenosioka treba sada na jednak način izračunati  $e_{1\max}$ ,  $e_{2\max}$ ... itd. Ako su i tu prenosni odnosi za najmanje brojeve okretaja manji od 0,25, opet ih treba povećati na 0,25 i postupiti dalje kao gore.

Kad su na opisani način određeni maksimalni brojevi okretaja na medjuosovinama, mogu se lako izračunati svi ostali brojevi okretaja kao i interni prenosni odnosi.

Radi veće jasnosti opisani postupak prikazan je na slici 1.



Slika 1. Određjivanje maksimalnih brojeva okretaja na medjuosovinama

Sada je moguće pristupiti proračunu brojeva zubi zupčanika za određene interne prenose. Ovdje treba riješiti za svaki par osovinu sistem jednadžbi koje glase za tristepeni osnovni prenosnik:

$$e_{11} = A/B \quad e_{12} = C/D \quad e_{13} = E/F$$

$$A + B = C + D \quad A + B = E + F$$

Slično treba postaviti jednadžbe za ostale osnovne dijelove prenosioka.

Rješenje gornjeg sistema jednadžbi može pisati u obliku:

$$\begin{aligned} B &= A/e_{11} \\ D &= \text{INT}[(A + B)/(e_{12} + 1) + 0,5] \\ C &= A + B - D \\ F &= \text{INT}[(A + B)/(e_{13} + 1) + 0,5] \\ E &= A + B - F \end{aligned}$$

Pri tome može biti broj zubi zupčanika A bilo koji cijeli broj između  $Z_{\min}$  i  $Z_{\max}$ .

Na isti način se mogu pisati sistemi jednadžbi za ostale osnovne dijelove prenosioka. Pri tome je za svaki osnovni dio broj zubi jednog zupčanika proizvoljan.

Zbog zaokruživanja broja zubi zupčanika u svakom podsistemu izlazni brojevi okretaja odstupaju od standardnih vrijednosti.

Pomoću računala moguće je dobiti brojeve zubi na taj način da se kao prvo uzme za sve

proizvoljne zupčanike najmanju dozvoljenu vrijednost i provjerava, da li su odstupanja izlaznih brojeva okretaja u dozvoljenim granicama. Ako nisu, postepeno se povećavaju brojevi zubi proizvoljnih zupčanika, sve dok se nadje odgovarajuće rješenje (može se desiti i da uopće nema rješenja).

Zaokruživanjem do najbližeg cijelog broja nastoji se postići što manja odstupanja, a time ujedno što veću vjerojatnost da prvo pronađeno odgovarajuće rješenje bude imalo što manju sumu zubi.

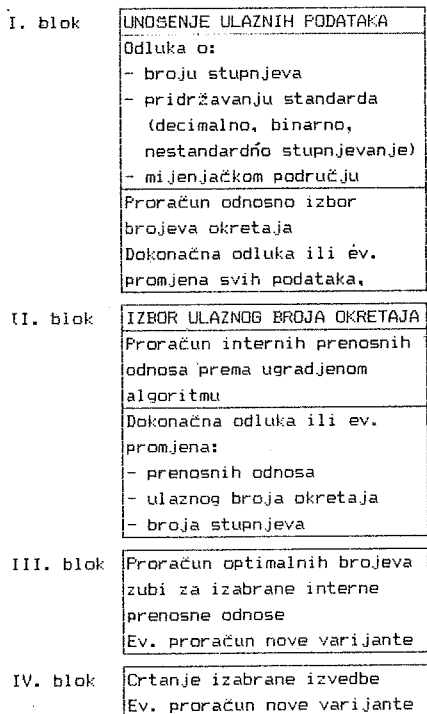
Ovako izradjen program ispitan je na mikroracunalu. Rješenje - ako postoji - obično se dobiva već za nekoliko sekundi.

Kod zaokruživanja brojeva zubi moguće bi bilo zaokružiti i do udaljenijeg cijelog broja. Vjerojatnost, da je takvo rješenje bolje, je mala, no ipak postoji mogućnost da se odstupanja kompenziraju. Za sada još nije bio odgovarajući prošireni program ispitan, budući da se vrijeme računanja nesrazmjerno povećava (kod prenosioka s 12 stupnjeva 128 puta), pa je pitanje da li to u praksi ima smisla.

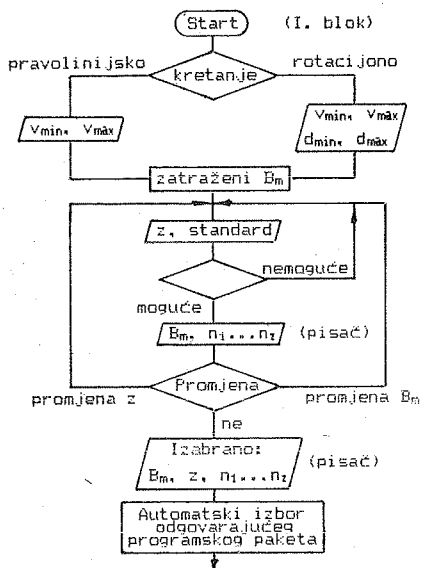
Na osnovu gore opisanih principa i pretpostavki izradjen je program s kojim se može raditi čak i na personalnim mikroracunalima (s najmanje 48 kB). Izradjena varijanta programa omogućava konceptualnu i kinematsku optimizaciju. Budući da je zbog beskonačno velikog broja mogućih varijanti koje bi trebalo ispitati apsolutna optimizacija nemoguća, izabran je put koji velikom vjerojatnošću vodi do optimalnog rješenja. Da bi konstrukter ipak mogao ispitati i ostale mogućnosti, program je koncipiran za rad u dijalogu, da se može u toku odvijanja programa na svim stupnjevima mijenjati tok proračuna i unijeti vlastite zahtjeve. Ova varijanta programa ima dodan potprogram za crtanje pronađenog rješenja u mjerilu, a sastoji se od programskih paketa za mijenjačke kutije jednostavne gradje (bez povratnih prenosa) za 8 (2 varijante), 9, 12 (2 varijante), 16 (2 varijante) i 18 stupnjeva.

Program se sastoji od 4 programska bloka. Prvi blok obuhvaća unošenje tehnoloških podataka za stroj (zatražene performanse stroja) i konceptualnu optimizaciju. Sljedeća tri bloka sastavljena su u obliku paketa, svaki za dvije varijante. Paket se bira na završetku prvog bloka i unosi u memoriju iz eksterne jedinice (kasete ili diskete). Takav način je nužan za računala s manje od 64 kB memorije ako se želi uključiti potprogram za grafiku (slika 2).

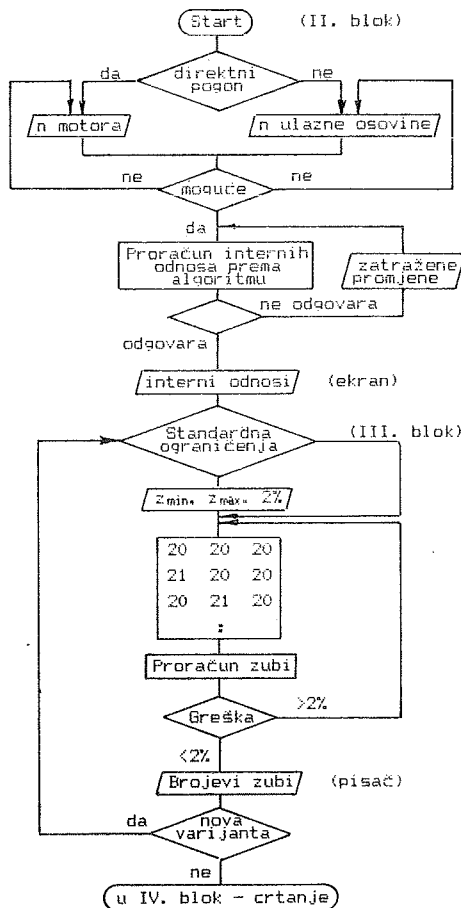
Pojednostavljene flow-dijagrame za blokove 1 do 3 prikazuju slike 3 i 4.



Slika 2. Načelni sastav programa



Slika 3. Program - I. blok



Slika 4. Program - II. i III. blok

#### 4. Zaključci

1. Rezultat dosadašnjeg rada je program za računalo pomoću kojeg se mogu dobiti u najkraćem vremenu vrlo dobra rješenja. Princip rada se može bez daljeg proširiti i na prenosnike složenijih tipova. Izrada odgovarajućih dodatnih paketa je relativno jednostavna.
2. Pokusi su pokazali da sa standardnim ograničenjima često nije moguće naći ni jedno rješenje (naročito kod 12 stepenog prenosnika s maksimalnim mogućim mijenjačkim područjem). U tim slučajevima moguće je dobiti rješenje:
  - a) povećanjem dozvoljenog odstupanja na 3%
  - b) primjenom binarnog stupnjevanja
  - c) primjenom profilnog pomaka kod zupčanika.

Otvoreno ostaje pitanje, dali zaokruživanje broja zubi kod nekih zupčanika do udaljenije vrijednosti daje upotrebi rezultate. Svakako je bilo moguće dobiti dobro upotrebljiva rješenja bez toga. Posebno pitanje koje za sada ostaje bez odgovora je, do koje granice je smanjivanje zupčanika još svrsishodno.

F. Roethel, M. Junkar\*

NADZOR PREDPISOV OBDELAVE ORODIJ

R e z i m e

V praksi nastajajo med orodji, ki smo jih uporabljali pri preizkusih v laboratoriju, in orodji v izdelovalnem obratu občutne razlike v kakovosti. Razlike lahko nastajajo tudi med posameznimi enakimi orodji v tovarni. Neenaka kakovost povzroča spremenljivo obstojnost in izmeček. V obravnavani raziskavi smo te razlike ugotavljali in obravnavali preproste metode za določanje kakovosti.

SUPERVISION OF TOOL MANUFACTURING TECHNOLOGY

S u m m a r y

Practice has shown that there appear considerable differences in quality between the tools used in laboratory experiments and those used in the manufacturing workshop. Such differences can even appear between particular equivalent tools within the workshop. Unequal quality causes variable tool life and an increase in rejected material. The objective of this investigation was to identify such differences and present some simple methods of quality supervision.

1. Uvod

Danes se povsod oblikujejo banke tehnoloških podatkov in predpisov, ki omogočajo optimalno vodenje in potek izdelovalnega procesa. Podatke zbiramo v raziskovalnih in razvojnih laboratorijih ter pri praktičnem delu v industrijskih obratih. Pri uporabi zbranih podatkov slišimo kritiko, da je mogoče z zbranimi optimalnimi predpisi za obdelavo v podjetju pridobiti le do 70 % predvidene storil-

nosti. Prvi vzrok za manjšo storilnost so razlike med orodji, ki smo jih uporabljali pri preizkusih v laboratoriju in samimi orodji v obratu. Drugi vzrok pa so razlike v kakovosti obdelovanca. Pri tem ne smemo zanemariti vpliva lastnosti obdelovalnega sistema. V obravnavani raziskavi smo ugotavljali razlike na večjem orodju glede na lokacijo merjenja in razlike med posameznimi orodji. Pri

---

\*Franc Roethel, dr. mag. dipl. ing., profesor, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Miha Junkar, mag. dipl. ing., asistent, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

tem smo merili osnovne parametre, ki jih lahko ugotovljamo med obdelavo v obratu, kakor so trdota, hrapavost in geometrija, ter vrednotili še nekaj parametrov, ki vplivajo na obstojnost.

V vsakem izdelovalnem obratu je treba za orodja predpisati standardno kakovost, ki omogoča krmiljenje proizvodnje ob upoštevanju resnične obrabe orodja. Te predpise je treba izvajati in tudi skrbno nadzirati kakovost izdelka oziroma orodja.

## 2. PROBLEMATIKA IN PARAMETRI KAKOVOSTI ORODJA

Kakovostni izdelek lahko izdelamo le z orodjem in strojem, ki želene kakovosti ustrezata in jo zagotavljata. Kakovost orodja popisujemo predvsem z dvema meriloma. To sta obstojnost in neoporečnost glede na možne napake, ki povzročajo izmeček orodja.

Pri velikih orodjih za rezanje, posebno za nekovine in pri orodjih za preoblikovanje zelo rado prihaja do napak, ki se pojavljajo kot posledica neprimerne kakovosti predobdelave materiala ali najbolj pogosto toplotne obdelave, ki ni bila krmiljena po optimalnem predpisu. Mnogokrat se ne zavedamo, da smo pri mehanski obdelavi orodja odrezovali material z debelim odrezkom in tako povzročili globoko spremembo na površini. Že takrat so se lahko pojavile začetne razpoke. Pri končni obdelavi zakaljenega materiala z brušenjem ima material, ki ga obdelujemo, notranje napetosti, ki so ostale od toplotne obdelave. Tem napetostim dodamo še dodatne napetosti, ki nastanejo pri brušenju na površini. Do razlik v kakovosti orodja prihaja lahko tudi na enem samem orodju na različnih mestih. Posebej se to pozna pri večjih orodjih. Do razlik prihaja že zaradi sprememb lastnosti materiala surovca, ki vendar ne more ostati pri predelavi povsem enak na vseh straneh.

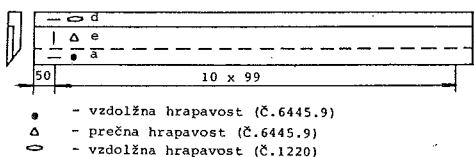
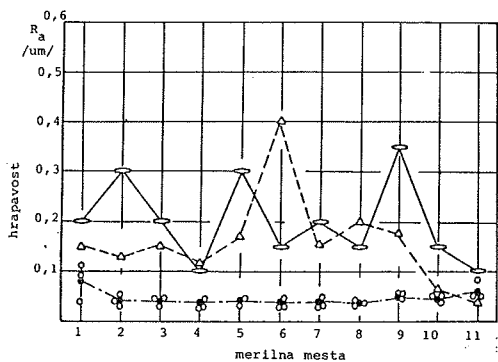
Pri toplotni obdelavi orodja lahko dobimo na površini tudi mehko plast, ki jo je treba z brušenjem odstraniti in orodje se tudi deformira. Zato mora imeti orodje že pred toplotno

obdelavo tak presežek, da bomo lahko kasneje odvzeli tolikšno debelino materiala, kolikoršna je zaradi toplotne obdelave poškodovana plast, obenem pa upoštevali še geometrično deformacijo izdelka. Večkrat pridejo pri orodju v poštev za končno obdelavo dve površini, ki se stikata (to je vedno pri ostrini). Takrat se lahko zgodi, da odbrusimo poškodovano (mehko) plast samo z ene strani, na drugi strani pa ostane na obrušenem orodju. Prav pri brušenju oziroma odbrusenju mehkejših plasti pa ima proces brušenja drugačne lastnosti kakor pri brušenju trdega materiala. V tem lahko iščemo zmanjšanje storilnosti brusilnega procesa pri obdelavi kaljenih materialov.

## 3. MERITVE PARAMETROV INDUSTRIJSKIH NOŽEV

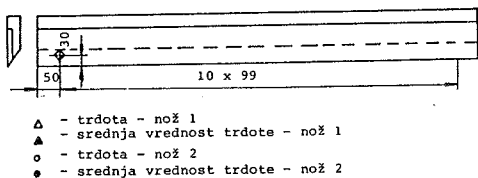
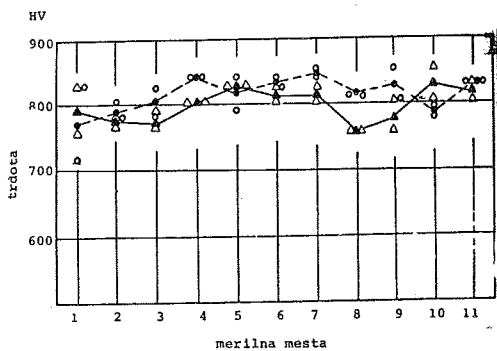
Najbolj vplivna parametra pri tehnologiji rezanja nekovinskih materialov sta trdota in hrapavost rezalnih površin. Parametra je mogoče meriti pri izhodu izdelave in tako zagotoviti kakovost izdelka. Z meritvijo smo želeli ugotoviti dejansko stanje parametrov na posameznih mestih enega izdelka kakor tudi stanje vrednosti, največja in najmanjša odstopanja ter njihovo porazdelitev po različnih mestih orodja. Take meritve so namenjene tudi kot osnova za izboljšanje tehnologije.

Hrapavost smo merili na seriji nožev za rezanje papirja. Merjeni noži so bili sestavljeni (kombinirani) iz dveh vrst materialov, in sicer iz č.6445.9 (rezilo) in č.1220 (nosilni del noža). Oba materiala sta bila brušena hkrati z eno vrsto brusca. Noži niso bili brušeni vedno pod istim kotom poti zrna brusca po površini. Zanimivo je, da je prečna hrapavost na nožu 1 č.6445.9 (sl.1) bistveno večja od vzdolžne. Ta razlika je odvisna od smeri rezanja brusilnega zrna. Zanimivo je pogledati srednjo vrednost vzdolžne hrapavosti na mestu "a" na prvem in zadnjem merilnem mestu. V obeh primerih je hrapavost večja kakor v srednjem delu noža. Vzrok zanjo so razlike, ki se pojavljajo pri brušenju noževih koncev. Kljub temu kaže izrazito kakovost



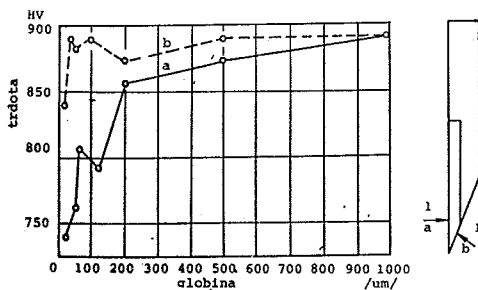
Sl. 1 Hrapavost na nožu 1 (Č.6445.9/Č.1220)

potek srednje vrednosti od drugega do desetega mesta., ki pri treh ponovitvah merjenja daje skoraj stalno vrednost. Hrapavost mehkega dela noža iz č.1220 je mnogo večja od hrapavosti trdega dela v vzdolžni smeri. Očitno je, da v enakih razmerah ne moremo doseči enake hrapavosti na različnem materialu.

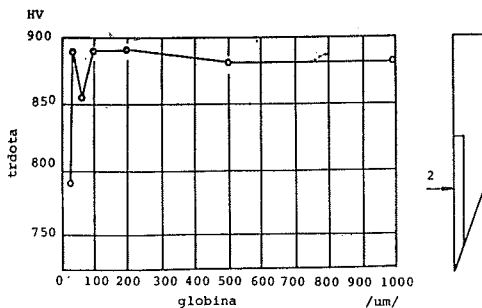


Sl. 2 Trdota na površini nožev 1 in 2

Pri nožih smo merili trdoto na istih merilnih mestih, kjer smo merili hrapavost. Pri meritvah nožev 1 in 2 smo meritev večkrat ponovili. Na sliki 2 vidimo ekstreme merjenj na nožih 1 in 2 ter srednje vrednosti. Očitno je, da ima nož št 1 kar na dveh mestih možna minimuma trdote, medtem ko ima nož 2 tak minimum samo na prvem mestu merjenja. Obema nožema nismo popolnoma odstranili od toplotne obdelave poškodovane plasti in zato so trdote na določenih mestih nekaj nižje od predpisanih. Z nadaljnjim brušenjem smo nato trdoto povečali na zeleno vrednost. Za boljše razlago pojava (sl. 2) smo nož št. 1 prerezali z elektroerozijo in merili trdoto po globini noža na sedmih različnih mestih. Na slikah 3 in 4 vidimo merjeno trdoto po globini (prerezu) noža na različnih mestih. Na sliki 3 je primerjava meritev na različnih straneh rezila noža. Očitno je, da na rezilu na strani "a" še ni posneta vsa mehka



Sl. 3 Trdota po globini - mesto 1 (Č.6445.9)



Sl. 4 Trdota po globini - mesto 2 (Č.6445.9)

plast tako, kakor je že posneta na strani "b". Pri merjenju (sl.4) na mestu 2 vidimo, da se je trdota že povečala. Obe sliki skupaj prikazujeta, da je bilo bližje rezilu od vzetega pri brušenju manj poškodovanega materiala kakor dlje od rezila.

#### 5. SKLEP

Iz navedenih meritev lahko sklenemo, da so raztrosihrapavosti na različnem delu rezila orodja in na različnih orodjih lahko zelo močni. Za kontrolo hrapavosti bomo morali vedno izbrati mesta, kjer je največja verjetnost za slabo kakovost. Smer poti brusilnega zrna pri brušenju močno vpliva na hrapavost v različnih smereh ob straneh ostrine noža. Hrapavošči na konceh orodja so različne od tistih v sredini. Potek trdote je močno odvisen od globine odzema plasti, ki je bila med toplotno obdelavo poškodovana. Iz trdot na površini lahko sklepamo tudi na potek trdot po globini, če so poteki trdot v materialu v osnovi poznani. Pri izdelavi orodij, ki

jih bomo izdelovali v večji količini se splača eksperimentalno določiti poškodovano plast in zvitost orodja, ker bomo tako lahko natančneje določili presežek pri brušenju. Z ozirom na meritve bomo lahko tudi predpisali kritično mesto za merjenje trdote.

V naših raziskavah smo skušali določiti preproste in hitre testne metode za kontrolo kakovosti, ki jih lahko uporabljamo v obratu poleg merjenja geometrije orodja. Le zelo majhen del smo jih tu tudi prikazali.

Zahvaljujemo se Železarni Ravne, ki nam je omogočila raziskave in dovolila objaviti obravnavane primere.

#### 6. LITERATURA

- /1/ Roethel, F.: Nekaj misli o izbiri posebnih tehnoloških postopkov za obdelavo; Strojniški vestnik, l.1977, št.1 - 2, str. 23 - 28.
- /2/ Leskovar, P.: Tehnične površine in njihove značilnosti pri odrezovalnih procesih, Strojniški vestnik, l.1975, št. 9 - 10, str. 181 - 186.

P. Leskovar, D. Ferlan\*

INTEGRITETA POVRŠINE JEKLA ZA POBOLJŠANJE Č.4782 PO STRUŽENJU

P o v z e t e k

Članek vsebuje rezultate preizkusov obdelovalnosti jekla za poboljšanje č.4782 s stališča integritete površine po struženju. Pri preizkusih smo spreminjali hitrost rezanja, podajanje in stopnjo obrabe orodja. Zasedovali smo hrapavost, metalurške spremembe in zaostale napetosti v površinskih slojih obdelovancev.

SURFACE INTEGRITY OF 42 CrMoS4 STEEL AFTER TURNING

S u m m a r y

The paper will present the experimental results on the machinability of quenched and tempered steel 42 CrMoS4 in terms of surface integrity after the turning process. In the experiments the parameters of cutting speed, feed rate and degree of tool wear were being changed to follow the effect produced on roughness, hardening, metalurgical changes and residual stresses in the surface layers of the specimens.

1. Uvod

Jeklo č.4782 sodi v skupino jekel za poboljšanje, ki so namenjena za izdelavo statično in dinamično močno obremenjenih strojnih delov večjih prerezov. Jeklo ima v poboljšanem stanju veliko žilavost. Zaradi tega dobro prenaša tudi sunkovite obremenitve. S preizkavami integritete površine po struženju z različnimi obdelovalnimi pogoji smo želeli ugotoviti, kako vpliva takšna obdelava na stanje površine in materiala tik pod njo, saj

je pri dani trdnosti in žilavosti jedra ravno površina tisti odločujoči činitelj, ki določa obratovalno dobo bodočega izdelka. Zaradi tega smo največ pozornosti posvetili merjenju zaostalih napetosti v površinskih slojih.

2. Zasnova preizkusov

Da bi zajeli čim širši spekter obdelovalnih pogojev smo obdelali preizkušance s štirimi

\* Polde Leskovar, dr.mag.dipl.ing., profesor, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Dimo Ferlan, mag.dipl.ing., asistent, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

hitrostmi rezanja (20, 50, 100, 200 m/min) in tremi podajanji (0,04; 0,132; 0,314 mm/vrt.). Pri tem smo uporabljali orodja z dvema stopnjama obrabe na prosti ploskvi ( $VB_1 < 0,15 \text{ mm}$  in  $VB_2 > 0,30 \text{ mm}$ ). Na štiriindvajsetih preizkušancih smo izvedli vse kombinacije spremenljivih parametrov. Globina rezanja je bila ves čas 1 mm, ravno tako geometrija orodja ( $\alpha = 6^\circ$ ,  $\gamma = 6^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$ ,  $\chi = 0^\circ$ ,  $\epsilon = 55^\circ$  in  $r = 0,5 \text{ mm}$ ).

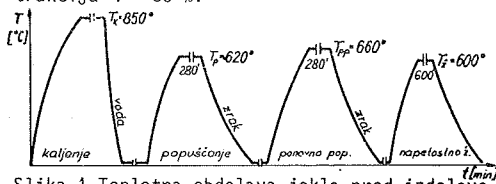
Na tako obdelanih preizkušancih smo nato ocenjevali integriteto površine na osnovi naslednjih meritev:

- hrapavosti profila površine ( $R_a$ )
- mikrotrdote površinskega sloja (HVm)
- zaostalih napetosti v površinskem sloju ( $\sigma_{z,z}$ )
- mikroskopske preiskave površinskega sloja

Pri tem smo ločeno obravnavali primer, ko predstavlja struženje dokončno obdelavo in primere, ko sledi struženju še nadaljna obdelava (npr. brušenje).

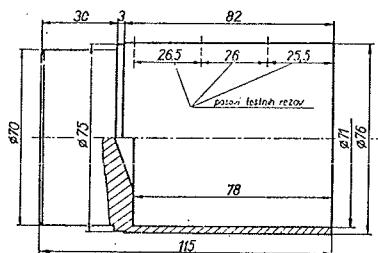
### 3. Priprava preizkušancev

Jeklo č.4782 (interna oznaka Železarne Ravne je 42 CrMoS4) smo poboljšali (slika 1) na nazno trdnost  $\sigma_M = 880 \text{ N/mm}^2$ . Meja plastičnosti je znašala  $\sigma_{0,2} = 610 \text{ N/mm}^2$ , žilavost  $\varphi = 60 \text{ Nm/cm}^2$ , razteznost  $\delta_5 = 14 \%$  in kontrakcija  $\psi = 50 \%$ .



Slika 1 Toplotna obdelava jekla pred izdelavo preizkušancev

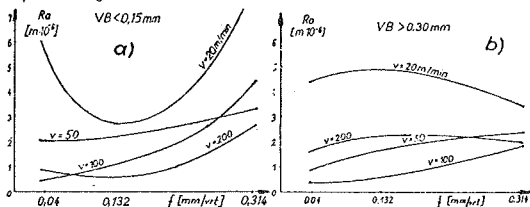
Preizkušance smo izdelali na stružnici INDEX GU 1000 NC po načrtu, ki ga kaže slika 2. Zaradi potrebne togosti je bila debelina stene valja pred izvedbo preizkusnih rezov 7 mm. Po izvedbi preizkusnih rezov smo jo z blagimi odrezovalnimi pogoji stanjšali z notranjim struženjem na debelino 3 mm, kolikor je znašala debelina obročkov za merjenje zaostalih napetosti.



Slika 2 Cilindrična oblika preizkušanca iz katerega izrežemo po struženju obročke za merjenje zaostalih napetosti

### 4. Rezultati raziskav

Hrapavost obdelane površine smo merili neposredno po struženju testnih rezov. Merili smo v aksialni smeri. Referenčna dolžina je znašala  $L = 2,5 \text{ mm}$ . Rezultat meritev za posamezen pas (obdelovalni režim) predstavlja srednjo vrednost treh meritev. Meritve smo izvedli po M sistemu na merilniku Talysurf 4. Rezultati meritev so z'rani v diagramih, ki jih posreduje slika 3.



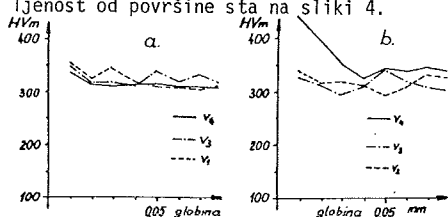
Slika 3 Srednje vrednosti  $R_a$  glede na hitrost rezanja  $v$ , podajanja  $f$  in stopnjo obrabe  $VB < 0,15 \text{ mm}$  (a) in  $VB > 0,30 \text{ mm}$  (b)

Po merjenju hrapavosti smo razrezali valj v obročke širine 10,5 mm. Tri četrtine obročka ( $270^\circ$ ) smo porabili za preizkušance: za merjenje zaostalih napetosti, preostalo četrtino pa za opazovanje poškodb na površini in izdelavo obruskov za metalografsko analizo in meritve sprememb mikrotrdote v površinskih plasteh.

Mikrotrdoto po Vickersu (HVm) smo merili na merilniku Durimet (Leitz). Sila vtiskavanja je znašala  $F = 0,245 \text{ N}$ , čas vtiskavanja pa 15 sekund. Odtiske smo razporedili v pet zaporednih nizov. Delitev med odtiski in nizi je znašala 0,05 mm. Vsak niz smo začeli z zamaknitvijo 0,01 mm. Na ta način smo dosegli 25 odtiskov z delitvijo 0,01 mm. Zbirna diagrama



z razporeditvijo mikrotrdote glede na oddaljenost od površine sta na sliki 4.



Slika 4 Odvisnost mikrotrdote HVm od oddaljenosti od obdelane površine pri različnih hitrostih rezanja za stopnjo obrabe  $VB < 0,15$  mm (a) in  $VB > 0,30$  mm (b) in podajanje  $f = 0,132$  mm/vrt.

Meritve zaostalnih napetosti smo opravili na osnovi deformacije obročka po elektrokemičnem odvzemu površinskih slojev, obremenjenih z zaostalimi napetostmi /1/. Obroček, katerega površinski sloj je obremenjen z nateznimi zaostalimi napetostmi bo po prerezu odprt. Med elektrokemičnim odvzemu tega sloja se bo le-ta zapiral. Sprememba premera obročka  $\delta$  pri odvzemu površinskega sloja  $\Delta h$  je merilo za velikost zaostalnih napetosti. Napravo na kateri smo izvedli meritve zaostalnih napetosti smo načrtali in izdelali v laboratoriju za tehnologijo materialov - LATEM - na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Pogoji elektrokemičnega odvzema so bili naslednji:

- gostota el. toka na anodi  $D_A = 0,625$  A/cm<sup>2</sup>
- napetost  $U = 7$  V
- elektrolit 5 % NaCl + H<sub>2</sub>O
- temperatura elektrolita =  $22 \pm 2^\circ\text{C}$

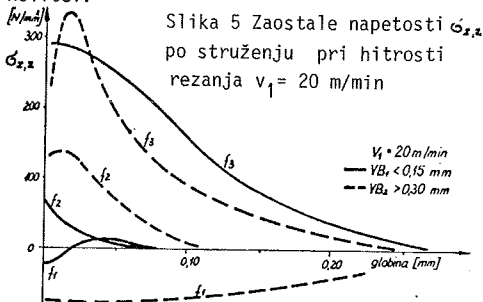
Napetost smo izračunavali za vsakih 0,01 mm ( $\Delta h$ ) odzetega sloja materiala po naslednjem obrazcu:

$$\sigma_{z,z} = - \frac{\Delta D}{\Delta h} \cdot \frac{E \cdot h^2}{12 \cdot r^2}$$

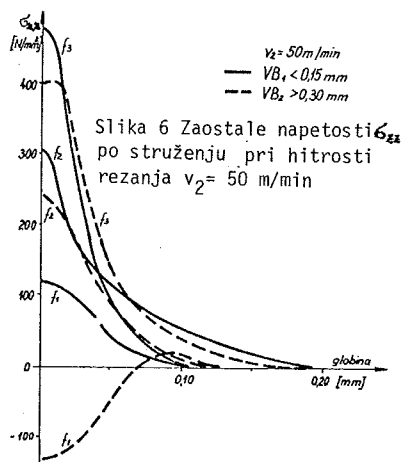
kjer je

- $\Delta D$ ... sprememba premera obročka pri odvzemu sloja debeline  $\Delta h$
- $\Delta h$ ... korak debeline odzetega sloja
- E ... modul elastičnosti
- h ... trenutna debelina obročka
- r ... trenutni polmer obročka

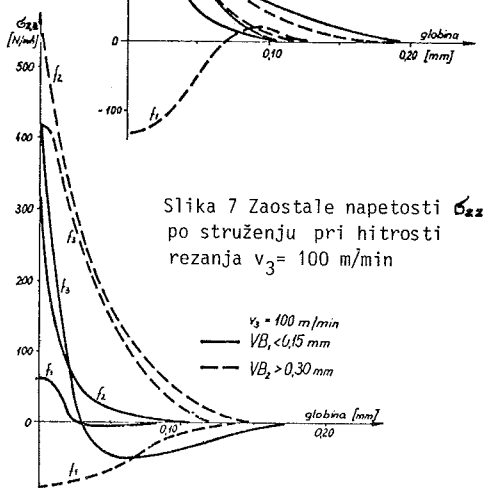
Rezultati meritev so podani v zbirnih diagramih za posamezne hitrosti rezanja (od  $v_1$  - slika 5 do  $v_4$  - slika 8). Vsakokratna krivulja predstavlja srednje vrednosti dveh ponovitev.



Slika 5 Zaostale napetosti  $\sigma_{z,z}$  po struženju pri hitrosti rezanja  $v_1 = 20$  m/min

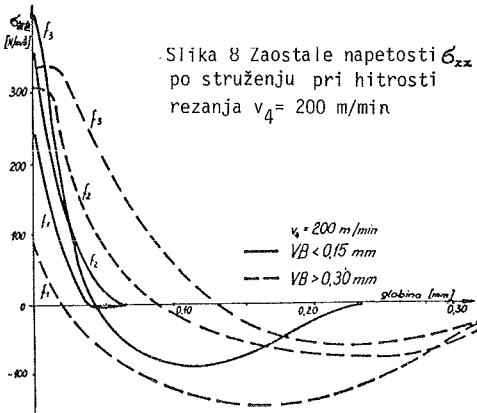


Slika 6 Zaostale napetosti  $\sigma_{z,z}$  po struženju pri hitrosti rezanja  $v_2 = 50$  m/min



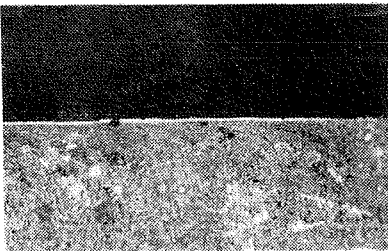
Slika 7 Zaostale napetosti  $\sigma_{z,z}$  po struženju pri hitrosti rezanja  $v_3 = 100$  m/min

Obruske, pripravljene za meritve mikrotrdote smo ponovno spolirali in jedkali z 3 %-nim nitalom 10 sekund. Tako pripravljene smo opazovali pod mikroskopom (Metalloplan-Leitz) pri 100-kratni povečavi. Spremembe strukture



Slika 8 Zaostale napetosti  $\sigma_{zz}$  po struženju pri hitrosti rezanja  $v_4 = 200$  m/min

površinskega sloja smo zasledili le pri preizkušanecih, ki so bili struženi s hitrostjo  $v_4 = 200$  m/min pri močno obrabljenem rezalnim robom  $VB_2 > 0,30$  mm (slika 9).



Slika 9 Tanka martenzitna plast na površini preizkušancev struženih z obrabljenim rezalnim robom  $VB_2 > 0,30$  mm in največjo hitrostjo rezanja  $v_4 = 200$  m/min, ne glede na podajanje; povečava 100:1

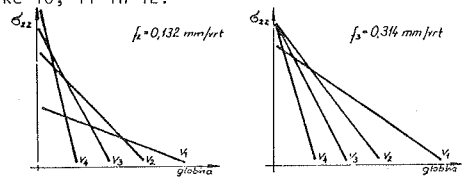
### 5. Analiza rezultatov in sklepi

Analiza rezultatov raziskav pove zelo nazorno, da se s spremembo obdelovalnih pogojev spreminjata predvsem hrapavost površine in velikost zaostalih napetosti v površinskih slojih.

Na hrapavost vpliva najmočneje hitrost rezanja. Največjo hrapavost  $R_a = 2,7 \div 8,3 \cdot 10^{-6}$  m smo dobili pri najmanjši hitrosti struženja  $v_1 = 20$  m/min. Pri večjih hitrostih smo dobili boljše rezultate. Tako je bila pri hitrosti  $v_3 = 100$  m/min in podajanju  $f_1 = 0,04$  mm/vrt. hrapavost le še  $R_a = 0,38 \div 0,45 \cdot 10^{-6}$  m. Stopnja obrabe nima enoličnega vpliva na  $R_a$ . Vse dotlej ko je nož še oster, je hrapavost velika (površina je "kosmata"). Z naraščanjem

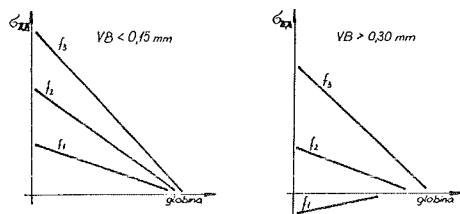
obrabe proti vrednosti  $VB = 0,3$  mm pa hrapavost pada, nato pa zopet narašča.

Vpliv podajanja  $f$  pride do izraza predvsem pri struženju s hitrostjo  $v_2 = 50$  in  $v_3 = 100$  m/min. Pri tako ugodnih hitrostih rezanja z naraščanjem podajanja narašča tudi hrapavost, saj je geometrijska hrapavost neposredno odvisna prav od podajanja  $f$ . Zaostale napetosti povedo o kvaliteti odrezovalnega procesa največ. Pri normalnih obdelovalnih pogojih so na površini obdelovanca natezne zaostale napetosti, ki se zmanjšujejo z oddaljenostjo od površine in na globini 0,1 do 0,3 mm izginejo. Da bi lažje spoznali vpliv posameznih obdelovalnih pogojev na velikost in porazdelitev zaostalih napetosti smo opravili posebno analizo le-teh, ki jo kažejo slike 10, 11 in 12.



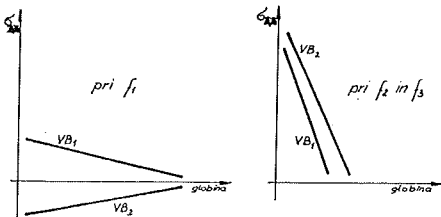
Slika 10 Vpliv hitrosti rezanja na zaostale napetosti po struženju

Hitrost rezanja pri manjših podajanjih odločilno vpliva na velikost  $\sigma_{z,z}$ , tako na površini kakor v slojih pod njo. Pri večjih podajanjih se spreminja le globina obremenjenih slojev, vrednosti  $\sigma_{z,z}$  na površini pa so skoraj enake. Pri velikih hitrostih rezanja za spremembe v globini preprosto ni časa.



Slika 11 Vpliv hitrosti podajanja na zaostale napetosti po struženju

Iz slike 11 opazimo, da ima podajanje odločilen vpliv na velikost zaostalih napetosti na površini. Ta odvisnost velja ne glede na izbrano hitrost rezanja, vendar je pri manjših hitrostih rezanja izrazitejša.



Slika 12 Vpliv obrabe proste ploskve VB na zaostale napetosti po struženju

Vpliv obrabe je pravzaprav manjši kakor smo pričakovali. Najizrazitejši je pri majhnem podajanju  $f_1$ , kjer pri struženju z obrabljenim nožem sploh ne steče odrezovalen proces. Nož material bolj odriva - tlači, zato so tudi zaostale napetosti tlačne.

Pri najintenzivnejši obdelavi ( $v_3$ ,  $v_4$  in  $f_2$ ,  $f_3$ ) dosežejo zaostale napetosti tudi vrednosti do  $400 \text{ N/mm}^2$  kar znaša že 60 % meje plastičnosti poboljšane jekla č.4782. V primeru ko obdelovanec naknadno še brusimo, najkritičnejši sloj sicer odstranimo, vendar z napačno izbiro pogojev brušenja lahko vnese mo še dodatne napetosti. Pri takih izdelkih se ogibamo obdelav, ki puščajo zaostale napetosti v večjih globinah ( $v_1$ ,  $f_3$ ). Kadar je struženje končna obdelava izberemo za zadnji rez hitrost rezanja  $v_3 = 100 \text{ m/min}$  in podajanje  $f_1 = 0,04 \text{ mm/vrt}$ . Pri teh pogojih je hrapavost  $R_a = 0,38 \text{ do } 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ , zaostale

napetosti pa so najmanjše  $\sigma_{z,z} = -90 \text{ do } +50 \text{ N/mm}^2$ . Na ta način lahko dobimo površine, ki dajejo ugodne obratovalne dobe obremenjenih izdelkov. Iz rezultatov raziskav izhaja tudi, da je struženje z zelo majhno hitrostjo rezanja kakor je  $v_1 = 20 \text{ m/min}$  izrazito neugodno. Hrapavost površine je zelo neugodna saj znaša  $R_a = 2,7 \div 8,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ , natezne zaostale napetosti pa segajo do globine 0,2 mm.

## 6. Literatura

- /1/ D. Ferlan: Vpliv konvencionalnih tehnoloških postopkov na integriteto površine pri različnih režimih obdelave, magistririj, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, 1983
- /2/ H.K. Tönshoff, P. Leskover, ... Residual stresses - measurement and causes in machining processes, Annals of the CIRP, Vol. 31/2, 1982
- /3/ Avtorski kolektiv - Raziskave integritete površine materiala in orodja, 3. del - poročilo o raziskov. nalogi Rep. raziskov. skupnosti Slovenije, 1979
- /4/ Avtorski kolektiv - Raziskave integritete površine, materiala in orodja, 4. del - poročilo o raziskov. nalogi, Rep. raziskov. skupnosti Slovenije, 1980



Љубен Дудевски  
Владимир Дуковски

ВЛИЈАТЕЛНИ ПАРАМЕТРИ НА СТАТИЧКИТЕ И ДИНАМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ  
НА ГЛАВНИТЕ ВРЕТЕНА КАЈ МЕТАЛОРЕЗАЧКИТЕ МАШИНИ

Резиме

Во овој труд даден е краток преглед на методите за анализа на статичките и динамичките карактеристики на главното вретено кај металорезачките машини со одредени специфичности, како и определување на пресметковен модел со пресметка на одредени карактеристики на лежиштата. Исто така дадена е анализата за влијанието на апроксимацијата во однос на стварниот модел, влијанието на уклештувањето на лежиштата врз статичките и динамичките карактеристики на вретената, како и определување на оптимални распони на главните вретена кај металорезачките машини.

THE INFLUENTIAL PARAMETERS OF THE MACHINE TOOL'S MAIN SPINDEL  
ON THE STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS

Summary

In this paper is presented a short review of the estimation methods of the machine tool's main spindle static and dynamic characteristics, with some specifics, as well as an estimate model is developed, with estimating characteristics of the bearings. Also, the results of some approximative models in comparison with the real model are given; the influence of the bearings fixed-end moment on the static and dynamic behavior of the main spindels, as well as estimated optimal spans of the machine tool's main spindels also are given.

1. УВОД

Оценката за квалитетот на современите металорезачки машини во голема мера зависи од конструкцијата на главното вретено, односно од неговите статички и динамички карактеристики. За определување на овие карактеристики познати се повеќе методи и тоа: аналитички методи, нумерички методи, а исто така постојат и некои емпириски изрази.

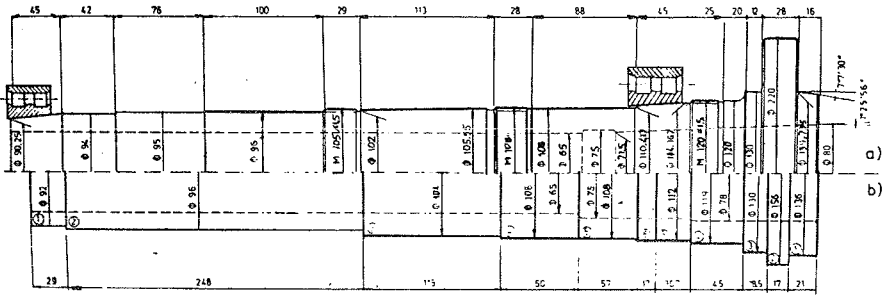
Секако дека со сите методи повеќе или помалку точно, се пресметуваат статичките и динамичките карактеристики на главните вретена, но и секоја метода има своја предност и мана.

Најкомплексни секако се нумеричките методи со кои можат најадекватно да се опише главното вретено и да се земат скоро сите влијателни големини врз неговите статички и динамички карактеристики, но од друга страна тие бараат употреба на сметачки машини, а примената на мали компјутери ги ограничува бројот на елементите. Примената на овие нумерички методи на мали компјутери, поврзана е со одредено нормирање поради точноста и добивање на реални резултати /1/.

Од друга страна постојат и класични методи, релативно едноставни изрази кои даваат

\*) М-р инж. Љубен Дудевски, асистент на Машински факултет - Скопје

\*) Д-р инж. Владимир Дуковски, вонр. професор на Машински факултет - Скопје



Сл.1. Примерна пресметковен модел: а) реална изведба  
 б) коригирана изведба

релативно добри резултати и може да послужат за ориентациони пресметки на некои од статичките и динамичките карактеристики на вретената.

Во овој труд дадена е споредба на резултатите добиени со класична метода и нумеричка метода со конечни елементи, при што разликата е (10-15)% што за ориентациони пресметки е сосема задоволително.

## 2. ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ПРЕСМЕТКОВЕН МОДЕЛ

Анализите за влијанието на одредени параметри врз статичките и динамичките карактеристики на главните вретена кај металорезачките машини најчесто се изведуваат на комплексен модел кој ги опфаќа сите влијателни големини (геометријата на вретеното, карактеристиките на лежиштата, како и сите додатни надворешни елементи). Во овој случај анализирано е конкретно вретено (сл.1) улежиштено на специјални лежишта NN30...K, а додатните елементи (запчаниците, стезната глава и работното парче) не се земени во обзир. На сл.1а прикажана е реалната изведба на вретеното, а на сл.1б коригираната изведба на вретеното според препорачливите изрази за корекција на профилот /2/

Покрај геометријата на вретеното, дадено на сликата, за пресметка на статичките и динамичките карактеристики потребно е да се определат и карактеристиките на лежиштата т.е. крутоста ( $C=R/\delta$  N/μm) и моментот на уклештување ( $M=K.\Phi$  Nmm).

Радијалната крутост на лежиштата дадена е со изразот  $C=R/\delta$ , каде R е реакција во лежи-

штето, а  $\delta$  се еластични деформации во лежиштето,  $\delta = \beta.\delta_1$ , при што за нулти зазор во лежиштето  $\beta= 0,55$ , а за специјалните лежишта MN30...K

$$\delta_1(NN30) = 0,48.R^{0,893}/d^{0,815} \quad (\mu m)$$

каде R (кp) реакција во лежиштето, а d (mm) дијаметар на вретеното /2/.

Моментот на уклештување во лежиштата е  $M=K.\Phi$  (Nmm), каде  $\Phi$  (rad) е нагиб на вретеното на местото на лежиштето, а коефициентот на уклештување за радијални валчести лежишта е  $K=4040.i.\epsilon^3 |\Phi|^{0,1}$  (Nmm/rad), а за аксијални топчести лежишта е

$$K=37500.d_k^0.r^{2,5}.z.|\Phi|^{0,5} \quad (Nmm/rad)$$

каде  $d_k$  (mm) - дијаметар на топчињата; r (mm) - радиус на постелицата на лежиштето; z - број на топчиња во лежиштето; i - број на валчиња во лежиштето,  $\epsilon$  (mm) - должина на валчињата /4/.


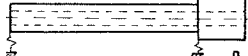

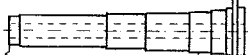

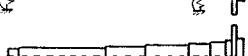
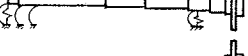
## 3. АНАЛИЗА ЗА ВЛИЈАНИЕТО НА ОДРЕДЕНИ ПАРАМЕТРИ

На статичките и динамичките карактеристики на вретената, влијаат поголем број параметри, но овде е анализирана апроксимацијата на стварниот профил и конфигурацијата на вретеното, како и влијанието на уклештувањето на лежиштата.

Угибот во крајната точка на препустот како карактеристика за статичката крутост и првата сопствена фреквенција, како динамичка карактеристика на вретеното, можат да се пресметаат и со релативно едноставни изрази /2,3/

може да се заклучи дека се добиваат релативно добри резултати за оријентациони пресметки.

Најгруба апроксимација на профилот на вретеното е ако се третира како полно вратило со константен попречен пресек, ослонето на еластични ослонци. Во тој случај (сл.2) се добива релативно мала вредност за угибот во крајната точка на препустот, што е помала за  $\approx 10 \mu\text{m}$  од реалната состојба или се прави грешка од  $\approx 30\%$ , што не е занемарлива. Не тол-

МОДЕЛ	УГИБ $\mu\text{m}$	ФРЕКВЕН. Hz
КЛАСИЧНА МЕТОДА	39,8	887,6
	28,1	706,6
	31,4	716,2
	32,7	637,9
	39,8	749
	38,8	748,9
	37,9	774
	29	877,4

Сл.2. Промена на угибот и првата сопствена фреквенција при различна апроксимација на вретеното

ку изразено, но сепак релативно поголема вредност при ваква апроксимација се добива и за првата сопствена фреквенција.

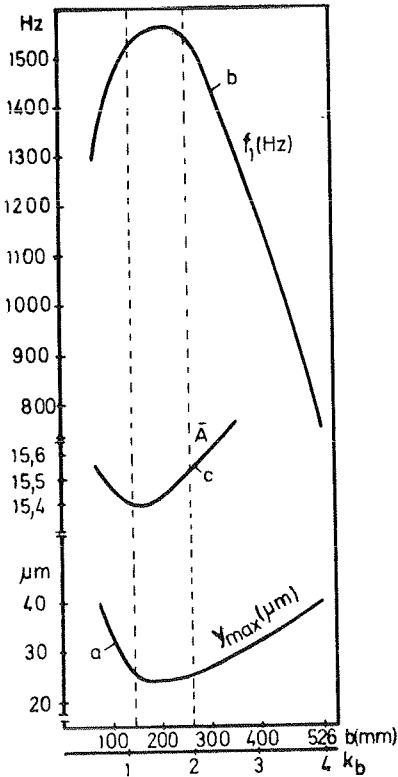
Според препорачливите изрази за корекција на профилот може да се добие корегирани профил на вретеното кое сосем задоволително ја опишува реалната состојба на вретеното и се добиваат вредности за угибот  $39,8 \mu\text{m}$  и првата сопствена фреквенција од  $749 \text{ Hz}$ .

Внесувајќи го во математичкиот модел и моментот на уклештување на радијалните валчести лежишта (NN30...K) може да се забележи

незнатна промена на резултатите. Поголемо влијание на статичките, односно динамичките карактеристики на вретеното, од моментот на уклештување може да се постигне со внесување на пар аксијални лежишта, при што очигледно е дека знатно подобрување на карактеристиките на вретеното се постигнува при поставување на аксијалните лежишта како тандем со предното лежиште при што се постигнува намалување на угибот до  $30\%$ , а исто така и знатно наголемување до  $15\%$  на првата сопствена фреквенција.

При разработка на нови конструкции битен параметар по кој можат да се оптимираат статичките и динамичките карактеристики на вретената е распонот на вретеното или факторот на распоните  $k_D = b/a$ . На сл.3 дадена е промената на угибот на крајот од препустот (крива а) во зависност од факторот  $k_D$ , односно распонот помеѓу лежиштата при константен препуст, при што оптимална вредност, односно минимален угиб се добива при  $k_D = 1,1 - 2$ . Истата вредност за оптимален фактор  $k_D$  се добива и со анализата на првата сопствена фреквенција (крива б) при што во истиот дијапазон за  $k_D$  се добиваат максимални вредности на првата сопствена фреквенција. Анализирајќи ги и облиците на осцилирање, односно нормираната амплитуда на крајот од препустот  $\bar{A}$  (крива с) исто така може да се забележи дека минимални амплитуди се добиваат во истиот дијапазон за  $k_D$ .

Може да се забележи дека во досегашните изведби на главните вретена кај универзалните машини (стругови, глодалки и сл.) не се среќаваат конструкции со наведениот оптимален фактор  $k_D$ . Тоа најверојатно не го овозможуваат и конструктивните услови бидејќи помеѓу лежиштата потребно е да се сместат разни елементи пред се запченици за погон на вретеното и др. Во новите конструкции кај NC машините, кои имаат и специфичен погон со што овозможуваат и разни конструктивни изведби се прават напори да се направат конструкции со приближно оптимални распони.



Сл.3. Определување на оптимален распон на вретеното

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Пресметката на статичките и динамичките карактеристики на главните вретена кај метало-резачките машини за орјентациони пресметки сосем задоволително можат да се пресметаат по класична метода, односно со дадени едноставни изрази /2;3/. За продлабочени анализи земајќи во обзир и поголем број фактори (пред се карактеристиките на лежиштата), неопходна е примената на нумеричките матрични методи (конечни елементи и трансфер матрици), при што можно е да се земат релативно голем број на елементи со кои најадекватно би се опишала конфигурацијата на вретеното.

Подобрување на статичките, односно динамичките карактеристики на вретената од изнесените анализи може да се заклучи дека може да се постигне со поставување на аксијални

лежишта и тоа како тандем на предното лежиште или со приближување кон оптималната вредност на факторот на распоните  $k_b = 1,1 - 2$ .

#### 5. ЛИТЕРАТУРА

- /1/ Дудески Љ.: Статички и динамички карактеристики на главните вретена кај метало-резачките машини, Магистерска работа, Скопје, 1981.
- /2/ Dukovski V.: Analiza glavnih vretena alatnih strojeva i rešavanje pomoću računara, Magistarski rad, Zagreb, 1973.
- /3/ SKF bearings in machine tools, Coteborg, 1969
- /4/ Koch J.: Doswiadczenia i teoretyczne podstawy konstrukcji ulozyskowanych tocznie wrzecion obrabiarek skrawajacych z uwagi na ich sztywnosc. Wroclaw 1972.



Владимир Дуковски

Љубен Дудевски

ИСТРАЖУВАЊЕ НА АДЕКВАТНОСТА НА ИЗБОРОТ И ИСКОРИСТУВАЊЕТО НА КАРАКТЕРИСТИКИТЕ  
НА NC СТРУГОВИТЕ

Резиме

Во трудот се разгледуваат карактеристиките на главниот погон кај струговите со нумеричко програмско управување. Дадени се некои емпиријски истражувања на главниот погон на NC струговите како и на струговите со рачно управување. Анализата покажува дека мошноста кај NC управуваните машини многукратно ја надминува онаа кај струговите без тоа управување. Поаѓајќи од овој заклучок потребно е при изборот на машините, да се направи широка анализа на искористеноста на машините како по основ на карактеристиките на погонот, така и по основ на искористеноста на главните карактеристики на машините.

Резюме

В настоящей работе рассматриваются характеристики привода токарных станков с числовым программным управлением. Приведены некоторые эмпирические исследования приводов станков с числовым управлением, а также и станков с ручным управлением. Анализ показал, что мощность станков с числовым управлением во много раз превышает мощность станков без этого управления. Исходя из этого, при выборе станков с числовым управлением, нужно сделать широкий анализ использования станков как по основным характеристикам станка так и по его мощности.

1. УВОД

Суштествените разлики помеѓу класичните и NC машините кои се содржани не само во кинематската структура, туку и во применетите електромоторни погони, наметнуваат продлабочени истражувања на експлоатацијата на NC машините. Како по правило инсталираната снага на NC машините значајно ја надминува онаа која вообичаено се среќава кај класичните машини од исти тип и ред на големина, што индиректно упатува на подетална анализа на искористувањето на овака големата инсталирана мошност. Многу често при изборот на NC машините, анализата се врши на релативно тесен круг на можни делови за обработка не

согледувајќи ја целосната оптеретеност на машината како по време така и по мошност. Во едно неретко при изборот на режимите на работа се поаѓа од трајноста на резниот алат не правејќи поопстојни анализи за искористеноста на инсталираната снага на машината, со што често машината е во подрачје на работа со минимална искористеност по основ на нејзините можности.

Во овој труд ќе дадеме некои истражувања на адекватноста на изборот и искористувањето на веќе инсталиран NC струг со цел да укажеме на потребата од поопстојна анализа не само при изборот на NC машините туку и при нивната експлоатација.

\*) Д-р инж. Владимир Дуковски, вонреден професор, Машински факултет - Скопје  
М-р инж. Љубен Дудевски, асистент на Машински факултет - Скопје

## 2. НЕКОИ ОСОБЕНОСТИ НА ПОГОНИТЕ КАЈ NC СТРУГОВИТЕ

Современиот развој на NC машините се карактеризира со примена на мотори со континуирана промена на броевите на вртежи (DC мотори) како за погоните за движење по поедини оски, така и за главното вртежно движење. Ако појдеме од фактот дека инсталираната мошност за помест е значително помала од онаа што се троши за главниот погон /1/ тогаш посебен интерес претставува градбата на погонот за главното вретено. Ова ќе го подкрепиме и со некои конкретни податоци од /1/ кои се многу илустративни во тој поглед (Табела 1).

Табела 1 /1/

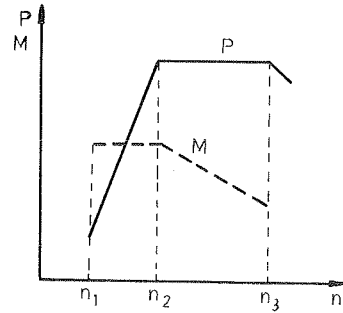
NC машина тип	Снага на главно врет,	Снага за оските
	Инстал.снага %	Инстал.снага %
Глодалки	51	37
Центри за обработка	38	38
Дупчалки	49	36
Хоризонтални стругови	66	22
Вертикални стругови	72	21

Секако најкарактеристична е состојбата кај NC струговите и заради фактот дека се работи за машини со две оски на управување, а секако и самиот процес на режење не бара голема мошност за погоните за оските.

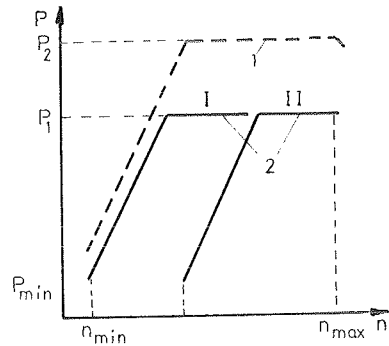
Погонот за главното вретено кај NC струговите најчесто е составен од DC мотор и соодветен преносник кој воглавном има од 2 до 4 степен на пренос. Особеностите на еден ваков погон ќе ги прикажеме преку сл.1.

Од сл.1а можеме да видиме дека DC моторот има подрачје на константен момент ( $n_1-n_2$ ) и подрачје на константна снага ( $n_2-n_3$ ). Вообичаено овие подрачја се во дијапазон 1:10 и 1:2,5. Секако дека со овакви подрачја на регулација на моторот не ќе можат да се покријат барањата кои ги поставува металорезачката машина. Затоа и се користи соодветен зап-

чест преносник да се рашири подрачјето на моторот (сл.1б-2). Доколку пак се сака да се покрие целото подрачје со мотор без преносник тогаш неминовно се јавуваат мотори со многу поголема снага (сл.1б-1), што секако не е најдоброто решение имајќи ја во предвид искористеноста на ваквите погони. Затоа во денешниве конструкции и се среќаваат во најголемиот број на случаи комбинации на DC мотор со преносник.



а)

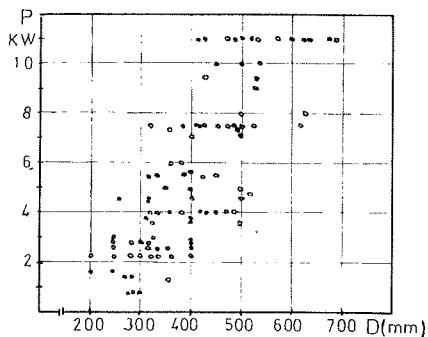


б)

Сл.1. Карактеристики на DC мотор (а) и карактеристика на погон со DC мотор (1) и со DC мотор и двостепен преносник (2) (б)

За да се оценат разликите кои се појавуваат во инсталираната снага кај класичните и NC струговите беа проведени обемни истражувања на веќе изведени конструкции. Истражувањето на зависноста на снагата на главниот мотор од максималниот пречник на обработката над основата е прикажана на сл.2. Кај

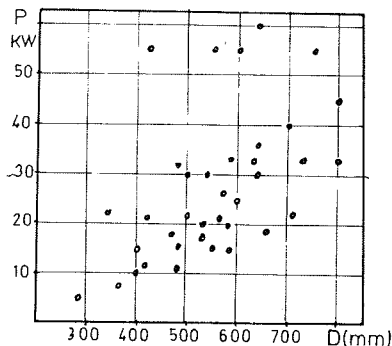
класичните стругови среќаваме снаги во подрачјето од 1 до 11 kW при можни пречници на обработка од 200 до 700 мм. Сепак основното групирање е во подрачјето од 2 до 8 kW, при што во границите на еден пречник се застапени и значителни отстапувања што е резултат и на концепцијата на машините (продукциони, прецизни) а и годината на производство.



а)

дел од тие истражувања и ќе бидат прикажани во понатамошното излагање.

Методологијата на истражувањето базираше на пресметка на режимите на работа на машината врз основа на постојната технологија. Потоа добиените податоци се впишуваат во соодветните дијаграми со кои се опишуваат карактеристиките на главниот погон ( $P=f(n)$  и  $M=f(n)$ ).



б)

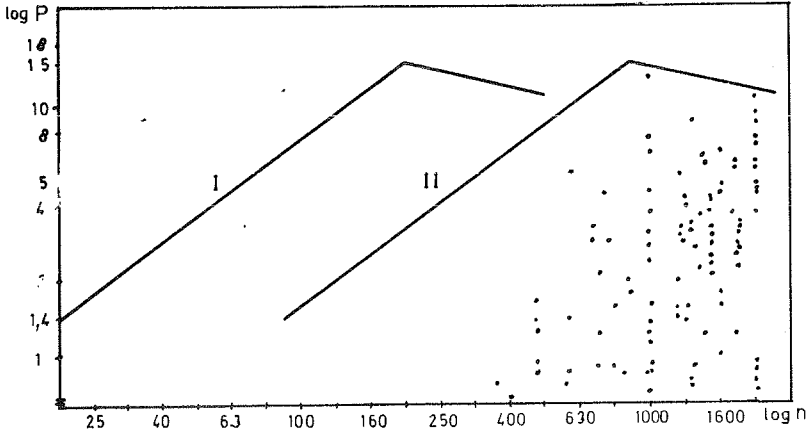
Сл.2. Емпиријски истражувања на снагата на главниот мотор во зависност од максималниот пречник на обработка кај класичните (а) и NC стругови (б)

Адекватниот преглед за NC струговите е прикажан на сл.2б. Можеме да забележеме суштествено зголемување на снагата и таа за разгледаните машини се движат во границите од 10 до 55 kW, но можеме да оцениме дека реално тоа е во границите од 15 до 40 kW. Очигледно ова многукратно зголемување е предизвикано со специфичните карактеристики на DC моторите, што носи со себе и соодветни измени во конструкцијата на машините кои ја покачуваат и нивната цена. Покрај тоа треба да се има во предвид и значајното намалување на коефициентот на корисното дејство на моторот при негово недоискористување по однос на снагата /1/. Затоа со посебна одговорност треба да се пристапи кон анализа на искористеноста на NC машините како во фазата на нивно купување, така и при експлоатацијата.

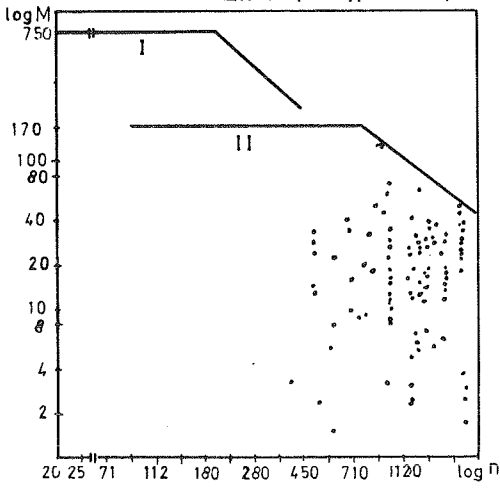
### 3. ИСТРАЖУВАЊЕ НА ИСКОРИСТЕНОСТА НА NC СТРУГ

Со цел да се оцени адекватноста на изборот и искористувањето на инсталирани NC стругови беа проведени соодветни истражувања /2/. Еден

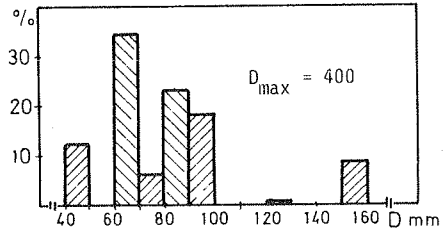
Добиените податоци се прикажани на сл.3 и 4. Од сл.3 можеме да забележиме дека најголемиот дел од работата машината работи во ниските подрачја на искористувања, така што само во занемарливо ретки случаи се искористува снага поголема од 50% од максималната. Може да укажеме дека и многу пообемните истражувања кои се реализирани во /1/ укажуваат на слични показатели. Слични податоци се добиваат и при анализата на искористеноста на моментот на главното вретено (сл.4). Секако дека за нас претставуваше навистина посебен интерес да побараме причинител за оваквото недоискористување на машината. Во тој смисол направивме широка анализа на искористеноста на машината по основ на максималниот пречник на обработка што таа го дозволува, а исто така и по однос на максималната должина на обработка. Податоците од овие истражувања се дадени на сл.5 и 6. Од овие слики може да се забележи користење на машината за делови кои се значајно помали од оние кои таа ги дозволува. Очигледно е дека по тој основ можело да се набави машина со многу помали димензии и инсталирана снага.



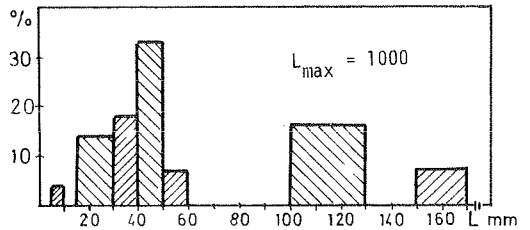
Сл.3. Преглед на искористеноста на NC струг према инсталираната снага



Сл.4. Преглед на искористеноста на NC струг према можниот завртен момент на главното вретено



Сл.5. Искористеноста на NC стругот по основ на максимален дијаметар на обработка



Сл.6. Искористеноста на NC стругот по основ на максимална должина на обработка

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Од прикажаните истражувања може да се забележи големата важност која ја има студиозниот пристап при изборот на NC машините, како и нејзиното постојано следење не само од аспект од временското искористувањет, туку и од аспект на искористување на инсталираната снага. Ова се суштествени елементи со кои се добива поекономична работа на NC машините, а со тоа се отвараат и патишта за нивно пошироко воведување во производните капацитети.

\*) Во трудот се објавени истражувања финансирани од СИЗ за научни дејности на СРМ.

#### 5. ЛИТЕРАТУРА

- /1/ De Filippi A., Ippolito R., Micheletti G.F.: NC machine tools as electric users. "CIRP Ann", 1981, 30, N<sup>o</sup>1.
- /2/ Попов А.: Анализа на искористувањето на инсталираните C стругови. Дипломска работа, Машински факултет, Скопје, 1982.

E. Kuljanić\*

PLANSKO TOKARENJE KONSTANTNOM BRZINOM REZANJA I KONSTANTNIM BROJEM OKRETAJA

R e z i m e

U ovom radu izvršena je usporedba vremena obrade planskim tokarenjem kružne i prstenaste površine s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja. Predložena je jednačba za računanje vremena obrade prstenaste površine u kombiniranim uvjetima: jedan dio s konstantnom brzinom rezanja, a drugi dio s konstantnim brojem okretaja. Prikazani su dobiveni rezultati pokusa trošenja alata, dan je prijedlog kako izbjeći stvaranje nepovoljne tekuće strugotine, te su prezentirana dobivena vremena obrade kod planskog tokarenja na NC tokarilici s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja.

FACE TURNING AT CONSTANT CUTTING SPEED AND CONSTANT NUMBER OF REVOLUTIONS

S u m m a r y

The comparison of machining time in face turning of circular surface and ring surface at a constant cutting speed and at a constant number of revolutions is presented. An equation for determining the machining time in face turning of ring surface at combined conditions, i.e. one part is machined at a constant cutting speed and the other at a constant number of revolutions. Tool wear test results and obtained cutting times in face turning at a constant cutting speed and at a constant number of revolutions are given. Also, how to prevent the formation of continuous chip in face turning is proposed.

---

\*Dr Elso Kuljanić, dipl.inž., redovni profesor, Tehnički fakultet Rijeka, Narodnog ustanka 58, 51000 Rijeka

## 1. UVOD

Pred dvadesetak godina bilo je uobičajeno da samo tokarilice za istraživanje obrade skidanjem strugotine, istraživanje obradivosti materijala, trošenja alata i sl., imaju mogućnost planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja, odnosno kontinuiranu promjenu broja okretaja. Budući da brzina rezanja zavisi o promjeru  $D$  na kojem se vrši obrada i o broju okretaja  $n$  s kojim se vrši obrada

$$v = \frac{D \pi n}{1000}, \quad (1)$$

kod planskog tokarenja s konstantnim brojem okretaja mijenja se brzina rezanja zbog promjene promjera na kojem se vrši obrada. Ako se želi plansko tokarenje vršiti s konstantnom brzinom rezanja, npr. tokarenje od većeg promjera prema manjem promjeru, slika 1, treba kontinuirano povećavati broj okretaja obratka kako se smanjuje promjer obrade, vidi jednadžbu (1). Konvencionalne tokarilice, tj. tokarilice koje nisu bile namijenjene istraživanju, nisu imale mogućnost kontinuirane promjene broja okretaja nego stepenastu promjenu broja okretaja, što je i danas prisutno kod takvih tokarilica.

Medjutim, numerički upravljane (NC) tokarilice imaju mogućnost kontinuirane promjene broja okretaja glavnog vretena. Također, na ovim tokarilicama obrada se može vršiti i kod konstantnog broja okretaja. Zbog ovakvih mogućnosti današnjih NC tokarilica plansko tokarenje može se vršiti s konstantnom brzinom rezanja. Treba napomenuti da eksperimentalne tokarilice nemaju kontinuiranu promjenu broja okretaja zbog planskog tokarenja već zbog mogućnosti vršenja

pokusa kod uzdužnog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja, kad se promjer obratka smanjuje zbog uzimanja više prolaza na jednom trupcu, sve dok je vitkost u dozvoljenim granicama.

Svrha ovog rada je da se ukaže na mogućnost planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja u današnjim uvjetima i da se istaknu prednosti ovakvog planskog tokarenja kako bi se utjecalo na promjenu dosadašnje navike i načina razmišljanja, da se plansko tokarenje vrši s konstantnim brojem okretaja, odnosno s promijenljivom brzinom rezanja, koja se u većini slučajeva toliko smanji da je vrlo nepodesna za današnje alate. U ovom radu izvršena je usporedba vremena obrade planskim tokarenjem kružne i prstenaste površine s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja. Predložena je jednadžba za računanje vremena obrade prstenaste površine kombiniranim uvjetima: jedan dio s konstantnom brzinom rezanja, a drugi dio s konstantnim brojem okretaja. Prikazani su dobiveni rezultati pokusa trošenja alata, dan je prijedlog kako izbjeći stvaranje nepovoljne tekuće strugotine, te su prezentirana dobivena vremena obrade kod planskog tokarenja na NC tokarilici s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja. Također, predložen je odnos vanjskog promjera i fiktivnog promjera na temelju kojeg bi trebalo računati brzinu rezanja da bi se odredila postojanost alata kod planskog tokarenja kružnih i prstenastih površina planskim tokarenjem s konstantnim brojem okretaja.

## 2. TEORETSKA RAZMATRANJA-SMANJENJE VREMENA OBRADJE PLANSKIM TOKARENJEM S KONSTANTNOM BRZINOM REZANJA

Vrijeme obrade planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja manje je od vremena obrade planskim tokarenjem s konstantnim brojem okretaja zbog:

- posmaka po okretaju, mm/ok, koji se upotrebljava kod tokarenja i
- povećanja broja okretaja zbog smanjenja promjera obrade, u slučaju tokarenja od većeg promjera prema manjem promjeru.

U praksi najčešće imamo čeonu površinu obratka u obliku punog kruga, slika 1, ili ako obradak ima provrt čeonu površinu ima oblik prstena, slika 3. U ovoj točki bit će razmatrano plansko tokarenje ovakvih površina s konstantnim brojem okretaja i s konstantnom brzinom rezanja.

### 2.1. Plansko tokarenje kružne površine $n=\text{konst.}$

Prema jednadžbi (1), ako je broj okretaja konstantan kod planskog tokarenja, a promjer obrade se smanjuje od  $D_v$  na  $D = 0$ , brzina rezanja se linearno smanjuje, slika la.

Budući da je dužina obrade

$L = s \cdot n \cdot t_g$ , vrijeme obrade je

$$t_g = \frac{D_v}{2 \cdot s \cdot n} \quad (2)$$

### 2.2. Plansko tokarenje kružne površine $v=\text{konst.}$ i $n=\text{konst.}$

Treba istaknuti da se ne može planskim tokarenjem obraditi obradak od vanjskog promjera  $D_v$  do  $D = 0$  s konstantnom brzinom rezanja, budući da broj okretaja obratka bi trebao biti prema (1) beskonačno velik. Zbog toga, od vanjskog promjera  $D_v$  do promjera  $D_1$  obrada se vrši s  $v = \text{konst.}$ ,

slika lb), a od  $D_1$  do  $D = 0$  s  $n=\text{konst.}$ . Neki autori predlažu da se sa  $v = \text{konst.}$  prijeđe na  $n = \text{konst.}$  na promjeru  $D_1 = 0,25 \cdot D_v$  [1]. Medjutim u tom slučaju nije svejedno da li je vanjski promjer veći ili manji. Naime, ako je vanjski promjer manji prema (1) potreban je veliki broj okretaja, da bi se postigla određena brzina rezanja, koji se zatim za  $v = \text{konst.}$  povećava. Povoljnije bi bilo ograničiti maksimalni broj okretaja do kojeg se može planski tokariti s  $v=\text{konst.}$  i koji zatim ostaje konstantan od  $D_1$  do  $D = 0$ , tj. dok alat ne dodje u središte obratka, slika lb). Granica maksimalnog broja okretaja ne može biti za sve tokarilice ista, pa se predlaže da programer odabere do kojeg se maksimalnog broja okretaja može planski tokariti s  $v = \text{konst.}$  na određenom stroju. Proizvođač alatnog stroja ne može definirati tu granicu jer ona zavisi ne samo o stroju već i o drugim utjecajnim faktorima koji su razmatrani u ovom radu.

Potrebno vrijeme obrade za plansko tokarenje punog presjeka, slika lb) s konstantnom brzinom rezanja do promjera  $D_1$ , te od  $D_1$  do  $D=0$  s konstantnim brojem okretaja jednako je:

$$t_g = \frac{(D_v^2 + D_1^2) \pi}{4000 \cdot s \cdot v} \quad (3)$$

Iz usporedbe vremena obrade planskim tokarenjem punog presjeka, tj. kružne površine s konstantnim brojem okretaja i s konstantnom brzinom rezanja proizlazi ušteda vremena [1].

$$t_u = 50 \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_v} \right)^2 \right] \quad (4)$$

izražena u postocima, kad se plansko tokarenje vrši s konstantnom brzinom

rezanja. Grafički prikaz ove zavisnosti dan je na slici 2. Iz izraza (4) i ove slike proizlazi da je vrijeme obrade kraće za 46,8% kad se tokarenje vrši s konstantnom brzinom rezanja do promjera  $D_1 = 0,25 D_v$ , a od  $D_1$  do  $D=0$  s konstantnim brojem okretaja u odnosu na tokarenje s konstantnim brojem okretaja cijele kružne površine, što je očito značajna ušteda vremena.

2.3. Plansko tokarenje prstenaste površine -  $n = \text{konst.}$

Na slici 3a) prikazano je plansko tokarenje prstenaste površine, odnosno šipke prstenastog presjeka s konstantnim brojem okretaja. Brzina rezanja linearno pada prema unutarnjem promjeru  $D_u$ , ali ne postiže nultu vrijednost, budući da je unutarnji promjer obratka  $D_u$  veći od nule. Potrebno vrijeme za obradu planskim tokarenjem prikazane prstenaste površine je

$$t_g = \frac{D_v - D_u}{2 \cdot s \cdot n}, \quad (5)$$

gdje je dužina obrade  $L = (D_v - D_u)/2$ .

2.4. Plansko tokarenje prstenaste površine -  $v = \text{konst.}$

Plansko tokarenje s konstantnom brzinom rezanja prstenaste površine prikazano je na slici 3b). Budući da je odnos  $D_u/D_v$  relativno velik, u konkretnom slučaju je  $D_u/D_v = 0,4$ , ne treba s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja kombinirati tokarenje, već se može obradivati samo s konstantnom brzinom rezanja.

Vrijeme obrade za plansko tokarenje prstenaste površine s konstantnom brzinom rezanja je

$$t_g = \frac{(D_v^2 - D_u^2) \cdot \pi}{4000 \cdot s \cdot v}. \quad (6)$$

Usporedimo li vremena obrade za plansko tokarenje prstenaste površine s konstantnim brojem okretaja i s konstantnom brzinom rezanja dobijemo izraz za određivanje procentualnog smanjenja vremena obrade planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja

$$t_u = 50 \left( 1 - \frac{D_u}{D_v} \right). \quad (7)$$

Ova zavisnost je prikazana na slici 4. Odavde proizlazi da je veće smanjenje vremena obrade planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja u odnosu na plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja što je manji odnos unutarnjeg i vanjskog promjera obratka.

2.5. Plansko tokarenje prstenaste površine -  $v = \text{konst}$  i  $n = \text{konst.}$

Koliko je autoru poznato u literaturi se razmatra plansko tokarenje prstenaste površine bez obzira na veličinu unutarnjeg promjera  $D_u$ , ili bez obzira na odnos  $D_u/D_v$ . Međutim, iz autorovih saznanja stečenih u praksi s NC tokarilicama česti će biti slučajevi da će se morati prijeći s  $v = \text{konst.}$  na  $n = \text{konst.}$  prije nego što alat izadje iz obratka. Razlog za taj prijelaz na  $n = \text{konst.}$  ne treba biti samo zbog odnosa unutarnjeg i vanjskog promjera obratka već iz zbog relativno velikog početnog broja okretaja  $n_v$ , slika 5, koji zavisi o materijalu obratka i o drugim faktorima, zbog čega bi bio prevelik broj okretaja  $n_u$  na izlasku iz obratka za određenu tokarilicu.

Vrijeme obrade za plansko to-



karenje prstenaste površine kad je  $D_u = 0,25 D_v$ , slika 4 može se izračunati iz slijedećeg izraza

$$t_g = \frac{(D_v^2 - D_1^2)}{4000 \cdot s \cdot v} + \frac{D_1 - D_u}{2 \cdot s \cdot n_1}, \quad (8)$$

gdje je broj okretaja  $n_1$  upravo maksimalni broj okretaja na promjeru  $D_1$ , slika 5, kojeg smo postavili kod programiranja NC tokarilice.

Treba napomenuti da u ovdje navedenim izrazima za određivanje vremena obrade  $t_g$  uzeta je stvarna dužina rezanja kod planskog tokarenja. Za računanje vremena obrade u praksi treba još uzeti u obzir dužine predjenog puta noža, kod ulaza u obradak i izlaza iz obratka, s konstantnom brzinom rezanja ili s konstantnim brojem okretaja.

Iz prikazanoga u ovoj točki prednosti planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja su očite. U slijedećim točkama iznijet će se zapažanja koja su proizašla iz pokusa planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja i s konstantnim brojem okretaja na NC tokarilici.

### 3. SNIMANJE POSTOJEĆEG STANJA - PLANSKO TOKARENJE NA NC TOKARILICI

Zbog ograničenog prostora navest će se samo dobiveni rezultati snimanjem planskog tokarenja na numerički upravljanoj tokarilici T-200 NC-R Prvomajska - Raša u jednoj našoj tvornici.

Treba istaknuti da se snimanjem postojećeg stanja utvrdilo da se plansko tokarenje različitih obradaka, bez obzira na veličinu, vrši s konstantnim brojem okretaja iako navedena tokarilica ima mogućnost planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja.

Usporedbom snimljenih vremena

obrade kod planskog tokarenja s konstantnim brojem okretaja i računskih vremena obrade za promatrane operacije utvrđeno je, da su snimljena vremena obrade manja od teoretskih vremena. Naime, na navedenoj NC tokarilici može se smanjiti odnosno povećati programirani broj okretaja pomoću potencijometra, tj. bez mijenjanja programa za promjenu broja okretaja glavnog vretena i to od 50% do 150% vrijednosti upisane u program, što je i korišteno u ovim slučajevima. Mjerenjem broja okretaja dokazano je da je bio broj okretaja korigiran na manju vrijednost. Nije dokazano da li je ta korekcija izvršena upravo zbog toga jer je vršeno snimanje kako bi radniku ostala izvjesna rezerva vremena obrade.

### 4. UVJETI IZVODJENJA POKUSA I PLANIRANJE POKUSA

#### 4.1. Obradni sistem

Obradni sistem se sastoji od: alatnog stroja, alata, obratka, eventualno naprave i uređjaja za upravljanje. Elementi obradnog sistema na kojem su vršeni pokusi bili su slijedeći:

#### Alatni stroj

Pokusi su vršeni na univerzalnoj T-200 NC-R s kompjuterskim numeričkim upravljanjem CNC 6650 Prvomajske - Raša, P=15 kW i broj okretaja glavnog vretena od 20 do 2240 min<sup>-1</sup>.

#### Alat

Za pokuse je korišten tokarski nož s mehaničkim pričvršćenjem rezne pločice JAL PCLN L 25 25 M 12 - Jugoalat. Okretna rezna pločica bila je pločica tvrdog metala CNMM 12 0408 TNC s plus SINTAL - VOTANIT s dvostrukom prevlakom, tj. prevlakom TiC i TiN. Pločica ima na sebi dva utora za lomljenje strugotina. Radius zaobljenja

vrha kao što se vidi u gornjoj oznaki bio je  $r = 0,8$  mm. Prednji kut bio je  $\gamma = -6^\circ$ , pa je stražnji kut bio  $\alpha = 6^\circ$ .

#### Obradak

Pokusi su vršeni na čeličnim prirubnicama, vanjski promjer 155 mm, promjer provrta 26 mm i debljina 12 mm, Č.0361 srednje tvrdoće 150 HB.

Ostali uvjeti i uređjaji

Trošenje alata je mjereno pomoću mikroskopa CARL ZEISS - JENA s povećanjem od 17 x. Obrada je vršena bez upotrebe sredstva za hladjenje i podmazivanje.

#### 4.2. Plan pokusa

Budući da je za pokuse trošenja alata potrebna relativno velika količina materijala obratka, a posebno za alate koji su otporni na trošenje kao što su rezne pločice TNC s<sup>plus</sup>, prišlo se pokusima gdje je kod svakog pokusa obradjeno po deset prirubnica. Pokusi planskog tokarenja vršeni su s dvije konstantne brzine rezanja, s dva konstantna broja okretaja i s dva posmaka. Mjereno je vrijeme potrebno za obraditi deset prirubnica, te postignuta maksimalna trošenja na stražnjoj površini ispod glavne oštrice i na stražnjoj površini ispod pomoćne oštrice [3].

Plan pokusa 2<sup>2</sup> kod pokusa s konstantnom brzinom rezanja i kod pokusa s konstantnim brojem okretaja.

Pokusi planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja na slijedećim nivoima brzine rezanja i posmaka:

$$v_1 = 150 \text{ m/min} \quad s_1 = 0,3 \text{ mm/okr} \quad a=2 \text{ mm}$$

$$v_2 = 170 \text{ m/min} \quad s_2 = 0,4 \text{ mm/okr} \quad a=2 \text{ mm}$$

Kad se brzina rezanja kontinuirano mijenjala, a broj okretaja je bio konstantan, nivoi broja okretaja i pos-

maka bili su:

$$n_1 = 500 \text{ min}^{-1} \quad s_1 = 0,3 \text{ mm/okr} \quad a=2 \text{ mm}$$

$$n_2 = 700 \text{ min}^{-1} \quad s_2 = 0,4 \text{ mm/okr} \quad a=2 \text{ mm}$$

U praksi se često odabire, a u literaturi preporuča da se za plansko tokarenje odabere brzina rezanja kao i za uzdužno tokarenje za određeni materijal obratka i alata [2], tj. na temelju odabrane brzine rezanja i vanjskog promjera iz (1) odredi se broj okretaja.

Broj okretaja  $n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$  nije na taj način određen, već odgovara brzini  $v_2 = 170 \text{ m/min}$  na promjeru  $0,7 D_v$ . Dakle, za  $n_1 = 500 \text{ min}^{-1}$  na vanjskom promjeru  $D_v = 155 \text{ mm}$  brzina rezanja je veća od  $170 \text{ m/min}$  i iznosi  $v_v = 243 \text{ m/min}$ .  $D=0,7 D_v$  uzeto je na temelju rada [4]

Da bi se vidjelo kakvo je trošenje kod većih brzina rezanja uzeta je brzina rezanja na vanjskom promjeru  $D_v$  za plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja čak  $v_v = 341 \text{ m/min}$  koja odgovara  $n_2 = 700 \text{ min}^{-1}$ .

## 5. ANALIZA REZULTATA

### 5.1. Trošenje alata

Kao što je već spomenuto mjereno je maksimalno trošenje na stražnjoj površini ispod glavne oštrice i maksimalno trošenje na stražnjoj površini ispod pomoćne oštrice.

Na slici 6 prikazane su vrijednosti maksimalne širine pojasa trošenja ispod glavne oštrice  $B_{\max}$  nakon deset obradjenih prirubnica kod planskog tokarenja s dvije različite brzine rezanja:  $v = 150 \text{ m/min}$  i  $v=170 \text{ m/min}$  i s dva posmaka:  $s = 0,3 \text{ mm/okr}$  i  $s = 0,4 \text{ mm/okr}$ . Na apcisu je nanoseno vrijeme  $t_g'$  koje odgovara vremenu obrade deset prirubnica navedenim brzinama rezanja i posmacima.

Postignuta trošenja  $B_{\max}$  nakon

deset obradjenih prirubnica i odgovarajuća vremena obrade  $t_g'$ , planskim tokarenjem s konstantnim brojem okretaja i  $n = 500 \text{ min}^{-1}$  i  $n = 700 \text{ min}^{-1}$ , te s dva različita posmaka prikazana su na slici 7. U ovom slučaju brzina rezanja se smanjivala kako se smanjivao promjer za vrijeme obrade. Ovdje vidimo da je trošenje kao i na slici 6 veće kod većeg posmaka i kod većih brzina rezanja. Iz slike 7 proizlazi da se plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja može vršiti i s maksimalnom brzinom rezanja  $v = 341 \text{ m/min}$  i s posmakom  $s = 0,4 \text{ mm/okr}$ , pa čak i s većim režimima obrade, budući da je maksimalno trošenje  $B_{\max} = 0,38 \text{ mm}$  relativno malo nakon vremena obrade  $t_g' = 11,5 \text{ min}$ .

Usporedimo li veličine trošenja postignute planskim tokarenjem s konstantnim brojem okretaja  $n=500 \text{ min}^{-1}$  i s posmakom  $s = 0,3 \text{ mm/okr}$ , slika 7 i planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja  $v=170 \text{ m/min}$ , te posmakom  $s = 0,3 \text{ mm/okr}$ , vidimo da su trošenja približno jednaka. U točki 4.2. navedeno je da je upravo na promjeru  $0,7 D_v$ , kod planskog tokarenja s konstantnim brojem okretaja  $n = 500 \text{ min}^{-1}$ , brzina rezanja  $v=170 \text{ m/min}$  koja odgovara brzini rezanja  $v = 170 \text{ m/min}$  kod planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja.

Maksimalno trošenje na stražnjoj površini  $B_{\max}$  ispod pomoćne oštrice bilo je približno isto kao i trošenje na stražnjoj površini ispod glavne oštrice.

## 5.2. Strugotina

Poznato je da kod produktivnih alatnih strojeva nepovoljna strugotina, npr. namotavanje tekuće strugotine na obradak - zaustavljanje stroja, može prouzrokovati zastoje u proizvodnji. Naime, nakon zaustavljanja stroja stru-

gotinom, dolazi do pucanja vrha alata kod oslobadjanja alata od obratka, a da pri tome puknuti vrh alata ostane u obratku zbog čega se obradak često ne može više obradivati. Druga nepovoljna pojava je, ako ne dodje do namotavanja strugotine na obradak, "zatrpanje" stroja tekućom strugotinom u vrlo kratkom vremenu tako da se ne može prići stroju. Zbog ove pojave takodjer nastaje prekid rada. Osim toga ovakva strugotina može biti vrlo opasna za radnika.

Upravo zbog važnosti vrste strugotine koja nastaje kod različitih režima obrade, u ovom radu je posvećena posebna pažnja ovom problemu, gdje se došlo do spoznaje, da kriterij za podesnu strugotinu zavisi o obliku zaštitnog dijela tokarilice i o drugim okolnostima, npr. da li je nož lijevi ili je desni. Naime, rezana strugotina koja je kod dobre zaštite najpovoljnija: zauzima najmanji volumen, ne zaustavlja stroj namotavanjem i može se automatizirati njezin transport, bilo je kod ovih pokusa (primjena lijevog noža) nepovoljna, jer je odbijanjem u pojedine površine stroja mogla ozlijediti radnika. Ovaj problem se može riješiti boljom zaštitom od strugotine.

U ovom radu je utvrđeno da je za navedeni materijal obratka, sa stanovišta strugotine, povoljnije planski tokariti s većim posmakom. To je posebno važno kod većih brzina rezanja, kad se stvara velika količina topline. Što je veća površina presjeka strugotine kod većih brzina rezanja to je manja vjerojatnost pojave tekuće strugotine. Na taj način je donekle riješen problem tekuće strugotine kod tokarenja čelika alatom s reznom keramikom i to povećanjem žilavosti rezne keramike, da bi se mogao povećati presjek strugotine.

Plansko tokarenje s konstantnom brzinom rezanja je takodjer povoljnije sa stanovišta stvaranja podesne strugotine, budući da su uvjeti skidanja strugotine konstantniji u odnosu na plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja kad se brzina rezanja mijenja, a brzina rezanja na vanjskom promjeru  $D_v$  je znatno veća od  $v = \text{konst.}$  za približno istu produktivnost.

## 7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na današnjim NC tokaralicama postoji mogućnost planskog tokarenja s kontinuiranom promjenom broja okretaja, odnosno s kontinuiranom brzinom rezanja, što nije moguće na konvencionalnim tokarilicama sa stepenastim brojem okretaja. Treba istaknuti da su današnji materijali alata tvrdi metal, rezna keramika i sl., nepodesni za male brzine rezanja pa je plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja nepovoljno za produktivne alate.

Iz prethodnih razmatranja dolazi se do slijedećih zaključaka:

1. Plansko tokarenje najčešće se vrši u praksi s konstantnim brojem okretaja, iako postoji mogućnost planskog tokarenja s konstantnom brzinom rezanja, odnosno s kontinuiranom promjenom broja okretaja, na današnjim NC tokarilicama.

2. Vrijeme obrade je za približno 47% manje kad se plansko tokarenje vrši s konstantnom brzinom rezanja u odnosu na plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja u skladu s rezultatima u točki 2.2.

3. Kod planskog tokarenja punog presjeka, odnosno kružne površine s konstantnom brzinom rezanja, povoljnije

je ograničiti maksimalni broj okretaja nego promjer na kojem se prelazi s konstantne brzine rezanja na konstantni broj okretaja. Maksimalni broj okretaja treba odrediti programerom zavisi o mogućnostima obradnog sistema i drugim utjecajnim faktorima razmatranim u ovom radu, na primjer stvaranje podesne strugotine i sl.

4. Ušteda na vremenu obrade planskim tokarenjem s konstantnom brzinom rezanja u odnosu na plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja je veća, što je odnos unutarnjeg promjera  $D_u$  i vanjskog promjera obratka  $D_v$  manji.

5. Za plansko tokarenje s konstantnim brojem okretaja čelika Č.0361 i za slične čelike po obradivosti maksimalna brzina rezanja može biti i  $v=340$  m/min, kad se tokarenje vrši okretnim pločicama tvrdog metala s dvostrukom prevlakom TNC s<sup>plus</sup> - SINTAL.

6. Da bi se izbjeglo stvaranje nepodesne tekuće strugotine, posebno kod većih brzina rezanja, treba planski tokariti s većim posmakom, odnosno s većom površinom presjeka neodrezane strugotine.

7. Plansko tokarenje s konstantnom brzinom rezanja je povoljnije sa stanovišta stvaranja podesne strugotine od planskog tokarenja s konstantnim brojem okretaja kod kojeg se brzina rezanja mijenja.

8. Plansko tokarenje s konstantnom brzinom rezanja treba primjeniti kad god je to moguće, tj. na NC tokarilicama, specijalnim strojevima, tokarilicama za istraživanje i sl.

Može se zaključiti da je plansko tokarenje u istraživanju prilično zapostavljeno u odnosu na uzdužno tokarenje, pa bi budućim istraživačkim radovima trebalo posvetiti više pažnje

ovom načinu tokarenja.

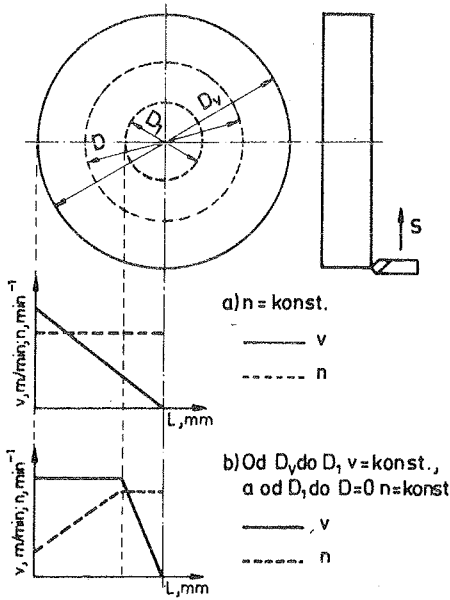
4. E. Kuljanić, Promjer za računanje brzine rezanja da bi se odredila postojanost alata kod planskog tokarenja s  $n=\text{konst.}$  (rukopis)

### 8. OZNAKE

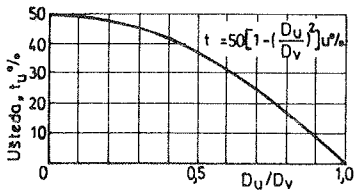
- a - dubina rezanja, mm  
 A - površina,  $\text{mm}^2$   
 C - konstanta u Taylor-ovoj jednadžbi  
 D - promjer za računanje brzine rezanja koja se koristi za određivanje postojanosti alata, mm  
 $D_1$  - promjer kod kojeg plansko tokarenje s  $v=\text{konst.}$  prijelazi u tokarenje s  $n=\text{konst.}$ , slika 1 i 5, mm  
 $D_u$  - unutarnji promjer obratka, mm  
 $D_v$  - vanjski promjer obratka, mm  
 n - broj okretaja obratka,  $\text{min}^{-1}$   
 $n_1$  - broj okretaja na  $D_1$ ,  $\text{min}^{-1}$   
 $n_u$  - broj okretaja na  $D_u$ ,  $\text{min}^{-1}$   
 $n_v$  - broj okretaja na  $D_v$ ,  $\text{min}^{-1}$   
 s - posmak, mm/okr  
 $t_g$  - vrijeme obrade, min  
 $t_g'$  - potrebno vrijeme za obradu 10 obradaka  
 $t_u$  - ušteda vremena obrade planskim tokarenjem s  $v=\text{konst.}$  u odnosu na tokarenje s  $n=\text{konst.}$ , %  
 v - brzina rezanja, m/min

### 11. LITERATURA

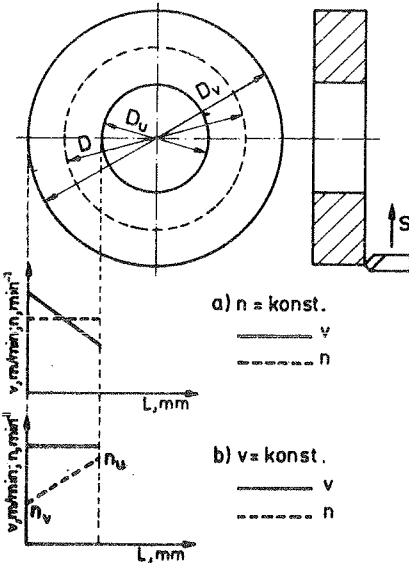
1. F. Riegel, Rechnen an spanenden Werkzeugmaschinen, I Band, Springer Verlag, Berlin 1958.
2. P. Stanković, Mašinska obrada, I knjiga, Gradjevinska knjiga, Beograd 1962.
3. M. Grbić, Diplomski rad, Tehnički fakultet Rijeka, Rijeka, 1983.



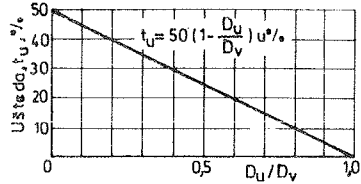
Sl.1 Plansko tokarenje kružne površine



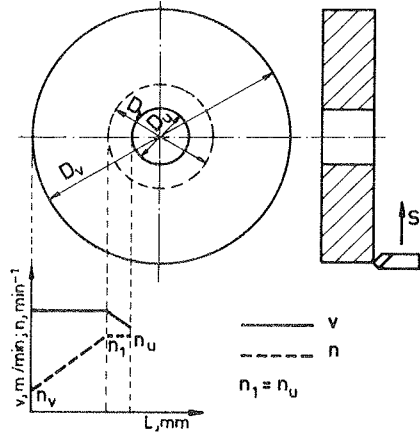
Sl.2 Ušteda vremena obrade punog presjeka planskim tokarenjem s  $v = \text{konst.}$  u odnosu na tokarenje s  $n = \text{konst.}$



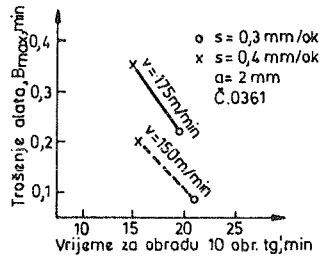
Sl.3 Plansko tokarenje prstenaste površine  $D_u \geq 0,25 D_v$



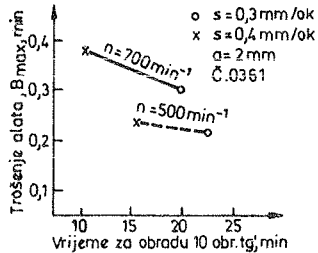
Sl.4 Ušteda vremena obrade prstenaste površine planskim tokarenjem s  $v = \text{konst.}$  u odnosu na tokarenje s  $n = \text{konst.}$



Sl.5 Plansko tokarenje prstenaste površine,  $D_u < 0,25 D_v$



Sl.6 Trošenje alata nakon 10 obrađenih obradaka,  $v = \text{konst.}$



Sl.7 Trošenje alata nakon 10 obrađenih obradaka,  $n = \text{konst.}$

Aristid Perić \*)

ISTRAŽIVANJE EKONOMSKOG PERIODA REZANJA  
KOD RADA VIŠE JEDNAKIH ALATA U JEDNAKIM  
USLOVIMA

R e z i m e

U radu je data analiza ekonomskog perioda rezanja kod viševalatne obrade a u slučaju rada više jednakih alata iste dimenzije u presjeku u jednakim uslovima. Predviđena je istovremena smjena svih alata. Parcijalnim izvodom troškova po komadu koji su definisani u funkciji od postojanosti alata i uticaja učestalosti rezanja alata, dobija se izraz za ekonomski period rezanja za ovaj slučaj viševalatne obrade. Dobijeni izraz ispitivan je u primjeru jednoalatne, viševalatne i višestranne viševalatne obrade.

INVESTIGATION OF A TOOL LIFE FOR MINIMUM  
COST PER COMPONENT IN A MULTITool OPERATIONS  
WITH THE SAME TOOLS IN SAME CONDITION

S u m m a r y

This paper contains an analysis of a tool life for minimum cost per component at normal cutting process in multitool operations with the same tools in same condition. All tools are replaced as soon as one fails. Partial derivation of an equation for cost per component, defined as a function of the tool life and factor-influence of cutting frequency of tool, gives the equation for the tool life for minimum cost per component in this case of multitool operations. The derivated expression was examined in the cases of single-pass, onside multitool and multiside multitool machining operations.

1. U v o d

Bušenje više jednakih otvora na viševretnoj bušilici je tipičan primjer viševalatne obrade sa više jednakih alata istih dimenzija u presjeku u jednakim uslovima [1].

Rezanje alata vrši se periodično, a što je uslovljeno uzastopnom promjenom obradka na mašini.

Karakteristika takvog rezanja je stepen i

\*) Dr Aristid Perić, red.prof. Mašinskog fakulteta u Sarajevu, 71000 Sarajevo,  
Ul. Omladinsko šetalište bb.

uticaj učestalosti rezanja alata koji se kao određena konstanta određuju za dati alat, obradak i uslove obrade [2,3].

Ova karakteristika radi optimalnosti rezanja alata održava se konstantnom, tako što povećanje tempa ručnog dijela rada treba da prati i povećanje brzine rezanja na mašini u normalnim proizvodnim uslovima gdje vladaju simulativne ekonomske zakonitosti. Znači, radnik može brže raditi bez štetnih posljedica a i nož, a rezultat je veća proizvodnost uz minimalne troškove. Radnik - novator može da koristi to kod prebačaja norme. To dovodi do smanjenja vremena čekanja alata tj. neproduktivnog vremena sa porastom brzine. Na taj način se ritam rada u obradnom sistemu čovjek - mašina poistovjećuje sa ritmom rada na mehaničkom automatu. A mehanički automat predstavlja općenito idealan mehanizam kod kojega se kod periodičnog rezanja određenog obradka pri svakom ritmu rada održava konstantan stepen učestalosti rezanja pojedinih alata.

## 2. Izvod izraza za ekonomski period rezanja kod rada k jednakih alata

Troškovi obrade po komadu isključujući troškove materijala obradka su jednaki [1,4,6]

$$C_K = C_M \left[ t_g + t_p + k \left( t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right) \frac{t_g}{T} \right]$$

gdje je  $t_g$  - glavno vrijeme, a  $t_p$  - pomoćno vrijeme svakog alata,  $t_{sm}$  - vrijeme smjene jednog alata,  $C_M$  - rashodi eksploatacije radnog mjesta u minuti,  $C_A$  - rashodi alata po oštrici,  $T$  - neka postojanost alata i  $k$  - broj alata. Analogno izvodu kod jedno-

alatne obrade za opšti slučaj periodičnog rezanja [5] formula za troškove obrade po komadu dobija slijedeći oblik

$$C_K = C_M \left[ C_1 u^m T^m + z(u) C_1 u^m T^m + t_c + k C_1 u^m T^{m-1} \right] = \phi(u, T)$$

Uslovi rezanja kada su minimalni troškovi obrade po komadu su

$$\frac{\partial C_K}{\partial T} = 0$$

i odatle je

$$T_{ekVA} = \frac{1-m}{m} k K \frac{1}{1+z(u)}$$

Pošto je

$$z(u) = \frac{t_{hl}}{t_r}, \quad K = \left( t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right)$$

to je

$$T_{ekVA} = \frac{1-m}{m} \left( t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right) k \cdot I$$

ili konačno, ekonomski period rezanja kod rada k jednakih alata u jednakim uslovima je

$$T_{ekVA} = T_{e(I=1)} k \cdot I$$

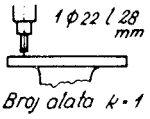
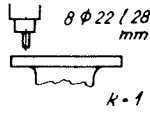
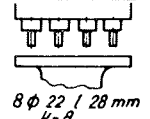
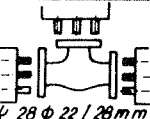
gdje je  $T_{e(I=1)}$  - ekonomski period rezanja alata kod kontinualnog rezanja,  $I = \frac{1}{1 + \frac{t_{hl}}{t_r}}$  - stepen učestalosti rezanja alata.

## 3. Proračun postojanosti za razne operacije po teoretski izvedenom izrazu

Izvedeni teoretski izraz za ekonomski period rezanja kod rada k jednakih alata u jednakim uslovima primjenjen je kod proračuna u slučaju jednoalatne obrade jednog otvora na obradku, redosljedne jednoalatne obrade više istih otvora na jednom komadu, višeealatne jednostrane obrade istih otvora na jednoj prirubnici istog komada, te najzad u slučaju višestranne višeealatne obrade na tri prirubnice istoga obradka. Uz to je za svaki od pomenutih slučajeva obrade



Tabl 1

OPERACIJA	A - Jednoalatna obrada otvora	B - Redosljedno bušenje otvora	C - Višealatno jednostrano bušenje	D - Višealatno višestrano bušenje
SKICA PLANA ALATA				
ALAT	Burgija φ 22 - BRC - m=0,2			
OBRADAK	ČL 1330 - G=120 N			
EKONOMSKI PERIOD REZANJA KOD JEDNOALATNE KONTINUALNE OBRABE	$T_{e,1} = \frac{1-m}{m} (t_{sm} + \frac{C_A}{C_M}) = 50 \text{ min}$			
ORIJENTACIONI REŽIM REZANJA KOD KONTINUALNE OBRABE	$S = 0,3 \text{ mm/o}, n = 280 \text{ o/min} (v = 25 \text{ m/min})$			
Glavno vrijeme alata	$t_g = t_r = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{30}{0,3 \cdot 280} = 0,36 \text{ min}$			
Čekanje alata ( $t_{pe}$ (min))	0,62 < $t_{pe}$	0,27	0,62	0,62
I	0,37	0,57	0,37	0,37
$T_{ekVA} = T_{e,1} \cdot I \cdot k$	18,5	28,5	148	518
$T_{kal} = T_{ekVA} \cdot \frac{t_r + t_{pe}}{t_r}$	50	50	400	1400
$T_{e,k} = T_{e,1} \cdot k [1,4]$	50	50	400	1400
$T_{kal,k} = T_{ek} \cdot \frac{t_r + t_{pe}(1,4)}{t_r}$	136	87,5	1088	3808

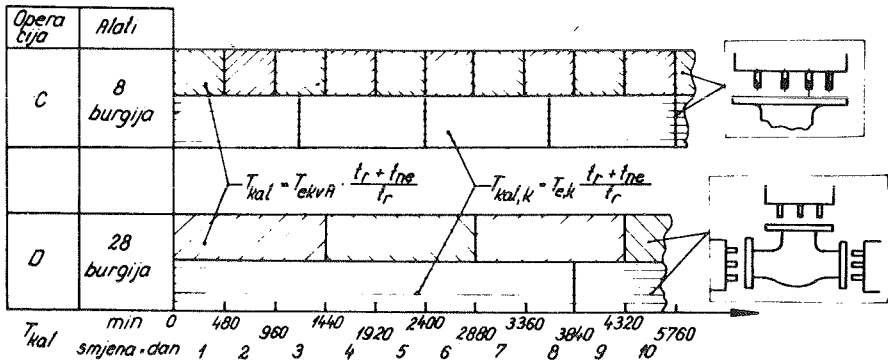
otvora bušenjem burgijom određena i odgovarajuća kalendarska postojanost alata  $T_{kal}$  (tabl.1).

Radi ocjene i uporedjenja, za svaki od ovih slučajeva, izvršen je proračun ekonomskog perioda rezanja i po, do sada jedinom važećem teoretskom izrazu  $T_{e,k}$  kod rada k jednakih alata u jednakim uslovima [1,4,6] (tabl. 1), za koji izraz je već odavno praktično utvrđeno da daje nerealne i prevelike vrijednosti za ekonomski period rezanja. Isto tako je za ovako proračunatu postojanost

alata određena i odgovarajuća kalendarska postojanost alata  $T_{kal,k}$  za svaki razmatrani slučaj bušenja.

Na sl. 1 dati su usvojeni planovi smjena alata kod operacija višealatne obrade C i D, dobijeni prema proračunima (tabl. 1) kalendarskih postojanosti na osnovu izvedenog teoretskog izraza za ekonomski period rezanja kao i do sada važećeg teoretskog izraza [1,4,6].

Iz proračunatih podataka i grafičkog prikaza može se konstatovati da su kalendarske postojanosti proračunate



Sl. 1 - Plan kalendarske smjene alata - operacija C i D

prema izrazu  $T_{kal}$ , izvedenom u ovome radu, znatno bliže preporučenim vrijednostima koje se koriste u praksi.

#### 4. Zaključak

Izvedeni izraz za ekonomski period rezanja  $T_{ekva}$  kod rada više jednakih alata u jednakim uslovima, dat u zavisnosti od stepena učestalosti rezanja alata, predstavlja dobru ocjenu prave vrijednosti ekonomskog perioda rezanja pri minimalnim troškovima obrade i pogodan je za praktičnu upotrebu.

#### Literatura

- 1 Bobrov V.F., Osnovi teorij rezanija metallov, Mašinstroenie, Moskva, 1975
- 2 Perić A., Prilog istraživanju temperatura pri periodičnom rezanju, Zbornik saopštenja, X Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1975.
- 3 Perić A., Periodično rezanje, temperatura i postojanost alata, Zbornik saopštenja, XIII Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Banja Luka, 1979.
- 4 Armarego A., Brown H., The machining of metals, New Jersey, Prentice-Hall, 1969.
- 5 Perić A., Analysis of tool life for minimum cost per component at normal cutting in single-pass machining operations. Proc. of VI ICPR, Novi Sad, 1981.
- 6 Pankin A.V. Obrabotka metallov rezaniem, Mašgiz, Moskva, 1961.

Aristid Perić\*

Malik Kulenović\*\*

NEKA ISKUSTVA U ISTRAŽIVANJU ELEKTROEROZIONE  
OBRAD E OBRADAKA OD TVRDOG METALA

R e z i m e

U ovome radu su prikazana neka iskustva u istraživanju elektroerozione obrade matrica za vučenje žice. Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju na određene prednosti elektroerozione obrade u odnosu na brušenje. To se može uočiti u vremenu za obradu, koje je kraće kod elektroerozionog postupka i postaje sve izražajnije kod većih skidanja tvrdog metala. S druge strane, dosadašnja istraživanja pokazuju da je intenzitet-brzina habanja kod erodiranih matrica prilikom vučenja žice manji nego kod brušenih.

EINIGE ERFAHRUNGEN IN UNTERSUCHUNG DIE ELEKTROEROZI-  
ONSBEARBEITUNG DIE WERKSTUCKE AUS HARTMETALL

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit werden einige Erfahrungen in Untersuchung die Elektroerosionsbearbeitung die Drahtzugmatrizen aus Hartmetall dargestellt. Bisherige Untersuchungen weisen die gewisse Vorteile die Elektroerosionsbearbeitung im Vergleich mit dem Schleifverfahren hin. Die Bearbeitung bei dem Elektroerosionsverfahren dauert durzer und dies wird je ausgeprägter desto die Zugabe bei der Bearbeitung grosser ist. Andererseits, der Matrizenverschleiss während des Drahtzuges hat ein kleiner Anstieg bei Matrizen, die im Elektroerosionsverfahren bearbeiten worden sind.

1. U v o d

U radu se izlažu neka iskustva u primjeni elektroerozione obrade na primjeru dorade matrica od tvrdog metala za vučenje žice. U proizvodnji vučene žice godišnje se koristi više hiljada vučnih matrica od tvrdog

metala (sl. 1). Matrice se koriste tako, što se poslije upotrebe, tj. pohabanosti za jedan prečnik vučenja, doraduju za slijedeći standardni, koji je moguće postići, što opet zavisi od stepena i vrste

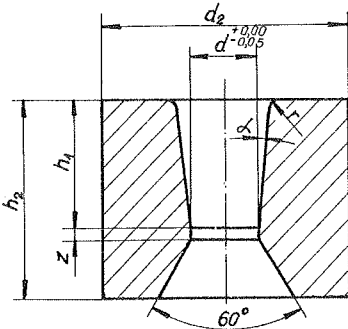
\* ) dr Aristid Perić, dipl. inž., red. profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu

\*\* ) Mr Malik Kulenović, dipl. inž., docent Mašinskog fakulteta u Sarajevu

\*\*\* ) Istraživanje se vrši u saradnji sa RO Žica u Sarajevu u okviru projekta "ISTRAŽIVANJE I OSVAJANJE ELEKTROEROZIONE OBRAD E VUČNIH MATRICA OD TVRDOG METALA"

istrošenosti.

Dorada matrica kod proizvođača žice vrše se uglavnom klasičnom abrazivnom obradom i to postupcima prethodnog grubog i čistog brušenja te završnog finog poliranja, upotrebom odgovarajućeg trna (cilindričnog



Sl. 1 Jezgro matrice za vučenje čelične žice (Materijal: TMG1, tvrdoća: HRC 75-78)

i konusnog) uz primjenu grube i fine dijamantne paste [1]. Dodatak za završno fino poliranje je 0,07 mm po prečniku. Uzimajući u obzir opšte poznate odlike i prednosti elektroeroziona obrade nastoji se ova tehnologija uvesti u tehnologiju obrade vučnih matrica od tvrdog metala. Zbog toga je ovim postupkom izvršena dorada više setova pohabanih matrica sa potrebnim skidanjima 0,3 - 0,5 mm po prečniku. Dodatak za završno fino poliranje je ostavljen 0,01-0,02 mm po prečniku što je bilo moguće postići zahvaljujući visokoj tačnosti ove obrade ( $\pm 2-40 \mu\text{m}$ ) i visokom kvalitetu obradjene površine ( $R_a = 0,4-0,8 \mu\text{m}$ ). Ovdje se može već konstatovati da će u ovom slučaju potrebno vrijeme završnog finog poliranja, kao i utrošak brusnog sredstava biti manji u odnosu na ranije pomenuti postupak. Ono što je također veoma bitno je uporedno ispitivanje postojanosti matri-

ca koje su obradjene abrazivnom obradom u odnosu na matrice obradjene postupkom elektroerozije. Osnova za ovakvo istraživanje leži u veoma malom defektnom sloju strukturnih promjena (0,02-0,10mm) kod fine obrade, pri čemu na obradenoj površini ne ostaju usmjereni tragovi obrade u obliku riseva.

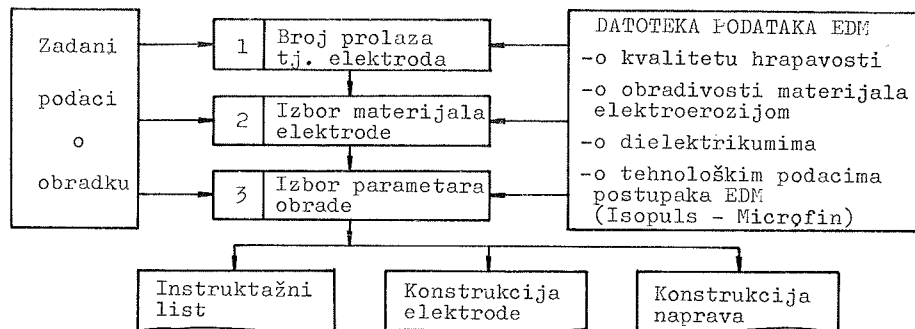
## 2. Izbor tehnoloških parametara za elektroerozionu obradu

Polaznu osnovu čine podaci defekacije istrošenih matrica, na osnovu kojih se određuje veličina sloja tvrdog metala kojeg treba skinuti, što određuje vrstu obrada i broj elektroda koje treba upotrijebiti. Drugi važan faktor je materijal elektrode i broj obradaka koje treba obraditi. Zahjevana hrapavost obradjene površine uslovljava izbor postupka elektrovarničenja (Microfin) ili elektroimpulsnog postupka (Isopuls). Zatim se određuje procentualni stepen trošenja elektrode koji mora ostati u granicama propisanih tolerancija. Kod konstrukcija elektrode mora se strogo voditi računa o tzv. podmjerama. Veoma važan činilac koji utiče na tačnost i kvalitet obrade kao i mirnoću obrade je dielektrikum i njegova cirkulacija (usis ili brizganje).

Na slici 2 je prikazan jedan tok izbora tehnoloških podataka. Tablica 1 predstavlja instruktajni list za obradu seta matrica od tvrdog metala[2,3]. Obrada je vršena na mašini Eleroda-10 proizvodnje Charmilles.

## 3. Istraživanje postojanosti brušenih i erodiranih matrica

Istraživanje postojanosti matrica je vršeno u pogonskim uslovima na mašinama na kojima se inače odvija normalna proizvodnja.



Sl. 2 Tok izbora tehnoloških podataka za upravljanje procesom EDM

Za eksperimente su pripremljeni setovi matrica od kojih su jedni obradjeni brušenjem, a drugi istih nazivnih mjera elektroerozijom. Materijal žice za vučenje je bio kod svih proba isti, a takodjer i njena priprema. Takodjer je korištena ista vrsta

matrica u vremenu. Habanje je praćeno mjerenjem porasta prećnika žice iza svake matrice u odredjenim vremenskim intervalima. Na slici 4 su prikazani dijagrami porasta habanja u vremenu za dvije matrice obradjene elektroerozijom ( $\varnothing 6,40E$

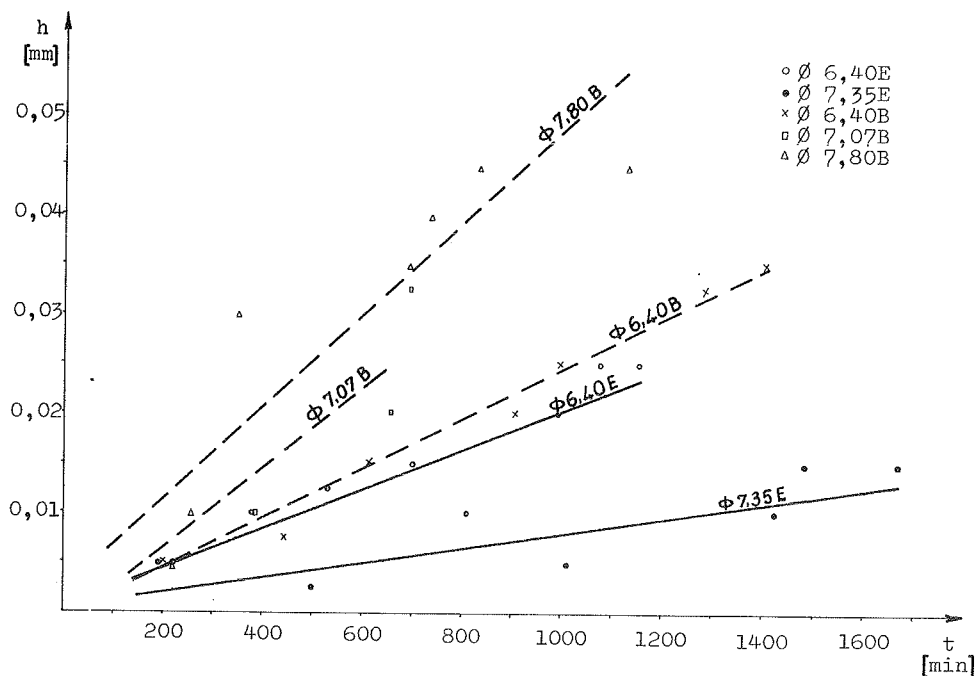
Tablica 1

Obrada		Isopuls	Microfin				
Broj elektroda		1	1	Proračun elektrode	Srednji put iskre E/E'	0,07	
Materijal elektroda		Cu	Cu		Grańiĉni put iskre F/F'	0,10	0,06
Zahtijevana hrapavost		CH27	CH18		Prekrivanje	0,10	
Osnovni parametri	Polaritet elektrode	-	-		Ukupna podmjera elektrode	0,20	0,06
	Stepen struje I	1/2	10		Aktivna dućina elektrode	0,5h	0,5h
	TA	5	-		Trošenje elektrode %	25	25
	Cirkulacija	usis 0,2 bara	usis 0,2 bara		Odnešeni materijal mm/min	14	1,4
Sekundarni parametri	Microfin poz. C		4		Prosjeĉno vrijeme obrade min		
	TB	3			Efektivno vrijeme obrade min		
	Pulzator						
	Microfin poz. N		da				

Napomena: Po erodiranju je predviđeno poliranje od 0,01mm po prećniku.

praha za podmazivanje. Za sam proces smanjenja habanja bilo je potrebno izraditi odgovarajuće snimaĉke listove, kao i uputstva za obuku ljudi koji su neposredno pratili tok izvlaĉenja i biljećili sve elemente rada. Obradom podataka iz snimaĉkih listova bilo je moguće dobiti dijagrame porasta habanja

( $\varnothing 7,35E$ ) i tri matrice koje su obradjene brušenjem ( $\varnothing 6,40B$ ,  $\varnothing 7,07B$ ,  $\varnothing 7,80B$ ). Na osnovu prikazanih dijagrama moće se reći da je intenzitet odnosno brzina habanja za matrice obradjene elektroerozijom manji nego za matrice obradjene brušenjem. Konaĉan zakljuĉak o postojanja



Sl. 3 Uporedni dijagrami habanja matrica

nosti matrica biće moguće dati u drugom radu, jer su dalja ispitivanja u toku.

#### 4. Zaključci

Na osnovu do sada izvršenih ispitivanja može se konstatovati da je dobijeni intenzitet habanja kod erodiranih matrica manji nego kod brušenih. Također se primjećuje određeni pad intenziteta habanja erodiranih matrica sa porastom prečnika vučenja, dok je ta pojava kod brušenih obrnutog karaktera. Kada se uporede dodaci za završnu obradu, tada je jasno da će završna obrada poslije erodiranja trajati kraće. Osim toga, ukupno vrijeme dorade pohabanih matrica, posebno ako se radi o većim skidanjima, je kraće kod elektroeroziona obrade.

#### 5. Literatura

- [1] A. Perić, Istraživanje mogućnosti i primjene elektroeroziona obrade u izradi alata u proizvodnji žice, Zbornik radova, str. 11, 1981.
- [2] Perić A. 1980. Obrada odnošenjem - Elektroeroziona i elektrohemijska obrada, Sarajevo, Mašinski fakultet
- [3] Semon G. 1977. Einführung in die Praxis der Funkenerosion, Geneve, Ateliers des Charmilles SA, 1. Auflage.
- [4] Konstruktivna i tehnološka dokumentacija za vučne matrice, RO Žica, Sarajevo.

Žarko Marković, dipl.ing.mašinstva, vodeći istraživač  
Slobodan Perović, dipl.ecc, rukovodilac službe ekonometrije  
Željezara "Boris Kidrič" - Nikšić, OOUR Inženjering

RAZMATRANJE BLUMING VALJAONICE SA ASPEKTA HOMOGENOSTI PROCESA PROIZVODNJE  
I POUZDANOSTI PROIZVODNOG PROCESA BRUŠENJA NA RAFAMA BRUSILICAMA VEZANO  
ZA GRANIČNU TAČKU RENTABILITETA.

R e z i m e

U radu je prikazan proces proizvodnje Bluming valjaonice u sklopu Željezare "Boris Kidrič" u Nikšiću. Odredjen je koeficijent homogenosti, kao mjera dobre organizacije procesa. Posebno je obradjena pouzdanost sistema brušenja valjaoničkih proizvoda na rafama (visećim) brusilicama, sa aspekta pouzdanosti radnika. Izvršen je proračun potrebnog broja rezervnih radnika da bi pouzdanost sistema bila preko 90%. Opravdanost uvođenja većeg broja rezervnih radnika data je preko ekonomske interpretacije medjuzavisnosti pouzdanosti sistema i granične tačke rentabiliteta.

BLOOMING MILL CONSIDERED FROM THE ASPECT OF PRODUCTION PROCESS HOMOGENEITY  
AND THE RELIABILITY OF PRODUCTION PROCESS OF GRINDING AT SUSPENDED GRINDERS  
RELATED TO THE LIMIT OF PROFITABILITY

S u m m a r y

This paper describes Blooming mill production process within Boris Kidrič Steelworks Nikšić. Homogeneity coefficient has been determined as an indicator of good process organization. Special care is given to the reliability of the system of rolling mill products grinding at suspended grinders from the workers reliability point of view. Such systems with very difficult working conditions are known to be very unreliable. The required number of substitute workers has been estimated for the reliability of the system to exceed 90%. The justification of a high number of substitute workers is given through the economic interpretation of system reliability and profitability limit interrelationship.

1. UVOD

U sklopu Željezare "Boris Kidrič" u Nikšiću egzistira kao posebna OOUR-a Bluming valjaonica koja je uradjena u okviru modernizacije i proširenja kapaciteta i puštena u redovnu proizvodnju 1978. godine. U sklopu Valjaonice postoje tri zasebne organizacione jedinice:

- dubinske peći (tzv. "zagrev"),
- valjaonička pruga
- adjustaža proizvoda.

U proteklom periodu u radu Valjaonice javljali su se razni problemi i zastoji koji su rešavani i otklanjani onda kada su se i pojavljivali bez bilo kakvih detaljnih analiza. Mnogi nedostaci pripisivani su uhođavanju novih postrojenja, što se obzirom na period od četiri godine ne bi moglo uzeti kao opravdanje.

Posebne teškoće u radu Bluming valjaonice predstavlja adjustaža proizvoda i njena neusaglašenost u odnosu na mogućnosti valjaoničke pruge. Ovo posebno dolazi do izražaja kada se zna da oko 80% valjaoničkih proizvoda "ide" na brušenje a tendencije su da se taj procenat poveća.

2. PROCES PROIZVODNJE BLUMING VALJAONICE

Prije prelaska na razmatranje problema puzdanosti sistema brusilica, biće ukratko prikazan proces proizvodnje Bluming valjaonice.

Ingoti iz Čeličane, dopremaju se do dubinskih peći gdje se vrši dogrijevanje ingota, odnosno zagrijavanje ako se ulažu već ohladjeni ingoti. Zagrijani ingoti preko valjčastog transportera dolaze do valjaoničkog stana gdje se obavlja operacija valjanja. Nakon ove operacije, gre-

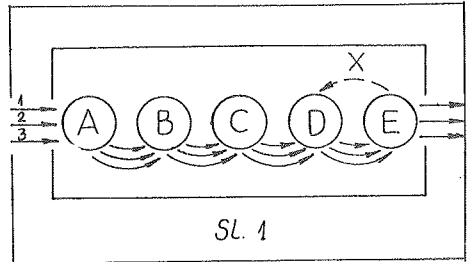
dica (ili neki drugi profil) preko drugog valjčastog transportera dolazi do makaza gdje se obavlja sječenje materijala na planiranu dužinu. Isječene gređice polažu se na prostor ispred linije rafama brusilica gdje se lagano hlade. Zatim slijedi operacija brušenja i na kraju kontrola proizvoda.

Šematski prikaz procesa proizvodnje dat je na slici 1. Uzeta su tri proizvodna procesa:

- proces dobijanja okruglih profila
- proces dobijanja kvadratnih profila
- proces dobijanja pljosnatih profila

Kao radni događaji uzete su tehnološke operacije i kontrola i to:

- zagrijavanje (radno mjesto A),
- valjanje (radno mjesto B),
- sječenje materijala (radno mjesto C),
- adjustiranje (radno mjesto D),
- kontrola (radno mjesto E).



Sl. 1

Za ovaj proces proizvodnje uradjena je matrica Markova koja je prikazana na slici 2 iz koje se preglednije vide sve postojeće veze od ulaza do izlaza.

	U	A	B	C	D	E	I
U		3					
A			3				
B				3			
C					3		
D						3	
E					X		3
I							

Sl. 2

Očigledno je da se radi o tzv. linijskom procesu sa usmjerenim tokom



jer su sva kretanja usmjerena u istom pravcu a proizvodni procesi imaju jednake redoslede dogadjaja.

### 3. KOEFICIJENT HOMOGENOSTI

Koeficijent homogenosti u navedenom slučaju iznosi:

$$k_h = \frac{V \text{ stv.}}{V \text{ max.}} = \frac{V \text{ stv.}}{p(n-1)} = \frac{12}{12} = 1$$

gdje je:

- V stv. - stvarni broj veza
- V max. - max.mogući broj veza
- p - broj proizvodnih procesa koji ulaze u proces proizvodnje
- n - broj elemenata proizvodnog sistema na kojima se odvijaju dogadjaji.

Ovakvo izračunat koeficijent homogenosti ne uzima u obzir vremena trajanja pojedinih dogadjaja. Ako bi uzeli u obzir ta vremena onda bi koeficijent homogenosti iznosio:

$$k_h = \frac{V \text{ stv.}}{V \text{ max.}} = \frac{24}{3(10-1)} = 0,888$$

Koeficijent homogenosti je relativno visok no to je bilo normalno očekivati obzirom da je vremenska jedinica trajanja pojedinih dogadjaja uzeta sa velikim rasponom (1-60 min) pa se proizvodni proces ne aproksimira dovoljno tačno.

### 4. POUZDANOST SISTEMA RAFAMA BRUSILICA

Rad na rafama brusilicama je veoma otežan. Uslovi rada su veoma loši: stvara se velika buka, prašina, varnice itd. Logično je očekivati da je pouzdanost jednog sistema sa ovakvim radnim mjestima vrlo nestabilna. Kao što je poznato pouzdanost proizvodnog sistema može se napisati kao:

$$P_{ps} = P_p \cdot P_o \cdot P_r$$

gdje je:

- $P_p$  - pouzdanost prostora
- $P_o$  - pouzdanost opreme
- $P_r$  - pouzdanost radnika

Na pouzdanost proizvodnog sistema u najvećoj mjeri utiče pouzdanost radnika, a pošto je ona u normalnim uslovima najmanja, to je normalno da je:

$$P_{ps} < P_r$$

Najlakši put za povećanje pouzdanosti neke komponente je njezino predimenzionisanje tj.uvođenje tzv.paralelnih spojeva.

U sklopu Bluming valjaonice postoji 17 komada rafama brusilica sa po jednim radnikom na svakoj rafami.

Pouzdanost je računata po obrascu:

$$P = p^N \cdot q^0 + ap^{N-1}q^1 + bp^{N-2}q^2 + \dots + p^0q^N$$

gdje je:

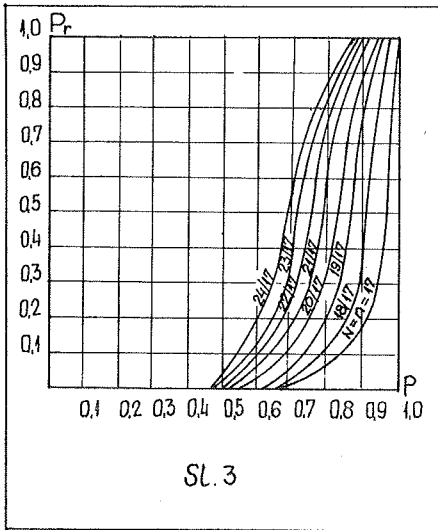
- p - vjerovatnost da radnik da dodje na posao, tj.da bude prisutan u proizvodnom sistemu,
- q - vjerovatnost da radnik ne dodje na posao, tj. da ne bude prisutan u proizvodnom sistem
- N - ukupan broj radnika.
- a,b ... - koeficijenti dobijeni prema Paskalovom trouglu.

Račun je izveden za N=17,18,19,20,21, 22,23 i 24, tj. ako sistem radi bez rezerve i ako je za rezervu predviđeno 1,2,3,4,5,6 i 7 radnika u jednoj smjeni. Sa računom se ide sve dok eksponet na "p" ne padne na "n" tj.na 17, jer je u ovom slučaju broj potrebnih radnika u proizvodnom sistem n = 17.

Podaci su dati u tabl. 1 sa odgovarajućim dijagramom prikazanim na sl.3.

Tabela br. 1

Vjerovatnost	Pouzdanost sistema $P_r$ za $n = \text{konst.}$ i $N/n =$							
	17/17	18/17	19/17	20/17	21/17	22/17	23/17	i 24/17
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,3	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,033
0,7	0,002	0,014	0,046	0,108	0,198	0,313	0,442	0,572
0,8	0,023	0,099	0,236	0,411	0,586	0,733	0,841	0,915
0,9	0,167	0,450	0,705	0,872	0,948	0,982	0,992	0,999
1,0	1	1	1	1	1	1	1	1



Sl. 3

Ako podjemo od činjenice da je vjerovatnost radnika koji rade na rafama brusilicama da budu prisutni u proizvodnom procesu, približno 0,8, i ako želimo da nam sistem sa ovog aspekta ima pouzdanost približno 0,9, morali bi u rezervi imati 7 radnika brusaa. Još jednom treba napomenuti da nije bila uzeta u obzir pouzdanost opreme i pouzdanost prostora, no to i nije bio cilj ovog razmatranja.

##### 5. MEDJUZAVISNOST POUZDANOSTI SISTEMA I GRANIČNE TAČKE RENTABILITETA RAFAMA BRUSILICA

Opravdanost uvodjenja većeg broja rezervnih radnika, predmet je dalje

ekonomske interpretacije. Proračun granične tačke rentabiliteta za sistem 17 rafama brusilica je sledeći:

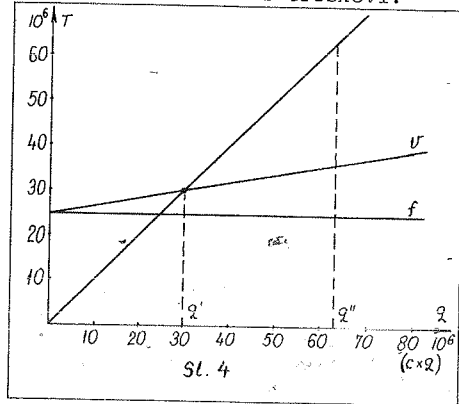
##### Struktura cijene koštanja

	ukupni	po jedin.
fikсни troškovi	24.165.000	1.672
varijabilni troškovi	11.288.000	769
ukupni troškovi	35.853.000	2.461

Granična tačka rentabiliteta izračunava se na sledeći način:

$$q = \frac{f}{c - v} = \frac{2.565.000}{3.481} = 7.057 \text{ tona}$$

gdje je:  $c$  - prodajna cijena za jedinicu proizvoda;  $q$  - obim proizvodnje;  $v$  - varijabilni troškovi po jedinici proizvoda i  $f$  - fikсни troškovi.



Sl. 4

Na slici 4 prikazani su podaci za 17 rafama burusilica, uz pretpostavku da sistem radi bez rezervnih radnika sa instalisanom mogućnošću korišćenja kapaciteta, što će nam poslužiti kao referentni sistem za dalju analizu

zavisnosti obima proizvodnje tj. korišćenja kapaciteta od pouzdanosti sistema.

U tabeli br. 1 vidimo da pouzdanost sistema za slučaj kada isti radi bez rezerve tj.  $N/n = 17/17$  i uz konstataciju da je vjerovatnoća radnika  $p = 0,8$ , iznosi samo 2,25%.

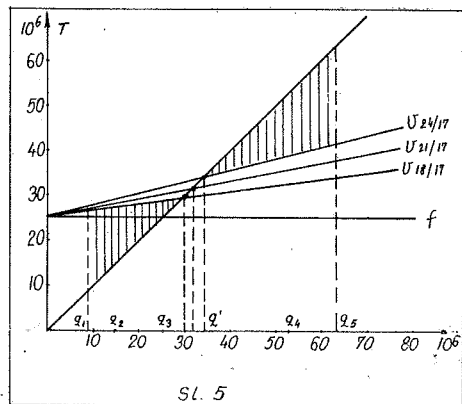
Ako bi procentualno umanjili kapacitet a samim tim i ukupan prihod, vidjeli bi da su troškovi, koji u ovom slučaju iznose 35.853.000 dinara, veći od prihoda.

U tabeli br. 2 dat je pregled potrebnih elemenata za upoređivanje kada sistem radi sa  $N/n = 18/17, 19/17, 20/17, 21/17, 22/17, 23/17$  i  $24/17$ .

Zavisnost uspjeha poslovanja od broja radnika u rezervi Tabela br. 2.-

Red. br.	Elementi	N/n =						
		18/17	19/17	20/17	21/17	22/17	23/17	24/17
1.	Pouzdanost u %	9,90	23,60	41,10	58,60	73,30	84,19	91,50
2.	Korišćenje kapaciteta u t.	1.454	3.466	6.037	8.607	10.766	12.353	13.420
3.	Ukupan prihod u 000 din.	6.179	14.730	25.657	36.579	45.755	52.500	57.098
4.	Fiksni troškovi u 000 din.	24.565	24.565	24.656	24.565	24.656	24.656	24.656
5.	Varijabilni troškovi u 000 din.	12.008	12.728	13.448	14.168	14.888	15.608	16.328
6.	Ukupni troš.u 000 din.	36.573	37.293	38.013	38.733	39.453	40.173	40.893
7.	Jeđ.var.trošk.u din.	818	867	916	965	1.014	1.063	1.112
8.	Gran.tač.rentab.u t.	7.158	7.261	7.368	7.478	7.591	7.708	7.828

Prateći dijagram za graničnu tačku za nekoliko karakteristinih slučajeva prikazan je na slici br. 5.



rvi do  $N/n = 24/17$  poboljšava ekonomiju sistema. Eventualnim daljim uvodjenjem radnika u rezervu pouzdanost sistema i ekonomski efekti će se neznatno povećavati.

#### L I T E R A T U R A :

1. A.Djurašković, Teorija proizvodnje
2. B.Gornik, Homogenost procesa proizvodnje i njen uticaj na iskorišćenje kapaciteta, medjuoperacijski zastoji i trajanje proizvodnog ciklusa, Strojarsstvo 19(1977)1,5-11.
3. D.Toboršak, Č.Buchberger, Studij rada
4. V.Gašparović, Ekonomika industrijske proizvodnje
5. H.B. Maynard, Industrijski inženjering
6. Podaci iz Željezare "Boris Kidrič" - Nikšić.

#### 6. ZAKLJUČAK

Iz tabele 2 vidimo da nam je granica ekonomske opravdanosti za slučaj kada u rezervi imamo 4 radnika tj.  $N/n = 21/17$ , obzirom da su u tom slučaju prihodi i rashodi približno jednaki. Svako dalje povećavanje broj radnika u reze-



Mirjana Stefanova, Jelena Stankov

UZROCI I KRITERIJUM OTKAZA RADIONIČKIH TOLERANCIJSKIH MERNIH ALATA-RTMA  
U EKSPLOATACIONIM USLOVIMA.

R e z i m e

U radu je data poenta uzrocima koji dovode do intenzivnijeg habanja RTMA u eksploatacionim uslovima, a samim tim i do brzog otkazivanja istih. S obzirom da je kriterijum otkaza RTMA strogo definisan i poznat prema JUS-u, razmatrani su uglavnom uzroci otkaza pa u vezi sa tim usledili su i konkretni zaključci i preporuke.

THE CAUSES AND THE CRITERION OF FAILURE OF WORKING GAUGES IN WORKING CONDITIONS

S u m m a r y

This paper presents the causes which bring to intensive abrasion of RTMA in working conditions respectively to rapid failure. With regard to failure of RTMA is strictly define by JUS, the causes of failure have been taken into consideration and in refence to that follows conclusions and references.

1. UVOD

Poznata je činjenica da je praktično nemoguće proizvoditi delove koji, u matematičkom smislu, nemaju nikakvih odstupanja. Zbog toga treba računati na njih i odrediti im krajne granice, do koje delovi još mogu sa uspehom da ispune osnovnu namenu - funkcionalno da zadovolje. U tu svrhu u serijskoj i masovnoj proizvodnji delova, našla su veliku primenu RTMA, kao kontrolna merila pri proveru međusobno zamenljivih delova, sa mogućnošću ocenjivanja atributivnih karakteristika kvaliteta. Tolerancijsko merilo (TM), dakle, ima stranu "ide", koja proverava da li se obradak može sklopiti s protudelom i stranu "ne ide", koja proverava da li su predvi-

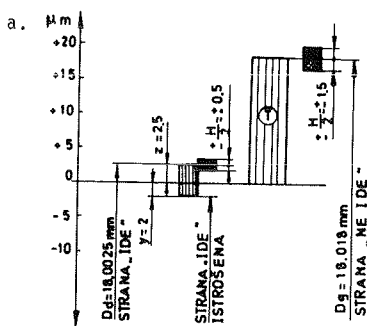
đene tolerancije prekoračene. Ova merila su standardizovana JUS-om i za razna područja primene, predviđene su i različite konstrukcije istih.

2. KRITERIJUM OTKAZA RTMA

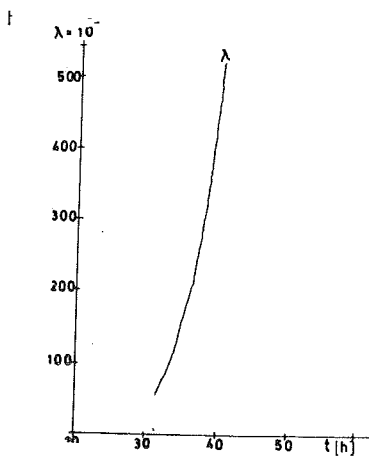
Od svakog proizvoda, pa i od RTMA, se zahteva da ima što duži radni vek i što veću pouzdanost u toku svoje radne mislje. Jedan od glavnih uzroka za otkaz TM, ukoliko su u eksploataciji pravilno upotrebljavana, je habanje njihovih mernih površina. Pojas habanja je strogo definisan JUS-om, a sa tim i sam kriterijum otkaza TM. Normalno istrošenost se predviđa samo za stranu "ide", pošto

Mr Mirjana Stefanova, dipl.ing., asistent, Mašinski fakultet, 91000 Skopje, Karpoš II, b.b.  
Dr Jelena Stankov, dipl.ing., red.prof., Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Veljka Vlahovića 3.

se strana "ne ide" ne troši (vidi sl.1-a za slučaj TM u obliku čepa):



Dozvoljeni sloj za habanje od 5 µm za KČ.04-Ø18H7



Kriva λ(t) za KČ.04-Ø18H7

Sl.1

Usvojene oznake (JUS M.A1.302):

- T - teolerancija obratka,
- H - tolerancija izrade za merne čepove,
- y - razlika između donje granice za rupe i granice istrošenosti strane "ide", TM za rupe,
- Z - veličina koja određuje položaj tolerancije izrade strane "ide" TM za otvore u tolerancijsko polje odgovarajućeg otvora.

Potrebno je naglasiti da tolerancija izrade H i trošenja "y" TM treba da leže u granicama tolerancije obratka. Ovaj uslov se ne može ispuniti za sve kvalitete. Za kvalitete 5-8 predviđa se da mera strane "ide" TM može usled istrošenosti da izade iz tolerancijskih polja za određeni iznos "y" iz tolerancije obratka. Preko ovih kvaliteta, "y" ima vrednost 0. Položaj tolerancije izrade H i trošenja "y" TM posmatra se posebno za nazivne mere ispod 180 mm i preko 180 mm za otvore. TM je otkazalo, odnosno nije više za upotrebu, ukoliko je predvideni sloj za habanje istrošen, a to znači da se dimenzija strane "ide" - nova, pohabala na dimenziju strane "ide" - istrošena.

Istrošenje merila se ustanovljuje periodičnom ili tekućom kontrolom TM od trenutka lansiranja novog merila u eksploataciji pa do njegovog otkaza, preko kontrolnog kartona u koji se evidentira stanje merila.

Na osnovu velikog broja eksperimentalnih po-

FABRIKA - COUR			KONTROLNI KARTON ZA H.ALAT			BROJERSKI BROJ ČEPE																																																																																																																																																																																															
KORISTI SE ZA KONTROLU			NAZIV:			VREMENE KONTROLE																																																																																																																																																																																															
TIP :			PROIZVOĐAČ H.ALATA			PRIMLJEN U SKLADISTIŠTE																																																																																																																																																																																															
DEO :			STRANA „IDE“ - NOVA			STRANA „NE IDE“																																																																																																																																																																																															
STANJE NA PRVOJ KONTROLI			DATUM :			t °C R.VL.																																																																																																																																																																																															
VELIČINA	VRESTA	BROJ VREMENE	DATUM	DIJAGRAM TROŠENJA			POTPIS KONTROLORA	t °C R.VL.																																																																																																																																																																																													
(VRAĆANJE WATER.)	(KONTROLA)	KOM.	KONTROLE	NERE U 1/1000 mm					°/2																																																																																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; height: 100px;"> <tr> <td style="width: 15%;">1</td><td style="width: 15%;">2</td><td style="width: 15%;">3</td><td style="width: 15%;">4</td><td style="width: 15%;">5</td><td style="width: 15%;">6</td><td style="width: 15%;">7</td><td style="width: 15%;">8</td><td style="width: 15%;">9</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>									1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																																																																																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																																																																																																																																																													
ZABELEŠKA:																																																																																																																																																																																																					

Sl.2. Kontrolni karton merila sa potrebnim dijagramom trošenja

dataka (trošenje merila je praćeno u vremenskom periodu od 10. meseci), kao i razmatranja krivih intenziteta otkaza  $\lambda(t)$  (Sl. 1-b), došlo se do spoznaje o vremenu bezotkaznog rada merila, brzini trošenja u određenim vremenskim periodima i drugim informacijama relevantnim za ekonomičan rad RTMA.

Na osnovu kompletnih ispitivanja /4/ radi dobijanja preciznijih podataka pri ispitivanju, kao i praćenje RTMA u eksploataciji predložen je kontrolni karton merila (Sl.2), kao rezultat dosadašnjih iskustava u OUR-ima, kao i informacija dobijenih istrživanjem pouzdanosti RTMA u eksploatacionim uslovima.

### 3. UZROCI INTENZIVNIJEG HABANJA RTMA

Na osnovu istraživanja i obavljenih kontakata sa stručnjacima iz direktne proizvodnje i kontrole u više fabrika, mogu se navesti neka zapažanja i zaključci u vezi sa uzrocima koji dovode do intenzivnijeg habanja RTMA.

Izuzimajući subjektivni faktor, na intenzitet habanja, a sa tim i na intenzitet otkaza merila, imali bi uticaj i sledeći faktori:

- tvrdoća mernih površina TM,
- kvalitet (hrapavost) mernih površina TM,
- vrsta materijala kontrolisanog dela
- tvrdoća materijala kontrolisanog dela,
- vrsta obrade posle koje se vrši kontrola,
- veličina tolerancije kontrolisanog dela,
- dimenzije kontrolisanog dela i sl.

Tvrdoća mernih površina TM ne može se uzeti kao kriterijum otpornosti na habanje, prema nekim istraživačima. Pokazalo se, naprimer, da sa manjom tvrdoćom mernih površina u laboratorijskim ispitivanjima često se dobijala veća otpornost na habanje, u odnosu na prilično visoke tvrdoće mernih površina. Ipak u uslovima eksploatacije TM sa priličnom tvrdoćom mernih površina su dugovečnija, pošto su manje podložna povredama površine. Iz ovo-

ga sledi, da na intenzitet habanja TM u eksploataciji veći uticaj pokazuje njihova relativna tvrdoća. Za čepove malih dimenzija (do 3 mm), zbog suviše krтости pri visokoj tvrdoći, zahteva se relativno niža tvrdoća mernih površina (no ne niže od HRC = 50).

Kvalitet (hrapavost)

mernih površina interesantno je kako utiče na intenzitet habanja. Na osnovu eksperimentalnih podataka može se zaključiti da u početku, odnosno, potpuno novo merilo intenzivnije se haba upravo pri početnoj upotrebi i pri vrlo malom broju izvršenih kontrola, a kasnije to počinje da stagnira. Ovo bi se moglo objasniti sa malom nosećom površinom u početku zbog postojećih neravnina (vrhova) na mernoj površini merila, a zatim posle naglog habanja, a sa tim i poravnavanja neravnina, noseća površina se povećava i habanje stagnira.

Vrsta materijala

kontrolisanog dela i te kako ima uticaja na intenzitet habanja mernih površina TM. Intenzitet habanja merila pri kontroli delova od različitog materijala išao bi sledećim redom: najviše habanje - kod livenog gvožđa, zatim čelika, mesinga i bronzе (najmanje habanje). Pitanje o uticaju aluminijuma na habanje TM ni do dan danas nije dovoljno razjašnjeno prema nekim autorima. No iz podataka dobijenih u Metalском zavodu "Tito" u Skoplju - OOUR - Kočnice; gde se pretežno izrađuju delovi od silumina, vidi se da TM počinju da otkazuju tek nakon nekoliko godina. Ovo znači da i silumin, nema velikog uticaja na intenzitet habanja merila.

Tvrdoća materijala

kontrolisanog dela po pravilu bi trebalo da bude manja od tvrdoće mernih površina TM, u suprotnom imaćemo veći intenzitet habanja merila, što sa ekonomske tačke gledanja ne bi bilo opravdano.

Vrsta obrade

posle koje se vrši kontrola delova, isto tako bitno utiče na intenzitet habanja merila. Pri kontroli brušenih delova habanje merila

biće veće, nego pri kontroli delova, obradenih nožem. Uzroci toga, bi mogli biti: povećana tvrdoća materijala kontrolisanih delova (prethodno kaljenih) i prisutnost abrazivnog materijala na brušenoj površini pri kontroli iste.

Intenzitet habanja mernih površina TM utoliko je veći, što je manja tolerancija kontrolisanog dela. To se može objasniti smanjenim zazorom između TM i kontrolisanog dela.

Povećanjem dimenzija kontrolisanog dela, normalno dovodi i do povećanja dimenzija odnosno težine TM pa otuda se može očekivati i veći intenzitet habanja merila, uglavnom zbog, veće sile pritiska i povrede mernih površina.

I na kraju ne bi bilo potpuno izlaganje, ako ne uvrstimo i čoveka kao direktnog učesnika i ponekad glavnog krivca za brzi otkaz merila. Čovek može izazvati pre vremena otkazivanje TM usled nepravilne upotrebe istih, korišćenjem sile pri kontroli, povredom mernih površina merila, lomljenjem i sl, što će se normalno odraziti na povećanje troškova proizvodnje.

#### 4. PREPORUKE

Umesto zaključaka, daćemo izvesne preporuke za dalji rad sa RTMA. Iz dosadašnjih ispitivanja mogu se dati kao početne, sledeće preporuke:

(1) Za svaki novi RTMA obavezno otvoriti kontrolni karton (Sl.2) kako bi se pratilo u toku eksploatacije sve do njegovog otkaza.

- (2) U serijskoj ili masovnoj proizvodnji, RTMA podvrgnuti tekućoj kontroli (naprimer, posle završene četiri smene ili posle određenog broja kontrolisanih delova) i pri tome voditi računa o troškovima za kontrolu merila.
- (3) Objektivno i pedantno vođenje kontrolnog kartona omogućio bi dalja istraživanja u ovoj oblasti, posmatrajući istovremeni uticaj više komponenata na intenzitet habanja, kao što su: vrsta materijala, tvrdoća, vrsta obrade, hrapavost, temperatura, vlažnost i slično. Ovo bi doprinelo boljem definisanju uslova i sistema testiranja RTMA, sa ciljem povećanja veka trajnosti, pouzdanosti i tačnosti pri upotrebi istih, a smanjili troškovi proizvodnje, što je i cilj svakog proizvođača.

#### 5. LITERATURA

- /1/ Barišić R.: 1974. Savremena tehnička kontrola proizvodnje, Beograd, Tehnička knjiga
- /2/ Standardi JUS-a, DIN-a i GOST-a.
- /3/ Stefanova M., Stankov J.: Određivanje pouzdanosti radioničkih tolerancijskih mernih alata - RTMA u eksploatacionim uslovima, Zbornik radova, III Simpozijum MMA'83, Novi Sad, 1983.
- /4/ Stefanova M.: 1982. Prilog problemu određivanja načina provere tolerancijskih merila u eksploatacionim uslovima na bazi pouzdanosti, Skoplje, Magistarski rad.



Tihomir Ljubojević, Milenko Jovičić, Stjepan Panić <sup>x)</sup>

OBRAĐA REZANJEM SINTEROVANIH MATERIJALA NA BAZI LEGURA GVOŽDJA

R e z i m e

Izvedeno je ispitivanje procesa obrade rezanjem (struganje i bušenje) sinterovanih materijala na bazi legura gvoždja različitog hemijskog sastava i gustine, sa i bez dodatka za poboljšanje obradljivosti. Ovdje se prikazuju neki izabrani rezultati dobijeni u ovim ispitivanjima.

Z u s a m m e n f a s s u n g

DIE ZERSPANUNG VON SINTERTEILEN AUF Fe-BASIS

Es wurden die Zerspanversuche beim Drehen und Bohren von Sinterteilen auf Fe-Basis verschiedener Zusammensetzung und Dichte, mit und ohne Zusätze für die Verbesserung von Zerspanbarkeit, durchgeführt. Hier sind einige Ergebnisse dieser Untersuchung gezeigt.

1. Uvod

Obradljivost sinterovanih materijala pri obradi rezanjem zavisi od njihovih hemijskog sastava i fizičko-mehaničkih osobina (gustina, čvrstoća, tvrdoća, pri čemu mehaničke osobine znatno zavise od gustine).

Radi poboljšanja obradljivosti pri naknadnoj obradi rezanjem (obrada površina koje se ne mogu ostvariti presovanjem, završna obrada odredjenih površina), kod teže obradljivih sinterovanih materijala dodaju se odredjeni dodaci u fazi pripreme praška, kao što su: sumpor, selen, telur, mangan sulfid, molibden disulfid. Ovi dodaci obezbeđuju poboljšanje obradljivosti, ali prouzrokuju

(osim MnS) i smanjenje čvrstoće i relativnog izduženja kao i veću varijaciju dimenzija otpresaka [1].

Radi utvrđivanja uticaja karakteristika materijala, dodatka MnS i naknadnog tretiranja u vodenoj pari (radi povećanja tvrdoće) na obradljivost sinterovanih materijala na bazi legura gvoždja iz proizvodnog programa RO SINTER, SOUR "Prvi partizan" - iz Titovog Užica, izveden je odredjen program istraživanja procesa obrade ovih materijala [2].

2. Program istraživanja

2.1 Karakteristike probnih uzoraka

Za potrebe ovih istraživanja izradjeni su

x) Tihomir Ljubojević, dipl. maš. inž., Stjepan Panić, dipl. maš. inž., RO SINTER, SOUR "Prvi partizan" - Titovo Užice, dr Milenko Jovičić, dipl. maš. inž., profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

posebni probni uzorci (priprema praša, presovanje, sinterovanje) cilindričnog oblika. dimenzija  $\phi 30 \times 20$  i  $\phi 64 \times 40$  (za obradu na strugu) i  $\phi 64 \times 15$  mm (za obradu bušenjem).

Probni uzorci su bili od mešavine praša gvoždja i bakra (ili čistog gvoždja), sa ili bez dodatka MnS, tretirani ili ne tretirani u vodenoj pari, i imali su različitu gustinu. U tabl.1 prikazane su osnovne karakteristike materijala uzoraka, koji su obuhvaćeni ovim ispitivanjima.

Tabl.1

Red. br.	Mešavine praša	Oznaka	Gustina (g/cm <sup>3</sup> )
1	NC100.24+1,5Cu	B10	6,0
2	NC100.24+1,5Cu	C10	6,5
3	Distaloy SA	D30	6,9
4	Distaloy SA+0,5MnS	D30	6,9
5	ASC100.29+1,5Cu	D10	6,9
6	NC100.24+0,3C	C20	6,5
7	NC100.24+0,3C (tretir.)	C20	6,5
8	NC100.24+0,3C+0,85MnS	C20	6,5
9	NC100.24+0,3C+0,85MnS (tretir.)	C20	6,5

## 2.2 Karakteristike reznih alata

Pri obradi na strugu korišćeni su noževi sa izmenljivim pločicama tvrdog metala kvadratnog i trouglastog oblika, kvaliteta P10, P25, K10 i K20 (proizvodnje "Prvi partizan") kao i neke pločice inostrane proizvodnje (K8-proizvodnje "Kemsmetal", odnosno GC 015-proizvodnje "Coromant"). U odredjenim opitima je varirana i geometrija (grudni i napadni ugao).

Obrada bušenjem vršena je burgijama prečnika 3mm konstantne geometrije vrha.

Opiti su planirani tako, da se oceni uticaj hemijskog sastava i gustine materijala probnih uzoraka, uticaj tretiranja u vodenoj pari i dodatka MnS, odnosno uticaj vrste tvrdog metala i geometrije reznih pločica na postojanost alata i kvalitet obrade.

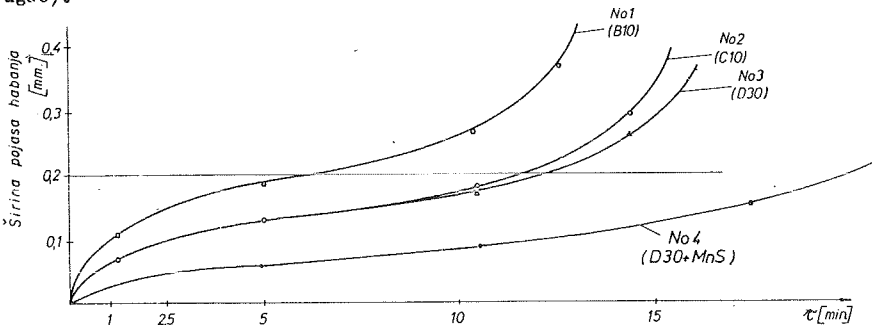
## 3. Rezultati ispitivanja

### 3.1 Obrada struganjem

Na sl.1 uporedno su prikazane krive habanja dobijene pri obradi probnih uzoraka No1-No4 (različite gustine, sa i bez dodatka MnS) pločicama tvrdog metala SNM 120408 (geometrije:  $\alpha = \alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\lambda = \lambda = 6^\circ$  i  $\lambda = -6^\circ$ ) pri režimu obrade:  $t = 1$  mm,  $s = 0,1$  mm/o i  $v_{max} = 210$  m/min (poprečna obrada).

Vidi se da je veća postojanost alata pri obradi materijala veće gustine (No1 i No2), odnosno najveća postojanost je bila pri obradi materijala sa dođetkom MnS.

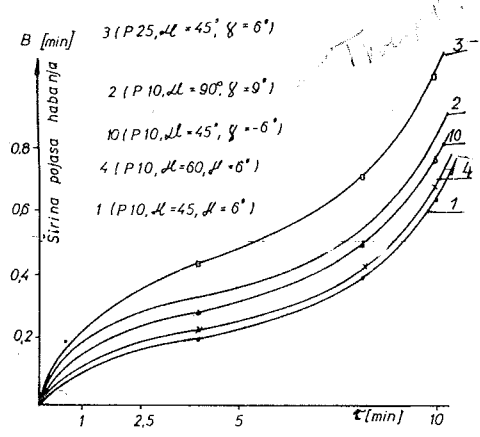
Izvedeno je više opita pri uzdužnoj obradi probnih uzoraka od materijala No5 sa izmenljivim pločicama kvaliteta P10 (trouglastog i kvadratnog oblika sa različite geometrije-opiti br.1, 2, 4 i 10), P25 (opit br.3), K10 (opit 6), K20 (opit 5), K8 (opit 7) i dr.



Sl.1. Krive habanja pločica tvrdog metala P25 pri poprečnoj obradi probnih uzoraka od materijala No1-No4

Režim obrade u ovim opitima je bio:  $t = 1\text{mm}$ ,  $s = 0,1\text{mm/o}$  i  $v = 120\text{m/min}$  (pri obradi pločicama grupe K) i  $v = 230\text{m/min}$  (pri obradi pločicama grupe P).

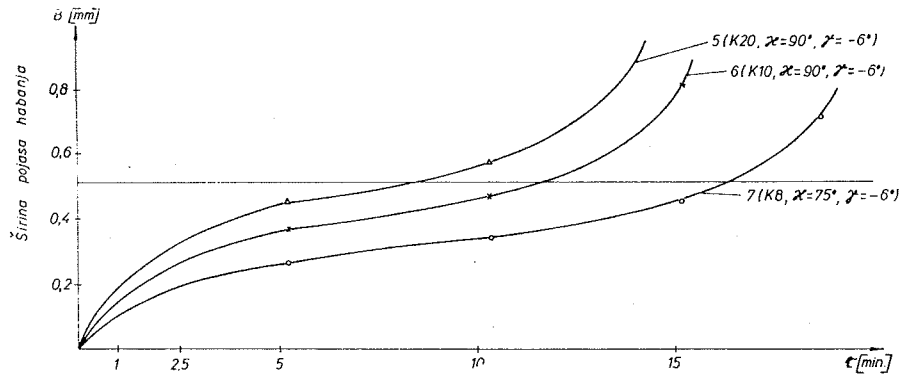
Na sl.2 uporedno su prikazane krive habanja dobijene pri obradi probnih uzoraka od materijala No5 pločicama P10 i P25 različite geometrije (menjani su uglovi  $\gamma$  i  $\alpha$ ), odakle se uočava da je veća postojanost pločice tvrdog metala P10 u odnosu na pločice P25 (opiti 1 i 3) a takodje veća je postojanost pri pozitivnom grudnom uglu (opiti 1 i 10). U pomenutim opitima (koji se upoređuju) pločice tvrdog metala su bile istog oblika i sa istim ostalim elementima geometrije.



Sl.2 Krive habanja dobijene pri obradi probnih uzoraka od materijala No5 pločicama tvrdog metala P10 i P25 različite geometrije

Na sl.3 prikazane su, na isti način krive habanja dobijene pri uzdužnoj obradi probnih uzoraka od materijala No5 noževima sa pločicama tvrdog metala grupe K (K10, K20 i K8).

Vidi se da je postojanost pločice kvaliteta K10 veća no pločica K20, dok je postojanost pločica K8 za oko 50% veća od postojanosti pločica K10 (za usvojenu veličinu pojasa habanja od 0,5mm).

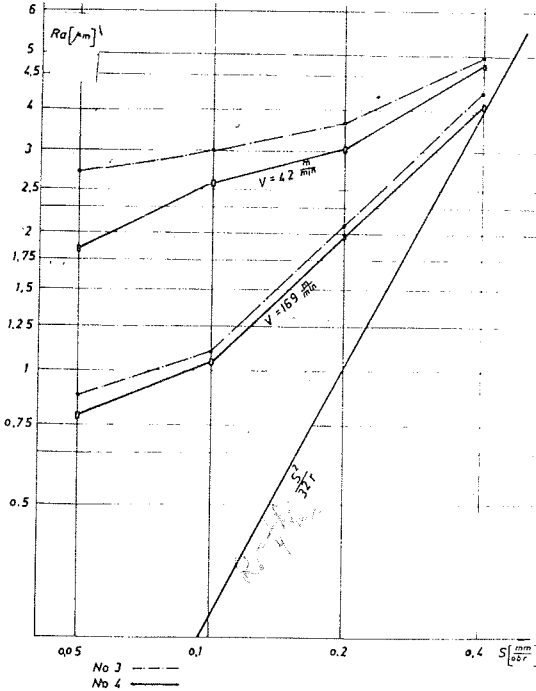


Sl.3. Krive habanja dobijene pri obradi probnih uzoraka od materijala No5 pločicama tvrdog metala K10, K20 i K8

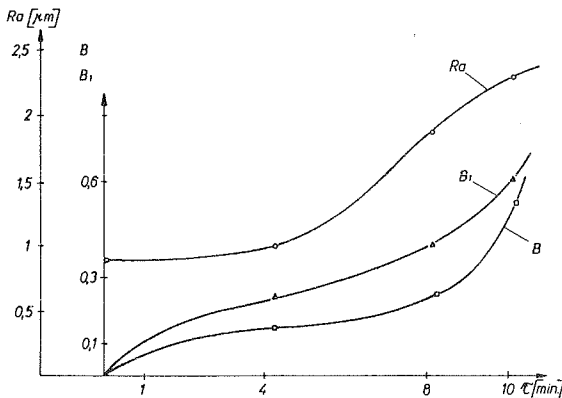
Kako je pomenuto, u određenim opitima pri uzdužnoj obradi praćena je i promena hrapavosti obradjene površine u zavisnosti od režima obrade (s, v) i vrste materijala. Na sl.4 prikazana je promena hrapavosti  $R_a$  u zavisnosti od s i v (za  $v = 40$  i  $170\text{m/min}$ ), dobijena pri obradi materijala No3 i No4 pločicama kvaliteta K10 (u uslovima oštrog alata). Nešto je manje  $R_a$  pri obradi No4 (sa  $MnS$ ).

U odnosu na teorijsku vrednost hrapavost (pod uslovom da je odnos  $R_a/R_{max} = 1/4$ ), pri maloj veličini koraka stvarna hrapavost je znatno veća jer je tada veliki uticaj poroznosti sinterovanog materijala. U toku vremena obrade povećavana je i hrapavost  $R_a$  usled uticaja habanja alata. Naime, konstatovana je pojava koncentrisanog habanja, sa karakterističnim žlebovima ( $B_1$ ) ispod pomoćnog sečiva [3]. Na sl.5 date su

promene veličina  $R_a, B$  i  $B_1$  u toku vremena obrade pločicim tvrdog metala P10.



Sl.4 Zavisnost hrapavosti obradjene površine od  $s$  i  $v$  pri obradi probnih uzoraka od materijala No3 i No4 pločicama K10

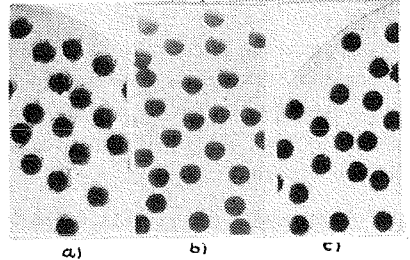


Sl.5 Promena hrapavosti  $R_a$  i parametara habanja ( $B, B_1$ ) u toku vremena obrade

### 3.2 Obrada bušenjem

Bušenje je izvodjeno burgijama  $\phi 5mm$  ( $v= 13$  i  $21m/min$  i  $s=0,04mm/o$ ) probnih uzoraka od materijala No6 i No7(istog hemijskog sastava i gustine, dok je drugi bio tretiran u vodenoj pari posle sinterovanja), odnosno No8 i No9(oba

sa dodatkom MnS, pri čemu je drugi tekodje bio tretiran u vodenoj pari). U oba slučaja ostvarena je manja postojanost (manji broj izbušenih otvora do zatupljenja) pri bušenju probnih uzoraka tretiranih u vodenoj pari. Medjutim, pri bušenju probnih uzoraka sa dodatkom MnS pri brzini rezanja od  $21m/min$  dobijena je oko 5 puta veća postojanost u odnosu na obradu probnih uzoraka od materijala bez dodatka MnS. Pored toga, pri buše-



Sl.6 Izgled izlazne ivice otvora pri bušenju probnih uzoraka od materijala No6(a), No7(b) i No8(c)

nju probnih uzoraka No6 javljalo se krzanje izlazne ivice otvora (sl.6a), a ta pojava nije bila prisutna pri bušenju probnih uzoraka tretiranih u vodenoj pari (sl.6b za No7) kao ni probnih uzoraka sa dodatkom MnS (sl.6c za No8).

### 4. Zaključci

Na osnovu rezultata izvedenih ispitivanja procesa obrade sinterovanih materijala može se zaključiti sledeće:

- Obradljivost sinterovanih materijala sa bazi legura gvozdja (postojanost alata) se znatno poboljšava ako se doda MnS mešavini praha.
- Najveću postojanost su imale pločice tvrdog metala P10 (radjeno sa većom brzinom  $v$  no sa pločicama K10).
- Hrapavost obradjene površine je dosta veća od teorijske vrednosti radi uticaja poroznosti materijala.

### 5. Literatura

- [1] U. Engstrom, Machinability of sintered steel. Höganas, Scarbo rougt 1981.
- [2] T. Ljubojević, Diplomski rad, Mašinski fakultet Beograd (Odeljenje u T. Užicu)
- [3] V. Šolaja, Korelacija habanja alata, dimenzijske tačnosti i kvaliteta površine, Seminar RIO I, Beograd 1971.

Ranko Gluščević\*)

EKSPERIMENTALNO-TEORIJSKE PODLOGE ZA DEFINISANJE KVALITETA ALATA

R e z i m e

U uslovima eksploatacije alati za obradu rezanjem izloženi su djelovanju toplotnih i mehaničkih opterećenja koja negativno utiču na postojanost, a preko toga i na proizvodnost alata.

Poznavanje vidova otkazivanja alata omogućava određene intervencije u pogledu izbora vrste materijala alata, eksploatacionih uslova i optimalne geometrije sječiva.

Pored eksperimentalnih istraživanja i rezultata u radu je dat i način korištenja eksperimentalnih podataka za optimizaciju forme alata.

EXPERIMENTAL-THEORETICAL BASIS FOR TOOL QUALITY

S u m m a r y

The tools for treatment by cutting technology are exposed, during exploitation, to heat and mechanical load influence, what negatively affects the tool life and, indirectly, the tool productivity rate as well.

By learning all aspects of tool failure we are enabled to make certain interventions regarding the choice of the tool material kind, the conditions in exploitation and optimal geometry of the cutting edge.

Besides experimental researches and results, the way of usage of experimental data for tool form optimization is also given in this paper.

1. Uvod

U uslovima eksploatacije alati za obradu rezanjem izloženi su djelovanju toplotnih i mehaničkih opterećenja koja negativno utiču na njegovu postojanost, a preko toga i na sniženje proizvodnosti.

Opterećenja imaju vjerovatnosni karakter, zbog čega i postojanost alata (koja se može iskazati preko kompozicije odgovarajućih zakona raspodjele) ima vjerovatnosni karakter.

Poznavanje vidova otkazivanja alata omogućava određene intervencije u

pogledu izbora vrste materijala alata, eksploatacionih uslova i optimalne geometrije sječiva.

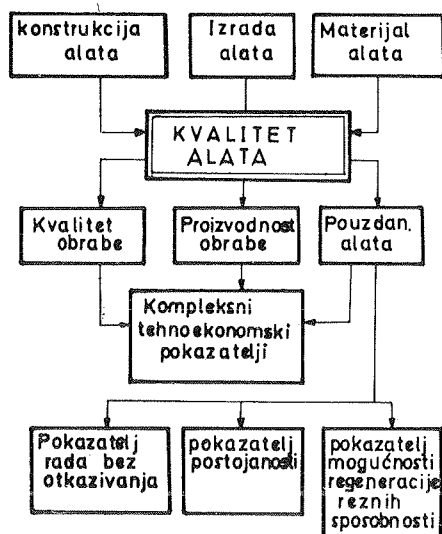
Imajući navedeno u vidu, rad predstavlja jedan nov prilaz definisanja eksploatacionih karakteristika alata.

Pored eksperimentalnih istraživanja i rezultata dat je i način korištenja eksperimentalnih podataka za optimizaciju forme alata.

\*) Ranko Gluščević, direktor OOUR-a proizvodnje burgija IAT Trebinje.

## 2. Klasifikacija pokazatelja kvaliteta alata

Pored konstrukcije i osobina materijala alata, na kvalitet alata utiče i kvalitet izrade, koji zavisi od kvaliteta tehnološke opreme, tehnološkog procesa, načina proizvodnje, organizacije kontrole i ispitivanja alata.



Šl.1. Šematski prikaz pokazatelja kvaliteta i pouzdanosti rada alata

Pokazatelji kvaliteta reznog alata, u toku eksploatacije, su: pokazatelji pouzdanosti alata, proizvodnost i kvalitet obrade dijelova.

Ovisnost postojanosti alata i režima obrade pri bušenju data je proširenim izrazom za brzinu rezanja u obliku:

$$v = \frac{Cv \cdot D^{x_0} \cdot H_0}{T^m \cdot s^{y_0}} \quad (1)$$

Da bi se dobila potpuna predstavka o kvalitetu alata potrebno je definisati komplekse tehnoekonomske pokazatelje. Pokazatelj koji bi obuhvatio proizvodnost, a samim tim i postojanost, mogao bi se pisati u obliku:

$$A = \frac{B}{C + (D_1 + D_2) \cdot K} \quad (2)$$

gdje su:  $B$  ( $\text{mm}^3$ ) - zapremina skinutog materijala alatom za određeni period rezanja;  $C$  - vrijednost izrade alata ili cijena koštanja;  $D_1$  i  $D_2$  - vrijednost zamjene ili cijena koštanja regeneracije reznih sposobnosti alata;  $K$  - broj perioda postojanosti alata.

Zapreminu skinutog materijala računamo prema izrazu:

$$B = s \cdot D \cdot v \sum_{i=1}^K T_i \quad (3)$$

pri čemu je:  $T$  - postojanost alata;  $v, D, s$  - režimi obrade.

Za definisanje kompleksnog tehnoekonomske pokazatelja kvaliteta alata neophodno je koristiti pojedinačne parametre ( $T_i$ ).

Postoji još dosta zahtjeva koji se traže od alata, a da nisu obuhvaćeni jednačinom. Kao što je već pomenuto u toku procesa rezanja na površinama alata vladaju veoma složeni uslovi. Usljed toga rezni elementi pri obradi metala izloženi su značajnim mehaničkim i toplotnim naprezanjima.

Usljed neharmoničnih impulsa sile u reznim elementima alata dolazi do elastičnih i plastičnih deformacija. Odnos elastične deformacije i promjene geometrijskih parametara alata zavisi od relativne krutosti elementa alata i intenziteta impulsa sile rezanja.

Površinska naprezanja, koja izazivaju plastičnu deformaciju reznog dijela alata, mogu se predstaviti jednačinom:

$$\sigma_R = \sigma_R + \sigma_Q + \sigma_K + \sigma_T \quad (4)$$

gdje je:  $\sigma_R$  - naprezanje usljed otpora rezanja;  $\sigma_Q$  - toplotna naprezanja;  $\sigma_K$  - naprezanje usljed impulsa sile rezanja;  $\sigma_T$  - naprezanje koje odgovara predjelu tečenja.

Stepen zagrijanosti reznog alata je u ovisnosti od veličine pohabanoosti kao što pokazuje sl.2.

Dušana Vukićević<sup>x</sup>  
Predrag Popović

POVEĆANJE POSTOJANOSTI ALATA ZA OBRADU DEFORMISANJEM  
PRIMENOM DISPERZNO OJAČANIH MATERIJALA

R e z i m e

Poznato je da svojstva materijala od koga se izrađuju alati za obradu deformisanjem imaju fundamentalan uticaj na postojanost i vek alata. Sa ciljem povećanja postojanosti ovih alata vršena su istraživanja na osvajanju materijala poboljšanih svojstava metodom disperznog ojačavanja nemetallnim fazama  $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$  sistema Fe-Cr12-Mo, pa se u ovom radu daju neki rezultati tih istraživanja.

ERHOHUNG DER BESTÄNDIGKEIT BEI DEN WERKZEUGEN FÜR DIE VERFORMUNGSBEARBEITUNG DURCH DIE ANWENDUNG DER DISPERSIV VERSTÄRKTEN WERKSTOFFE

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es ist bekannt, dass die Eigenschaften des Werkstoffes aus dem die Verformungswerkzeuge gefertigt werden, einen fundamentalen Einfluss auf die Beständigkeit und Lebensdauer der Werkzeuge haben. Mit dem Zweck der Beständigkeitserhöhung bei diesen Werkzeugen wurden die Untersuchungen im Bereich der Materialgewinnung mit den verbesserten Eigenschaften durch die Methode der dispersiven Verstärkung mittels nichtmetallischen Phasen  $Al_2O_3$  und  $ZrO_2$  des Systemes Fe-Cr12-Mo durchgeführt, und in dieser Arbeit sind gewisse Ergebnisse dieser Forschung, bzw. Untersuchungen gegeben.

1. Uvod

Problematici postojanosti i veka alata za obradu materijala deformisanjem posvećena su mnoga istraživanja u stalnom nastojanju da se kroz povećanje kvaliteta alata smanje proizvodni troškovi, odnosno poveća opšta ekonomska rentabilnost proizvodnje. U tom smislu, pravci istraživanja su usmereni u:

- iznalaženju novih materijala

za izradu alata za obradu deformisanjem, materijala poboljšanih svojstava obzirom na habanje, stabilnost mehaničkih svojstava na povišenim temperaturama, i sl.  
- u traženju novih konceptijskih rešenja alata i  
- u povećanju kvaliteta njihovih radnih površina.

U ovom radu se daju neki rezultati i-

<sup>x</sup> Dr Dušana Vukićević, dipl.ing.met., profesor više škole Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

Dr Predrag Popović, dipl.maš.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

pri čemu je:  $q$  - vektor pomjeranja;  
 $\epsilon_{ij}$  - tenzor malih deformacija;

$$\frac{\partial \theta}{\partial n} = \text{grad } \zeta \cdot n,$$

$n = \{n_i\}$  - vektor normale;  $H$  - relativni koeficijent toplotne razmjene.

Za mnoštvo dopuštenih funkcija osim navedenih uslova koji karakterišu specifičnosti vanjskog opterećenja reznog klina alata potrebno je dopunske uslove pisati u obliku analitički izraza.

Rješenje zadatka optimizacije naponskog stanja kod reznog alata (termoelastičnih tijela) računanjem sila inercije, može se uslovno podijeliti na dvije grupe, a to su: optimalno približavanje rješenja dinamičkih jednačina termoelastičnosti ka kvazistatičkom i optimizacija naponskog stanja u kvazistatičkom približavanju.

Minimizacijom funkcije  $F(x,y)$  dobije se povoljan raspored mehaničkih i toplotnih naprezanja.

$$F(x,y) = \left\{ [\sigma(x,y) - \sigma_d]^2 + \lambda_i \sum f_i \right\} \min$$

$\sigma(x,y)$  - naprezanje u tački  $x,y$  (14)

$\sigma_d$  - dozvoljeno naprezanje,

$\lambda_i$  - lagranž-ovi multiplikatori,

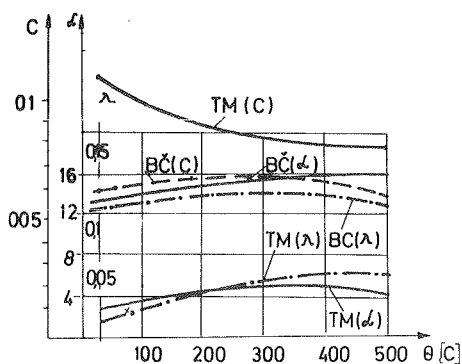
$f_i$  - ograničenja.

#### 4. Polazni eksperimentalni podaci za optimizaciju geometrije alata

Toplotno-fizičke karakteristike toplotnih parametara od stepena zagrijanosti alata dat je na sl.3.

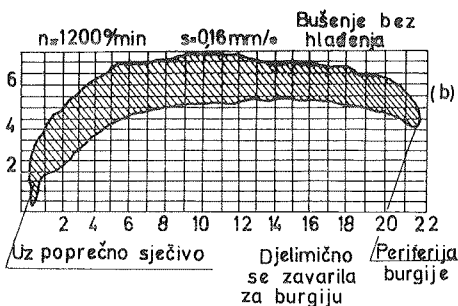
Za definisanje rasporeda mehaničkih i toplotnih opterećenja mogu da posluže informacije dobivene eksperimentom kao što je stepen sabijanja strugotine, vibracije u toku procesa obrade, temperature itd.

Vršeći ispitivanja u proizvodnim uslovima na istraživačkom mjestu [4] dobiveni su rezultati kao što je dato na slici 5.

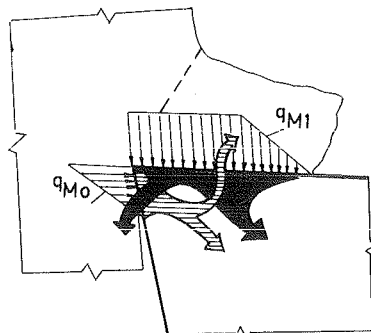


Sl.3. Ovisnost toplotnih parametara od stepena zagrijanosti

Presjeci strugotine Bušenje uz hlađenje  
 pri bušenju sa mlazem  
 prečnik burgije  $\phi$  12,5mm vazduha i  
 $n = 500 \text{ 1/min}$   $s = 0,1 \text{ mm/ob}$  emulzije

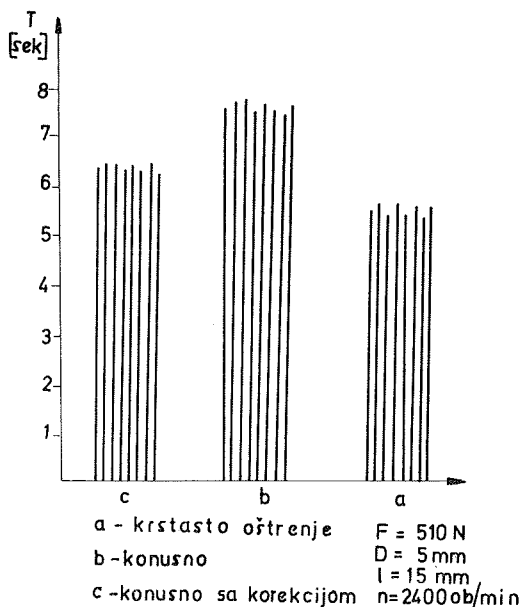


Sl.4. Oblik strugotine pri obradi



Sl.5. Mogući raspored mehaničkih i toplotnih opterećenja na rez.klinu





Sl.6. Ovisnost vremena prodiranja od oblika reznog vrha zavojne burgije za iste stepene pohabanosti

Ekperimentalni rezultati i matematska interpretacija omogućuju potpuniji proračun dat modelom (14) jer se adekvatno opisuje proces uzimajući to preko parametara  $\lambda$  i dopunskih opterećenja  $t_i$ .

### 5. Z a k l j u č c i

Na osnovu iznijetog mogu se dati slijedeći zaključci:

1. Dimenzionisanje reznih elemenata alata treba da se provodi po kriterijumu maksimalne postojanosti alata što bi omogućilo ostvarivanje boljih tehnokonomskih efekata.
2. Definisavanje naponskog stanja ima za cilj optimizaciju konstrukcije alata, s obzirom na pouzdanost rada alata.
3. Poznavanje rasporeda naponskih stanja i vrijednosti naprezanja na reznom dijelu alata omogućava provjeru stepena sigurnosti reznog dije-

jela i dimenzionisanje prema stvarnim opterećenjima.

4. Na osnovu proračuna i eksperimentalnih istraživanja proizilazi da se pohaban alat u odnosu na oštar brže zagrijava i sporije probija kroz materijal ako se testira prema metodi konstantne sile.

5. Posebno prednost metode konstantne sile (kod testiranja zavojnih burgija) jeste u tome da unaprijed zadamo mehanička pa i toplotna opterećenja a pratim izlazne parametre ili poremećaje koje opisujemo modelom (14).

### L i t e r a t u r a

- [1] Vukelja D.: Prilog studiji habanja alata, Goriva i maziva br.6, Zagreb, 1973. god.
- [2] Vukelja D.: Termodinamika rezanja, Monografija, Beograd, 1970.
- [3] Vukelja D. i Gojić S.: Prilog optimizaciji reznih elemenata alata, Tehnika br.2., Beograd, 1978.
- [4] Gluščević R.: Razvoj metoda za brzo ispitivanje reznih sposobnosti zavojnih burgija, Magistarski rad, Mostar, 1981. god.
- [5] Mišković A.: Optimizacija i dimenzionisanje reznih elemenata alata primjenom metode konačnih elemenata. Doktorska disertacija, Mostar, 1982. godine.
- [6] Milikić D.: Nova metoda za mjerenje temperature pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primjene, Novi Sad, 1971. godine.



Milentije Stefanović \*

PROVLAČENJE TRAKA KAO OSNOVNI POSTUPAK SIMULACIJE TRENJA  
PRI IZVLAČENJU LIMOVA

R e z i m e

Radom su obuhvaćena istraživanja vezana za osnovni model izučavanja trenja pri dubokom izvlačenju-provlačenju trake od lima između ravnih pritisknih površina. Istražuje se uticaj brzine, pritiska i maziva na silu, koeficijent trenja i površinsku hrapavost lima. Koristi se običan i čelični lim sa antikorozijskim prevlakama.

ПРОТЯЖКА ЛИСТОВЫХ ОБРАЦОВ - ОСНОВНЫЙ МЕТОД СИМУЛЯЦИИ  
ТРЕНИЯ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ

Р е з ю м е

В докладе рассматривается основная модель изучения трения при глубокой вытяжке листовых металлов-протяжка листа между сжатými поверхностями. Исследовано влияние скорости, давления и смазки на силу и коэффициент трения, изменение шероховатости поверхности листа. Использован стандартный и листовый металл с антикоррозионным покрытием.

1. Uvod

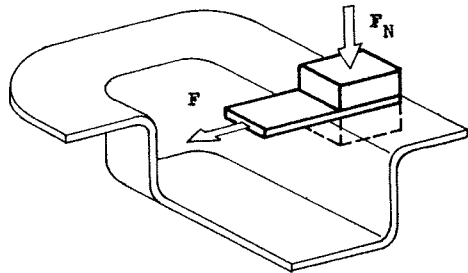
Osnovni model izučavanja trenja pri dubokom izvlačenju limova je provlačenje trake između ravnih kontaktnih površina /1/, čime se simulira stanje na obodu složenih komada i to onih zona koje se ne uvlače u otvor matrice, sl.1.

Detalji, vezani za ovakav pristup u izučavanju trenja pri izvlačenju, preko tzv. elementarnih i složenih modela, izloženi su u radu /2/.

Pri provlačenju je zatežući napon u epruveti-traci niži od napona na granici tečenja, pa je deformisanje elastično. Za uobičajene vrednosti površinskih pritiska pri izvlačenju važi poznati zakon trenja:

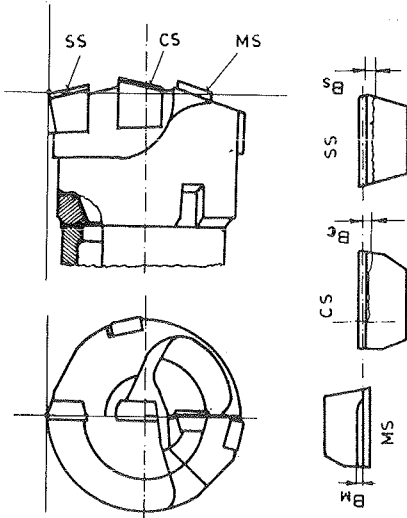
$$F_T = \mu F_N = F/2$$

Slična ispitivanja pri znatno višim kontaktnim pritiscima, koriste se kod izučavanja mehanizma trenja i habanja pri korišćenju čeličnih limova povišene čvrstoće za izvlačenje /3/.



Sl.1. Model simulacije trenja na obodu komada koji se izvlači

\*Milentije Stefanović, Mr, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu, ul.S.Janjić 6



Sl.1-Alat, kruna za bušenje sa parametrima habanja sečiva

loma alata: nedovoljna veličina rezervoara za ulje, neodgovarajuće ulje za hlađenje i odvođenje strugotine, nedovoljan pritisak ulja i nesaosnost glavnog vretena, stezača obratka, uređaja za dovod ulja i nosača držača alata.

Za potpunu identifikaciju ponašanja obradnog sistema za duboko bušenje, izvršeno je za konkretan, kritičan slučaj utvrđivanje stanja procesa preko odgovarajućih funkcija obradljivosti i utvrđivanje dinamičkog ponašanja držača alata, što se u narednim podtačkama ukratko iznosi.

## 2. Funkcije obradljivosti

Koristeći eksperimentalnu organizaciju sa dinamometrima za merenje aksijalne sile i momenta bušenja, uz posebno postavljen plan eksperimenata sa matematičkom obradom rezultata, određene su funkcije obradljivosti, i to za aksijalnu silu bušenja i moment bušenja /4/, kao

$$F_3 = 2262 s^{0,975} v^{-0,642} B^{0,832} / \text{kN} / \dots 1$$

$$M = 303 s^{0,800} v^{-0,132} B^{0,270} / \text{kNm} /$$

gde su  $s/\text{mm}/\text{o}$ -korak bušenja,  $v/\text{m}/\text{min}$ -nominalna brzina rezanja i  $B/\text{mm}$ -širina pojasa habanja spoljašnjeg sečiva krune/glave za bušenje.

Funkcije /1/ su dobijene pri sledećim uslovima: mašina-Boehring, Göppingen; alat-kruna za bušenje 420.6-1234/Ø55/Coromant; obradak-L=2000mm, materijal Č.4730; pritisak i protok ulja/Rezanol S15/-p=15 bara i Q=210 l/min.

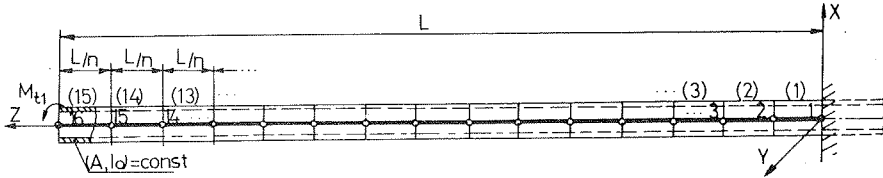
Na sl.1 prikazan je izgled korišćenog alata u izvođenju eksperimenata. Istovremeno sa merenjem aksijalne sile i momenta bušenja, vršeno je sukcesivno, prema određenom planu, i merenje pojasa habanja na ledenoj površini centralnog /CS/, međusrednjeg /MS/ i spoljašnjeg /SS/ sečiva. U funkcijama /1/ uvedena je širina pojasa habanja spoljašnjeg /SS/ sečiva.

Za postavljenu strategija rešavanja problema sprečavanja loma alata, posebno je značajno utvrđivanje korelacije između sila i momenata i zatupljenja alata s jedne, kao i stabilnosti procesa bušenja s druge strane.

## 3. Dinamička stabilnost bušenja

Da bi se utvrdila dinamička stabilnost dubokog bušenja, posebno se definiše dinamička noseće strukture obradnog sistema za duboko bušenje, a posebno dinamika procesa bušenja.

Kao kritični, najslabiji element noseće strukture pojavljuje se držač alata. Na sl.2 dat je usvojen računski model ovog držača. On je diskretizovan sa 15 konačnih elemenata u obliku štapa, koji je opterećen na uvičanje /ili aksijalno/. Korišćenjem razvijenih



Sl.2-Usvojen računski model držača alata

i već primenjivanih metoda /1,3/, sastavljene su ukupne matrica krutosti, inerciona i matrica prigušenja /gde je na osnovu eksperimenta utvrđeno da je faktor prigušenja  $\zeta = 0,1 \pm 0,15/$ . U Centru za nove tehnologije Mašinskog fakulteta, Beograd, na sistemu PDP 11/34, pomoću programa STAPSTLV, STAPDINV, STAPAF KV izvršen je kompletan statički i dinamički proračun, dok je za grafičku prezentaciju dobijenih rezultata na grafičkom terminalu korišćen paket programa PLOT 10 firme TEKTRONIX.

Na sl.3 data je grafička prezentacija dinamičkih karakteristika držača

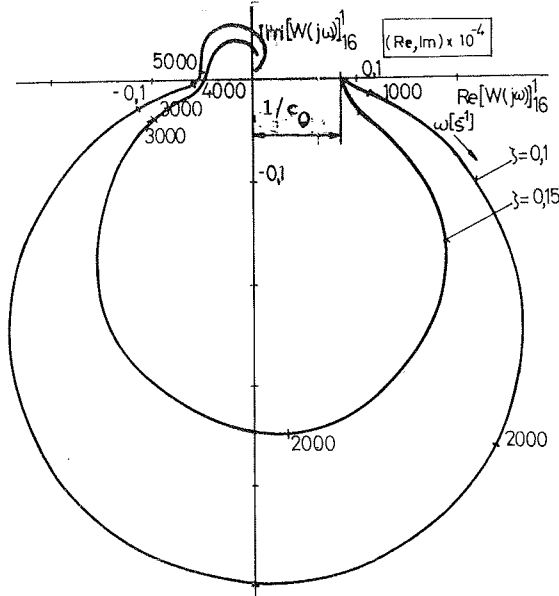
alata, koja je u ovom slučaju amplitudno-fazna karakteristika. Na osnovu ovih amplitudno-faznih karakteristika, a prema poznatom postupku /npr./2//, konstruisana je karta stabilnosti /sl.4/. Na ordinati je koeficijent stabilnosti  $\underline{r}$ , a na apcisi je broj obrta  $n/\text{min}^{-1}/$ .

Promena momenta bušenja, koja nastaje zbog promene debljine strugotine u aksijalnom pravcu glasi

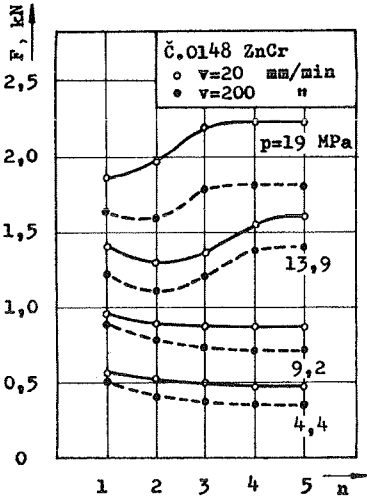
$$dM = c_m ds \quad \dots 2$$

pa je s obzirom na funkciju obradljivosti za moment bušenja /jedm./1//

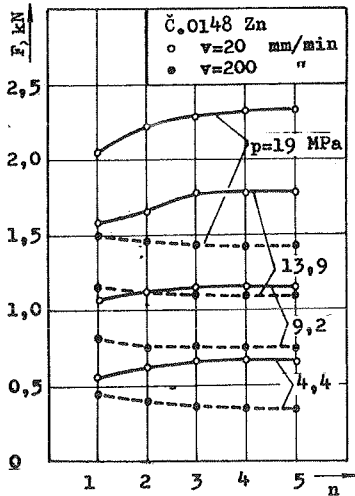
$$c_m = 242,4 s^{-0,200} v^{-0,132} B^{0,270} \dots 3$$



Sl.3-Amplitudno fazne karakteristike za držač alata



S1.8. Zavisnost sile od broja provlačenja



S1.9. Zavisnost sile od broja provlačenja

Pocinkovani lim (Zn) ima prevlaku koja se narušava već pri drugom provlačenju i relativno niskom pritisku. Lim (ZnCr) ima dobra svojstva pri niskim pritiscima, dok pri višim vrednostima i ovde dolazi do razaranja sloja prevlake, što ima za posledicu odvajanje čestica prevlake i lepljenje za alat.

Narušavanje prevučenog sloja dovodi do lokalnog porasta sile trenja, čime

se menjaju uslovi u zoni držača, odnosno utiče na stabilnost procesa izvlačenja.

### 3. Zaključak

Ispitivanje provlačenjem traka od lima, i pored odredjenih nedostataka (normalni napon je niži od napona na granici tečenja, uprošćena je priroda deformisanja površinskog sloja) omogućava izučavanje i razjašnjenje načina uticaja pojedinih parametara, kao i selekciju maziva za duboko izvlačenje.

Prevlake na limovima se ponašaju kao čvrsti filmovi maziva, čime se znatno smanjuje sila i koeficijent trenja. Zbog toga je neophodno posebno podešavanje sile držača pri izvlačenju ovakvih limova.

Sa povećanjem brzine i pritiska u zoni kontakta opada koeficijent trenja. Pri uzastopnom provlačenju prevučenih limova dolazi do bržeg ili sporijeg narušavanja prevlake u zavisnosti od njenih svojstava. Kod višeracionog izvlačenja, ovo se može manifestovati poremećajima u procesu obrade.

### 4. Literatura

- /1/ K.Blumel, Surface Interactions During Pressforming as Simulated by the Strip Draw Test, 10-th IDDRG, Warwick, 1978, 253-227.
- /2/ M.Stefanović, Neki aspekti uticaja trenja pri izvlačenju tankih limova, XVI Savet. proizv. mašinstva, Mostar, 1982, 221-224.
- /3/ K.Miyaushi, ... Galing Behaviour and its Tests in Press Forming of Autobody Parts, 10-th IDDRG, Warwick, 1978, 287-295.
- /4/ H.Czichos, Tribology, Trib. series 1, Elsevier Scientific Publ. Comp., New York, 1978.

Krsto Mijanović \*

## NAREZIVANJE NAVOJA NA CIJEVIMA

### R e z i m e

Narezivanje navoja na cijevima je vrlo značajna operacija u industriji plina i nafte, brodogradnji, mašingradnji, u industriji obrade metala i uopšte u metalnoj industriji. Ovim radom je obuhvaćeno: sredstva za narezivanje navoja i njihov razvoj, sredstva za podmazivanje i hlađenje pri rezanju, sredstva i način kontrole i mjerenja cijevnog navoja i tendencije daljeg razvoja.

### THREAD CUTTING ON PIPES

### S u m m a r y

Pipe thread cutting represents an essential technological operation in oil and gas industry, in shipbuilding industry, in machinery production, in tool and metal industry on the whole. A Survey of cutting means and its development is given in this paper, what also includes cooling, and Lubricating oils during cutting operation, the way and means of control technology and measuring of pipe thread and tendencies to further development in processing of this operation.

#### Uvod

Narezivanje navoja na cijevima je tehnološka operacija poznata desetljećima. U ovom radu daje se hronologija razvoja tehnologije rezanja navoja polazeći od narezivanja navoja na strugu, narezivanja navoja tangencijalnim i radijalnim češljevima, glavama za narezivanje navoja, konvencionalnim mašinama za narezivanje navoja i savremenim mašinama za narezivanje navoja.

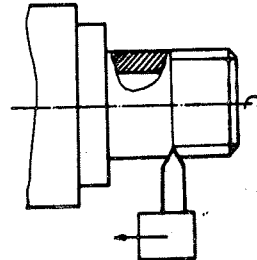
\* -----

Krsto Mijanović, dipl.ing.maš.

Inženjer za istraživanje kvaliteta  
Industrije alata "Trebinje"

#### Hronologija razvoja

Način izvodjenja tehnološke operacije narezivanja navoja na strugu prikazan je na slici 1.

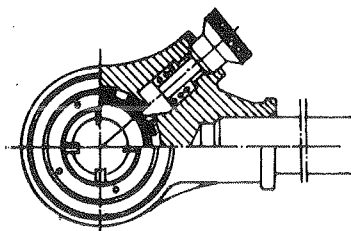


Sl.1 Shematski prikaz narezivanja navoja na strugu

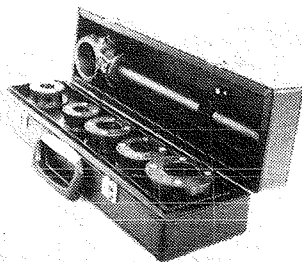
Dobra strana ovog načina narezivanja navoja jeste mogućnost izrade kvalitetnog navoja uz maksimalnu angažovanost radnika.

Razvoj upotrebe navoja stvorio je potrebu za većim brojem noževa: 3, 4, 6, koji su nazvani zavojnim češljevima, a u zavisnosti od svoga položaja i mjesta napadanja na obradak nazivaju se tangencijalnim, odnosno radijalnim češljevima.

Kako se ne zahtijeva visok kvalitet površine kod navoja na cijevima, kao i zbog nemogućnosti rezanja navoja van radionice, došlo je do nastanka glava za narezivanje navoja na cijevima, a nove navike i nove potrebe potrošača dovele su do njihovog razvoja. Prve "glave" su imale mogućnost rezanja više dimenzija i bile su relativno velikih gabarita, pa je zbog pojednostavljenja postupka narezivanja van radionice došlo do razdvajanja svake dimenzije u posebno tijelo, a svaki tako formiran uložak ima zajedničku obujmicu. To su "glave" tipa "REMS", "RIDGID", "VIRAX", HT-1 (IAT).



Sl.2 Presjek glave za narezivanje navoja HT-1 proizvodnje IAT - Trebinje



Sl.3 Kutija sa pakovanjem glave HT-1

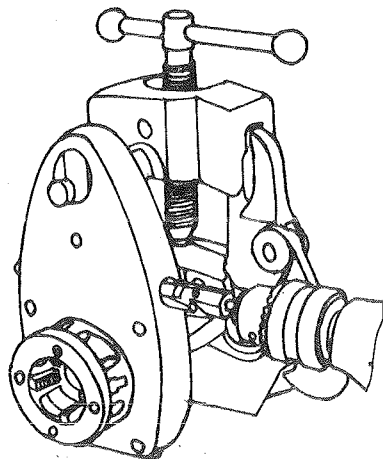
Na području inovacije proizvoda i prilagodjavanja ponude zahtjevima tržišta napravljen je primjer kombinacija glave HT-1, izvedenim na osnovu analize zahtjeva za rezervnim

ulošcima od strane potrošača (tabela 1.)

Proizvod	Dimenzija			
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"
HT-1A				
HT-1B				
HT-1C				
HT-1D				
HT-1E				
HT-1F				
HT-1G				
HT-1H				
HT-1I				
HT-1J				
HT-1K				
HT-1L				
HT-1M				
HT-1N				
HT-1O				
HT-1P				
HT-1Q				
HT-1R				
HT-1S				
HT-1T				
HT-1U				
HT-1V				
HT-1W				
HT-1X				
HT-1Y				
HT-1Z				

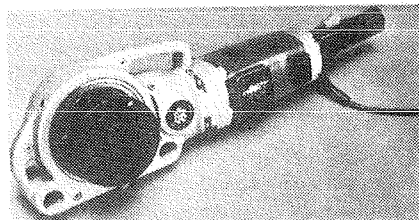
Tabela 1. Pregled kombinacija glave HT-1

Da bi se omogućilo mašinsko narezivanje navoja na cijevima iskoristile su se "glave" za narezivanje uz upotrebu ručne električne bušilice i uređaja kao na slici 4.



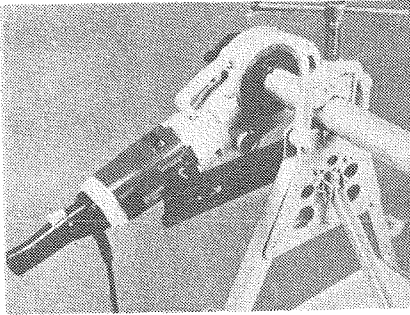
Sl.4 Uredjaj za narezivanje navoja na cijevima

Druga stepenica u razvoju ove vrste mašina je kombinacija glave za narezivanje navoja i električnog ručnog priključka, sl.5.



a)





h)

Sl.5 Ručna električna mašina za narezivanje navoja na cijevima

Ova mašina može se koristiti za rad na ugradjenim cijevima sl.5. a), kao i za rezanje navoja na tronošću sl.5. b).

Za serijsko narezivanje navoja na cijevima u radioničkim uslovima koriste se razne konvencionalne mašine sl.6.



Sl.6 Jedna konvencionalna mašina za narezivanje navoja na cijevima

Glavni su joj dijelovi:

elektromotor sa vreteništem i reduktorom broja okretaja, mašinska glava za narezivanje navoja sa ugradjenim radijalnim ili tangencijalnim navojnim češljevima, uređaj za odsijecanje cijevi, uređaj za stezanje, hidraulična instalacija za podmazivanje, hladjenje i ispiranje pri narezivanju, električna instalacija i postolje mašine.

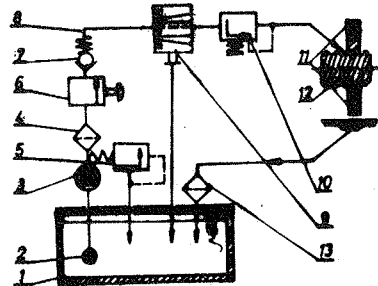
Karakteristike ovog načina narezivanja su velika produktivnost i dobar kvalitet navoja.

Pred jednu savremenu specijalnu mašinu za narezivanje navoja postavlja se niz zahtjeva:

- Vrlo širok dijapazon prečnika koje je moguće rezati ( $1/8'' - 4''$ );
- Mogućnost rezanja svih vrsta iz porodice cijevnih navoja;
- Mogućnost izvođenja svake operacije potrebne pri narezivanju navoja;
- Mogućnost velikoserijske proizvodnje u radioničkim uslovima;
- Mogućnost rezanja na terenu i na nepristupačnim mjestima;
- Mogućnost rezanja tamo gdje nema električne energije.

Pored pomenutih zahtjeva za konstruktora jedne ovakve mašine potrebno je poznavati i slijedeće:

- Tehniku i tehnologiju razvoja fluida koji se transportuje;
- Tehniku i tehnologiju u razvoju cjevovoda;
- Hronologiju nastanka i razvoja mašina za rezanje navoja na cijevima;
- Zahtjeve za hladjenjem i podmazivanjem pri rezanju uz upotrebu ulja za rezanje i njegovom regulacijom u smislu protoka i pritiska (sl. 7.).



Sl.7 Shema instalacije za podmazivanje i hladjenje jedne specijalne mašine za rezanje navoja na cijevima

Oznake su: 1. rezervoar ulja za rezanje, 2. usisna korpa (prefilter), 3. potisna pumpa ( $p_{max} = 8 \text{ bar}$ ), 4. potisni filter (povratni filter), 5. sigurnosni ventil, 6. vodovi za ulje, 7. ventil za identifikaciju protoka, 8. nepovratni ventil, 9.  $3/2$  razvodni ventil, 10. ventil za redukciju pritiska podmazivanja, 11. glava za narezivanje navoja, 12. obradak, 13. korito mašine.

Sredstva za hladjenje, ispiranje navoja i podmazivanje pri rezanju mogu da budu, u zavisnosti od uslova rezanja, izvedeni u obliku:

- masti za podmazivanje
- ulja za podmazivanje, hladjenje i ispiranje

- "Spray"-ova raznih granulacija i sastava u zavisnosti od namjene cijevovoda.

U savremenim uslovima zaštite čovjekove okoline u zagađenim zemljama postoje strogi propisi za narezivanje navoja na cijevovodima namijenjenim za sanitarne uređaje.

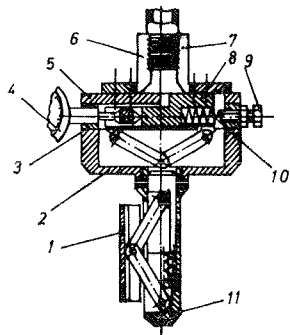
Za narezivanje navoja na ovim cijevima razvijena su specijalna sintetska sredstva neškodljiva za zdravlje čovjeka. U posebno teškim uslovima rezanja pri gradnji višespratnica gdje nije dovedena električna energija, a razvođe se sanitarni uređaji, neophodna je upotreba "Spray"-ova sa sintetskim uljima.

U našoj zemlji na razvoju ovih ulja nije se mnogo uradilo. U fabrikama "INA" i "MODRIČA" rade se pripreme za stvaranje "Jugoslovenskog ulja" koje će se ispitati i u IAT.

Pri provjeri kvaliteta i dimenzija cijevnih zavojnica koristimo se metodama mjerenja i kontrole.

U uslovima gdje se vrši serijsko narezivanje navoja na cijevima, zamjenljivost će biti osigurana samo upotrebom graničnih zavojnih mjerila.

U tehničkim mjerenjima cijevnog navoja, mjerenje osnovnih parametara zavojnice vrši se u najvišem broju slučajeva pri provjeri kontrolnika.



Sl.8 Univerzalni uređaj za mjerenje parametara zavojnice

Jedan univerzalni uređaj za mjerenje parametara zavojnice (sl.8) sastoji se iz tijela 2 na koji je učvršćen ram 3 sa pločom 5 i ručkom 11. U okviru je smješten upravljač 8 sa pokretnim navojnim elementima 6. Nepokretni navojni element 7 učvršćen je na ploču 5. Kretanjem poluga sila se prenosi na vijak 9 sabijanjem opruge 10. U takvom položaju prečnik kruga, opisan oko navojnog elementa postaje veći od prečnika navoja.

Sa ovim uređajem moguće je mjeriti spoljni, srednji i unutrašnji prečnik navoja uz upotrebu odgovarajućih navojnih elemenata.

Radi boljeg raspoznavanja svih vrsta cijevnih navoja daje se tabelarni pregled u tabeli 2.

Profil navoja	Oznaka
	G
	R
	NPT, NPTF, API
	NPSC, NPSM, NPSL, NPSF

Tab.2 Pregled cijevnih navoja

Naročito široku primjenu u savremenim tehnologijama transporta fluida imaju NPTF cijevni navoji.

U brodogradnji, u industriji plina i nafte, u tehnologiji transporta ulja i alatnim mašinama, upotreba čeličnih cijevovoda za visoke pritiske zahtijeva primjenu NPTF navoja ispod 1/8 cola.

Primjena plastike za visoke pritiske ima nedostataka jer su debljine stijenki relativno velike, a što direktno utiče na cijenu.

Spajanje plastičnih cijevi za prenos fluida sa nižim pritiscima se izvodi specijalnim spojnicama na kojima ima ili nema navoja, ali ovo ne umanjuje stepen upotrebe glava i mašina za narezivanje navoja i na područjima nižih pritiska.

LITERATURA:

Montage-Arbeitsmittel von REMS, publikacija, REMS, 1980.god.

- Gewinde-Schneid-Programm, für Handwerk und Industrie, Karl Preyer, Wermelskirchen, Z.Njemačka
- Konische Ratschenkluppe von Preyer, K.Preyer, Z.Njemačka, 1980.
- Katalozi firmi: "Ridgid", "Virax", "Central", "Rems".

Dragiša Randić \*  
Dušan Vukelja \*

AUTOMATSKO OBEZBEDJIVANJE KVALITETA POVRŠINSKOG SLOJA  
PRI RAVNOM BRUŠENJU

R e z i m e

Na kontaktu alata - točila i radnog predmeta u procesu brušenja javlja se visoka kontaktna temperatura koja može biti čak i viša od temperature topljenja i ona izaziva negativne efekte na brušenoj površini. U radu je analizirano automatsko upravljanje procesa brušenja sa ciljem obezbedjivanja odredjenog kvaliteta površinskog sloja pri ravnom brušenju.

THE AUTOMATIC PROVIDING QUALITY OF THE SURFACE LAYER  
DURING FLAT GRINDING

S u m m a r y

At the contact of the tool - grindstone and working piece during grinding a high contact temperature appears which can be even higher than the melting material temperature and it causes negative effects on the ground surface. In this paper, the automatic control of the grinding process is analyzed in order to provide a definite quality of the surface layer during flat grinding.

1. Uvod

Razvoj savremene tehnike zavisi od eksploatacionih osobina delova, veća trajanja i drugih pokazatelja. Da bi se to poboljšalo, potrebno je obezbediti visoki kvalitet površine koja se postiže završnom obradom. Najčešći završni metod obrade je obrada brušenjem. Od brušenja kao završne obrade, očekuje se da na obrađivanoj površini ostvari odredjeni kvalitet površinskog sloja, koga unapred propišemo, i tačnost obrade. Poznato je da postoji niz termičkih i tehnoloških procesa koji prethode brušenju, a od kojih zavisi kvalitet površine. Prethodnim obradama mogu se ostvariti takve površine koje će znatno uticati na proces obrade brušenjem, a koji će nam dati takav kvalitet i tačnost površinskog sloja koji neće

zadovoljiti unapred postavljene kriterijume. Zato je potrebno voditi računa o termičkoj obradi pre brušenja, analizirati zaostale napone, videti kolika su odstupanja dodatka za obradu, posmatrati strukturne promene u površinskom sloju i po dubini, i niz drugih faktora. Pri procesu brušenja, usled navedenih faktora, na brušenoj površini se pojavljuju visoke temperature koje na površini izazivaju opaljenja, strukturne i mikrostrukturne promene, pukotine, zaostale napone i sl. Te visoke temperature koje se javljaju na kontaktu alat - točilo i radni predmet, su jedan od glavnih uzroka neobezbedjivanja kvaliteta i tačnosti površinskog sloja. Zbog toga je cilj da upravljamo procesom brušenja, kako bi zadržali temperaturu u

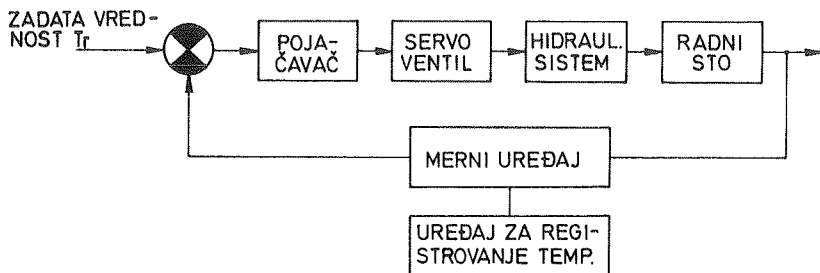
\* Mr Dragiša Randić, asistent PTF-a Čačak, Borisa Kidriča bb,  
Dr Dušan Vukelja, red.prof. Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjića 6.

zoni rezanja u granicama koje ne mogu izazvati pojavu defekata, odnosno da nam sistem automatski reaguje na mestima promene dubine rezanja, tvrdoće, stanja radne površine tocila i slično.

Ovim problemima su se bavili mnogi istraživači u svetu i pokušavali su sniziti temperaturu rezanja na onaj nivo koji obezbeđuje da ne dođe do defekata na površini.

Iz svih tih radova može se zaključiti da su svi istraživači merili sile koje se javljaju u procesu rezanja i vršili uporedjenje stvarne snage sa zadatom i težili da te sile budu konstantne u procesu rezanja. Medjutim, na kvalitet površine najveći uticaj ima temperatura na kontaktu alata - tocila i radnog predmeta, pa je težnja da se u procesu rezanja temperatura održava stalnom, uz izmenu nekog od parametara koji utiče na njenu veličinu.

Šema bloka sistema automatskog regulisanja za mašinu ravnu brusilicu prikazana je na slici 1.



Sl. 1. Blok šema sistema automatskog upravljanja

U prikazanom blok dijagramu (Sl. 1), potrebno je znati ulaz i izlaz iz svakog od pojedinih blokova, odnosno potrebno je znati diferencijalne jednačine, a skup tih jednačina u jedan sistem se naziva matematički model sistema.

Ako pretpostavimo da hidraulični ventil 1 električnohidrauličnog servo ra-

zvodnika, i hidraulični sistem 2 u radnom stolu mašine 3 rade kao hidraulični pojačavač, onda se može doći do prenosne funkcije takvog sistema. Neka klip vrši pomeranje  $x_1(t)$  i neka je to ulaz, a na izlazu imamo brzinu  $\dot{x}_0(t)$ , kako je to prikazano na slici 2.

Analizom sila na hidrauličnom pojačavaču (Sl. 2), može se napisati diferencijalna jednačina ravnoteže u obliku

$$\mu G + F_p = M \frac{d^2 x}{dt^2} + K \frac{dx}{dt} + F_t + F' \quad (1)$$

gde je:

$\mu G$  - sila trenja usled težina pokretnih delova svedena na osu hidrocilindra,

$F_p$  - sila pritiska na klip,

$M$  - masa pokretnih delova,

$x$  - osno pomeranje klipa,

$K$  - koeficijent koji uzima u obzir trenje,

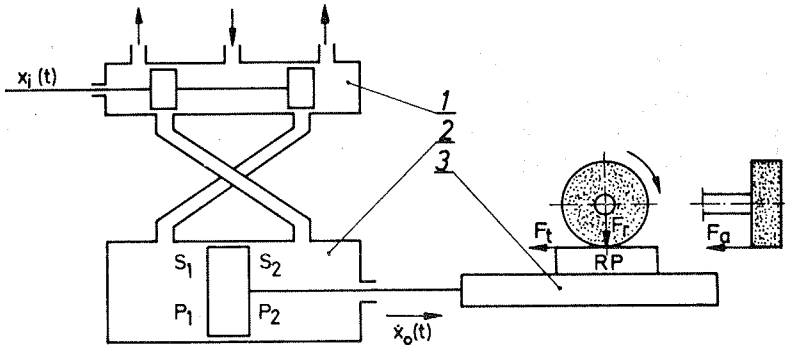
$F_t$  - tangentna komponenta otpora rezanja, svedena na osu hidrocilindra,

$F'$  - sila viskoznog trenja pokretnih delova na izlazi iz pojačavača.

Kako je sila pritiska funkcija pada pritiska fluida na klip, odnosno protoka fluida kroz cilindar:

$$F_p = p_1 S_1 - p_2 S_2 \quad (2)$$

to će za nestišljiv fluid protok kroz cilindar zavisiti od veličine radnog otvora, odnosno ulazne promenljive  $x_1(t)$  i brzine kretanja klipa,



Sl. 2. Šema hidrauličnog pojačavača

tj. izvoda izlazne promenljive  $\dot{x}_0(\tau)$ . Zbog toga je sila pritiska na klip funkcije ove dve promenljive

$$F_p = f(x_i; \dot{x}_0) \quad (3)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (2) može se diferencijalna jednačina (1) napisati u obliku:

$$\mu G + p_1 S_1 - p_2 S_2 = \frac{d^2 x}{d\tau^2} + K \frac{dx}{d\tau} + F_t + F' \quad (4)$$

Za odgovarajući opseg promena ulaza  $x_i(\tau)$  i brzine klipa  $\dot{x}_0(\tau)$  parametarske statičke karakteristike, dobijene za razne konstantne vrednosti  $x_i$  mogu se linearizovati, pa je sila

$$F_p = K_1 \cdot x_i(\tau) - K_2 \cdot \dot{x}_0(\tau) \quad (5)$$

Uzimajući u obzir jednačinu (5) može se jednačina (4) napisati u obliku:

$$\begin{aligned} \mu G + K_1 x_i(\tau) + K_2 \dot{x}_0(\tau) &= \\ &= M \frac{d^2 x}{d\tau^2} + K \frac{dx}{d\tau} + F_t + F' \end{aligned} \quad (6)$$

Ako uvedemo ekvivalentni koeficijent  $F$  koji uzima u obzir koeficijente viskoznog trenja i opterećenja, za odgovarajući mali opseg promena  $x_i(\tau)$  i  $\dot{x}_0(\tau)$  u okolini tačke  $x_i(\tau) = \dot{x}_0(\tau) = 0$ , jednačina (6) se može linearizovati i dobija se:

$$M \ddot{x}_0(\tau) \approx K_1 x_i(\tau) - (K_2 + F) \dot{x}_0(\tau) \quad (7)$$

Na osnovu jednačine (7) funkcija prenosa hidrauličnog pojačavača postaje

$$G(s) = \frac{V_{st}(s)}{V_v(s)} \approx \frac{K_1}{M \cdot s^2 + (K_2 + F)s} \quad (8)$$

Uzimajući u obzir prenosne funkcije ostalih elemenata u strukturnoj blok šemi dolazi se do prenosne funkcije celog sistema u obliku:

$$W_s(s) = \frac{K}{(M \cdot s + K') + K \cdot K_M} \quad (9)$$

koji je uvek stabilan.

Koristeći blok šemu sistema automatskog optimalnog upravljanja, izvršena je konkretna realizacija sistema. Sistem je realizovan za slučaj ravnog brušenja, a eksperimentalni podaci su dobijeni pri brušenju čelika Č.4750 okaljenog na  $62 \pm 0,5$  HRC sa točilom 2B 54 K8V.

U procesu rada regulacija temperature vršena je menjanjem brzine izvora, odnosno menjanjem brzine radnog stola, tako da izmerena temperatura ne prelazi vrednost  $T = 873$  K, koja predstavlja onu graničnu temperaturu iznad koje dolazi do promena u pograničnom sloju.

Na slici 3 je prikazana struktura po dubini za slučaj neautomatskog rada i pri automatskom upravljanju procesa brušenja za proizvoljno izabrani režim, odnosno dubinu  $t$  i korak  $s$ . Iz slike 3 se može videti da pri brušenju, pri automatskom upravljanju procesa brušenja, ne dolazi do promena u pograničnom sloju, pri istim



a)



b)

Sl. 3. Prikaz strukture dobijen pri neautomatskom a) i automatskom upravljanju procesa brušenja b)

režimima rezanja kao pri neautomatskom radu.

## 2. ZAKLJUČAK

Za formiranje i praćenje procesa automatskog upravljanja uradjena je blok šema sistema automatskog upravljanja tako da su pojedini elementi izabrani da omogućuju praktičnu realizaciju.

Dobijena prenosna funkcija sistema  $W_s(s)$ , omogućuje nam da izaberemo pojedine parametre pomoću kojih je omogućena konkretna realizacija sistema i stabilnost istog.

Uvodjenjem sistema optimalnog upravljanja, korišćenjem temperature  $T$ , je evidentno jer je njen uticaj najveći na pogranični sloj, odnosno na kvalitet brušene površine.

## 3. Literatura

- [1] Stojić M., 1976., Kontinualni sistemi automatskog upravljanja, Beograd, Izdavačko preduzeće "Gradjevinska knjiga"
- [2] Vukelja D., 1970., Termodinamika rezanja, Monografija IAMA 2
- [3] Vukelja D., Jovičić V., Simović V., 1971., Jedan način za sniženje temperature brušenja pri završnoj obradi alata od brzoreznog čelika, Zbornik saopštenja IAMA, VII Savetovanje proizvodnog mašinstva, Novi Sad
- [4] Jaščericin P.I., Cokur A.K., Eremenko M.L., 1973., Toplovič javljenija pri šlifovanii i svojstva obratanih poverhnostej, Minsk, Izdatelstvo Nauka i tehnika

V. Mečanin\*

PRILOG OPTIMIZACIJI OBRADNIH PROCESA NA NUMERIČKI  
UPRAVLJANIM OBRADNIM CENTRIMA

R e z i m e

Obradni procesi na numerički upravljanim obradnim centrima odvijaju se u uslovima visoke koncentracije operacija i postupaka obrade, što pri projektovanju i optimizaciji zahtjeva kompleksan pristup. U tom smislu formiranje modela obradnog procesa i razvoj odgovarajuće programske podrške ima poseban značaj.

U radu se daje model obradnog i optimizacionog procesa i ukazuje na razvoj odgovarajućeg softwar-e u domenu istraživanja autora.

A SUPPLEMENT TO OPTIMIZATION OF MACHINING PROCESSES ON NUMERICALLY  
ON NUMERICALLY CONTROLLED MACHINING CENTRES

S u m m a r y

Machining processes on numerically controlled machining centres take place in conditions of high concentration of operations and machining procedures, which requires the complex approach in the course of their designing and optimization. In that sense the forming of machining process model as well as corresponding software support has a particular character. The machining and optimization process model is given in this work and also it is pointed at the development of corresponding software in author's domain of research.

1. Uvod

Numerički upravljani obradni centri kao mašine sa visokom koncentracijom operacija i postupaka obrade, namijenjeni za obradne procese složenih st-

ruktura (noseće strukture alatnih mašina i slično) karakteristični su po veoma visokoj automatizaciji kojom su obuhvaćeni:

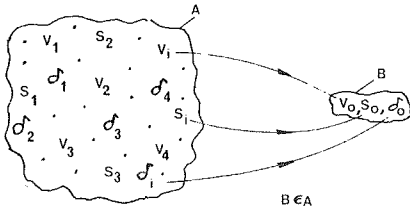
---

\* Doc.dr Vučko Mečanin, dipl.ing. Mašinski fakultet Mostar, Blagoja Parovića bb. 79000 Mostar.

- automatsko upravljanje geometrijskim i tehnološkim informacijama,
- automatski izbor i izmjena alata i
- automatizovano manipulisanje radnim predmetom (pozicioniranje, izmjena i transport).

Takva koncepcija razvoja obradnih centara omogućava obradu složenih nerotacionih obradaka praktično u jednom stezanju, pri čemu se postižu visoki tehnički i ekonomski efekti.

Za postizanje maksimalnih tehnoloških efekata obradnog procesa pored visoke automatizacije, potrebno je izvršiti i njegovu optimizaciju. Cilj optimizacije je, da se obradni proces iz prostora mogućih rješenja [1], usmjeri u prostor optimalnih rješenja slika 1.



Slika 1. Prostori mogućih (A) i optimalnih rješenja (B) obradnih procesa.

Da bi se obradni proces odvijao u prostoru optimalnih rješenja, potrebno je izvršiti njegovu optimizaciju vodeći računa o ograničenjima koja se javljaju u obradnom procesu. Pri projektovanju i optimizaciji polazi se od modela obradnog procesa, o čijem se obliku govori u slijedećem dijelu razmatranja.

2. Model obradnog i optimizacionog procesa

Pri projektovanju i optimizaciji obradnih procesa na CNC obradnim centrima polazi se od modela obradnog procesa koji treba da obuhvati njegove specifičnosti.

Model obradnog procesa predstavlja njegov matematički opis i od njego-

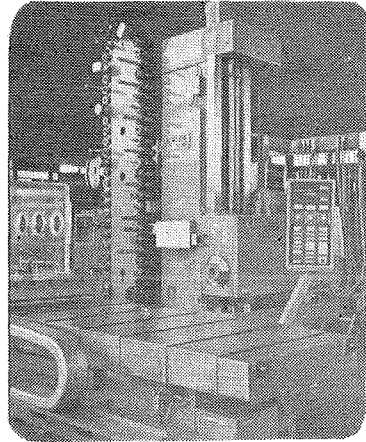
ve konfiguracije zavisi [1] [3]:

- opseg uticajnih parametara,
- nivo i principi analize,
- izbor metode optimizacije,
- konfiguracija kompjuterskog sistema i slično.

Optimizaciju obradnih procesa na obradnim centrima slika 2., moguće je izvesti preko kriterija:

- maksimalne proizvodnosti i
- minimalnih troškova obrade.

Optimizacija se uglavnom izvodi preko kriterija minimalnih troškova obrade.



Slika 2. Obradni centar proizvodnje "Ivo Lola Ribar" Beograd

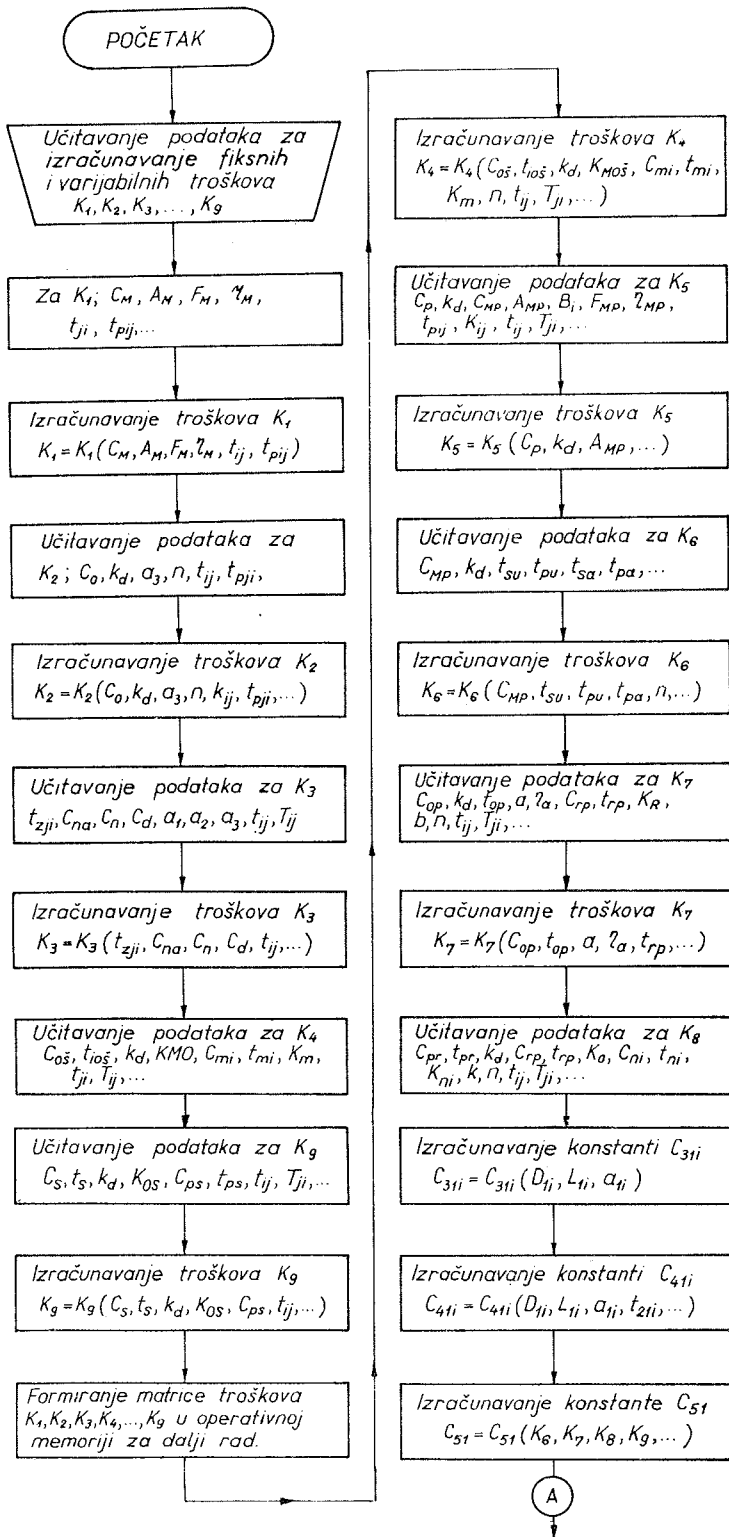
Istražujući optimizaciju obradnih procesa na CNC centrima [2] razvijen je model u obliku:

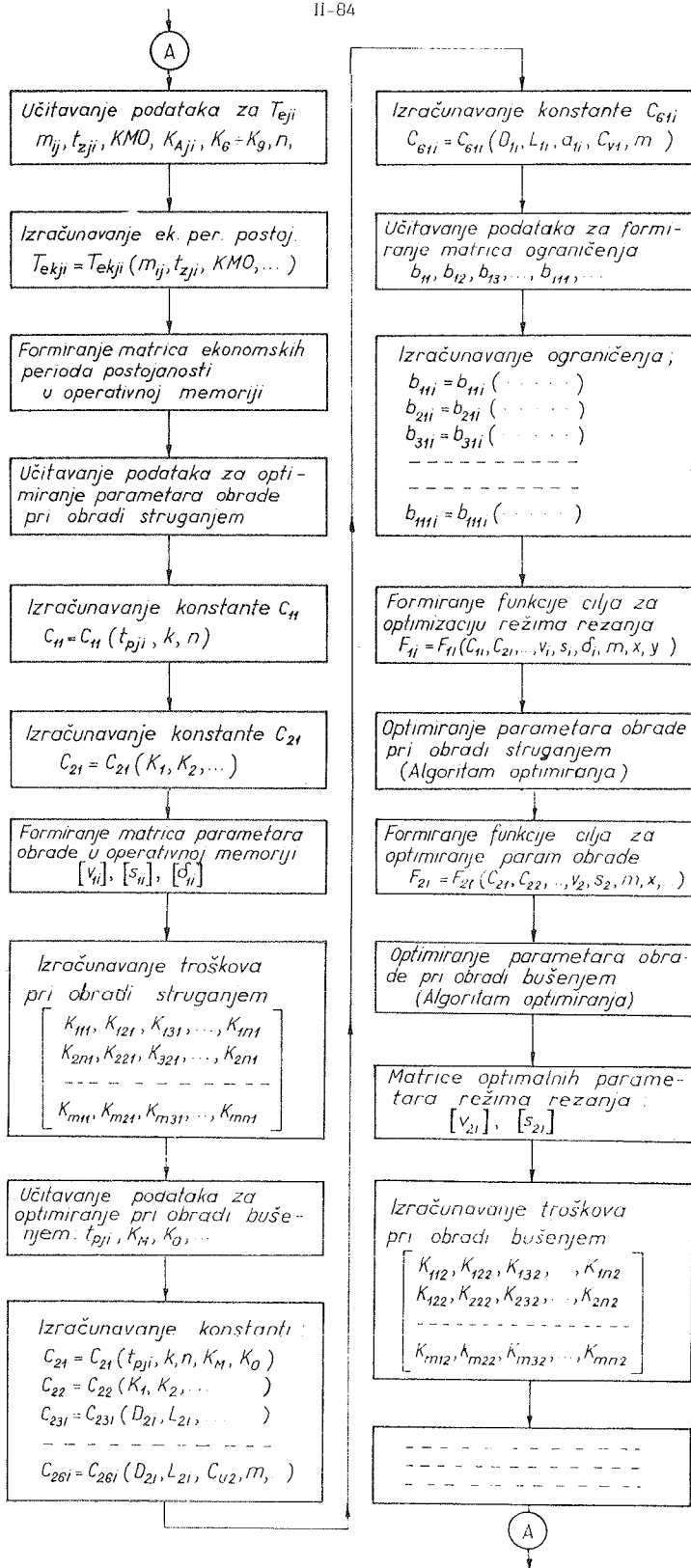
$$K = KMO \left[ \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n (t_{ij} + t_{pij}) + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{T_i} \right] + \left( t_{zlj} + \frac{K_{Aij} + K_{PAij} + K_{Pij}}{KMO} \right) + \left( \frac{K_{PM} + K_{OP} + K_{PN} + K_S}{NS} \right) \text{ (din/kcm)} \quad (1)$$

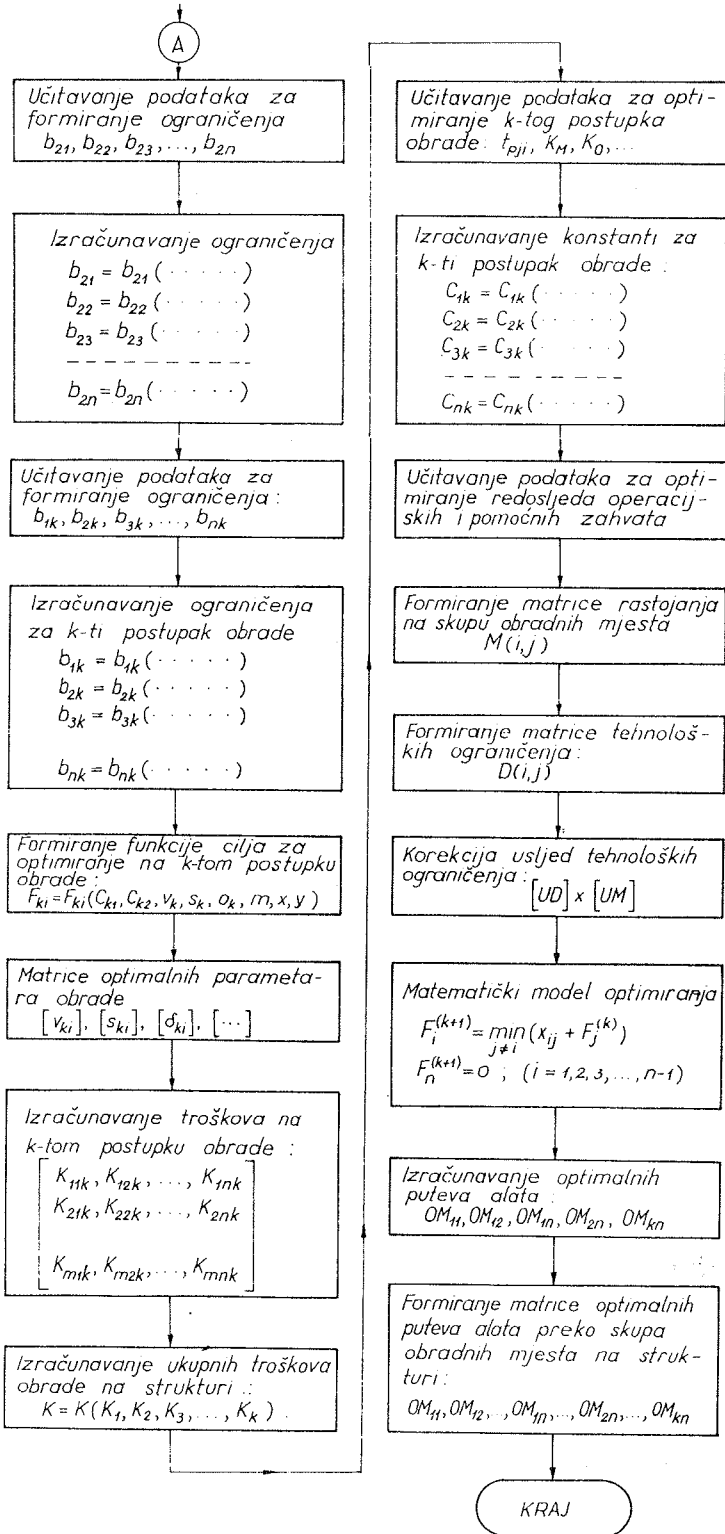
za koji je razvijen algoritam (slika 3) i program za optimizaciju na računaru.

U modelu obradnog procesa su:









Slika 3. Algoritam računskog i optimizacionog postupka na računaru

KMO - troškovi mašine i poslužioaca din/min,  
 $t_{ij}$  - vrijeme obrade i-tog alata j-tog postupka obrade u min.,  
 $t_{pij}$  - vremena pozicioniranja alata uvećana za još neke zahvate, u min.,  
 $T_{ij}$  - postojanost alata u min.,  
 $t_{zij}$  - vrijeme zamjene pohabanog alata u min.,  
 $K_{Aij}$ ,  $K_{PAij}$ ,  $K_{Pij}$  - troškovi alata, pripreme, i podešavanja alata respektivno,  
 $K_{PM}$ ,  $K_{OP}$ ,  $K_{PN}$ ,  $K_S$  - troškovi pripreme mašine, optimizacije, programiranja i simulacije obradnog procesa, respektivno,  
 NS - veličina serije (broj komada),  
 k - postupak obrade (strug.,buš.,...),  
 n - broj alata u obradi.

Obzirom na oblik modela obradnog procesa pri razvoju računarskog programa za optimizaciju, primjenjen je metod nelinearne optimizacije.

R A Z V R T A N J E

	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	.10	.10	.10
Q1	.00	.00	.00
Q2	1.97	1.97	1.97
Q3	.00	.00	.00
Q4	21.56	19.83	19.01
Q5	.00	.00	.00
Q6	.00	.00	.00
Q7	128.63	418.22	481.62
TU	3.56	8.39	10.38

Slika 4. Kraći primjer optimizacije procesa obrade na obradnim centrima

Iz modela obradnog procesa i primjera optimizacije, jasno je da su razvijene jednačine za pojedine grupe troškova, optimiranje redoslijeda intervencija alata, za ograničenja i slično, koje su ovdje izostavljene iz analize.

3. Zaključci

Na osnovu razmatranja u radu moguće je sagledati karakteristike i složenost obradnih procesa složenih struktura na numerički i kompjuterski upravljanim obradnim centrima. Zatim, da rezultati istraživanja predstavljaju solidnu osnovu za razrješenje optimizacije obradnih procesa na poменutim alatnim mašinama.

4. Literatura:

- [1]. Mečanin V., Prilog analizi obradnih procesa na CNC obradnim centrima, MMA'83, Novi Sad, 1983.
- [2]. Mečanin V., Optimizacija parametara obrade na NC mašinama sa osvrtom na obradne centre, Disertacija, Mostar 1981.
- [3]. Mečanin V., Jović M., Iznalaženje optimalnog redoslijeda operacija zahvata pri obradi složenih struktura, XVI savjetovanje proizvodnog mašinstva, Mostar 1982.

S T R U G A N J E

	A1	A2	A3
K3	17.92	17.92	7.50
K4	5.05	5.05	5.25
K5	6.06	6.06	72.76
T.	29.12	29.02	85.59
PP	80.60	80.60	99.09
V	128.72	141.35	119.24
S	.22	.22	.29
DL	5.50	3.00	5.00
Q1	.52	.20	.00
Q2	1394.92	1386.74	1299.83
Q3	313.33	314.36	313.01
Q4	66.83	67.56	201.00
Q5	1.65	.92	1.82
Q6	.20	.27	.27
Q7	.00	.00	.00
Q8	126.21	139.16	113.67
Q9	374.42	297.64	1200.27
10	5.48	2.98	4.20
11	.00	.00	.00
TU	12.23	5.55	13.61

L U Š E N J E

	A1	A2	A3
K3	21.35	12.10	4.47
K4	10.21	10.21	10.21
K5	3.67	3.67	3.67
T.	35.23	25.98	18.20
PP	208.87	211.22	194.86
V	22.24	21.03	24.67
S	1.00	1.00	.37
Q1	.04	.00	1.47
Q2	41217.23	51047.22	79965.24
Q3	7.45	9.44	15.70
Q4	1.26	.43	.00
Q5	20.33	19.62	23.90
Q6	360.15	260.73	123.74
Q7	.99	.99	.37
Q8	.00	.00	.64
TU	17.50	8.50	6.00

Branko Popović, Sabit Kulaglič \*

ISTRAŽIVANJE PROCESA ELEKTROEROZIONE OBRADÉ

R e z i m e

Koristeći priliku za eksperimentisanje na elektroerozionoj mašini Agietron EMT 1.10 autori su izveli istraživanje koje je omogućilo izbor najpovoljnijeg režima obrade. Primenjena su četiri različita režima obrade i posmatran je uticaj režima na 7 različitih veličina u procesu. U radu su dati gotovo svi podaci koji će omogućiti izvesno sagledavanje mogućnosti ovog procesa.

DIE FORSCHUNG DES PROZESSES FUNKENEROSIVE

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Autoren mittels funkenerosiver Maschine Agietron EMT 1.10 die Forschung des Prozesses ausgeführt haben, die die Auswahl des amgünstigsten Bearbeitungsregiems ermöglichen kann. Sie haben vier verschiedenen Regieme angewandt und auch den Einfluss des Regiems an siben verschiedene Grösse des Bearbeitungsregieme beobachtet haben. In dieswm Artikel sie haben fast alle Daten gegeben, die des Bewerten die Möglichkeiten dieses Prozesses und Anwendung ermöglichen.

1. Uvodna razmatranja

Primena tvrdjih materijala u savremenoj proizvodnji sve češće nas susreće sa elektroerozivnom obradom (EDM- Electrical Discharge Machining). Kao što je poznato /2/, /3/, prema standardu DIN 8590,

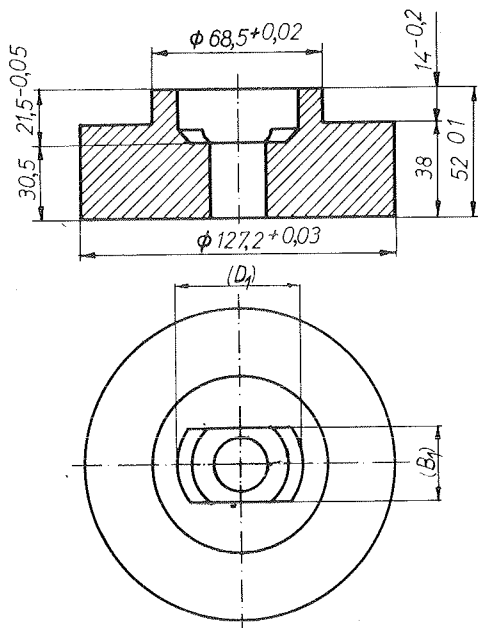
specijalna obrada odnošenjem (Abtragen), koja pripada grupi tehnoloških procesa odvajanja (Trennen), može da se podeli na : termičke, hemijske i elektrohemijske procese. U termičke procese spadaju obrade

\* Prof. dr - Ing. Branko Popović, mr - Ing. Sabit Kulaglič, 11070 Beograd, TI Bulevar br. 123, ulaz 4

svetlosnim snopom i plazmom ali se najviše primenjuje elektroeroziona obrada površina i otvora. Veoma česta je obrada kalupnih šupljina u ukovnjima. Tu se zahteva obrada složenijih profila a materijal predmeta ob rade ima i veću tvrdoću. Koristeći savremenu mašinu autori su izveli ispitivanja koja su omogućila izbor najboljeg režima obrade/1/.

## 2. Obradni sistem za ispitivanje

Obradni sistem za ispitivanje obuhvata: ukovanj, alat-katodu, pomoćni pribor, mašinu Agietron i njen upravljački uredjaj.



Slika 1.

Ukovanj ima jednostavan oblik prikazan na slici 1. a izradjen je od materijala W 99 (DIN), koji je sličan našem čeliku Č.4751 /3/. Za izradu je pripremljen poluproizvod prikazan na slici 2. levo. Alat-katoda ima oblik prikazan na slici 2. desno a izradjen je od sitnozrnastog grafita. Kao pomoćni pribor korišćen je vretenasti ekscentar Is tema, u glavi mašine. Mašina Agietron EMT

1.10 (Losone-Locarno) ima koordinatni sto za pozicioniranje predmeta i upravljački tem CH Agiepuls 30L/DDL.

Upravljanje procesom se vrši uz kontrolu širine  $B_1$ , na visini 10 mm od dna, i prečnika  $D_1$  otvora, prema slici 1. Istovremeno je kontrolisan i alat-katoda pri čemu su merene veličine: a, B i D prema slici 2. desno. Postojanost alata je ocenjena brojem uspešno obradjenih predmeta, koji još uvek imaju potreban oblik oti la u otvoru.

## 3. Plan ispitivanja

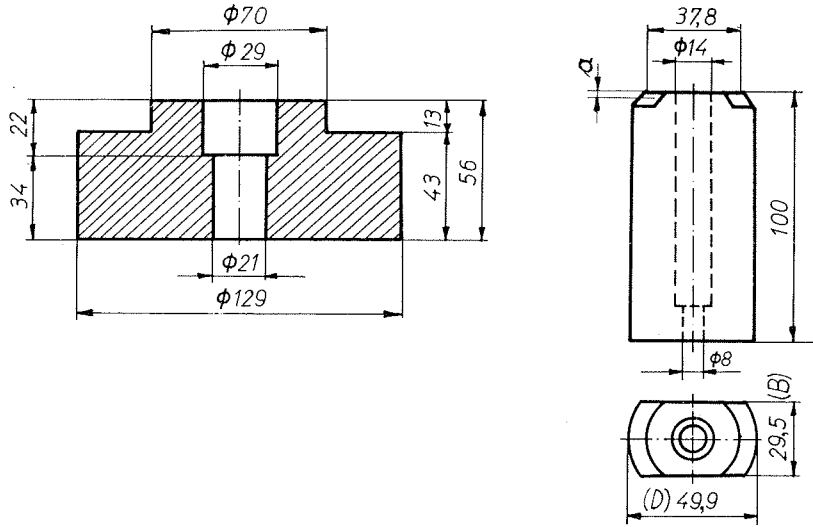
Uzimajući u obzir ograničenja koja su propisana fabričkim uputstvom za rukovanje mašine uočeno je da se mogu menjati sledeće veličine režima: t/ s/..trajanje impulsa, I/I/..jačina struje i p/Pa/.. pritisak dielektrikuma, dok je napon iznosio  $E = 40$  V. Tako su dobijena sledeća četiri režima:

I t = 150 s, I = 22 A, p = 20 000 Pa,  
 II t = 500 s, I = 38 A, p = 5 000 Pa,  
 III t = 150 s, I = 38 A, p = 10 000 Pa,  
 IV t = 100 s, I = 38 A, p = 10 000 Pa.

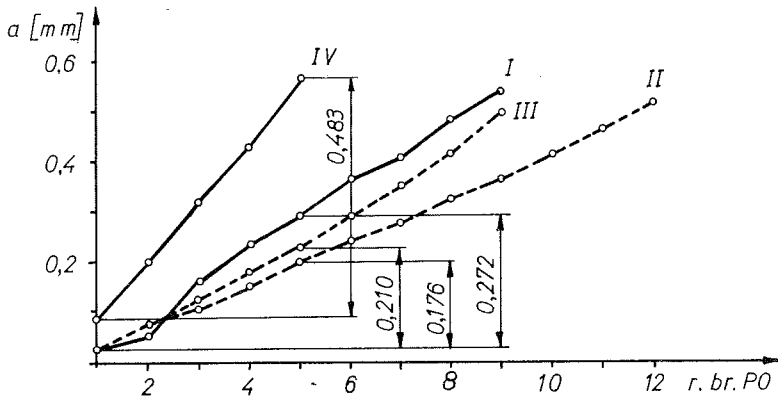
Pored kontrolisanih veličina u procesu su i merena vremena obrade pojedinih komada.

## 4. Dobijeni rezultati

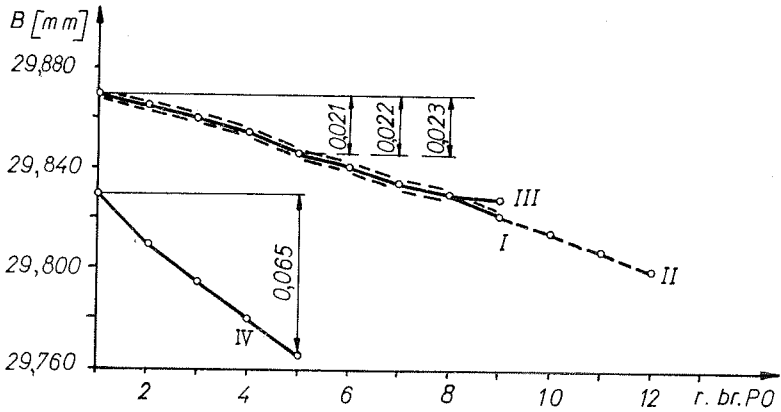
Dobijeni rezultati su prikazani u posebnim dijagramima. Skraćenje alata-katode, tokom obrade pet predmeta, prikazano je na slici 3. Najsporije skraćenje nastaje pri režimu II a najbrže pri režimu III, gde je uočeno i najveće skraćenje od  $a = 0,483$  mm. Suženje alata-katode prikazano je na slici 4. gde se može uočiti, za razliku od ostalih režima, da pri režimu IV nastaju najveća suženja i da ukupno suženje iznosi  $B = 0,065$  mm. Smanjenje prečnika alata-katode prikazano je na slici 5. Slično suženju i ovde se najveće sma-



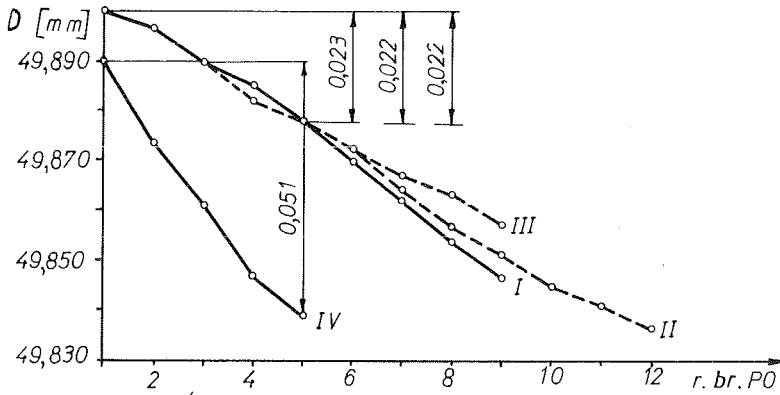
Slika 2.



Slika 3.



Slika 4.



Slika 5.

REŽIM	$\Delta a$ [mm]	$\Delta B$ [mm]	$\Delta D$ [mm]	PROFIL	$\Delta B_1$ [mm]	$\Delta D_1$ [mm]	$\bar{t}$ [h]
I	0,272 (3)	0,023 (3)	0,022 (1-2)	9 (2-3)	0,03 (3)	0,022 (3)	3,57
II	0,176 (1)	0,022 (2)	0,022 (1-2)	12 (1)	0,024 (1)	0,014 (1)	2,05
III	0,210 (2)	0,021 (1)	0,023 (3)	9 (2-3)	0,025 (2)	0,02 (2)	1,24
IV	0,483 (4)	0,065 (4)	0,051 (4)	5 (4)	0,057 (4)	0,06 (4)	1

Slika 6.

njenje prečnika dešava pri režimu IV i iznosi  $D = 0,051$  mm. Postojanost alata se menja od 5 do 12 obradjenih predmeta. Najveće suženje širine otvora  $B_1 = 0,051$  mm ima režim IV a najveće smanjenje prečnika  $D_1 = 0,06$  mm ima opet režim IV.

#### 5. Analiza dobijenih rezultata

Analiza rezultata može se izvesti na osnovu tablice prikazane na slici 6. Ovde su data odstupanja posmatranih veličina kao i prosečna vremena obrade. Postojanost alata u pojedinim režimima iznosi:  $T_I = 9 \cdot 3,57 = 32,13$  h,  $T_{II} = 12 \cdot 2,05 = 24,6$  h,  $T_{III} = 9 \cdot 1,24 = 11,16$  h i  $T_{IV} = 5 \cdot 1 = 5$  h. Oce-

njujući rangove postignutog odstupanja u pojedinim režimima dobijaju se vrednosti u zagradama. Najveću ocenu (7-8) ima režim II a nešto manju ocenu (12-13) ima režim III dok su ostala dva režima neprihvatljiva. Kako režim II ima dva puta veću postojanost može se sa dovoljno pouzdanosti uzeti da je to optimalni režim obrade. Ipak, konačnu odluku treba doneti na osnovu troškova obrade što se može lako da izvede.

#### L i t e r a t u r a

- 1/ A.L. Livšic i dr., Elektroimpul'snaja obrabotka metallov, Mašinstroenije, Moskva (67)
- 2/ W. König, Fertigungsverfahren, Abtragen, VDI-Verlag, Düsseldorf (1979)
- 3/ H. Weck, Werkzeugmaschinen, Maschinenarten, VDI-Verlag, Düsseldorf (1980)



B. Sovilj, M. Rodić, D. Banjac \*

LOMLJENJE STRUGOTINE PRI OBRADI BUŠENJEM

Re z i m e

U radu se na osnovu teorijske analize daje predlog varijanti oštrenja reznog dela spiralne burgije za ostvarivanje lomljenja strugotine pri obradi čelika. Planirana i izvedena eksperimentalna istraživanja obuhvatila su predložene varijante oštrenja i variranje režima obrade u cilju dobijanja lomljene strugotine i veće postojanosti.

Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost uspešnog lomljenja strugotine pri obradi čelika bušenjem izborom pogodnog oštrenja reznog dela spiralne burgije i režima rezanja.

SPAHNBRUCH BEI BEARBEITUNG DURCH BOHREN

Z u s a m m e n f a s s u n g

In der Arbeit werden aufgrund einer theoretischen Analyse die Varianten der Schärfung des Schnittteiles des Spiralbohrers zwecks Abbruchs der Spähne bei Stahlbearbeitung dargelegt. Die geplanten und durchgeführten experimentellen Untersuchungen wurden an die vorgeschlagenen Varianten mit den Variationen des Bearbeitungsregimes, zwecks Ermittlung des Spahnbruchs und einer höheren Standzeit, angewandt.

Die gewonnenen Ergebnisse weisen auf eine Möglichkeit des erfolgreichen Spahnbruchs bei Stahlbearbeitung durch Bohren, durch die Auswahl des geeigneten Schärfens des Schnittteiles des Spiralbohrers und des Bearbeitungsregimes.

1. UVOD

U savremenoj obradi metala rezanjem značajno mesto zauzima obrada bušenjem.

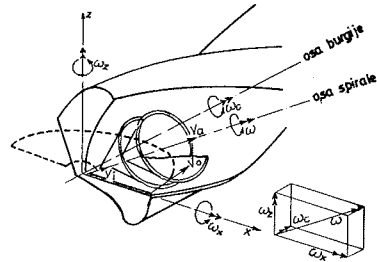
Pored izbora tipa alata i režima rezanja, rezultati bušenja često bitno zavise i od oblika strugotine. Pri obradi bušenjem čelika strugotina se često savija u dugačke spirale i zavija oko burgije, pa na taj način otežava ili sprečava rezanje.

Naročito veliki značaj ima odvođenje strugotine kod bušenja obradaka od čelika na transfer linijama. Velike količine dugačke strugotine prouzrokuju smetnje i zastoje u radu transfer linija. Zbog toga se u svetlu, pa i u našoj zemlji ulažu napor u rešavanju problema efikasnog odvođenja strugotine iz zone rezanja.

2. OBLICI STRUGOTINE PRI OBRADI BUŠENJEM

U zavisnosti od materijala obradka režima obrade i geometrije alata pri obradi rezanjem se formiraju različiti oblici i veličine strugotine [1]. S obzirom na oblik strugotine bušenje se razlikuje po tri karakteristične osobine [2]:

a) Rub burgije ima oblik zavojnice i grudni ugao se usled same geometrije alata menja uzduž sečiva. Grudni ugao je na periferiji sečiva nešto veći nego kod jezgra. Ovo nije karakteristično za ostale rezne alate. Zavojni rub strugotini daje rotaciju  $\omega_c$  uzduž ose rezanja, što se vidi na slici 1 [2].



Slika 1. Konično spiralna strugotina nastala pri bušenju.

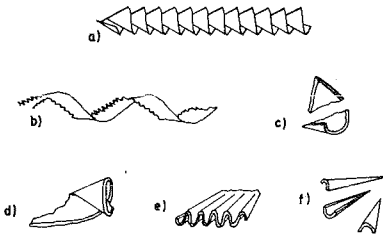
b) Brzina rezanja zavisi od udaljenosti od ose burgije. Ovo prouzkuje jako uvijanje  $\omega_z$ . Takođe i veći grudni ugao na periferiji sečiva prouzkuje uvijanje, ali ne tako izraženo.

c) Jako uvijena strugotina se formira pomoću otpornosti jezgra burgije. Tako se dobija uvijanje oko x ose  $\omega_x$ .

Kretanje strugotine je u obliku zavojnice ugaonom brzinom  $\omega$ . Komponente ove ugaone brzine su:  $\omega_x$ ,  $\omega_z$  i  $\omega_c$ . Ako strugotina ne nailazi na prepreku onda je  $\omega_c$  manja od  $\omega_x$ , i ako je  $\omega$  ili ugao zavojnog žljeha nešto veći onda kao što se i na slici 1 vidi  $\omega$  sa osom burgije obrazuje ugao veći od  $60^\circ$ . U ovom

\*) Mr Bogdan Sovilj, dipl. ing., asistent, Mr Milorad Rodić, dipl. ing., asistent, Mr Dragan Banjac, dipl. ing., predavač, FTN, OOUR Institut za PROIZVODNO MAŠINSTVO, N. Sad, V. Vlahovića 3.

slučaju se dobija konična spiralna strugotina malog koraka (sl. 2.a, |2|).



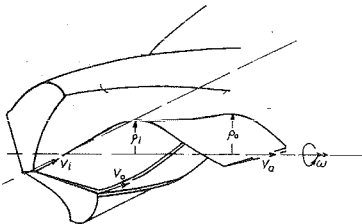
Slika 2. Varijante oblika strugotine pri bušenju

- a) konična spiralna strugotina
- b) dugačka spiralna strugotina
- c) lomljena strugotina
- d) prelazna strugotina
- e) savijena strugotina
- f) igličasta strugotina

Zavojno kretanje strugotine u ovom pravcu je moguće samo u početnoj fazi bušenja, dok rupa nije duboka. Sa povećanjem dubine rupe opisani način kretanja strugotine ometan je zidom rupe i pojavljuje se treći oblik kretanja strugotine, što zavisi od odnosa pomaka i prečnika burgije i od krutosti materijala obradka.

Ako je strugotina dovoljno tanka javiće se elastično savijanje i strugotina će prolaziti kroz žljeb burgije. U ovom slučaju do kraja bušenja stalno će se obrazovati konična osnovna spiralna strugotina.

Kada strugotina nije tako tanka onda se prirodno savija. Osa spiralne strugotine treba da bude bliže žljebu burgije, pa ovo daje manje  $\omega_x$  i  $\omega_z$  u odnosu  $\omega_c$ , kao što se vidi na slici 1. Ovo se postiže tako što se ugao vrha burgije poveća, a uvijanje se smanjuje u odnosu na  $\omega_z$ . Obe ove varijacije dovode do pojave otpora jezgra burgije prema unutrašnjem delu strugotine i smanjuje se uvijanje  $\omega_x$ . Smanjeno uvijanje dovodi do povećanja debljine strugotine na spoljašnjoj strani i smanjenje debljine na unutrašnjoj strugotini. Ako je materijal strugotine dovoljno deformabilan i podnosi razne deformacije, onda se dobija spiralna strugotina velikog koraka prikazana na slici 3 |2|. Najveći broj strugotine ima neujednačenu, hrapavu unutrašnju stranu kao što se vidi na slici 2., jer deformabilnost nije bila dovoljna. Ako strugo-



Slika 3. Spiralna strugotina velikog koraka. tina ne može podneti razne deformacije onda

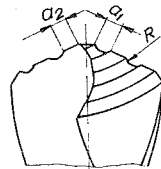
se prelomi i to naročito na unutrašnjoj strani. Takva strugotina ima oblik lepeze (sl.2c) i skoro da je konstantne debljine kao što je i konična spiralna strugotina sa kratkom zavojnicom.

Ako strugotina ima srednju deformabilnost, onda se dobija lomljena strugotina (sl. 2d). Ovakva strugotina počinje sa koničnim spiralnim oblikom i otporna sila raste zaviso od zida otvora, a oblik strugotine teži dugačkom spiralnom obliku. Zbog nedovoljne prilagodjenosti strugotina se lomi posle određene dubine rezanja. Na slici 2 |2| dati su neki oblici strugotine pri obradi bušenjem.

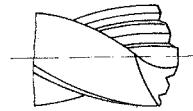
Oblici strugotine pri obradi rezanjem definisani su standardom ISO 3685. Prema pogodnosti za transportovanje i odvođenje iz zone rezanja oblici strugotine mogu biti povoljni i nepovoljni. Povoljni oblici strugotine su: trakasta kratka, cevasta kratka, spiralna ravna, spiralna konična, cilindrična - zavojna kratka, konična-zavojna kratka, lučna spojena, lučna rastresita, sitna i igličasta. Nepovoljni oblici strugotine su: trakasta duga, trakasta zapletena, cevasta duga, cevasta zapletena, cilindrično-zavojna duga, cilindrično-zavojna zapletena, konično-zavojna duga i konično-zavojna zapletena.

3. ANALIZA MOGUĆNOSTI LOMLJENJA STRUGOTINE

Kod bušenja čelika moraju se često dalje deformacije obezbediti radi lomljenja strugotine. Deljenje i lomljenje strugotine ostvaruje se različitim oštrenjem vrha burbijske ili izradom posebnih žljebova na vrhu burgije (sl. 4 i sl. 5).



Slika 4. Burgija sa izbrušenim žljebovima na ledjnim površinama.

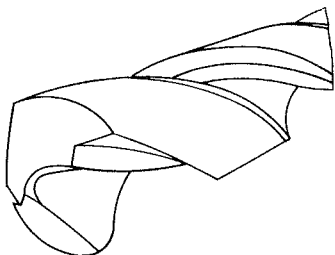


Slika 5. Burgija sa glodanim žljebovima na grudnim površinama.

Na ledjima burgije izbrušeni su žljebovi koji prekidaju sečivo burgije i deluju tako kao lomač strugotine a rade se naizmenično (sl.4). Ovi žljebovi se izrađuju pomoću točila određenog radijusa da bi se izbegle koncentracije naprezanja u oštrim uglovima. Žljebove na ledjnoj površini pri ledjnom brušenju je teško ostvariti. Kod svakog oštrenja burgije ovi žljebovi se moraju obnavljati, a to znatno poskupljuje obradu. Zato je povoljnije na burgiji izraditi dugačke žljebove na grudnim površinama (sl. 5). Tada je oštrenje burgije isto kao i kod standardnih. Glodanje ovih

žljebova i njihov tačan raspored na zavojnom žljebu burgije je takodje prilično teško i dugotrajno, pa su i ove burgije skupe.

Povoljnije su burgije gde se lomljenje i transport strugotine vrši sa posebnoblikovanim žljebovima. Kao primer može se uzeti burgija sa lomačem strugotine "Speedicut Chipbreaker" (sl. 6 |3|) koju izrađuje firma Chicago Heigts Steel Co, Illinois, USA i može se naći na tržištu.



Sl.6. Burgija sa oblikovanim žljebovima.

Karakteristično za ovu burgiju je da su duž cele dužine oba žljeba burgije izrađeni (glo-danjem) stepenici za lomljenje strugotine. Kod ovih burgija može se povećati pomak 2-3 puta u odnosu na normalne burgije. Od vrha do drške ove burgije imaju konstantan presek jezgra i time i konstantan presek žljebova. Kod oštrenja povoljno je da se na odgovarajući način skрати poprečno sečivo. Kod velikog izoštravanja poprečno sečiva stepenici za lomljenje strugotine će se oštetiti i njihova funkcija će se iznubiti, pa se strugotina neće lomiti.

Sem ove firme i druge firme u svetu su konstruisale specijalne burgije za lomljenje strugotine |3,5,6|.

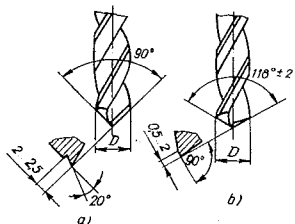
Postoji mogućnost da se izoštre žljebovi za lomljenje strugotine na vrhu burgije. Za oblik ovih lomača nema čvrstih pravila. Jednostavan oblik lomača strugotine prikazan je na sl. 7. i sastoji se iz zaravnanja duž sečiva, čime se nrudni ugao smanjuje.

Najčešće žljebovi za lomljenje strugotine imaju oblik kao na sl. 8. Njihove mere se kreću u širokim granicama zavisno od datih režima rezanja. Žljebovi za lomljenje strugotine ovog oblika imaju zadatak da strugotinu saviju i da se ona time lomi. Pri tome se mora paziti da dubina žljeba za lomljenje strugotine bude koliko je moguće manja, zbog sprečavanja stvaranja džepova u koje bi se strugotina zaglavljivala.

Na agregatima i automatskim linijama primenjuje se specijalno oštrenje burgije |6|, tj. brušenje burgije radi odvođenja strugotine kod bušenja otvora dubine veće od 5.D (sl.9a). Jednostavnije brušenje primenjuje se za lomljenje strugotine kod bušenja otvora dubine do 5.D (sl. 9.b).



Sl.7,8. Smanjenje grudnog ugla zaravnanjem duž sečiva.



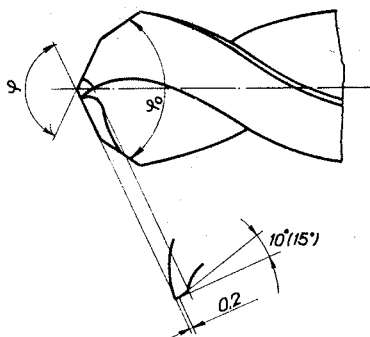
Sl.9. Specijalno oštrenje burgija.

4. PREDLOG VARIJANTI OSTRENJA REZNOG DELA BURGIGE

Na osnovu analize oblika strugotine pri bušenju jasno je da idealan oblik strugotine je u obliku konusa. Neki materijali daju ovu strugotinu automatski standardnim alatima. U drugim slučajevima treba strugotinu dovesti u ovaj oblik. Promena pomaka pre svega dovodi do promene oblika strugotine. Ali kod bušenja na automatima i transfer linijama normalno se sreću relativno velike brzine rezanja i niski pomaci, jer burgija mora da radi zajedno sa jednim ili više drugih alata. Snaga drugih alata bitno se okrnjuje kada se primene veliki pomaci i niske brzine rezanja.

Zbog toga su na osnovu analize mogućnostima lomljenja strugotine predloženi određeni načini oštrenja reznog dela burgije |8|.

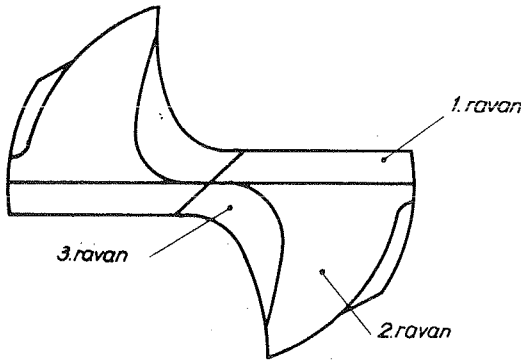
Kao prvi način oštrenja predloženo je smanjenje grudnog ugla  $\gamma$  na reznj ivici (sl.10).



Sl.10. Smanjenje grudnog ugla  $\gamma$ .

Osim toga predloženo je da sve burgije budu

naoštrene troravanski (prema patentu Renault-Peugeot sl. 11).



Sl. 11. Troravansko oštrenje burgije.

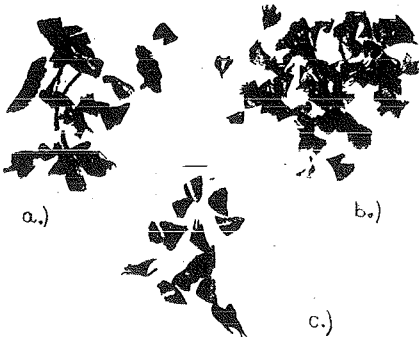
Takodje su burgije naoštrene i sa dva ugla vrha burgije. (sl. 10 i sl. 18).

Na određenom broju burgija napravljeni su žljebovi na grudnoj površini ili na ledjnoj površini. Na dve burgije izvršeno je samo troravansko oštrenje.

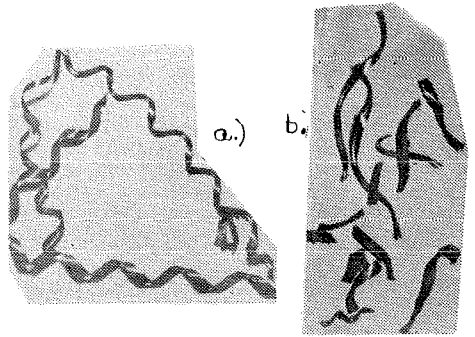
#### 5. REZULTATI EKSPERIMENTATA I NJIHOVA ANALIZA

Ispitivanje mogućnosti lomljenja strugotine pri obradi č.1330 izvedena su na radialnoj bušilici model 2M55. U prvoj seriji ispitivanja praćeno je lomljenje strugotine na 24 različito naoštrene burgije. Brojevi obrta varirani su od 200-315 o/min, a pomaci od 0,315 do 0,63 mm/ob za burgije prečnika  $\phi 23$ . Za burgije prečnika  $\phi 14$  obrta su varirani od 250 do 400 o/min, a pomaci od 0,22 do 0,63 mm/ob. Svaka burgija izbušila je po jednu rupu dužine 22 mm sa četiri kombinacije gornjih pomaka i obrta.

Na osnovu oblika strugotine, koja je pri obradi nastala, dobre rezultate pokazale su burgije: oštrene u cilju smanjenja grudnog ugla (sl. 12a), sa žljebom na grudnoj površini (sl.12b) i čisto troravanski (sl.12c). Nisu zadovoljile burgije kod kojih su oštreni žljebovi na ledjnoj površini (sl. 13 a,b).

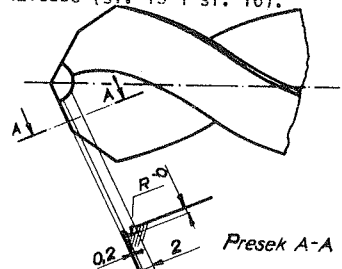


Sl. 12. Povoljni oblici strugotine.

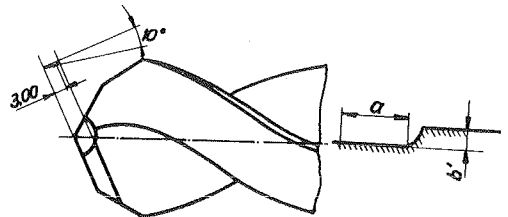


Slika 13. Nepovoljni oblici strugotine.

U drugoj seriji ispitivanja praćeno je lomljenje strugotine na 20 burgija i to: 6 sa variranim smanjenim grudnim uglom (sl. 10), 8 sa žljebom na grudnoj površini sa fazetom (sl.14) i 6 sa žljebom na grudnoj površini bez fazete u dve izvedbe (sl. 15 i sl. 16).



Sl. 14. Žljeb na grudnoj površini sa fazetom.



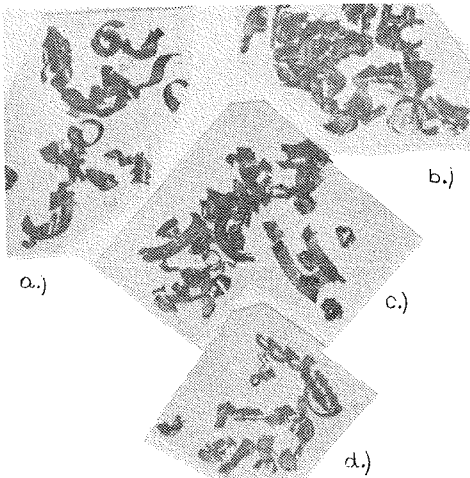
Sl. 15. Žljeb sa radiusom na grudnoj površini bez fazete.

Sl. 16. Žljeb - ravan na grudnoj površini bez fazete.

Burgije -  $\phi 23$  su radile sa pomakom od 0,16 do 0,315 mm/o i brojevima obrta od 200 do 315 o/min, a burgije  $\phi 14$  sa pomakom od 0,16 do 0,315 i brojevima obrta od 250 do 400 o/min. Kao i u prvoj seriji i ovde je bušena samo po jedna rupa dužine 22 mm na materijalu č. 1330. Sve burgije u ovoj seriji ispitivanja nisu bile troravanski oštrene, nego samo su naoštrene dva vrha burgija (sl. 18).

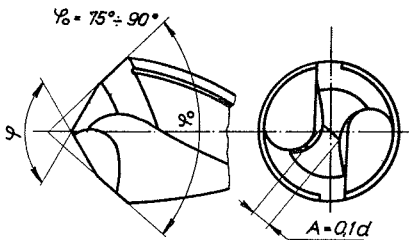
Najbolje rezultate, s obzirom na lomljenje strugotine, pokazala su burgije: N 3 sa smanjenim uglom  $\gamma = 15^\circ$  (sl. 17a),

N 8 sa žljebom na grudnoj površini sa fazetom (sl. 12b), N16 sa žljebom - radiusom na grudnoj površini bez fazete (sl. 17c) i N18 sa žljebom - ravan na grudnoj površini bez fazete (sl.17d).



Sl. 17. Oblici strugotine u drugoj seriji ispitivanja - poželjni.

U trećoj seriji ispitivanja odabrane su burge N3, N8, N16 i N18, na osnovu rezultata lomljenja strugotine, i vršena istraživanja postojanosti burgija. Habanje burgije prvenstveno se javlja na spoljnim delovima glavnog sečiva, jer je tu najveća brzina rezanja i stvara se najveća toplota. Osim toga tu je i najveći grudni ugao, pa je i odvodjenje toplote najlošije. Za povećanje otpornosti na habanje ivice ruba koristi se dvojno oštrenje vrha burgije (sl. 18) i time se smanjuje me-



Sl. 18. Dvojno oštrenje vrha burgije.

haničko i toplotno opterećenje spoljnog dela glavnog sečiva. Habanje se javlja na grudnoj i ledjnoj površini, a najčešće ovo habanje prelazi na habanje ruba (sl. 19).

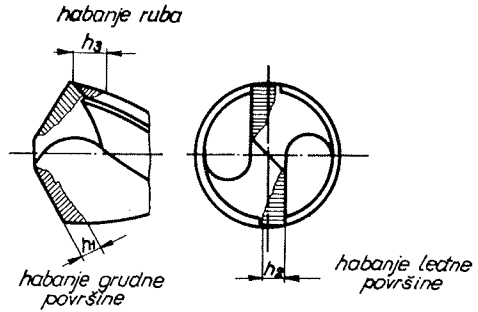
Često se habanje ivice ruba uzima kao kriterijum za određivanje zatupljenosti. Postoji empirička formula za određivanje kada je burgija zatupljena [7], a to je kada habanje dostigne vrednost:

$$h_{\max} = h_3 \approx 0,1 \sqrt{d}$$

gde je:

$h_3$  - habanje ivice ruba  
 $d$  - prečnik burgije.

Veza izmedju postojanosti i režima rezanja najčešće se daje u sledećem obliku:



Slika 19. Habanje kod spiralne burgije.

$$T = C_T \frac{d^{\omega_T}}{v^{\zeta_T} \cdot S^{\chi_T}} \quad (1)$$

gde su:

$T$  - postojanost

$d$  - prečnik burgije

$v$  - max brzina rezanja

$S$  - pomak

$C_T, \omega_T, \zeta_T$  i  $\chi_T$  - konstante u zavisnosti od materijala obradka.

Na postojanost, pored ostalog, utiču: dubina bušenja, ugao vrha, sredstvo za hlađenje, režimi rezanja, dužine burgije itd.

Od četiri odabrane burgije N3, N8, N16 i N18 najbolje rezultate pokazale su burgije N3 i N8. Sve su burgije radile sa pomakom  $S=0,315$  i brojem obrta  $n = 200$  o/min.

Na priloženim fotografijama dati su oblici strugotine za burgije sa najvećim postojanošću.

Merenje habanja i snimanje oblika strugotine vršeno je posle određenog broja izbušenih rupa.

Na slici 20 dati su oblici strugotine za burgiju N3.

Zavisnost postojanosti izražene preko broja probušenih rupa, i habanja data je na slici 21.

Oblici strugotine za burgiju N8 dati su na slici 22.

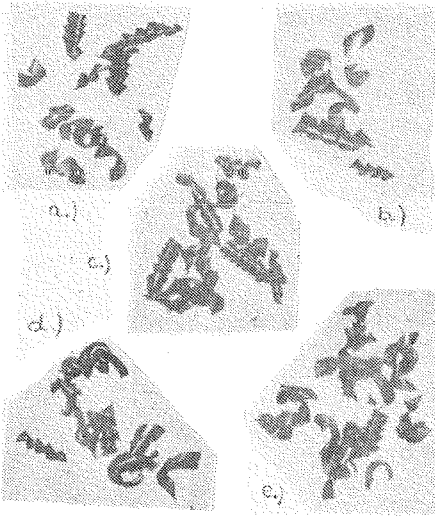
Zavisnost postojanosti i habanja za burgiju N8 data je na slici 21.

Dobijeni oblici strugotine pri bušenju sa burgijama N3 i N8 pogodni su za odvodjenje iz zone rezanja i dalje transportovanje.

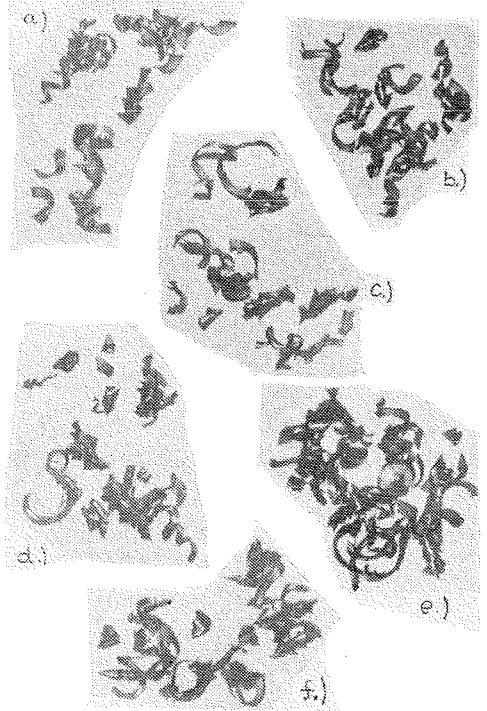
## 6. ZAKLJUČCI

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja lomljenja strugotine pri bušenju č.1330 može se konstatovati sledeće:

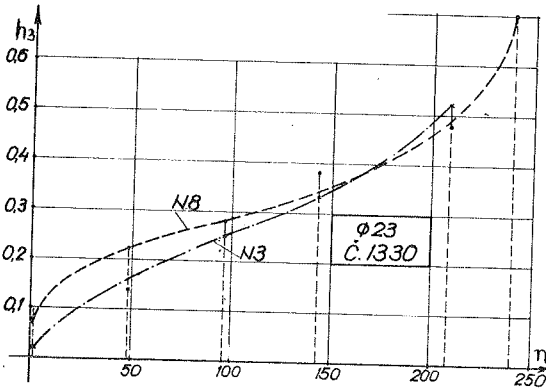
1. Da su na osnovu analize mogućih oštrenja vrha burgije, u cilju lomljenja strugotine, predložene za ispitivanje četiri varijante oštrenja.



Slika 20. Oblici strugotine za burgiju N3 posle izbušenih rupa: a-1; b-48; c-96; d-144 i e-208.



Slika 21. Oblici strugotine za burgiju N8 posle izbušenih rupa: a-1; b-48; c-96; d-144; e-208; f-240.



Slika 21. Zavisnost habanje postojanost za burgije N3 i N8 - h<sub>3</sub>-habanje ivice ruba; n-broj izbušenih rupa.

2. Dobijeni rezultati ukazuju na mogućnost uspešnog lomljenja strugotine pri obradi čelika bušenjem izborom pogodnog oštrenja reznog dela spiralne burgije i režima rezanja.

7. LITERATURA

[1] Jovičić, M., Rasulić, M., 1979., Prilog analizi problema savijanja i lomljenja strugotine pri obradi rezanjem, Zbornik radova, II naučno-stručnog skupa MMM '79, Novi Sad, FTN.  
 [2] K.Nakayama, Basic Rules on the Form of Chip in Metal Cutting, CIRP ANNALS 1978, 17-22 Manufacturing Tehnology.

[3] Roček, V. 1977., Zerspanungswerkzeuge für den Sondermaschinenbau und automatische Fertigungstaktstrassen, Stuttgart.  
 [4] Karaitin, A.M., Koršunov, B.S., 1977. Zatočka i dovodka instrumenta, Moskva, Mašinostroenie.  
 [5] Cillveland, Einsatz und Pflege von Spiralbohren, Niederland.  
 [6] Šatin, V.P., Šatin, V., 1975. Spravočnik konstruktora instrumentalizika, Moskva, Mašinostroenie".  
 [7] Bali, J. 1980, Forgácsola's, Budapest, Tankönyvkiadó.  
 [8] Banjac, D., Sovilj, B., Rodić M., Todić, V., i dr.,: Ispitivanje, izbor i primena racionalnih rešenja alata i režima obrade ventila od čeličnog liva na instalisanoj automatskoj liniji uz obezbedjenje lomljenja strugotine, 1982.  
 [9] König, W., i dr.: Spanformen bei der Drehbearbeitung, Möglichkeiten zur automatischen Erkennung, Techn. Zbb. prakt. Metalbearbeitung, 1978, 72, Nr. 1-2.

Nikšić Petar \*

IDENTIFIKACIJA TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD JEDNOVRETENIH  
I VIŠEVRETENIH AUTOMATA

R e z i m e

U radu je posmatran po jedan predstavnik viševretenih i jednovretenih automata, kod kojih je izvršena analiza osnovnih tribomehaničkih sistema i identifikacija njihovih uslova rada. Dalje su navedeni kriterijumi pohabanosti i vek trajanja osnovnih tribomehaničkih sistema kod navedenih predstavnika automata. Sagledavajući navedeno u zaključku su izvedeni uticajni činioci na vek trajanja i mogući pravci optimizacije rada automata sa ciljem povećanja veka trajanja tribomehaničkih sistema kod automata.

IDENTIFICATION OF TRIBOMECHANICAL SYSTEMS IN SINGLE AND  
MULTIPLE-SPINDLE AUTOMATIC MACHINE TOOLS

S u m m a r y

One single-spindle and one multiple-spindle automatic machine tools were observed during the work and at the both an analysis of basic tribomechanical systems and identification of their conditions was performed. Further, the criteria of wear and tear and life time of basic tribomechanical systems of the said automatic machine tools were cited. Considering the above said into the conclusion are stated the facts which influence upon the life time and directions of optimization of work of the automatic machine tools, with the aim of increasing of life time of tribomechanical systems in automatic machine tools, are stated into the conclusion.

1. UVOD

U cilju plansko-preventivnog održavanja proizvodne opreme čiji je zadatak minimizacija zastoja i troškova održavanja, potrebno je da teoretijski i tehnološki sadrži identifikaciju kontaktnih parova na svakoj vrsti proizvodne opreme, uslove eksploatacije, identifikaciju razvoja procesa habanja u funkciji režima i vremena rada i postupak zamene pohabanih elemenata. Poznavanje navedenih podataka o svakoj vrsti proizvodne opreme omogućava: planiranje pravovremene nabavke, izrade i zamene delova opreme, kao i projektovanje optimalnog režima eksploatacije.

2. ANALIZA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH  
SISTEMA KOD VIŠEVRETENIH I JEDNOVRE-  
TENIH AUTOMATA

U ovom poglavlju data je identifikacija kontaktnih parova kod po jednog predstavnika viševretenih i jednovretenih automata, pri čemu se nastojalo da se obuhvate svi oni kontaktni parovi koji mogu biti uzrok zastoja. Kao predstavnik viševretenih automata uzet je šestovreteni vertikalni automat "GYROMATIC SSA-40", a

kao predstavnik jednovretenih automata uzet je automat "TORNOS M7".

Viševreteni i jednovreteni automati sastoje se od prenosnika za glavno i pomoćno kretanje i prenosnika ostalih mehanizama i dodatnih uređaja. Pri analizi kontaktnih parova dolazi se do zaključka da se oni mogu razvrstati po: vrstama materijala elemenata parova, vrstama kretanja elemenata parova, uslovima podmazivanja, i slično.

U zavisnosti od vrste materijala elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

1) parove kod kojih su elementi napravljani od istog materijala, npr.:  
- čelik po čeliku (pojedini zupčasti parovi, spojnice),  
- sivi liv po sivom livu (suporti kod jednovretenog automata);

2) parove kod kojih su elementi napravljani od različitih materijala, npr.:

- čelik po čeliku (pojedini zupčasti parovi, par pipci-čaura, par stezne patrona vreteno),  
- čelik po bronzi (puzni parovi, par

\* Nikšić Petar; dipl.maš.inž.; samostalni tehnolog; SOUR "Sloboda", RO "FNP",  
RZ-1; Proleterskih brigada bb 32000 Čačak

klizni ležaj-vreteno),  
 -čelik po sivom livu (suporti kod viševretenog automata),  
 -čelik po tekstolitu (pojedini zupčasti parovi, par čaura-uložak),  
 -čelik po impregniranoj gumi (parovi kaišnik-kaiš).

U zavisnosti od vrste kretanja elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

- 1) parove kod kojih oba elementa vrše kružno kretanje (zupčasti parovi, parovi kaišnik-kaiš, spojnice);
- 2) parove kod kojih jedan element vrši kružno a drugi pravolinijsko kretanje (pužni parovi, par pipci-čaura, parovi zupčanik-zupčasta poluga);
- 3) parove kod kojih jedan element vrši kružno kretanje a drugi je nepokretan (par vreteno-klizni ležaj);
- 4) parove kod kojih jedan element vrši pravolinijsko kretanje a drugi je nepokretan (suport-nosač suporta, čaura-nosač alata).

Analizirajući vrste kretanja elemenata kontaktnih parova može se zaključiti da se zavisno od vrste relativnog kretanja između elemenata kod kontaktnih parova javljaju različite vrste trenja, kao što su:

- 1) trenje klizanja (parovi suport-nosač suporta, vreteno-klizni ležaj, zavojni parovi, par čaura-uložak);
- 2) trenje kotrljanja (kotrljajući ležajevi, parovi krivulje-rolne);
- 3) trenje kotrljanja i klizanja (zupčasti parovi, pužni parovi, parovi pipci-čaura, parovi kaišnik-kaiš, parovi stezna patrona-vreteno).

U zavisnosti od uslova podmazivanja elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

- 1) parove koji se neprekidno podmazuju uljima (zupčasti parovi, pužni parovi, parovi suport-nosač suporta, par klizni ležaj-vreteno);
- 2) parove koji se povremeno podmazuju uljima (spojnice, par stezna patrona-vreteno, parovi čaura-nosač alata);
- 3) parove koji se podmazuju mastima (kotrljajući ležajevi kod viševretenog automata);
- 4) parove koji rade bez podmazivanja (parovi pipci-čaura, parovi kaišnik-kaiš, par čaura-uložak).

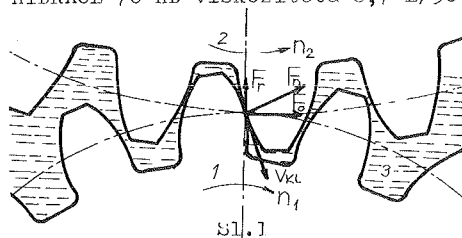
Broj analiziranih kontaktnih parova kod predstavnika viševretenih automata iznosi 334, kod predstavnika jednovretenih automata 195, a kod kojih se javljaju različiti procesi trenja i habanja i čiji je vek trajanja zavisno od uslova rada različit.

### 3. IDENTIFIKACIJA USLOVA RADA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD AUTOMATA

Ovo poglavlje sadrži shematski prikaz karakterističnih kontaktnih parova i uslova pod kojima se kontakti ostvaruju:

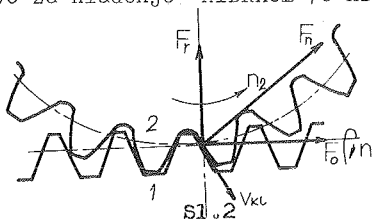
- 1) Kontaktni zupčasti par kod pogona

glavnog kretanja predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl.1, gde su:  
 1-pogonski zupčanik od Č.5426 ( $z=32$ ,  $m=4$ ,  $\alpha=20^\circ$ ), 2-gonjeni zupčanik od Č.5426 ( $z=38$ ), 3-sredstvo za hlađenje "HIDRAOL"70 HD viskoziteteta  $6,7^\circ E/50^\circ C$ .



Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su: broj obrta pogonskog zupčanika  $n=1940-1888$  o/min, broj stupnjeva promena obrta 2, zupčanici cementirani na 0,6-0,8 mm i kaljeni na 62-64 HRC, kvalitet obrade kontaktnih površina brušenje  $R_a=0,8 \mu m$ , obimna sila  $F_b=18,43-18,414$  kN, radijalna sila  $F_r=41,23-41,195$  kN, normalna sila pritiska na zubac  $F_n=45,2-45,124$  kN, brzina klizanja  $v_{kl}=4,39-4,36$  mm/min.

2) Kontaktni pužni par kod pogona pomoćnog kretanja predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl.2, gde su:  
 1-puž od Č.5426 ( $z=5$ ,  $m=3$ ,  $\alpha=25^\circ$ ), 2-pužni točak od P.CuSn14 ( $z=36$ ), 3-sredstvo za hlađenje "HIDRAOL"70 HD.



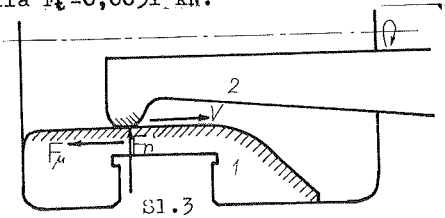
Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su: broj obrta puža  $n=860-4320$  o/min, broj stupnjeva promena obrta 22, puž cementiran na 0,6-0,8 mm, puž kaljen na 62-64 HRC i brušen na  $R_a=0,8 \mu m$ , kvalitet obrade kontaktnje površine pužnog točka fino glodanje  $R_a=1,6 \mu m$ , obimna sila  $F_b=1,23-6,19$  kN, radijalna sila  $F_r=3,16-15,78$  kN, normalna sila pritiska na zubac  $F_n=3,39-19,69$  kN, brzina klizanja  $v_{kl}=0,64-3,25$  mm/min.

3) Kontaktni par pipci-čaura kod mehanizma stezanja i otpuštanja materijala predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl.3, gde su:

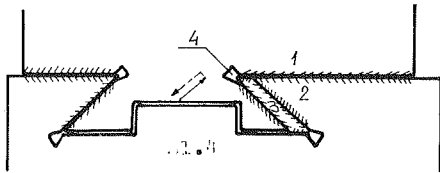
1-čaura od Č.4144, 2-pipak od Č.4230. Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su: broj obrta čaure  $n=194-1938$  o/min, broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 332-4822, vreme trajanja jednog kontakata  $t=1,6$  s, ča-



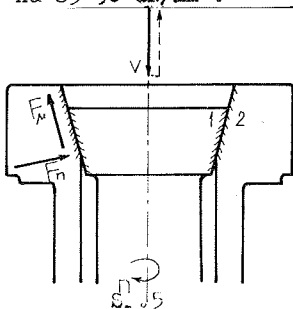
ura kaljena na 62-64 HRC i brušena na  $R_a=0,8$  m, materijal pipka kaljen na 58-60 HRC i poliran na  $R_a=0,2$  m, brzina kretanja čaure  $v=135,42$  m/min, normalna sila pritiska na kontaktne površine  $F_n=0,043$  kN, tangencijalna sila  $F_t=0,0051$  kN.



4) Kontaktni par suport-nosač supporta kod pogona pomoćnog kretanja predstavnika jednovretenih automata. Shema ovog para prikazana je na SL.4, gde su:  
1-suport od SL 26,2-nosač supporta od SL 26,3-element za kompenzaciju zazoru od Č.1220,4-sredstvo za podmazivanje "HIDRAOL"25 HD viskoziteta 2,8°E/50°G.



5) Kontaktni par stezna patrona-vreteno u mehanizmu stezanja i otpuštanja materijala predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na SL.5, gde su:  
1-stezna patrona od Č.4230(kaljena na 58-60 HRC), 2-vreteno od Č.5432(poboljšano na 85-90 dN/mm<sup>2</sup>).



Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su: broj obrta vretena  $n=194-1938$  o/min, broj stupnjeva promena obrta 20, broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 232-4822, vreme trajanja jednog kontakta  $t=36-84$  s, kvalitet obrade kontaktnih površina brušenje  $R_a=0,8$  m, brzina kretanja stezne patrona  $v=135,42$  m/min, normalna sila pritiska na kontaktnu površinu  $F_n=0,082$  kN, tangencijalna sila je

$F_t=0,0164$  kN.

#### 4. KRITERIJUMI POHABANOSTI I VEK TRAJANJA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD AUTOMATA

U ovom poglavlju su dati kriterijumi pohabanosti i vek trajanja navedenih karakterističnih parova, određeni na osnovu reprezentujućih uslova rada i empirijskih podataka sa mašinskih karti održavanja predstavnika viševretenih i jednovretenih automata.

Na osnovu navedenih podataka i empirijskih pokazatelja mogu se izvesti sledeći zaključci o kriterijumu pohabanosti i veku trajanja karakterističnih kontaktnih parova:

1) Veoma kratak vek trajanja tekstolitnih uložaka u mehanizmu stezanja i otpuštanja materijala kod predstavnika viševretenih automata, pri čemu je kriterijum pohabanosti smanjenje debljine uložka za oko 1 mm, a vek trajanja uložka iznosi 1035-1380 h.

2) Kod kontaktnih parova suport-nosač supporta kriterijum pohabanosti je stvaranje zazora između kontaktnih površina, koji zavisi od predmeta obrade kod predstavnika viševretenih automata iznosi 0,025-0,040 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,015-0,020 mm. Vek trajanja elementa za kompenzaciju zazoru iznosi 1725-2760 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 1380-2070 h.

3) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnog para pipci-čaura je pohabanost vrha radijusa pipka, koja kod predstavnika viševretenih automata iznosi 0,4-0,6 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,15-0,30 mm. Vek trajanja pipaka kod predstavnika viševretenih automata iznosi 4140-6210 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 2760-4140 h.

4) Kod kontaktnog para stezna patrona-vreteno (ili ležište patrona kod jednovretenog automata) kriterijum pohabanosti je smanjenje izlaznog prečnika stezne patrona, kod predstavnika viševretenih automata za 0,08-0,20 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata za 0,03-0,08 mm. Vek trajanja stezne patrona kod predstavnika viševretenih automata iznosi 4140-6210 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 3450-4485 h.

5) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnog para klin-poklopac doboša kod predstavnika viševretenih automata je pohabanost vrha klina za 0,03-0,06 mm, a vek trajanja zupčastog klina iznosi 3450-6210 h.

6) Kod kontaktnih parova zupčastih prenosnika kriterijum pohabanosti je povećanje zazora međuzublja, kod predstavnika viševretenih automata za 0,2-0,4 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata za 0,15-0,3 mm. Vek trajanja zupčastih parova kod predstavnika viševretenih automata iznosi

6210-10350 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 8400-12420 h, pri čemu se kraći vek odnosi na pužne parove a duži na cilindrične i konične zupčaste parove.

7) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnih parova spojnica je promena naležućeg ugla kandži za 1-3, a vek trajanja spojnica iznosi 16560-20700 h.

8) Kod kontaktnih parova poluga-osovinica (zglobna veza) kriterijum pohabanosti je povećanje zazora u zglobovima na 0,08-0,35 mm, a vek trajanja iznosi 6210-12420 h.

9) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnih para vreteno-klizni ležaj kod predstavnika jednovretenih automata je povećanje radijalnog zazora za 0,015-0,02 mm, a vek trajanja kliznog ležaja iznosi 6210-8280 h.

10) Kod kontaktnih parova kotrljajućih ležaja kriterijum pohabanosti je povećanje radijalnog zazora, koje kod predstavnika viševretenih automata iznosi 0,005-0,012 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,002-0,005 mm. vek trajanja ležaja kod predstavnika viševretenih automata iznosi 8280-12420 h, a kod predstavnika jednovretenih automata je 10350-16560 h, pri čemu se kraći vek odnosi na ležajeve na vretenima a duži na ležajeve osovina prenosnih mehanizama.

Navedeni kriterijumi pohabanosti i vek trajanja karakterističnih kontaktnih parova mogu se sa dovoljnom tačnošću primeniti na slične kontaktne parove kod automata (iste ili slične kontaktne parove koji rade sa približno istim uslovima rada), tako da se može izvršiti kompletna analiza svih kontaktnih parova kod automata, u smislu određivanja njihovog kriterijuma pohabanosti i veka trajanja.

#### 5. ZAKLJUČCI

Rezultati dobijeni u predhodnim poglavljima mogu se sa dovoljnom tačnošću koristiti pri analizi mogućih pravaca optimizacije uslova rada automata, a i pri projektovanju tehnologije održavanja automata.

Broj uticajnih činilaca na vek trajanja kontaktnih parova je veliki, a najuticajniji su sledeći:

- materijal, vrsta termičke obrade i kvalitet obrade površine kontakta;
- geometrija, tolerancije i veličina kontaktne površine;
- vrsta sredstva za hlađenje i podmazivanje i režim podmazivanja;
- režim obrade (broj obrta, korak, otpori rezanja, broj i vrste alata);
- režim eksploatacije (pravilna regla-

ža, blagovremena regeneracija i zamenala);

-tehnologija održavanja (pravovremena provera tačnosti i kontrola automata, blagovremena regeneracija ili zamena pojedinih elemenata ili parova ili celih sklopova na automatu).

Sagledavajući uticaj navedenih činilaca, kao i rezultate predhodnih poglavlja mogući pravci optimizacije rada automata sa ciljem povećanja veka trajanja kontaktnih parova kod automata bili bi:

1) Variranjem materijala, njegove termičke obrade i kvaliteta obrade kontaktnih površina, pri konstantnim ostalim uslovima, doći do optimalnog materijala, njegove termičke obrade i kvaliteta obrade kontaktnih površina za pojedine vrste kontaktnih parova.

2) Variranjem vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje i uslova podmazivanja, pri konstantnim ostalim uslovima, doći do optimalnog sredstva za hlađenje i podmazivanje, optimalnog pritiska i režima podmazivanja za pojedine kontaktne parove.

3) Pri izboru režima obrade, u okviru tehnološki preporučenih i proračunatih režima, birati režime koji daju minimalne otpore rezanja.

4) Pri izboru alata posebno voditi računa o njegovoj postojanosti, a u toku rada ne dozvoliti rad sa zatupljenim alatima niti njihov lom na mašini (alat mora da se regeneriše ili zameni pre početka takozvanog perioda "katastrofalnog habanja").

5) Vršiti plansko-preventivno održavanje automata sa precizno definisanim rokovima, vrstama i radnjama za sve remonte intervencije, te na taj način izbeći smanjenje veka trajanja ostalih kontaktnih parova od strane onih koji nisu blagovremeno zamenjeni a koji su neposredno ili posredno uticajno povezani.

Svaki od navedenih pravaca će verovatno biti predmet daljih istraživanja sa ciljem preciznog definisanja optimalnih konstrukcionih, tehnoloških, eksploatacionih i terotehnoških rešenja za kontaktne parove kod automata.

#### 6. LITERATURA

1. Ivković B., 1982., Osnovi tribologije, Beograd, Građevinska knjiga,
2. Stanković P., 1977., Mašine alatke knjiga I i II, Beograd, Građevinska knjiga,
3. Kolčin N.I., 1972., Mehanika mašina tom II, Lenjingrad, Mašinstroenie,
4. Prospektni materijal proizvođača automata "GYROMATIC" i "TOR-NOS".

Mirko Soković, Zoran Seljak \*

VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE NA OBDELOVALNOST INDEFINITNE LITINE

R e z i m e

V prispevku je podan del rezultatov obsežnih raziskav vpliva toplotne obdelave na obdelovalnost indefinitnih valjev pri struženju z uporabo dveh različnih orodnih materialov: karbidne trdine ter rezalne keramike. Poseben poudarek je na obstojnosti orodij ter na kakovosti obdelane površine valjev.

EINFLUSS DER WÄRMEBEHANDLUNG AUF DIE BEARBEITBARKEIT DES INDEFINITGUSSES

Z u s a m m e n f a s s u n g

Der Beitrag berichtet über einen Teil der Resultate von ausführlichen Untersuchungen über den Einfluss der Wärmebehandlung auf die Bearbeitbarkeit der Indefinitwalzen beim Drehen mit der Anwendung von zwei verschiedenen Schneidwerkstoffen: Hartmetall und Schneidkeramik. Ein besonderes Gewicht wurde auf die Standzeit und Oberflächengüte der Walzen gelegt.

1. UVOD

Indefinitna litina je namenjena za izdelavo t.i. "indefinite chill" valjev, ki se uporabljajo v različne namene: za reduciranje in ravnanje cevi, za valjanje srednjih in lahkih ploščatih profilov, debele pločevine in širokih trakov. Še posebno pa je pri nas pomembna njihova uporaba v proizvodnji toplovaljane pločevine debeline od 30 do

1,8 mm in toplovaljanih trakov na verzibilnih ogrodjih (Steckel-Jesenice) ter kontinuirnih progah (Skopje, Smederevo, Sisak) /1, 4/.

Široko področje uporabe indefinitnih valjev povzroča povečano povpraševanje po tovrstnih valjih. Zato je prioriteta naloga proizvajalca, nenehni boj za povečanje količine in kakovosti

---

\* Mr. Mirko Soković, dipl.inž., asistent;  
Dr. Zoran Seljak, dipl.inž., izr.profesor;  
oba Fakulteta za strojništvo, 61000 Ljubljana, Murnikova 2

izdelanih valjev. Povečanje količine ob enakih kapacitetah strojev, je možno le z racionalizacijo dokončne obdelave valjev. Vplivanje na kakovost pa je možno na vseh nivojih tehnološkega procesa izdelave valjev: od ulivanja, preko toplotne obdelave, pa do končne mehanske obdelave, kar so tudi potrdili rezultati obsežnih raziskav /1, 2/.

## 2. ZASNOVA RAZISKAV

Osnovna značilnost "indefinite-chill" valjev je, da imajo ti valji nedoločljivo makrostrukturo od delovne površine proti sredini. Za razliko od običajnih trdih valjev, pri katerih že s prostim očesom zelo dobro ločimo delovno plast od jedra, je za indefinitne valje značilno, da bela (delovna) plast postopoma prehaja v sivo jedro. Vzrok zato je, da ti valji vsebujejo določeno količino izločenega grafita, katerega delež postopoma raste proti notranjosti. Zato je tudi padec trdote delovne površine v globino manj izrazit kot pri trdih valjih, ob enakih ali - pri IN-D-KGR valjih - celo večji upogibni trdnosti /2, 4/.

Zaradi višjih vsebnosti kroma, nikla in molibdena, ki jih ta litina vsebuje, je metalografska struktura indefinitnih valjev po ulivanju sestavljena iz ledeburita, bainita in zaostalega austenita, z vedno večjim deležem interdendridno usmerjenega grafita proti notranjosti odlitka. To strukturo pogojuje hitra ohladitev taline ob steni kokile, zato pogosto to plast valja ob kokili imenujemo tudi zakaljena plast. V posameznih primerih lahko trdota na površini doseže tudi do 650 HB, kar izredno poslabša možnosti obde-

lave s struženjem.

Obsežne raziskave optimalnih parametrov izdelave indefinitnih valjev /1/ so pokazale, da žarjenje za izločevalno utrditev - v določenem temperaturnem intervalu - občutno poboljša obdelovalnost, ob minimalnem padcu trdote v delovni plasti. Na podlagi teh spoznanj smo v naših raziskavah ugotavljali kakšna je obdelovalnost nove vrste indefinitnih valjev, kakovosti IN-D-85, glede na predhodno žarjenje pri različnih temperaturah in časih žarjenja /2, 3/.

### 2.1. Priprava preizkušancev

Preizkušanci so bili odliti pod enakimi pogoji kot odlivajo valje v redni proizvodnji. Kemična analiza taline je podala naslednjo vsebnost legirnih elementov (v %):

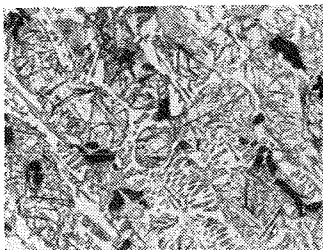
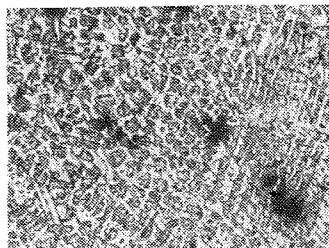
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
3,69	0,85	1,02	0,081	0,062	2,60	4,29	0,52

Visok odstotek posameznih legirnih elementov je pogoj za nastanek "indefinite-chill" strukture.

Za določitev vpliva toplotne obdelave na obdelovalnost pri struženju, smo posamezne skupine vzorcev žarili pri treh različnih pogojih ( $T_{\frac{z}{2}}$ ,  $t_{\frac{z}{2}}$ ). Za primerjavo pa smo imeli še skupino toplotno neobdelanih vzorcev. Metalografska preizkava je pokazala, da imamo v toplotno neobdelanem vzorcu cementit, bainit, zaostali avstenit in grafit. Po žarjenju za izločevalno utrditev pa se ves zaostali avstenit pretvori v bainit z različno stopnjo koagulacije karbidov, ki raste s temperaturo žarjenja (glej metalografske posnetke - sl. 1) /2/. Posledica tega je različen padec trdote od površine proti notranjosti pri posameznih

GLOBINA PLASTI: 10 mm

GLOBINA PLASTI: 50 mm

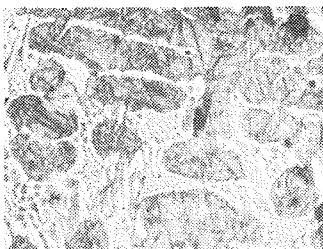
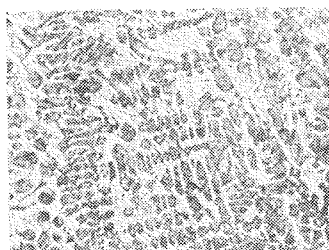


GLOBINA:	10 mm	50 mm
----------	-------	-------

100 μm

CEMENTIT	50 %	30 %
ZAOS. AVST.	25 %	35 %
BAINIT	25 %	35 %
GRAFIT	-	nedoloč.

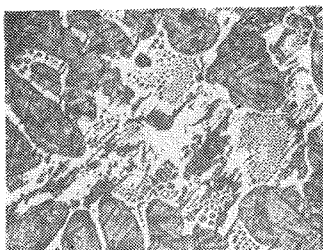
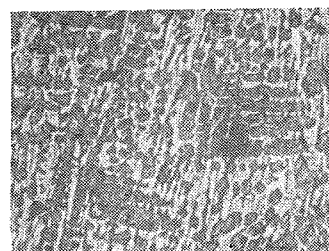
Toplotno neobdelan vzorec (61472)



100 μm

CEMENTIT	50 %	30 %
BAINIT	50 %	70 %
GRAFIT	-	nedoloč.

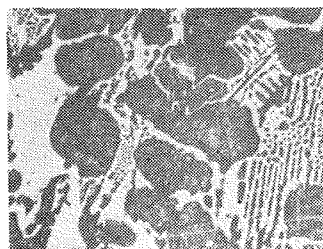
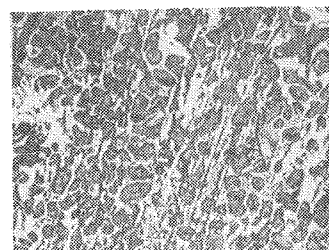
Vzorec žarjen na 470°C (61471/1)



100 μm

CEMENTIT	50 %	35 %
BAINIT	50 %	65 %
GRAFIT	-	nedoloč.

Vzorec žarjen na 550°C (61473/1)



100 μm

CEMENTIT	50 %	40 %
BAINIT	50 %	60 %
GRAFIT	-	nedoloč.

Vzorec žarjen na 600°C (61475/1)

Slika 1: Metalografski posnetki vzorcev iz indefinitne litine IN-D-85 /2/.

vzorcih (diagram - sl. 2).

## 2.2. Pogoji preizkušanja

Zunanjo plast (skorjo) preizkušancev smo odstranjevali z orodjem iz karbidne trdine kakovosti K15. Delovno plast valjev pa smo obdelovali z orodjem iz rezalne keramike kakovosti SH1.

Celotne poizkuse obdelovalnosti smo opravili na eksperimentalni stružnici ES1, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani. Pri obdelavi nismo uporabljali hladilnih sredstev.

## 3. REZULTATI RAZISKAV OBDELOVALNOSTI

V okviru raziskav obdelovalnosti smo zasledovali obrabo orodja, merili rezalne sile ter ugotavljali kakovost obdelane površine /2, 3/. Rezultati raziskav so pokazali, da z gladilnim struženjem z rezalno keramiko SH1 - odvisno od delovnih pogojev - dosežemo površine z  $R_a = 0,8 \dots 0,25 \mu\text{m}$ , kar ustreza srednje finem brušenju. Predhodna toplotna obdelava (začetna trdota na površini preizkusnega valja) bistveno ne vpliva na doseženo kakovost površine.

Pri merjenju rezalnih sil smo ugotovili dve zanimivosti:

- specifične rezalne in podajalne sile pri struženju s karbidno trdino K15, so pri vseh vzorcih večje, kakor pri struženju z rezalno keramiko SH1;
- specifična podajalna sila ( $k_f$ ) je pri struženju s karbidno trdino K15 vseskozi večja od specifične rezalne sile ( $k_c$ ), pri struženju z rezalno keramiko SH1 pa samo

do debeline odrezka  $h < 0,2 \text{ mm}$ .

Na podlagi računalniškega vrednotenja rezultatov obrabnih poizkusov smo določili spremenljive parametre v razširjenem izrazu za rezalno hitrost

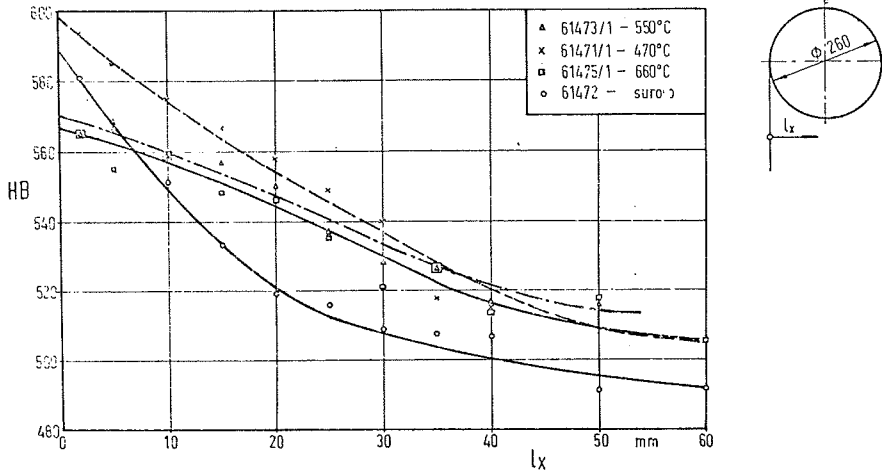
$$v = C \cdot s^{-A} \cdot a^{-B} \cdot VB^C \cdot T^{-D} \text{ [m/min]}$$

ter izrisali diagrame obstojnosti orodij, posebej za obdelavo skorje in posebej za obdelavo delovne plasti. Na sliki 3 sta podana primerjalna diagrama obstojnosti posamezne vrste orodij, pri obdelavi različno toplotno obdelanih vzorcev. Primerjava rezultatov obstojnosti pokaže, da se toplotno neobdelani vzorci slabše obdelujejo, predvsem pa pri izredno nizkih rezalnih hitrostih. Zato obdelava surovih indefinitnih valjev v praksi nebi bila ekonomsko upravičena. Z naknadnim žarjenjem ulitkov za izločevalno utrditev - predvsem pri 550 ali 600°C - se ob neznatnem padcu trdote delovne plasti, bistveno izboljša obdelovalnost pri struženju.

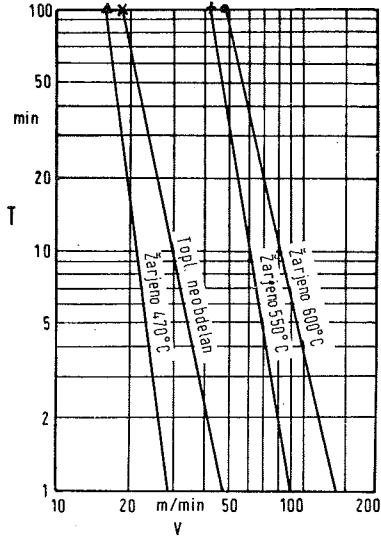
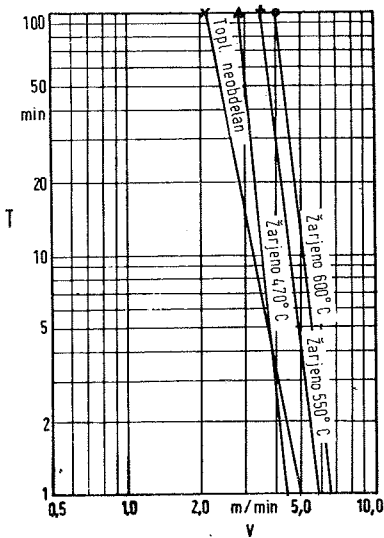
## 4. SKLEPNE UGOTOVITVE

Analiza rezultatov obsežnih raziskav /1, 2/ nas pripelje do sklepov na podlagi katerih je mogoče racionalizirati obstoječi tehnološki postopek obdelave indefinitnih valjev v industrijskih pogojih:

- Žarjenje za izločevalno utrditev je funkcija temperature in časa žarjenja. Pri temperaturah žarjenja nad 400°C se prične izločanje karbidov iz zaostalega avstenita. Transformacija zaostalega avstenita je v popolnosti končana pri temperaturi 500°C, zato je tudi največji porast trdote pri tej temperaturi. Pri žarjenju na višjih temperaturah (v našem primeru



Slika 2: Padeč trdote po globini valja za posamezne vzorce /2/.



Obde. material: IN-D-85 SKORJA  
 Rez. material: K 15  
 Oblika ploščica: SNM6 120408  
 Glob. rezanja: a = 4,0 mm  
 Podajanje: s = 0,2 mm  
 Kriterij obrabe: VB = 0,40 mm  
 Geometrija rezanja:

$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\kappa$	$r$
6°	-6°	-6°	75°	0,8

Obde. material: IN-D-85 DELOVNA PLAST  
 Rez. material: SH 1  
 Oblika ploščica: SNM6 1208 12 T  
 Glob. rezanja: a = 2,0 mm  
 Podajanje: s = 0,2 mm  
 Kriterij obrabe: VB = 0,40 mm  
 Geometrija rezanja:

$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\kappa$	$\epsilon$	$r$
6°	-6°	-4°	70°	90°	1,2

Posneta faza: 15° x 0,2 mm

Slika 3: Primerjalna diagrama obstojnosti orodij za različno toplotno obdelane vzorce /2/.

550 in 600°C) pa pride do koagulacije karbidov, zato začne trdota padati (sl. 2) /1/.

- Obdelava trdih indefinitnih valjev s struženjem s keramiko je možna, vendar je potrebno zunanjo plast (skorjo) odstraniti z orodjem iz karbidne trdine.

- Primerjava rezultatov obstojnosti orodij pokaže, da se toplotno neobdelani vzorci težje obdelujejo, predvsem pa pri izredno nizkih rezalnih hitrostih. Z ustrezno toplotno obdelavo (žarjenjem pri 550°C in 600°C) dosežemo od 1,5 ... 3-kratno povečanje rezalne hitrosti, kar močno poveča ekonomski učinek pri obdelavi indefinitnih valjev.

- Z ustrezno izbiro geometrije orodja iz rezalne keramike ter parametrov rezanja je mogoče doseči kakovostne površine v mejah  $R_a = 0,8 \dots 0,25 \mu\text{m}$ , kar ustreza kakovostnemu

razredu od N6 ... N4 oz. srednje finemu brušenju. Za doseg kakovostnejše površine je treba takšne valje samo še fino (polirno) brusiti. S tem je dana možnost za občutno racionalizacijo dokončne obdelave indefinitnih valjev za toplo valjanje pločevine.

## 5. LITERATURA

- /1/ Mlakar, F., Tučić, V., Mlač, B.: Optimalni parametri izdelave "Indefinite-chill"valjev, Metalurški inštitut, Ljubljana, 1980.
- /2/ Skupina avtorjev: Raziskava obdelovalnosti litine, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, interno poročilo za Železarno Štore, 1982.
- /3/ Soković, M., Seljak, Z.: Raziskava obdelovalnosti indefinitne litine, III. Naučno-stručni skupen m m a "83, Novi Sad, 1983.
- /4/ x x x : Lito železni valji, kataloško gradivo, Združene slovenske železarne, Železarna Štore.



Janez Kopač, Zoran Seljak\*

VPLIV TOPLOTNE OBDELAVE IN POGOJEV REZANJA NA OBLIKOVANJE ODREZKOV  
PRI STRUŽENJU KONSTRUKCIJSKIH JEKEL

R e z i m e

Za določanje obdelovalnosti materiala je pomembno tudi poznavanje oblikovanja odrezkov. Ugotovili smo že, da toplotne obdelave kot so žarjenje, normaliziranje in poboljšanje vplivajo na spremembo obstojnosti orodja. V tem članku pa želimo prikazati še vpliv toplotnih obdelav na oblikovanje odrezkov. Razvidno je, da ne samo vrsta orodja in pogoji obdelave, pač pa tudi s toplotno obdelavo dosežena struktura konstrukcijskega jekla, znatno vpliva na področje ugodnih odrezkov.

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT AND CUTTING CONDITIONS ON CHIP FORMATION  
IN THE PROCESS OF TURNING STRUCTURAL STEEL

S u m m a r y

In order to define material machinability it is also important to know the chip formation process. It has already been established that different heat treatment methods such as annealing, normalizing and tempering exert an influence on tool life. In this paper our attention is focused on the influence of different heat treatment methods on chip formation. It is shown that not only the cutting tool and cutting conditions but also the steel structure achieved by heat treatment has an important effect on the area of favourable chip formation.

1. UVOD

Na željo proizvajalca, ki izdeluje konstrukcijska jekla Č.1531 in Č.4131 smo opravili raziskave obdelovalnosti omenjenih materialov. S toplotno obdelavo spremenimo strukturo obdelov.

materiala, zato je potrebno tudi ugotoviti, koliko se s tem spremeni obdelovalnost takega jekla. Za raziskave smo izbrali žarjen, normaliziran in poboljšan material, kjer smo za-

---

\* mag. Janez Kopač, dipl.ing., višješolski predavatelj,  
dr. Zoran Seljak, dipl.ing., profesor;  
oba na Fakulteti za strojništvo Ljubljana, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

sledovali obstojnost svedrov /1/.  
 Problematiko oblikovanja odrezkov pri vrtnanju rešujemo tako, da postopek vrtnanja prekinjamo in s tem dobimo željene dolžine odrezkov. Na večje težave pri oblikovanju odrezkov naletimo, če material obdelujemo s struženjem. Pri tem na dosego ugodne oblike odrezkov vpliva več faktorjev:  
 - spreminjanje obd. pogojev (v,s,a)  
 - spreminjanje geometrije orodja  
 - lomilna stopnička  
 - legirni elementi.

Za vsak material torej želimo predpisati enega ali več načinov, s katerim bomo zagotovili, da se bodo pri struženju odrezki primerno oblikovali in lomili. S tem bomo zagotovili varnost delavca, ki streže stroj, zavarovali orodje in obdelovanec pred lomi in poškodbami in omogočili olajšan transport odrezkov od stroja. Z določitvijo tehnologije obdelave, ki zagotavlja tudi ugodne odrezke, omogočimo tudi obdelavo na NC in CNC obdelovalnih strojih, kjer delavec nima pristopa v času, ko stroj reže, in tako ne more posredovati v primeru neugodnega navijanja odrezka.

## 2. METALOGRAFSKI PODATKI O PREIZKUŠANIH MATERIALIH

Jeklo Č.1531 z interno oznako Ž.R.-Ck45 je bilo valjano na okrogle paličice  $\phi$  80 mm in razrezano na pogače /2/.  
 Kemijska sestava sarže je v utežnih odstotkih:

C	S	Si	Cu	Mn	P
0,44	0,024	0,22	0,34	0,60	0,021

Po valjanju je bilo jeklo termično obdelano:  
 žarjeno  
 normalizirano  
 poboljšano.

Po vsakem postopku termične obdelave so bile določene mehanske lastnosti vzorca:

Rm - natezna porušna trdnost v N/mm<sup>2</sup>  
 Re - meja plastičnosti v N/mm<sup>2</sup>

A - raztezek v %

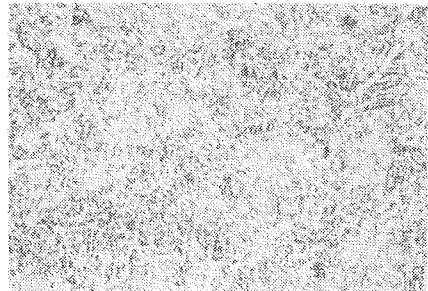
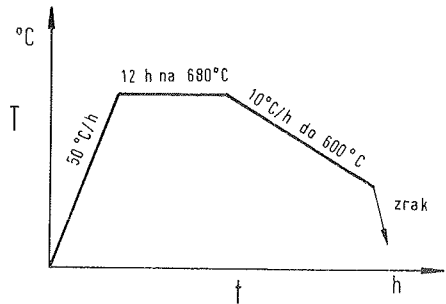
Z - konstrukcija v %

žilavost v J po ISO-U 3

Strukture jekla so slikane pri 500x povečavi ob površini obdelovanca.

a) ŽARJEN vzorec /1Ž/

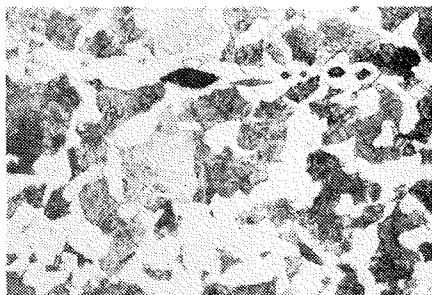
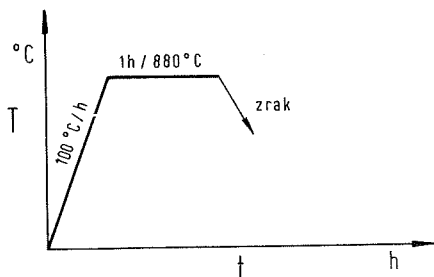
Struktura je sferoidizirana in je približno 5 % lamel-kroglični in lamelarni perlit



Rm	Re	A	Z	žilavost
610	425	28	70	72

b) NORMALIZIRAN vzorec /1N/

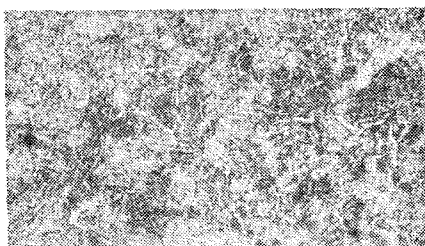
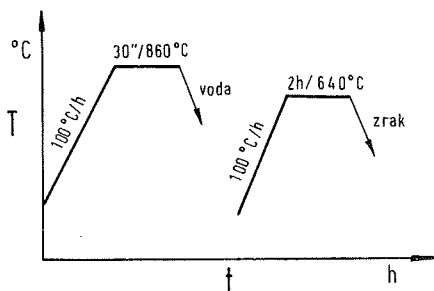
Struktura jekla je iz zrn ferita in lamelnega perlita



Rm	Re	A	Z	Žilavost
670	415	23	51	37

## c) POBOLJŠAN vzorec /1P/

Ob površini in do globine 20 mm je v strukturi visoko popuščani bainit, nato se pojavi na mejah avstenitnih zrn mreža ferita, v zrnju je visoko popuščani bainit. Feritna mreža se proti sredini debeli



Rm	Re	A	Z	Žilavost
730	495	23,5	64	76,68

Jeklo Č.4131 ima naslednjo kemično sestavo:

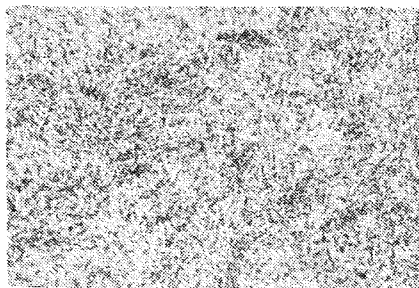
C	S	Si	Cr	Cu	Mn	P
0,42	0,0222	0,19	0,98	0,28	0,77	0,030

Postopki termične obdelave so enaki kot pri prej opisanem jeklu.

## d) ŽARJEN vzorec /2Ž/

Vzorci smo naložili v peč pri 300 °C in jih ogrevali s hitrostjo 100 °C/h do temperature 680 °C, 12 ur. Nato smo jih ohlajali s hitrostjo 10 °C/h do temperature 600 °C naprej pa na zraku.

Rm	Re	A	Z	žilavost
720	565	23,5	68	100,90



Struktura je kroglični perlit in je 100 % sferoidizirana in rahlo usmerjena.

## e) NORMALIZIRAN vzorec /2N/

Vzorci smo ogrevali s hitrostjo 100 °C na uro do temperature 880 °C, kjer smo jih držali 1 uro. Nato smo jih ohlajali na mirujočem zraku. Po normalizaciji so imeli vzorci naslednje mehanske lastnosti:

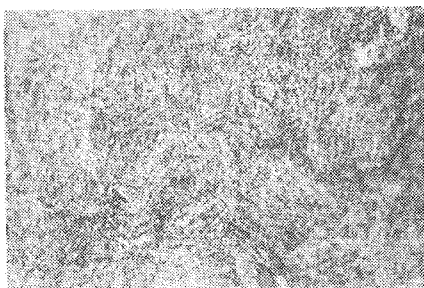
Rm	Re	A	Z	žilavost
800	475	20	58	28,30

V strukturi jekla imamo zrna ferita in zrna lamelnarnega perlita.

f) POBOLJŠAN vzorec /2P/

Jeklo smo ogrevali do 300°C s hitrostjo 100°C/h do temperature 860°C in ga držali na tej temperaturi 30 minut. Nato smo ga kalili v vodi. Po kaljenju smo ga 2 uri popuščali na temperaturi 640°C in nato ohladili na mirujočem zraku. Dobili smo naslednje mehanske lastnosti:

Rm	Re	A	Z	žilavost
880	740	20	64	67,74



Struktura jekla je ob površini do globine 30 mm v obliki visoko popuščenega martenzita in bainita. Proti sredini pa narašča odstotek popuščenih struktur bainita in se na posameznih mejah pojavi prosti ferit.

### 3. ORODJE IN GEOMETRIJA

Uporabili smo obračalno ploščico iz karbidne trdine SNMG 120408 SV 25. Ploščica je bila pritrjena na držalo L.174.3-3225 F-12, kar nam da skupno geometrijo rezanja:

$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\chi$	$\xi$	r
6	6	-4	75	90	0,8

### 4. IZVEDBA POSKUSOV IN REZULTATI

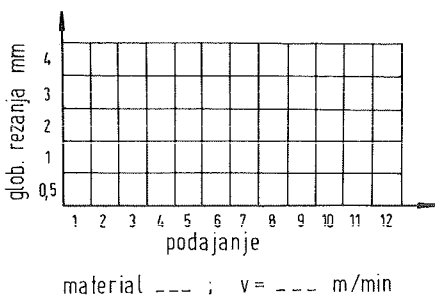
Za prikaz vplivnih parametrov smo za

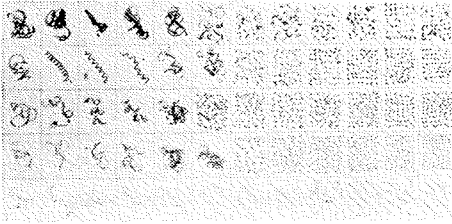
testiranje oblike odrezkov izbrali naslednje vplivne faktorje:

- dva različna obdelovalna materiala:
  - Č.1531 /1/
  - Č.4131 /2/
- tri toplotne obdelave:
  - žarjen /Ž/
  - normaliziran /N/
  - poboljšan /P/
- dve rezalni hitrosti:  $v = 75; 150$  m/min
- dvanajst podajalnih hitrosti:
  - 1 = 0,054; 2 = 0,085; 3 = 0,106;
  - 4 = 0,130; 5 = 0,165; 6 = 0,193;
  - 7 = 0,218; 8 = 0,24; 9 = 0,270;
  - 10 = 0,303; 11 = 0,342; 12 = 0,380 mm/vrt
- pet globin rezanja.

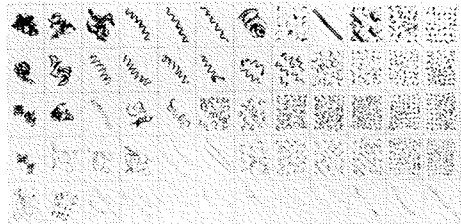
Zgoraj navedene označbe so uporabljene pri opisu fotografij zaradi omejenega prostora.

Vzorci odrezkov so bili zbrani in nato fotografirani. Pomanjšane fotografije nam še vedno uspešno prikazujejo področja ugodnih odrezkov.





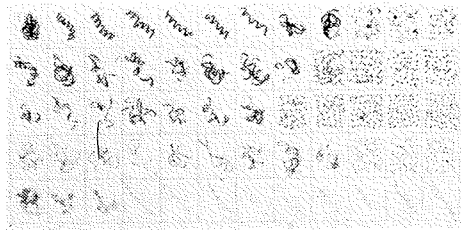
material 1Ž; v = 75 m/min



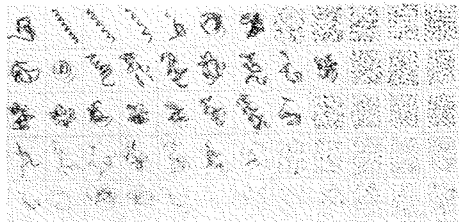
material 1N; v = 75 m/min



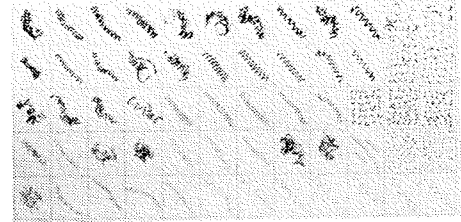
material 1Ž; v = 150 m/min



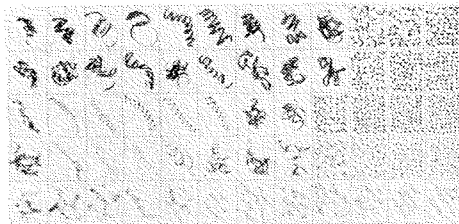
material 1N; v = 150 m/min



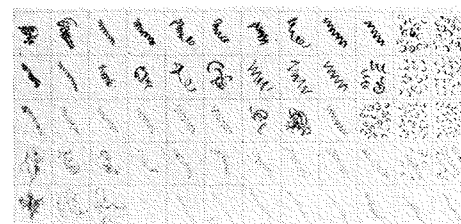
material 2Ž; v = 75 m/min



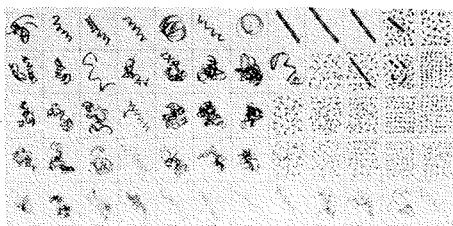
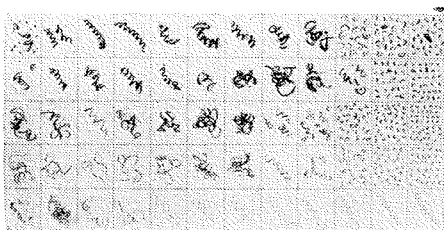
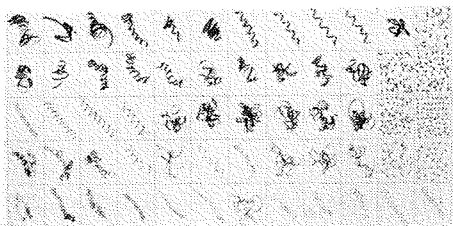
material 2N; v = 75 m/min



material 2Ž; v = 150 m/min



material 2N; v = 150 m/min

material 1P;  $v = 75$  m/minmaterial 1P;  $v = 150$  m/minmaterial 2P;  $v = 75$  m/minmaterial 2P;  $v = 150$  m/min

Pri analizi področja ugodnih in neugodnih odrezkov ugotovimo, da je pri struženju jekla č.1531 območje pogojev dela, kjer dobimo ugodne odrezke širše, kot pri jeklu č.4131. Prav tako je bolj ugodna manjša rezalna

hitrost.

Vpliv toplotne obdelave jekla je najbolj opazen pri žarjenem stanju, kjer je območje ugodnih odrezkov najširše. Sledi normaliziran material, dočim je pri poboljšanem materialu območje ugodnih odrezkov najbolj skrčeno. To si razlagamo iz priloženih fotografij strukture, kajti pri žarjenem materialu je prisoten krogljični in lamelarni perlit, ki ugodno vpliva na tvorbo odrezkov.

Globina rezanja  $a = 2$  mm nam da najbolj široko območje ugodnih odrezkov. Glede na razmerje  $a/r$  to je globina rezanja/radij orodja, dobimo pri globini rezanja  $a = 0,5$  mm in uporabljenemu orodju z radijem  $r = 0,8$  mm pretežno zvezne odrezke, kar je posledica prevelikega radija.

## 5. LITERATURA

- /1/ Seljak, Z., Kopač, J.: Odvisnost obrabe orodij od obdelovalnega procesa, 9. seminar, Ljubljana, 1983.
- /2/ Rodič, A: Metalografsko poročilo o jeklu č.1531 in č.4131.

Opomba: Pri komentarju vzorca /2 N/, to je jeklo č.4131 - normaliziran, je izpadla fotografija strukture, ki jo prilagamo.



Vincenc Tomc, Zoran Seljak\*

AUTOMATIZIRANA STREGA SEKALNEGA STROJA

P o v z e t e k

Pri izsekavanju tesnil za glavo motorja nam ostajajo kot odpadek rondelle. Iz njih lahko izsekujemo manjša tesnila. Izdelali smo dodajalno napravo z drsnikom, ki iz zalogovnika dodaja rondelle v orodje sekalnega stroja. Odvzemna naprava sestavljena z elektromagnetnega prijemala, rotacijske enote in translacijske enote za dvig, odvzema izsekana tesnila in jih spušča v zaboj. Delavka polni zalogovnik z rondelami, nadzira celotni sistem strege in že pakira izdelana tesnila. Produktivnost tako organiziranega delovnega mesta se je močno povečala.

AUTOMATISIERTE HANDHABUNG DER STANZMASCHINE

Z u s a m m e n f a s s u n g

Beim Stanzen der Motorkopfdichtungen treten Rondelle als Abfallprodukte auf. Aus diesen Rondellen können kleinere Dichtungen gestanzt werden. Eine Zubringeeinrichtung mit einem Schieber, den aus dem Magazin die Rondellen in das Werkzeug der Stanzmaschine zubringt, wurde konstruiert. Die Abnahmeeinrichtung bestehend aus einem elektromagnetischen Greifer, Dreh und Translationseinheit für den Hub, nimmt die gestanzten Dichtungen ab und lässt sie in die Kiste fallen. Der Bedienungsmann füllt das Magazin mit Rondellen, überwacht das gesamte Handhabungssystem und auch schon packiert die gefertigten Dichtungen. Die Produktivität eines auf der Weise organisierten Arbeitsplatz wurde sehr erhöht.

1. DEFINICIJA IN RAZČLENITEV

PROBLEMA

Pri izdelavi toplotno obremenjenih tesnil za motorno industrijo uporabljamo uvožen azbestni tesnilni material. Pri izsekavanju tesnil za glavo

---

\* Vincenc Tomc, ing. tehnični sodelavec,  
prof.dr. Zoran Seljak, dipl.ing.,  
oba Fakulteta za strojništvo, Munikova 2, 61000 Ljubljana.

motorja nam ostajajo kot odpadki ron-  
dele. Dosedanja izraba teh rondel je  
bila le delna. Iz posameznih vrst so  
izdelovali manjša tesnila za tesnenje  
izpušnih cevi. Strega stiskalnice je  
potekala ročno. Delavka na tem delov-  
nem mestu je opravljala enolično in  
nevarno delo. Vsako rondelo je morala  
ročno postaviti na orodje, odvzeti  
izsekano tesnilo in odstraniti odpa-  
dek.

Z analizo odpadnih rondel in pregle-  
dom stiskalnic, ki se uporabljajo za  
izdelavo manjših tesnil, naj bi poi-  
skali možnosti za avtomatizacijo strež-  
nih funkcij na teh delovnih mestih.  
Strego stiskalnice naj bi v celoti  
avtomatizirali in s tem kar najbolj  
pripomogli k čim večji izkoriščenosti  
azbestnega materiala.

Premeri izsekanih rondel se gibljejo  
od 65 mm do 130 mm in debeline od  
1,4 mm do 1,8 mm. Konstrukcija doda-  
jalne naprave in naprave za odvzema-  
nje tesnil naj bo tako prirejena, da  
se lahko z manjšimi spremembami pri-  
lagodimo različnim dimenzijam rondel  
in izsekanih tesnil.

Za avtomatizacijo smo izbrali stiskal-  
nico MSC-1-40. Omogoča prigraditev  
mehanizmov za avtomatično strego in  
vključitev v enotni krmilni sistem.

## 2. KONSTRUKCIJA NAPRAV ZA AVTOMATIZIRANO STREGO

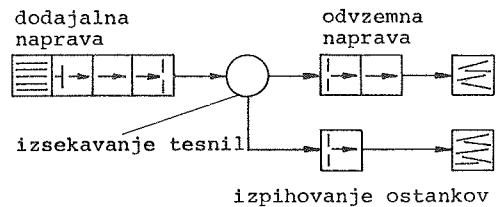
### 2.1. Postopek avtomatizacije strege

Pri razvoju strežne naprave smo pred-  
videli, da bi postopek strege stis-  
kalnice v celoti potekal avtomatično.  
To pomeni, da bi dodajanje materiala  
v stiskalnico ter odzemanje tesnil

in ostankov popolnoma prepustili me-  
haniziranim strežnim napravam. Celot-  
ni postopek strege lahko razdelimo na  
naslednje funkcije:

1. zlaganje rondel v magazin,
2. transport rondel do orodja,
3. pozicioniranje v orodju,
4. izsekavanje tesnil,
5. odzemanje tesnil,
6. izpihovanje ostankov,
7. odlaganje tesnil v zaboj.

S simboli za osnovne strežne funkcije  
/1/ celotni postopek strege prikažemo  
s funkcijsko shemo (slika 1.)



Slika 1.: Prikaz strege stiskalnice z  
osnovnimi strežnimi funkcijami

V nadaljevanju moramo reševati dve  
glavni funkciji:

- dodajanje rondel v stiskalnico;
- odzemanje tesnil in odpadkov iz  
stiskalnice.

### 2.2. Naloga strežne naprave

Naloga naprave za strego stiskalnice  
je dodajanje izsekanih rondel iz ma-  
gazina v orodje, ter odzemanje tes-  
nil iz orodja. Zahteve, ki se postav-  
ljajo pri izvedbi avtomatične strežne  
naprave, so:

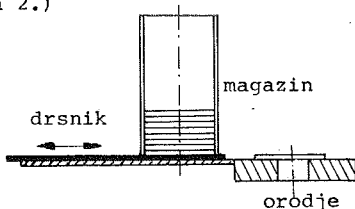
- enostavna izvedba;
- hitro in zanesljivo izvajanje strež-  
nih funkcij;
- možnost prilagajanja strežne naprave  
različnim velikostim rondel in ob-  
likam izsekanih tesnil;
- preprosto vzdrževanje;



- enostaven prehod iz avtomatične na ročno strego stiskalnice;
  - majhen delovni prostor.
- Glede na dane zahteve moramo poiskati ugodno rešitev za realizacijo strežne naprave.

### 2.3. Dodajalna naprave

Čas, potreben za izsekavanje tesnila iz rondele je zelo kratek. Dodajanje je vezano na takt stroja, zato mora biti dodajalni gib čim hitrejši. Pri pregledu najrazličnejših dodajalnih naprav /2/, smo se na podlagi preizkusov, ki smo jih opravili na modelu, odločili za drsno dodajalno napravo s premočrtnim gibanjem drsnika (slika 2.)



Slika 2.: Dodajanje z drsnikom

Dodajalna naprava je sestavljena iz dveh glavnih sestavnih delov: magazina za rondele ter drsnika s pogonskim cilindrom in vodili.

Magazin sestavlja nosilna plošča v katero so privite štiri vodilne palice. Zgornji obroč je le nataknen na palice in jih drži na določenem premeru. Pri menjavi dimenzij izsekanih rondel moramo zamenjati le nosilno ploščo in zgornji obroč, medtem ko palice lahko uporabimo za sestavo novega magazina.

Dodajanje rondel v orodje sekalnega stroja opravlja drsniški element, ki je voden z vodili. Gnan je s pnevmatskim cilindrom hoda 400 mm in premera bata

50 mm. Dimenzije so pogojene s celotno konstrukcijo sistema strege. Upoštevali smo tudi zahtevo po čim krajšem dodajalnem ciklu. Drsnik je možno enostavno zamenjati, glede na različen premer rondel.

Dodajalna naprava je pritrjena na zvarjeno nosilno ogrodje. Kot celoto jo potem lahko enostavno pritrdimo na levi bok sekalnega stroja.

### 2.4. Naprava za odzemanje tesnil

Po končani delovni operaciji, izsekanju tesnila, na orodju ostane tesnilo in obrezek. Najprej moramo odvzeti tesnilo, da bi lahko nato izpihnili ostanek. Za odvzem tesnila potrebujemo prijemalo, translacijsko enoto za dvig in rotacijsko enoto, da lahko tesnilo prenesemo iz območja stroja in spustimo v zaboj.

#### 2.4.1. Prijemalo

Pri iskanju vrste prijemala smo lahko izbirali med pnevmatskim in magnetnim prijemalom. Tesnila so izdelana iz lahkega azbestnega materiala, ki je v sredini ojačan s kovinsko mrežico. Razpoložljiva površina za prijemanje tesnila je majhna, kar nam predstavlja še dodatno omejitev. Odločili smo se za izvedbo prijemala z elektromagnetnimi prijemalnimi elementi /3/. Ti so pritrjeni na nosilno ploščo. Z različnim številom in ustrezno razporeditvijo prijemalnih magnetov, prijemalo lahko prilagodimo za odzemanje različnih oblik in velikosti izsekanih tesnil. V našem primeru smo uporabili dve standardni tuljavi, ki jih uporabljajo pri izdelavi relejev 24 V istosmerne napetosti. S poizkusi je bilo dokazano v obratovanju pa še potrjeno, da je tak način odzemanja

tesnil varen in zanesljiv.

#### 2.4.2. Translacijska enota

Tesnilo moramo pri odvzemanju iz orodja dvigniti. Skonstruirali in izdelali smo translacijsko enoto s kratkimi gibi do 30 mm. Glavni sestavni deli so: priključni blok, bat, batnica, vodila, priključni plošči in pokrova.

Priključni blok je izdelan iz aluminijeve zlitine. V blok so izvrtane izvrtine za bat in vodila. Na spodnji strani bloka so izdelane tudi navojne izvrtine za pritržitev enote. Blok zapirata levi in desni pokrov z vgrajenimi posnemali za vodila in batnico.

Premer bata  $d = 32$  mm smo izbrali glede na silo, ki jo mora translacijska enota premagovati pri odvzemanju tesnil. Vodili sta vođeni z bronastimi pušami in mazani z mastjo. Za tesnenje smo izbrali standardna tesnila kot so vgrajena v pnevmatskih cilindrih /4/. Dušenje udarcev v končnih legah je izvedeno s pomočjo trde gume, ki je pritržena v vijaku za nastavljanje giba translacijske enote.

#### 2.4.3. Rotacijska enota

Rotacijsko enoto potrebujemo za zavrtitev prijemala, ki iznaša tesnila iz orodja. Izdelamo jo lahko na več možnih načinov. Odločili smo se za izvedbo z zobato letvijo in zobnikom, ter izbrali princip dušenja v končnem položaju. Velikost rotacijske enote smo izbrali glede na vztrajnostni moment, ki ga povzročča prijemalo z ročico in rotacijski del enote. Pri konstrukciji smo si prizadevali uporabiti čim več standardnih delov od pnevmatskih cilindrov. Z omejitvijo hoda je omogočeno tudi poljubno nastavljanje

zasušnega kota od  $0^{\circ}$  do  $160^{\circ}$ . Zobnik je vležajen z obojestransko zaprtimi ležaji. Pri montaži enote sta zobnik in zobati letvi mazani z mastjo. Tesnilne manšete na batu se sprotno mažejo z naoljenim stisnjenim zrakom.

### 3. POGON IN KRMILJENJE

#### 3.1. Pogon strežne naprave

Zaradi zahteve po veliki hitrosti dodajanja rondel in odvzemanja tesnil ter enostavnosti in cenenosti izvedbe, lahko izbiramo med hidravličnim in pnevmatičnim pogonom. S hidravličnim pogonom lahko dosežemo velike sile in hitrosti, zahteva pa lastno oskrbo z oljem pod tlakom.

Pnevmatski način pogona zahteva stisnjen zrak, ki je praktično na voljo v vseh industrijskih obratih. Pnevmatski elementi lahko popolnoma zamenjajo človeka pri /5/:

- hitrosti dela;
- moči;
- ceni energije;
- delu v zdravju škodljivih pogojih.

#### 3.2. Krmiljenje strežne naprave

Krmilna naprava je sestavljena iz logičnih blokov Simatic C1 /6/ v katerih so integrirana vezja z različnimi funkcijami povezav. V napravi so uporabljena naslednja vezja: IN, ALI, NALI, RS Flip-Flop, časovni člen, ojačevalca, indikator z LED diodami, zaščitni element. Simatic C1 vezja so neobčutljiva na motnje, preobremenitve in kratke stike na vvhodih in izhodi. Vsi ventili in magneti so krmiljeni direktno s polvodniškimi ojačevalci in je tako življenska doba praktično neomejena. Sklopka na sekalnem stroju vklapljam o z relejem, zaradi

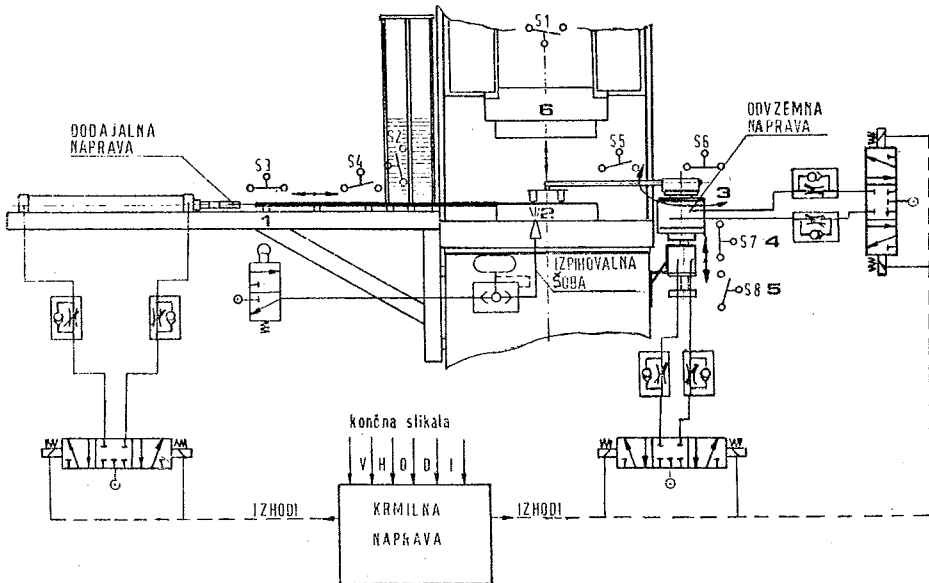
galvanske ločitve krmilnih napetosti naprave in stroja. Naprava ima tri načine delovanja: avtomatsko, koračno, nastavljanje.

Na sliki 3. je prikazana vezna shema celotne strežne naprave. Vsaka posamezna enota ima v končnih položajih končna stikala /7/, ki so vezana na krmilno napravo kot vhodni signali. Tudi zalogovnik ima končno stikalo, ki da signal, ko je zalogovnik prazen. Izhodni signali pa so vezani na pnevmatske krmilne ventile in na sklopko stiskalnice za vklop delovnega cikla.

- Pehalo stiskalnice je zgoraj - položaj 6.

Na krmilni omarici preklopimo stikalo na položaj ročno nastavljanje. S tipkami aktiviramo posamezne enote in nastavimo dolžine gibov. Potem preklopimo na avtomatsko delovanje in pritisnemo stikalo START. Potek strege je sledeč:

- drsnik dodajalne naprave potisne rondelo iz zalogovnika v orodje in se vrne v položaj 1
- pehala opravi delovni gib - položaj 2 in se vrne v položaj 6
- rotacijska enota zavrti prijemalo v



Slika 3.: Vezna shema strežne naprave sekalnega stroja

### 3.3. Opis delovanja strežne naprave na stiskalnici

Osnovni položaj strežne naprave (slika 3.):

- Dodajalna naprava je v izhodiščni legi - položaj 1
- Odvzemna naprava je v izhodiščni legi - položaj 3 in 4

orodje - položaj 2

- translacijska enota spusti prijemalo - položaj 5
- magnetna prijemala primejo tesnilo
- translacijska enota dvigne prijemalo - položaj 4
- rotacijska enota zavrti prijemalo za  $90^\circ$  - položaj 3
- magnetna prijemala spustijo tesnilo

- v zaboj
- izpihovalna naprava pri naslednjem gibu drsnika izpihne ostanek skozi odprtino v sekalnem stroju
- foto celica kontrolira odpih odpadka.

Delovanje se ustavi, če kateri od potrebnih pogojev ni izpolnjen. Prav tako se ustavi, če je zalogovnik prazen. Sklene se stikalo S2 in na krmilni napravi zagori rdeča luč. Program je tako sestavljen, da prijemalo ne more biti v položaju 2, ko se opravi delovni gib pehala.

#### 4. SKLEPNE UGOTOVITVE

Obdobje gospodarske stabilizacije je vplivalo, da so tudi v naših delovnih organizacijah začeli razmišljati o kvalitetnejši in racionalnejši proizvodnji. Z uvajanjem cenjenih strežnih naprav je mogoče doseči bistvene prihranke pri energiji, materialu in času. Odprava ročnih delovnih mest pa pripomore k humanejši proizvodnji. V našem primeru nismo popolnoma nadomestili delavke. Delavka je potrebna za zalaganje zalogovnika in nadzor celotnega sistema. Medtem lahko tudi že

pakira izdelana tesnila. Produktivnost tako organiziranega delovnega mesta se je povečala za 100 %.

#### 5. LITERATURA

- /1/ Seljak, Z., 1980, Avtomatizacija pretoka materiala pri obdelovalnih procesih, Ljubljana, Fakulteta za strojništvo
- /2/ Soković, M., Noe, D., 1976, Posebne naprave za dodajanje in odzemanje kosovnih obdelovancev, Ljubljana, Fakulteta za strojništvo
- /3/ Katalog: Magnetna prijemala, Ljubljana, ISKRA
- /4/ Katalog: TIO-pnevmatika, Lesce
- /5/ Nikolić, G., 1976, Pnevmatško upravljanje, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- /6/ Katalog: Steuerungssystem Simatic C1, Siemens
- /7/ Katalog: Metalfleks - Mikrostikala, Tolmin, Podjetje za proizvodnjo industrijske opreme.

Ranko Milović\*

OBRADA ČELIKA ZA AUTOMATE SA OSLOJENIM  
ALATIMA OD BRZOREZNOG ČELIKA

R e z i m e

Ispitivan je uticaj materijala alata na obradljivost nisko-ugljeničnog (0.08%C) čelika za automate. Nakon obrade sa 75 m/min u trajanju od 20 min., izmjerena je na alatu od brzoreznog čelika dubina kratera  $\sim 115\mu$  u poredjenju sa  $\sim 40\mu$  na alatu od tvrdnog metala (WC-Co), dok nije bilo mjerljivog habanja na alatu od brzoreznog čelika osloje-nom s titan-nitridom (TiN). Manganovi sulfidi su istisnu-ti iz radnog komada u toku rezanja i nataloženi u obliku sloja na grudnu površinu oslojenog alata. Ovaj sloj je skoro potpuno spriječio formiranje velikih naslaga na ala-tu pri obradi sa malim brzinama rezanja, dok je pri većim brzinama rezanja djelovao kao podmazujući sloj između grudne površine alata i strugotine. Zadržavanje manganovog sulfida na grudnoj površini alata je rezultat stroge adhezije između MnS i TiN. Ovaj tip adhezije nije moguć između MnS i brzoreznog čelika, niti između MnS i tvrdnog metala, pa su zbog toga rezultirali veći otpori rezanja i veće te-perature pri obradi sa ovom grupom alata.

MACHINING OF FREE-CUTTING STEELS WITH COATED  
HIGH SPEED STEEL TOOLS

S u m m a r y

The effect of tool material on the machinability of 0.08%C free-cutting steel has been investigated in detail. When cutting at 75 m/min for 20 mins with uncoated high speed steel (HSS) tool, the depth of the crater was  $\sim 115\mu$  compared with  $\sim 40\mu$  for the carbide tool (WC-Co), but there was no measurable wear on the titanium-nitride (TiN) coated HSS tool. The manganese sulphide (MnS) inclusions were drawn out from the workpiece during cutting and covered the rake surface of TiN coated HSS tool. This MnS layer prevented almost entirely the formation of a large built-up edge (BUE) at low cutting speed and at high speed the MnS acted as a lubricating layer interposed between the tool rake surface and the chip. The retention of the MnS at the rake surface was the result of a strong bond between MnS and the TiN coating. The MnS can not bond to either the HSS or the carbide tools and therefore higher tool forces and higher temperature were detected with these classes of tools.

\* Dr Ranko Milović, dipl.ing., Željezara "Boris Kidrič", 81400 Nikšić

## 1. Uvod

Čelici za automate se koriste za masovnu proizvodnju dijelova, uglavnom, na više-vretenim automatima. Pošto dozvoljavaju veće brzine rezanja, obezbjeđuju dobar kvalitet obradjene površine i manje habanje alata, smanjuju otpore rezanja i daju strugotinu koja se lako odvodi iz zone rezanja. Mehanizmi preko kojih djeluju određeni aditivi prisutni u čelicima za automate na obradljivost izučeni su detaljno u [1], pa ovaj rad obuhvata samo ispitivanje uticaja materijala alata na obradljivost čelika za automate.

Povećanje produktivnosti rada pri mašinskoj obradi, po osnovu kvaliteta obradjene površine i habanja alata, uslovljeno je korišćenjem oslojenih alata od tvrdog metala ili keramičkih alata. Međutim, dio mašinske obrade još uvijek se vrši na automatima, gdje se obradjuju čelici u šipkama prečnika do 40 mm, što uslovljava male brzine rezanja, <150 m/min, pri čemu se uglavnom koriste alati od brzoreznog čelika.

Pri obradi čelika za automate neizbježno je formiranje naslaga na alatima, koje utiču prije svega na kvalitet obradjene površine i dovode u pitanje teoretske predikcije o kvalitetu proizvoda i habanju alata, pa je izuzetno važno izučavanje obradljivosti čelika za automate.

## 2. Uslovi ispitivanja

Obrada uzdužnim struganjem je izvedena na V.D.F. strugu sa kontinualnom promjenom broja okretaja, pri čemu je varirala brzina rezanja, dok su posmak,  $s = 0,203$  mm/ob., i

dubina rezanja,  $a = 2,0$  mm, bili konstantni u toku ispitivanja.

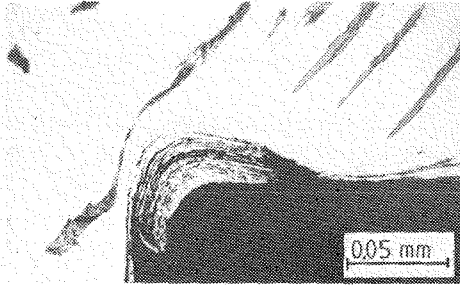
Korišćeni su radi uporedjenja oslojeni i ne-oslojeni alati od brzoreznog čelika M42 (Mo-max) i T42 (Edgar Allen, Stag Supersint) - British Standard BS4659:1971 i WC-Co alati od tvrdog metala (loF-WIMET). Geometrijski elementi alata nijesu varirali i bili su: grudni ugao  $\gamma = 5^\circ$ , ledjni ugao  $\lambda = 6^\circ$ , ugao vrha alata  $\xi = 90^\circ$ , napadni ugao  $\kappa = 75^\circ$  i poluprečnik zaobljenja vrha alata  $r = 0,8$  mm. Alati u obliku izmenljivih pločica tipa SPUN 120308 mehanički su pričvršćivani u držač alata standardne izvedbe.

Ispitivanja su vršena sa jednim materijalom obradka i to tipičnim nisko-ugljeničnim čelikom za automate 220 Mo7 (British Standard, BS 3100), koji odgovara čeliku Č.3990 po JUS. Materijal je isporučen u šipkama prečnika  $\varnothing 88$  mm, u hladno-vučenom stanju tvrdoće 165 HV i sledećeg hemijskog sastava: 0,08%C, 0,02%Si, 1,04%Mn, 0,24%S, 0,025%P i 0,002%Al.

## 3. Eksperimentalni rezultati

Pri obradi čelika za automate sa alatima od brzoreznog čelika i alatima od tvrdog metala, otkrivene su korišćenjem "Quick-stop" uređaja [1] naslage na alatima formirane u toku procesa rezanja. Velike naslage, međutim, nisu primijećene na alatima oslojenim sa TiN, već su bile prisutne relativno stabilne naslage na reznoj oštrici alata u obliku kape, Si<sub>1</sub>. Ovako formirana naslaga na alatu djelovala je kao važan dio mehanizma preko koga su manganovi sulfidi istiskivani na

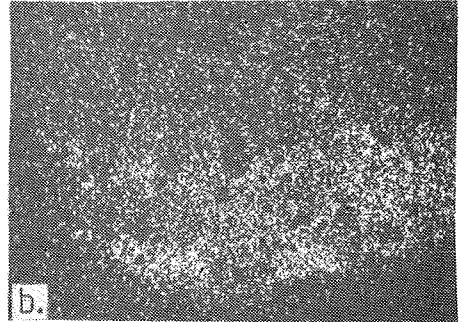
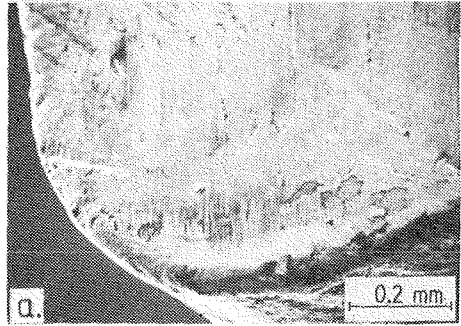
grudnu površinu alata u toku rezanja. Naslaga prisutna na alatu oslojenom sa TiN (Sl.1), praktično je onemogućila ledjno habanje alata. Pored toga manganovi sulfidi, imajući manju tvrdoću od deformisane feritne osnove čelika [2], kontinualno su istiskivani na grudnu površinu alata. Usled stroge adhezije između MnS i TiN [3], formiran je na površinu alata sloj MnS, sprečavajući formiranje kratera, Sl.2.



Sl.1 - "Quick-stop" - naslaga prisutna u zoni rezanja pri obradi oslojenim alatom od brzoreznog čelika sa 75 m/min.

Pošto hemijski nije moguća stroga adhezija između MnS i brzoreznog čelika, niti između MnS i WC-Co alata [3], došlo je do većeg habanja ove grupe alata pri obradi čelika za automate. Nakon rezanja sa 75 m/min, u trajanju od 20 min. izvršen je metalografski presjek alata i izmjerena dužina kratera  $\sim 115\mu$  u poređenju sa  $\sim 40\mu$  na alatu od tvrdog metala, dok nije bilo mjerljivog habanja na oslojenom alatu od brzoreznog čelika.

Promjena otpora rezanja ( $F_z$ ,  $F_x$ ) u zavisnosti od brzine rezanja pri obradi sa WC-Co alatima (LOF) i alatima oslojenim sa TiN (GW520-WIMET) prikazana je na Sl.3. KISTLER trokomponentni dinamometar je korišćen za mjerenje otpora rezanja.

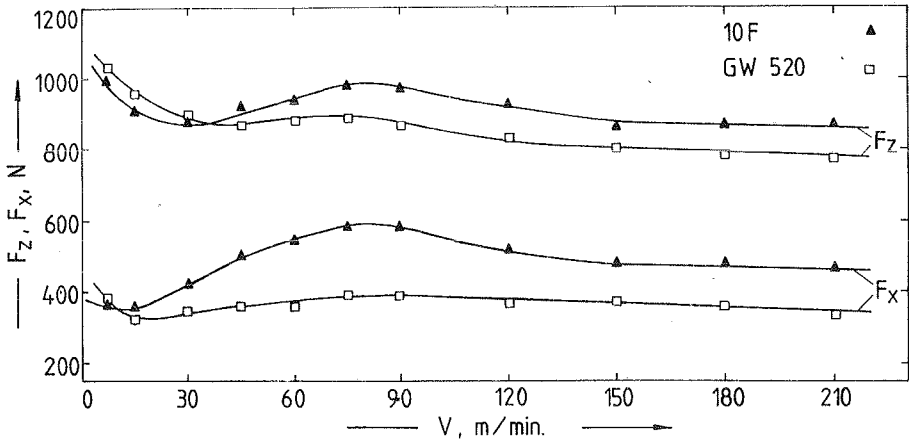


Sl.2 - Oslojeni alat od brzoreznog čelika (TiN/T42) nakon obrade čelika za automate sa 75 m/min u trajanju od 20 min.

- (a) grudna površina alata pokrivena sa MnS
- (b) distribucija mangana na grudnoj površini alata pod (a) određeno elektronskim mikroskopom.

Korišćenjem oslojenih alata smanjeni su otpori rezanja pri obradi sa brzinama većim od 30 m/min. Oslojavanje alata je proporcionalno više smanjilo komponentu  $F_x$  nego komponentu  $F_z$ , potvrđujući značajan uticaj manganovih sulfida na kontaktnu površinu alat-strugotina.

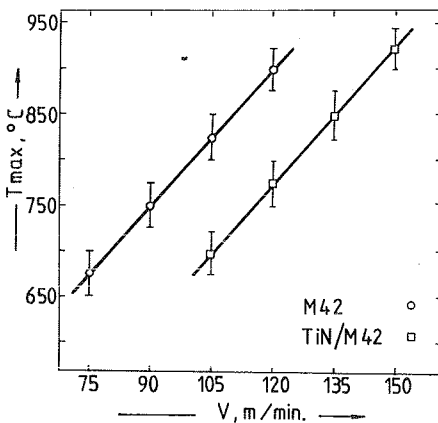
Kontaktna dužina alat-strugotina smanjena je za cca 40% i maksimalna temperatura alata za cca  $125^\circ\text{C}$ , pri obradi sa oslojenim alatima u poređenju sa ne-oslojenim alatima, Sl.4. Sloj MnS kontinualno formiran na grudnoj površini alata uslovio je



Sl.3 - Promjena otpora rezanja u zavisnosti od brzine rezanja i alata

smanjenje deformacionog rada u sekundarnoj zoni smicanja, odnosno smanjenje maksimalne temperature alata. Pri obradi ugljeničnog konstrukcionog čelika (cca 0,036% S) sa oslojenim alatima utvrđeno je smanjenje max. temperature alata za samo cca 75°C [1].

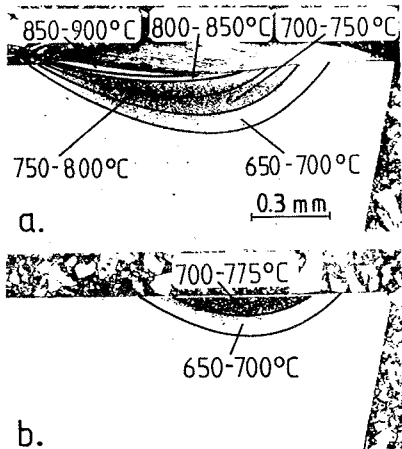
Oslojeni alati se, međutim, neporučuju za obradu nisko-ugljeničnih čelika legiranih sa olovom, zbog formiranja nestabilnih naslaga koje uzrokuju mehanička oštećenja TiN [4].



Sl.4 - Zavisnost max. temperature alata od brzine rezanja i materijala alata.

Određivanje distribucije temperature u alatima od brzoreznog čelika detaljno je opisano u radu [1]. Metoda je bazirana na promjenama mikrostrukture alata koje se mogu vidjeti na optičkom mikroskopu u području od 650-900°C, sa tačnošću  $\pm 25^\circ\text{C}$ . Nakon rezanja u trajanju od 30 sec. izvršen je metalografski presjek alata u ravni normalnoj na rezu oštice alata a udaljenoj cca 1,25 mm od pomoćne rezne oštice. Metalografski polirani uzorci su nagriženi sa 2% Nitala u trajanju od 25 sec. i došlo se do promjena mikrostrukture alata u zavisnosti od temperature. Izoterme na alatima su određene povezivanjem istih mikrostrukture alata u zoni zahvaćenoj temperaturom većom od 650°C a njihove vrijednosti su određene na osnovu uporedjenja sa mikrostrukturama dobivenim kalibracijom putem termičke obrade [1]. Na Sl.5 prikazana je tipična distribucija temperature u alatima od brzoreznog čelika. Izražen je značajan uticaj oslojavanja alata, ne samo na max. temperaturu rezanja, već i na distribuciju temperature u alatu.





Sl.5 - Distribucija temperature u alatima odredjena nakon rezanja, pod istim uslovima, u trajanju od 30 sec. sa 120 m/min.

- (a) alat od brzoreznog čelika (M42)  
 (b) oslojeni alat od brzoreznog čelika (TiN/M42)

#### 4. Zaključci

Na osnovu ispitivanja uticaja materijala alata na obradljivost niskougljениčnog čelika za automate mogu se dati sledeći zaključci:

- 1) Pri obradi čelika za automate sa oslojenim alatima od brzoreznog čelika bile su prisutne relativno stabilne naslage na alatima, štiteći reznu oštricu alata od habanja.
- 2) Kontaktna dužina alat-strugotina je smanjena za cca 40% a maksimalna temperatura alata za cca 125°C, pri obradi sa alatima oslojenim sa TiN u poredjenju sa ne-oslojenim alatima.

3) Manganovi sulfidi istisnuti na grudnu površinu alata, značajno su smanjili otpore rezanja pri korišćenju oslojenih alata i praktično eliminisali formiranje kratera.

4) Nakon obrade u trajanju od 20 min sa 75 m/min, izmjerena je na alatu od brzoreznog čelika dubina kratera cca 115 μ u poredjenju sa cca 40 μ na alatu od tvrdog metala (WC-Co), dok nije bilo mjerljivog habanja na alatu od brzoreznog čelika oslojenom sa titan-nitridom (TiN).

#### 5. Literatura

- [1] R.Milović, Ph.D. Thesis, University of Birmingham, Birmingham, April 1983.
- [2] R.Milović and J.Wallbank, Journal of Applied Metalworking, 1983, Vol.2, No 4, p.249-257
- [3] E.M.Trent, Metal Cutting, Butterworths, London, 1977
- [4] R.Milović, M.L.H. Wise and E.F. Smart, C.I.R.P. Annals, Vol 32/1, 1983.



Ratomir M. Ječmenica<sup>+</sup>

TEHNO-EKONOMSKI PARAMETRI ZA DEFINISANJE NAJPOVOLJNIJE TEHNOLOGIJE  
IZRADE ZAVOJNIH BURGIIJA<sup>++</sup>

R e z i m e:

U proizvodnji reznih alata, zavojnih burgija posebno, naši proizvođači primenjuju veoma različite tehnologije izrade. U ovom radu čini se pokušaj definisanja tehnno-ekonomskih parametara kojima se na nedvosmislen način može odabrati tehničko-ekonomski najprihvatljivija varijanta izrade.

TECHNO-ECONOMICAL PARAMETERS FOR DEFINING THE MOST CONVINIENT TECHNO-  
LOGY OF SPIRAL DRILLS PRODUCTION

S u m m a r y:

In cutting tools production, especially spiral drills, our producers apply various technologies. In this paper, an effort is being made for defining techno-economical parameters which can, unambiguously, help to choose the most convenient techno-economical variant.

1. Uvod

U proizvodnim sistemima metalopreradivačke industrije, tehnologija obrade otvora je posle strugačke obrade najrasprostranjenija obrada. Ovde se prvenstveno misli na obradu i doradu otvora zavojnim burgijama. Sama ova činjenica ukazuje na novu činjenicu, da je i zavojna burgija kao rezni alat, veoma zastupljena u ukupnoj količini alata u proizvodnim sistemima metalopreradivačke industrije.

Vrednost, danas proizvedenih zavojnih burgija u našim proizvodnim sistemima treba da predje cifru od nekoliko stotina milijardi starih dinara, čime se naši proizvođači ovih reznih alata, bar što se kvantiteta tiče svrstavaju ne samo u evropski već i svetski vrh.

Danas se kod naših proizvođača alata, ne samo ove vrste, primenjuje veliki broj tehnologija sa veoma heterogenom opremom. Sigurno je da sve

---

<sup>+</sup>Mr. Ratomir M. Ječmenica, dipl. inž. profesor više škole, Pedagoško-tehnički fakultet, 32000 Čačak, Borisa Kidriča bb; Stan ul. Pigova br. 4/34

<sup>++</sup>Rad predstavlja deo autorovog istraživanja u okviru naučno-istraživačkog projekta po nazivom "Razvoj novih tehnologija za prerađu metala" koji finansira regionalna zajednica nauke Kraljevo i privreda regiona Čačak.

tehnologije na daju iste efekte i nemaju istu efikasnost.

Veoma visok procenat zastupljenosti obrade otvora, velike potrebe zavojnih burgija kao reznih alata u tehnologijama ne samo metalo prerade već i u ostalim granama, velika količina proizvodnje ovih alata kod naših proizvođača, veoma heterogene tehnologije i oprema za proizvodnju zavojnih burgija i na kraju potrošnja velikih količina brzoreznih, uvoznih i veoma skupih čelika, opravdano postavljaju zahtev za studioznijim analizama kojima će sve danas primenjene tehnologije u ovoj oblasti biti svrstane po redosledu svojoj tehnološkoj pokazatelja.

U ovom radu dat je prilog za formiranje takvog jednog modela pomoću kojeg bi se pomenuta analiza mogla korektno izvršiti.

## 2. TEHNOLOGIJE ZA IZRADU BURGIIJA

Danas najviše zastupljene tehnologije (misli se na domaće proizvođače) za izradu zavojnih burgija možemo svrstati u dve osnovne grupe:

1. Postupci rezanjem i
2. Postupci deformisanjem

Dalja diferencijacija izvodi se na sledeće grupe i podgrupe:

1. Postupci rezanjem
  - 1.1. Postupci struganjem,
  - 1.2. Postupci glodanjem i
  - 1.3. Postupci brušenjem

odnosno:

- 2.0.0. Postupci deformisanjem
  - 2.1.0. Postupci valjanjem,
  - 2.2.0. Postupci presovanjem i
  - 2.3.0. Postupci kovanjem

Postupci valjanjem mogu se izvoditi u više varijanti i podvarijanti, kao naprimer:

- 2.1.1. Uzdužno pravolinijsko valjanje,
- 2.1.2. Pravolinijsko valjanje sa naknadnim uvijanjem,
- 2.1.3. Pravolinijsko sektorno-segmentno valjanje,
- 2.1.4. Poprečno valjanje,
- 2.1.5. Poprečno sektorno-segmentno valjanje i
- 2.1.6. Poprečno valjanje-postupak "Superforge"

Postupci glodanjem mogu se izvoditi uglavnom u dve varijante:

- 1.2.1. Postupci kopirnim glodanjem i
- 1.2.2. Postupci profilnim glodanjem

Ne ulazeći u dalja diferenciranja mogućih, a i primenjenih varijanti u proizvodnji zavojnih burgija, ovo je detaljnije dato u literaturi/3/, ovde će biti upoređeni neki od tehnoloških parametara zavojnih burgija dobijenih postupcima uzdužnog valjanja, intenzivnog brušenja i profilnog glodanja. Kada se govori o tehnologijama izrade zavojnih burgija prvenstveno se misli na izradu radnog-reznog dela burgije. Kako je ranije napomenuto da su brzorezni čelici veoma skupi a i uvoze se, to se u zadnje vreme mnogo razmišlja o maksimalno mogućoj supstituciji brzoreznog čelika sa nekim od domaćih konstruktivnih i znatno jeftinijih čelika. Za sada, pomenute supstitucije primenjuju se za izradu samo drške burgije, dok u zadnje vreme ide se i na izradu do jedne trećine ožljebljenog odnosno radnog dela zavojne burgije. Delovi od brzoreznog i konstruktivnog čelika medjusobno se spajaju postupcima tupog ili elektrotopnog varenja, a u novije vreme i lepljenjem sa specijalnim lepkovima. Tehno-ekonomske

analize ovih tehnologija detaljnije su obrazložene u /4/, pa se ovde samo pominju.

3. TEHNO-EKONOMSKI KVALITET

Za bilo koji proizvod, pa i zavojne burgije u ovom slučaju, ako želimo da se može ravnopravno nositi sa konkurencijom na inostranom tržištu, moramo definisati pojam tehnokonomske kvaliteta, odnosno definisati intervale u kojima se smeju kretati veličine komponenata pomenutog kvaliteta. Tehno-ekonomski kvalitet je veoma kompleksna veličina sa velikim brojem više imanjeuticajnih faktora. Za njegovo definisanje prvenstveno je potrebno identifikovati sve relevantne parametre, izmeriti stepen relevantnosti, ustanoviti zakonitost interakcijskog delovanja parametara jednih na druge. Sa ovako uspostavljenim relacijama moguće je definisati model za definisanje optimalnog nivoa tehnokonomske kvaliteta bilo kojeg proizvoda pa i zavojnih burgija u ovom slučaju.

Kada se radi o zavojnim burgijama dobijenim postupcima glodanja, brušenja i valjanja najuticajnijim parametri tehnokonomske kvaliteta su identifikovani, definisani im intenziteti i uspostavljeni relativni odnosi:

1. Vrednost proizvodnje (Vp):

$$V_p = T_o + \sum_{i=1}^n T_d [\text{din}] \dots \dots \dots (1)$$

2. Troškovi obrade (T<sub>o</sub>):

$$T_o = V_r + T_a + T_m [\text{din}] \dots \dots \dots (2)$$

3. Vrednost rada (V<sub>r</sub>):

$$V_r = N \cdot BLDpr \cdot t_k [\text{din/min}] \dots \dots \dots (3)$$

4. Troškovi alata (T<sub>a</sub>):

$$T_a = (N \cdot BLDpr \cdot t_1 + BLDoa \cdot t_2 + \frac{C_a}{i+1}) \cdot \frac{t_g}{T} \dots \dots (4)$$

5. Troškovi opreme-mašina (T<sub>m</sub>):

$$T_m = \frac{C_m \cdot p}{s(q \cdot t_{ki}) \cdot F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \cdot t_k [\text{din}] \dots (5)$$

6. Troškovi energije (T<sub>E</sub>):

$$T_E = T_{EE} + T_{VP} + T_{EKV} = \left( \frac{T_o}{T_{osr}} \cdot \frac{t_k}{F} \cdot E + \frac{T_o}{T_{osr}} \cdot \frac{t_k}{F} \cdot V + \frac{t_k}{F} \cdot \frac{T_o}{T_{osr}} \cdot SHP \right) \cdot KV [\text{din}] \dots \dots \dots (6)$$

7. Troškovi sredstava za hladjenje i podmazivanje (T<sub>shp</sub>):

$$T_{shp} = \frac{T_o}{T_{osr}} \cdot \frac{t_k}{F} \cdot SHP [\text{din}] \dots \dots \dots (7)$$

8. Troškovi materijala (T<sub>mat</sub>):

$$T_{mat} = q \cdot G_{mat} \cdot C_{mat} [\text{din}] \dots \dots \dots (8)$$

9. Koeficijent efikasnosti opreme (K<sub>eo</sub>);

10. Dužina ciklusa izrade (t<sub>izr</sub>);

11. Koeficijent kvaliteta i tačnosti obradjene površine (K<sub>kt</sub>);

12. Troškovi termičke obrade (T<sub>to</sub>):

$$T_{to} = \frac{T_o}{T_{osr}} \cdot \frac{t_k}{F} \cdot T_o [\text{din}] \dots \dots \dots (9)$$

13. Vreme trajanja alata (postojano) - T;

14. Koeficijent tehnološko-metalurških osobina (K<sub>tm</sub>);

15. Koeficijent mehaničkih osobina (K<sub>meh</sub>).

U zadnjim izrazima oznake imaju sledeća značenja:

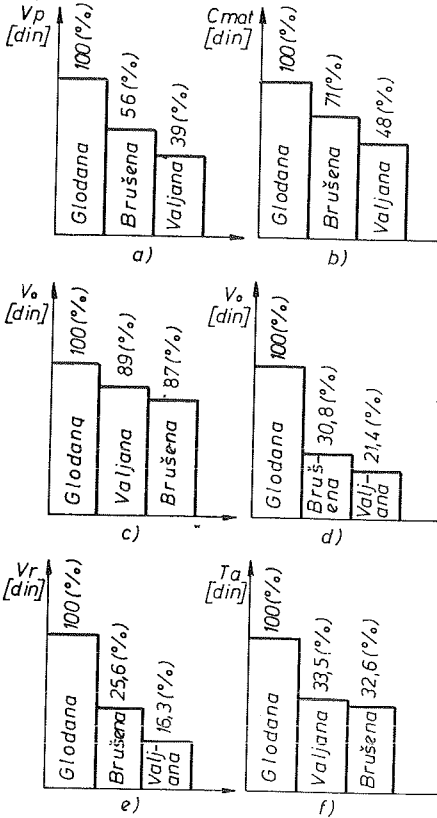
T<sub>d</sub>-dodatni troškovi; V<sub>r</sub>-vrednost rada; T<sub>a</sub>-troškovi alata; T<sub>o</sub>p-troškovi opreme i mašina; C<sub>m</sub>-cena mašina; p-amortizaciona stopa; BLDpr-bruto lični dohodak proizv.radnika; t<sub>k</sub>-vreme trajanja proizvodne operacije; C<sub>a</sub>-cena alata; T<sub>osr</sub>-srednja vrednost troškova obrade svih proizvodnih operacija u proizvodnoj org.jedinici; E, V, SHP, -vrednosti el.energije, vodene pare, komprimiranog vazduha, sredstva za hladjenje i podmazivanje (din); q, t<sub>k</sub>-vreme izvodjenja jedne proizvodne operacije u toku godine; F-godišnji fond časova mašine ili opreme; vremenski stepen iskorišćenja mašine ili opreme; i-broj mogućih oštrenja alata.

Dakle, funkcija tehnološko-ekonomskog kvaliteta može se dati u sledećem obliku:

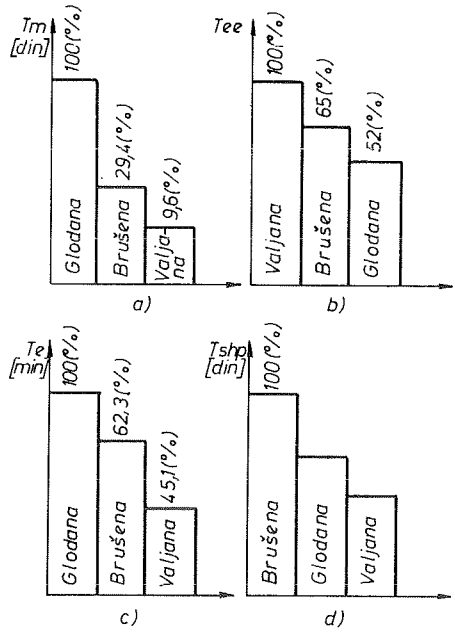
$$\Phi(\text{tek}) = \Phi(V_p, T_o, T_m, T_{ee}, T_a, V_r, T_{kv}, T_{vp}, T_{mat}, T_{cik}, K_{kt}, K_{eop}, T, T_{to}, K_{tm}, K_{meh} \dots) \rightarrow (\max, \min) \dots (10)$$

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U narednim priložima dati su rezultati istraživanja u obliku relativnih odnosa najuticajnijih parametara na tehnološko-ekonomski kvalitet zavojnih burgija dobijenih postupcima glodanja, brušenja i valjanja:



Sl. 1 Odnosi:  
 a) Vrednosti proizvodnje  
 b) Učešća alatnog materijala  
 c) Vrednosti obrade zavojnih burgija  
 d) Vrednosti obrade jedne proizvodne operacije zavojnim burgijama



Sl. 2. Odnosi:  
 a) Troškova mašina-opreme  
 b) Električne energije  
 c) Ekonomskih postojanosti  
 d) Troškova shp

5. ZAKLJUČCI

Prikazani su relativni odnosi samo jednog broja parametara neophodnih za definisanje modela tehnološko-ekonomskog kvaliteta. Konačan model, koji je predmet autorovih istraživanja biće prezentiran u nekom od sledećih radova.

6. Literatura:

1. Ivković B. 1974, Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Kragujevac, Mašinski fakultet
2. Stanić J. 1976, Matematičke osnove tehnološko-ekonomske optimizacije obradnih procesa, Beograd, Mašinski fakultet,
3. R. Ječmenica, Analiza vrednosti proizvodnje zavojnih burgija u funkciji tehnologije izrade, 1980. XIV Savetovanje proizvodnog mašinstva, Čačak, Pedagoško-tehnički fakultet

Dr Pantelija Dakić\*

MATEMATIČKI MODEL OPTIMIZACIJE OBRADNOG PROCESA  
KOD UREZIVANJA NAVOJA NA AUTOMATIMA\*\*

R e z i m e

U radu je dat prikaz odredjivanja zavisnosti broja kvalitetno urezanih komada navrtki od specifičnih uslova: režima rada, geometrije ureznika i koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje. Nadjen je matematički model optimizacije ispitivanih parametara i utvrđjena njihova optimalna vrijednost.

MATHEMATISCHES MODELL DER OPTIMISATION DES BERARBEITUNGS-  
PROZESSES BEI DEM GEWINDESCHNEIDEN

Z U S A M M E N F A S S U N G

In dieser Arbeit wurde die Darstellung der Bestimmung der Abhaengigkeit der Zahl qualitaet geschnittenen Mutterstueck von spezifischen Bedingungen: Arbeitsweise, Schneideisengeometrie und Konzentration des Kuehl- und Schmiermittels gezeigt. Es wurde auch das mathematische Model der Optimisation der geprueften Parameter gefunden und ihren Optimalwert festegestellt.

1. Uvod

Obrada navoja je naročito osjetljiv proces obrade materijala u industrijskoj tehnologiji. To je završna obrada koja zahtijeva neophodnu pripremu i specijalni tehnološki sistem, pa improvizacije ne dolaze u obzir. Kod obrade unutrašnjeg navoja ureznikom naročito je teško obezbjedjenje specijalnog tehnološkog sistema, radi potpunog polapanja osa ureznika i otvora, pa

redovno dolazi do znatnih teškoća. Krzanje i lom zubaca dovode do preloma na reznom dijelu ureznika, nastoga na grudnoj površini ili zaledju zupca, te zaglavljivanje navrtke na urezniku, dovodi do uvijanja i preloma stabla ureznika, a nepovoljan odnos brzine urezivanja i sredstava za hladjenje i podmazivanje dovodi do pogoršanja kvaliteta obradjenih navojnih površina. Do sada su već riješeni mnogi problemi

---

\* Dr Pantelija Dakić, dipl.inž., direktor Istraživačko razvojnog centra ROEM, SOUR-a "Rudi Čajavec", Braće Pavlića 25, Banja Luka

\*\* Rad nastao kao dio projekta: "Uticaj sredstva za hladjenje i podmazivanje na tribološke karakteristike reznog alata kod obrade materijala obradom rezanja" u čijem finansiranju učestvuje SIZ Nauke BiH.

osnovnih obrada (struganje, glodanje, bušenje, brušenje) zahvaljujući prije svega jednostavnom obliku obradljivane površine, zatim opštoj pristupačnosti i konačno primjeni novih materijala za alate. Obrada urezivanjem navoja nema tih pogodnosti i ograničena je na pripremu samo jedne vrste alata (ureznik) male pouzdanosti.

## 2. Izbor nivoa uticajnih faktora

Prema odabranim brojevima obrtaja  $n_1=115$ ,  $n_2=200$ ,  $n_3=280$ ,  $n_4=400$  o/min., i ureznika M16 dobijaju se slijedeći nivoi za brzinu rezanja:  $v_1=0,108$  m/s  $v_3=0,233$  m/s  $v_2=0,166$  m/s  $v_4=0,333$  m/s Polazeći od stanovišta da su uglovi rezanja kod ureznika donekle standardizovani izuzev grudnog ( $\delta$ ) što je prepušteno da odrede sami proizvođači što se i išlo na variranje istog. Ispitivanja su vršena na slijedećim nivoima grudnog ugla:

$$\delta_1=0,140 \text{ rad.} \quad \delta_3=0,192 \text{ rad.} \\ \delta_2=0,262 \text{ rad.}$$

Neka ispitivanja izvršena su i sa  $\delta=0,0941$  rad. Nivoi koncentracije sredstva za hladjenje i podmazivanje odabrani su:

$$k_1=3\%, \quad k_2=6\%, \quad k_3=9\%$$

Neka ispitivanja provedena su i sa  $k=12\%$ .

## 3. Plan eksperimenata

Osnovni faktori koji su odabrani za analizu uticaja na postojanost ureznika tj., na kvalitetan broj urezanih navrtki ( $N_K$ ) su brzina ( $v$ ), grudni ugao ( $\delta$ ) i koncentracija sredstva za hladjenje i podmazivanje ( $k$ )

$$(X_1=v, \quad X_2=\delta, \quad X_3=k).$$

Za matematički model odabran je broj kvalitetno urezanih navrtki  $N_K$ , koji u ovom slučaju, predstavlja istovremeno i funkciju cilja. Eksperimentalni program izvodi se u dvije serije eksperimenata. Cilj prve serije je identifikacija područja vektora optimalne tačke ( $X_{10}, X_{20}, X_{30}$ ) na nepoznatoj površini funkcije cilja u trofaktornom prostoru, odnosno statističko opisivanje funkcije cilja  $N_K=N_K(X_1, X_2, X_3)$  matematičkim modelom oblika.

$$N_K = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_{12} + b_{13} X_{13} + b_{23} X_{23} + b_{123} X_{123} \quad (1)$$

korišćenjem višefaktornog optimalnog plana prvog reda dvonivojskog tipa  $2^k$ . Granice intervala varijacije elemenata sistema ustanovljene su tako da se obuhvati cjelokupno optimalno područje sistema i s obzirom na ostale kriterijume optimizacije. Korišćen je višefaktorni plan prvog reda sa serijom od  $2^k$  tj.  $2^3=8$  eksperimenata rasporedjenih po tjemenu kuba, sl.1., oko koga je opisana sfera  $\rho^2 = X_i^2$  prikazana je u prvom gornjem dijelu tabele 1.

Radna plan matrica definisana je jedinačinom:

$$PM = \{1, a, a, ab, c, ac, bc, abc\}$$

## 4. Rezultati eksperimenata

U prvoj koloni, tabela 1., iza plan matrice, unesene su numeričke vrijednosti eksperimentalnih rezultata (izlazni faktor) kriterijuma optimizacije  $N_K$ , a u drugoj modelske vrijednosti pojedinih faktora, pa matematički model ima oblik:

$$N_K = 3736,375 - 576,375 X_1 - 108,125 X_2 + 40,625 X_3 + 19,375 X_{12} + 44,375 X_{13} - 83,625 X_2 X_3 + 48,625 X_1 X_2 X_3 \quad (2)$$



Rezultati statističke analize adekvatnosti modela pokazuju, međutim, da se modelom (2) neadekvatno opisuje respektivni obradni proces u graničama obuhvaćenog višefaktornog prostora. U centralnoj tački plana dobijaju se eksperimentalni rezultati  $N_k = E(N_k) = 5424$  kom., (eksperimenti, 15-20) tabela 1., od kojih nedopustivo mnogo odstupa modelska vrijednost  $N_k = 3736$  kom. Ovo pokazuje da nepoznata površina adekvatnog matematičkog modela obradnog procesa ima, u obuhvaćenom faktornom prostoru, manji poluprečnik krivine u odnosu na površinu (2), što znači, nulta hipoteza da su efekti kvadratnih članova jednaki nuli, mora se odbaciti. Respektujući predhodne informacije, u drugoj seriji eksperimenata izvršeno je modeliranje funkcije cilja obradnog procesa polinomnim modelom drugog reda:  $N_k = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i X_i + \sum_{i,j=1}^3 b_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^3 b_{ii} X_i^2$  (3) primjenom centralnog kompozicionog rotabilnog plana  $2^k + 2k + n_0$ . Serija je locirana u tačke na centralnim osama u tjemenu oktaedra (eksperimenti 9-14) i centralnu tačku plana (eksperimenti 15-20), tako da zajedno sa predhodnom serijom čini potpun centralni kompozicioni rotabilni plan od ukupno  $N = 20$  eksperimenata. Obe serije su randomizirane pomoću tablice slučajnih brojeva. Sa radnom plan-matricom centralnog kompozicionog rotabilnog plana (tabela 1), saglasna je, funkcija cilja (3), kojom se dalje modelira optimalna oblast difuzionog sistema ( $X_1 = \gamma$ ,  $X_2 = \delta$ ,  $X_3 = k$ ). Svaki faktor varira se istovremeno na pet nivoa u širokom domenu varijacije. Za konvencionalne jednofaktorne planove potreban je višestruko veći broj eksperimenata u odnosu na plan  $N=20$  za inače iste uslove i nivoe varijacije.

Konačno se dobija traženi matematički model:

$$N_k = 5457,3 - 560,376X_1 - 76,9778X_2 + 40,992X_3 - 74,25X_1^2 - 844,02X_2^2 - 132,6X_3^2 + 19,375X_1X_2 + 44,375X_1X_3 - 78,08X_2X_3 \quad (4)$$

optimalnog područja nepoznate funkcije cilja  $N_k = N_k(\gamma, \delta, k)$  difuzionog sistema ( $\gamma, \delta, k$ ). Predznaci osnovnih efekata pokazuju međusobnu pomjerenost i relativni položaj centralne prema optimalnoj tački sistema.

Izvršena je ocjena neadekvatnosti matematičkog modela i utvrđeno je da je nadjeni matematički model adekvatan, za sve uobičajene pragove značajnosti.

##### 5. Analiza matematičkog modela

Analizom matematičkog modela 4, u intervalu  $(-1,682 < X_i < 1,682)$ , dobija se njen maksimum funkcije cilja i traženi optimum.

Ortogonalnim presjecima površine funkcije cilja kroz optimum sistema (maksimum), dobijaju se zakonitosti promjene broja kvalitetno urezanih komada navrtki ( $N_k$ ) za svaki od elemenata sistema.

1. Za  $X_2 (\delta)$

$$N_k = 6550,8 - 112,45X_2 - 844X_2^2 \quad (5)$$

2. Za  $X_3 (k)$

$$N_k = 6486,5 - 128,574X_3 - 1326X_3^2 \quad (6)$$

Odgovarajući dijagrami sl.1 i 2., pokazuju rezultate optimizacije sistema pomoću centralnog kompozicionog plana drugog reda.

##### 6. Zaključak

Na osnovu izvedenih eksperimentalnih rezultata i nadjenog matematičkog modela optimibilnog procesa i njegove analize može se izvući zaključak:

a/ maksimalna vrijednost  $N_k$  (a ujedno i optimalna za promjenljive ( $X_2 = \delta$ ) i ( $X_3 = k$ ) se dobija u kodiranim koordinatama  $N_{k0}$  ( $X_{20} = -0,067$ ;  $X_{30} = -0,524$ ) ili vraćanjem na pri-

veštaj o merenju

menjen je za statističku kontrolu kvaliteta likih uzoraka, zaključno do slovne oznake za normalni nivo kontrolisanja po S- metodi. Sadrži sve podatke neophodne za funkcionisanje kompjuterskog programa.

veštaj je prikladan za ulazni i izlazni kvalit isporuka i za istraživanje kvaliteta. Pod programom za primenu standarda, može koristiti za druge programe iz oblasti stističke kontrole kvaliteta, kao na primer : analizu varijansi, koeficijent korelacije, teranje hipoteza i sl.

ontrolna  $\sigma$  karta

mo gde postoji sigurna evidencija prema o standardna devijacija proizvodnog procesa egzistira kao poznata konstanta  $\sigma$ , prečujuje se "6" metoda i kontrolna karta sa ovom prihvatanja odgovarajuće slovne oznake. Za brojni primer prezentiran ranije, govora dijagram  $\sigma$ -M (sl.4).

računavanje granica sa dijagrama u dimenzije karakteristike kvaliteta, ide preko običa za standardizovanu aritmetičku sredinu (SAS). Za operativnu kontrolu veličinu uzoraka propisuje sam standard u zavisnosti od nake plana kontrole i vrednosti AQL-a.

aritmetička sredina karakteristike kvaliteta izvučenog uzorka pada unutar naznačene granice, proces proizvodnje zadovoljava. znači za postupak kontrole, ako varirana dnost za nivo prihvatljivog kvaliteta

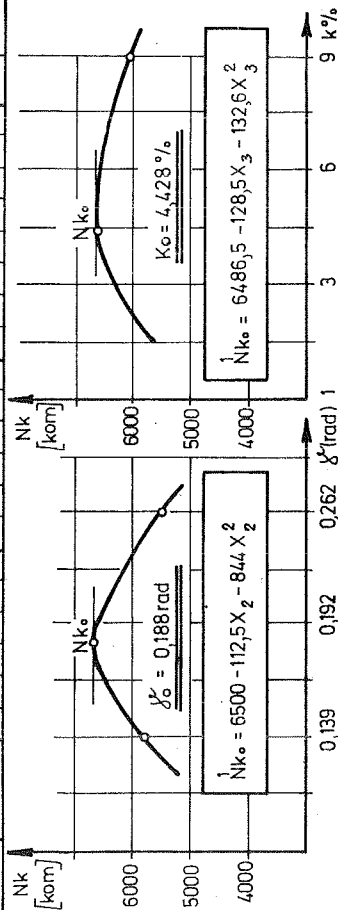
Variraće i kontrolne granice u zavisnosti od trenda kvaliteta. Na primer, kada kvaliteta opada, granice se sužavaju i standarda preporučuje kao preventivu veći obim kontrolisanja i obrnuto. Na identičan način, dijagram  $\sigma$ -M može obuhvatiti kontrolne granice za podešavanje proizvodnog sistema.

red toga što smo na jednostavan i brz način došli do zaključka, rezultati merenja mogu daljoj obradi preko AOP programa, sistemom na hronološko registrovanje podataka karakteristike kvaliteta.

STATISTIČKI PARAMETRI KVALITETA

na svrha AOP programa je permanentno praćenje trenda kvaliteta proizvoda. Moguća stalne promene nivoa kontrolisanja sa ovom ka primeni  $\sigma$ -metode, numerička kontrola funkcionisaće najracionalnije. Bitni parametri kvaliteta koji uslovljavaju uspešnost

$2^k$ $2^k \cdot 2^k \cdot n_0$			EKSPERIMENT REZULTATI Nk [kom]	MODELSKI REZULTATI Nk [kom]	
$X_1$	$X_2$	$X_3$		PLAN $2^k$	PLAN $2^k \cdot 2^k \cdot n_0$
+1	+1	-1	4313	4311,745	4987
-1	+1	+1	3130	3128,745	3710
+1	-1	+1	4320	4321,255	4951,2
-1	-1	-1	3020	3021,255	3781,69
-1	-1	+1	4570	4568,745	513,98
+1	-1	-1	3370	3368,745	4067,75
-1	+1	-1	4048	4049,255	4789
+1	+1	+1	3120	3121,255	3795,7
0	0	0	7150		6190,3
0	0	0	5340		4306,3
0	0	0	4120		3200,3
0	0	0	4015		2942,3
0	0	0	6010		5015,3
0	0	0	6150		5151,35
0	0	0	6150		5457,3
0	0	0	5430		5457,3
0	0	0	5435		5457,3
0	0	0	5410		5457,3
0	0	0	5160		5457,3
0	0	0	4960		545,3
$b_{13} = 44,375$	$b_{23} = -83,623$	$b_{123} = 48,625$	MODEL NEADEKVATAN		
$b_{13} = 44,375$	$b_{23} = -78,008$		MODEL ADEKVATAN		



Sl. 2

matrano.

L i t e r a t u r a

1. P.Dakić, "Optimalna koncentracija SHP kod urezivanja navoja, OMO, 1982. godine.
2. J.Stanić, "Metod inženjerskih mjerenja, Beograd, 1979. godine.
3. J.Stanić, "Matematičke osnove tehnno-ekonomske optimizacije obradnih procesa", Beograd, 1979.

za  
ja  
te-  
u  
smi-  
ob-  
nost  
nih  
od  
az-

BOUR "21. MAJ" BIRO KONTROLE KVALITETA		IZVEŠTAJ O MERENJU				Broj izveštaja 70-73 0201		
Proiz. 1-3	Br. crteža 4-10	Naziv dela 11-25			Karakteristika kvaliteta 26-38			
4111	4089637	KLO	LENASTO	VRAT.	40	0,015	39,985	
Gornja mera Donja mera		Opis karakter.		Uzorak	Plan kontrole	Etalon a		
39-44 45-50		51-58		59-63	63	64-69		
401	005391	4985	PREČNIK	n 150	Slovena oznaka	M 39	0,0180	
Napomena: Učete vrednosti numeričke kontrole predstavljaju razliku između stvarne mere pročnaka rukavca radilice i proizvoljno usvojenog broja 39,960.				Vrednosti numeričke kontrole				
1	0,012	11	0,014	21	0,015	31	0,015	
2	0,010	12	0,020	22	0,012	32	0,018	
3	0,010	13	0,020	23	0,012	33	0,012	
4	0,011	14	0,010	24	0,016	34	0,013	
5	0,015	15	0,009	25	0,010	35	0,017	
6	0,015	16	0,014	26	0,011	36	0,013	
7	0,019	17	0,014	27	0,020	37	0,010	
8	0,010	18	0,010	28	0,020	38	0,015	
9	0,010	19	0,012	29	0,018	39	0,015	
10	0,012	20	0,025	30	0,015	40	0,015	
Statistički parametri kvaliteta	Plan S-M	$\bar{x}$ 39,994	s 0,004	SAS 0,46	SSD 0,20	Xmin 39,967	R 0,018	ACL 0,25

Sl. 2. Izveštaj o merenju sa unetim podacima

ešnu primenu standarda su sledeći :

Aritmetička sredina AS

Glavnu osobinu aritmetičke sredine  $\bar{x}$  formulisao je 1795. godine F. Gaus kao metod najmanjih kvadrata: suma kvadrata grešaka mora biti minimum. Pod greškom se podrazumeva odstupanje tekuće vrednosti od aritmetičke sredine slučajno promenljive veličine x.

Aritmetička sredina ukazuje na centar raspodele i komparativna je sa sredinom tolerantnog polja karakteristike kvaliteta. Ova osobina se koristi za utvrđivanje kriterijuma stepena regulisanosti tehnoloških sistema.

Standardna devijacija SD

Po važnosti je drugi parametar normalne raspodele  $N(\bar{x}, \sigma^2)$ . Predstavlja drugi koren varijanse i logična je posledica Gausovog principa metode najmanjih kvadrata. Standardna devijacija ukazuje na disperziju izmerenih vrednosti, a takodje definiše prirodnu toleranciju, uporedivu sa tolerantnim poljem karakteristike kvaliteta. Ova osobina se koristi za ocenjivanje tačnosti ili sposobnosti proizvodnog sistema.

Konstantna prihvatanja K

Uvodjenjem zamene:

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Gausova raspodela  $N(\bar{x}, \sigma^2)$  prelazi u Laplasovu transformaciju ili funkciju standardizovane normalne raspodele  $N(0,1)$ , datu izrazom

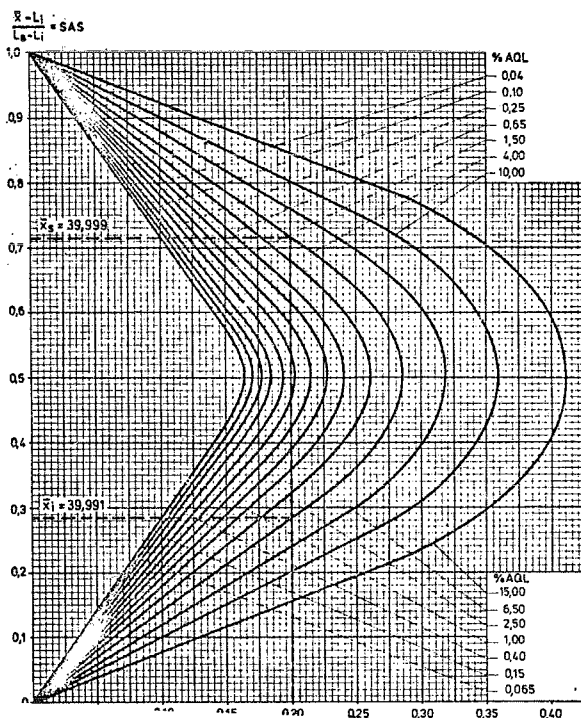
$$\varphi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}u^2\right)$$

Kada slučajno promenljiva x dobije graničnu vrednost karakteristike kvaliteta  $L_S$  ili  $L_j$ , standardizovano odstupanje u prelazi u konstantu prihvatanja K. Ova konstanta je direktno uporediva sa tabličnim vrednostima standarda, u zavisnosti od slovne oznake plana kontrole i vrednosti za AQL. Za statističku analizu konstanta prihvatanja, kao parametar, ima smisla kada je  $K \leq 3$ . U protivnom, karakteristika zalazi u

Sl. 3. Fragment programa "PP . 414"

```

0670 IF E3="D" THEN GOTO 1110
0680 FOR I=1 TO N
0690 PRINT "X("I,")=",
0700 INPUT X(I)
0710 PRINT
0720 NEXT I
0730 FOR I=1 TO N
0740 IF X(I)<M? THEN LET M=X(I)
0750 IF X(I)>M1 THEN LET M1=X(I)
0760 LET S=S+X(I)
0770 LET S2=S2+X(I)^2
0780 LET M2=M-M1
0790 LET X4=X4+M2
0800 LET X4=X4^2
0810 IF X4>0 THEN GOTO 0810
0812 LET X4=0
0813 GOTO 0870
    
```



Sl. 4. Kontrolna  $\sigma$ -karta, dijagram  $\sigma$ -M

područje superkvaliteta.

Konstanta prihvatanja  $K_1$

Određuje kvalitet proizvoda kada je propisana samo donja granična vrednost karakteristike  $L_1$ . Definisana je izrazom:

$$K_1 = \frac{\bar{x} - L_1}{s}$$

Kada je  $K_1 < 0$ , aritmetička sredina  $\bar{x}$  po položaju se nalazi ispod donje granice tolerancije.

Konstanta prihvatanja  $K_2$

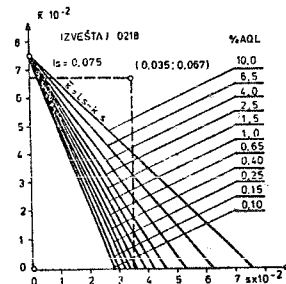
Određuje kvalitet proizvoda, kada je propisana samo gornja granična vrednost karakteristike. Definisana je izrazom:

$$K_2 = \frac{L_s - \bar{x}}{s}$$

U slučaju kada je  $K_2 < 0$ , aritmetička sredina  $\bar{x}$  po položaju se nalazi iznad gornje granice tolerancije  $L_s$ .

Kvalitet karakteristika sa jednostrukom granicom tolerancije, standard određuje kao tačku sa koordinatama ( $s, \bar{x}$ ) i njenim položajem u odnosu na zone odbijanja ili prihvatanja. Zone razdvaja jednačina prave koja nastaje transformacijom obrasca standardizovanog odstupanja za gornju, odnosno donju graničnu meru.

$$\bar{x} = L_s - K \cdot s, \text{ i } \bar{x} = L_i + K \cdot s$$



Sl. 5. Dijagram  $s$ - $\bar{x}$  za gornju graničnu meru

PREGLJED STATISTIČKIH PARAMETARA KVALITETA PROFILA BREGOVA BREGASTOG VRATILA MOTORA 128A.004

Br. izv.	Naziv dela	Karakter. kvaliteta	Opis karakter.	n	Plan	AS	SD	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	SAS	SSD	x <sub>min</sub>	R	AQL%
0280	Iz. breg	Otvaranje	Zona A-1	50	S-M	0,002	0,003	6,63	5,53	0,55	0,08	0,003	0,013	0,04
0281	Iz. breg	Otvaranje	Zona B-1	31	S-K	0,005	0,002	***	***	0,59	0,03	0,000	0,008	0,04
0282	Iz. breg	Otvaranje	Zona C-1	21	S-H	0,000	0,004	***	8,50	0,66	0,04	-0,006	0,012	0,04
0283	Iz. breg	Zatvaranje	Zona A-1	52	S-M	0,009	0,004	6,46	2,58	0,71	0,11	0,003	0,017	0,15
0284	Iz. breg	Zatvaranje	Zona B-1	31	S-K	0,005	0,002	***	***	0,59	0,03	0,000	0,008	0,04
0285	Iz. breg	Zatvaranje	Zona C-1	21	S-H	0,006	0,002	***	9,80	0,73	0,03	0,001	0,010	0,04
0286	Us. breg	Otvaranje	Zona A-1	45	S-M	0,016	0,007	5,18	0,60	0,90	0,17	0,006	0,026	—
0287	Us. breg	Otvaranje	Zona B-1	31	S-K	-0,003	0,001	***	***	0,45	0,01	-0,004	0,003	0,04
0288	Us. breg	Otvaranje	Zona C-1	21	S-H	0,000	0,007	8,27	4,24	0,66	0,08	-0,010	0,031	0,04
0289	Us. breg	Zatvaranje	Zona A-1	49	S-M	0,015	0,004	9,45	1,37	0,87	0,09	0,010	0,013	6,50
0290	Us. breg	Zatvaranje	Zona B-1	31	S-K	0,000	0,003	9,90	***	0,50	0,05	-0,006	0,010	0,04
0291	Us. breg	Zatvaranje	Zona C-1	21	S-H	-0,004	0,003	***	***	0,62	0,03	-0,009	0,013	0,04
0292	Us. breg	Otvaranje	Zona A-2	46	S-M	0,006	0,014	1,91	1,03	0,65	0,34	-0,007	0,044	15,00
0293	Us. breg	Zatvaranje	Zona A-2	51	S-M	0,021	0,007	5,88	-0,09	1,02	0,17	0,011	0,023	—
0294	Iz. breg	Otvaranje	Zona A-2	50	S-M	0,007	0,006	4,88	2,25	0,69	0,14	-0,004	0,020	4,00
0295	Iz. breg	Zatvaranje	Zona A-2	52	S-M	0,015	0,003	***	1,44	0,88	0,08	0,010	0,013	4,00
0296	Iz. breg	Otvaranje	Zona A-3	50	S-M	0,021	0,009	4,56	-0,16	1,04	0,23	0,014	0,029	—
0297	Iz. breg	Zatvaranje	Zona A-3	52	S-M	0,020	0,005	8,47	0,04	1,00	0,12	0,015	0,026	—
0298	Us. breg	Otvaranje	Zona A-3	46	S-M	0,009	0,005	5,51	2,10	0,72	0,13	0,002	0,020	0,65
0299	Us. breg	Zatvaranje	Zona A-3	51	S-M	-0,005	0,005	3,09	5,12	0,38	0,12	-0,009	0,018	0,04
0300	Us. breg	Otvaranje	Zona A-4	46	S-M	-0,004	0,011	1,44	2,21	0,39	0,27	-0,014	0,037	6,50
0301	Us. breg	Zatvaranje	Zona A-4	50	S-M	0,006	0,005	5,30	2,81	0,65	0,12	0,000	0,019	0,04
0302	Iz. breg	Otvaranje	Zona A-4	50	S-M	-0,001	0,011	1,75	2,00	0,47	0,27	-0,009	0,037	4,00
0303	Iz. breg	Zatvaranje	Zona A-4	52	S-M	-0,010	0,007	1,37	4,17	0,25	0,18	-0,019	0,029	6,50

\*\*\* Za vrednosti K<sub>1</sub> i K<sub>2</sub> veće od 10, u izveštaju AOP-a figuriše simbol zvezdice.

Dijagram na slici 5 prikazuje familiju pravih linija slovne oznake „s“, za normalno kontrolisanje po s-metodi u zavisnosti od vrednosti AQL. Očigledno je da kontrolisana karakteristika izlazi van okvira bilo kog kvaliteta. Pod pretpostavkom da izveštaj rezultira kao posledica pooštrenog kontrolisanja, standard upućuje na 100% kontrolu, sve dok se ne postignu uslovi za normalno kontrolisanje.

Nekonformnost kvaliteta P

Verovatnoća da će se slučajno promenljiva veličina x naći u zadatim granicama L<sub>1</sub> i L<sub>s</sub> određena je funkcijom rasporeda P(u) i konstanti prihvatanja K<sub>1</sub> i K<sub>2</sub>:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{K_1}^{K_2} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du = P(K_2) - P(K_1)$$

Nekonformnost predstavlja verovatnoću procentualnog odstupanja kvaliteta van granica tolerancija i određena je koverovatnoćom prethodnog izraza:

$$p = 1 - P(L_1 < x < L_s)$$

Adekvatno tome, pojedinačno preračunavamo

nekonformnost kvaliteta u odnosu na granice L<sub>1</sub> i L<sub>s</sub>, uz upotrebu tabličnih vrednosti integrala verovatnoće P(u):

$$p_1 = 0,5 - P(K_1) \quad \text{i} \quad p_s = 0,5 - P(K_2)$$

Parametri p<sub>1</sub> i p<sub>s</sub> su neophodni za statistički proračun zazorā sklopova spregnutih delova, za procenu rizika i za korišćenje krive operacionih karakteristika planova kontrole jednodrukog uzorkovanja.

Standardizovana aritmetička sredina SAS

Svodi aritmetičku sredinu u odnosu na tolerantno polje karakteristike i data je izrazom:

$$SAS = \frac{\bar{x} - L_1}{L_s - L_1}$$

Ovakva transformacija omogućava da se svaka tolerancija preslika u toleranciju sa granicama 0 i 1. Osnovno svojstvo SAS je da da informaciju za stepen podešenosti tehnološkog sistema. Kada je SAS=0,5, imamo potpunu centriranost sistema, aritmetička sredina poklapa se sa sredinom tolerantnog polja i imamo idealno stanje kod uzorka izvučenog između dva regulisanja.

Standardizovana standardna devijacija SSD

Svodi procenjenu standardnu devijaciju u odnosu na toleratno polje karakteristike i data je izrazom:

$$SSD = \frac{s}{\frac{L - L_i}{s}}$$

Standard u zavisnosti od slovne oznake plana kontrole i nivoa prihvatljivog kvaliteta AQL, propisuje maksimalne vrednosti koje se mogu ostvariti za standardnu devijaciju i označava se sa MSD.

Parametar SSD u direktnoj je sprezi sa kvalitetom izrade, izborom tehnološke opreme i režimom mašinske obrade. Pri projektovanju kvaliteta u praksi se zastupa stav da prirodna tolerancija obuhvata tri četvrtine toleratnog polja,  $SSD = 0,12$ .

Raspon R

Raspon može biti dovoljno osetljiva mera disperzije promenljive veličine  $x$ , kada uzorak sadrži mali broj elemenata. Zbog te osobine zauzima treće mesto u matematičkoj statistici posle  $x$  i  $\sigma$ . Ima veliku primenu za izradu kontrolnih karti.

Nivo prihvatljivog kvaliteta AQL

Slovna oznaka, nivo kontrole, metod kontrole i vrednost AQL potpuno određuju plan kontrole i kvalitet proizvoda. Standard definiše AQL kao maksimalno dozvoljeni udeo nekonformnih jedinica u procentima, da bi prosek procesa bio prihvatljiv za slučaj kontrolisanja uzorkovanjem. Pravilan izbor AQL umnogome zavisi od prirode karakteristike, od njenog uticaja na funkcionalnost finalnog proizvoda, od uticaja na tehnološke parametre, od problema koje izaziva u proizvodnji, od visine troškova proizvodnje i troškova reklamacija. Stvarna vrednost AQL, za razliku od projektovane, može se odabrati uz pomoć snimljenog

stanja nekonformnosti karakteristike kvaliteta i dijagrama krive operacionih karakteristika plana kontrole.

Na osnovu iznetog, kvalitet karakteristike sa dvostrukim granicama tolerancije, definisan je dijagramom prihvatanja određene slovne oznake plana kontrole za  $s$  ili  $\sigma$ -metodu, koordinatama (SSD, SAS) i krivom prihvatanja za propisani AQL.

Racionalna upotreba statističkih parametara kvaliteta stvara preduslov za funkcionisanje jedne inventivnež kreativne statističke kontrole kvaliteta. Medjutim, postoji veliki problem jer propozicije standarda imperativno zahtevaju inženjering kontrole sa velikim iskustvom iz oblasti kontrole kvaliteta i procesa proizvodnje. Radna organizacija koja nije ostvarila ovaj uslov ne može celishodno da primeni standard.

U tabeli su dati podaci merenja i izračunate vrednosti statističkih parametara za jedan složeniji deo.

#### Z A K L J U Č A K

Uvodjenjem sistema statističke kontrole, zasnovane na naučnim principima, funkciju kontrole treba kadrovski i organizaciono stalno da jača, shodno preuzetim obavezama prema materijalnoj proizvodnji i krajnjem korisniku proizvoda.

Izloženi rad predstavlja samo pokušaj da kroz predloge nekih rešenja, sa aspekta praktične primene kompjuterskog programa i standarda, da načelano prijaz u razrešavanju problema kvaliteta u motornoj i drugim granama industrije.

#### L I T E R A T U R A

1. I.Pavlič, STATISTIČKA TEORIJA I PRIMJENA, Tehnička knjiga, Zagreb, 1977.
2. ISO/DIS 3951: Sampling procedures and charts for inspection by variables for percent defective, 1976.

Nikola Vasilev\*  
Vidomir Parežanin

#### KORELACIJA I KONTROLA KVALITETA

##### R e z i m e

Numerička kontrola korelativnih karakteristika kvaliteta zasniva se na principu statističke teorije stohastičkih skupova i predstavlja kontinuitet statičke kontrole na bazi atributa i numerički promjenljivih veličina. Metoda sadrži korelaciju i regresionu analizu. Kvalitet određuju parametri jednačine linije regresije, standardna greška i koeficijent korelacije. Brojni primer ventilske opruge ukazuje na prednost primene korelacije u statističkoj kontroli kvaliteta.

#### КОРЕЛАЦИЈА И КОНТРОЛЪ КАЧЕСТВА

##### Р е з ю м е

Вычислительный контроль коррелятивных характеристик качества основывается на принципе статистической теории стохастических множеств и представляет непрерывность статистического контроля на базе атрибута и вычислительных переменных величин. Метод содержит корреляционный и регрессионный анализ. Качество определяют параметры уравнения линии регрессии, стандартная ошибка и коэффициент корреляции. Цифровой пример пружины клапана двигателя указывает на преимущество применения корреляции в статистическом контроле качества.

---

\* Nikola Vasilev, dipl.ing., viši projektant sistema kontrole kvaliteta SOUR "21 MAJ", Oslobođenja 2, Beograd

Vidomir Parežanin, mr, samostalni projektant I, RO Institut "GOŠA"-OOUR " Institut za razvoj tehnologije proizvodnje" Milana Rakića 35, Beograd

## U V O D

U praksi često susrećemo događaje određene sistemom od dve slučajno promenljive veličine. Interakcija jedne promenljive u odnosu na drugu određuje intenzitet stohastičke povezanosti ili korelaciju sistema. Dijagramska interpretacija naziva se grafički trend ili regresija dvodimenzionalne raspodele slučajnih tačaka.

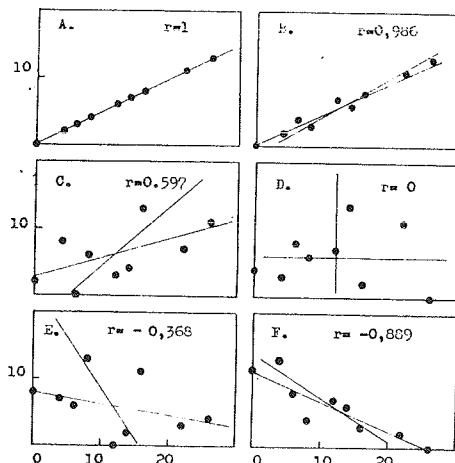
Teorija korelacije javlja se krajem prošlog veka u eri genetskih istraživanja. Prvi put korelaciju kao pojam uvodi Galton 1888. godine u svom radu gde razmatra odnos visine ljudi i dužine njihove podlaktice. Njegov prijatelj Karl Pirson, ustanovljava regresiju ili nazadovanje visine sinova prema proseku visina visokih očeva. Danas čitavu metodologiju nazivamo regresionom analizom.

Primena korelacije u kontroli proizvoda dolazi mnogo kasnije, uporedo sa razvijanjem statističke kontrole kvaliteta. Razna laboratorijska, probna i operativna istraživanja obiluju karakteristikama kvaliteta zavisne od dve i više promenljivih veličina.

Metod regresije primenjujemo na više načina. Jedan od njih ima za cilj saznanje stepena međusobne povezanosti slučajno promenljivih veličina. Drugi, na osnovu programskih utvrđenog variranja jedne, predviđa krajnji ishod druge veličine. Treći, objašnjava eksperimentalnu grešku. Javlja se još i primena metode regresije kao test teorije o uzroku i posledici.

## DIJAGRAM RASPROSTIRANJA

Posmatramo jedan hipotetički događaj određen slučajno promenljivim veličinama X i Y. Ako nakon n opservacija u koordinatnom sistemu unesemo skup od n uređenih parova (X, Y) dobićemo raspored slučajnih tačaka ili dijagram rasprostiranja. Iz oblika dijagrama rasprostiranja možemo otkriti zavisnost između promenljivih X i Y. Zbog lakšeg razumevanja same prirode korelacije i regresije, na slici br. 1. prikazano je šest specifično različitih dijagrama rasprostiranja. Njihova konstrukcija izvedena je pomoću zajedničkih koordinata za sve dijagrame, s tim što se raznim kombinacijama dolazi do karakterističnih slučajeva rasporeda slučajnih tačaka.



Sl. 1. Dijagrami rasprostiranja

## KORELATIVNE KARAKTERISTIKE KVALITETA

U principu razmatramo linearne korelativne karakteristike kvaliteta. Nailazimo ih često i to od kontrole jednostavnih delova do performansi složenih uređaja i agregata. Navodimo slučajeve iz proizvodnje automotora: otvaranje termostata u funkciji temperature, predpaljenje razvodnika u zavisnosti od broja obrtaja, tvrdoća materijala u regresiji njegove čvrstoće na kidanje, opterećenje opruge u odnosu na ugib i sl.

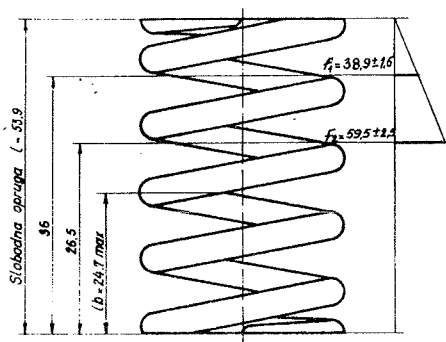
Uzimamo spoljnu oprugu usisnog i izduvnog ventila motora 128A.064 kao jednostavan primer korelacije podkrepjen empirijskim podacima. Svi kasniji proračuni ilustrirani su ovim primerom.

## SNIMANJE PODATAKA

Korelacija kao inženjering metoda zahteva detaljno razradjenu tehnologiju merenja i prikupljanja podataka. Ista je veoma osetljiva na greške kod malih uzoraka. Mehanografska obrada podataka traži kompletnu organizaciju i to od osnovnih obrazaca do izveštaja u završnom obliku. Prigodna merna lista razrešava problem unifikacije osnovnih podataka za primenu AOP programa.

Dvodimenzionalnoj prirodi korelacije odgovara dvostrani prilaz u formiranju podataka. Momentano posmatramo nezavisno promen-





Sl. 2. Spoljna opruga ventila

ljivu veličinu X. Ako je područje ispitivanja karakteristike kvaliteta podjednako važno, organizator eksterimenta-ispitivanja, primenjuje pravougaonu raspodelu. Za ugib opruge ventila, iskorišćena je simetrična raspodela koja približno odgovara normalnoj. Bitno je da ova raspodela, tamo gde je moguće bude unapred propisana tehnološijom ispitivanja. Kao razlog navodimo našu težnju, da pratimo tekući kvalitet, istorijat kvaliteta i uporedjivanje kvaliteta pod istovetnim uslovima.

PARAMETRI KORELACIJE

Za proračun statističkih parametara korelacije i regresije koristimo šest osnovnih komponenata:  $n, \bar{X}, \bar{Y}, \sum x^2, \sum y^2$  i  $\sum xy$ . Vezu izmedju jednih i drugih koordinata ostvarujemo preko središta statističkog skupa relacijom i to  $x = X - \bar{X}$  i  $y = Y - \bar{Y}$ .

Postoji ranija konstatacija da korelacija kao statistička metoda daje pouzdanije rezultate za velike uzorke,  $n > 20$ . Tada slučajna greška signifikatnog značaja ima manji uticaj na tačnost regresije. Sam proračun traži veliki broj računskih operacija, pa racionalnost uvođenja korelacije u operativni uslovljava primenu računara.

Za brojni primer koristimo ručnu obradu podataka u cilju lakšeg razumevanja suštine korelacije i regresije. Primenjujemo uprošćeni postupak sa intervalnim grupnim formiranjem distribucije frekvencije.

Korektor aritmetičke sredine

Interval u kome se nalazi aritmetička sredina nazivamo nultim. Položaj nultog intervala za karakteristiku X i Y obeležavamo sa  $X_0$  i  $Y_0$  a raspon intervala određuje razmera skale,  $i_x$  i  $i_y$ . Korekturu aritmetičke sredine uvodimo zbog grupisanja podataka po intervalima. U našem slučaju ona iznosi:

$x$  - Ugib opruge u /mm/,  $i_x = 1$

Interval	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	$\sum$
$f \rightarrow f_x$	2	4	4	6	4	2	2	1	3			35
$f_d$	-1	-1	-2	-1	0	1	2	4	5			
$f_d^2$	1	1	4	1	0	1	4	16	25			77
$f_y$	6	5	9	2	5	1	1	2	3	2	1	35
$f_d y$	-6	-5	-18	-2	0	2	8	20	15			-25
$f_d^2 y$	-6	-5	-72	-2	0	2	32	80	75			-100
$\sum$	25	14	140									146

Sl. 3. Obračunska karta korelacije

$$C_x = \frac{\sum f_x d x}{n} = \frac{-7}{35} \quad \text{i} \quad C_y = \frac{\sum f_y d y}{n} = \frac{12}{35}$$

Aritmetička sredina

Srednja tačka korelacije ili regresije ima koordinate aritmetičkih sredina  $\bar{X}$  i  $\bar{Y}$ . Kr-oz srednju tačku prolaze prave linije regresije i u odnosu na istu vršimo translaciju koordinatnog sistema sa koordinatama  $x = X - \bar{X}$  i  $y = Y - \bar{Y}$ . Po definiciji aritmetičke sredine, suma svih odstupanja slučajno promenljive veličine u odnosu na nju jednaka je nuli. U našem slučaju data je izrazom i iznosi:

$$\bar{X} = X_0 + i_x C_x = 30,80$$

$$\bar{Y} = Y_0 + i_y C_y = 51,03$$

Standardna devijacija

Definisana je kao pozitivni drugi koren varijanse, što je najmanje kvadratno odstupanje medju svim kvadratnim odstupanjima. Za posmatrani primer iznosi:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum f_x d^2}{n} - C_x^2} = 2,43$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum f_y d^2}{n} - C_y^2} = 1,97$$

Prava vrednost standardne devijacije dobija se množenjem sa odgovarajućim koeficijentom razmere  $i_x$  odnosno  $i_y$ .

Kovarijansa

Kod dvodimenzionalne normalne raspodele centralni momenat prvog reda naziva se kovarijansa varijabli x i y. Proračunava se

po obrascu:

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum f_{xy} x y}{n} - C_x C_y = -4,67$$

Prava vrednost kovarijanse dobijamo množenjem sa proizvodom razmera  $i_x \cdot i_y$ . Kovarijanse nezavisnih slučajnih varijabli jednaka je nuli, dijagram 1D. Maksimalnu vrednost dostiže za ostvarenu čisto funkcionalnu vezu izmedju promenljive  $x$  i  $y$ , što znači da se zbir proizvoda  $\sum xy$  nalazi na maksimumu, dijagram 1A.

Koeficijent korelacije

To je mera stepena bliskosti linearnog odnosa slučajno promenljivih veličina  $(x, y)$  i predstavlja veoma važnu kariku kod proučavanja statističkih skupova sa stohastičkom vezom. Za primer ventilske opruge proračunava se iz odnosa:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = -0,974$$

Koeficijent korelacije poseduje sledeće osobine:

- $r$  je neimenovani broj, osobina pogodna za upoređivanje dveju karakteristika kvaliteta različitih mernih jedinica.

- $r$  uvek zadovoljava relaciju  $-1 \leq r \leq +1$ , svojstvo lako uočljivo u obrascu za standardnu grešku.

- Za  $|r| = 1$  slučajne tačke raspodele leže na pravoj liniji, izmedju  $x$  i  $y$  postoji funkcionalna veza, dijagram 1A.

- Za  $r = 0$  slučajne tačke raspodele formiraju korelacioni krug, izmedju  $x$  i  $y$  nema nikakvog odnosa ili postoji izrazito slabo stohastička veza, dijagram 1D,

- Za  $r$  različito od 0 i 1, slučajni raspored sačinjava korelacionu elipsu. Splošnost elipse ukazuje na intezitet korelacije. Uopšteno, labavijoj vezi odgovara manji  $|r|$  a čvršćoj vezi veće vrednosti  $|r|$ . Visoka korelacija daje jaču koncentraciju tačaka oko veće ose elipse.

- Inklinacija elipse odredjena je znakom za  $r$ . Strmina elipse nije sigurna indikacija za  $r$  s obzirom da ista zavisi od razmere skale promenljivih,  $i_x i_y$ .

- Kod malih uzoraka korelacija je veoma osetljiva na bilo kakve promene dvodimenzionalne raspodele. Na primer, ako se na dijagramu 1D tačka (26,0) promeni u (26,9),  $r$  se povećava od 0 na 0,505.

Standardna greška

Srednje odstupanje empirijskih podataka od linije regresije naziva se standardna greška regresije i za naš slučaj data je izrazom:

$$s_y = i_y \cdot \sigma_y \sqrt{1-r^2} = 1,34 \text{ kp}$$

Pošto se polazi od pretpostavke da su empirijski podaci za  $x$  i  $y$  raspoređeni po normalnom zakonu, proizilazi verovatnoća da 95,45% slučajno posmatranih tačaka nalazi se u intervalu  $\bar{Y} \pm 2 s_y$ . Za regresiju ventilske opruge, dijagram na sl.5, za ugib od 31 mm, interval poverenja nalazi se u granicama 48,3 <  $y$  < 53,7.

Na osnovu iznetog, četvostruka vrednost standardne greške regresije direktno je uporediva sa tolerancijom karakteristike kvaliteta. Za naš primer, ventilska opruga egzistira na granici iskorišćenja tolerantnog polja.

#### PARAMETRI REGRESIJE

Proračun parametra regresije izvodi se iz osnovnih komponentata za korelaciju:  $n, \bar{X}, \bar{Y}, \sum x^2, \sum y^2$  i  $\sum xy$ , što znači da se stohastička povezanost dvočlenizionalnog skupa interpretira na drugi način.

Koeficijent pravca

Postoje dva koeficijenta pravca regresije, zavisno od toga da li posmatramo regresiju  $X$  u odnosu na  $Y$  i obrnuto. Na prvi pogled postoji nelogičnost s obzirom da parametre jednačina pravih linija proračunavamo na osnovu istih empirijskih podataka. Činjenicu objašnjava to što se korelacija i regresija bave odnosima koji se ne ostvaruju potpuno tačno. Kod vertikalnog odstupanja,  $Y$  u regresiji od  $X$ , usvajamo da promenljiva  $X$  ne podleže greškama, dok su greške merenja sadržane u vrednostima  $Y$ . Imamo obrnutu situaciju kod horizontalnog odstupanja.

Koeficijent pravca za primer ventilske opruge dat je obrascem:

$$A_x = r \cdot \frac{i_y \cdot \sigma_y}{i_x \cdot \sigma_x} = -2,36$$

Jednačine regresije

Prave linije regresije prolaze kroz središnju tačku  $(\bar{X}, \bar{Y})$  a njihov položaj u koordinatnom sistemu odredjen je koeficijentom pravca. Ugao izmedju pravih linija regre-

sije, analogno koeficijentu korelacije, uzima se kao mera linearne povezanosti ili nezavisnosti slučajnih tačaka. Kada su regresivne linije kolinearne, ispunjen je uslov  $r = \pm 1$ , a za njihov ortogonalni položaj,  $r=0$ . Za korelacionu analizu koristimo jednačinu prave oblika  $y=Ax+B$ , date relacijom:

$$Y - \bar{Y} = A_x (X - \bar{X})$$

Zamenom poznatih veličina dobijamo jednačinu prave za regresiju opterećenja ventilске opruge u odnosu na njen ugib:

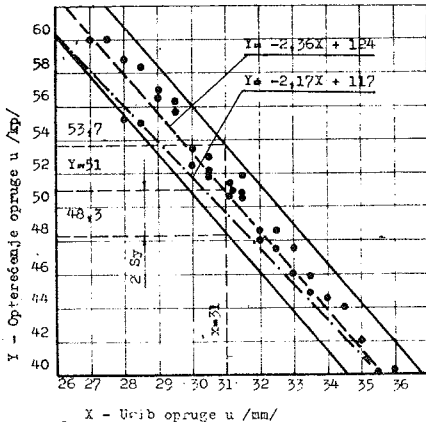
$$Y = -2,36X + 124$$

REGRESIONA ANALIZA

Po dokumentaciji, korelativna karakteristika kvaliteta ventilске opruge definisana je kao prava linija određena tačkama (36, 0; 38, 9) i (26, 5; 59, 5), dijagram slike br. 2. Jednačina jačine opruge u funkciji ugiba glasi:

$$Y = -2,17X + 117$$

Konačno posedujemo sve elemente za analizu i upoređivanje postojećeg kvaliteta ventilске opruge u odnosu na propisani. Prava



Sl. 4. Dijagram regresije opruge

linija regresije po položaju nalazi se iznad karakteristike opruge po crtežu. Koeficijent pravca regresije od 2,36 kp/mm ukazuje na izrazit trend priraštaja jačine u odnosu na ugib opruge. Imamo potpuno identičan slučaj kod unutrašnje opruge ventila motora 128A.064, izveštaj O104, sa 5,8% jačim trendom regresije od nominalnog. Zalazimo u delikatan problem, radi se o superponiranom uticaju 16 ventilskih opruga na pogon

razvoda motora. Kao rezime navodimo da sve indikacije govore da kvalitet opruga odstupa od propisanog. U praksi, principijelno kontrolori ne reklamiraju jače opruge. Njihova motivacija je da toplotno sleganje koje nastaje posle izvesnog broja ciklusa u motoru, dovodi oprugu u stanje kvaliteta po dokumentaciji. Ostaje samo činjenica da motor radi u uslovima povećanog otpora i većeg habanja bregastog vratila i pločica podizača ventila.

IZVEŠTAJ KORELACIJE

Primena korelacione i regresione analize u kontroli ima svrhe jedino ako postoji realna potreba za istraživanje i redovno izveštavanje po dvodimenzionalnim karakteristikama kvaliteta. Pouzdane informacije za kvalitet i njegov trend, omogućavaju efikasnu preventivu i osiguranje kvaliteta proizvoda. Takođe, bitan uslov predstavlja postojanje kontrolne tehnologije ispitivanja, postup snimanja podataka i primena AOP programa.

Postavlja se pitanje, zbog čega ponekad dobijamo nerealne korelacije između različitih serija ispitivanja? Uzrok može biti višestruk, najčešće organizacione prirode. Njegovo dešifrovanje za nas je od bitnog značaja i često može biti predmet posebnog istraživanja. Kao primer navodimo samo nekoliko izveštaja uz kratak komentar.

Izveštaj br. O101, tabela II, razmatra podatke uzete iz atesta o kvalitetu materijala motornog liva SI-26. Koeficijent korelacije,  $r = -0,40$ , ukazuje na nelogičnost da tvrdoća odlivaka opada sa porastom procenta ugljenika. Ovakav apsurd daje puno opravdanje da se posumnja u verodostojnost izvernih podataka i postup kontrole livačkih šarži.

Izveštaji br. O114+O121 tretiraju regresiju snage motora u odnosu na vreme potrošnje goriva i ukazuju na značajnu varijabilnost koeficijenta korelacije. Očigledno je, da probni stolovi ne potvrđuju naše očekivanje da između promenljivih postoji slaba stohastička veza. Problem se javlja kao posledica motora sa manjom snagom od deklarisanе po tehničkom uslovu. Kontrolor za takve primljene motore, svesno ispisuje u karton probe veće vrednosti od izmerene. Naknadna obrada podataka zahteva korekturu snage s obzirom na meteorološke uslove ispitivanja. U ekstremnim slučajevima a zavisno od temperature i barometarskog pritiska, dvostruka korekcija po istom osnovu kreće se u granicama od -1 do 5% od izmerene vrednosti, što je glavni uzrok nepostojanosti koeficijenta korelacije.

TABLICA I

Izveštaj po korelativnim karakteristikama kvaliteta

Broj izv. crteža	Broj Naziv dela	Karakteristika kvaliteta		n	$\bar{O}_x$	$\bar{O}_y$	$\bar{O}_{xy}$	r	$\sigma_y$	$\mu$	B	
		X	Y									
0101	01.601	Blok motora	▲ ugljenika HB odlivka	25	0,09	7,38	-0,27	-0,40	6,76	-32,4	332,0	
0102	01.612	Izdovna cev	Zatezna švratoća HB odlivka	25	1,49	4,38	2,28	0,35	4,10	1,03	188,5	
0103	01.612	Izdovna cev	Zatezna švratoća HB epruvete	25	1,45	7,92	4,17	0,36	7,30	1,97	157,5	
0104	4134500	Unutrašnja opruga	Ugib opruge	35	2,43	3,65	-8,67	-0,977	0,76	-1,47	60,1	
0105	898327	Opruga ventila	Ugib opruge	35	2,40	2,65	-6,75	-0,984	0,51	-1,17	61,0	
0106	700015	Opruga ventila	Ugib opruge	35	2,43	6,42	-15,06	-0,965	1,71	-2,55	108,1	
0107	4208869	Spoljna opruga	Ugib opruge	35	2,26	6,99	-15,45	-0,977	1,65	-2,02	136,9	
0108	4170458	Spoljna opruga	Ugib opruge	35	2,43	5,91	-14,01	-0,974	1,34	-2,36	124,0	
0109	4183579	Unutrašnja opruga	Ugib opruge	50	2,35	3,06	-7,00	-0,986	0,51	-1,28	46,7	
0110	1450374	Razvodnik R18-12.1	Broj obrtaja	50	5,92	4,37	2550	0,987	0,63	0,007	-2,86	
0111	1611408	Razvodnik R18-12	Broj obrtaja	50	439	2,47	1051	0,971	0,59	0,005	0,95	
0112	1611408	Razvodnik R18-12	Broj obrtaja	50	439	2,51	1072	0,975	0,56	0,006	1,04	
0113	1611408	Razvodnik R18-12	Broj obrtaja	50	439	2,62	1098	0,953	0,79	0,006	0,72	
0114	1610701	Motor 128A	Vreme potrošnje	Snaga, n=4000	50	0,22	0,66	-0,04	-0,25	0,64	-0,74	45,6
0115	1610701	Motor 128A	Vreme potrošnje	Snaga, n=4000	27	0,11	0,61	-0,03	-0,45	0,55	-2,44	57,2
0116	1610701	Motor 128A	Vreme potrošnje	Snaga, n=4000	35	0,35	0,48	0,04	0,25	0,47	0,34	38,6
0117	1450479	Motor 100GL	Vreme potrošnje	Snaga, n=4000	30	0,39	0,41	-0,04	-0,24	0,39	-0,25	26,9
0118	1450479	Motor 100GL	Vreme potrošnje	Snaga, n=2000	28	0,94	0,37	-0,26	-0,72	0,26	-0,29	18,6
0119	1610442	Motor 100GL	Vreme potrošnje	Snaga, n=6000	21	0,17	0,77	-0,03	-0,27	0,74	-1,20	52,1
0120	1610442	Motor 100GL	Vreme potrošnje	Snaga, n=4000	21	0,21	0,60	-0,006	-0,04	0,60	-0,13	35,9
0121	1610442	Motor 100GL	Vreme potrošnje	Snaga, n=3000	21	0,34	0,32	0,055	0,52	0,27	0,49	19,2
0122	1450478	Fpa za gorivo	Pritisak	Protok, n=2000	8	0,17	6,53	0,759	0,68	4,78	25,5	14,3
0123	1450478	Fpa za gorivo	Pritisak	Protok, n=4500	8	0,20	4,84	0,196	0,675	2,62	10,6	27,5

## ZAKLJUČAK

Regresiona analiza kao metoda spada u domenu statističke kontrole kvaliteta. Upotreba AOP programa, izveštaji po korelativnim karakteristikama predstavljaju deo informacionog sistema u integralnoj kontroli kvaliteta. Dobijene informacije značajne su za koordinirani rad stručnih službi jedne radne organizacije i njene prateće kooperacije.

## LITERATURA

1. I. Pavlič, STATISTIČKA TEORIJA I PRIMJENA, Tehnička knjiga, Zagreb, 1977.
2. Dž. Snidikor i V. Kohren, STATISTIČKI METODI, Vuk Karadžić, Beograd, 1971.
3. J. M. Juran, QUALITY-CONTROL HANDBOOK, Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, Toronto, London, 1951.

Branislav Savić \*

Vidomir Parežanin

MODEL ORGANIZACIJE IZBORA, NABAVKE I KVALITATIVNOG PRIJEMA  
MAŠINA ALATKI

R e z i m e

Promena tehničko-tehnološkog nivoa, metoda i organizacije proizvodnje dovodi do značajnih kvalitativnih i kvantitativnih promena u proizvodnji i menja značaj pojedinih faktora u razvoju. Povećanje tehnološkog nivoa zahteva i uvođenje novih tehnologija. Da bi se uvođenje novih tehnologija realizovalo uz zadovoljenje povećanja produktivnosti, potrebno je izvršiti optimalni izbor mašina alatki, što podrazumeva takav izbor koji će zadovoljiti ergonomske, tehničke i ekonomske zahteve. Optimalna organizacija izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki pretpostavlja obezbeđenje pomenutih zahteva korišćenjem naučnih metoda i tehnika, a ne oslanjanjem na profesionalne osećaje i intuiciju.

ORGANIZATION MODEL FOR THE SELECTION, PROCUREMENT AND QUALITATIVE DELIVERY MACHINE TOOLS

S u m m a r y

The change of technical-technological level, method and production organization cause the significant qualitative and quantitative changes in production and changes the importance of some factors in development. Enlargement of technological level requires also the introduction of the new technologies. In order to realise new technologies and to enlarge the productivity, it is necessary to carry out an optimal selection of the machine tools, that means such selection which could satisfy ergonomic, technical and economic requirements. Optimal organization of the selection, procurement and qualitative delivery of machine tools assumes the provision of the mentioned requirements using the scientific methods and techniques but not the reliance on the professional feelings and intuition.

---

\*Branislav Savić, dipl. ing, rukovodilac kontrole kvaliteta, IPM "ZMAJ", Zemun, Autoput 13

Mr Vidomir Parežanin, dipl. ing, samostalni projektant I, SOUR "GOŠA" - RO Institut, Beograd, Milana Rakića 35

## 1.0 UVOD

Mašine alatke imaju značajnu ulogu u razvoju metaloprerađivačke industrije u smislu razvoja proizvodnih snaga i ubrzanja tehničkog napretka.

Nivo tehnologije, stepen automatizacije proizvodnih procesa; porast proizvodnosti rada i kvalitet proizvoda u najvećoj mjeri zavise od ugrađenih kapaciteta, u čemu preovladjuju mašine alatke.

Mašina alatka je osnovni element koji obezbeđuje nivo tehnologije, mehanizacije i automatizacije proizvodnih procesa, a time i povećava proizvodnost rada, povisuje kvalitet proizvoda, snižava utrošak materijala i smanjuje potrebu za kvalifikovanim radnom snagom za njeno neposredno rukovanje.

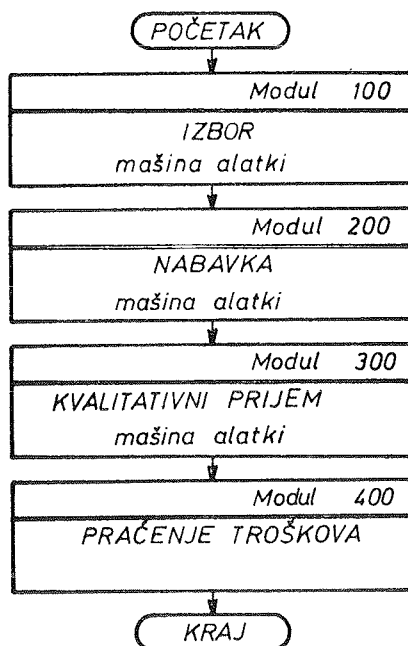
Organizacija izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki ima za cilj optimalni izbor mašina alatki i optimizaciju samog postupka izbora, nabavke i kvalitativnog prijema.

## 2.0 MODEL ORGANIZACIJE IZBORA, NABAVKE I KVALITATIVNOG PRIJEMA MAŠINA ALATKI

Na slici 1, dat je grubi blok dijagram modela organizacije izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki.

Prema slici 1, sve aktivnosti oko izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki su grupisane u četiri bloka (moduli 100, 200, 300 i 400). Aktivnosti (moduli 100, 200, 300 i 400) su zaokružene celine ali

medjusobno povezane informacionim tokovima.



Sl. 1. Grubi blok dijagram modela organizacije izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki

### 2.1 Izbor mašina alatki (Modul 100)

Novе tehnologije, kao posledica uticaja tehničkog progressa, ubrzano menjaju ne samo tehnološke procese u proizvodnji, već i čitavu organizaciju privrede i društva. Promena tehničko-tehnološkog nivoa, metoda i organizacije proizvodnje, dovodi do značajnih kvalitativnih i kvantitativnih promena u proizvodnji i menja značaj pojedinih faktora u razvoju. Mašine alatke se javljaju kao nosilac povećanja produktivnosti rada.

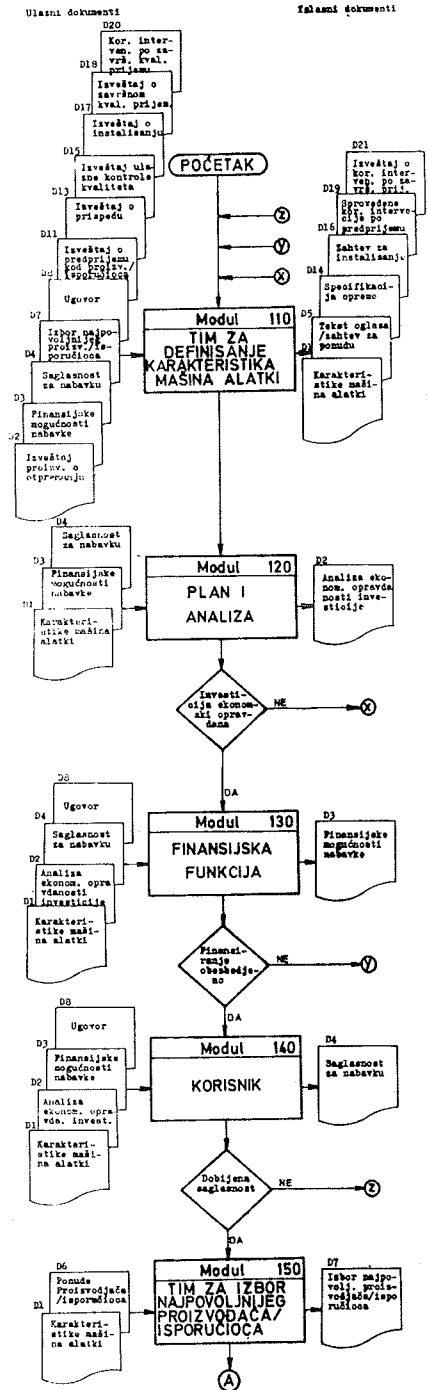
Podsticanje primene najnovijih tehnologija omogućava uvođenje novih tehnoloških procesa i postupaka u industrijskoj proizvodnji.

Da bi se uvođenje novih tehnologija realizovalo uz zadovoljenje povećanja produktivnosti, potrebno je izvršiti optimalni izbor mašina alati. Optimalni izbor podrazumeva takav izbor mašina alati koje će zadovoljiti ergonomske, tehničke i ekonomske zahteve.

Organizacija izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alati ima veliki značaj da se realizuju zahtevi uvođenja novih tehnologija.

Proizvodi mašinogradnje u svetu karakteristični su po tome što je njihova inovaciona stopa sve viša i viša /3 /. To znači da proizvodi vrlo brzo zastarevaju, da im se menja oblik i funkcionalne karakteristike. Pored toga, pojavljuju se novi proizvodi, sa novom funkcionalnošću, ili dosadašnje mašine ukraštene sa većom racionalnošću rada. U konkurentskoj borbi pojavljuju se svakodnevna iznenađenja u pogledu novih ponuda i do sada nepoznatih karakteristika. U tome veliku ulogu ima aplikacija profesionalne mikroelektronike i elektronike uopšte.

Modul 100 se odnosi na organizaciju izbora mašina alati (slika 2). Rasčlanjen je na module (110, 120, 130, 140 i 150) koji predstavljaju podaktivnosti koje se obavljaju pri izboru mašina alati. Moduli su međusobno povezani informacionim tokovima. Na slici su prikazani i ulazno/izlazni dokumenti/nosači informacija, koje stvaraju ili prima-



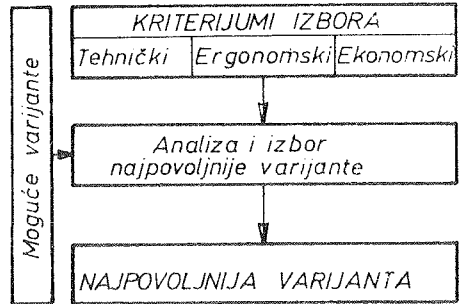
Sl. 2 Blok dijagram izbora mašina alati (Modul 100)

ju organizacione jedinice ili stručni timovi. Prema /4 /, za svaku od navedenih funkcija potrebno je specificirati skup informacija neophodnih za njeno obavljanje. Uz svaku od informacija iz ovih skupova treba navesti i niz atributa od kojih su najvažniji frekvencija i način dobijanja, poreklo (izvor) podataka, tačnost, tajnost itd.

Izbor mašina alatki odgovarajućih eksploatacijskih karakteristika sa jedne i povećanje režimskog stepena iskorišćenja sa druge strane, moguće je samo na osnovu analize postojećeg programa proizvodnje, planova proizvodnje i savremenih tendencija u razvoju relevantnih činilaca proizvodnje (alati, alatni materijali, organizacijski nivo proizvodnje i sl.).

Za izbor i ocenu kvaliteta pojedinih varijantnih rešenja postoji niz kriterijuma. Isti se, uglavnom, svrstavaju u tehničke, ergonomske i ekonomske. Naime, sa tehničkog aspekta mašine alatke treba da odgovaraju nivou savremenih dostignuća u razvoju nauke i tehnike, a istovremeno i da obezbede zadate funkcionalne karakteristike. Ergonomski je mašina alatka adekvatna ako obezbedjuje odgovarajuće uslove rada ne samo u fazi eksploatacije već i pri tehničkom opsluživanju i remontu. Pored toga novo projektovana mašina alatka treba da obezbedi najpovoljnije korišćenje materijala, energije i drugih resursa, odnosno zadovoljenje niza ekonomskih kriterijuma. Slika 3, prikazuje kriterijume izbora odgovarajućih mašina alatki /6/.

Tim za definisanje karakteristika mašina alatki, (modul 110) prema kriterijumu izbora (predstavljeno na sl. 3) definiše tehničke, ergonomske i ekonomske karakteristike mašina alatki.



Sl. 3 Kriterijumi izbora mašina alatki

Pri definisanju tehničkih karakteristika mašina alatki zahteva se ugradnja uređaja i komponenata u mašine alatke, samo određenih proizvođača, radi jednostavnijeg održavanja.

Glavni parametri tehnološkog procesa moraju biti poznati da bi se određene tehničke karakteristike mogle definisati.

Tim za definisanje karakteristika mašina alatki pored definisanja tehničkih, ergonomske i ekonomskih karakteristika, vrši i koordinaciju tokom celog procesa izbora, nabavke i kvalitativnog prijema.

Tim za definisanje karakteristika mašina alatki, poznavajući zahteve koje mašine alatke treba da ispunjavaju u eksploataciji, određuje



koeficijent tačnosti procesa ( $\beta$ )<sup>\*</sup>. Poželjno je za vrednost koeficijenta uzeti  $\beta \leq 2/3$ .

Različite su mogućnosti za izračunavanje ekonomske opravdanosti investicije (modul 120). Prema /5 /, najlogičnije je ipak upoređivanje raznih mogućih varijanti međusobno.

Za uporedne analize koristi se postupak MAPI (Machinery and Allied Products Institute). Suština je ovog postupka u tome da se za neko buduće razdoblje vremena, obično jednu godinu, upoređuju ekonomski efekti jedne varijante, napr. stare mašine alatke-branioca i druge varijante, napr. nove mašine alatke-izazivača.

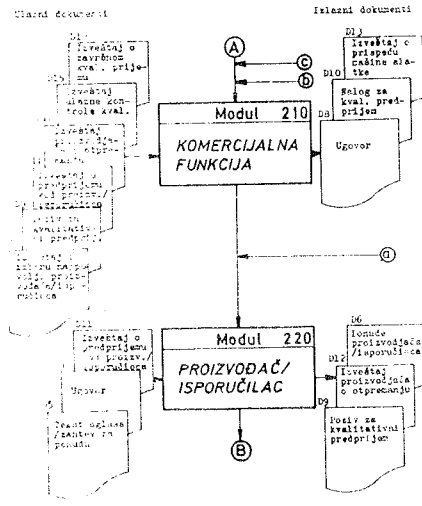
U okviru Finansijske funkcije vrši se razmatranje i ocena finansijske mogućnosti nabavke i definisanje izvora finansijskih sredstava.

## 2.2 Nabavka mašina alatki (Modul 200)

Na slici 4 je predstavljen blok dijagram nabavke mašina alatki. Komer-

\* Snimanjem  $T_{prir}$  (prirodna tolerancija) vrši se kontrola tačnosti tehnološkog sistema (mašina alatka, alat, projektovana tehnologija, kvalitet materijala, obučenosť rukovaoca).  $T_{prir}$  se izračunava na osnovu izmerenih karakteristika kvaliteta uzorka obradljivog na dotičnoj mašini alatki. Izračunata prirodna tolerancija za tačan proces treba da ima vrednost:  $T_{prir} \leq \beta \cdot T$ , gde je:  $T$  - propisana tolerancija/projektovana karakteristika kvaliteta konstrukcionim crtežom,  $\beta$  - koeficijent tačnosti kojim se definiše veličina/širina  $T_{prir}$  (dispersije karakteristike kvaliteta) u odnosu na propisanu  $T$ .

cialna funkcija na osnovu Izveštaja o izboru najpovoljnijeg proizvođača/isporučioća, vrši zaključivanje ugovora.



Sl. 4 Blok dijagram nabavke mašina alatki (Modul 200)

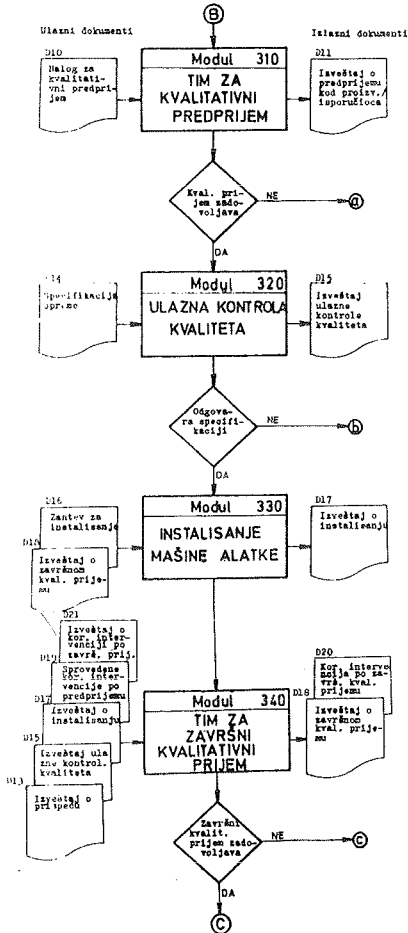
## 2.3 Kvalitativni prijem mašina alatki (Modul 300)

Na slici 5, dat je blok dijagram kvalitativnog prijema mašina alatki. Kvalitativni predprijem se obavlja kod proizvođača/isporučioća sve dotle dok mašina alatka ne zadovolji odredbe ugovora. Završni kvalitativni prijem se obavlja po izvršenom instalisanju mašine alatke. Metode i aktivnosti pri kvalitativnom predprijemu i završnom prijemu su:

- kontrola funkcionisanja mašine alatke,
- kontrola uredjaja i pribora,
- -||- elemenata režima rada i reznog alata,
- kontrola geometrijske tačnosti prema standardu proizvođača,

- kontrola prirodne tolerancije (T<sub>prir</sub>) obradom delova predstavnika,
- kontrola stabilnosti tehnološkog procesa,
- kontrola instalacija za podmazivanje,

- kontrola instalacija (električnih, hidrauličnih, pneumatskih),
- kontrola uskladjenosti mašine alatke sa HTZ propisima,
- kontrola temperatura na funkcionalnim tačkama,
- kontrola ugovorene produktivnosti,
- kontrola posebnih parametara mašine alatke definisanih ugovorom.



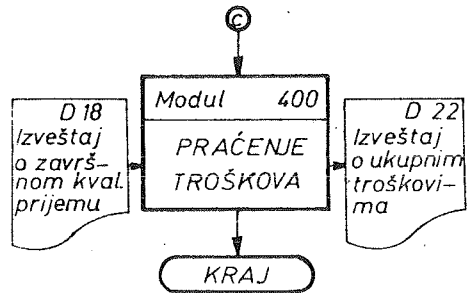
Sl. 5 Blok dijagram kvalitativnog prijema mašina alatki (Modul 300)

## 2.4 Praćenje troškova (Modul 400)

Na slici 6, predstavljen je modul 400 (praćenje troškova). Struktura troškova koji se prate je sledeća:

- vrednost mašine alatke sa svim potrebnim priborom i alatom,
- troškovi obuke kadrova,
- troškovi transporta,
- troškovi instalisanja,
- troškovi potrošnog materijala.

Stvarni troškovi se upoređuju sa troškovima koji su predviđeni za datu investiciju.



Sl. 6 Blok dijagram praćenja troškova (Modul 400)

## 3.0 ZAVRŠNA RAZMATRANJA

### 3.1 Najbitnije konstatacije

Mašine alatke kao osnova proizvodne opreme u celokupnoj mašinogradnji pa i šire, imaju poseban uticaj na razvoj cele industrije i unapredje-

nja tehnologije. One se javljaju i kao osnova dalje ekspanzije proizvodnje i produktivnosti rada. Danas sigurno više nije sporno da zaostajanje u oblasti razvoja tehnologije ima bitnog uticaja na racionalnu privredu i njenu ulogu u medjunarodnoj podeli rada / 2 /.

Mašine alatke predstavljaju najznačajnije tehničko-tehnološke činioce za pospešivanje tehničko-tehnološkog progressa i porasta produktivnosti rada u svim delatnostima industrijske proizvodnje materijalnih dobara. Zato je izbor optimalnih mašina alatki važan preduslov za tehno-ekonomsku efikasnost poslovnog sistema.

Organizacija izbora, nabavke i kvalitativnog prijema mašina alatki treba da obezbedi napred pomenute potrebe. Ne sme se gubiti iz vida da zapostavljanje bilo koje aktivnosti pri izboru, nabavci i kvalitativnom prijemu mašina alatki ne vodi ka željenim rezultatima.

Postojeća praksa izbora, nabavke i kvalitativnog prijema se uglavnom oslanja na profesionalne osećaje i intuiciju, što sa sobom nosi manje ili više izraženu subjektivnu grešku.

Korišćenjem naučnih metoda i tehnika, treba da u datim objektivnim uslovima, menja tu praksu, dobivanjem novih i sve boljih rezultata pri izboru, nabavci i kvalitativnom prijemu mašina alatki.

### 3.2 Ocena primenljivosti modela organizacije

Organizacija izbora, nabavke i kva-

litativnog prijema mašina alatki uključuje organizacione jedinice koje postoje u svakoj OUR, metaloprerađivačke i elektroindustrije, pa je široko primenljiva.

Razvijeni model organizacije izbora, nabavke i kvalitativnog prijema je primenljiv i pri rekonstrukciji mašina alatki, kao i pri nabavci/rekonstrukciji ostale tehnološke opreme.

Prezentirani model organizacije uključuje i rad timova:

- pri definisanju karakteristika mašina alatki,
- pri izboru mašina alatki,
- pri kvalitativnom predprijemu i prijemu mašina alatki.

Timovi se formiraju u zavisnosti od potreba i uključuju različite profile kadrova iz više organizacionih jedinica, pa organizacija izbora, nabavke i kvalitativnog prijema ima elementa matrične organizacije.

Rešenje organizacije zahteva i korišćenje odredjenih dokumenata (D1 - D22) kao nosača informacija. Pri ručnoj obradi podataka, a obzirom na potrebe korisnika informacija, dokumenti se pišu u više primeraka. Time se ukupan broj kopija dokumenata znatno povećava.

Elektronskom obradom podataka, broj kopija dokumenata je znatno smanjen, a vreme dostavljanja informacija je znatno kraće.

Zbog toga je projektovan informacioni sistem i razvijen odgovarajući program (u jeziku višeg nivoa - COBOL) za podršku informacionom

sistemu.

U radu je prikazan sistem koji pretpostavlja ručnu obradu podataka isključivo zbog shvatanja suštine prezentiranog modela organizacije.

#### 4.0 LITERATURA

- /1/ Dešić, V., Modeliranje organizacije preduzeća (KAM), Organomatik, Beograd, 1972.
- /2/ Dešić, V., Bošković, D., Organizacija istraživanja i razvoja (skripta), FON, Beograd, 1972.
- /3/ Grupa autora., Naučni i tehničko-tehnološki razvoj Jugoslavije do 1995/2000 godine, Tehnika, Beograd, 1982.
- /4/ Lazarević, B., Informacioni sistemi (skripta), FON, Beograd, 1972.
- /5/ Rejec, E., Teretehnologija, Informator, Zagreb, 1974.
- /6/ Town, H.C., The Design and construction of machine tools, Butterworth and Co ltd, London, 1974.

Jože Jurkovič, Hinko Muren \*

TOGOST FREZALNEGA STROJA IN NATANČNOST OBDELAVE

P o v z e t e k

V delu je prikazana odvisnost natančnosti obdelave od togosti frezalnega stroja. Podane so možnosti za teoretični izračun togosti frezalnega trna v sklopu z vretenom in ležaji ter opisane praktične meritve statične togosti na konkretnem stroju ter medsebojna primerjava.

STEIFIGKEIT DER FRÄSMASCHINE UND GENAUIGKEIT DER BEARBEITUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es ist Einfluss der Steifigkeit der Fräsmaschine an die Genauigkeit der der Bearbeitung vorgestellt. Weiter sind die Möglichkeiten zur Berechnung der Fräsdornsteifigkeit und praktische Messungen der statischen Fräsmaschinensteifigkeit beschrieben und miteinander verglichen.

1. UVOD

Pri obdelavi s frezanjem, se na obdelovancu pojavijo dimenzijski odstopki, ki so posledica deformacij.

Velikost deformacij je odvisna od:

- togosti sistema stroj-orodje-obdelovanec
- velikosti rezalnih sil
- velikosti vpenjalnih sil.

Pomembno vlogo imajo razmere, ki se pokažejo pri obdelavi izdelka v končno

obliko in z zahtevanimi tolerancami. Da bi dosegli predpisano območje odstopkov želimo ugotoviti, če je mogoče izbrati delovni režim za končno obdelavo v odvisnosti od togosti frezalnega stroja in materiala obdelovanca. Togost frezalnega stroja bi bilo mogoče z zadovoljivo natančnostjo določiti eksperimentalno ali tudi računsko. Glede na obdelovani material pa je mogoče, po metodah iz obstoječe literature, določiti velikost rezalnih sil.

---

\* Mag. Jože Jurkovič, dipl.ing., asistent;  
Prof.dr. Hinko Muren, dipl.ing.

oba na Fakulteti za strojništvo Ljubljana, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

## 2. TEORETIČNE OSNOVE

V osnovnih teoretičnih obravnavah so bile zajete rezalne sile in premer odrezka. Izvedene so bile nove enačbe, ki omogočajo natančnejši izračun delovnih režimov ob uporabi zmogljivejših žepnih računalnikov. Obenem je mogoče natančneje analizirati delovanje rezalnih sil, razlike med protismernim in istosmernim frezanjem in vpliv podajanja na smer delovanja sil. Ti izračuni so pokazali, da so pri fini obdelavi nastopajoče debeline odrezkov manjše, kot je zaokrožitev rezalnega robu na orodju. Na podlagi tega se lahko vprašamo, če je tvorba odrezka v teh pogojih še regularna in uporaba enačb iz literature še upravičena /1/.

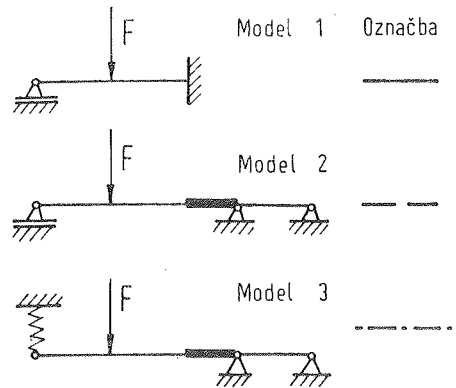
## 2.1. Vpliv rezalnih sil na natančnost obdelave

Deformacije na frezalnem stroju, ki so posledica rezalnih sil, povzročajo odmik in nagib obdelane ploskve. Prvega je mogoče korigirati s spremembo nastavljenе globine frezanja, potem ko smo na enem obdelovancu ugotovili velikost tega odmika. Za nagib lahko predpostavimo, da ga je mogoče v danih razmerah kompenzirati s primerno stožčasto obliko frezala ali z izbiro položaja vpetja obdelovanca z ozirom na glavni in pomožni ležaj. Teoretično bi bilo mogoče, da se v določeni legi nagib frezala in upogib spodnjega dela stroja izenačita.

Prej omenjene male debeline odrezkov povzročijo, da se razmerje med glavno in odzivno silo močno spremeni in sicer tako, da se slednja znatno poveča. Ta sila je skoraj navpična in bistveno vpliva na deformacijo sistema stroj-orodje-obdelovanec /1/.

## 2.2. Modeli za sklop trn-vreteno-ležaji

Pri analizi deformacij na frezalnem smo ugotovili, da rezalne sile najbolj vplivajo na deformacijo frezalnega trna v sklopu z delovnim vretenom in ležji. Za teoretično obdelavo problema je bilo izdelanih več računalniških modelov /2/. Enostavnejši zajemajo manj, kompleksnejši pa več vplivnih parametrov. Shematičen prikaz treh oblik je prikazan na sliki 1.

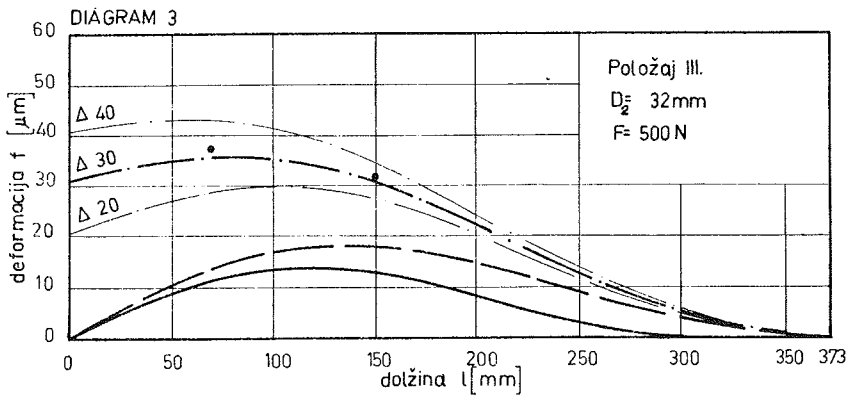
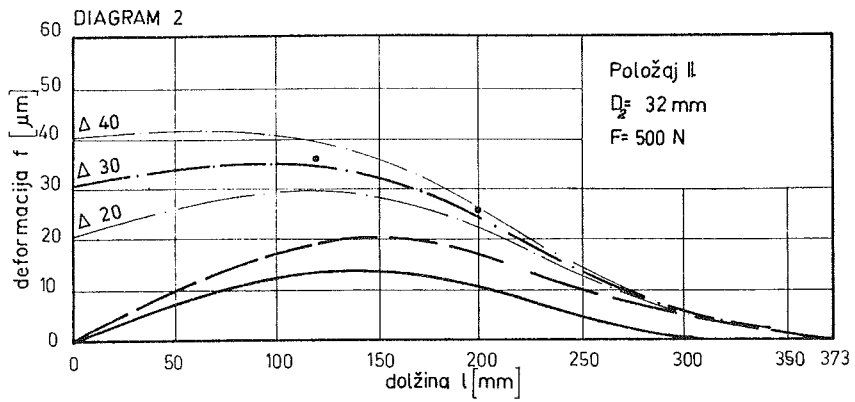
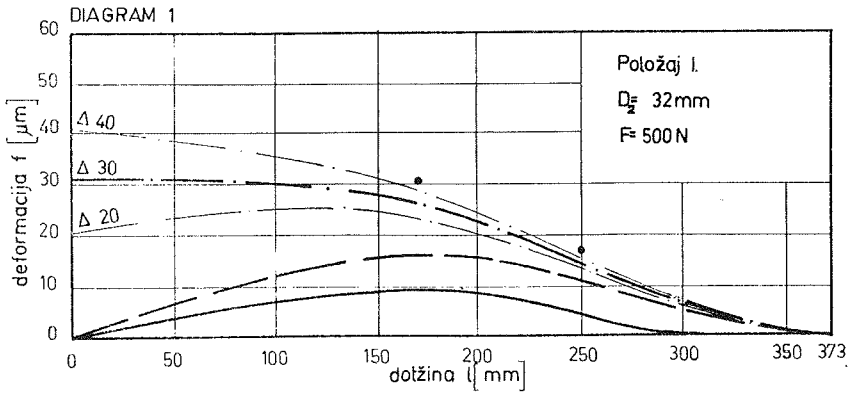


Slika 1: Shematični prikaz modelov

Za posamične modele so bila izvedena vrednotenja pri treh spremenljivih parametrih:

- dimenzije frezalnega trna:  
 $D = 27 \text{ mm}, 32 \text{ mm}, 40 \text{ mm}$
- velikosti frezalne sile:  
 $F = 100 \text{ N}, 500 \text{ N}$
- $I, II, III: 210 \text{ mm}, 160 \text{ mm}, 110 \text{ mm}.$

S tako izbranimi vrednostmi so bile dobljene teoretične vrednosti za izbrane računske modele. Potek deformacij je prikazan v diagramih na sl. 2. Različni modeli so ponazorjeni z različnimi črtami, kot je ponazorjeno v sliki 1. Za model 3 je narejen izračun za tri različne ohlapnosti v opornem ležaju in sicer  $D = 20 \text{ }\mu\text{m}, 30 \text{ }\mu\text{m}$  in  $40 \text{ }\mu\text{m}$ . Iz prikazanega je mogoče



Slika 2: Deformacije frezalnega trna  $\phi 32$

ugotoviti, da se potek deformacij za različne modele znatno razlikuje. V diagramih so vnesene tudi s praktičnimi meritvami dobljene vrednosti.

### 3. MERITVE STATIČNE TOGOSTI

Za primerjavo teoretičnih in praktičnih vrednosti, so bile na frezalnem stroju ALG-200 - PRVOMAJSKA izvedene meritve statične togosti. Pri tem so bili uporabljeni isti parametri kot pri teoretičnem izračunu. Meritve smo izvajali s pomočjo hidravličnega cilindra in pumpe ter prenosnega elementa, ki je obremenjeval frezalni trn. Velikost sile smo ugotavljali s piezo dajalnikom, ojačevalnikom naboja in voltmetrom, deformacije pa smo odčitavali na tisočinskih merilnih uricah.

Primerjava računskih in dejansko izmerjenih vrednosti jasno kaže, da se model 3 najbolj približa izmerjenim vrednostim na stroju. Slednji so pravilom večje od računskih, saj zajemajo tudi deformacijo konzole, miže in okrovja stroja.

### 4. SKLEP

Z opravljenimi začetnimi raziskavami vpliva togosti stroja na natančnost izdelka pri frezanju smo dobili ponovno med izmerjeno statično togostjo stroja in teoretično zastavljenimi

izračuni. Rezultati kažejo na medsebojno povezavo. Da bi lahko razširili veljavnost teh ugotovitev, bo potrebno izvesti izračune in meritve za več različnih frezalnih strojev in primerjati tako dobljene vrednosti. V nadaljevanju raziskav bi bilo potrebno ugotoviti velikost povezav na konzoli oz. mizi stroja in tako ugotoviti njihov delež v celotnem povezu.

Za dokončno oceno vplivov in s tem realnejšo oceno razmer pa bo potrebno izvesti tudi meritve dinamične togosti na različnih frezalnih strojih. Tako dobljene karakteristike bodo omogočile vnaprejšnjo izbiro režima obdelave, ki bo zagotavljal kvalitetno obdelan izdelek.

### 5. LITERATURA

- /1/ Muren, H.: Teoretična odvisnost sil od geometrije pri obodnem frezanju, Strojniški vestnik 181 - 185, 1982.
- /2/ Muren, H. s sodelavci: Vpliv deformacij obdelovalnega sistema na sile pri frezanju, 1981, 1982.



Radivoje Antić dipl.ing. samostalni projektant, R.O. "Razvoj" LŽT "Kikinda"

EKONOMIČNOST CNC BRUSILICE U ODNOSU NA BRUSILICE OPŠTE NAMENE PREKO SLOŽENOSTI RADNOG DELA

R e z i m e

Složenost je uticaj sledećih elemenata: tolerancije, hrapavosti, težine, broja delova u seriji, površine brušenja, broja prečnika ili broja čela koja se bruse. Za posmatranje ekonomičnosti je uzeta vrednost i složenost radnog dela. Vrednost radnog dela je proizvod cene i vremena izrade radnog dela. Vreme izrade radnog dela je u zavisnosti od složenosti, jer elementi složenosti su i elementi vremena izrade.

ECONOMY OF CNC GRINDING MACHINE IN REGARD TO GENERAL PURPOSE GRINDING MACHINES

S u m m a r y

The economy of CNC grinding machine in regard to general purpose grinding machines, concerning the workpiece complexity, is given in details in this work. Workpiece complexity depends on the following elements: tolerance, roughness, number of diameters or number of faces to be ground. Economy is regarded as the value and workpiece complexity. Workpiece value is the result of the price and time needed for its production. Time needed for production of workpiece depends on the complexity are also the elements of time needed for production.

1. UVOD

Ekonomičnost CNC je radjena za proizvodni program mašina alatlijska. Radjena je preko složenosti radnog dela zbog velikog broja raznovrsnih delova u malim serijama, gde se nemože za svaki radni deo računati ekonomičnost.

2. TROŠKOVI CNC BRUSILICE I

BRUSILICE OPŠTE NAMENE (C)

$$C = C_{kh} + C_{odr} + C_p + C_e + C_{r.s} + C_{o/h}^{(din)}$$

$C_{kh}$  - cena koštanja mašine  
 $C_{odr}$  - troškovi održavanja mašine  
 $C_p$  - troškovi prostora mašine  
 $C_e$  - troškovi utrošene energije  
 $C_{r.s}$  - troškovi radne snage  
 $C_o$  - ostali troškovi (vek trajanja, radno mesto tehnologa CNC obrade, zakašnjenje pozicije klasičnog brušenja u odnosu na CNC brušenje, dorade zbog manje tačnosti klasičnog brušenja u odnosu na CNC brušenje)

Za CNC brušenje

$$C=350+21+11,3+10,65+144+90=627 \frac{\text{din}}{\text{h}}$$

Za klasično brušenje

$$C=127,91+7,68+10,24+6,08+144+90=396 \frac{\text{din}}{\text{h}}$$

### 3. VREME IZRADE SREDNJE SLOŽENOG DELA (T)

Za srednje složen radni deo je izabran proizvoljan deo (ovde nije naveden) zbog određivanja učešća elemenata složenosti. Za CNC brusilicu mašinsko vreme izrade  $t$  je 5,15 min. Pomoćno vreme  $t_p=4,68$  min. Pripremno završno vreme  $T_{pz}=12,21$  min.

Za klasično brušenje pomoćno vreme i vreme izrade iznose 23,7 min.  $T_{pz}=20$  min. Detaljno objašnjenje je dato u radu šestog Jugoslovenskog savetavanja "NUMA" + "ROBOTI" Beogradski sajam maja 1983.

### 4. UČEŠĆE POJEDINIH ELEMENATA NA SLOŽENOST RADNOG DELA

I Uticaj tolerancije 0,14-0,70

II Uticaj hrapavosti 0,05-0,375

III Uticaj težine 0,01-0,025

IV Uticaj broja radnih delova u seriji 0,01-0,30

V Uticaj površine brušenja 0,004-0,79

VI Uticaj broja prečnika ili 0,0015-0,015 broja čela koja se bruše-0,0022-0,022

#### 4.1 Uticaj tolerancije

- Za brusilicu opšte namene

Za radni deo mašinsko vreme iznosi 4,7 min= $t_m$ . Pomoćna vremena koja nemaju veze sa tolerancijom su: abrihtovanje 3,3 min, ukupno pomoćno vreme CNC bez autom. pozicioniranja = 1,3 min =  $t_{p1}$

$t_t$  = vreme vezano za toleranciju

$$t_t = t - t_{abr} + t_{p1} = t_m /$$

$$t_t = 23,7/3,3 + 1,3 + 4,7/$$

$$t_t = 14,4 \text{ min.}$$

Za obradu sa IT6:  $s = \frac{14,4}{24,7} = 0,58$  je probni radni deo.

Za CNC orusilicu vreme vezano za toleranciju je samo pomoćno vreme izbrušivanja (za IT6 iznosi oko 0,15 min.) i vreme instrukcije za aktiviranje mernog uređaja koje je oko 3 sec. ukupno 0,2 min. Za probni radni deo  $s_1 = \frac{0,2}{4,7} = 0,04$  Srednja vrednost složenosti je

$\frac{S_1 + s_1}{2} = \frac{0,62}{2} = 0,31$  odnos vremena pomoćnih za merenje i brušenje na meru je oko 1,5

$$IT8 \text{ --- } s_1 = 0,14$$

$$IT7 \text{ --- } s_1 = 0,21$$

$$IT6 \text{ --- } s_1 = 0,31$$

$$IT5 \text{ --- } s_1 = 0,46$$

$$IT4 \text{ --- } s_1 = 0,70$$

#### 4.2 . Uticaj hrapavosti

- Vreme abrihtovanja zavisi od tražene klase obradjene površine

$$t_{pabr} = \frac{B+21}{V}, T_{cncbr} = 12,21 \text{ min}$$

$$T_{brdpšt} = 24,7 \text{ min.}$$

B+21 - širina brusne ploče sa 2 izlaza za brušenje (mm) = 80 mm.

$V_{fabr}$  = - brzina finog abrihtovanja

- (mm)/(min); CNC brusi, brusil.opš. nam;sr.slož.se uzima kao rezultujuća.

$$\text{Za } 4 - V_{fabr} = 13 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad S_2 = \frac{t}{T}; t = \frac{80}{13} =$$

$$= 6,15 \text{ min. } T_{cnc} = 12,21 \text{ min; } T_{brdpšt} =$$

$$24,7 \text{ min. Za } 5 - V_{fabr} = 20 \frac{\text{mm}}{\text{min;}}$$

$$S_2 = 0,245 \text{ Za } 6 - V_{fabr} = 30 \frac{\text{mm}}{\text{min;}}$$

$$S_2 = 0,15. \text{ Za } 7 - V_{fabr} = 50 \frac{\text{mm}}{\text{min;}}$$

$$S_2 = 0,1 \text{ Za } 8 - V_{fabr} = 100 \frac{\text{mm}}{\text{min;}}$$

$$S_2 = 0,05. \text{ Složenost za CNC i brusili-$$

cu opšte namene data je u radu VI Jugoslovenskog savetavanja "NUMA" + "ROBOTA" - Beogradski sajam maja 1983.

## 4.3. Uticaj težine

$G \leq 50N \rightarrow t_p = 0,17 \text{ min.}$

$100N \geq G > 50N \rightarrow t_p = 0,24 \text{ min.}$

$G > 100N \rightarrow t_p = 0,4 \text{ min.}$

Srednja složenost

$G \leq 50N \quad S_2 = 0,01$

$100N \geq G > 50N \quad S_3 = 0,15$

$G > 100N \quad S_3 = 0,025$

Složenost za CNC i za brusilicu

opšte namene je data u radu VI-

-Jugoslovensko savetovanje

"NUMA \* ROBOTI"

## 4.4. Uticaj broja radnih delova u seriji (n)

- Za brusilicu opšte namene

$$n = 2$$

$$T = 20$$

$$\frac{T_{pz}}{n} = \frac{20}{2} = 10 = 0,3 = S_4$$

Na isti način se dobija  $S_4 = 0,17$  za  $N=4$ ;  $0,12$  za  $n=6$ ;  $0,095$  za  $n=8$ ;  $0,078$  za  $n=10$ ;  $0,04$  za  $n=20$ ;  $0,017$  za  $n=50$ ;  $0,008$  za  $n=100$

4.5. Uticaj površine brušenja A ( $\text{cm}^2$ ) - Ukupno mašinsko vreme brušenja za CNC brusilicu kao i za brusilicu opšte namene  $t=4,7$  mi za dati radni deo sa  $A=697,43 \pm \pm 700 \text{ cm}^2$

CNC brusilica brus.opšte namene  
 $s = \frac{4,7}{12,21} = 0,385 \quad s = \frac{4,7}{24,7} = 0,19$

srednja vred.slož.  $s = 0,287$ ; po  $1 \text{ cm}^2 \quad S_{jed.} = \frac{0,287}{700} = 0,04$  za površinu do  $1500 \text{ cm}^2$ .

Na sličan način se dobija  $S_5 = 0,43\%$  do  $79\%$  za površinu od  $0 - 5000 \text{ cm}^2$  detaljno objašnjenje je dato u radu VI savetovanja "NUMA \* ROBOT" Beogradski sajam maja 1983.

## 4.6. Uticaj broja prečnika (x)

Ukupno vreme unošenja podataka za navedeni radni deo je  $10,3 \text{ min}$

Na radnom delu imamo za brušenje 4 prečnika i jedno čelo.

Vreme po 1 obradivoj površini:

$$\frac{10,3 \text{ min}}{5} = 2,06 = T_{pz6}; T_{pz6} =$$

$= 2,06 \text{ min.}$  vreme unošenja podataka za obradu prečnika  $T_{pu6\emptyset}$

vreme unošenja podataka za obra-

du čela  $T_{pz6\checkmark} = 1,5 T_{pz6\emptyset}$

$$t_{pz6} = \frac{T_{pz6}}{20} = \frac{2,06}{20} = 0,103 = 0,1 \text{ mi}$$

po 1 rad. delu  $t_{pz6\checkmark} = 1,5 \cdot t_{pz6\emptyset}$

$$4t_{pz6\emptyset} + t_{pz6\checkmark} = 0,1$$

$$4t_{pz6\emptyset} + 1,5t_{pz6\emptyset} = 0,1$$

$$5,5t_{pz6\emptyset} = 0,1 \text{ min}; t_{pz6\emptyset} = 0,018 \text{ min.}$$

$$t_{pz6\checkmark} = 1,5t_{pz6\emptyset} = 0,027 \text{ min}$$

Udeo  $t_{pz6\emptyset} = \frac{0,018}{12,21} = 0,0015$  za CNC brusilicu

Udeo  $t_{pz6\checkmark} = \frac{0,027}{12,21} = 0,0022$  za CNC brusilicu

Za  $\emptyset$  za čela

$$x=1 \rightarrow s_6 = 0,0015 \quad x=1 \rightarrow s_6 = 0,0022$$

$$x=2 \rightarrow s_6 = 0,0030 \quad x=2 \rightarrow s_6 = 0,0044$$

$$x=3 \rightarrow s_6 = 0,0045 \quad x=3 \rightarrow s_6 = 0,0066$$

$$x=4 \rightarrow s_6 = 0,0060 \quad x=4 \rightarrow s_6 = 0,0088$$

## 5. ZAVISNOST VREMENA I SLOŽENOSTI RADNOG DELA

-Za CNC brusilicu

Složenost za srednje složen deo

$$je \quad S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 = 0,8$$

$$T = as^2 + T$$

$$T_{min} = \frac{T_{pz} = 47,52}{n} = 0,10 \text{ min}$$

$$T = 5,15 + 4,68 + 0,10 = 9,93 \text{ min}$$

$$s = 0,80$$

$$a = \frac{T - T_{min}}{s^2} = 15,36; \quad T = 15,36s^2 + 0,1$$

$$T = 15,36s^2 + 0,1$$

Brusilica opšte namene

$$T = a s^2 + T_{\min}$$

$$T_{\min} = \frac{T_{pz}}{n} = \frac{20}{500} = 0,04 \text{ min}$$

$$T = 23,7 + 0,04 = 23,74 \text{ min.}$$

$$T = 23,74 \text{ min}$$

$$s = 0,8$$

$$a = \frac{T - T_{\min}}{s^2} = \frac{23,74 - 0,04}{0,8^2} = \frac{23,7}{0,64} = 37,03$$

$$T = 37,03 s^2 + 0,04$$

6. VREDNOST RADNOG DELA (V)

$$V = TC$$

T -- vreme ( $\frac{\text{min.}}{\text{kom}}$ )

C -- cena ( $\frac{\text{din}}{\text{min}}$ )

$$V(=) / \frac{\text{min}}{\text{kom}} \frac{\text{din}}{\text{min}} = \frac{\text{din}}{\text{kom}}$$

7. ZAVISNOST VREDNOSTI I SLOŽENOSTI RADNOG DELA

- Za CNC brusilicu

$$V = TC$$

$$C = 627,00 \frac{\text{din}}{\text{h}} = 10,45 \frac{\text{din}}{\text{min}}$$

$$T = 15,36 s^2 + 0,1$$

$$V = 10,45(15,36 s^2 + 0,1)$$

$$V = 160,51 s^2 + 1,05$$

- Za brusilicu opšte namene

$$V = TC$$

$$C = 396,00 \frac{\text{din}}{\text{h}} = 6,60 \frac{\text{din}}{\text{min}}$$

$$T = 37,03 s^2 + 0,04$$

$$V = (37,03 s^2 + 0,04) 6,60$$

$$V = 244,4 s^2 + 0,264$$

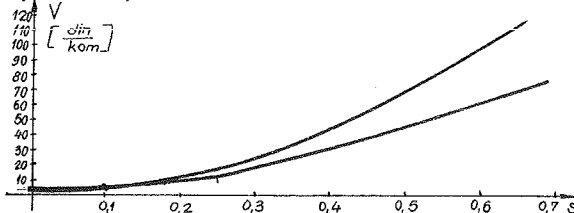
- Granična ekonomičnost CNC brusilice i brusilice opšte namene

$$V_{cnc} = B_{br.o.n}$$

$$244,4 s^2 + 0,264 = 160,51 s^2 + 1,05$$

$$83,89 s^2 = 0,786$$

$$s = \sqrt{\frac{0,786}{83,89}} = 0,097 = 0,10$$



sl.1.

Na dijagramu sl.1 se može videti sl: za K=2 dobija se da je ekonomična brusilica opšte namene do složenosti 0,1, dok za složenost veću od 0,1 je ekonomična CNC brusilica.

ZAKLJUČAK

Treba dalje raditi na utvrđivanju koeficijenta K u jednačinama  $V = 244,4 s^k + 0,264$  i  $V = 160,51 s^k + 1,05$  koje proističu iz jednačina  $T = 37,03 s^k + 0,04$  i  $T = 15,36 s^k + 0,1$ . Ovo utvrđivanje treba rešavati preko većeg broja, različitih po obliku, delova; kod kojih se izračunava vreme izrade po ključu određuje složenost, a iz jednačina izračunava koeficijent K. Utvrđivanjem tačne vrednosti koeficijenta može se dobiti tačna vrednost ekonomičnosti.

L I T E R A T U R A :

- "Proizvodni sistemi" - N.Sad - Džugurski, Časić
- "Jupiter" - NUMA 1978 - ROBOTI SAOPŠTENJA
- Jugoslovensko posvetovanje proizvodnega strojništva Zbornik objav II - Numeričko krmljenje obradovanih strojeva - Maribor, 1978
- Mašinska obrada - priručnik za proračun merodavnih režima mašinske obrade rezanjem - Privredni pregled-Beograd, 1980 god. Dragan Nikolić, Tomislav Jovanović, Joko Stanić, Vladimir Gajović

Sava St. Sekulić\*

ODREĐJIVANJE POUZDANOSTI REZ-  
NOG ALATA SKRAĆENIM POSTUPKOM

Pouzdanost reznog alata najčešće se određuje na osnovu praćenja otkaza u dužem periodu vremena, međutim, kada su u pitanju male serije ne postoje uslovi za realizovanje dužeg praćenja. Obzirom da dosadašnja istraživanja ukazuju da se pojave otkaza pokoravaju Weibull-ovoj raspodeli to se u nastavku predlaže procedura određivanja parametara raspodele preko medijalnog ranga, na osnovu malog broja opažanja.

A BRIEF PROCEDURE FOR DETERMINING  
THE CUTTING TOOL RELIABILITY

The determination of the cutting tool reliability is usually based on the reliability data collected in a long term period. However, when dealing with small batches the conditions for long-term collection of data do not exist. On the other hand it is well known that the failures always follow the Weibull distribution. It gives the opportunity for defining the procedure for determining the distribution parameters through the median rank based on the small number of observations.

1. Uvod

U serijskoj i masovnoj proizvodnji pouzdanost reznog alata se određuje na osnovu praćenja otkaza alata u dužem periodu vremena, u cilju dobijanja dovoljno velikog uzorka.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se funkcija raspodele otkaza reznog alata pokorava Weibull-ovoj raspodeli.

Da bi se i za manje serije, sa malim brojem opažanja, odredili parametri Weibull-ove raspodele otkaza alata, predlaže se metoda preko medijalnog ranga. U tom cilju dovoljno je, u toku tekuće proizvodnje, obaviti snimanje krivih habanja (minimum 5 do 6) i na osnovu njih, za usvojeni kriterijum postojanosti, odrediti pripadajuće postojanosti. Ove vrednosti, primenom odgovarajućih tabela, omogućuju, preko lista verovatnoće, određivanje parametara Weibull-ove raspodele i intervala poverenja za određenu veličinu rizika. Srednje vreme bezotkaznog rada se određuje pomoću gama funkcija.

2. O pouzdanosti reznog alata

Stanje alata može se opisati prostom funkcijom stanja

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{alat u radu} \\ 0 & \text{alat u otkazu} \end{cases}$$

koja je funkcija vremena.

Vreme do otkaza alata nije konstantno, već predstavlja slučajnu veličinu koju možemo prognozirati primenom poznatih zakona statistike i verovatnoće.

Kako ranija istraživanja pokazuju funkcija verovatnoće pojave otkaza reznog alata se pokorava Weibull-ovoj raspodeli

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad (1)$$

Pouzdanost je komplement verovatnoće

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad (2)$$

Frekvencija otkaza definiše se kao

$$f(t) = dR(t)/dt = \beta/\eta (t/\eta)^{\beta-1} \cdot \exp[-(t/\eta)^\beta] \quad (3)$$

a intenzitet otkaza

$$\lambda(t) = f(t)/R(t) = \beta/\eta (t/\eta)^{\beta-1} \quad (4)$$

Srednje vreme bezotkaznog rada izraženo preko gama funkcije iznosi

$$T_{sr} = \eta \Gamma(1/\beta + 1) \quad (5)$$

Testiranje hipoteze će se izvršiti preko "d<sub>a</sub>-testa" (Kolmogorov-Smirnov).

\*Dr Sava St. Sekulić, dipl.ing., redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, V. Vlahovića 3.

Iz izraza za verovatnoću (1) sledi

$$1/1-F(t) = \exp(t/\eta)^\beta \quad (6)$$

pa se nakon dvostrukog logaritmovanja dobija

$$\ln \ln [1/1-F(t)] = \beta \ln t - \beta \ln \eta \quad (7)$$

Označimo li sa

$$y = \ln \ln [1/1-F(t)] \text{ i } x = \ln t \quad (8)$$

izraz (7) dobija vid

$$y = \beta x - \beta \ln \eta \quad (9)$$

koji predstavlja pravu liniju sa uglom nagiba  $\beta$  i odsečkom  $b = \beta \ln \eta$ .

Prema tome određivanje parametara Weibull-ove raspodele može se sveti na određivanje ugla nagiba prave  $\beta$  i odsečka  $b \ln \eta$  u mreži sa podelama prema izrazu (8) (Weibull-ov list verovatnoće).

U tom cilju tokom obrade snimaju se krive habanja  $b=f(t)$ , odn.  $b=f(n)$ , gde je  $n$  broj obradjenih obradaka na posmatranoj operaciji, tj.  $t=k n$ , gde je  $k=\text{const}$ . Za usvojeni kriterijum postojanosti  $b=B=\text{const}$ . određuju se, za predviđeni broj alata  $N$ , pripadajuće postojanosti  $T_i$ , koje se svrstavaju u tablicu po veličini, tako da je  $T_{i-1} < T_i$ . Zatim se određuje medijalni rang iz tabele, ili izračunava po obrascu

$$MR = (i-0,3)/(N+0,4)$$

za usvojeni rizik  $\alpha$  (npr. 0,05 odn. 0,95) takodje se određuje položaj donje i gornje granice intervala poverenja (5% i 95%).

Na osnovu podataka iz tablice ucrtavaju se eksperimentalne tačke i granice poverenja na Weibull-ov list verovatnoće, pri čemu se između eksperimentalnih tačaka povlači prava tako da su odstupanja svih tačaka od nje najmanja. Ovo se može učiniti grafoanalitički (metoda najmanjih kvadrata) ili čisto grafički.

Nagib prave određuje koeficijent oblika  $\beta$ , a odsečak  $b = \beta \ln \eta$  omogućuje, pošto je poznata vrednost  $\beta$ , da se odredi parametar razmere  $\eta = \exp b/\beta$ . Veličina parametra razmere  $\eta$  može se direktno očitati sa lista verovatnoće na  $\ln t$  podeli, ako iz tačke, koja se dobija presekom aproksimativne prave i medijane (za koju je  $\ln \ln 1/1-F(t)=0$ , odn.  $F(t)=0,632$ ), povuče vertikala.

Prema "d<sub>α</sub>-testu" hipoteza o raspodeli se prihvata ukoliko se, za usvojenу veličinu rizika  $\alpha$ , sve eksperimentalne tačke nalaze u intervalu poverenja.

Kada su poznati parametri  $\beta$  i  $\eta$  u funkciji verovatnoće raspodele otkaza  $F(t)$ , pouzdanost  $R(t)$ , frekvencija  $f(t)$  i intenzitet otkaza  $\lambda(t)$  mogu se odrediti pomoću izraza (2) do (4).

Srednje vreme bezotkaznog rada izračunava se pomoću izraza (5).

### 3. Uslovi pri eksperimentalnom istraživanju

Ispitivanja pouzdanosti reznog alata vršena su na fleksibilnoj liniji obrade koja se sastoji iz: kružne testere (Forte), mašine za poravnavanje čeonih površina i zabašivanje (Duap, ZS 30 AK) kopirnog struga 1 (Dubied, 517S-rd/500), i kopirnog struga 2 (Dubied, 517S-rd/500). Veza između pojedinih mašina ostvarena je fleksibilnim transportnim sistemom.

Strug 1 snabdeven je jednim alatom i na njemu se vrši obrada jedne strane u jednom prolazu, a strug 2 sa dva alata, pa se druga strana, nakon obratna obratka za 180° obrađuje sa dva alata u dva prolaza.

Ispitivanje pouzdanosti alat vršena su na oba struga na svim alatima, ali se, zbog ograničenog prostora, u nastavku, daje obrada rezultata samo za alat na strugu 1.

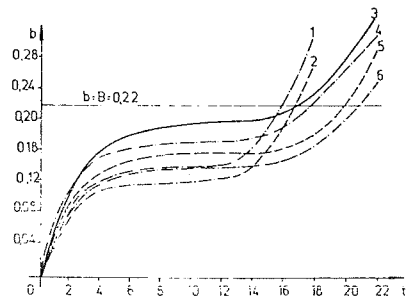
Obradci su bili realne stepenaste osovine gabaritnih dimenzija  $\varnothing 28 \times 317$  mm, od čelika Č.4171.

Kao alat korišćen je strugarski nož sa mehanički pričvršćenom izmenljivom pločicom od tvrdog metala KNUX 160405 (napadni ugao  $\kappa=55^\circ$ , poluprečnik zaobljenja vrha  $r=2,0$  mm).

Režim obrade: brzina rezanja  $v=3,46$  m/s ( $n=2360 \text{ min}^{-1}$ ) i pomak  $s=0,3$  mm (dubina rezanja promenljiva,  $\delta_{\text{max}}=2,2$  mm).

Širina pojasa habanja merena je na alatnom mikroskopu Zeiss, tačnošću 0,01 mm.

Krive habanja, za šest sečiva, predstavljene su na slici Sl.1., a postojanosti alata koje odgovaraju usvoje-



Slika 1.

nom kriterijumu postojanosti  $b=B=0,22$  mm, medijalni rang  $MR\%$  i granice poverenja za rizik  $\alpha=0,05$  (odn. 5% i 95%) svrstane su u tablici 1.

Tablica 1.

i	T <sub>i</sub>	5%	MR	95%
1	11,88	0,9	10,9	39,3
2	12,09	6,3	26,4	48,2
3	13,51	15,3	42,1	72,9
4	14,19	27,1	57,9	84,7
5	14,67	41,8	73,6	93,7
6	15,49	60,7	89,1	99,1

Polazeći od jednačine (7), koja predstavlja pravu liniju oblika

$$y = ax + b$$

i primenjujući za nju metodu najmanjih kvadrata, tj. da je zbir kvadrata pojedinih grešaka minimalan

$$(\sum \Delta_i^2)_{\min} \quad (10)$$

dolazi se do sistema linearnih jednačina

$$\sum (x_i y_i) - a \sum (x_i^2) - b \sum x_i = 0 \quad (11)$$

$$\sum y_i - a \sum x_i - N b = 0$$

odnosno

$$A_1 a + B_1 b = C_1 \quad (12)$$

$$A_2 a + B_2 b = C_2$$

gde je

$$A_1 = \sum (x_i^2); \quad A_2 = \sum x_i = B_1$$

$$B_2 = N; \quad C_1 = \sum (x_i y_i); \quad C_2 = \sum y_i$$

Gornji sistem ima rešenja

$$a = \frac{D_a}{D} = \frac{C_1 B_2 - C_2 B_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} \quad (13)$$

$$b = \frac{D_b}{D} = \frac{A_1 C_2 - A_2 C_1}{A_1 B_2 - A_2 B_1} \quad (14)$$

Konstante A<sub>1</sub>, ..., C<sub>2</sub> određuju se tabelarno.

Zamenom se dobijaju konstante a i b pa je

$$\beta = a \quad i \quad \eta = \exp(b/\beta) \quad (15)$$

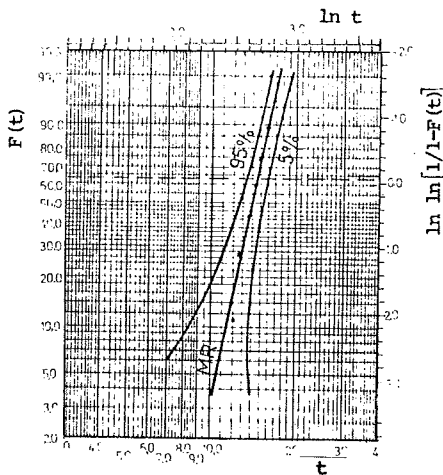
#### 4. Obrada rezultata

Na osnovu podataka iz tablice 1 na Weibull-ovom listu verovatnoće ucrtane su eksperimentalne vrednosti postojanosti alata, odn. vreme otkaza i granice poverenja i proračunate (tablica 2) očitane vrednosti za  $\beta = 9,6829$  i  $\eta = 14,2964$  (slika 2.)

Uvrštavajući vrednosti za  $\beta$  i  $\eta$  u izraze (1) do (5) dobijamo za funkciju verovatnoće otkaza F(t), pouzdanost R(t), frekvencu f(t) i intenzitet otkaza  $\lambda(t)$ , za nož na strugu 1.

Tablica 2.

i	T <sub>i</sub>	x <sub>i</sub>	y <sub>i</sub>	x <sub>i</sub> <sup>2</sup>	x <sub>i</sub> y <sub>i</sub>
1	11,88	2,475	-2,159	6,126	-5,344
2	12,09	2,492	-1,182	6,210	-2,945
3	13,51	2,603	-0,604	6,776	-1,573
4	14,19	2,653	-0,145	7,038	-0,384
5	14,67	2,686	0,287	7,215	0,770
6	15,49	2,740	0,796	7,508	2,181
$\Sigma$	15,649	-3,008	40,872	-7,297	
	A <sub>2</sub> ; B <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	



Slika 2.

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/14,2964)^{9,6829}] \quad (16)$$

$$R(t) = \exp[-(t/14,2964)^{9,6829}] \quad (17)$$

$$f(t) = (1/14,2964) (t/14,2964)^{8,6829} \cdot \exp[-(t/14,2964)^{9,6829}] \quad (18)$$

$$\lambda(t) = (1/14,2964) (t/14,2964)^{8,6829} \quad (19)$$

a srednje vreme bezotkaznog rada iznosi

$$T_{sr} = 14,2964 \Gamma(1/9,6829 + 1)$$

$$T_{sr} = 13,8 \text{ min.} \quad (20)$$

Da bi se nacrtale zavisnosti (16) do (19) potrebno je dijapazon vremena  $\Delta t$  u kojem očekujemo pojave otkaza, podeliti na intervale  $\delta t$  tako da je

$$\Delta t / \delta t = k = \text{const.}; \quad 8 \leq k \leq 12$$

Za svaku vrednost vremena koja deli pojedine intervale izračunavaju se vrednosti prema izrazima (16) do (19), pri čemu se račun sprovodi tabelarno (tablica 3). Vrednosti iz tablice 3 poslužile su za crtanje dijagrama (slika Sl. 3).

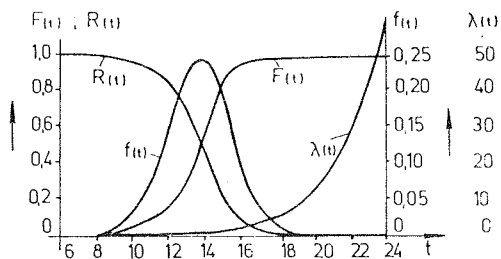
Obrada podataka za strugu 2, se ne iznosi, ali se u nastavku daju izrazi za elemente pouzdanosti za oba alata:

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/11,5541)^{11,925}] \quad (21)$$

$$R(t) = \exp[-(t/11,5541)^{11,925}] \quad (22)$$

Tablica 3.

$i$	$t_i$	$t_i/n$	$R(t_i)$	$F(t_i)$	$\lambda(t_i)$	$f(t_i)$
	(1)	(2)	(3)	(4)=1-(3)	(5)	(6)=(5)·(3)
1	6	0,41969	0,99978	0,00022	0,00036	0,00036
2	8	0,55958	0,99639	0,00361	0,00438	0,00436
3	10	0,69948	0,96909	0,03091	0,03041	0,02947
4	12	0,83937	0,83235	0,16765	0,14807	0,12325
5	14	0,98149	0,43409	0,56591	0,57587	0,24998
6	16	1,11916	0,05107	0,94893	1,80014	0,09193
7	18	1,25906	0,00009	0,99991	5,00581	0,00045
8	20	1,39895	0,00000	1,00000	12,49588	0,00000
9	22	1,53885	0,00000	1,00000	28,58826	0,00000
10	24	1,67874	0,00000	1,00000	60,85409	0,00000



Slika 3.

$$f(t) = 1,0321(t/11,5541) \cdot \exp[-(t/11,5541)^{10,925}] \quad (23)$$

$$\lambda(t) = 1,0321(t/11,5541)^{10,925} \quad (24)$$

$$T_{sr} = 10,9 \text{ min.} \quad (25)$$

Nož 3

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/14,6912)^{11,693}] \quad (26)$$

$$R(t) = \exp[-(t/14,6912)^{11,693}] \quad (27)$$

$$f(t) = (1/1,25640)(t/14,6912) \cdot \exp[-(t/14,6912)^{10,693}] \quad (28)$$

$$\lambda(t) = (1/1,25640)(t/14,6912)^{10,693} \quad (29)$$

$$T_{sr} = 14,3 \text{ min.} \quad (30)$$

### 5. Zaključci

Na osnovu napred izložene metodologije i eksperimentalnog istraživanja mogu se doneti sledeći zaključci:

- predložena metodologija, preko medijalnog ranga, omogućuje da se i sa malim brojem otkaza odredi pouzdanost reznog alata,
- za brze analize vrlo je korisno primeniti čisto grafički postupak, ali i grafo-analiitička metoda ne zadaje posebne teškoće i
- izneta procedura bez ikakvih izmena može biti primenjena za određivanje pouzdanosti alata i za bilo koje druge uslove odn. tip proizvodnje.

### 6. Literatura

1. Sekulić, S.: Odredjedjivanje pouzdanosti reznog alata u radioničkim uslovima, Zbornik radova EFTES '75, 71-82, 1975.
2. Sekulić, S.; Statistical formulation of a cutting tool reliability in a working conditions, Proc. XXI EOQC-Varna '77, Stream C, 257-270, 1977.
3. Sekulić, S., Odredjivanje potrebnog broja alata za obradu serije na osnovu njegove pouzdanosti, Obrada metala i tribologija, 5, 11-22, 1976.
4. Sekulić, S., Determination of tool quantum for application in series production on the basis of tool reliability, Int., J, Prod. Res., Vol. 16, No. 1, 51-61, 1978.
5. Sekulić, S., Troškovi alata i ukupni troškovi obrade u funkciji pouzdanosti alata kod protočnih automatskih linija, Tribologija u industriji, 1, 16-23, 1979.
6. Sekulić, S., Cost of cutting tools and total machining costs as a function of the cutting-tool reliability in automatic flow lines, Int. J. Prod. Res., Vol. 20, No. 2, 187-200, 1982.



Romeo Deželić\*

SISTEMATIZACIJA I KRITIKA EKSPERIMENTALNIH  
POSTUPAKA ODREĐJIVANJA TEMPERATURA PRI REZANJU

R e z i m e

U ovom radu sistematizirani su svi poznati eksperimentalni postupci mjerenja temperatura na reznom klinu. Prikazana je ukratko osnova svakog postupka i njegova kritika. Ova se prvenstveno odnosi na mogućnost točnijeg određivanja temperature na onoj površini oštrice koja je vizualno nepristupačna. Na kraju se daje mišljenje o postupku koji će to omogućiti vjerojatno najpouzdanije.

KLASSIFIKATION UND KRITIK DER EXPERIMENTELLEN  
TEMPERATURMESSVERFAHREN BEIM ZERSPANEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit sind alle bekannten experimentellen Temperaturmessverfahren an der Schneidkeile klassifiziert. Die Grundlagen und die Kritik jedes Verfahrens sind kurz dargestellt und sie beziehen sich vorzugsweise auf die Möglichkeit der genaueren Temperaturbestimmung auf diejenige Schneidenoberfläche, die visuell unzugänglich ist. Am Ende gibt man die Meinung über das Verfahren, das wahrscheinlich als das zuverlässigste das ermöglichen wird.

1. UVOD

Ekonomičnost procesa rezanja skidanjem strugotine zavisi prvenstveno o brzini i načinu trošenja oštrice. Pri tome razvijena toplina i temperatura su od bitnog utjecaja i to ne samo kad prekorače kritične vrijednosti, dovodeći time do omekšavanja materijala oštrice i njegove plastične deformacije, pa čak i do taljenja graničnih slojeva, nego su i niže vrijednosti štetne, jer ubrzavaju kemijske i elektrokemijske reakcije između materija-

la oštrice i obratka, te okolice i eventualno drugih pomoćnih materijala.

Od svih temperatura na alatu svakako najvažnije je poznavanje temperatura na samoj površini, a od svih opet najvažnija je maksimalna temperatura i mjesto na kojemu se ona pojavljuje.

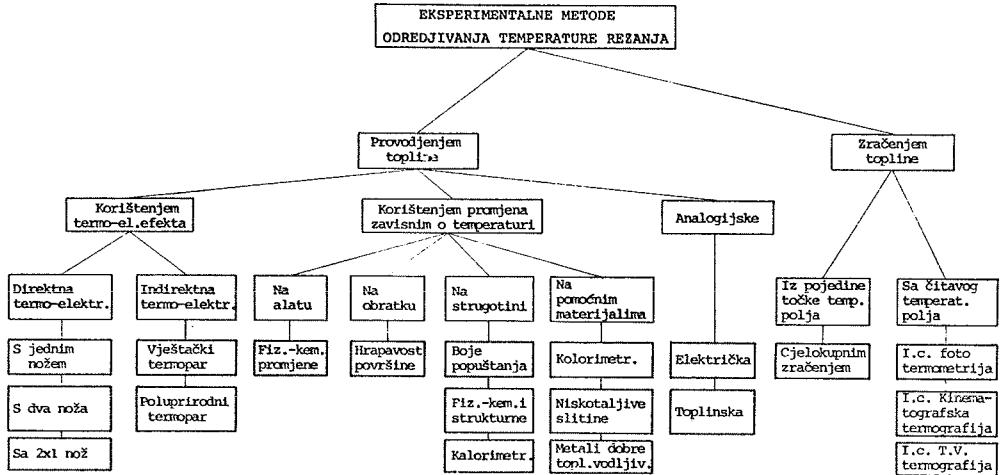
Upravo sa stanovišta ove konstatacije, kritički će se razmotriti svi do danas primjenjivani eksperimentalni postupci za određivanje temperatura na površini alata pri rezanju.

\* Romeo Deželić, dr. inž., izv. profesor Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, Rudjera Boškovića b.b.

2. METODE ZA ODREĐIVANJE TEMPERATURA REZANJA

Od prvog poznatog postupka mjerenja temperature pri rezanju 1798. god. razvijene su, posebno zadnjih 60-70 godina brojne analitičke i eksperimen-

talne metode. Ovdje će biti govora samo o ovim posljednjima. Radi uvida u sve te metode prikazane su one u sl. 1., sistematizirane prema principu registriranja temperature a zatim ukratko opisane.



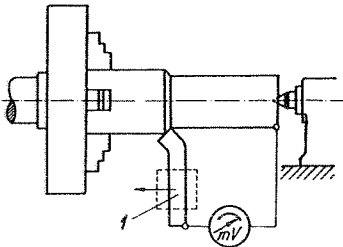
Sl. 1. Raspodjela eksperimentalnih metoda određivanja temperature rezanja

3. PRINCIPI EKSPERIMENTALNIH METODA

3.1. Korištenje termo-elekt. efekta

Direktna termo-elekt. metoda

Osnovu mjerenja čini termo električki efekt koji pri rezanju nastaje između materijala obratka i noža na njihovim dodirnim površinama. Najstarija izvedba s jednim nožem prikazana je na sl. 2 [1].

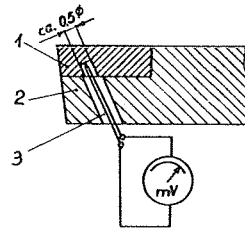


Sl. 2. Shematski prikaz metode s jednim nožem

- 1 - tokarski nož
- 2 - klizni kontakt

Ostale varijante iste metode uvedene su radi pojednostavljenja, odnosno izbjegavanja kliznog kontakta s obzirom na praktične poteškoće u njezovoj realizaciji.

Indirektna termo-el. metoda. - Koristi se kompletan minijaturni termoelement (sl. 3) što se ugrađuje u provrt na alatu registrirajući tako temperaturu na jednom mjestu, par desetinki milimetara ispod one točke na površini, kojoj želimo odrediti temperaturu.



Sl. 3. Shematski prikaz metode s vještačkim termoparom

- 1 - tvrdi metal; 2 - držač;
- 3 - termopar

3.2. Korištenje promjena na materijalima zavisnim o temperaturi

Promjene na materijalu alata. - Zakačljena čelična rezna oštrica doživjet će pri rezanju promjene tvrdoće, odnosno faza u zavisnosti o temperaturi na pojedinom mjestu i trajanju njenog djelovanja [3]. Raspoložuci baždarnom krivuljom, odnosno uzorcima materijala oštrice dobivenim pod uvjetima

identičnim sa onim rezne oštrice, moguće je usporedbom tvrdoće, odnosno metalografskih slika odrediti temperaturu u svakoj točki rezne oštrice.

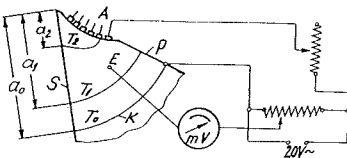
Promjene na materijalu obratka. - Pretpostavka ove malo poznate metode je da za određeni materijal obratka i geometriju oštrice dobije se uvijek ista visina hrapavosti obradjene površine pri istoj temperaturi na mjestu dodira alat-obradak.

Promjene na strugotini. - Strugotina pri nastajanju, zavisno o temperaturi mijenja boju, odnosno strukturu, te sadržanu toplinu [4][5], što se može koristiti za određivanje temperature.

Promjene na pomoćnim materijalima. - Najpoznatija je kolorimetrijska metoda, koja koristi nastale promjene na površini alata koja je prethodno premazana termokolor bojama. Metode koje koriste premaze od drugih materijala nisu naišle na praktičnu primjenu [4][6].

### 3.3. Analogijske metode

Električka anal. metoda. - Temelji se na analogiji električkog i temperaturnog polja. Model oštrice izradjen je povećano kao elektrolitička kupka (sl. 4)[7]. Model se stavlja pod napon na



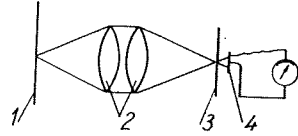
Sl. 4. Električka analogijska metoda.

A - anoda; K - katoda;  $a_0$  - udalj. katode od vrha;  $a_1$  - udalj. izoterme I od vrha na stražnjoj površini; E - elektroda za određivanje potencijalnog polja

mjestu zamišljenog dovoda topline na alat (A), dok se pokretnim šiljkom (E) mjeri elektr. potencijal na pojedinim mjestima modela. Ekvipotencijalne linije predstavljaju u ovom slučaju izoterme. Temperaturne vrijednosti određuju se na pojedinim mjestima (točke "a") realnog alata drugim metodama i služe kao polazni podaci po njegovoj površini.

### 3.4. Korištenje zračenja topline

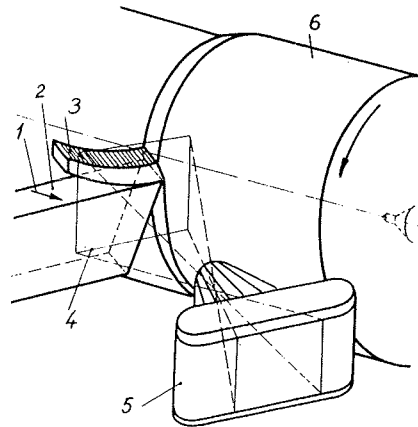
Zračenje iz jedne točke. - Toplinsko zračenje sa jedne vrlo male površine (promjera par desetinki  $\mu m$ ) usmjerava se na osjetljivi termoelement [8]. Prva izvedba šematski je prikazana na sl. 5. Novije varijante mijenjaju uglavnom samo toplinski osjetljive elemente.



Sl. 5. Mjerenje temperature zračenja iz jedne točke

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| 1 - ravn. rezanja; | 2 - leće;      |
| 3 - blenda;        | 4 - t. element |

Zračenje sa čitave površine. - Tzv. infracrvena termografija [9] sastoji se u hvatanju toplinskog zračenja sa čitave ispitivane površine na senzor, gdje se na principu fotokemijske ili fotoelektričke pretvorbe učini vidljivim. Usporedbom sa baždarnim etalonima određuje se temperatura. Zamjenom fotografskog aparata na sl. 6 sa filmskom kamerom [10] ili TV kamerom [11] dobijemo tzv. infracrvenu kinematografsku, odnosno infracrvenu TV termografiju.



Sl. 6. Infracrvena fototermometrija (prema Schallbroch-Mayer-u)

- |                 |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| 1 - posmak;     | 2 - alat;                      |
| 3 - strugotina; | 4 - granica snimanog područja; |
| 5 - kamera;     | 6 - obradak.                   |

## 4. KRITIKA METODA

Neke od nabrojanih metoda nisu naišle na praktičnu primjenu, pa će se isključiti iz daljnjeg razmatranja.

Sa stanovišta određivanja temperatura na samoj površini alata, pre-

venstveno na mjestima koja su zaklonjena strugotinom ili obratkom, u obzir dolaze samo direktna termo-el. metoda i metoda korištenjem promjena na materijalu alata. Prva od ovih ima osnovni nedostatak što ne daje pojedinačne temperature nego jednu medjutemperaturu na čitavoj dodirnoj površini alat - obradak - strugotina. Druga metoda omogućuje indirektnim putem određivanje čitavog temperaturnog polja, a time i maksimalne temperature. Ova je metoda zamorna, jer zahtijeva veliki broj mjerenja mikrotvrdoće, zbog određivanja promjena na tankim površinskim slojevima, odnosno manje pouzdane interpretacije metalografskih snimaka. Jednako tako teško je dobijanje pouzdane baždarnе krivulje. Osim toga materijal rezne oštrice mora biti od čelika osjetljivog i na manje promjene temperature (ugljični čelik), što postupak mjerenja ograničuje u izboru materijala obratka.

Često korištenoj indirektnoj termo-el. metodi osnovna je zamjerka točnost izmjerene temperature u provrtu, prema temperaturi na istom mjestu u realnoj oštrici pri inače istim uvjetima obrade. Odatle do temperatura na samoj površini dolazi se ekstrapolacijom, što uzimajući još u obzir nepouzdanost početne temperature čini postupak nepreciznijim.

U novije vrijeme primjena metoda korištenjem efekta zračenja omogućuje određivanje temperaturnog polja na, uglavnom pomoćnim površinama oštrice, pa se dalje ekstrapolacijom dolazi do temperatura na skrivenim mjestima na površini alata.

## 5. ZAKLJUČAK

Za preciznije određivanje temperatura na samoj površini alata na mjestima koja su vizualno nepristupačna preporuča se metoda što se temelji na analizi promjena (tvrdoća, struktura) na samoj površini alata. Isključi li se zamornost metode, što može biti i zanemarivo u istraživačkim radovima, problem je u raspolaganju pravom baždarnom krivuljom koja predstavlja zavisnost utvrdjenih promjena na materijalu oštrice o tempe-

raturi što je nastupala. Ukoliko bi se željelo imati što točnije rezultate trebalo bi ispitati utjecaj pojedinih faktora obrade (vibracije, oscilacije temperatura, visoki spec. pritisak), budući da je baždarna krivulja snimljena čistim statičkim popuštanjem.

## 6. LITERATURA

- [1] K., GOTTWEIN: "Die Messung der Schneidetemperatur beim Abdrehen von Flusseisen", Maschienenbau 4, 1129/ii35, 1925.
- [2] K.I.KÜSTERS: "Temperaturen im Schneidkeil spanender Werkzeuge", Industrie-Anzeiger 89, 1337/1340, 1956.
- [3] DEŽELIĆ, R. 1980. "Indirektna metoda određivanja temperature iz promjene strukture, odn. tvrdoće na alatu pri obradi aluminija", Doktorska radnja, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [4] AVAKOV, A.A.: 1960 "Fizičeskije osnovi teorii stojkosti režuščih instrumentov", Moskva, Mašgiz
- [5] KREKELER, K. 1951. "Die Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe", Berlin, Springer-Verlag
- [6] H. SCNALLBROCH, M.LANG: "Messung der Schnitttemperatur mittels temperaturanzeigender Farbanstriche", VDI 87, 15/19, 1943.
- [7] E. BICKEL, M. WIDMER: "Die Temperaturen an der Werkzeugschneide", Industrielle Organisation, 238/244 1951.
- [8] F. SCHWERD: "Über die Bestimmung des Temperaturfeldes beim Spanablauf", Z.VDI 77, 211/216, 1933.
- [9] G. BOOTHROYD: "Photographic Technique for the Determination of Metal Cutting Temperatures", Brit. J. appl. Phys. 12, 238/242, 1961.
- [10] N. LUISNARD: "La mesure des températures de surface par cinématographie infra-rouge", La recherche aeronautique 80, 29/33, 1961.
- [11] H. BEYER: "Infrarot-Fernseh-Thermometrie-ein Beitrag der Temperaturverteilung am Drehmeissel", Industrie-Anzeiger 93, 2662/2663, 1971.

Romeo Deželić\*

Nenad Vulić\*\*

UTJECAJ PROVRTA U REZKOM ALATU NA  
TOČNOST IZMJERENE TEMPERATURE

R e z i m e

U ovome radu međusobno je uspoređena tvrdoća dviju reznih pločica. Pločice su imale jednaki oblik i dimenziju, te jednaku tvrdoću prije obrade, a vršile su obradu pod jednakim uvjetima. Jedna od pločica imala je provrt promjera 0,5 mm koji je uspoređan sa stražnjom površinom i dopire 0,20 mm do ispod prednje površine. Konačno je uspoređena tvrdoća obiju pločica u krugu oko provrta i to u jednoj ravni koja se nalazi 0,25 mm ispod prednje površine. Iz razlike tvrdoće zaključuje se o temperaturnoj razlici obiju pločica što su vladale za vrijeme obrade.

EINFLUSS DER BOHRUNG IM SCHNEIDWERKZEUG  
AUF DIE GENAUIGKEIT DER GEMESSENEN TEMPERATUR

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit ist die Härte zweier Schneidplättchen miteinander verglichen. Die Plättchen hatten eine gleiche Bauform, die gleiche Härte vor Bearbeitung und mit ihnen hat man unter gleichen Bedingungen bearbeitet. Eine der Plättchen wurde mit einer Bohrung von 0,5 mm Durchmesser versehen die parallel zur Freifläche durchläuft und bis 0,2 mm unter der Spanfläche. Endlich ist die Härte der beiden Plättchen auf einem Kreis um der Bohrung verglichen und gerade in eine Fläche die sich um 0,25 mm unter der Spanfläche befindet. Aus der Differenz der Härte schliesst man über die Temperaturdifferenz der beiden Plättchen die während des Bearbeitungsvorgang herrschten.

1. UVOD

Za određivanje temperature na reznom alatu često se kroz provrt u alatu ulaže kompletni minijturni termoelement ili samo jedan element termopa-

ra!1!, !2!. Međutim na točnost tako izmjerene temperature stavlja se između ostalog i primjedba da provrt remeti temperaturno polje, pa je tako

\* Romeo Deželić, dr. ing., izv. profesor Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje - Split, Rudjera Boškovića b.b.

\*\* Nenad Vulić, apsolvant strojarstva FESB-a - Split, Rudjera Boškovića b.b.

izmjerena temperatura drugačija nego ona što vlada na istom mjestu u realnoj oštrici [3].

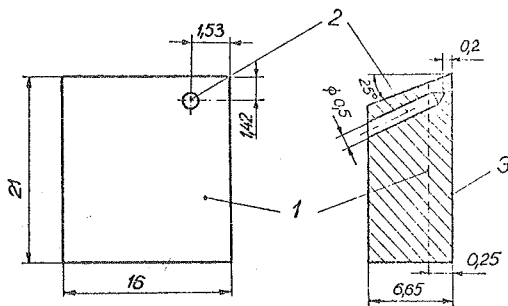
Iako je primjedba teoretski logična željelo se to eksperimentalno dokazati.

## 2. IZVODJENJE POKUSA

### 2.1. Izbor i opis metode

Izvodjenje dokaza zamišljeno je tako da se uzmu dvije identične zakaljane

pločice (sl. 1.) od kojih će jedna imati provrt promjera 0,5 mm usporedno sa stražnjom površinom do 0,2 mm ispod prednje površine. Sa obje pločice, što će biti mehanički pričvršćene na držač izvršit će se tokarenje određenog materijala pod jednakim uvjetima. Toplina rezanja izazvat će promjene tvrdoće u zakaljenoj pločici, što će se kontrolirati u ravnini plo-



Sl. 1. Rezna pločica sa provrtom

a) Poprečni presjek pločice kroz provrt; b) Pogled na površinu pločice koja se nalazi 0,25 mm ispod izvorne prednje površine 3; 1 - rezna pločica; 2 - provrt promjera  $\emptyset$  0,5 mm; 3 - prednja površina pločice za vrijeme pokusa rezanja

čice, koja je 0,25 mm ispod prednje površine. Do te će se ravnine dospjeti pažljivim brušenjem. Kontrola tvrdoće izvršit će se na dijelu oko sada otkrivenog provrta, odnosno na istom mjestu druge pločice bez provrta.

Na izbor ovakvog postupka potiče jedan prethodno uspješno izvršeni rad [4].

### 2.2. Parametri obrade

Geometrija alata bila je slijedeća:

$\alpha - 10^\circ$ ,  $\gamma - 15^\circ$ ,  $\lambda - 0^\circ$ ,  $\epsilon - 90^\circ$ ,

$\kappa - 75^\circ$ .

Režim rada imao je slijedeće karakteristike:

Dubina rezanja  $a = 0,003$  [m]

Posmak  $s = 0,00033$  [m/o]

Brzina rezanja  $v = 1,935$  [m/s]

Trajanje obrade: 600 s.

Materijal alata - oštrice: Č.1741

### 2.3. Brušenje pločica

Poslije završenog tokarenja obje su pločice brušene po prednjoj površini. Da bi se izbjeglo zagrijavanje i utjecaj na temperaturno polje, što je nastalo prethodnim tokarenjem, pločice su brušene na čenoj brusilici uronjene u rashladnoj tekućini, koja se neprestano dovodila kroz unutrašnjost lončastog brusa.

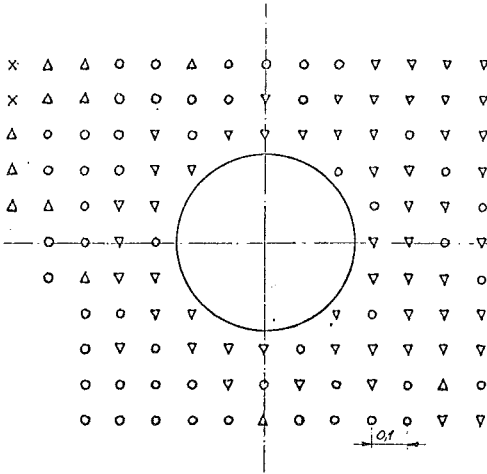
### 2.4. Rezultati pokusa

Rezultati pokusa prikazani su na slikama 2a i 2b i to dimenzijama dijagonalna otisaka. O apsolutnoj veličini temperatura ne može se navesti podatke, jer nedostaje baždarna krivulja, ali je očito da većoj temperaturi

na odredjenom mjestu odgovara veća dijagonala otiska |5|.

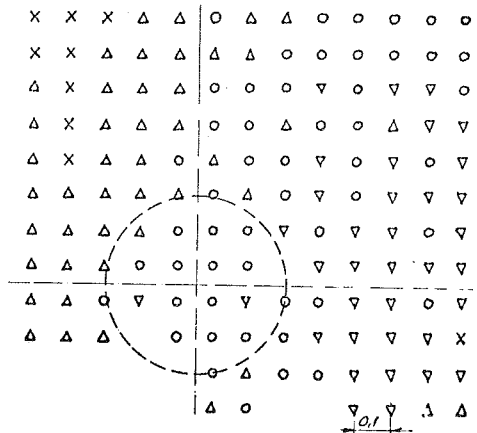
Rezultati tvrdoće predstavljeni su u slikama 2a i 2b srednjim vrijednos-

tima od po pet mjerenja na površini od 0,1 x 0,1 mm, sa opterećenjem od 1 N, a ucrtani su u sredini odgovarajućeg kvadrata.



Sl. 2a. Raspodjela otisaka tvrdoće  $HV_{0,1}$  oko provrta 0,25 mm ispod prednje površine

Veličina dijagonale otiska:  $\nabla = 15 \mu\text{m}$ ;  
 $o = 14 \mu\text{m}$ ;  $\Delta = 13 \mu\text{m}$ ;  $x = 12 \mu\text{m}$



Sl. 2b. Raspodjela otisaka tvrdoće  $HV_{0,1}$  oko mjesta gdje se nalazio provrt na slici 2a

Veličina dijagonale otiska:  $\nabla = 15 \mu\text{m}$ ;  
 $o = 14 \mu\text{m}$ ;  $\Delta = 13 \mu\text{m}$ ;  $x = 12 \mu\text{m}$

Da bi se uočljivije prikazala temperaturna stanja na oba uzorka analizirala se jedna prstenasta površina oko provrta, odnosno za pločicu bez provrta na mjestu zamišljenog provrta. Dimenzija spomenute prstenaste površine iznosi  $\emptyset 0,5 \times \emptyset 0,8$  mm. Na toj površini izračunata je prosječna veličina dijagonale otiska. Ona iznosi:

Za pločicu s provrtom 14,74 m  
 za pločicu bez provrta 13,58 m

### 3. ZAKLJUČAK

Analiza otisaka mikrotvrdoće na obe rezne pločice, što su se tokarile pod identičnim uvjetima, pokazala je na pločici s provrtom koncentraciju otisaka s većom dijagonalom nego na pločici bez provrta. Odatle slijedi po-

tvrda da je temperatura na mjestu oko provrta za vrijeme rezanja bila veća nego na homogenoj pločici. Ne može se sa sigurnošću tvrditi koliko iznosi temperaturna razlika na tim mjestima između obje pločice, jer nedostaje baždarna krivulja.

### 4. LITERATURA

- [1] K.I. KÜSTERS: "Temperaturen im Schneidkeil spanender Werkzeuge", Industrie-Anzeiger 89, 1337/1340, 1956.
- [2] W., DAWIHL, G.ALTEMEYER, H.SUTTER: "Über Schnitttemperatur - und Schnittkraftmessungen beim Drehen mit Hartmetall - und Aluminiumoxidwerkzeugen", Werkstatt und Betrieb, Heft 9, 691/697, 1965.

- [3] F.EISELE: "Fragen der Schnitttemperatur bei der Zerspanung", Diskussion zu dem Thema, International Zerspanungstagung 1959, Aachen
- [4] ŠKRABO, G.: "Pokušaj odredjivanja temperaturnog polja oko nehomogenosti na prednjoj površini, nastalog pri obradi aluminija", Diplomski rad na Višoj pomorskoj školi u Splitu, 1977.
- [5] DEŽELIĆ, R.: 1980. "Indirektna metoda odredjivanja temperature iz promjene strukture, odnosno tvrdoće na alatu pri obradi aluminija", Doktorski rad, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje



Romeo Deželić\*

STRUKTURNE PROMJENE MATERIJALA ALATA  
KAO MJERILO TEMPERATURA NA NJEGOVOJ POVRŠINI

R e z i m e

U ovome radu prikazana je primjena metode koja se smatra naj-prikladnijom za određivanje temperatura na samoj površini alata i to na mjestu koje je prekriveno strugotinom. Istražen je slučaj tokarenja tehnički čistog aluminijsa. Iz izmjerenih tvrdoća konstruirano je temperaturno polje na prednjoj površini. Utvrđena je maksimalna temperatura koja je znatno viša, nego što se do sada smatralo za ovakve slučajeve. Na kraju data je i kritika metode.

STRUKTURUMWANDLUNG DES WERKZEUGWERKSTOFFES  
ALS KRITERIUM SEINER OBERFLÄCHENTEMPERATUR

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit wird die Anwendung einer Methode dargestellt, die als zweckmässigste für die Temperaturbestimmung an der Werkzeugoberfläche angenommen wird und gerade auf diejenige Stelle die mit dem Span bedeckt ist. Man untersucht das Drehen vom technisch reinem Aluminium. Aus der gemessenen Härte wird das Temperaturfeld an der Spanfläche konstruiert. Die Maximaltemperatur wurde festgestellt, die ziemlich höher war als man bis jetzt für die gleiche Fälle angenommen hat. Endlich gibt man die Kritik der Methode.

1. UVOD

Pri obradi aluminijsa i njegovih slitina, sa do sada korištenim metodama mjerenja, utvrđene su relativno niske temperature od 100 do 180°C, pri brzinama rezanja do 3,4 m/s [1], [2].

Budući da se temperatura na površini alata smatra jednim od najutjecajni-

jih faktora njegovog trošenja, postavlja se pitanje nisu li te temperature ipak veće. U protivnom bi značilo da temperatura na trošenje alata nema u ovom slučaju odlučujući utjecaj.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Eksperimentalne metode za određivanje temperatura izravno na onim dije-

\* Romeo Deželić, dr., dipl. ing. - Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje - Split, Rudjera Boškovića b.b.

lovima površina alata što ih preotrijava strugotina, odnosno obradak su malo-brojne. Jedna od tih, tzv. direktna termo električka metoda omogućuje to neposredno, ali kao rezultat dobije se jedna međjutemperatura od svih temperatura što vladaju na dodirnim površinama između alata i obratka, odnosno strugotine. Sve ostale, u praksi primjenjivane metode omogućuju mjerenje temperatura na drugim pristupačnijim mjestima na alatu, a odatle se ekstrapolacijom dolazi do temperature na onim mjestima koja nas zanimaju.

Poradi toga odlučeno je da se razradi i provjeri jedna druga metoda koja će omogućiti određivanje temperature na pojedinim točkama površine alata, te da se istovremeno utvrdi i maksimalna temperatura.

### 3. EKSPERIMENTALNI RAD

Izbor metode. - Suština ove metode sastoji se u tome da se kao rezna oštrica uzme zakaljeni, ali nepopušteni čelik, te da se s njim izvrši rezanje. Toplina i temperatura rezanja izazvat će efekt popuštanja, pa će doći do promjena na zakaljenoj pločici, koja će se moći pratiti, na primjer preko promjene tvrdoće. Ta će promjena zavisi o temperaturi što je vladala u pojedinoj točki površine, te o trajanju njenog djelovanja.

Podaci o obradi. - Kao materijal alata izabran je zakaljeni čelik č.1741, jer je njegova karakteristika popuštanja jako strma u području temperatura koje se očekuju pri obradi izabranog materijala obratka, a to je tehnički čisti aluminiј (Al 99,5).

Zakaljena pločica mehanički se pričvrstila na držač, pa je rezanje izvršeno sa slijedećom geometrijom:

$$\alpha - 10^{\circ}, \gamma - 15^{\circ}, \lambda - 0^{\circ}, \epsilon - 90^{\circ},$$

$$\kappa - 75^{\circ}.$$

Parametri režima obrade su bili:

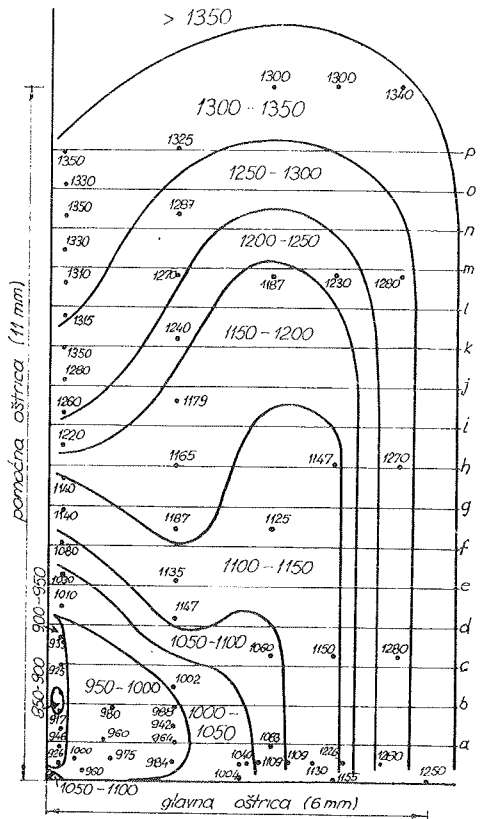
Dubina rezanja  $a = 0,003 \text{ [m]}$

Posmak  $s = 0,000175 \text{ [m/o]}$

Brzina rezanja  $v = 3,815 \text{ [m/s]}$

Trajanje obrade je 30 s.

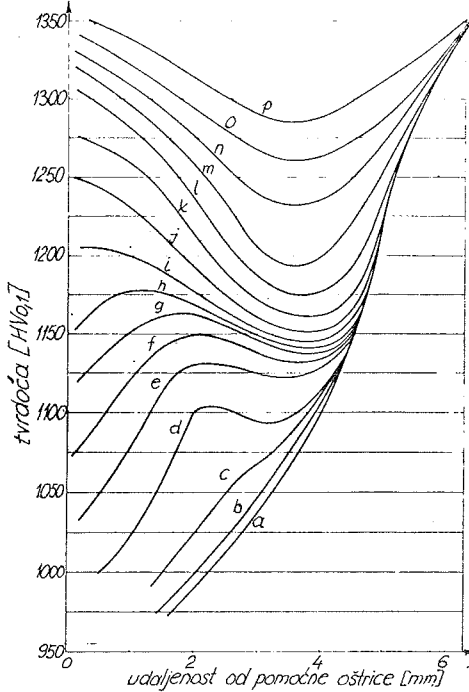
Određivanje polja izodura. - Poslije obrade izmjerena je na prednjoj površini veličine 11x6 mm na 69 mjesta tvrdoća  $HV_{0,1}$  i unesena u sl. 1. kao srednja vrijednost od 7 do 10 mjerenja.



Sl. 1. Polje izmjerenih tvrdoća  $HV_{0,1}$  i povučenih izodura

Na temelju unesenih rezultata povučene su izodure na razmaku od po 50  $HV_{0,1}$ . Kontrola ispravnosti ovako nacrtanih

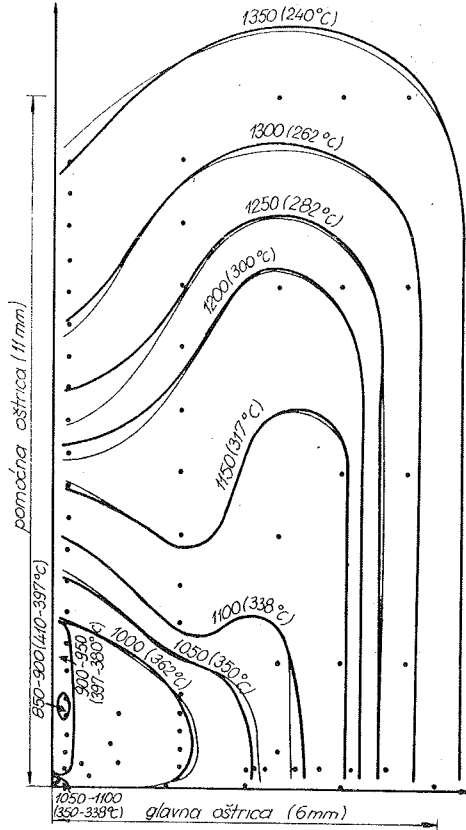
izodura izvršena je presjecanjem prednje površine nizom ravnina paralelnih sa glavnom oštricom (u sl. 1. a..p). Presjecište svake ravnine sa odgovarajućim izodurama dalo je nove točke za crtanje jedne porodice linija (sl. 2.).



Sl. 2. Promjena tvrdoće u zavisnosti o udaljenosti od pomoćne oštrice iz sl. 1

Prema logičkoj pretpostavci da se promjena tvrdoće po prednjoj površini ne može odvijati skokovito, izvršen je određeni zahvat u linije na slici 2. u smislu njihovog "gladjenja" i pravilnosti međusobne udaljenosti. Na temelju tako dobijenih krivulja što su stvarno sadržane u sl. 2., korigirane su prvotno izvučene izodure u sl. 1. i prikazane u sl. 3.

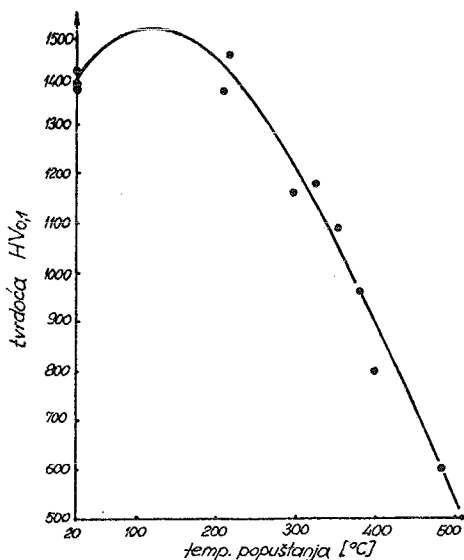
Vidi se da se korigirane izodure (debele linije) dobro poklapaju sa prvotno konstruiranim i sl. 1. -(tanke linije).



Sl. 3. Korigirano polje izodura iz sl. 1 i odgovarajuće polje izoterma. Temperature su određene iz baždarene krivulje u sl. 4

Određjivanje polja izoterma. - Svaka izodura u sl. 3. predstavlja i izotermu. Do određenoj tvrdoći odgovarajuće temperature došlo se uz pomoć baždarene krivulje.

Baždarna krivulja dobijena je popuštanjem na različitim temperaturama etalona od istog čelika i istog oblika kao što su i rezne pločice, te jednako dugo kao što je trajalo rezanje. Rezultate popuštanja što ih prikazuje sl. 4. najbolje aproksimira kubna parabola.



Sl. 4. Baždarna krivulja popuštanja zakaljenog čelika Č.1741 u trajanju od 30 sekundi

#### 4. ZAKLJUČAK

Primjena metoda omogućila je konstrukciju temperaturnog polja, te dobijanje položaja i iznosa maksimalne temperature. Budući da su promjene registrirane mjerenjem mikrotvrdoće, to je onda praktički isključen utjecaj tvrdoće slojeva ispod same površine.

Za izabrani režim rezanja dobijena je maksimalna temperatura od 410°C, što znatno odskakače od temperatura koje su za sličan materijal i režim obrade određene drugim metodama mjerenja.

Točnost rezultata treba uzimati sa određenom rezervom dok se konačno ne utvrdi koliko na promjenu tvrdoće pri popuštanju na samoj površini alata mogu utjecati drugi faktori obrade (vibracije, pritisak strugotine, temperaturne oscilacije) koji ne nastupaju pri eksperimentalnom (statičkom) postupku određivanja baždarne krivulje.

Metoda je zamorna, jer zahtijeva veliki broj mjerenja mikrotvrdoće. Ona se vjerojatno može pojednostavniti, jer se za slučaj koji je opisan u ovom radu uspješno sačinili program za računski stroj što s manje podataka opisuje čitavo temperaturno polje.

#### 5. LITERATURA

- 1 VIEREGGE, G.: 1970. "Zerspanung der Eisenwerkstoffe", 2 Auflage, Verlag Stahleisen
- 2 H.ZOLLER: "Über die Zerspanbarkeit von Aluminiumlegierungen", Aluminium No 1, 49/53, 1969.
- 3 A.P.GULJAJEV: "Temperatura rezanja i metodija jejo opredeljenija", Zavodskaja laboratorija No S,717/723, M., 1949.
- 4 B.I.KOSTECKIJ: "O metodike isledovanja teploobrazovanija pri rezaniji metalov", Zavodskaja laboratorija No 11-12, 937/941, M., 1946.
- 5 DEŽELIĆ, R.: 1980. "Indirektna metoda određivanja temperature iz promjene strukture, odn. tvrdoće na alatu pri obradi Al", doktorski rad, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje

Z. Nikić, R. Šukilović \*

PROMENE NA REZKOM KLINU GLODALA PRI OBRADI NERDJAJUĆIH ČELIKA

R e z i m e

U radu se govori o uočenim deformacionim promenama u zoni deformacije koja nastaje u okolini zuba glodala pri obradi kontrolnog alata od nerđjajućeg čelika. Predmetne deformacione promene se odnose i na materijal predmeta obrade, u međuzoni rezanja, i na materijal reznog klina (ledjna površina).

Rad predstavlja deo izveštaja rezultata obimnih istraživanja koja se izvode već više godina u laboratorijama Pedagoško tehničkog fakulteta i Fabrike reznog alata iz Čačka.

OCCURRENCES ON CUTTING WEDGE THE MILLING TOOLS DURING THE MACHINING STAINLESS STEEL

S u m m a r y

The paper considers the occurrences in the deformations zone on cutting wedge the milling tools during the machining control gage made of stainless steel. The considered deformations occurrences refer to the not only workpiece, but also to the material the cutting wedge (interface). Considered investigation has been performing at long time, already, in the laboratories of the Pedagogical-technical Faculty and Cutting tools fabric - Čačak.

1. Uvod

Ispitivanje promena koje nastaju u zoni rezanja, zoni deformacije, pri završnoj obradi rupe (proširivanje, razvrtanje i urezivanje) je predmet naših proučavanja već duži niz godina. Naglašeno interesovanje za ovu oblast je dvojako. Sa jedne strane, upoznavši prirodu predmetnih promena, je bilo moguće doći do novih relacija između brzine rezanja

i habanja alata [1,2,3]. Sa druge strane, uz stalno postojanje pomenute mogućnosti, na osnovu dosadašnjih sopstvenih istraživanja (do sada nedovoljno istražene oblasti) bilo je moguće doći od dalje istraživačke orijentacije, sa ciljem optimizacije procesa rezanja. Osim toga, na osnovu rezultata istraživanja, je bilo moguće ukaza-

\* Dr Zoran Nikić, v. profesor na PTF-u u Čačku i Radovan Šukilović, dipl.ing., upravnik termičke obrade u FRA - Čačak.

ti na neka zapažanja u vezi sa deformacionim promenama, koje su nastale pri obradi glodanjem, na reznom klinu zuba glodala. Predmetna istraživanja su izvodjena radi rešavanja problema rezanja žljebova na kljunastim merilima takozvanim T - glodalima, definisanje geometrije alata, materijala i termičke obrade alata kao i režima rezanja. U toku tih istraživanja, kao što je rečeno, identifikovane su predmetne pojave a koje su u tesnoj vezi sa opštom problematikom pojava u deformacionoj zoni.

## 2. Opšti podaci o uslovima ispitivanja

Predmetne operacije glodanja se izvode na telu kljunastog merila žljeba dimenzija 3,5 x 2 mm.

Operacija se izvodi na alatnoj glodalici ALG - 200, "Provomajska" Zagreb.

Režim obrade je sledeći; brzina rezanja je 32 m/min (560 o/min), brzina pomoćnog kretanja 80 mm/min, dubina rezanja 2 mm u jednom prolazu, dužina glodanja po x - osi je 33 mm a po y - osi 4 mm.

Kontrola dimenzije se izvodi kontrolnikom.

Predmet obrade je čelik Č. 4740 tvrdoće 270 - 240 HB, prosečnog hemijskog sastava; 0,5% C, 0,5% Si, 1,0 Mn, 14,0% Cr i 0,4% Mo. Alat je T - glodalo,  $\varnothing$  18 x 3,5 sa 12 zuba. Materijal glodala je Č. 6980 sa tvrdoćom posle kaljenja od 870 HV<sub>10</sub>. Glodalo je posle termičke obrade, brušenja i oštrenja meko nitrirano u rastopu cijanidnih soli. Površinska tvrdoća, posle nitriranja, je oko 1100 HV<sub>01</sub> a dubina mekonitriranog sloja je oko 20 . 10<sup>-4</sup> cm. Mikrostruktura osnove se sastoji od otpuštenog martenzita i specijalnih karbida legirajućih

elemenata, sl.1.



Sl.1. Mikrostruktura mekonitriranog zuba glodala ( $\delta = 20 \cdot 10^{-4}$  cm) 200 x

Mekonitrirani sloj je bez vezivne zone ( $\epsilon$ -faza), a difuziona zona predstavlja mešavinu martenzita, karbida i karbonitridnih faza tipa M<sub>3</sub>(C,W).

## 3. Pojave u deformacionoj zoni zuba glodala

### Metodologija istraživanja

Lomljenje zuba, krzanje reznih ivica na zubima glodala su bile veoma česte pojave, koje su u velikoj meri uticale na realizaciju proizvodnog plana. Promena elemenata režima obrade nije dala nikakve rezultate. Ostala je jedina mogućnost da se rešenje traži u glodalu. Svi zahtevi koji su se odnosili na glodalo definisani su postojanošću glodala; glodalo treba da, pre nego što radni komad izadje iz tolerancije, izvede 160 prolaza (oko 65 min). Posle izvesnih izmena geometrijskih elemenata zuba glodala i uvođenja pomenutog postupka mekog nitriranja, izvođeno je rezanje, u eksploatacionim uslovima. Glodala su rezala dok komadni nisu izlazili iz tolerancije (kriterijum zatupljenja). Predmetna glodala su uzimana za dalja ispitivanja, priprema za metalografsko ispitivanje strukture preseka zuba. Sva glodala iz serije su izvela preko 250 prolaza (do 450). Ovaj broj prolaza se ostvaruje i danas. Rostavilo se pitanje; šta je uslovi- lo ovo povećanje rezne sposobnosti. Selektivnim variranjem veličina geometrijskih elemenata i postupka mekog

nitriranja došlo se do saznanja da najveći uticaj na pomenuto povećanje ima postupak mekog nitriranja. Ustanovljeno je zatim da se mekonitrirani sloj gubio relativno rano (posle nekoliko desetina prolaza). Ali tada je, uporedno sa nestajanjem ovog sloja, dolazilo do pojave koje su i tema ovog rada.

#### Rezultati istraživanja

Metalografskim ispitivanjem strukture preseka zuba glodala identifikovane su višestruke promene na radnim površinama reznog klina u odnosu na početno stanje.

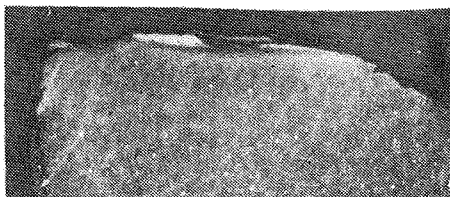
Na grudnoj površini, u okolini vrha reznog klina, postoje mikro krateri. Ostali deo površine je sa neznatnim promenama sa zaostalim mekonitriranim slojem.

Na ledjnoj površini, sl.2.a.b.c, se, pre svega, uočavaju mikrokrzanja uz vrh do grudne površine. Ostali deo ledjne površine, do kraja njenog slotbodnog dela, na svim ispitivanim zubima, se karakteriše jako izraženim deformacionim promenama u obliku zone punog zastoja [2,4], u obliku deformacije površinskih i podpovršinskih slojeva ledjne površine.

Na prelaznom delu ledjne površine u slobodni deo javlja se koncentrisano habanje u obliku kratera.

Na slici 3, detalj slike 2., se uočava plastično tečenje materijala alata na prelaznom delu, medjupovršini, prema zoni punog zastoja. Ova zona se karakteriše i pojavom visokog otpuštanja reznog alata.

Merenjem mikrotvrdoće ustanovljeno je da je tvrdoća materijala predmetne obrade, zona punog zastoja, znatno veća od njegove polazne tvrdoće i da dostiže čak vrednost od 1018 HV, a što je jednako tvrdoći osnovne strukture reznog alata.

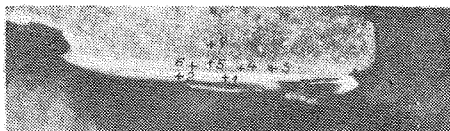


Sl.2.a.b.c. Promena na radnim površinama tri različita zuba glodala, 100 x



Sl.3. Plastično tečenje materijala alata na medjupovršinski, 500x

Pomenuta visokonapuštena zona, podpovršinski sloj, odlikuje se smanjenom tvrdoćom. Podaci o veličinama mikrotvrdoće dati su na sl.4. Sile utiskivanja  $F = 0,980 \text{ N}$ . Mereno mesto i tvrdoća u HV 01; 1 (1018) 2 (1018), 3 (967), 4 (988), 5(1010) 6 (974), 7 (1018).



Sl.4. Mikrotvrdoća na ledjnoj površini zuba, 100 x



Sl.5. Detalj ledjne površine zuba sa izraženom zonom punog zastoja i zonom plastičnog tečenja materijala alata

Očigledno je da se na ledjnoj površini formirao jedan sloj novog materijala, treće telo, koji se graniči sa jedne strane plastično deformisanim materijalom predmeta obrade (zona punog zastoja prikazana na sl.5.) a sa druge strane plastično deformisanim materijalom predmeta obrade.

U odredjenim temperaturno-deformacionim uslovima, za date ostale fizičke uslove, stekli su se uslovi za intenzivne interakcije između tarućih površina, što je dovelo do ,posmatrano na mikro nivou, difuzionih i adhezionih pojava. Ulogu radne ledjne površine, za duži period rezanja, je preuzela zona punog zastoja koja, što je važno još jednom istaći, ima tvrdoću jednaku tvrdoći reznog alata. Zahvaljujući tome radne karakteristike glodala su višestruko povećane. Tumačenje ostalih pojava, krateri habanja na ledjnoj i grudnoj površini, se može dati preko klasičnih triboloških postavki.

### 3. Zaključak

Pri odredjenim uslovima (deformacionim, temperaturnim, fizičko-hemijskim) dolazi do pojačane interakcije i kompatibilnosti tarućih materijala. Posledica toga je stvaranje adhezionih, odnosno difuzionih, veza na submikronivou. Pod pomenutim povoljnim uslovima, te veze se javljaju na mikro i makronivou u obliku zone punog zastoja. Ova zona, odredjenih povećanih mehaničkih karakter-

istika, preuzima ulogu radnih površina reznog alata, povećavajući mu višestruko radne karakteristike. Zahvaljujući ovim pojavama rešeno je pitanje rezanja, u ovom slučaju, teško obradivog nerdjajućeg čelika.

Dalja istraživanja u ovoj oblasti treba da dovedu do potpunog ovladavanjem zakonitostima uzroka, toka i posledica ovih pojava. Tada bi bilo moguće i u ostalim vrstama obrade, pri teškim uslovima, izazvati predmetne pojave.

### 4. Literatura

- [1] Nikić Z., Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja, MF Kragujevac.
- [2] Z. Nikić, Zona zastoja pri kosougolom neslobodnom rezanju, Zbornik radova VTŠ-Čačak, 12., 1979.
- [3] Nikić Z., Milošević R., 1980., Deformacione zone pri završnoj obradi otvora, Zbornik radova sa XIV Savetovanja PMJ, Čačak, PTF-Čačak.
- [4] Nikić Z., Milošević R., 1983., Model zone deformacije u obradi rupe, Zbornik radova III Naučno-stručnog skupa MMA' 83., Novi Sad Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [5] Trent E., 1980., Rezanje metallov, Mašgiz, Moskva.



Bogoljub Kršljak<sup>x</sup>

UPOREDNO ISPITIVANJE HRAPAVOSTI OBRADENE POVRŠINE PRI RAVNOM BRUŠENJU  
BRZOREZNOG ČELIKA I SIVOG LIVA TOCILOM NA BAZI KUBNOG NITRIDA BORA

R e z i m e

Pošto je hrapavost jedna od karakteristika za definisanje kvaliteta brušene površine, to je za upravljanje kvalitetom, neophodno poznavanje njene zavisnosti od uticajnih parametara.

U radu je obuhvaćeno ispitivanje hrapavosti i iznalaženje njene funkcionalne zavisnosti od elemenata režima brušenja i učinka brušenja pri brušenju različitih materijala toci- lom na bazi kubnog nitrída bora.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРХОВАТОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ  
ПРИ РАВНОМ ШЛИФОВАНИИ БЫСТРОРЕЗУЮЩЕЙ СТАЛИ И ЧУГУНА ТОЦИЛОМ НА БА-  
ЗЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРАТА БОРА

Р е з ю м е

Как шерховатость является одной из характеристик для определения качества шлифовальной поверхности, то для управляемости качеством, необходимо познание ее зависимости от воздействующих параметров.

В труде охвачены исследования шерховатости и нахождения ее функциональной зависимости от элементов режима шлифования и производительности шлифования при шлифовании различных материалов тоцилом на базе кубического нитрата бора.

1. Uvod

Hrapavost brušene površine, kao parametar za definisanje kvaliteta, zavisi od više faktora (geometrije radne površine točila, režima brušenja, uslova rada, materijala obratka i dr.)/1/. Utvrđivanje uticaja poje-

dinih faktora na veličinu hrapavosti i iznalaženje funkcionalnih zavisnosti hrapavosti od posmatranih parametara vrši se eksperimentalnim putem verirajući pojedine parametre i uslove obrade. Iznalaženjem zavisno-

<sup>x</sup>Dr mr Bogoljub Kršljak, dipl. ing. vanredni profesor PTF-a u Čačku

sti hrapavosti od posmatranih parametara (elementa režima brušenja i učinka brušenja) stvaraju se uslovi za upravljanje procesom brušenja radi ostvarenja zahtevanog kvaliteta brušene površine.

## 2. Uslovi izvođenja ispitivanja

Ispitivanja su obavljena na brusilici za ravno brušenje tip 3G71/1/. Uzorci za ispitivanje su bili od brzoreznog čelika Č.9780 (0,82% C, 4,0% Cr, 6,0% W, 5,0% Mo, 1,9% V, 5,5% Co) i sivog liva SL22 (3,5% C, 2,0% Si, 0,6% Mn, 0,12% S, 0,5% P) prizmatičnog oblika dimenzija 100 x 42 x 20 mm, termički obrađeni na tvrdoću 64H<sub>RC</sub> (brzorezni čelik) a tvrdoća uzoraka od sivog liva je bila 200H<sub>B</sub>. Uzorci su uzeti iz iste šipke, a pri obradi su bazirani i stezani na dinamometar za registrovanje komponenata otpora brušenja/2/.

Za ispitivanje je korišćeno tocilo na bazi kubnog nitrida bora E100/80 dimenzija 200 x 76 x 10 mm, proizvodnje "Geomašina" Zemun. Pre početka eksperimenta tocilo je dinamički uravnoteženo a za vreme izvođenja eksperimenta čišćeno je brusom od elektrokorunda.

Za hlađenje je korišćeno mineralno ulje "Castrol ilogrind 483".

Hrapavost brušene površine je merena i zapisivana pomoću uređaja Perthometer S5P.

Brušenje je vršeno promenom elementa režima brušenja uz primenu faktornog eksperimenta - polureplike tipa  $2^{k-1} + n_0 = 2^{3-1} + 2 = 6$  /4/.

Brzina tocila  $v_t$  (uz zanemarenje uticaja smanjenja prečnika usled trošenja) za jedan eksperiment smatrana je konstantnom.

## 3. Rezultati ispitivanja

### 3.1. Funkcije hrapavosti u zavisnosti od elementa režima brušenja

Izmerene vrednosti srednje aritmetičke hrapavosti merene u pravcu poprečnog pomaka  $R_{as}$  zavisne od elementa režima brušenja i plan matrica polureplike  $2^{k-1} + n_0 = 2^{3-1} + 2 = 6$  date su za oba ispitivana materijala u tabeli 1.

Koristeći matematički postupak /4/ dobijaju se funkcije hrapavosti:

za Č.9780

$$y = R_{as} = 0,1812 v^{0,0867} s^{0,2364} d^{0,0017} \quad (1)$$

za SL22

$$y = R_{as} = 0,6163 v^{0,1324} s^{0,2287} d^{0,0138} \quad (2)$$

Ocenom adekvatnosti ustanovljeno je da je izabrani model adekvatan u slučaju oba ispitivana materijala/4/. Na osnovu dobijenih vrednosti vidi se da najveći uticaj na hrapavost kod oba posmatrana materijala, u posmatranom intervalu promene elementa režima brušenja ima poprečni pomak a najmanji dubina brušenja, što ukazuje na činjenicu da izboru veličine poprečnog pomaka treba pokloniti i najveću pažnju u cilju obezbeđenja manje hrapavosti brušene površine.

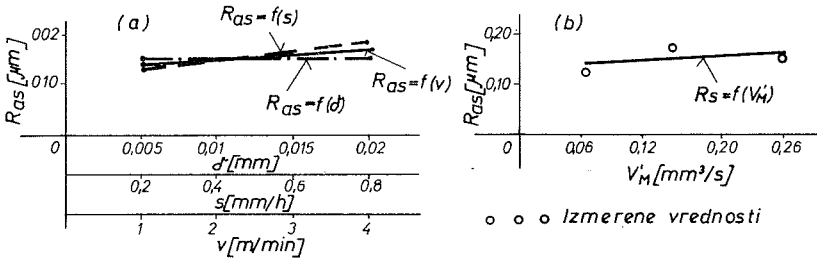
### 3.2. Funkcije hrapavosti u zavisnosti od učinka brušenja

Hrapavost se može izraziti u zavisnosti od jedne promenljive (združene promenljive) - učinka brušenja, koji pretstavlja teorijsku zapreminu materijala ostranjenju u jedinici vremena  $V'_M = v s f 1000/60 \text{ mm}^3/\text{s}$ . Ovakav način izražavanja zavisnosti hrapavosti,  $R_{as} = f(V'_M)$  je pogodniji za analizu i proučavanje.

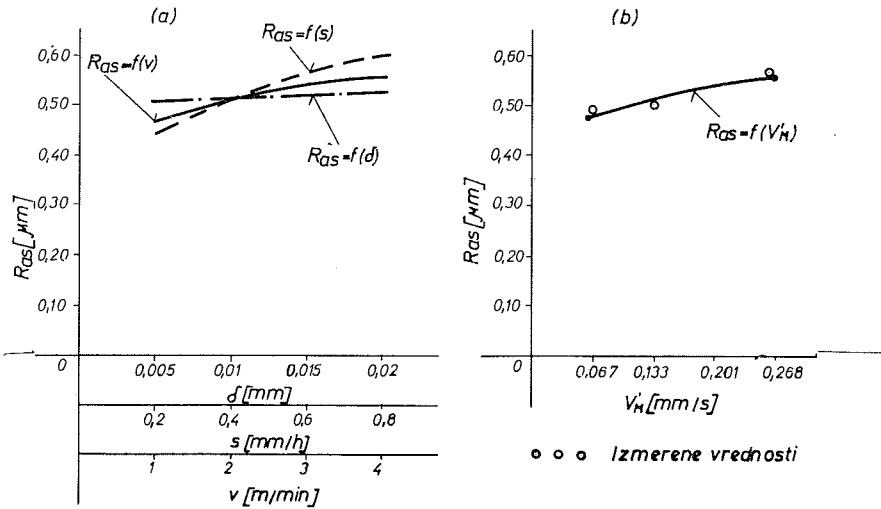
Za prelazak funkcija (1) i (2) oblika

Tabela 1.

Red. br.	Vrednosti faktora (režima)				Plan matrica				Izmerene vrednosti			
	eks.	$x_1(v)$	$x_2(s)$	$x_3(d)$	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	C.9780		SL22	
		m/min	mm/h	mm					$R_{as}$ μm	$\ln R_{as}$	$R_{as}$ μm	$\ln R_{as}$
1	4	0,8	0,005	+1	+1	+1	-1	0,18	-1,7148	0,66	-1,4155	
2	1	0,2	0,005	+1	-1	-1	-1	0,115	-2,1628	0,40	-0,9163	
3	4	0,2	0,02	+1	+1	-1	+1	0,13	-2,0402	0,49	-0,7133	
4	1	0,8	0,02	+1	-1	+1	+1	0,16	-1,8326	0,56	-0,5798	
5	2	0,4	0,01	+1	0	0	0	0,18	-1,7148	0,53	-0,6349	
6	2	0,4	0,01	+1	0	0	0	0,17	-1,7719	0,48	-0,7339	



Sl.1. Funkcija srednje aritmetičke hrapavosti  $R_{as}$  u zavisnosti od elemenata režima brušenja (a) i učinka brušenja (b) pri brušenju C.9780 točilom E100/80



Sl.2. Funkcija srednje aritmetičke hrapavosti  $R_{as}$  u zavisnosti od elemenata režima brušenja (a) i učinka brušenja (b) pri brušenju SL22 točilom E100/80

$R_{as} = f(v, s, \sigma)$  na oblik  $R_{as} = f(V_M')$  korišćen je matematički postupak/3/ i dobijene su zavisnosti:

$$\text{za } \check{C}.9780 \quad R_{as} = 0,1913 V_M'^{0,1086} \quad (3)$$

$$\text{i za SL22} \quad R_{as} = 0,6522 V_M'^{0,1194} \quad (4)$$

Funkcije srednje aritmetičke hrapavosti  $R_{as}$  izražene u zavisnosti od elemenata režima brušenja i učinka brušenja date su za brušenje Č.9780 na sl.1.a za brušenje SL22 na sl.2.

Veličine hrapavosti pri brušenju Č.9780 su manje u odnosu na veličine dobijene pri brušenju SL22 usled bolje prilagodjenosti režima brušenja i uslova rada brzoreznom čeliku, a najveći uticaj na hrapavost, kod oba ispitivana materijala, ima poprečni pomak.

#### 4. Zaključak

Usvojeni matematički model iskazan jednačinama (1), (2), (3) i (4) može se koristiti za određivanje srednje aritmetičke hrapavosti.

Funkcije hrapavosti (3) i (4) mogu sa dovoljno tačnosti zameniti funkcije (1) i (2).

U posmatranom području promene eleme-

nata režima brušenja najveći uticaj na veličinu hrapavosti ima poprečni pomak.

Ovakav način izražavanja hrapavosti pogodan je za određivanje optimalnih veličina elemenata režima brušenja kada se hrapavost uzima kao kriterijum za optimizaciju.

#### 5. Literatura

- /1/ Kršljak B., Optimizacija procesa ravnog brušenja alatnih čelika sa stanovišta uticaja karakteristika tocila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd 1981.
- /2/ Kršljak B., Uticaj karakteristika tocila i režima obrade na dinamiku procesa ravnog brušenja brzoreznog čelika. Tehnika, Mašinstvo 12/1977 god.
- /3/ Solonin I.S., Matematičeskaja statistika v tehnologii Mašinostroenija, Mašgiz, Sverdlovsk, 1960.
- /4/ Stanić J., Primena matematičke teorije planiranja eksperimenata na ispitivanje obradljivosti materijala. Elaborat br.145/71, Institut za alatne mašine i alatę, Beograd 1971.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE  
TITOGRAD, 1983. GOD.

S. Margić - B. Kravanja

JEDAN PRILOG BOLJEM POZNAVANJU PREVUČENIH PLOČICA OD TVRDOG METALA

S a ž e t a k

U radu su iznijeti neki osnovni podaci o prevučenim pločicama tvrdog metala i rezultati ispitivanja njihove primjene u riječkom industrijskom bazenu. Izvršena su mnogobrojna usporedna ispitivanja među primjenom konvencionalnih pločica tvrdog metala, prevučenih pločica i keramičkih pločica. O tim ispitivanjima učinjeni su detaljni zapisnici koji su unijeti u originalni rad, a ovdje su iznijeti samo neki završni dijagrami. Dobiveni rezultati iznijeti su skraćeno u zaključku rada.

BEITRAG ZUR BESSERER KENNTNIS DER HARTMETALLPLÄTTCHEN MIT ÜBERZUG

S u m m a r y

In der Arbeit sind einige Grundlagen über die Überzugmetallplättchen angegeben wie auch die Ergebnisse über die Anwendung derselben im Industriegebiet von Rijeka. Es wurden zahlreiche Vergleichsuntersuchungen unternommen zwischen der Anwendung von konventionellen Hartmetallplättchen, Hartmetallplättchen mit Überzug und den keramischen Plättchen. Über diese Untersuchungen wurde genaues Protokoll geführt ; dasselbe befindet sich in der Originalarbeit. Dieser Aufsatz beinhaltet bloss einige Diagramme. Die erreichten Ergebnisse sind im Abschluss der Arbeit dargestellt.

---

Prof. dr Slavko Margić, dipl. inž., redovni profesor Tehničkog fakulteta  
u Rijeci, Narodnog ustanka 58

Boris Kravanja, inž. tehnolog. R.O. Prvomajska, Raša

1. U V O D

Prevučene okretne rezne pločice tvrdog metala su alat koji se pojavio na tržištu prije 12 do 13 godina, a kod nas još kasnije. Taj novi alat donosi značajna poboljšanja prema konvencionalnom tvrdom metalu, on omogućuje obradu pri većim brzinama rezanja, ima veću postojanost, jako smanjuje asortiman potrebnih kvaliteta pločica, dokumentaciju i skladišni prostor. Međutim, taj alat je skuplji od klasičnih okretnih pločica tvrdog metala. On ni u kom slučaju neće istisnuti klasični tvrdi metal već će ga na određenim područjima obrade odlično nadopuniti. Njegova široka primjena u praksi je sigurna.

postoji velika konkurencija proizvođača prevučениh pločica, hvalenje tog proizvoda ali i preklapanje u preporukama za pojedine slojeve. Prava uloga pojedinog sloja ili kombinacije više slojeva još je nedovoljno istraženo, a proizvođači prevučениh pločica svakom sloju, ovisno o tome koji upotrebljavaju, pripisuju najbolja svojstva.

Prevlačenjem pločica s više slojeva objedinjuju se pozitivne osobine pojedinih slojeva i to se danas sve više koristi. Prvi sloj na pločici je uvijek titankarbid (TiC), a kod pločica koje imaju drugi i treći sloj postoje različite kombinacije sa TiN, Ti(N,C) i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

2. PREVLAKE I NJIHOVA ULOGA

Danas postoji TM prevučен s jednim, dva ili tri sloja. Svaki sloj ima određenu ulogu, a sve sa ciljem povišenja brzine rezanja i postojanosti alata. Naravno da na tom području

3. POVIŠENJE PRODUKTIVNOSTI PRIMJENOM NOVIH ALATA S OKRETNIM REZNIH PLOČICAMA

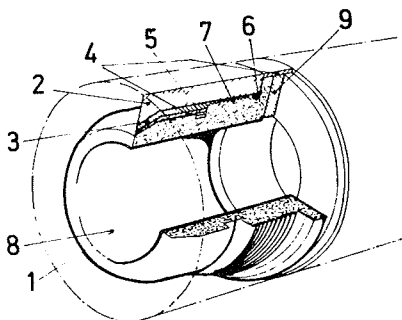
Uvođenjem u proizvodnju okretnih reznih pločica (1965.), a ubrzo iza toga i prevučениh pločica (1970.-71.) do-

TABLA 1  
PODRUČJE PRIMJENE I OZNAKE PREVUČЕНИH PLOČICA TM POZNATIH PROIZVOĐAČA

ISO	Coromant	Seco	Widia	Tizit	Kennometal	Carboloy	Votanit
	Sandvik	Fagersta	Fried.Krupp	Plansee	Latrobe/Pb		Sintal
	ŠVEDSKA		SRN	AUSTRALIA	USA	JUGOSLAVIA	
P Čelik Čelični lijev Temper lijev -druge strugoti- ne	P-01						
	P-10		TP 15			514 TiC	
	P-20	GC 125 GC 135 GC 1025 GC 015	TP 25	TN TG	Gm 15	KC 810	516 TiC
	P-30		TP 35	TR	Gm 35		518 TiC
	P-40						
P-50							TNC-Splus
K Sivi lijev Kokilni lijev Temper lijev -krat.stug Laki metal	K-01		TP 15				
	K-10		TP 25	TG (TN)	Gm 15		
	K-20	GC 315 GC 1025 GC 015	K	TG (TN)	Gm 35	KC 810	523 TiC
	K-30			TR			

lazi do značajnog skoka u povišenju proizvodnosti obrade metala u području tokarenja.

Ovaj brzi uspon može se najbolje vidjeti na jednom izratku koji se u visokoserijskoj proizvodnji izrađuje u milionima primjeraka, a za svoju izradu zahtijeva grubu, srednju i finu obradu, rezanje nareza, urezivanje utora, bušenje, proširivanje otvora i odrezivanje.



Sl. 1 - Tipičan izradak iz visokoserijske proizvodnje s različitim obradama označenim od 1 do 9.

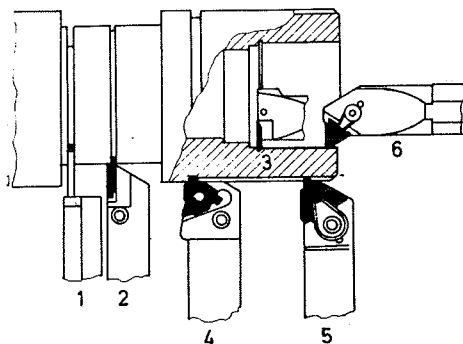
Za izradu ovog dijela prije 15 godina trebalo je 5 min. i 18 sekundi. Za tokarenje upotrebljavan je alat s okretnim reznim pločicama tadašnje kvalitete iz grupe P 30. Brzina rezanja kretala se u granici 70 do 80 m/min. Bušenje je izvršeno svrdlom od brzoreznog čelika, urezivanje i odrezivanje s alatom od visokolegiranog brzoreznog čelika pri brzini oko 30 m/min.

Godine 1970.-71. dolazi do značajnih novosti u području obrade metala uvođenjem u proizvodnju novih žilavijih tvrdih metala prevučeni slojem titankarbida vrlo otpornim na izjedanje. Primjenom ovih alata u postupcima tokarenja povišena je brzina rezanja na 100 do 110 m/min. i postojanost alata

je povećana. Postupci bušenja, urezivanje i odrezivanje još se vrše alatom od brzoreznog čelika. Vrijeme izrade navedenog dijela smanjeno je na 3 min. i 55 sekundi.

Danas, dvanajst godina kasnije, treba za obradu ovog dijela 1 min. i 30 sekundi. Klasična tokarenja vrše se više puta prevučeni okretni reznim pločicama brzinama rezanja 150 do 225 m/min, bušenje se vrši novim alatom za bušenje kratkih rupa uz primjenu dviju prevučeni okretni pločica posebnog oblika s brzinom rezanja 225 m/min, isto tako se za rezanje nareza, urezivanje i odrezivanje upotrebljavaju nove profilirane okretni pločice s brzinom rezanja 100 do 150 m/min.

Sva navedena poboljšanja uz primjenu okretni reznih pločica današnjih oblika i kvaliteta dovela su do toga da je obrada navedenog izratka u posljednjih 10 do 12 godina svadena na 25% prvotnog vremena.



Sl. 2 - Novi alati s oblikovanim pločicama

- 1 - Alat za odrezivanje
- 2 } - Alat za vanjsko, odnosno unutarnje urezivanje
- 3 } - uskih utora
- 4 - Alat za urezivanje širokih utora
- 5 } - Alat za rezanje vanjskog, odnosno unutarnjeg
- 6 } - navoja

Ovaj primjer treba potaknuti na pojačana istraživanja na tim područjima obrade i uvođenje tih alata u našu proizvodnju. U nastavku ovog rada date su osnovne smjernice za izbor spomenutih novih alata.

#### 4. REZULTATI VLASTITIH ISPITIVANJA OBRADJE PREVUČENIM REZNIH PLOČI- CAMA U INDUSTRIJI RIJEČKOG BAZENA

##### 4.1 Sadašnja primjena prevučenih pločica

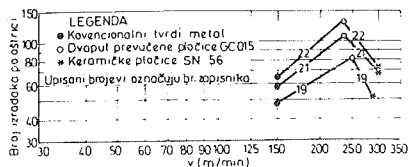
Ispitivanja o primjeni i postignutim rezultatima pri obradi metala prevučenim okretnim reznim pločicama tvrdog metala izvršena su u svim većim metalopreradivačkim poduzećima riječkog industrijskog bazena a to su : Brodogradilište "3.maj", Tvornica motora "Torpedo", Tvornica dizalica "Vulkan" i Tvornica alatnih strojeva "Prvomajska" Raša.

Karakteristika ovih tvornica je da im se proizvodnja kreće od maloserijske do srednje serijske ali u jednom širokom asortimanu. Isto tako je utvrđeno da je poznavanje i primjena prevučenih pločica tvrdog metala u tim tvornicama vrlo različita.

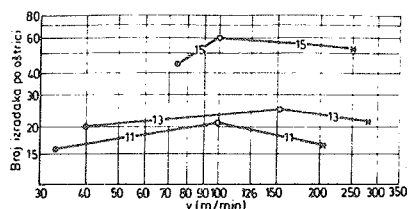
##### 4.2 Rezultati ispitivanja

Kako se iz dijagrama i zapisnika u originalnom radu vidi ispitivanja su izvršena pri obradi velikog broja izradaka od različitih materijala - čelik, čelični lijev i sivi lijev-i u različitom početnom stanju - valjane šipke, svijetlo vučene šipke, otkovci i odljevci. Svi strojevi su iz redovne proizvodnje ovih poduzeća.

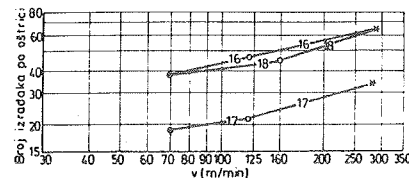
Ispitivanja navedena u zapisnicima br. 10 do 33 izvršena su u tvornici s ti-



Sl. 3 - Postojanost alata pri gruboj i polugruboj obradi čelika



Sl. 4 - Postojanost alata pri gruboj obradi sivog lijeva s uključcima ili isprekidanim rezom



Sl. 5 - Postojanost alata pri gruboj i polugruboj obradi sivog lijeva, čisti lijev i neisprekidan rez.

pično maloserijskom proizvodnjom i na strojevima istih karakteristika. Na žalost, serije su kratke 60 do 120 kom. tako da su pojedine pločice izdržale čitavu seriju, pa se njihova postojanost nije mogla točno utvrditi. U zapisnicima je u tom slučaju postojanost alata označena križićem. Iste serije se nisu mogle ponavljati. Međutim, veliki broj različitih serija s neprestanim uvidom u ponašanje pojedinih pločica dobije se mnogo podataka kao prilog vjerodostojnoj ocjeni ovog alata.



Karakteristike strojeva na kojima su se vršila ispitivanja su : NC tokarilica BOEHRINGER, tip DN 570, najveći promjer tokarenja 480 mm, područje okretaja  $n = 11,2 \dots 2240 \text{ min}^{-1}$ , promjena bestepenasta, 6 posmaka u području  $s = 0,01 \dots 50 \text{ mm/okr.}$ , brzi hod 8000 mm/min. Snaga motora  $P = 16 \text{ kW}$ . Jedna važna karakteristika ovih strojeva je u tome da se namještena brzina rezanja za određeni alat drži konstantna bez obzira na promjenu promjera. Nosač alata ima mogućnost za smještaj dva držača alata. Upotrebljene kvalitete i oblici pločica upisane su u zapisnicima.

## 5. ZAKLJUČAK RADA

Prevučene pločice tvrdog metala su relativno nov alat koji se u praksi pokazao vrlo dobro. U svim primjerima ispitivanja (osim pri gruboj obradi vrlo loših odljevaka - zapisnik br. 10) on je dao bolju postojanost alata od konvencionalnih-neprevučениh - pločica tvrdog metala.

Prvenstveno se preporučuju za obradu svih vrsta ugljičnih konstrukcijskih čelika, lagano legiranih čelika i čeličnog lijeva, naročito u serijskoj proizvodnji ili kod obrade velikih izradaka kod kojih se zbog dužine reza traži veća postojanost alata da ne bi došlo do prekida u rezu ili odstupanja u tolerancijama. Odlične rezultate daju pri obradi s lako opterećenim rezovima i polugruboj obradi. Nove rezne geometrije prevučениh pločica proširuju njihovu uspješnu primjenu i na grubu obradu.

Ne preporučuju se za obradu visokolegiranih čelika, za obradu pri niskim brzinama rezanja, pri isprekidanom rezu ili pri obradi s visokim

temperaturama.

Pri završnoj i polugruboj obradi sirovog lijeva rezultati su također dobri, ali je rasturanje postojanosti alata veće nego pri obradi čelika, ovisno o strukturi i nečistoći lijeva. Sposobne su za skidanje vanjske površine lijeva, ali se za takvu obradu ne preporučuju.

Ne preporučuju se za obradu lakih i obojenih metala.

Uz postojanost prevučениh pločica pri različitim uvjetima rada paralelno su ispitivane keramičke rezne pločice i postignuti rezultati upisani su u odgovarajuće zapisnike. Time je ostvarena mogućnost da se na temelju velikog broja ispitivanja pod istim uvjetima donese realna ocjena sposobnosti i područja primjene za tvrdi metal, prevučени tvrdi metal i keramiku.

U poređenju s konvencionalnim tvrdim metalom prevučene pločice tvrdog metala imale su u našim industrijskim uvjetima rada veću postojanost i to u prosjeku

- jedanput prevučene pločice 15-25% ,
- više puta prevučene pločice 50-100%.

Postignuti rezultati su vrlo dobri, no oni su ipak daleko slabiji od uspjeha što ih navode proizvođači prevučениh pločica u svojim prospektima jer navode postojanost prevučenog alata 3 do 6 puta veću od neprevučenog. Do tako dobrih rezultata dolaze zbog posebno pripremljenih uvjeta rada i zbog toga jer se objavljuju samo pojedinačni najbolji rezultati.

Osim klasičnih postupaka vanjskog i unutarnjeg tokarenja prevučene pločice proširile su se na operacije rezanja nareza, urezivanje, odreziva-

nje, bušenje kratkih rupa većih promjera i na slične. Sve te operacije mogu se danas uz primjenu ovog alata obaviti pri znatno većim brzinama rezanja i kroz to znatno skratiti vrijeme obrade.

Na kraju rada još jednom se podvlači da prevučene okretne pločice nisu alat koji će potisnuti klasičan tvrdi metal već će ga u pojedinim područjima nadopuniti i poboljšati obradu. One imaju osiguranu budućnost u području obrade gdje materijal izratka i stroj omogućuju rad pri većim brzinama i gdje se traži veća postojanost alata.

U cjelokupnoj pojedinačnoj proizvodnji i u serijskoj proizvodnji pri obradi visokolegiranih čelika, lakih i obojenih metala, pri obradi s niskim brzinama rezanja, isprekidanom rezu ili skidanju grube vanjske površine u postupcima tokarenja i još u većoj mjeri u postupcima glodanja i blanjanja još i dalje će se pretežno koristiti klasični neprevučeni tvrdi metal.

## 6. LITERATURA

- [1] M. Jovičić i kolekt. .  
Primjeri obrade metala skidanjem strugotine u domaćim metaloprerađivačkim pogonima. Naučno-stručni skup, Novi Sad, 1976.
- [2] H. Kindermann u. J.E. Forsgren:  
Innenbearbeitung mit Hartmetallwerkzeugen. Werkstatt und Betrieb 111 (1978). 9.
- [3] S. Margić :  
Jedan prilog boljem poznavanju prevučениh pločica tvrdog metala i keramičkih reznih pločica. Tehnički fakultet Rijeka, 1981. Znanstveni rad financiran od SIZ-a I, opseg originala 110 str.
- [4] V. Roček :  
Erfahrungen mit TiC - beschichteten Hartmetallplatten. Maschinenwelt - Elektrotechnik, Heft 6/7, 1975.
- [5] K. Vasilko - S. Novak :  
Nutzungsmöglichkeiten der sekundären Deformationszone beim Schneidvorgang. Fertigungstechnik und Betrieb, 28 (1978).
- [6] D. Vukelja i S. Arsovski :  
Neki rezultati ispitivanja prevučениh tvrdih metala preduzeća "Sintal", Naučno-stručni skup, Novi Sad, 1976.
- [7] -  
Metalli duri per asportazione di truciolo :  
perche rivestirli di TiC ?  
Macchine 10, 1977.
- [8] -  
Katalozi firma Sintal - Jugoslavija ; Coromant - Švedska, Seco - Švedska ; Widia - SR Njemačka ; Harthü - DR Njemačka ; Tizit - Austrija ; Delfer - Italija ; Carboloy - USA ; Kennametal- USA ; Wesson - USA .

Redžep Jelačić<sup>x</sup>

UTJECAJ REŽIMA OBRADJE KOD RAVNOG BRUŠENJA NA  
KVALITETU OBRADJENE POVRŠINE

Rezime

U radu su eksperimentalno-analitičkom metodom utvrđeni matematski modeli utjecaja parametara režima obrade kod ravnog brušenja na kvalitetu obradjene površine. Kvaliteta površine definirana je preko srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od srednje linije ( $R_a$ ) i procenta nošenja profila ( $p_n$ ). Na osnovu dobivenih rezultata nacrtani su prostorni grafikoni zavisnosti  $R_a = f_1(t; v_r)$  i  $p_n = f_2(t; v_r)$  za različite vrijednosti brzine predmeta obrade  $v_r$ .

DER EINFLUSS DER BEARBEITUNGSART BEIM FLACHSCHLEIFEN  
AUF DIE QUALITÄT DER BEARBEITETEN OBERFLÄCHE

Zusammenfassung

In der Arbeit wurden durch experimentalanalytische Methode die mathematischen Modelle des Parametereinflusses der Bearbeitungsart beim Flachschleifen auf die Qualität der bearbeiteten Oberfläche festgelegt. Die Oberflächenqualität ist durch den Mittenrauhwert ( $R_a$ ) und Traganteil ( $p_n$ ) definiert. Auf Grund der bekommenen Ergebnisse wurden Raumgraphikone der Abhängigkeit  $R_a = f_1(t; v_r)$  und  $p_n = f_2(t; v_r)$  für verschiedene Werte der Werkstückgeschwindigkeit  $v_r$  gezeichnet.

1. Uvod

Osnovni cilj eksperimentalnih ispitivanja u ovom radu je iznalaženje zavisnosti srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od

srednje linije i procenta nošenja profila od parametara režima rezanja kod ravnog brušenja obimom tocila. Ispitivanja su vrše-

<sup>x</sup>Dr Redžep Jelačić, dipl.ing., programer razvoja proizvodne tehnologije, SOUR "Jelšingrad", RZ Stručne službe, 78000 Banja Luka, B.Podgornika 8a.

na za dva materijala Č. 1730 i Č. 4830.4. Prema izučavanjima [1], [2] i [3] pokazano je da se srednje odstupanje profila obradjene površine može izraziti jednačinom:

$$R_a = C_1 \cdot v_r^{x_1} \cdot t^{y_1} \cdot s_b^{z_1} \quad \mu\text{m} \quad (1)$$

Na analogan način procenat nošenja profila se može izraziti jednačinom:

$$p_n = C_2 \cdot v_r^{x_2} \cdot t^{y_2} \cdot s_b^{z_2} \quad \% \quad (2)$$

gdje je:

- $v_r$  - brzina predmeta obrade m/min
- $t_h$  - dubina brušenja po hodu mm
- $s_{bh}$  - bočni posmak po hodu mm
- $C_1, C_2$  - konstante koje sumarno karakterišu uslove obrade.

Za utvrđivanje predloženih matematskih modela primjenjen je eksperimentalno-analitički metod koji bazira na savremenim statističkim metodama uz korištenje matrice algebre.

## 2. Uslovi izvodjenja eksperimenata

Materijali uzoraka sa kojima su vršena eksperimentalna ispitivanja su čelici Č. 1730 i Č. 4830.4 domaće proizvodnje. Uzorci materijala Č. 1730 su bili prizmatičnog oblika dimenzija 100 x 20 x 20 mm, svi isječeni iz iste svijetlovučene šipke. Uzorci materijala Č. 4830.4 su takodje prizmatičnog oblika dimenzija 100 x 40 x 30 mm isječeni iz valjane gredice poprečnog presj-

jeka 100 x 40 mm.

Ispitivanja su vršena na preciznoj brusilici za ravno brušenje "Blohm" model HFS 6V. Za sva ispitivanja na pomenutim materijalima korištena su točila od bijelog elektrokorunda proizvodnje Swaty - Maribor. Kao tocilo optimalnih karakteristika za ispitivane materijale, odabrano je tocilo 2B 60 L 7V dimenzija 350 x 40 x 127 mm [3], [4]. Mjerenja srednjeg odstupanja profila i procenta nošenja profila obradjene površine vršena su mjernim uređajem Perthometer W5 DT, proizvod firme Perthen - Hannover. Režimi brušenja i rezultati kodiranja za konkretne veličine parametara režima obrade koji se u eksperimentima variraju, izloženi su u tabeli T. 1.

NIVO OPTIA	$v_r$ (m/min)	$t_h$ (mm)	$s_{bh}$ (mm)
maksimalni	20	0,02	4
srednji	10	0,01	2
minimalni	5	0,005	1

TABELA T1

U svim eksperimentima režimi poravnavanja i hladjenja su bili konstantni. Prije svakog eksperimenta, tocilo je poravnavano jednozrnim dijamantskim poravnjivačem sa korakom poravnavanja po hodu  $s_{dh} = 0,05$  mm i dubinom poravnavanja  $t_d = 0,01 - 0,02$  mm. Hladjenje je vršeno sa sintetskim sredstvom SINT 30 u koncentraciji od 2% i količini 10 do 12 l/min (170 do 200 cm<sup>3</sup>/s).

## 3. Matematička obrada

rezultata ispitivanja

Za utvrđivanje matematskih modela (1) i

TABELA T2

MATERIJAL	Č.1730	Č.4830.4
$R_a$	$e^{2,7452} \cdot \frac{0,6257 - 0,8177 \ln s_b}{t} \cdot \frac{3,4705}{s_b}$	$e^{1,3752} \cdot \frac{0,3491 + 0,5315 \ln s_b}{t} \cdot \frac{3,3953}{s_b}$
$p_n$	$e^{3,9525} \cdot \frac{4,878}{s_b} \cdot \frac{0,166 - 0,986 \ln s_b}{t}$	$e^{3,1493} \cdot \frac{0,5056 + 0,2154 \ln t + 1,8268 \ln s_b + 0,272 \ln t \cdot \ln s_b}{t} \cdot \frac{5,4526}{s_b}$

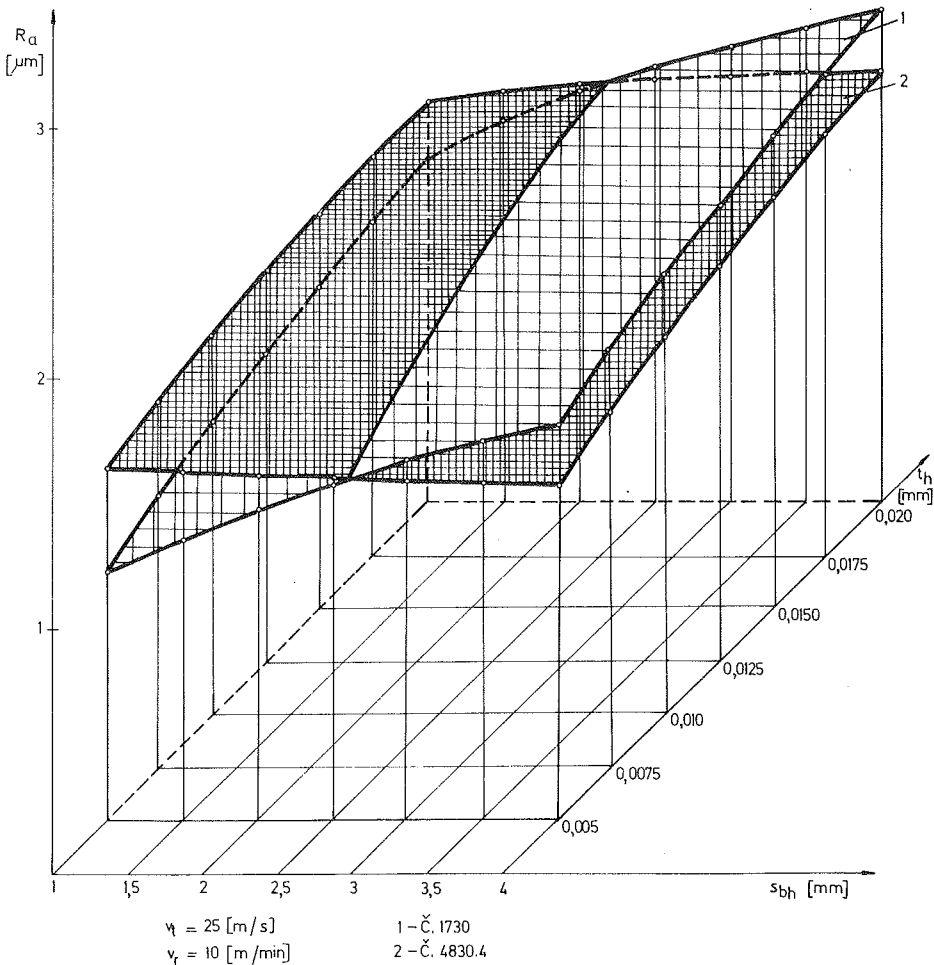
(2) primjenjena je eksperimentalno-anali-  
tička metoda koja bazira na savremenim  
statističkim metodama uz korištenje mat-  
rične algebre [5].

Dobiveni modeli zavisnosti srednjeg odst-  
panja profila i procenta nošenja profila od  
elemenata režima obrade pri brušenju za  
oba ispitivana materijala prikazani su u  
tabeli T.2.

Pomoću računara su, za svaki od ispitiva-

nih materijala i izmjenu elemenata režima  
brušenja, na osnovu modela datih u tabeli  
T.2, izračunate vrijednosti srednjeg pro-  
fila  $R_a$  i procenta nošenja profila  $p_n$  na du-  
bini  $5 \mu\text{m}$  ispod najviše tačke efektivnog  
profila.

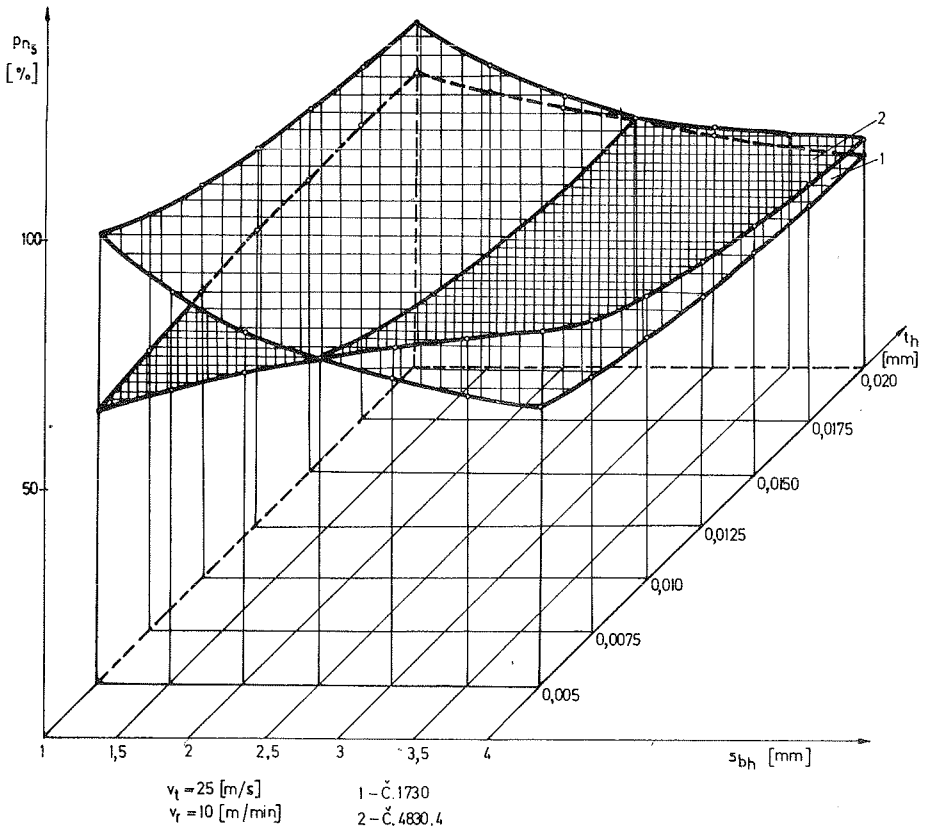
Na osnovu dobivenih rezultata nacrtani su  
prostorni grafikoni zavisnosti  $R_a = f_1(v_r, t)$   
i  $p_{n5} = f_2(v_r, t)$  za različite vrijednosti br-  
zine predmeta obrade  $v_r$  (sl. 1 i 2).



Sl. 1

Na ovim grafikonima je uporedno prostor-  
no predstavljen utjecaj parametara režima

brušenja na srednje odstupanje profila i  
procenat nošenja profila za oba promatrana



Sl. 2

materijala, te se na vrlo zoran način može doći do zaključka o obradivosti materijala.

#### 4. Zaključak

Analizirajući rezultate dobivene izračunavanjem izraza iz tabele T2 pomoću računara, može se zaključiti da se najmanje vrijednosti srednjeg odstupanja profila i najveće vrijednosti procenta nošenja profila za oba materijala postižu pri najmanjim vrijednostima promatranih režima brušenja. Može se također uočiti, da se najmanja vrijednost srednjeg odstupanja profila i najveća vrijednost procenta nošenja profila u promatranim granicama režima brušenja posti-

žu kod brušenja materijala Č.1730. Područja u kojima je koji od promatrana dva materijala bolje obradiv, mogu se lako uočiti iz grafikona koji se mogu jednostavno nacrtati. U radu su prikazani grafikoni za samo jednu vrijednost brzine obradka  $v_r = 10 \text{ m/min}$ .

Praćenje promjena srednjeg odstupanja profila i procenta nošenja profila za različite vrijednosti režima brušenja vršeno je sa jednom vrstom tocila i jednim sredstvom za hlađenje i podmazivanje. Bilo bi interesantno ova razmatranja vršiti i sa različitim karakteristikama tocila i sredstva za hlađenje i podmazivanje.

## 5. Literatura

- [1] Maslov E.N.: Teorija šlifovanja materialov - Mašinstroenie; Moskva 1974.
- [2] Jovičić M.: Osvrt na istraživanje procesa obrade brušenjem; Saopštenje IAMA, Nr. 18, 1973.
- [3] Jelačić R.: Istraživanje utjecaja režima obrade kod brušenja na kvalitetu obradjene površine, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1979.
- [4] Grupa autora: Sistematsko ispitivanje obradivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima: Elaborati br. 142/71; 162/72; 208/73; 236/74; 283/75 i 317/76, IAMA Beograd
- [5] Kacev P.G.: Statističeskie metody issledovanija režuščevo instrumenta; Izd. 2-e, pererab. i dop.M.; "Mašinstroenie", 1974.





Vlado Prusina \*)

PRILOG ANALIZI UTICAJA REŽIMA OBRADE NA VELIČINE  
SA KOJIMA SE IDENTIFIKUJE TAČNOST IZRADE ZUPČANIKA

R e z i m e

Proces izrade zupčanika odvalnim glodanjem u velikoj mjeri je zastupljen u industriji. Zato se nameće potreba ispitivanja uticaja na tačnost izrade zupčanika. Između ostalog, potrebno je proučavanje uticaja i veze režima obrade sa pokazateljima tačnosti izrade zupčanika.

U radu se daje ovisnost režima obrade i nekih pokazatelja tačnosti izrade zupčanika, a ta ovisnost dobivena je matematskom obradom eksperimentalnih podataka, i dijagramski interpretirana.

THE ADDITION TO THE INFLUENCE OF TREATMENT REGIME ON THE  
SIZES WHICH IDENTIFY THE ACCURACY OF GEAR PRODUCTION

S u m m a r y

The process of gear production by gear cutter is by great deal represented in industry. That's why there is a need of testing influence on the accuracy of gear production. Besides, there is also a need to study the influence and relation of treatment regime to indicators of accuracy of gear production.

In paper exist the dependence of treatment regime on some indicators of accuracy of gear production, and that dependence was acquired by mathematical treatment of experimental data and is indicated by diagram.

1. UVOD

Odvalno glodanje, zbog složene geometrije odvalnog glodala kao i slže-nih uslova u zoni rezanja, je dosta složen postupak izrade zupčanika. Zbog te složenosti veliki broj parametara procesa izrade zupčanika odvalnim glodanjem utiču na tačnost izrade zupčanika.

Od mnoštva drugih parametara nameće se potreba proučavanja uticaja režima obrade na kvalitet i tačnost izrade kako bi se iznašle zavisnosti, čijom analizom bi se obezbjedila tačnost pri radu. Ovom zahtjevu bi se u znatnoj mjeri udovoljilo primjenom

optimalnih režima obrade.

U ovom radu daju se matematske ovisnosti režima obrade i pokazatelja: veličine tetivne debljine zuba, odstupanja pravca zuba i odstupanja osnovnog koraka.

2. METODOLOGIJA I USLOVI IZVOĐENJA  
EKSPERIMENTA

Cilj eksperimenta je definisanje matematskih modela za veličinu tetivne debljine zuba, odstupanja pravca zuba i odstupanja osnovnog koraka kod zupčanika. Modeli od kojih sam počao su:

---

\*) Mr Vlado Prusina, dipl.ing.maš. asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru  
Predraga Vasića 3, 79 000 Mostar

za veličinu tetivne debljine zuba

$$S = C_s \cdot v^{x_s} \cdot s^{y_s} \quad [\text{mm}],$$

za odstupanje pravca zuba

$$A_p = C_p \cdot v^{x_p} \cdot s^{y_p} \quad [\mu\text{m}],$$

za odstupanje osnovnog koraka

$$A_{t_D} = C_t \cdot v^{x_t} \cdot s^{y_t} \quad [\mu\text{m}].$$

2.1. Metod ispitivanja

Za definisanje izraza za veličinu tetivne debljine zuba, odstupanja pravca zuba i za odstupanje osnovnog koraka sa kojima se identifikuje tačnost izrade zupčanika korišten je eksperimentalno - analitički metod utvrđivanja matematskih modela, koji bazira na višefaktornom planu ekspe-

rimenta.

Tehnika izvođenja eksperimenta zasni- vala se na obradi zupčanika sa odgo- varajućim režimima, a potom mjerenja posmatrane veličine.

Podaci dobiveni eksperimentom dati su u tabelama T-1, T-2 i T-3.

Matematska obrada podataka eksperime- nta izvedena je pomoću metode najmaž njih kvadrata. Efekat značajnosti provjeren je pomoću kriterija Studen- ta, a adekvatnost modela primjenom kriterija Fisher-a uz stepen pouzda- nosti P = 0,95.

2.2. Uslovi obrade

Predmet obrade - Materijal predmeta obrade je Č.1530. Pripremak-otkovak

Tabela T-1

Br. eksp.	Plan eksperimenta					Rezultati mjerenja				
	v [m/min]	s [mm/o]	Kodovi			S [mm]				
			X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S̄	ln S̄
1.	31,415	2,5	+1	+1	+1	5,448	5,348	5,402	5,300	1,68628
2.	25,132	1,7	+1	0	0	5,388	5,382	5,302	5,357	1,67847
3.	31,132	1,0	+1	+1	-1	5,368	5,402	5,428	5,300	1,68628
4.	25,132	1,7	+1	0	0	5,326	5,308	5,422	5,352	1,67747
5.	25,132	1,7	+1	0	0	5,282	5,300	5,300	5,294	1,66657
6.	20,106	2,5	+1	-1	+1	5,222	5,402	5,342	5,322	1,67185
7.	20,106	1,0	+1	-1	-1	5,388	5,445	5,420	5,418	1,68067
8.	25,132	1,7	+1	0	0	5,302	5,402	5,382	5,362	1,67924

Tabela T-2

Br. eksp.	Plan eksperimenta					Rezultati mjerenja									
	v [m/min]	s [mm/o]	Kodovi			A <sub>p</sub> [μm]									
			X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	A <sub>p1</sub>		A <sub>p2</sub>		A <sub>p3</sub>		Ā <sub>p</sub>	ln Ā <sub>p</sub>		
		d*		l**		d		l		d		l			
1.	31,415	2,5	+1	+1	+1	18	24	8	14	18	10	15,33	2,73007		
2.	25,132	1,7	+1	0	0	20	3	8	6	2	10	8,17	2,10006		
3.	31,415	1,0	+1	+1	-1	10	12	13	8	8	8	9,83	2,28978		
4.	25,132	1,7	+1	0	0	18	4	4	14	6	6	8,67	2,15048		
5.	25,132	1,7	+1	0	0	20	8	4	2	6	10	8,33	2,12026		
6.	20,106	2,5	+1	-1	-1	18	26	8	4	4	6	11,00	2,30780		
7.	20,106	1,0	+1	-1	-1	14	6	10	4	8	4	7,67	2,06688		
8.	25,132	1,7	+1	0	0	16	4	10	11	6	8	9,17	2,11007		

\*) desni bok zuba

\*\*) lijevi bok zuba

Tabela T-3

Br eksp	Plan eksperimenta					R e z u l t a t i m j e r e n j a				
	v [m/min]	s [mm/o]	K o d o v i			At <sub>b</sub> [μm]				
			X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	At <sub>b1</sub>	At <sub>b2</sub>	At <sub>b3</sub>	Ā <sub>t<sub>b</sub></sub>	ln Ā <sub>t<sub>b</sub></sub>
1.	31,415	2,5	+1	+1	+1	4	1	3	2,67	0,98083
2.	25,132	1,7	+1	0	0	3	4	3	3,33	1,20397
3.	31,415	1,0	+1	+1	-1	8	3	2	4,33	1,46634
4.	25,132	1,7	+1	0	0	3	3	2	2,67	0,98083
5.	25,132	1,7	+1	0	0	3	3	2	2,67	0,98083
6.	20,106	2,5	+1	-1	+1	3	2	3	2,67	0,98083
7.	20,106	1,0	+1	-1	-1	7	3	4	4,67	1,54045
8.	25,135	1,7	+1	0	0	8	3	3	4,67	1,54045

odgovarajuće je pripremljen za ozub-  
ljenje.

Alat - Korišteno je odvalno glodalo:  
modul m = 3 mm, vanjski prečnik D =  
80 mm, broj početaka g = 1, grudni u-  
gao δ = 0°, materijal brzorezni čelik,  
proizvođač "Jugolat" Novi Sad.

Mašina - Obrada zupčanika vršena je  
na mašini za odvalno glodanje modela  
5K 324A.

Rashladno sredstvo - Pri izvođenju  
eksperimenta korišteno je sredstvo za  
hlađenje i podmazivanje-rezanol 20 EF  
INA Zagreb.

3. PRIKAZ DOBIVENIH REZULTATA

Uz korištenje navedene matematske ob-

rade podataka eksperimenta došlo se  
do izraza:

za veličinu tetivne debljine zuba  
S = 5,17341 v<sup>0,0019</sup> s<sup>-0,02</sup> [mm], (1)

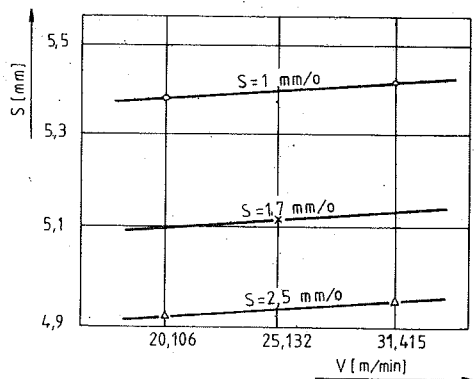
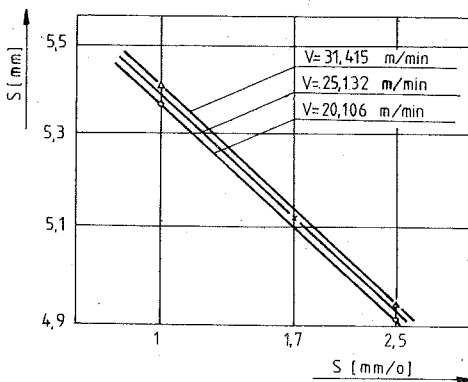
za odstupanje pravca zuba

Ap = 0,856 v<sup>0,651</sup> s<sup>0,43942</sup> [μm], (2)

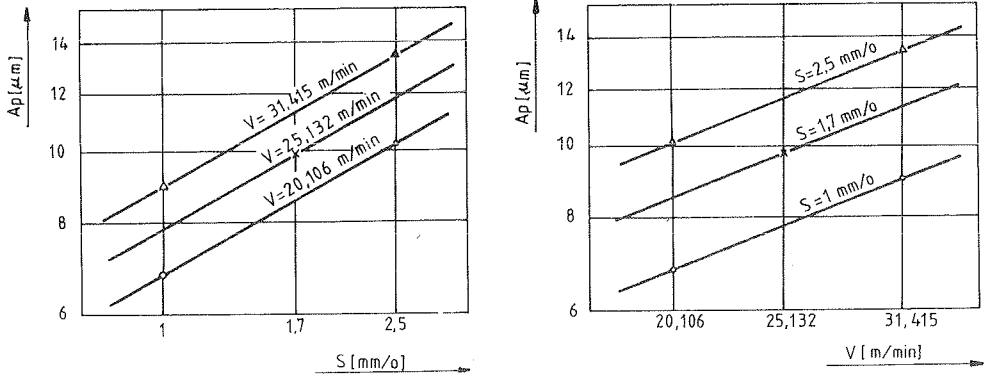
za odstupanje osnovnog koraka

At<sub>b</sub> = 5,69 v<sup>-0,08303</sup> s<sup>-0,57</sup> [μm]. (3)

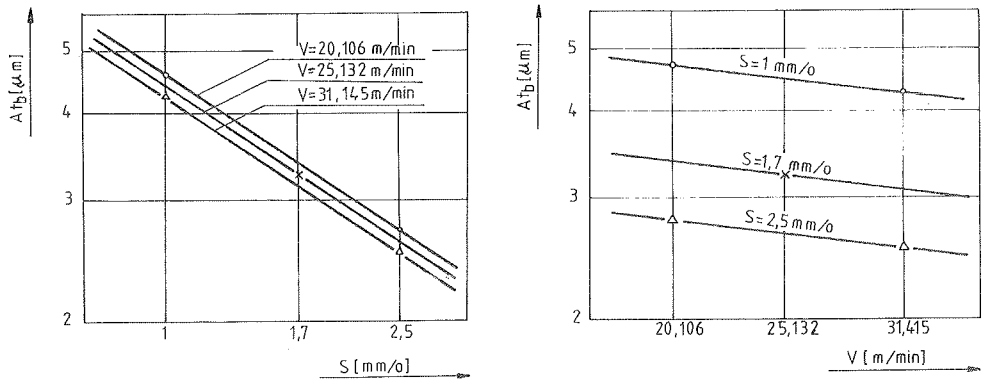
Na osnovu izraza (1), (2) i (3) sači-  
njeni su dijagrami zavisnosti, respe-  
ktivno, debljine zuba, odstupanja p-  
ravca zuba i odstupanja osnovnog ko-  
raka od parametara režima obrade sli-  
kall, slika 2. i slika 3.



Slika 1. Dijagram zavisnosti tetivne debljine zuba zupčanika od: a) pomaka  
b) brzine rezanja



Slika 2. Dijagram zavisnosti odstupanja pravca zuba od: a) pomaka b) brzine rezanja



Slika 3. Dijagram zavisnosti odstupanja osnovnog koraka od: a) pomaka b) brzine rezanja

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu ispitivanja prikazanih u radu moguće je zaključiti da režimi obrade imaju uticaja na pokazatelje tačnosti pri izradi zupčanika odvalnim glodanjem.

Kako koji element režima utiče na pojedine pokazatelje vidljivo je iz izraza i dijagrama dobivenih eksperimentalnim putem.

Promjenom režima obrade moguće je pri obradi uticati na tačnost izrade a dobiveni izrazi mogu poslužiti kao ograničenja pri određivanju optimalnih režima obrade.

#### 5. LITERATURA

[1] Vlado Prusina: Analiza tačnosti

izrade zupčanika odvalnim glodanjem. Magistarski rad. Mostar, 1980.

- [2] Gulida E.N.: Tehnologija odvalnih operacij zuboobradotki cilindričkih koljes. Ljvov, Višaja škola, 1977, 166 str.
- [3] D. Banjac, B. Sovij: Optimizacija režima pri odvalnom glodanju cilindričnih zupčanika. U: Zbornik radova II naučno stručnog skupa MMA '79. N. Sad, Fakultet tehničkih nauka, 1979, str. 13 - 25.
- [4] Stanić J.: Metod inženjerskih mjerenja. MF, Beograd, 1975, 86 str.

Dragiša Randić \*

UTICAJNI PARAMETRI NA HRAPAVOST OBRADJIVANE POVRŠINE  
PRI RAVNOM BRUŠENJU

R e z i m e

Poznato je da hrapavost obradjene površine zavisi od osobina materijala radnog komada koji se obradjuje, od vrste tocila i oštine njegovih reznih zrna, režima brušenja, vibracija u sistemu radni komad - mašina - točilo i drugo. U radu su analizirani uticajni parametri na hrapavost pri ravnom brušenju materijala Č.4750 okaljenog na  $62 \pm 0,5$  HRC sa točilom 2B 54 K8V.

THE PARAMETERS AFFECTING THE ROUGHNESS OF THE WORKING  
SURFACE DURING FLAT GRINDING

S u m m a r y

It is known that the roughness of the working surface depends on the material properties of the working piece, the kind of the grindstone, the sharpness of the cutting grain, the grinding regime, vibrations in the working piece - machine - grindstone system, and so on. In this paper, the parameters affecting the roughness during flat grinding material steel 4750 hardened on  $62 \pm 0,5$  HRC with the grindstone 2B 54 K8V.

1. Uvod

Da bi se obezbedila neophodna eksploataciona osobina brušenih delova, potrebno je postići što manju hrapavost. Hrapavost površine zavisi od osobina materijala radnog predmeta koji se obradjuje, od vrste tocila i oštine njegovih reznih zrna, režima brušenja, vrste brušenja, odnosno načina brušenja, od athezije, vibracija u sistemu radni komad - mašina - točilo i drugo.

Geometrijsku šemu obrazovanja hrapavosti svi istraživači su posmatrali uzimajući u obzir izvesna ograničenja. Tako, naprimer, u radu [1] je pri izvodjenju formule za proračun preseka skinute strugotine uzeto da se abrazivna zrna nalaze na jednakom rastojanju od ose okretanja tocila i slede jedna drugo. Ako se projektuju sva zrna na radnom delu tocila na jednu ravan, obrazovana rezna kontura kopira svoje neravnine

prisutne u zoni kontakta na obradjivanu površinu. Znači, što je manja neravnina rezne konture, manja je i hrapavost.

Profesor A.A.Matalin je razmatrajući obrazovanje hrapavosti uzimao u obzir plastičnu deformaciju, geometrijske faktore i vibracije koje se javljaju. On je dokazao da usled visokih temperatura metal skinut sa strugotinom kao i obradjivana površina se omekšavaju i pokrivaju formirane riseve. Ova pojava nekada može povećati hrapavost, a pri jačem toplotnom delovanju umanjiti.

2. Eksperimentalni podaci

Proučavan je proces ravnog brušenja na čeliku Č.4750 okaljen na  $62 \pm 0,5$  HRC ostvarivan sa kolustastim točilom 2B 54 K8V, znači točilom određene zrnatosti sa hladjenjem pomoću tečnosti za hladjenje i podmazivanje.

\* Mr Dragiša Randić, asistent PTF-a Cačak, Borisa Kidriča bb.

redjenog sastava. Različita vrednost hrapavosti se može dobiti menjanjem režima rezanja, odnosno menjanjem brzine radnog stola, povrečnog koraka i dubine rezanja. Različitim kombinacijama navedenih parametara može se dobiti i različita hrapavost. Uzimanjem u obzir najuticajnijih parametara na hrapavost u procesu brušenja, može se dati zavisnost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila  $R_a$  u obliku:

$$R_a = A \cdot v^a \cdot s^b \cdot t^c$$

gde je:

A - konstanta koja uzima u obzir sve ostale uticaje,

a, b, c - eksponenti koje je neophodno odrediti,

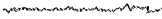

v - brzina radnog stola,

s - povrečni korak,

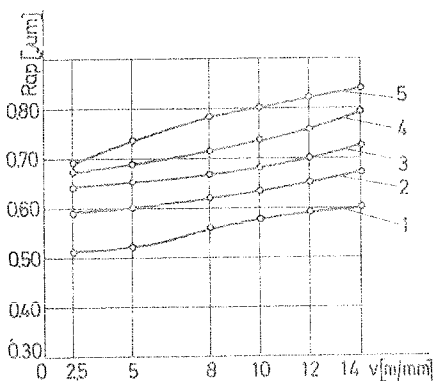
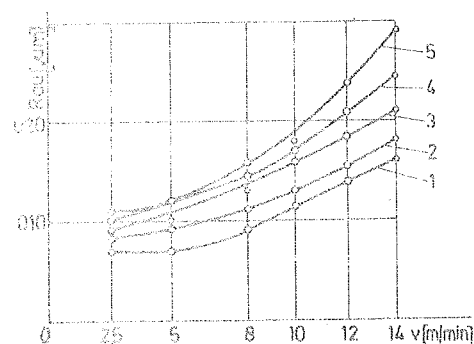
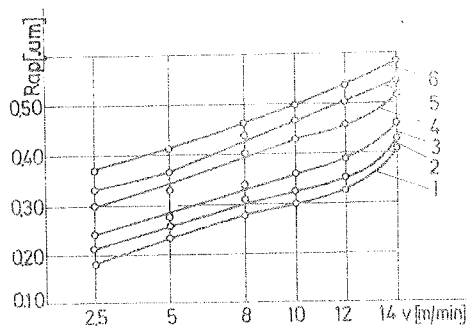
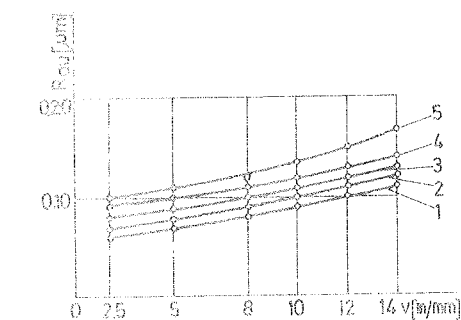
t - dubine rezanja.

Eksperimentalno merenje hrapavosti vršeno je na Perthometru S 5P. Posmatrana je hrapavost u uzdužnom i poprečnom pravcu kretanja alata i rednog komada.

Radi ilustracije, dat je na slici 1 zavis hrapavosti u uzdužnom i poprečnom pravcu pri brušenju čelika Č.4750 za proizvoljno izabrane režime.

	RMAX	0,73 μm
	RZ	0,51 μm
	RA	0,06 μm
	RT	0,73 μm
	RMAX	2,05 μm
	RZ	1,88 μm
	RA	0,34 μm
	RT	2,25 μm

Sl. 1. Zavis hrapavosti u uzdužnom i poprečnom pravcu



Sl. 2. Zavisnost hrapavosti  $R_{au}$  i  $R_{qp}$  od brzine stola v za povrečni korak  $s = 0,5 ; 1,5$  i dubine t, 1 - 0,01 2 - 0,02 3 - 0,04 4 - 0,06 5 - 0,08

Na slikama 2 prikazana je zavisnost hrapavosti  $R_{au}$  u uzdužnom pravcu i  $R_{ao}$  u poprečnom pravcu od brzine  $v$  za poprečni korak  $s = 0,5$  i  $1,5$  mm/h i dubinom  $t$  u mm. Može se zaključiti da sa porastom brzine stola  $v$  raste hrapavost i to dosta naglije u zoni veća brzina.

Ako se ostali parametri ne menjaju sa povećanjem brzine stola, smanjuje se broj susreta zrna točila sa radnim komadom, raste skidanje metala u jedinici vremena, što dovodi do povećanja hrapavosti obradivane površine. Ispolito je to izraženo kod većih brzina stola, reda veličine od 10 m/min pa nadalje.

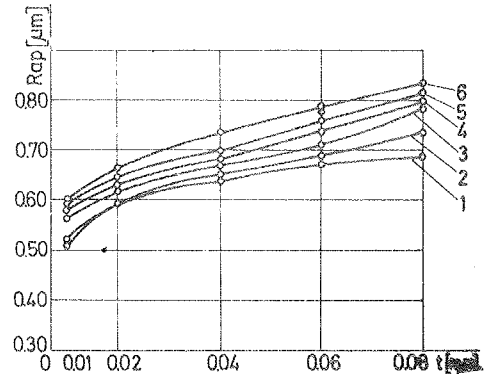
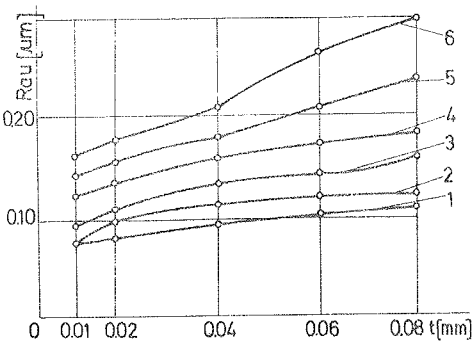
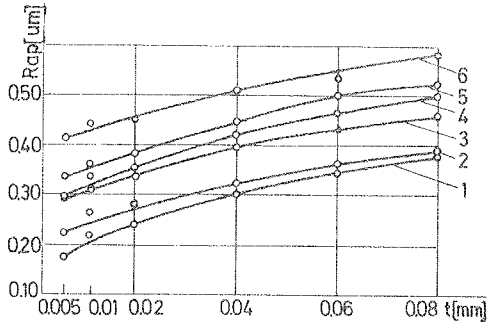
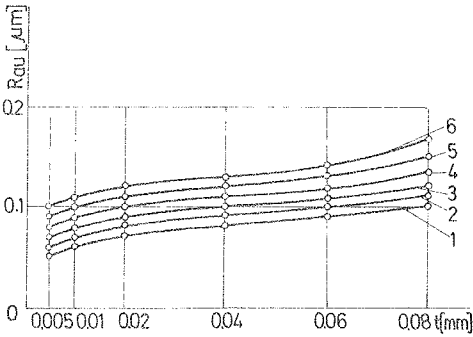
Ako posmatramo zavisnost hrapavosti  $R_{au}$  u uzdužnom pravcu i  $R_{ao}$  u poprečnom pravcu od dubine brušenja, može se zaključiti da sa porastom dubine

pri ostalim nepromenjenim parametrima hrapavosti  $R_{au}$  i  $R_{ao}$  se povećava, prikazano na slikama 3.

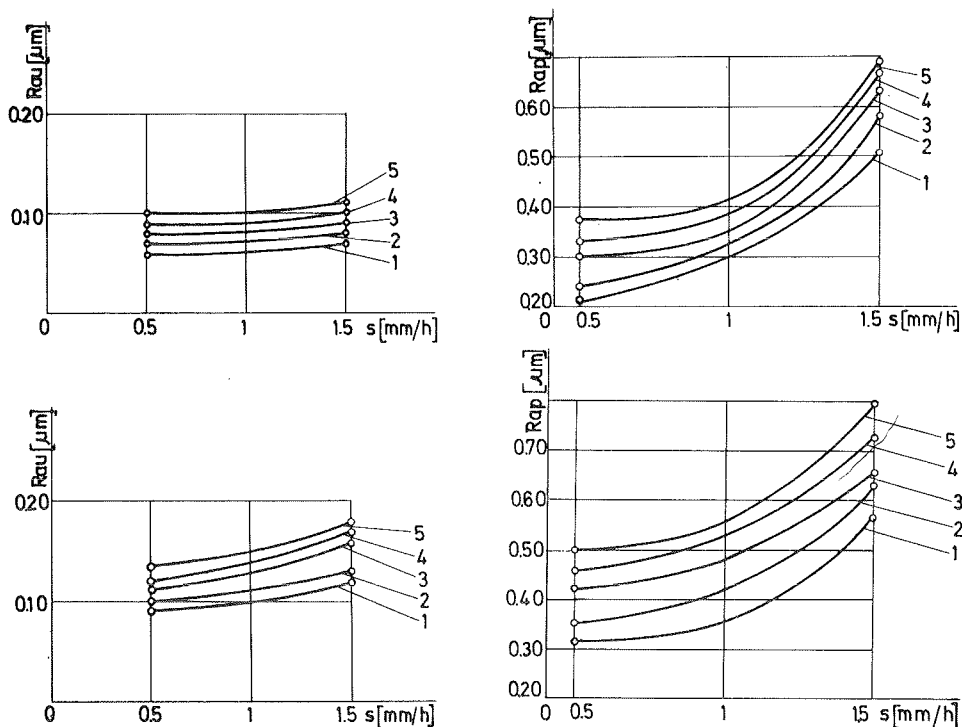
Šnači, sa povećanjem dubine brušenja povećava se specifični rad svakog zrna, a to dovodi do povećanja količine skinutog materijala sa radnog komada. Samim tim raste sila rezanja, javljaju se visoke kontaktne temperature, dolazi do elastičnih deformacija u sistemu, a takodje i do vibracija, što neminovno dovodi do povećanja hrapavosti.

Na slikama 4 prikazana je zavisnost hrapavosti  $R_{ou}$  u uzdužnom pravcu i  $R_{op}$  u poprečnom pravcu, od poprečnog koraka  $s$ , za brzine  $v = 2,5$  m/min i  $v = 10$  m/min pri različitim dubinama  $t$ .

Sa porastom poprečnog koraka pri ostalim nepromenjenim uslovima, dolazi



Sl. 3. Zavisnost hrapavosti  $R_{au}$  i  $R_{ap}$  od dubine brušenja za  $s = 0,5$  ;  $1,5$  i brzine  $v$ , 1-2,5 i 2-5, 3-8, 4-10, 5-12 i 6-14



Sl. 4. Zavisnost hrapavosti Rau i Rap od poprečnog koraka za brzine  $v = 2,5$  i  $10$  m/min pri dubinama  $t$ , 1-0,01 2-0,02 3-0,05 4-0,06 5-0,08

do povećanja hrapavosti. To je naročito izraženo kod većih brzina radnog stola.

Da bi se analitički obradila zavisnost hrapavosti od najuticajnijih parametara, tj.  $R_a = A \cdot v^a \cdot s^b \cdot t^c$  može se koristiti metoda najmanjih kvadrata.

Zbog prevelikog računanja prilikom primene navedene metode, razradjene su druge metode računanja sistema jednačina, kao što je Gausova metoda eliminacije, gde se koristi program za programski jezik Fortran IV. Primenom Gausove metode eliminacije došlo se do vrednosti za hrapavost koje ne odstupaju od eksperimentalnih vrednosti više od 5-8%, što se smatra dobrim.

### 3. ZAKLJUČAK

Dobiveni rezultati merenja hrapavosti u uzdužnom i poprečnom pravcu pokazuju da su najuticajniji parametri režimi rezanja koji izazivaju pojavu različitih temperatura.

Najveći uticaj na hrapavost obradjene površine ima brzina radnog predmeta.

### 4. Literatura

- [1] Peklenik J., Mehanizam brušenja i broj brušenja, Aachen
- [2] Jakimov A.V., 1975., Optimizacija procesa šlifovanja, Moskva, Mašinstroenie
- [3] Koritin A.M., Šaparev N.K., 1974., Optimizacija upravljenja metalorezušćimi stankami, Moskva, Mašinstroenie



J. Grum, P. Leskovar\*

ANALIZA MIKROSTRUKTURE IN OBDELOVALNOSTI JEKEL ZA AVTOMATE

R e z i m e

Prispevek prinaša nekaj značilnih zanimivosti raziskav mikrostrukture jekel za avtomate in njen vpliv na obdelovalnost. Ta jekla vsebujejo karakteristične dodatke kot so žveplo, žveplo-svinec, žveplo-telur ter žveplo-bor z namenom da vplivamo na porazdelitev značilnih vključkov v osnovni strukturni matici. Rezultati raziskav kažejo, da ima vrsta legirnega elementa zaznaven vpliv na velikost in obliko vključkov v jeklih in s tem bistveni vpliv na velikost obrabe na prosti in cepilni ploskvi oziroma na velikost rezalnih sil. Obrabni procesi so zasledovani v odvisnosti od časa rezanja pri različnih hitrostih in podanjanjih in imajo praktično vrednost tako za proizvajalca kot uporabnika jekel.

ANALYSIS OF MICROSTRUCTURE AND MACHINABILITY OF FREE CUTTING STEELS

S u m m a r y

The paper reports on some interesting points found out in the investigations of the microstructure of free cutting steels and its effect on machinability. These steels contain some characteristic additions such as sulphur, sulphur-lead, sulphur-tellurium and sulphur-boron with the purpose to affect the distribution of the characteristic inclusions in the basic structure matrix. The investigation results have shown that the type of the alloying element has a significant influence on the size and form of steel inclusions and hence an important influence on the wear rate on the flank and face and on the cutting forces respectively. Wear processes were followed in dependence upon the cutting time at different cutting speeds and feed rates and the results have proved to be of practical value so for the producer as for the user.

1. Uvod

Avtomatizacija proizvodnje predstavlja vse močnejše zahteve po boljši in ekonomičnejši obdelovalnosti kovinskih materialov. Tem zahtevam uporabnikov sledijo proizvajalci z različnimi ukrepi od legiranja do novih dezoksi-

dacijskih postopkov pri pretaljevanju. V razpravi želimo prikazati nekatere vplive na mikrostrukturo in obdelovalnost:

- a) vpliv žvepla v jeklu č.3990
- b) vpliv žvepla in svinca v jeklu ATJ 100 Pb oziroma ATJ 50 C

\* Janez Grum, dr.mag.,dipl.ing., docent, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana  
Polde Leskovar, dr.mag.,dipl.ing., profesor, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

OZNAKA JEKLA ZA AVTOMATE		KEMIJSKA SESTAVA /ELEMENT/								MEHANSKE LASTNOSTI			
		C	Mn	Si	P	S	Pb	B	Te	$\sigma_M$	$\sigma_{B2}$	$\sigma_B$	HB
		%	%	%	%	%	%	%	%	Nmm <sup>2</sup>	Nmm <sup>2</sup>	%	dNmm <sup>2</sup>
JEKLO Z VISOKIM INDEKSOM OBDELOVALNOSTI	č.3990	0,10	1,05	0,06	0,09	0,30	-	-	-	500	310	9	155
	ATJ 100 Pb	0,12	1,06	0,05	0,084	0,30	0,24	-	-	585	310	9	175
JEKLO ZA CEMENTACIJO	ATJ 50 C	0,15	1,30	0,30	0,018	0,106	0,21	-	-	622	290	17	175
NOVA JEKLA ZA AVTOMATE	č.3990 B	0,10	1,04	0,09	0,082	0,276	-	0,005	-	515	292	26,3	113
	ATJ 100 X	0,09	1,04	0,09	0,082	0,268	-	-	0,017	482	294	27,5	123

Tabela 1 Kemijska sestava in mehanske lastnosti analiziranih jekel za avtomate

- c) vpliv žvepla in bora v jeklu č.3990 B in  
d) vpliv žvepla in telura v jeklu ATJ 100 X

V tabeli 1 so zbrane kemične sestave in mehanske lastnosti za imenovana jekla. Jekli z visokim indeksom obdelovalnosti imajo odstopanje v sestavi na drugem ali tretjem decimalnem mestu, te jeklo ATJ 100 Pb vsebuje še 0,24 % Pb, dočim jeklo č.3990 svinca nima. Jeklo ATJ 50 C se po sestavi močneje razlikuje in sicer ima večjo vsebnost ogljika, mangana in silicija ter manjšo vsebnost fosfora. Večja vsebnost ogljika in mangana povečujeta trdnost in trdoto ter s tem slabšata obdelovalnost. Bistveno se pa zmanjša obdelovalnost zaradi manjše količine žvepla, vsebuje pa skoraj enako količino svinca kakor jeklo ATJ 100 Pb.

Obdelovalnost je zelo pomembna tehnološka lastnost, ki je definirana z obratovalno dobo orodja, velikostjo rezalnih sil, obliko odrezkov in doseženo površino obdelovanca /1 - 4/.

## 2. Strukturna analiza jekel za avtomate

### 2.1. Vplivi legirnih elementov na lastnosti jekel za avtomate

Najpomembnejši legirni elementi, ki vplivajo na obliko in velikost značilnih vključkov in s tem na obdelovalnost so: žveplo, svinec, silicij, fosfor ter telur in bor. Ostali legirni elementi kot sta npr. ogljik in mangan navadno izključujemo, ker pogojujeta trdnostna zahtevna jekla, pa čeprav s tem poslabšata obdelovalnost.

Vpliv žvepla: Topnost žvepla v alfa železu je pri temperaturi okolice zelo majhna, zato se praktično lahko zanemari. Za razliko od drugih dodatkov (Mn, Si, P) tvori žveplo že pri majhni vsebnosti železov sulfid, to je nekovinske vključke, ki jih lahko opazujemo na poliranem vzorcu. Večina jekel vsebuje do 0,06 % žvepla, dočim je v jeklih za avtomate žvepla med 0,1 - 0,3 %. To je tista količina, ki povzroča glede na pogoje rezanja pri določenih rezalnih pogojih zadovoljivo krhkost jekla v strižni coni. Posledica povečane krhkosti so kratki lomljivi odrezki. Obenem pa žveplo oziroma manganov sulfid zmanjša tudi koeficient trenja med odrezkom in rezalnim orodjem. To vpliva seveda na velikost rezalnih sil oziroma dinamiko rezanja in s tem na porazdelitev temperaturnega polja na orodju in s tem neposredno na obrabo orodja.

Vpliv svinca: Svinec, kot legirni element vpliva v jeklih za avtomate zelo malo na poslabšanje mehanskih lastnosti, močno paboljša obdelovalnost. Svinec se v železu oziroma jeklu ne topi - kar pomeni, da tvori izolirane vključke v osnovni matici. Vsebina svinca, ki ga prepihujemo z zrakom v talino jekla med procesom litja znaša 0,1 - 0,35 %.

Vpliv ogljika: Ogljik je legirni element, ki jeklu poveča trdoto ter natezno in strižno trdnost. Zato vpliva povečana vsebnost ogljika v jeklu neugodno na obdelovalnost. V jeklih s povečano vsebnostjo ogljika lahko posboljšamo obdelovalnost z žarjenjem, pri katerem pride do izločanja cementita v krogličasti obliki.

Vpliv mangana: Mangan dodajamo z namenom, da povečamo trdnostne lastnosti in dosežemo značilno mikrostrukturo manganovega sulfida, ki poboljša obdelovalnost. Poleg tega pa tvori mangan številne nekovinske vključke  $MnO$ ,  $MnS$ ,  $MnO.SiO_2$ , ki imajo usmerjeno trakasto strukturo. Mangana je v naših jeklih od 0,6 do 1,6 %. V jeklih z visokim indeksom obdelovalnosti je najprimernejša vsebnost mangana med 0,8 do 1,0 % /5/.

Vpliv silicija: Pri izdelavi jekel v pečeh s kislo oblogo prehaja silicij v talino. Poleg tega pa se dodaja silicij umetno v obliki ferosilicija z namenom, da dezoksidira talino. Silicij se v jeklu nahaja v obliki trdne raztopine siliko-ferita, drugi del pa tvori karbide. Zato je težko določiti vsebnost silicija iz mikrostrukture. Silicij v jeklih vpliva še na pospešeno tvorbo in obliko sulfidnih vključkov. Pri večjih količinah silicija se razvija močno trakasta struktura sulfidnih vključkov z zelo neugodnim vplivom na obdelovalnost. Iz tega sledi, da je v jeklih za avtomate zaželena čim manjša vsebnost silicija. To pa lahko dosežemo z izbiro drugih primernejših dezoksidacijskih sredstev, npr. Al ali Ti /3, 4, 5/.

Vpliv fosfora: Jekla za avtomate vsebujejo do 0,15 % fosfora. Fosfor poveča krhkost jekla v hladnem stanju. Zaradi tega nastane pri odrezovanju takega jekla zelo kvalitetna površina. Poveča pa se tudi obratovalna doba orodja. Ako jeklo vsebuje od 0,15 do 0,28 % fosfora vpliva le-ta zelo ugodno na obrabne procese.

## 2.2. Analiza mikrostrukture

V opisanih jeklih se giblje vsebnost ogljika med 0,09 % do 0,15 % in mangana od 1,04 % do 1,31 %. Oba elementa vplivata na trdnost in trdoto, toda premajhne količine imajo komaj zaznaven vpliv. Struktura oziroma osnovna matica je sestavljena iz dveh faz in sicer feritne, ki predstavlja pretežni del in perlitne v bistveno manjšem delu. Poleg tega pa dobimo zaradi dodatkov žvepla in svinca tudi

vključke manganovega sulfida in vključke čistega svinca. V našem prispevku smo se omejili na vplive nekovinskih vključkov; to je manganovega sulfida, ki lahko vpliva v veliki meri na obdelovalnost. Na velikost in obliko manganovega sulfida pa lahko vplivamo s silicijem, borom in telurjem.

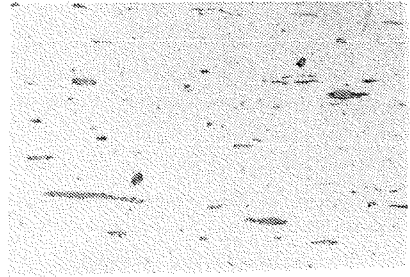
Ako pogledamo posnetke mikrostruktur v aksialni smeri vzorca (slika 1), lahko ugotovimo rahlo trakasta in poligonalna kristalna zrna ferita in perlita. Te preobrazbe nastanejo po ohlajanju s temperature valjanja, saj opazimo v trakasti strukturi zvezne in polzvezne sloje perlita, ki so ločeni s feritom. Vzroke za takšno razporeditev perlitno-feritnih kristalnih zrn lahko iščemo v plastičnosti ferita in v transformaciji avstenita v perlit potem, ko smo plastično deformacijo že prekinili. To pomeni, da je temperatura začetka in zaključka valjanja ter stopnje redukcije zelo pomemben podatek pri študiju danih mikrostruktur. Vključki manganovega sulfida so vidni v slojih ferita, kar potrjuje primarno kristalizacijo v obliki globoidov. Izreden pomen na obliko vključkov manganovega sulfida po kristalizaciji ima površinska napetost med fazami v trenutku nastajanja. Vključki manganovega sulfida pa pred tavljajo obenem tudi sekundarne centre za kristalizacijo ferita. Prav tako pa ima površinska napetost znaten vpliv na obliko vključkov tudi med plastično deformacijo. Zaželen je takšen odnos, ki ne vpliva na plastično deformacijo manganovega sulfida, ampak le na osnovno feritno-perlitno strukturo. Slika 2 prikazuje prav tako v aksialni smeri, to je v smeri valjanja ali vlečenja, vključke manganovega sulfida. Porazdelitev in gostoto vključkov najlepše opazimo v poliranim stanju.

## 2.3. Analiza vključkov manganovega sulfida v jeklih za avtomate

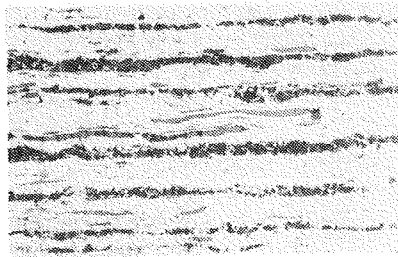
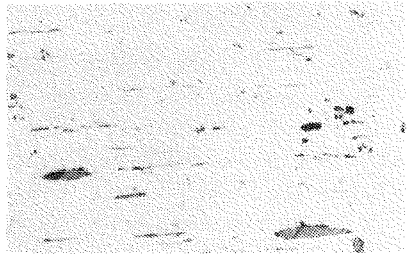
Kakor smo že ugotovili je zelo pomemben podatek za obdelovalnost jekel za avtomate velikost, oblika in gostota nekovinskih vključkov. Najugodnejša je globoidna oblika sulfid-



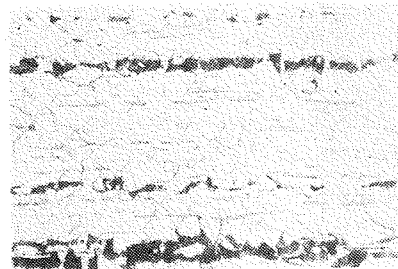
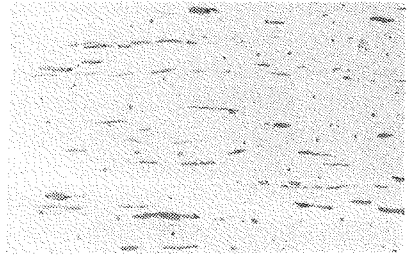
č. 3990



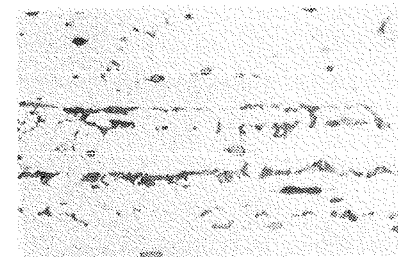
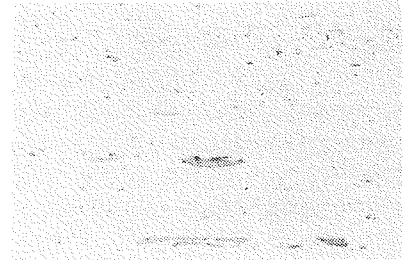
ATJ 100Pb



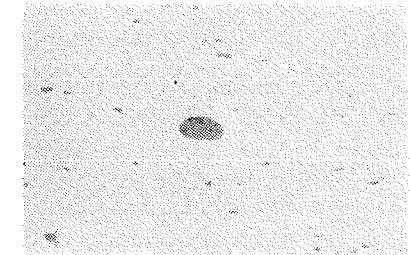
ATJ 50 C



č. 3990 B



ATJ 100X



Sl.1: Porazdelitev perlitno feritne strukture v jeklih za avtomate, povečava 100 x

Sl.2: Porazdelitev vključkov MnS v jeklih za avtomate, povečava 100 x

nih in oksid-sulfidnih vključkov. Danes pogostokrat kontroliramo obdelovalnost pri jeklih za avtomate z razmerjem med dolžino in debelino vključkov manganovega sulfida. Po znanih podatkih iz literature /1, 4, 5/ lahko ugotovimo, da se poslabša obdelovalnost od 185 na 120, če se spremeni karakteristično razmerje med dolžino in debelino vključka od 2 na 13.

Na sliki 3 so prikazane odvisnosti med pogostnostjo in razmerjem dolžine proti debelini vključka značilnih manganovih sulfidnih vključkov. Rezultati kažejo, da je omenjeno razmerje pri jeklih ATJ 100 Pb in ATJ 50 C zelo veliko in spada po obdelovalnosti v neugodno področje. Drugače pa je z jeklom č.3990, ki je legirano le z žveplom. V tem primeru so razmerja znatno ugodnejša. Kljub temu pa poboljšane obdelovalnosti ne dosežemo, kajti jekla ATJ 100 Pb in ATJ 50 C vsebujeta razen žvepla še svinec. S podrobnejšo analizo vseh treh jekel zasledimo, da ima samo jeklo č.3990 več kakor 50 % zelo ugodno oblikovanih vključkov, dočim se ta vrednost pri jeklih ATJ 100 Pb in ATJ 50 C zniža na 30 do 40 %.

Ostala dva jekla, ki sta dodatno legirana z borom oziroma telurjem imata zelo različni karakteristiki. Jeklo č.3990 B, to je jeklo, ki je dodatno legirano z borom ima samo 30 % ugodno oblikovanih vključkov, dočim pa ima jeklo ATJ 100 X, to je jeklo, ki je dodatno legirano s telurjem celo preko 90 % ugodno oblikovanih vključkov manganovega sulfida.

Iz povedanega bi lahko zaključili, da bi lahko iz poznane sestave ter oblike vključkov predvidevali, da bo imelo jeklo ATJ 100 X, ki je dodatno legirano s telurjem izredno obdelovalnost v primerjavi z ostalimi jekli.

Za izvedbo preskusov smo izbrali orodje, ki ga zasledimo najpogosteje v naših proizvodnih obratih; to je karbidna trdina domačega proizvajalca SINTAL-a iz Zagreba z oznako SPUN-SV08 in kvalitete P10. Geometrijo orodja pa smo odločili na osnovi predhodnih raziskav

opravljenih v laboratorijih LAKOS in LATEM na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani /6 - 9/.

GEOMETRIJA ORODJA

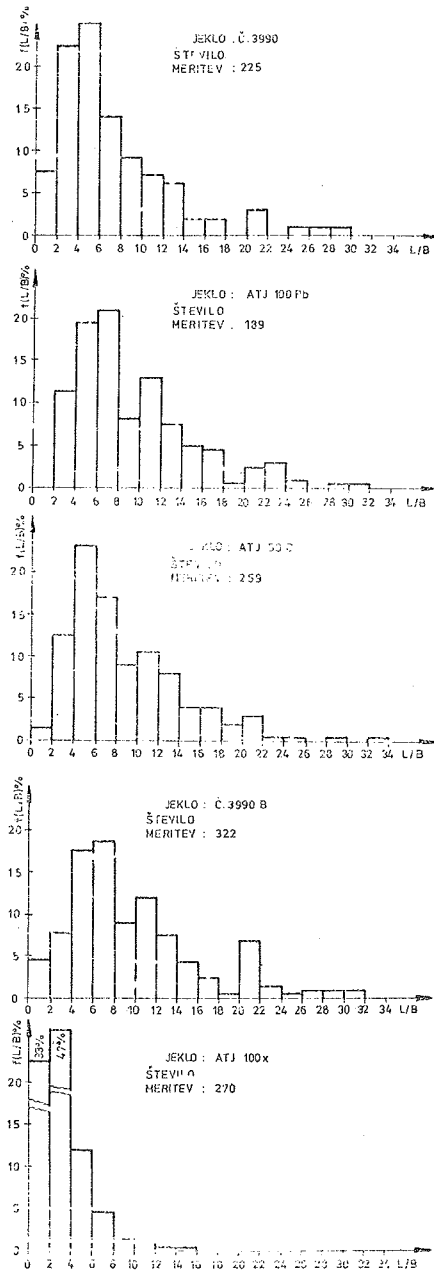
$\alpha$	$\gamma$	$\lambda$	$\kappa$	$\varepsilon$	$r$
$5^{\circ}$	$6^{\circ}$	$0^{\circ}$	$75^{\circ}$	$90^{\circ}$	0,8 mm

### 3. Analiza obdelovalnosti jekel

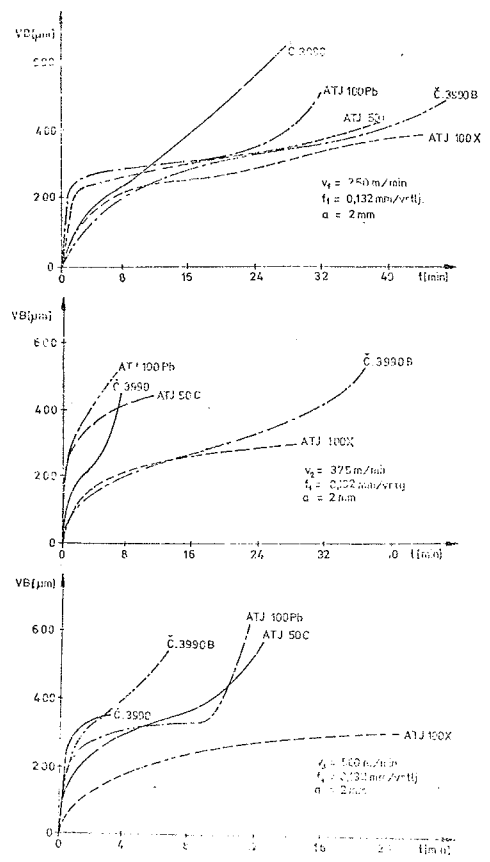
#### 3.1. Analiza obrabe na prosti ploskvi

Slika 4 kaže časovno naraščanje obrabe na prosti ploskvi VB (t). To pogostokrat predstavlja osnovni kriterij obratovalne dobe orodja oziroma kriterij zamenjave orodja. Obratovalna doba orodja je odvisna od obdelovalnih pogojev, vrste in količine legiranih elementov (značilnih dodatkov), porazdelitev in velikosti vključkov. V našem primeru lahko primerjamo med dvema paroma jekel; č.3990 in č.3990 B oziroma ATJ 100 Pb in ATJ 100X. Obratovalna doba rezalnega robu je pri obdelavi jekla č.3990 pri  $v_1$  in  $f_1$  najkrajša, obrabna karakteristika pa skoraj linearna brez značilnega stacionarnega dela krivulje obrabe. Isto jeklo, ki je dodatno legirano z borom č.3990 B ima pri istih obdelovalnih pogojih znatno ugodnejši potek obrabe z izrazitim potekom krivulje obrabe. Podobno ugotovitev bi lahko zapisali tudi pri primerjavi med drugim parom jekel ATJ 100 Pb in ATJ 100 X, ki je dodatno legirano s telurjem. Jeklo ATJ 50 C razmejuje obe skupini jekel in sicer č.3990 in ATJ 100 Pb imata bolj intenzivno obrabo, dočim pa č.3990 B in ATJ100X pa manj intenzivno obrabo.

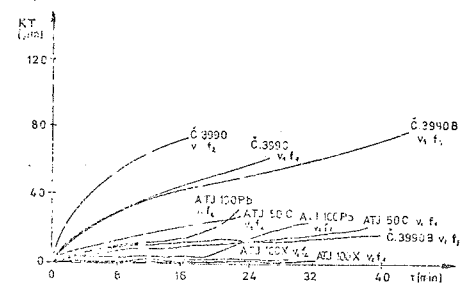
Pri rezalni hitrosti  $V_2$  in podajanju  $f_1$  imata le jekli, ki sta dodatno legirani z borom (č.3990 B) in s telurjem (ATJ 100 X) še zadovoljivo in za prakso sprejemljivo obratovalno dobo. Ta pa se pri največji rezalni hitrosti  $v_3$  in podajanju  $f_1$  bistveno skrajša, posebno pri jeklu č.3990 B. Pri jeklu ATJ 100 X pa ostane krivulja obrabe še vedno zelo ugodna - saj smo po 22 minutah rezanja ostali še vedno v stacionarnem delu krivulje (v II. fazi). To pa pomeni, da je maksimalna



Slika 3: Karakteristično razmerje dolžina/debelina (L/B) vključkov MnS v jeklih za avtomate



Slika 4: časovni potek obrabe orodja pri različnih obdelovalnih pogojih jekel za avtomate



Slika 5: Potek časovnega naraščanja kotanje na cepilni ploskvi KT (t) pri obdelavi jekel za avtomate pri  $v_1$  in  $f_1, f_2$

še primerna rezalna hitrost med 350 do 400 m/min z ozirom na podajanje  $f_1$  in dano globino rezanja  $a$ . Po obratovalni dobi lahko razvrstimo jekla pri rezalni hitrosti  $v_3$  in podajanju  $f_1$  v tri skupine in sicer:

- I. skupino predstavljata jekli č.3990 in č.3990 B,  $T = 3 \dots 6$  min
- II. skupino predstavljata jekli ATJ 100 Pb in ATJ 50 C,  $T = 10 \dots 12$  min
- III. skupino predstavlja jeklo ATJ 100 X,  $T = 20$  min

Obratovalna doba orodja je pri obdelavi jekel II. skupine 2 - 3-krat večja, pri obdelavi jekla III. skupine pa 4-6 krat večja v primerjavi z jekli I. skupine.

Raziskave nismo zaključili zaradi pomanjkanja materiala oziroma zaradi izredno dobre obdelovalnosti jekla, ki nas je presenetila in je močno nad pričakovanji.

### 3.2. Analiza obrabe na cepilni ploskvi

Obrabo na cepilni ploskvi ocenjujemo z značilnimi veličinami: KT - globino kotanje, KM - oddaljenostjo največje globine kotanje od rezalnega robu, KB - širino kotanje in  $f$  - širina nosilnega dela rezalnega robu (oddaljenost od rezalnega roba do začetka tvorbe kotanje).

V naših raziskavah se bomo omejili le na globino kotanje, saj ima le-ta največji vpliv na trdnost rezalnega roba. Slika 5 kaže odvisnost časovnega naraščanja globine KT ( $t$ ) za vsa analizirana jekla pri najmanjši rezalni hitrosti  $v_1$  in obeh podajanjih  $f_1$  in  $f_2$ .

Iz slike lahko povzamemo, da je pri obdelavi jekla ATJ 100 X komaj opazna tvorba kotanje velikostnega razreda nekaj um in praktično neodvisna od podajanja. Pri vseh ostalih jeklih je vpliv podajanja znatno večji. Z ozirom na naraščanje globine kotanje lahko razvrstimo jekla po vrsti:

I. skupino predstavlja jeklo č.3990 ( $v_1, f_2$ )

- II. skupino predstavlja jeklo č.3990 ( $v_1, f_1$ ), č.3990 B ( $v_1, f_2$ )
- III. skupino predstavlja jeklo ATJ 100Pb ( $v_1, f_2$ ), ATJ 50 C ( $v_1, f_2$ )
- IV. skupino predstavlja jeklo ATJ 100Pb ( $v_1, f_1$ ), ATJ 50C ( $v_1, f_1$ ), č.3990B ( $v_1, f_1$ )
- V. skupino predstavlja ATJ 100 X ( $v_1, f_1$  in  $v_1, f_2$ )

### 4. Sklepi

Iz analize rezultatov raziskav lahko povzamemo naslednje:

- Na obdelovalnost vpliva v veliki meri kemijska sestava jekel in mikrostruktura. Izrazit vpliv imata legirna elementa žveplo in svinec. Žveplo tvori z manganom kemijsko spojino, to je manganov sulfid, ki zmanjšuje koeficient trenja, sam Mn pa poveča trdnost jekla. Svinec pa tvori netopne vključke v jeklu in zmanjšuje trdnost v strižni coni. Oba elementa pa zmanjšujeta kontaktno trenje in ustvarjata nižja temperaturna polja na rezalnem robu. Posledica tega je počasnejše naraščanje kotanje na cepilni ploskvi orodja in s tem daljša obratovalna doba orodja.
- Obraba je najmanjša pri obdelavi jekla ATJ 100 X, temu sledi jeklo č.3990 B (z izjemo pri večjih hitrostih rezanja od 375 m/min), nato pa ATJ 50 C, ATJ 100 Pb in č.3990.
- Rezalne sile so najmanjše pri obdelavi jekla ATJ 100 Pb, nato sledita č.3990 B in ATJ 100 X ter nazadnje č.3990 in ATJ 50 C.
- Hrapavost površine v splošnem z naraščajočo obrabo narašča in je najmanjša pri jeklu ATJ 100 Pb.
- Razmerje med dolžino in širino vključka manganovega sulfida (L/B) je zelo pomemben činitelj. Velika razmerja zmanjšujejo obdelovalnost. S telurjem in borom kot dodatkom vplivamo na razmerje velikosti oziroma oblike vključkov manganovega sulfida pri primarni kristalizaciji oziroma vplivamo na po-

vršinsko napetost med vključki in osnovno matico pri plastični deformaciji jekla.

#### 5. Literatura

- /1/ Trent E.M.: Metal Cutting, Butterworths, London, 1977, 154 - 165.
- /2/ Higgins R.A.: Engineering metallurgy, 1. Applied physical metallurgy, Hodder and Stoughton, London, 1979, 394-399.
- /3/ Landolt, Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Technik, 2. Teil, Stoffwerte und Verhalten von Metallischen Werkstoffen, Springer Verlag, Berlin, 1963, 354 - 370.
- /4/ Paliwoda E.J.: The machinability of type a leaded steels, Transaction of the American Society for Metals, 1958, 258 - 270.
- /5/ Boulger F., Moorhead H.A., Gervery T.M.: Superior machinability of MX explained, The Iron Age, 1951, 90-95.
- /6/ Leskovar P.: Investigations of the cutting edge on cemented carbide tools, Annals of the CIRP, vol. 25, 1976, 111-113.
- /7/ Leskovar P., Grum J.: Proces obrabe na rezalnih ploščicah iz karbidnih trdin, Strojniški vestnik, vol.25, no. 3-4, 1979, 45 - 52.
- /8/ Leskovar P., Grum J., Ferlan D.: Vpliv žvepla in svınca na proces obrabe pri jeklih za avtomate, Strojniški vestnik, vol. 27, no. 1-3, 1981, 1 - 4.
- /9/ Leskovar P., Grum J.: Značilnosti obrabe na rezalnem robu orodja iz karbidnih trdin pri rezanju jekel za avtomate, VI. mednarodna konferenca o proizv.strojništvi, Novi Sad 1981, 181 - 190.



R.Vukasojević\*  
D.Brough

## STRUGOTINA U PROCESU BRUŠENJA

### R e z i m e

Analizira se proces brušenja preko parametara strugotine. Definišu se parametri strugotine i daje način njihovog odredjivanja. Na brusilici bez šiljaka eksperimentalnim putem su dobijeni parametri koji ulaze u izraze a ne daje ih standardan opis tocila i obradka, i preko razvijenog programa dobijaju se definisani parametri strugotine za različite uslove obrade. Kratak komentar dobijenih rezultata se daje "zaključcima.

## CHIP THICKNESS IN GRINDING

### S u m m a r y

This paper discusses the significance of chip thickness in grinding. The underformed chip thickness, complex function of the kinematical grinding conditions and the wheel surface geometry, is analysed by some parameters. The principle concept is based on the mathematical formulae included two parameters of the wheel surface measured by the developed experimental method.

To check the validity of the theory some experimental results was carried out.

### 1. Uvod

Poznato je, brušenje je komplikovan proces prvenstveno zbog alata-tocila koji sadrži zrna na površini različite geometrije. Zrna zavise od položaja na površini tocila i kinematike procesa mogu a i nemoraju biti u kontaktu sa obradkom.

Zrna koja su u kontaktu nazivaju se aktivna a koja nijesu pasivna zrna. Zrna koja su u kontaktu sa obradkom odnose dio materijala čiji geometrijski oblik zavisi od geometrije i veličine prodiranja zrna.

U radu se definišu parametri č

Mr. Radomir Vukasojević, dipl.ing, predavač, Mašinski fakultet Titograd  
Dr. D.Brough, dipl.ing., profesor, Liverpool Polytechnic Department of  
Mechanical Marine and Production Engineering, Liverpool - Engleska

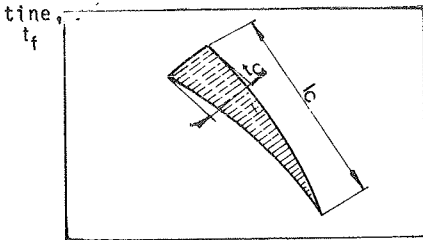
stica odvojenog materijala (strugotine) u procesu brušenja, način njihovog odredjivanja i za različite uslove obrade predloženi način je provjeren. Dobijeni su rezultati koji se mogu vrlo dobro iskoristiti za objašnjenje određenih pojava koje se javljaju u procesu brušenja.

2. Definisavanje parametara strugotine

Oblik strugotine formiraju dva uzastopna aktivna zrna tocila koja se kreću odredjenom brzinom kroz obradak definisan geometrijom i brzinom obrtanja. U poredjenju sa struganjem i glodanjem, strugotina pri brušenju je funkcija pored kinematčkih i geometrijskih parametara tocila i obradka i mikrogeometrije tocila.

Geometrijski oblik strugotine formirane u toku procesa (sl.1.), u ovom radu se definiše preko parametara:

- i) debljine strugotine  $l_c$ ,
- ii) dužine strugotine  $l$  i
- iii) vrijeme formiranja strugotine  $t_f$

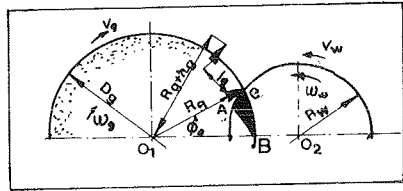


Sl. 1.

3. Način odredjivanja parametara strugotine

Geometrijska šema tocilo-obradak u kontaktu za proces brušenja bez šiljaka prikazana je na sl. 2.

Tocilo i obradak, pretpostavljeno je da, su beskonačno kruti, a tačke  $O_1$  i  $O_2$  su njihovi centri rotacije. Tipično aktivno zrno dolazi



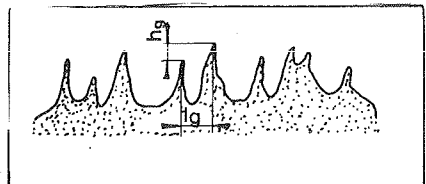
Sl. 2.

u prvi kontakt sa obradkom u tački C i izlazi iz kontakta u tački B. U trenutku prvog kontakta, ovog zrna, drugo zrno se nalazi na rastojanju  $l_g$  od prvog aktivnog zrna i udaljeno je od centra tocila za  $Rg+h_g$  ( $l_g$ -rastojanje između susjednih aktivnih zrna). Rotiranjem tocila za ugao  $w_g l_g$  i obradka za ugao  $w_w l_g$  položaj pojedinih tačaka na tocilu se mijenja. Tačka C prelazi u tačku A a u C dolazi u kontakt drugo aktivno zrno koje formira strugotinu oblika ACB.

Putanje prvog, drugog i svih preostalih zrna su definisane jednačinama 1:

$$\begin{aligned}
 x &= R_g \cos(\varphi_0 - (w_g + w_w) t) - (R_g + R_w) \cos W_w t \\
 y &= R_g \sin w_w t + R_g \sin(\varphi_0 - (w_g + w_w) t)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Debljina strugotine se izračunava nakon izračunavanja kordinata tačaka A i C (koriste se jednačine 1) kao rastojanje između tih tačaka.  $l_g$  i  $h_g$  su parametri mikrogeometrijskih tocila (sl.3.).



Sl. 3.

Razvijena je metoda koja obuhvata: uzimanje otiska sa površine tocila očitavanje dobijenog otiska na instrumentu za mjerenje hrpa pavosti (Talusrif model 5) i dobijanje profila radne površine tocila i koristeći jednačine 1 određivanje aktivnih zrna /2/.

Metoda omogućava dobijanje velikog broja parametara  $l_g$  i  $h_g$ . Osrednjavanjem svih dobijenih vrijednosti, za određene uslove obrade, se dobijaju njihove srednje vrijednosti ( $l_{gs}$  - srednje rastojanje izmedju aktivnih zrna i  $h_{gs}$  - srednje visinsko rastojanje).

Dužina  $l_c$  i vrijeme formiranja strugotine se izračunavaju:

$$l_c = \frac{v_g + v_w}{v_g} \sqrt{\frac{d D_g D_w}{D_g + D_w}} \quad (2)$$

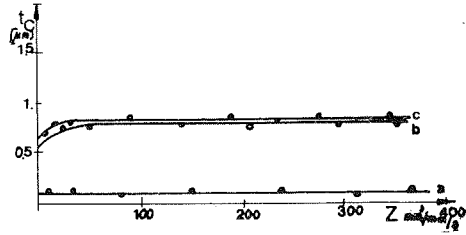
$$t_f = \frac{l}{w_g R_g} \sqrt{\frac{d D_g D_w}{D_w + D_g}}$$

Postupak dobijanja parametara strugotine je kompjuterizovan tako da za ulazne kinematičke ( $v_g$ ,  $v_w$  i  $v_i$ ) geometriske ( $D_g$  i  $D_w$ ) i parametre mikrogeometrije tocila ( $l_g$  i  $h_g$ ) na štampaču se dobijaju vrijednosti parametara strugotine ( $t_c$ ,  $l_c$  i  $t_f$ ).

4. Rezultati ispitivanja

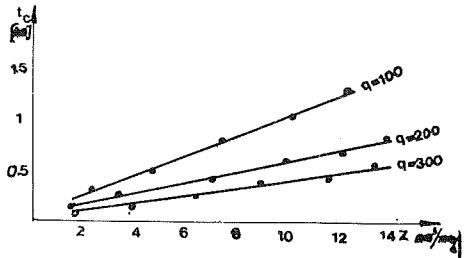
Ispitivan je uticaj režima brušenja na parametre strugotine i njihova promjena sa vremenom brušenja. Eksperimenti su izvedeni na brusilici bez šiljaka tip Wickman-Skrivener model 2K koja je doprojektovana u cilju prilagodjavanja visokoučinskom brušenju.

Na sl. 4. je data zavisnost promjene debljine strugotine  $t_c$  sa vremenom brušenja za neke režime brušenja pri brušenju čelika čl 730 točilom RA60K5V70 pripremljenim prije obrade režimima popravljjanja; korakom  $s_d=0,23\text{mm/o}$  i dubinom  $a_d=0,02\text{mm}$ .

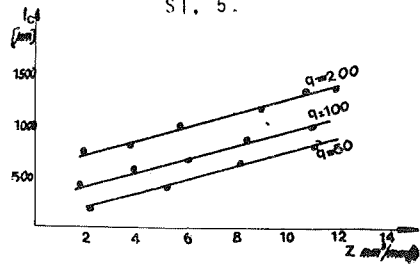


Sl. 4.

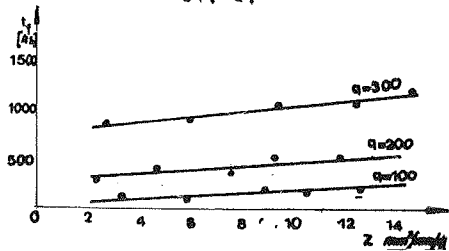
Na sl. 5 je dana promjena debljine strugotine  $a$  na sl. 6 i sl. 7 dužine  $l_c$  i vremena formiranja strugotine  $t_f$  u zavisnosti, od specifičnog učinka brušenja  $Z$  pri brušenju čelika čl730 točilom RA60K5V70h za različite vrijednosti odnosa brzine tocila i obradka ( $qv_g/v_w$ ).



Sl. 5.



Sl. 6.



Sl. 7.

## 5. Analiza rezultata

Različite  $t_c$ ,  $l_c$  i  $t_f$  i različit karakter promjene za različite režime je dobijen.

Linearan porast  $t_c$ ,  $l_c$  i  $t_f$  sa porastom specifičnom učinka brušenja nastaje jer porast specifičnog učinka je posledica porasta brzine primicanja  $v_i$ . Parametri; rastojanje između aktivnih zrna i njihova visinska razlika rastu sa brzinom primicanja i takav karakter promjene mora da prati i promjena parametara strugotine. Promjena debljine strugotine za različite režime sa vremenom brušenja zavisi od pojava koje se dešavaju u procesu. Kriva a (sl.4. odgovara normalnom režimu pri kojem je prisutno habanje zrna tako da je posmatrano vrijeme brušenja bilo kratko da bi se primijetile neke promjene. Debljina strugotine je konstantna sa vremenom brušenja u ovom slučaju. Za slučajeve b i c (sl.4.) još na početku procesa prisutna promjena radne površine tocila. Veliki broj zrna se krza, lomi ili ispada iz tocila što ima odraza i na debljinu strugotine.

Uticaj odnosa  $q$  je različit. Pri porastu  $q$  rastu vrijednost  $l_c$  i  $t_f$  a smanjuje se vrijednost  $t_c$ . Ako je porast  $q$  rezultat porasta  $v_g$  onda, veći broj aktivnih zrna dolazi u kontakt u jedinici vremena što prouzrokuje skidanje manjeg sloja materijala sa obradka.

## 4 Zaključak

Parametri strugotine odredjeni na pokazani način su se pokazali kao vrlo dobri pokazatelji ponašanja procesa brušenja. Mogućnost paralelnog posmatranja: parametara procesa (otpora rezanja) i parametara kvaliteta procesa (hrapavost obradka) i promjena na radnoj površini tocila

u toku ispitivanja sa parametrima strugotine omogućava razotkrivanje procesa brušenja do detalja.

## 5. Literatura

- 1 R.Vukasojević Mikrogeometrija površine tocila i njeni efekti na rezultate brušenja.  
XVII Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Banja Luka 1979.
- 2 R.Vukasojević D.Brough, New Parameters for Specifying the cutting Quality of Grinding Wheels Third Symposium Polytechnics. Wolverhepton 1982.
- 3 D.Brough W.B, Rowe  
Aching and monitoring high - rate centreless grinding 1 st. joint Polytechnics Symposium Lester 1979.

Dragan Domazet, Miroslav Trajanović\*

PRILOG ANALIZI KRUTOSTI VODJICA ALATNIH  
MAŠINA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

R e z i m e

U radu je opisan iterativni postupak određivanja krutosti vodjica alatnih mašina metodom konačnih elemenata. Posebno je analiziran efekat uzimanja u obzir stanja površina u dodiru (materijal, hrapavost, način obrade, valovitost) na krutost vodjica. Postupak analize je prikazan na primeru klizne vodjice jedne alatne mašine.

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF MACHINE TOOL  
GUIDES BY THE FINITE ELEMENTS METHOD

S u m m a r y

This paper gives the iterative procedure of machine tool guides stiffness, by the finite elements method. It particularly analyze the effect of taking into account the contacting surface compliance (material, roughness, machining, flatness, etc.) on the guides stiffness. The analysis procedure is given by the example of a machine tool sliding guide.

1. UVOD

Metod konačnih elemenata je danas najpouzdaniji i najtačniji metod za identifikaciju statičkih i dinamičkih svojstava nosećih struktura alatnih mašina. Međutim, pri postavljanju njihovih modela od konačnih elemenata, najčešće se spojevi (klizni, vezni, kotrljajući i dr.) smatraju krutim, te se njihova elastična i prigušna svojstva ne uzimaju u obzir. Ovakva aproksimacija je najčešći izvor dobijanja nedovoljno tačnih rešenja za statička i dinamička svojstva alatnih mašina. Zbog toga je izučavanje dodirnih problema i krutosti spojeva zadnjih desetak godina bilo predmet intenzivnog istraživanja u svetu [1-10], dok je kod nas ovom problemu pridavana nedovoljna pažnja [11, 12, 13]. U radu [12] dat je pregled najznačajnijih istraživanja u ovoj oblasti i navedeni su osnovni metodi rešavanja ovih

problema. Zato će u ovom radu biti samo ukrajno izložen Back-ov postupak [3] korigovan u cilju ubrzanja konvergencije rešenja [13], a primenjen u slučaju određivanja statičke krutosti kliznih vodjica jedne alatne mašine. Pored izlaganja ovog korigovanog postupka, cilj ovog rada je da da praktične preporuke za što adekvatnije postavljanje modela spojeva u alatnim mašinama.

2. METOD ANALIZE KRUTOSTI SPOJEVA

U cilju određivanja krutosti spoja dva elastična tela, potrebno je da se oni aproksimiraju odgovarajućim konačnim elementima sa takvim rasporedom čvorova koji obezbeđuje naj-

\*Dr Dragan Domazet, docent, Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš.  
Miroslav Trajanović, dipl. ing., asist. prip., Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš.

hov jednak broj i raspored na dodirnim površinama. Ovi, dodirni čvorovi spajaju se malim gredama (na primer dužine 1 mm) koje imaju krutost u sva tri lokalna koordinatna pravca (jedan normalan na dodirnu površinu, a druga dva leže u ravni dodira), a koja se određuju iterativnim postupkom tako da aproksimiraju krutost dodirnih površina odnosno elastične deformacije mikroneravnina na njima. Ukoliko se ne želi da uzme u obzir njihov uticaj, onda se spojnim gredama doeljuje vrlo velika krutost koja se ne menja tokom postupka. Dok se u prvom slučaju iterativnim postupkom određuje i raspored pritiska na dodirnim površinama i krutost spojnih greda, u drugom slučaju određuje se samo raspored dodirnog pritiska.

Radi konciznosti, ovde će se izložiti metodi analize za ravanske slučajeve dodira, međjutim, on je potpuno analogan postupku u slučaju analize dodira u prostoru.

Zavisnost lokalnog elastičnog ugiba dodirnih površina (usled deformacija mikroneravnina) i dodirnog pritiska može se izraziti eksperimentalno određenim relacijama [1, 2]:

$$\lambda_n = c \cdot p_n^m \quad \lambda_s = \frac{R}{p_s} \cdot p_s \quad (1)$$

gde su:

$c, m, r, s$  - eksperimentalno određene konstante zavisne od materijala, vrste obrade i stanja dodirnih površina [3, 12],

$p_n, p_s$  - normalna i smicajna komponenta površinskog pritiska dodirnih površina [daN/cm<sup>2</sup>],

$\lambda_n, \lambda_s$  - normalno i smicajno relativno pomeranje dodirnih čvorova (u  $\mu\text{m}$ ), koje se određuje izrazima:

$$\lambda_n = w_A - w_B \quad \lambda_s = v_A - v_B \quad (2)$$

gde su  $w_A, w_B, v_A$  i  $v_B$  - komponente pomeranja dodirnih čvorova tela A i B određena metodom konačnih elemenata.

Kada su poznata relativna pomeranja  $\lambda_n$  i  $\lambda_s$ , krutost spojnih greda se može odrediti izrazima:

$$K_n = \frac{p_n \cdot A_i}{\lambda_n} \left| \frac{\text{daN}}{\mu\text{m}} \right| \quad K_s = \frac{p_s \cdot A_i}{\lambda_s} \left| \frac{\text{daN}}{\mu\text{m}} \right| \quad (3)$$

gde je:

$A_i$  - dodirna površina koju aproksimira jedna spojna greda [cm<sup>2</sup>].

Korišćenjem izraza (1) ovi izrazi dobijaju sledeći oblik:

$$K_n = \frac{A_i}{c^{1/m}} \cdot \lambda_n^{(1/m - 1)} \quad \text{ili} \quad K_n = A_i \cdot p_n^{(1-m)} \quad (4)$$

$$K_s = \frac{A_i \lambda_n^{\frac{s}{m}}}{R \left(\frac{\lambda_n}{c}\right)^{\frac{s}{m}}} \quad \text{ili} \quad K_s = \frac{A_s}{R} \cdot p_s^s \quad (5)$$

Kao što se vidi, krutost spojnih greda se određuje povećanjem relativnih normal-

nih ugiba ( $\lambda_n$ ) dodirnih čvorova. Kako su ovi ugibi unapred nepoznati, to se za prvu iteraciju pretpostavlja njihova vrednost (najčešće  $\lambda_0 = c \cdot p_0^m$ , gde je  $p_0$  srednji ravnomerni pritisak na spoju) a iterativnim postupkom, korišćenjem izraza (2), (4) i (5) određuju se krutosti spojnih greda. U slučajevima kada su ugibi (2) negativni, tj. kada nema dodirnog pritiska, odgovarajuće grede se uklanjaju iz modela spoja. Iterativni postupak se prekida pri dobijanju tolerantne razlike vrednosti odgovarajućih krutosti spojnih greda u dve sukcesivne iteracije, tj. kada je:

$$\left| K_n^{(i+1)} - K_n^{(i)} \right| \leq \epsilon_n \quad \left| K_s^{(i+1)} - K_s^{(i)} \right| \leq \epsilon_s \quad (6)$$

gde su:

$i$  - oznaka iteracije,

$\epsilon_n, \epsilon_s$  - tolerantna greška određivanja krutosti greda.

Smicajna krutost (5) se uzima u obzir samo ako su smicajne deformacije u granicama elastičnosti. U slučaju da na spoju dodje do klizanja dodirnih površina, tj. da se javi odnos:

$$p_s \geq \mu \cdot p_n \quad \text{tj.} \quad \lambda_{s\mu} = \mu \cdot R \left( \frac{\lambda_n}{c} \right)^{\frac{1-s}{m}} \quad (7)$$

gde je:

$\mu$  - koeficijent trenja,

$\lambda_{s\mu}$  - granično smicajno pomeranje, onda se vrši eliminacija smicajnog stepena slobode odgovarajuće grede i u odgovarajuće dodirne čvorove postavlja se tangencijalna sila trenja:

$$F = \mu \cdot p_n \cdot A_i \quad (8)$$

Zbog nelinearnosti (1), potrebno je pri analizi voditi računa o redosledu opterećenja [3, 12]. Najčešće je potrebno analizu sprovesti prema redosledu opterećenja (npr. prvi za normalno, pa za tangencijalno, pa za eventualno dodatno normalno opterećenje). Ukoliko istovremeno dejstvuje normalno i tangencijalno opterećenje (kao kod kliznih spojeva) potrebno je korigovati vrednosti smicajne krutosti i smicajnog pritiska i granične smicajne deformacije [3], korišćenjem sledećih izraza:

$$K'_s = (1-s) \cdot K_s \quad p'_s = (1-s) \cdot p_s \quad \lambda'_s = \frac{\lambda_{s\mu}}{1-s} \quad (9)$$

Krutost greda (4), (5), najčešće se reguliše promenom vrednosti površina njihovog poprečnog preseka izloženog aksijalnom ( $a_n$ ) i smicajnom ( $a_s$ ) opterećenju, a savojne i torzijske krutosti se eliminišu, tj. koriste se izrazi:

$$a_n = \frac{1}{E} \frac{A_i}{c^{1/m}} \lambda_n^{(1/m - 1)} \quad a_s = \frac{1}{G} \frac{A_i}{R} \left( \frac{\lambda_i}{c} \right)^{\frac{s}{m}} \quad (10)$$

gde su  $l, E$  i  $G$  - dužina, modul elastičnosti i modul klizanja grede. Kada je potrebno pri-

nenjuje se korekcija (9), tj.

$$a'_s = (1-s) \cdot a_s$$

U radu [13] data je korekcija izloženog postupka Back-a [3] koja znatno smanjuje broj potrebnih iteracija jer se za narednu iteraciju ne uzima vrednost površina preseka greda i tangencijalne sile određenih izrazima (10) i (8), već korigovane srednje vrednosti:

$$\begin{aligned} |a_n^-|^{(i+1)} &= \frac{1}{2} |a_n^- + a_n|^{(i)} \\ |a_s^-|^{(i+1)} &= \frac{1}{2} |a_s^- + a_s|^{(i)} \\ |F_\mu^-|^{(i+1)} &= \frac{1}{2} |F_\mu^- + F_\mu|^{(i)} \end{aligned} \quad (11)$$

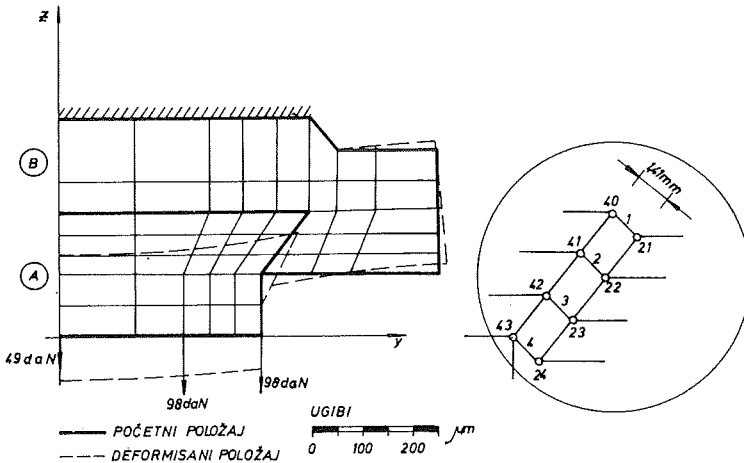
gde su:

- $a_n^-, a_s^-, F^-$  - pretpostavljene vrednosti površina i sile trenja,
- $a_n, a_s, F$  - izračunate vrednosti površina i sile trenja,
- $i$  - oznaka iteracije.

Efikasnost ovakve korekcije metoda biće prikazana na primeru analize krutosti vodjica jedne alatne mašine.

### 3. ANALIZA UTICAJA KRUTOSTI DODIRNIH POVRŠINA NA KRUTOST SPOJA

Kao što je pokazano u radu [12], koriste se metodi za analizu dodirnih problema koji uzimaju u obzir i uticaj mikroneravnina [3+6], a i metodi koji taj uticaj zanemaruju [7,10,11].



Sl. 1

Zato će se ovde izvršiti analiza ovog uticaja na primeru vodjice, u vidu lastinog repa, jedne alatne mašine (sl.1). Pored ove analize demonstriraće se efikasnost postavljene korekcije Back-ovog postupka tj. upotreba izraza (11).

U cilju analize uticaja pójedinih faktora na bzinu i tačnost konvergencije rešenja, ovde je ovaj primer rešavan na četiri načina:

1. Za početnu vrednost površine poprečnog preseka spojnih greda ( $a_{no}^-$ ) uzeta je polovina vrednosti ( $a_{no}$ ) dobijene izrazima (10) za slučaj postavljenog uniformnog pritiska  $p_0 = 48$  [daN/cm<sup>2</sup>], a za silu trenja (za 2. i dalje iteracije) uzeta je vrednost ( $F_\mu$ ) dobijena izrazom (8), tj.:

$$a_{no}^- = \frac{a_{no}}{2} \quad a_{so}^- = \frac{a_{so}}{2} \quad |F_\mu^-|^{(i+1)} = |F_\mu|^{(i)} \quad (12)$$

2. Za početnu vrednost poprečnog preseka spojnih greda uzeta je ista vrednost kao i u prethodnom slučaju, a za silu trenja je uzeta srednja vrednost sile trenja sa kojom je izvršen proračun ( $F_\mu^-$ ) i sile određene proračunom ( $F_\mu$ ), tj.:

$$a_{no}^- = \frac{a_{no}}{2} \quad |F_\mu^-|^{(i+1)} = \frac{1}{2} |F_\mu^- + F_\mu|^{(i)} \quad (13)$$

3. Za razliku od prethodnog slučaja, uzete su cele početne vrednosti površine poprečnog preseka, tj.:

$$a_{no}^- = a_{no} \quad |F_\mu^-|^{(i+1)} = \frac{1}{2} |F_\mu^- + F_\mu|^{(i)} \quad (14)$$

4. Elasticitet dodirnih površina (tj. mikroneravnina) je zanemaren, tj. spojne grede su uzete vrlo krute, a sile trenja su određivane na osnovu normalnih sila u gredama, tj.

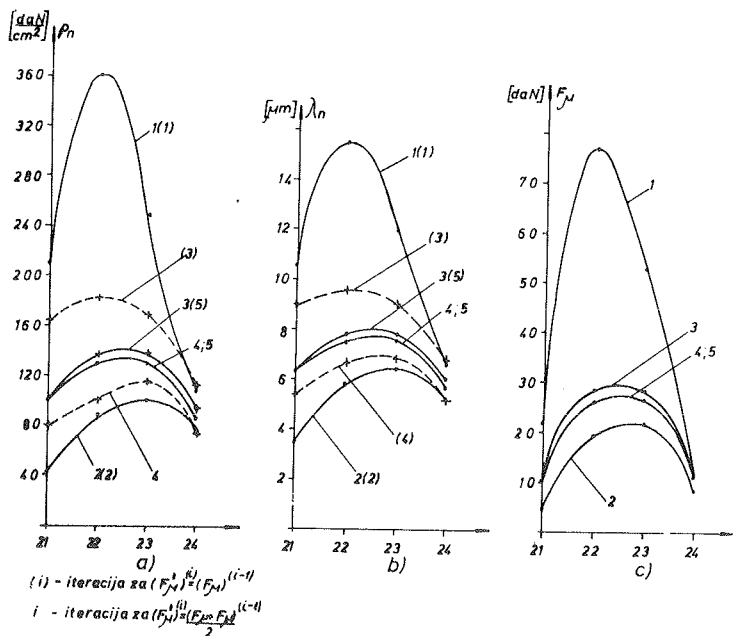
$$a_{no}^- = 10^8 \text{ cm}^2 \quad |F_\mu^-|^{(i+1)} = \mu \cdot |F_n|^{(i)} \quad (15)$$

U prva tri načina rešavanja primenjena su prva dva izraza (11) za pretpostavljene površine spojnih greda za sledeću iteraciju, jer je njihova efikasnost dokazana u radu [13]. Pri četvrtom načinu rešavanja krutost spojnih greda se ne menja, već eventualno samo njihov

broj, tj. eliminišu se grede opterećene na istezanje, četvrti način pokazuje mogućnost primene izloženog postupka i u slučajevima zanemarivanja uticaja mikroneravnina, te za taj specifični slučaj metod daje rezultate vrlo slične rezultatima dobijenim metodom Sachdeve za isti primer [ $7 \pm 10$ ].

rezultati odgovarajuće tačnosti pri ovom načinu rešavanja, bilo je potrebno sprovesti 5 iteracija.

Na sl.3. prikazani su odgovarajući rezultati pri trećem načinu rešavanja problema. Uočljivo je da se već u trećoj iteraciji dobijaju rezultati koji su dobiveni u 5 iteraciji



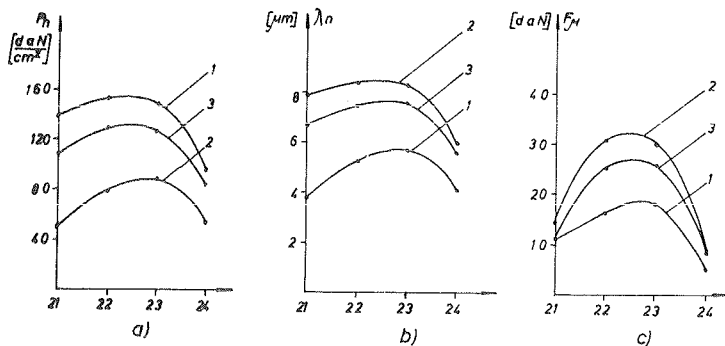
Sl. 2

Na sl.2. prikazani su uporedni rezultati zanormalni pritisak ( $p_n$ ), normalne ugi-be ( $\lambda_n$ ) i sile trenja ( $F_{\mu}$ ) duž dodirne površine vodjica, i to za prva dva načina rešavanja problema. Uočljiva je znatno bolja konvergencija pri drugom načinu rešavanja, pri čemu je dovoljno sprovesti samo tri iteracije, jer se rezultati u četvrtoj i petoj iteraciji vrlo malo razlikuju od rezultata treće iteracije. Da bi se dobili

pri drugom načinu rešavanja problema, što ukazuje na prednost ovog načina u odnosu na prethodna dva.

Na sl.4. prikazani su dobijeni normalni pritisci i dobijene sile trenja u iteracijama pri četvrtom načinu rešavanja, tj. kada je zanemaren uticaj elasticiteta dodirnih površina. Oni pokazuju:

- da je površina dodira manja nego u slučaju uzimanja u obzir elasticiteta dodirnih

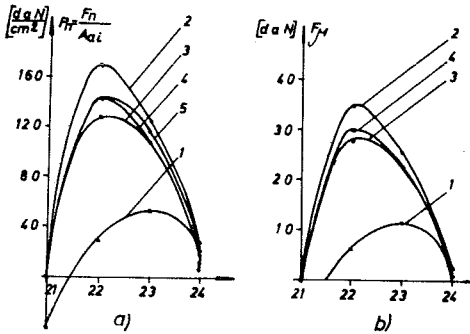


Sl. 3



površina jer dolazi do odvajanja čvorova 21 i 40, i

- da već druga iteracija daje pravu površinu naleganja, ali se zadovoljavajuća konvergencija postiže tek u trećoj iteraciji.



Sl. 4

U tabeli 1 dati su najveći ugibi tela A u pravcu dejstva sila pri sva četiri načina rešavanja:

TABELA 1

način	1	2	3	4
ugib $\mu\text{m}$	-89,6	-85,7	-89,8	-83,7

Najveća razlika rezultata iznosi 6,8%, što znači da u ovom primeru uzimanje u obzir i elasticiteta dodirnih površina ne dovodi do znatnije promene rezultata (krutost spoja) u odnosu na slučaj kada se dodirne površine smatraju idealno krutim.

U ovom primeru materijal tela u dodiru je bio sivi liv modula elasticnosti  $E = 9,5 \cdot 10^5 \text{ daN/cm}^2$ , a parametri krutosti površine su  $c = 0,25$  i  $m = 0,7$ . Korišćen je program SAP IV, a upotrebjeno vreme centralnog procesora računara Honeywell H-66/05 bilo je 32 sec CP po iteraciji.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih analiza statičke krutosti kliznih vodjica, može se zaključiti sledeće:

1. Na naponsko-deformaciono stanje i krutost kliznih vodjica znatno veći uticaj ima elasticitet konstrukcije u okolini vodjica i stanje opterećenja, nego elasticitet samih dodirnih površina (tj. mikroneravnina).

2. U slučaju zanemarivanja elasticiteta dodirnih površina dolazi do smanjenja površina u dodiru u odnosu na slučaj kada se njihov elasticitet uzima u obzir.

3. Najbrža i najtačnija konvergencija se dobija ako se za prvu iteraciju uzima cela vrednost početnih površina preseka (pri  $p_0$ ), a srednja vrednost sila trenja (14),

tj. potvrđena je efikasnost korekcije Backovog postupka (11).

#### 5. LITERATURA

[1] Z.M. Levina, Research on the static stiffness of joints in machine tools, Proc.8th M.T.D.R.Conf., 1967.

[2] V.I. Ostrovski, The influence of machining methods on slideway contact stiffness, Machines and Tooling, No.36, 1-17.

[3] N. Back, M. Burdekin, A. Cowley, Review of the research on fixed and sliding joints, 13th Int.M.T.D.R.Conf. (vol.13), Macmillan, 1973.

[4] N. Back, Deformations in machine tool joints, PhD Thes., UMIST, 1972.

[5] N. Back, M. Burdekin, A. Cowley, Analysis of machine tools joints by the finite element method, 14th Int.M.T.D.R.Conf. (vol.14), pp. 529-537, Macmillan, 1973.

[6] N. Back, M. Burdekin, A. Cowley, Pressure distribution and deformations of machined components in contact, Int. J.Mech.Sci.Pergamon Press, 1973, Vol.15, pp.993-1010.

[7] T.D. Sachdeva, C.V. Ramakrishnan, Determination of in plane flexibilities of dovetail joints using finite element method, Int. J.Mach.Tool Des.Res., Vol.21, No.2, pp.153-161, 1981, Pergamon Press.

[8] T.D. Sachdeva, C.V. Ramakrishnan, A finite element solution for the two dimensional elastic contact problems with friction, Int. J.num.Meth.Eng., 17, 1257-1271 (1981), No.8.

[9] T.D. Sachdeva, C.V. Ramakrishnan, The effect of interface friction on the inplane flexibilities of machine tool joints, Int. J.Mech.Sci., Vol.23, pp.149-159, (1981), Pergamon Press.

[10] T.D. Sachdeva, C.V. Ramakrishnan, R. Natarajan, A finite element method for the elastic contact problems J.Engng Production, Trans.ASME, Vol.103, 456-461 (1981), No.11.

[11] M. Kojić, V. Nikolić, Rešavanje problema dodira dva tela proizvoljnog oblika primenom metode konačnih elemenata, XV Jugoslovenski kongres teorijske i primenjene mehanike, Kupari, 1981.

[12] D. Domazet, M. Trajanović, Metodi za analizu uticaja spojeva u višedelnim nosećim strukturama alatnih mašina na njihovu statičku krutost - pregled stanja istraživanja, XII Simpozijum, Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, JUPITER Zajednica, Beograd, 1983.

[13] D. Domazet, M. Trajanović, Prilog ubrzanju postupka iterativnog odredjivanja krutosti spojeva metodom konačnih elemenata, V Skup PPR, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1983.



R.Kovačević, J.Stanić, M.Kalajdžić x)

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI SREDNJE OBIMNE SILE PRI OBIMNOM GLOĐANJU  
OD UTICAJNIH FAKTORA

R e z i m e

U radu se daje analiza uticaja širine glodanja, dubine glodanja i koraka po zubu na srednju obimnu silu glodanja pri obradi čelika Č.0361 valjkastim cilindričnim glodalom sa zavojnim zubima.

DETERMINATION OF THE DEPENDANCE OF MIDDLE VOLUME FORCE BY VOLUME  
MILLING TO THE INFLUENTIAL FACTORS

S u m a r y

The study deals with the analysis of the influence of the milling with, milling depth and step on tooth to the middle volume force by steel processing Č.0361 with milling cutter with spiral teeth.

1. Uvod

U teoriji rezanja kinetostatika, kao dio mehanike procesa obrade skidanjem strugotine, proučava zakonitosti sila i momenta rezanja, koji djeluju na radne elemente alata, od uticajnih faktora. Poznavanje egzaktnih jednačina ovih zakona, kao i poznavanje odnosa i rasporeda sila i momenata po pojedinim reznim i drugim elementima alata ima, pored teorijskog, i izuzetan praktičan značaj u tehnologiji mašinske obrade [1].

Imajući ovo u vidu u radu se određuje zakonitost promjene srednje obimne sile od uticajnih faktora pri obradi obimnim glodanjem čelika Č.0361 valjkastim cilindričnim glodalom sa zavojnim zubima.

2. Sile rezanja pri obradi glodanjem

Proces glodanja u odnosu na ostale procese obrade rezanjem karakteriše se nekim svojim osobenostima, kao: 1. zubi glodala za vrijeme rada, u odnosu na obradak, opisuju cikloиду, što ima za posledicu da se debljina strugotine mijenja

od nule do  $a_{max}$ , i 2. zubi glodala periodično ulaze u zahvat sa obratkom, što utiče na neravnomjernost sile glodanja. Neravnomjernost sile glodanja pri obimnom glodanju ublažava se u najvećoj mjeri korišćenjem glodala sa zavojnim zubima.

Na sl. 1. prikazana je šema rasporeda otpora rezanja pri obimnom suprotnosmjernom glodanju sa valjkastim cilindričnim glodalom sa zavojnim zubima [2,3].

Rezultujući otpor po i-tom zubu glodala u zahvatu (sl. 1a) razlaže se na tri komponente, i to:

-  $F_{1(i)}$ , glavni otpor rezanja i-tog zuba koji je kolinearan sa brzinom rezanja,  
-  $F_{2(i)}$ , otpor prodiranja i-tog zuba koji ima radijalni pravac u odnosu na glodal, i

-  $F_a$ , aksijalni otpor rezanja.

Najveći interes predstavlja poznavanje vrijednosti glavnog otpora rezanja, jer se na osnovu njegove vrijednosti izračunava efektivna snaga i provjeravaju elementi prenosnika za glavno kretanje. Otpor prodiranja opterećuje uležištenje glavnog vretena na

x) Dr Rađovan Kovačević, docent Mašinskog fakulteta u Titogradu; Dr Joko Stanić, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, Dr Milisav Kalajdžić, vanr. profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu

pritisak, a vreteno glodala na savijanje. Aksijalni otpor rezanja opterećuje stezni pribor, prenosnik za pomoćno kretanje i uležištenje glavnog vretena.

Prošireni izraz za glavni otpor rezanja po zubu glasi

$$F_{1(i)} = C_F B a_i^{1-x_1} \quad [\text{daN}] \quad (1)$$

gdje su  $C_F$  - konstanta,  $B$  [mm] - širina glodanja,  $a_i$  [mm] - debljina strugotine i-tog zuba u zahvatu i  $x_1$  - parametar obradljivosti. Debljina strugotine i-tog zuba iznosi  $a_i = s_z \sin \psi_i$  (2)

gdje su  $s_z$  [mm/zubu] - korak po zubu i  $\psi_i$  - ugaoni položaj i-tog zuba.

Pri obimnom glodanju otpor prodiranja može se približno odrediti iz odnosa

$$\mathcal{E} = F_{2(i)} / F_{1(i)} \quad (3)$$

gdje je  $\mathcal{E} = 0,3 - 0,35$ .

Moment glodanja dobija se iz izraza

$$M = \frac{D}{2} \sum_{i=1}^{i_z} F_{1(i)} = \frac{D}{2} F_0 \quad [\text{daNm}] \quad (4)$$

gdje su  $i_z$  - cijeli broj zuba u zahvatu i  $F_0$  - obimna komponenta glodanja, koja predstavlja zbir glavnih otpora rezanja po zubu (sl. 1b), tj.

$$F_0 = C_F B s_z^{1-x_1} \sum_{i=1}^{i_z} \sin^{1-x_1} \psi_i \quad [\text{daN}] \quad (5)$$

Medjutim, za izračunavanje srednje obimne sile često se koristi prošireni izraz, koji glasi

$$F_{om} = C_F B^{x_F} a_i^{y_F} s_z^{z_F} z D^{i_F} k_F \quad [\text{daN}] \quad (6)$$

gdje su  $z$  - broj zuba glodala,  $x_F$ ,  $y_F$ ,  $z_F$ ,  $i_F$  - parametri obradljivosti i  $k_F$  - popravni koeficijent koji uzima u obzir uticaj brzine rezanja, geometrije zuba glodala, pohabanosti sječiva itd.

Od navedenih uticajnih faktora na srednju obimnu silu glodanja u saopštenju se detaljno analizira uticaj širine glodanja, dubine glodanja i koraka po zubu pri obradi čelika Č.0361. Tada će zavisnost srednje obimne sile glodanja od navedenih uticajnih faktora, imajući u vidu zavisnost (6), glasniti

$$F_{om} = C_F B^{x_F} a_i^{y_F} s_z^{z_F} \quad (7)$$

Eksperimentalnim ispitivanjima neophodno je odrediti konstantu  $C_F$  i eksponente  $x_F$ ,  $y_F$  i  $z_F$ , tj. parametre obradljivosti.

### 3. Uslovi izvodjenja eksperimenta

Mašina: Univerzalna glodalica TIP UG 9, proizvođača "Proleter", Zrenjanin, sa elektromotorom za glavno kretanje snage od 1,1 kW i elektromotorom za pomoćno kretanje snage od 0,37kW, sa brzinama pomoćnog kretanja  $s_m = 14, 18, 20, 23, 27, 31, 39, 54$  i 63 mm/min.

Alat: Valjkasto cilindrično glodalo sa zavojnim zubima, od brzoreznog alatnog čelika, dimenzija  $d \times B \times D = 100 \times 70 \times 40$  mm i sa uglom nagiba zavojnice zuba od  $\mathcal{E} = 35^\circ$ . Glodalo ima 16 zuba.

Vratilo glodala: Za mjerenje obrtnog momenta i određivanja srednje obimne sile konstruisano je i izradjeno odgovarajuće vreteno glodala pri čemu su zadovoljeni zahtjevi vezani za postavljanje mjernih traka. Vreteno glodala je izradjeno od čelika Č.1530,

koje je termički obradjeno i brušeno.

Materijal obratka: Obrada je izvodjena na uzorcima od čelika Č. 0361. Iz ploče (1500x1000x20 mm) isječeni su (autogenim sječenjem) uzorci dimenzija: 100x60x20 mm, 100x30x20 mm i 100x15x20 mm. Da bi se otклонile posljedice autogenog sječenja uzorci su termički obradjeni.

Sredstvo za hladjenje: Za sredstvo za hladjenje i podmazivanje korišćena je 3%-tna emulzija ulja BIOSONIT-o50.

Mjerna oprema: Za mjerenje obrtnog momenta, odnosno srednje obimne sile pri obradi glodanjem konstruisan je torziometar sa mjernim trakama. Opremu za identifikaciju električnih veličina čine klizna glava SK 12 i pojačavač sa indikatorom KWS 3082 firme "HOTTINGER". Na dijelu vratila glo-

dala, koji prenosi obrtni moment, nalijep-  
ljene su 4 mjerne trake povezane u pun Vi-  
nstonov most. Otpor mjerne trake iznosi  
120 N. Za konstruisani torziometar formiran  
je dijagram baždarenja [4].

Provjera tačnosti torziometra izvodi se  
na sljedeći način. Stvarna vrijednost de-  
formacije mjerne trake definisana je izra-  
zom

$$\epsilon_{st} = \frac{1}{n} \frac{K_0}{\alpha K} c \cdot \mathcal{E} \quad (8)$$

gdje su  $n$  - broj aktivnih traka ( $n=4$ ),  $K=2$ ,  $\alpha$  - karakteristika mjerne trake,  $K_0=2$  - karakteristika registrujućeg uređaja,  $\mathcal{E}$  - očitana vrijednost deformacije,  $\alpha$  - koeficijent korekcije koji uzima u obzir uticaj dužine provodnika na stvarnu deformaciju, za  $l \approx 10m$   $\alpha=1$ ,  $c$  - koeficijent korekcije koji uzima u obzir uticaj načina vezivanja traka, za vezivanje u pun most  $c=1$ .

Zamjenjujući vrijednosti za  $n, K, K_0, \alpha$  i  $c$  u izrazu (8), dobija se veza između stvarne i izmjerene deformacije, koja glasi

$$\epsilon_{st} = 0,2487\mathcal{E} \quad (9)$$

Prilikom baždarenja moment uvijanja od 40 [Nm] prouzrokovao je elastičnu deformaciju mjerne trake od  $\epsilon = 113 [\mu m]$  koja se očitava na mjernom priboru. Da bi se provjerila pravilnost postavljanja mjernih traka potrebno je uporediti ovu vrijednost momenta uvijanja (40Nm) sa računskom vrijednošću momenta uvijanja koja bi izazvala elastičnu deformaciju od 113 [ $\mu m$ ]. Izmjerenoj vrijednosti  $\epsilon = 113 [\mu m]$  odgovara stvarna deformacija, izračunata prema izrazu (9),  $\epsilon_{st} = 28,103 [\mu m]$ . Moment uvijanja u zavisnosti od stvarne deformacije određuje se iz izraza

$$M = \frac{1}{1 + \mu} 0,2 d^3 \mathcal{E}_{st} \quad (10)$$

gdje su  $E = 2,1 \cdot 10^{11} [N/m^2]$  - modul elastičnosti za čelik,  $\mu = 0,3$  - Poasonov broj,  $d = 35 [mm]$  - prečnik vratila glodala na mjestu gdje su postavljene mjerne trake.

Zamjenjujući vrijednosti u izrazu (10) dobija se da je računaska vrijednost mome-

nta uvijanja, koja bi prouzrokovala elastičnu deformaciju mjernih traka od  $\epsilon = 113 [\mu m]$   $M = 37 [Nm]$ .

Upoređivanjem računске vrijednosti ( $M=37Nm$ ) sa stvarnom vrijednošću ( $M=40 Nm$ ) momenta uvijanja konstatuje se da su mjerne trake dobro postavljene i da je tačnost torziometra zadovoljavajuća.

#### 4. Plan eksperimenta i rezultati ispitivanja

Za plan eksperimenta usvojen je trofaktorni ortogonalni plan prvog reda sa ukupnim brojem eksperimenata  $N = 2^3 + 4 = 12$ .

Prije početka izvođenja eksperimenata izabrane su granice intervala varijacije faktora u modelu (7), čije su vrijednosti date u tablici 1, pri konstantnoj brzini rezanja, odnosno broju obrtaja alata  $n = 344 [\text{min}^{-1}]$  zadovoljavajući uslov da je:

$$\begin{aligned} B_{sr}^2 &= B_{\max} \cdot B_{\min} \\ a_{sr}^2 &= a_{\max} \cdot a_{\min} \\ s_{zsr}^2 &= s_{z\max} \cdot s_{z\min} \end{aligned} \quad (11)$$

U tablici 2 prikazana je planmatrica sa izračunatom srednjom obimnom silom  $F_{om}$ , koja se izračunava na osnovu izraza

$$F_{om} = 2 \frac{M}{d} \quad (12)$$

gdje su  $M$  - očitana vrijednost momenta uvijanja sa dijagrama baždarenja na osnovu izmjerene vrijednosti elastične deformacije,  $d=100mm$  - prečnik glodala.

Da bi se odredile numeričke vrijednosti konstante  $C_F$  i parametara obradljivosti  $x_F, y_F$  i  $z_F$  neophodno je model (7) transformisati logaritmovanjem u linearni oblik

$$\ln F_{om} = \ln C_F + x_F \ln B + y_F \ln a + z_F \ln s_z \quad (13)$$

$$\text{ili } Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (14)$$

gdje su  $Y = \ln F_{om}$ ;  $b_0 = \ln C_F$ ;  $x_1 = x_F$ ,  
 $b_1 = \ln B$ ;

$$x_2 = y_F; \quad b_2 = \ln a; \quad x_3 = z_F; \quad b_3 = \ln s_z$$



R. Kovačević, J. Stanić<sup>x)</sup>

NEKI OD SAVREMENIH UREDJAJA ZA MJERENJE KARAKTERISTIKA KVALITETA  
OBRADJENIH POVRŠINA

R e z i m e

U saopštenju se daje kratak pregled osnovnih metoda za mjerenje hrapavosti obradjenih površina.

SOME OF THE CONTEMPORARY DEVICES FOR MEASURING OF QUALITY CHARACTERISTICS  
ON THE PROCESSED SURFACES

S u m m a r y

The report gives the short review of the fundamental methods for the roughness measuring on the processed surfaces.

1. Uvod

U posljednjih petnaestak godina mjerna tehnika za mjerenje karakteristika kvaliteta obradjenih površina predstavlja u industriji neophodno pomoćno sredstvo za povećanje tačnosti, pouzdanosti i vijeka trajanja mašinskih elemenata, a također nalazi značajnu primjenu i u osnovnim istraživanjima pri razvoju novih proizvoda [1].

U proizvodnoj metrologiji postoji više kriterijuma za podjelu metoda mjerenja hrapavosti obradjenih površina [2]. Od svih kriterijuma najčešće se koriste sljedeći:

1. Način mjerenja (pneumatski, mehanički, električni, optički, laserski itd.);

2. Odnos mjernog pipka i kontrolisane površine (kontaktni i beskontaktni);

3. Način identifikacije hrapavosti obradjene površine (uporedni i kvantitativni).

U daljem tekstu se prikazuju neki od savremenih uređaja za upo-

redno i kvantitativno utvrđivanje vrijednosti hrapavosti obradjene površine.

2. Uporedni uređaji za ocjenu hrapavosti obradjene površine

Suština uporednog identifikovanja hrapavosti obradjene površine sastoji se u upoređivanju ispitivane površine sa uzorkom, odnosno etalonom, radi ocjene klase hrapavosti ispitivane površine.

Ocjena hrapavosti izvodi se vizuelno posmatranjem ispitivane površine, ili pomoću nekog uporednog uređaja koji radi na pneumatskom, optičkom, električnom ili nekom drugom principu.

Vizuelna ocjena hrapavosti je izrazito subjektivni metod sa odgovarajućim nedostacima. Kontrolor na osnovu vizuelnog pregleda i dodira površine ocjenjuje njenu hrapavost.

Pneumatski uređaji zasnovani su na principu mjerenja potrošnje vazduha koji prolazi kroz mikroneravni-

<sup>x)</sup> Dr Radovan Kovačević, docent Mašinskog fakulteta u Titogradu,  
Dr Joko Stanić, redovni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu

ne površine koja se kontroliše. Kalibrisanje skale ovog senzora vrši se prema uzorcima atestiranim na drugim tačnijim uredjajima. Ovakav uredjaj daje korektnu ocjenu površine od 6 do 12 klase hrapavosti.

Način ocjene hrapavosti reflektometrijskim (optičkim) uredjajem prikazan je na sl. 1. Zraci od izvora svjetlosti odbijaju se od kontrolisane površine 2 i padaju na fotoelement 3. Nastala fotoelektrična struja zavisi od inteziteta odbijene svjetlosti, koji je u direktnoj zavisnosti od hrapavosti kontrolisane površine. Mjerenjem fotoelektrične struje dobija se na indirektan način informacija o veličini hrapavosti date površine.

Princip rada električnog (kapacitivnog) uredjaja prikazan je na sl. 2.

Kontrolisana površina 1 ima ulogu jedne kondezatorske ploče, dok je druga kondezatorska ploča 2 u sklopu uredjaja. Na ovoj ploči se sa donje strane nalazi sloj keramike koji ima ulogu dielektrika. Veličina zračnog sloja, pa i kapacitet kondezatora zavisi od hrapavosti površine. Gornja ploča 2 vezana je u pomoćno oscilatorno kolo koje se sastoji od kalema 4, mjernog kondezatora 3 i galvanometra 5.

Uporedo sa drugim razvili su se i laserski mjerni sistemi za mjerenje i kontrolu hrapavosti obradjenih površina [3]. Jedna od konstrukcija ovih mjernih sistema, zasnovana na uporednoj kontroli, prikazana je na sl. 3. Laserski zrak se u diobenoj prizmi 2 dijeli na dva toka. Prvi prolazi kroz prizmu 3, poluprozračno ogledalo 4, etalon obradjene površine 5, ponovo na ogledalo 4, pa zatim kroz fotodetektor

6 i komparator 11, dok je tok drugog usmjeren kroz identičan niz elementa (na donjem dijelu slike) s tim što je sa 10 označena stvarna površina koja se upoređuje sa uzorkom 5 čiji je stepen površinske hrapavosti potpuno odredjen. Oba toka mjernih signala usmjeravaju se u komparator 11 gdje se, nakon upoređivanja, prikazuje na analognom pokazivaču 12 rezultat kontrole: da li je ili ne istovjetna ili dovoljno bliska stvarna sa etaloniranom površinskom hrapavošću.

U okviru uredjaja za uporednu kontrolu površinske hrapavosti široku primjenu nalazi uporedni mikroskop, čiji je šematski izgled prikazan na sl. 4. Ocjena površinske hrapavosti uporednim mikroskopom zasniva se na vizuelnom upoređivanju kontrolisane površine i površine uzorka, a princip rada sastoji se u sljedećem: svjetlosni zraci iz izvora svjetlosti 1 osvjetljavaju istovremeno kontrolisanu površinu 7 i površinu uzorka 8. Ovo se postiže pomoću diobene prizme 2 sastavljene od dvije pravougule prizme. Dijagonalna površina diobene prizme prekrivena je poluprozračnim slojem srebra. Vidno polje okulara 4 je podijeljeno na dva dijela, u jednoj polovini se vidi površina uzorka, a u drugoj kontrolisana površina. Ovo se postiže pomoću dijagrafmi 5 i 6 koje se postavljaju na uzorak i na kontrolisanu površinu.

### 3. Kvantitativni uredjaji za odredjivanje parametara hrapavosti obradjene površine

Ovi uredjaji obezbjeđuju kvantitativno odredjivanje vrijednosti nekog od parametara hrapavosti (u broječanom obliku na digitalnom ili analognom pokazivaču) kojim se identifikuje kvalitet obradjene površine, a pored toga moguće je dobiti i profilog-



ram te površine (pomoću registratora kao što su pisači, oscilografi, osciloskopi itd.).

Mjerni uređjaji za kvantitativno mjerenje parametara hrapavosti i snimanje profilograma obradjene površine u zavisnosti od načina funkcionisanja mogu se podijeliti na beskontaktnu (optički princip) i kontaktne (induktivni princip).

### 3.1. Beskontaktni uređjaji za mjerenje hrapavosti

Beskontaktni uređjaji za mjerenje hrapavosti obradjenih površina rade na principu:

- a) svjetlosnog presjeka, i
- b) interferencije svjetla.

Mjerenje hrapavosti obradjene površine zasnovan na principu svjetlosnog presjeka izvodi se pomoću dvojnog mikroskopa, kojeg su razvili Schmalz, Linnik i dr. Na sl. 5a prikazana je uprošćena šema dvojnog mikroskopa. Slika dijafragme sa projekcijom 1, koja se nalazi u fokalnoj ravni ahromatičnog sočiva 2, projektuje se objektivom 3 na kontrolisanu površinu. Linija presjeka svjetlosne ravni sa kontrolisanom površinom je talasasta kriva linija čiji oblik zavisi od mikroprofila površine (sl. 5b). Objektiv 4 (posmatračkog dijela mikroskopa) projektuje slike linije presjeka svjetlosne ravni sa kontrolisanom površinom na ravan 1-1, koja je u fokalnoj ravni okulara 5. U ravni 1-1 je uređjaj za očitavanje u vidu okularnog mikrometra.

Ugao između osvijetljavajućeg i posmatračkog dijela mikroskopa je  $90^\circ$ , a prema površini koja se kontroliše nagnuti su pod uglom od  $45^\circ$ , što omogućava uvećanje visina neravnina u odnosu na njihov korak za  $\sqrt{2}$  puta. Na sl. 5c prikazana je slika

koja se vidi u vidnom polju posmatračkog dijela mikroskopa.

Beskontaktni uređjaji koji rade na principu interferencije svjetla namijenjeni su za mjerenje male hrapavosti obradjenih površina. Na sl. 6a prikazan je šematski izgled interferentnog mikroskopa.

Od izvora monohromatskog svjetla 1 prolazi snop svjetlosnih zraka kroz kondezor 2, dijafragmu 3 i sočivo 4 i padaju na diobenu prizmu 5, sastavljenju od dvije pravougule prizme. Dijagonalna površina prizme je prekrivena poluprozračnim slojem srebra. Ova površina dijeli snop zraka koji padaju na nju na dva dijela. Jedan se dio usmjerava ka objektivu 6, a drugi se lomi u pravcu objektivu 7. Prvi snop zraka, nakon prolaza kroz objektiv 6, odbija se od ogledala 8, vraća se na prizmu 5 i odbijen od ogledala 9 pada u vidno polje okulara 10. Drugi snop

svjetlosnih zraka, po prolazu kroz objektiv 7, pada na kontrolisanu površinu, odbija se od nje i prolazi kroz prizmu 5 i ogledalo 9 i pada na okular 10. Na ovaj način vidi se u vidnom polju okulara 10 interferencijska slika koja daje potpunu kvalitativnu i kvantitativnu sliku hrapavosti kontrolisane površine. Za stvaranje interferentne slike potrebno je formirati razliku u putanjama dva koherentna svjetlosna zračka. Ova razlika se može ostvariti pomicanjem objektivu 6 i ogledala 8 u pravcu upravnom na optičku osu sistema.

Na sl. 6b prikazana je interferentna slika kontrolisane površine, a na sl. 6c prikazani su parametri koji se mjere. Ako je kontrolisana površina idealno glatka interferentna slika ima niz paralelnih pravih traka. Iskripljenje traka izazvano je mikrineravninama na kontrolisanoj površini. Viš

sina neravnina određuje se na osnovu izraza

$$R_{\max} = a\lambda/2b,$$

gdje su:

a - veličina iskrivljenja interferentnih traka,

b - rastojanje između traka,

$\lambda$  - talasna dužina svjetlosnog zraka.

Mjerenje veličina a i b izvodi se pomoću okularnog mikrometra.

### 3.2. Kontaktni uređjaji za mjerenje hrapavosti

Kontaktni uređjaji za mjerenje hrapavosti rade na principu pomjeranja dijamantske ili čelične igle (mjernog pipka) po kontrolisanoj površini, pri čemu se veličina vertikalnog pomjeranja igle uvećava električnim, pneumatskim ili mehaničkim putem i registruje na uređjajima za registrovanje.

Jedan od nedostataka ove metode je nemogućnost snimanja dna vrlo uskih i dubokih neravnina kontrolisanog profila. Uzimajući u obzir najmanje moguće zaobljenje vrha kontaktnih igala, većina savremenih uređjaja može uspješno da radi od 3 klase hrapavosti.

Dalje se daje kratak pregled najčešće korišćenih kontaktnih uređjaja za mjerenje hrapavosti obradjenih površina.

Na sl. 7a prikazan je šematski izgled mehaničko-optičkog mjernog uređjaja (Leitz-Forster) čiji se princip rada sastoji u sljedećem: kontrolisana površina se pomjera ispod oscilujuće igle tastera 1 (na sl. 7b prikazana je putanja vrha igle u odnosu na kontrolisanu površinu). Kretanje igle tastera utiče na nagnjanje ogledala 2 od kojeg se odbija snop svjetlosnih zraka padajući na pokretni film 3, formirajući profilogram, ili na matirano staklo sa skalom, na kojem se prati dužina neravnina kontrolisane površine

( $R_{\max}$ ). Mjerno područje ovog uređjaja je od 0 do 125 ( $\mu\text{m}$ , sa povećanjem po vertikali 200X i 1000X. Brzina kretanja kontrolisane površine je 0,1; 1; 3; 4 i 5mm/min, a dužina ispitivanja proizvoljna u okviru 100mm. Radijus zaobljenja vrha igle je od 2 do 20  $\mu\text{m}$ , a ugao vrha igle je oko 30°. Visina hoda igle je oko 1,5  $\mu\text{m}$ .

Ovaj uređjaj je isključivo namijenjen za laboratorijsku upotrebu.

Na sl. 8 prikazana je šema funkcionalisanja elektro-mehaničkog mjernog uređjaja (Leitz-Rauchtester).

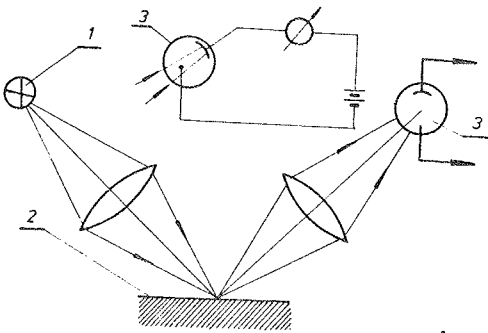
Oscilujuća igla tastera vodi se po kontrolisanoj površini. Pomjeranje igle, usled neravnina na kontrolisanoj površini, utiče na promjenu induktivnosti kalema u induktivnom davaču. Promjena visine neravnina kontrolisane površine  $dx$  izaziva promjenu induktivnosti kalema  $\delta$  u odnosu na feromagnetno jezgro, što utiče na promjenu induktivnosti kalema  $L$ , usled čega nastaje promjena inteziteta naizmjenične struje  $I$  kojom se napaja induktivni davač. Prema tome, proces promjena i pretvaranja jedne veličine u drugu definisan je lancem  $dx \rightarrow \delta \rightarrow L \rightarrow I$ . Preko pojačavača i integratora dobija se na pisaču profil kontrolisane površine ili na digitalnom pokazivaču vrijednost parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_{\max}$ . Mjerno područje uređjaja je, za parametar  $R_a$ , od 0,1 do 20  $\mu\text{m}$ . Radijus zaobljenja vrha igle je 15  $\mu\text{m}$ . Uređjaj je moguće koristiti u radioničkim uslovima.

Na sl. 9 prikazana je urpošćena električna šema elektro-mehaničkog uređjaja (Pert-0-Meter). Kretanje igle, koje se ostvaruje po kontrolisanoj površini posebnim elektromotorom, mijenja impendancu dva u tasteru ugrađjena kalema, koji su sastavni djelovi mjernog mosta napaja-

nog naizmjeničnom strujom. U toku mjerenja nastala promjena napona se pojačava i preko demodulatora se vodi u računar, radi dobijanja kvantitativnih vrijednosti parametara hrapavosti ( $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $p_{nc}$ ), ili na pisač, radi dobijanja profilograma. Mjerno područje ovog uređaja kreće se od 0 do 25  $\mu\text{m}$ . Povećanje profilograma po vertikali ide do 400x do 100.000x, a po horizontali od 40x do 40.000x. Brzina kretanja tastera je 36 mm/min, odnosno pri korišćenju pisača 3,6 i 0,36 mm/min.

Radius zaobljenja vrha igle je 10  $\mu\text{m}$  ili 2  $\mu\text{m}$ , a ugao zaobljenja vrha igle je 90°. Dužina putanje igle je 1,6; 4; 10 i 25 mm. Ovaj uređaj je uglavnom namijenjen za mjerenje u laboratorijskim uslovima.

Veći broj poznatih firmi kao što su Taylor-Hobson (Engleska), Hommel-Werke, Mahr-Perthen (SRNJ), Kalibr (SSSR) razvile su profilometre-profilograme na induktivnom principu.



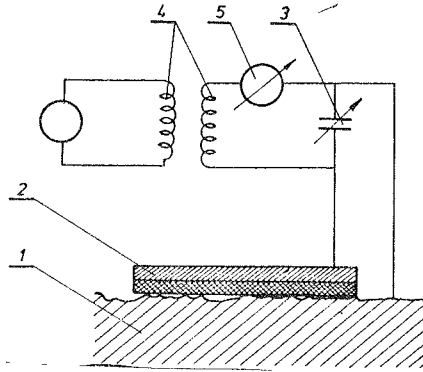
Sl. 1. Šematski prikaz optičkog mjernog uređaja

4. Zaključak

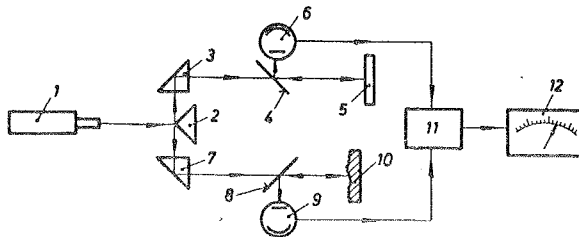
Imajući u vidu značaj uređaja za mjerenje površinske hrapavosti u proizvodnoj metrologiji u saopštenju je dat prikaz osnovnih principa na kojima funkcionišu savremeni mjerni uređaji. Posebno se u poslednje vrijeme ulažu naponi na razvoju uređaja za mjerenje ili kontrolu hrapavosti u toku procesa obrade, gdje posebno mjesto zauzimaju beskontaktni postupci (optički, kapacitivni, pneumatski itd.)

5. Literatura

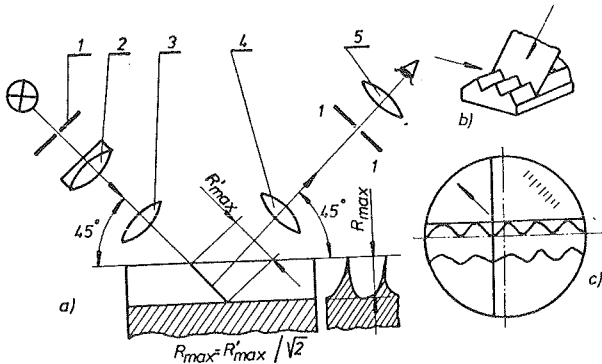
- [1] G.Burow, Messung der Oberflächenrauheit, Wrkstatt und Betrieb 113(1980)5, S.339-343
- [2] J.Stanić, M.Kalajdžić, R.Kovačević, Mjerni sistemi u tehnologiji obrade rezanjem, Gradjevinska knjiga, Beograd (u štampi)
- [3] J.Stanić, Tehnološki merni sistemi Mašinski fakultet, Beograd, 1981.



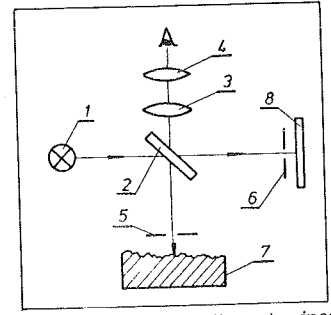
Sl. 2. Šematski prikaz električnog mjernog uređaja



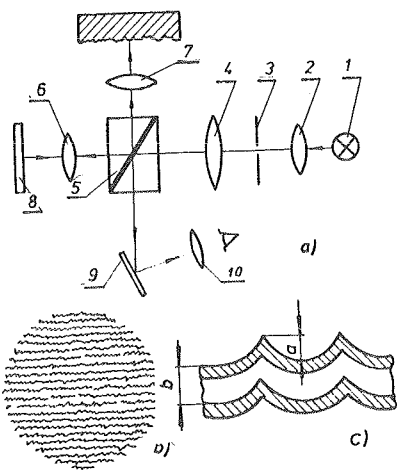
Sl. 3. Sema laserskog mjernog uređaja za mjerenje površinske hrapavosti



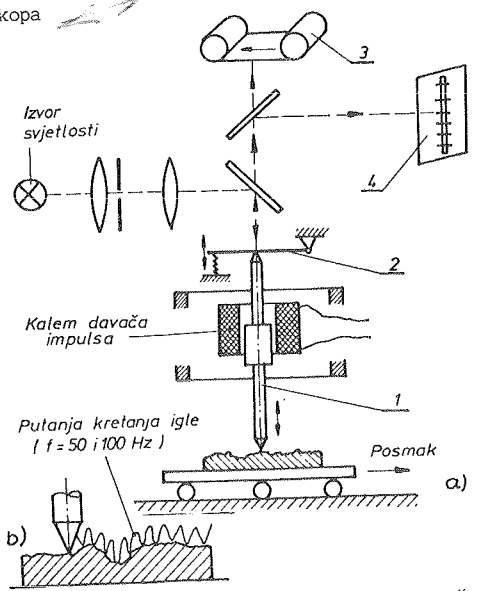
Sl. 4. Šematski izgled uporednog mikroskopa



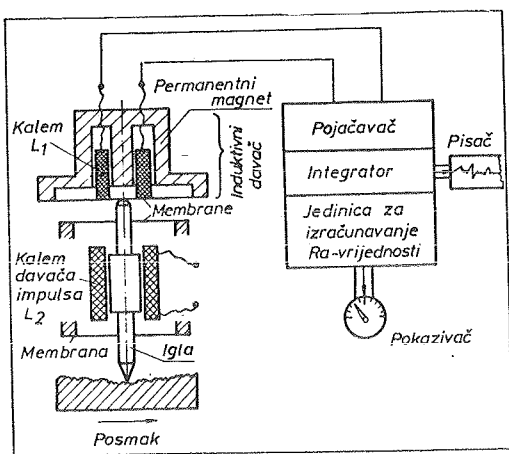
Sl. 5. Šematski prikaz dvojnog mikroskopa



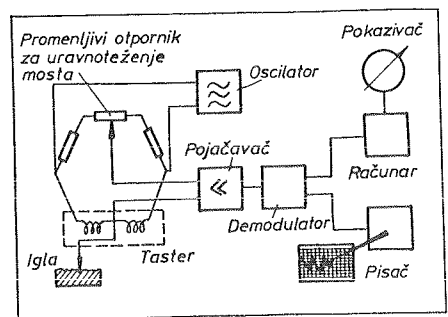
Sl. 6. Šematski prikaz interferentnog mikroskopa



Sl. 7. Šematski izgled mehaničko-optičkog mjernog uređaja



Sl. 8. Šematski izgled elektro-mehaničkog mjernog uređaja (Leitz-Rauch-taster)



Sl. 9. Šematski izgled elektro-mehaničkog mjernog uređaja (Pert-O-Meter)

Milan Perović\*

PROIZVODNOST U INDUSTRIJI I RAZVOJ  
INFORMACIONIH SISTEMA

R e z i m e

Istraživanja koja je autor obavio ukazuju na veliki procenat neproaktivnih vremena u ukupnom raspoloživom vremenu rada mašine. Takodje je, vidljivo da ulaganja u modernizaciju proizvodnih procesa ne prate adekvatna ulaganja u modernizaciju rada službi koje te procese opslužuju.

Autor se u ovom radu zalaže za organizovan pristup povećanju proizvodnosti gde bi se ulagalo u modernizaciju - automatizaciju bilo proizvodnih sistema bilo poslovanja zavisno koji segment gubitaka (ciklusnih ili vanciklusnih) želimo da eliminišemo. Ovakvi poduhvati traže integraciju znanja stručnjaka iz privrede i naučnih radnika iz instituta i sa fakulteta.

MANUFACTURING CAPABILITIES IN INDUSTRY  
AND DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS

S u m m a r y

The author's investigation points to the high percentage of unproductive time in the total available machine working time it is also obvious that investments in production processes modernization are not followed by adequate investments in labour modernization of departments which serve these processes.

In this paper the author supports an organized access to the productivity increase where investments would be made in modernization - automatization of both production systems and management, depending on which segment of losses (cyclic or outcyclic) we want to eliminate. Projects of this kind request the knowledge of authorities from economy to be merged with that of scientists from institutes and universities.

1. Uvod

Pravo je vreme da se govori o proizvodnosti industrijskih sistema kod nas iz dva međusobno uslovljena razloga.

Prvo, nalazimo se u vremenu stabilizacije privrede, kada se traže načini i metode da se ožive privredna kretanja i da se iz već instalisanih

---

\*Dr. Milan Perović, dipl.ing., Zavodi "Crvena zastava" Kragujevac

kapaciteta izvuče što više kvalitetnih proizvoda i plasira na međunarodno tržište.

Drugo, bez visoke proizvodnosti i bez vrhunskog kvaliteta nije se moguće probiti na međunarodno tržište a bez ostvarenja ova dva uslova nema stabilizacije.

Visoka proizvodnost i vrhunski kvalitet zahtevaju da sve karike proizvodnog sistema funkcionišu sinhronizovano i dobro.

Snažan razvoj tehnologije u zadnjim decenijama je posebno podstaknut intenzivnom primenom kompjuterske tehnike i informacionih sistema, a sve oštriji zahtevi za visokom proizvodnošću i vrhunskim kvalitetom traži sve veću njenu primenu. Razvoj kompjuterske tehnologije je tako buran da se smatra najburnijim razvojem neke oblasti u istoriji ljudskog društva.

Informacioni sistemi u poslovanju a posebno u industriji su oblast intenzivne primene mikro, mini i superkompjutera. Informacioni sistemi oslonjeni na ovu tehniku predstavljaju pogodan način da se sa malo ulaganja postignu dobri rezultati.

Kompjuterska tehnologija i informacioni sistemi i njihova primena u upravljanju procesima ima tradiciju tek četvrt veka. Mogućnosti su praktično samo načete a rezultati tih primena su značajni. Zajedno sa primenom informacionih sistema oslonjenih na kompjutersku tehniku oživila su primene naučnih metoda u upravljanju a sve je to izazvalo promene u sistemima organizovanja proizvodnje.

## 2. Analiza proizvodnosti proizvodnog sistema kao osnova za davanje zadatka za uvodjenje ili - dalji razvoj informacionog sistema

Analizom produktivnosti u našim proizvodnim pogonima nije teško utvrditi da uzroci niskoj produktivnosti više nisu u zastarelim proizvodnim mašinama i slabom zalaganju proizvodnih radnika nego u niskoj produktivnosti službi koje prate proizvodnju. Moderna tehnologija za preradu metala je već prisutna u skoro svim našim proizvodnim pogonima dok je moderna tehnologija za obradu informacija prisutna u malom broju službi. Uporedjenjem vremena rada i izgubljenih vremena kod proizvodnih operacija u našim i u fabrikama visoko razvijenih zemalja, vidi se da je razlika između osnovnih vremena proizvodnje manja od razlika između izgubljenih vremena ogromna i neuporedivo veća nego kod osnovnih i pomoćnih vremena. Primenom automatizovanih mašina sa istom veličinom zastoja kao kod klasičnih mašina povećavaju se troškovi poslovanja.

Izvršena snimanja strukture vremena izrade i stepena korišćenja kapaciteta, u jednom pogonu koji "dobro" posluje, ima otvoreno tržište i uredno snabdevanje sa reprodukcijom materijalom, daju sledeću sliku: stepen korišćenja kapaciteta iznosi samo 64%; osnovno vreme rada mašine,  $t_0 = 24$  jedinice; pomoćno vreme,  $t_p = 32$ ; dodatno vreme,  $t_d = 4$ ; pripremno-završno vreme,  $t_{pz} = 4$ ; izgubljeno vreme,  $t_i = 36$ ; pri ukupnom raspoloživom vremenu od 100 jedinica.

Iz ove strukture se vidi da ciklusni i vanciklusni gubici ( $t_p + t_d + t_{pz} + t_i$ )

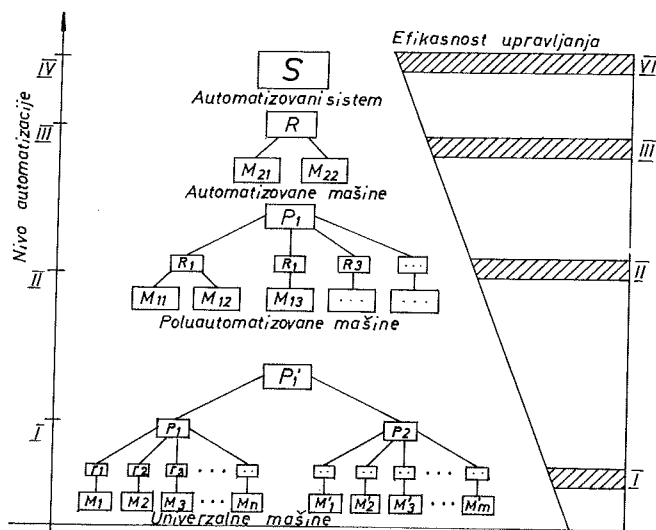
iznose preko dve trećine ukupnog vremena, pa je prvenstveni zadatak u ispunjenju cilja stabilizacije, preduzimanje mera da se ovi gubici svedu na minimum.

Vanciklusni gubici su u najvećem broju slučajeva izazvani zastojeima zbog nedostatka materijala, alata, kvara mašine ili nesinhronizovane proizvodnje, znači faktorima koji su van uticaja mašine i radnika koji na toj mašini radi. Ovi zastoji su proizvod slabe organizovanosti proizvodnog procesa odnosno slabe organizovanosti rada funkcija koje prate taj proces. Modernizaciju obradnih sistema treba da prati modernizacija upravljačkih sistema na svim nivoima. Zato se u zahvate takve modernizacije rada pratećih funkcija polazi od zadatka povećanja stvarne proizvodnosti proizvodnih kapaciteta.

Ciklusni gubici se smanjuju automatizacijom proizvodnih procesa i uvodjenjem kompjutera u upravljanju proizvodnim procesom.

Dva su pravca u razvoju i primeni kompjutera: razvoj i primena kompjutera u upravljanju mašinama, postrojenjima i procesima i razvoj i primena kompjutera u upravljanju poslovanjem kao širim procesom. Ova dva pravca su u proteklom periodu bila nezavisna u primeni. Međutim, u daljoj primeni kompjutera tendencije su u integraciji ova dva pravca. Integracijom ova dva pravca ostvaruje se automatizovani proizvodni sistem gde najveći broj upravljačkih aktivnosti čoveka izvršava mašina. Sa stepenom automatizacije proizvodnih procesa broj upravljača u horizontalnom nizu upravljačke piramide se smanjuje, pase smanjenje i broj eventualnih uzročnika zastoja u tom procesu. Više univerzalnih mašina zamenjuje jedna poluautomatska, automatska ili numerički upravljana mašina, a broj ljudi koji upravlja tim mašinama smanjuje se najmanje onoliko, koliko se smanjuje broj mašina.

Na sl. 1 dato je aproksimativno sma-



Sl. 1 - Aptoksimativni odnos nivoa automatizacije i efikasnosti upravljanja

njenje broja učesnika u upravljanju procesima proizvodnje i povećanje efikasnosti upravljanja izraženo dohotkom po upravljaču.

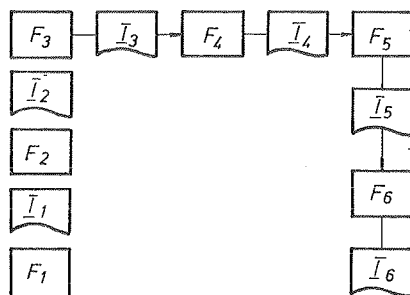
Smanjenjem broja upravljača u horizontalnom nizu piramide, smanjuje se i broj veza za koordinaciju, broj neusaglašenih upravljačkih aktivnosti a samim tim i obim potreba za koordinacijom, pa i broj nivoa koordinacije.

Ako se posmatra proces pripreme ili neki drugi proces poslovanja koji prati neki drugi proces poslovanja kao što su: kontrola kvaliteta, prodaja, održavanje, tehnologija, konstrukcija proizvoda ili neki drugi, automatizacija ima sličan uticaj na upravljačku piramidu tih procesa.

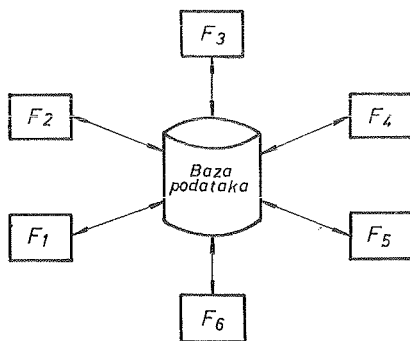
Pri kompjuterizaciji nekog procesa poslovanja smanjuje se broj učesnika u tom procesu što utiče na njegovu efikasnost isto kao i kod automatizacije procesa proizvodnje.

Proces automatizacije utiče na distribuciju upravljačkih uloga za jedan proces. Primenom kompjutera u procesima poslovanja omogućena je primena metoda poslovanja koje daju kvalitetnije osnove upravljačkim odlukama za regulisanje procesa. Pored toga sam informacioni sistem zasnovan na primeni kompjutera i sistem-analizi uključuje u sebe i ograničenja drugih - tangentnih procesa, pa donošenje odluke omogućava autonomno vođenje procesa, to jest visok stepen decentralizacije odlučivanja o nekom procesu i povećanu odgovornost. Dva su tehnička činioca u razvoju informacionih sistema za ovo posebno bitna, to su razvoj baze podataka i razvoj komunikacionog sistema.

Razvoj kompjuterske tehnologije i informacionih sistema i razvoj baze podataka omogućio je radikalnu transformaciju informacionih tokova koji definišu veze i odnose između pojedinih funkcija. Uzastopni tok informacija koji je karakterisao predkompjutersku eru i usavršavanjem doveden do visokog stepena racionalnosti, sada, u uslovima primene kompjutera, postaje neracionalan. Takav tip toka (sl. 2) sa prednostima lake organizovanosti i nedostatkom relativno velikog vremena trajanja kretanja informacija, zamenjuje se radijalnim tokom informacija (sl. 3). Nedostaci takvog toka informacija izraženi su složenom organizacijom a prednosti se ogledaju u kratkom toku informacije, direktnom pristupu i "slobodnom" raspolaganju informacija.



Sl. 2 - Uzastopni tok informacija



Sl. 3 - Radijalni tok informacija



### 3. Zaključak

Niska proizvodnost kod nas je uslovljena nizom faktora. Jedan broj faktora je u instrumentima šire društveno-političke zajednice a jedan u zainteresovanosti i ponašanju osnovnih organizacija koje raspolažu društvenim sredstvima. Proizvodnost treba uvesti kao objektivnu kategoriju za merenje kvaliteta upravljanja društvenim sredstvima i treba je uvesti kao osnovu za donošenje odluke o ulaganju u automatizaciju bilo proizvodnih kapaciteta bilo modernizaciju rada službi.

Sadašnji nivo organizacije proizvodnje, slaba kontrola uzročnika gubitaka od strane stručnih službi i kao posledica toga izgubljena vremena su brana za prodor nove tehnologije. Modernizaciju obradnih sistema treba da prati modernizacija upravljačkih sistema na svim nivoima upravljanja. Danas se u najrazvijenijim zemljama u automatizaciju upravljanja ulaže preko 30% od ukupnih investicija. Projekti modernizacije upravljanja procesima su ozbiljni poduhvati koji traže integraciju znanja stručnjaka iz privrede i naučnih radnika iz instituta i sa fakulteta.



Milan T. Tomašević<sup>x/</sup>

## AUTOMATSKA PODELA DUBINE REZANJA U AC-SISTEMU KOD ČEONOG GLOĐANJA

### R e z i m e

U slučajevima kada varijacija brzine rezanja ne daje zadovoljavajuće rezultate u optimizaciji energetsko-dinamičkog bilansa mašine, redukcija dubine rezanja ostaje tada jedino rešenje sa praktičnom primenljivošću.

U radu se iznose najosnovniji elementi strategije automatske podele dubine rezanja razvijene u okviru izvedenog DACC sistema upravljanja na primeru čeonog glođanja.

## AUTOMATISCHE SCHNITTAUFTEILUNG FUER DAS AC-SYSTEM BEI STIRNFRAESEN

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Sofern die Schnittgeschwindigkeitänderung nur einige begrenzte Optimierungsergebnisse an energie-dynamischen Verhalten von Werkzeugmaschine bietet, bleibt die Schnittiefereduzierung einzigste anwendbare Lösung.

In dieser Arbeit sind wichtigste Merkmale einer, zur automatische Schnittaufteilung entwickelte Strategie, dargestellt worden. Es handelt sich hier um einen DACC-System für das Stirnfräsen.

### 1. UVOD

Na današnjem stepenu tehnološkog razvitka alatne mašine karakteriše visok stepen automatizacije koji je, u domenu masovne i velikoserijske proizvodnje usmeren prvenstveno ka manipulaciji i obradi materijala, a u uslovima maloserijske i pojedinačne proizvodnje - ka obradi upravljačkih informacija. Robusni mašinski sistemi podređeni su fleksibilnim upravljačkim jedinicama oplemenjenim mogućnošću izvođenja aritmetičkih i logičkih informacija. Mi tako govorimo o numeričkom upravljanju, NC, čije više forme predstavljaju CNC ili DNC upravljanje, već prema nivou integracije procesnog kompjuterskog sistema.

Izvesno je da se ovim otvaraju nove mogućnosti u pogledu iskorišćenja raspoloživih performansi mašinskog sistema u svetlosti

brojnih, stalno promenljivih, parametara procesa koji se na njemu izvodi. Može se stoga, govoriti o takvom sistemu upravljanja koji bi stalnim praćenjem procesa, menjao njegove uticajne činioce, težeći ka potpunom ostvarenju željene funkcije cilja. Reč je o tzv. adaptivnom sistemu upravljanja, AC, čiju posebnu varijantu predstavlja tehnološki adaptivni sistem sa graničnim vrednostima koji ima za cilj održavanje apsolutne energetsko-dinamičke stabilnosti obradnog sistema u uslovima predhodnog / grubog/ rezanja, DACC / Dynamic Adaptive Control Constraint/.

### 2. POSTAVKE RAZVIJENOG SISTEMA

Radi se o varijanti DACC sistema kod kojeg

<sup>x/</sup> Dr.-Ing. Milan T. Tomašević, samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate IAMA docent Univerziteta, Beograd, ul. 27. Marta br. 80/E

se, kao primaran, postavlja zahtev za potpunim iskorišćenjem instalisane energetske osnove, uz dopunski uslov za stabilnim odvijanjem obradnog procesa. Granično iskorišćenje odgovarajućeg obrtnog momenta postiže se varijacijom brzine pomoćnog kretanja unutar zadatih granica koje određuju ekonomska postojanost korišćenog alata i tehnološkičnost mašinskog vremena obrade /1/.

Stabilno glodanje održava se prvenstveno varijacijom brzine rezanja /2/, a ukoliko ova ne daje potpune efekte - promenom poprečnog preseka strugotine, odnosno, redukcijom dubine rezanja, što se u radu posebno posmatra. Dok se iskorišćavanje pogonske snage predviđa isključivo u radnim hodovima, sva pozicioniranja se izvode u brzom, tj. maksimalno raspoloživom hodu.

Praćenje stanja procesa povereno je posebnoj senzorsko-regulacionoj periferiji koja u odgovarajućim situacijama procesnom računaru prosledjuje alarme, kao što su:

- PODRHTAVANJE - u trenutku nastanka pojave samopobudnog oscilovanja,
- DODIR - u trenutku nastanka fizičkog kontakta alata sa radnim predmetom,
- PRAZAN HOD - u trenutku izlaza sečiva alata iz materijala,
- SZMIN - u trenutku prekoračenja donje-, i
- SZMAX - u trenutku prekoračenja gornje, hardverom zadate granične vrednosti jediničnog koraka, odnosno, brzine pomoćnog kretanja,
- GOTOVO - u trenutku postizanja koincidencije zadatog i ostvarenog pozicioniranja.

Detaljan opis procesne periferije i razvijenog AC hardvera dat je u /1/ i /3/.

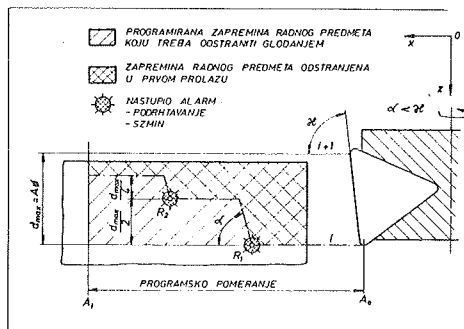
### 3. STRATEGIJA PODELE DUBINE

Usvojena strategija promene dubine rezanja predviđa njenu redukciju po geometrijskoj progresiji, sa korakom redukcije 1/2. Polazna dubina rezanja, definisana kao parametar obrade zavisna od korišćenog alata, ujedno je njena najveća vrednost, dok je najmanja utvrđena drugim stepenom redukcije i iznosi:  $d_{min} = 0.25 d_{max}$ , sl. 1.

Polazne ravni rezanja /"i"/ uslovno su nazvane ravnima primarne redukcije. Do njih se dolazi bilo programskim putem /ukoliko nam je poznata "z" kontura radnog predmeta/, bilo automatskim postupkom sagledavanja nepoznate konture /koji se ovde podedno navodi/.

†† granicama između dve ravni primarne re-

dukcije dubine rezanja mogu se, dakle, obrazovati najviše dve ravni sekundarne redukcije.

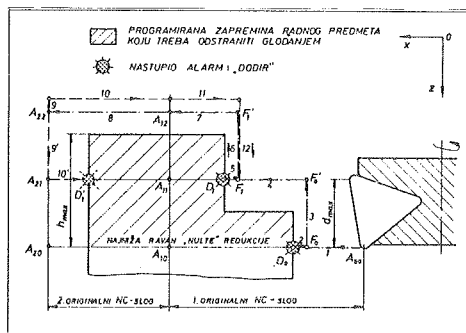


Sl. 1 Strategija podele dubine rezanja

je, kao odgovor upravljačkog softvera na nastale alarme SZMIN i/ili PODRHTAVANJE. Prelazak na novu ravan primarne redukcije moguć je samo nakon obrade svih, na njoj naknadno, generisanih ravni sekundarne redukcije dubine rezanja.

### 4. SAGLEDAVANJE NEPOZNATE KONTURE

Za slučaj obrade radnog predmeta sa nepoznatom konturom, odnosno, njegovim položajem u odnosu na alat, softverski je predviđen postupak predhodnog "sagledavanja". Osnovna ideja koncepcije vidljiva je na sl. 2, dok su egzaktni koraci prikazani u primeru datom u prilogu.



Sl. 2 Postupak "sagledavanja" konture

Važno je ovde istaći da se originalni NC slogovi izvršenom sistemu ne saopštavaju kao klasični "kruti" slogovi, već kao fleksibilni AC slogovi koji se, već prema potrebi, mogu modifikovati. Zaista, povod za takve promene biće nailazak alarma DODIR i GOTOVO, dok će svi ostali alarmi u ovom ciklusu biti programski ignorisani.

Sa svakim nastankom alarma DODIR sistem će generisati nove NC i AC slogove koji će izvo-

ditu funkciju sagledavanja konture po usvojenoj shemi. Tehnološki parametri slogova ovde su predhodno programirani, dok se geometrijski podaci kretanja automatski određuju.

Dovodjenje radnog predmeta u položaj prema alatu za neposredan početak rezanja vrši se u funkciji predhodno programiranog zahteva da li se rezanja odvija samo u radnom, ili u radnom i povratnom hodu. U oba slučaja sistem generiše ključne tačke sagledane i programirane konture.

## 5. ADAPTIVNO GLODANJE

Softverska blokada skinuta je ovde, načelno, sa svih AC alarma, mada se određene kombinacije njihovog nastupa međusobno isključuju. Tako npr. na ravnima primarne redukcije dubine rezanja blokiran je alarm SZMAX, dok je na ravnima sekundarne redukcije blokiran alarm PRAZAN HOD. Bez obzira na isti efekat oba alarma, ovim je ostvaren postupak obrade materijala po "spratovima". Po alarmu SZMAX uobičajeno se izvode dva pomoćna i povratna kretanja, dok se nakon alarma PRAZAN HOD najčešće nastavlja kretanja u radnom hodu.

Strategija upravljanja principijelno je ilustrovana na sl. 3, dok su detalji potpuno objašnjeni na primeru u prilogu.

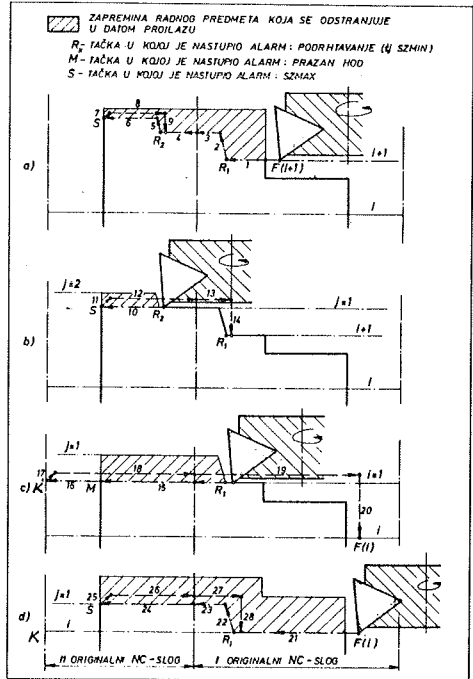
Započinjući najpre obradu "najvišeg nivoa" primarne redukcije dubine rezanja, simuliran je na sl. -a dvostruki nailazak alarma PODRH-TAVANJE /identično bi bilo i sa alarmom SZMIN!/. Redukcioni slogovi /2 i 5/ izvode se kao "kruti" NC slogovi, dok se radni slogovi /1,3,4 i 6/ izvode kao fleksibilni AC slogovi. Redukcioni slogovi se izvode pod uglom  $\alpha$  koji garantuje neprekidno rezanje. Karakteristični geometrijski i tehnološki parametri dati su u izvornom NC programu.

U svakom AC slogu brzina pomoćnog kretanja je regulisana analogno-digitalnim regulatorom momenta koji održava njegovu programiranu vrednost konstantnom u svim fazama rezanja. Njegovim radom rukovode sekcije za odašiljanje alarma DODIR, tj. PRAZAN HOD.

Reagovanje upravljačkog softvera na nastali alarm SZMIN /do njega dolazi u uslovima stabilnog rezanja!/ identično je njegovom reagovanju na nastali alarm PODRH-TAVANJE.

"Dolaskom" glodačke glave u tačku S emituje se alarm SZMAX posle čega će upravljački program automatski generisati povratne slogove i to: 7. i 8. - kao klasične NC slogove, a 9. - kao AC slog sa dopuštenim alarmom DODIR.

Glodačka glava sada je u tački  $R_j$  / $j = 2$ /, na mestu gde je poslednji put izvedena sekundarna redukcija dubine rezanja. Dalji postupak obrade je potpuno identičan sa predhodnim i sastoji se u stupnjevitoy obradi sekundarnih nivoa.



Sl. 3 Redukcija dubine pri AC glodanju

Karakterističan je slučaj obrade na "i"-toj ravni primarne redukcije. Na njoj je softverskim putem blokiran alarm SZMAX koji predhodi alarmu PRAZAN HOD, tačka M. Prijemom alarma PRAZAN HOD generiše se ostatak sloga i isti izvodi u brzom hodu sa dopuštenim alarmom DODIR. Ovim je alat zaštićen od ev. nailaska materijala na putu ka krajnjoj tački  $K'$ . U slučaju nastalog kontakta aktivirao bi se regulator momenta i dalje nastavilo AC glodanje po već opisanom šablonu.

Postizanjem koicidencije u tački  $K'$ , sl. -c, obrada na datoj ravni primarne redukcije je u celosti završena, pa valja preći na sledeću - nižu. To se može postići ili onako kako je prikazano na sl. -d, ili pak, direktnim spuštanjem u tačku  $K$  - u slučaju da je programski traženo glodanje u radnom i u povratnom hodu. U svakom slučaju, dalji postupak se ponavlja po već ustaljenom klišeu.

Specifičnost razvijene strategije najbolje ilustriuje hipotetički slučaj obrade naveden u prilogu: reakcija AC softvera na zadate NC zahteve u uslovima simulirane dinamike procesa.

6. ZAKLJUČAK

Respektujući izneto sa sigurnošću se mogu istaći kvalitativne prednosti razvijene strategije automatske podele dubine rezanja kojima ova čini AC glodanje racionalnijim u odnosu na konvencionalno:

- višestruko smanjen obim programiranja, pošto se zadaje samo kontura gotovog dela,
- značajno skraćanje pomoćnih vremena, pošto se eliminišu sigurnosni zahtevi prisutni u klasičnom pristupu,
- racionalniji tehnološki režimi rezanja, pošto su otklonjene nepoznanice koje zahtevaju predimenzionisanje,
- maksimalno moguće iskorišćenje raspoložive snage mašine uz istovremenu zaštitu vitalnih organa od preopterećenja.

Sa veoma racionalnom izradjenom strukturom AC softver se čini sposobnim da u potpunosti

ti zadovolji očekivane zahteve iz prakse. Elementi višestrukog obezbedjenja daju mu potrebnu sigurnost, a modularni način gradnje - lako održavanje i nadgradnju.

7. LITERATURA

- 1/ Tomašević, M., Prilog ispitivanju varijacije dinamičkih veza mašine i procesa glodanja sa mogućnošću uvođenja adaptivnog upravljanja, Disertacija, Mašinski fakultet, Beograd /1976/.
- 2/ Tomašević, M., Šolaja, V., Stabilizacija obradnog sistema glodalice varijacijom brzine rezanja u okviru jednog DNC-DAC sistema, Zbornik objav XII Posvetovanja proizvodnoga strojništva, Maribor /1978/.
- 3/ Tomašević, M., Optimizacija dinamičko-energetskog bilansa na alatnim mašinama za obradu rezanjem, Saopštenja 5. Savelotovanja o energiji, Opatija /1983/.

8. PRILOG

S I E H E H S P R O S A - 3 0 0 D A T U M I					S I E H E H S P R O S A - 3 0 0 D A T U M I				
NORM 300	E-AUT 45	304/5+125/7*	0. 0. 0.	-RL 2-	NORM 300	E-AUT 45	304/5+125/7*	0. 0. 0.	-RL 3-
MA-BIBL.: HABI	UP-BIBL.: UPBI	SZI	PROSA-DATEI:	ABSCNITTI PHEI:	MA-BIBL.: HABI	UP-BIBL.: UPBI	SZI	PROSA-DATEI: HIL	ABSCNITTI: D310 PHEI:
1*					64*				
2*					65*	46 00056	PZ1	DL 300	*Z-KOD, ALARMA/0,01MM/
3*					66*	47 00057		DZ 300	
4*					67*	48 00060		DZ 300	
5*					68*	49 00061 A	0	NOP 0	
6*					69*	50 00062 A	0	NOP 0	
7*					70*				
8*					71*	51 00065	PX2	DZ 2000	X-KOD, ALARMA/0,01MM/
9*	0 00000 A	0 START	NOP 0	*ZADATI AC-SL000VI	72*	52 00064		DZ 2000	
10*					73*	53 00065		DZ 2000	
11*	1 00001	KPUT	DZ 3000	*X-POMERANJE /0,01MM/	74*	54 00066 A	0	NOP 0	
12*	2 00002		DZ 3050		75*	55 00067 A	0	NOP 0	
13*	3 00003		DZ 3000		76*				
14*	4 00004 A	0	NOP 0		77*	56 00070	PY2	DZ 0	*Y-KOD, ALARMA/0,01MM/
15*	5 00005 A	0	NOP 0		78*	57 00071		DZ 0	
16*					79*	58 00072		DZ 0	
17*	6 00006	YPUT	DZ 0	*Y-POMERANJE /0,01MM/	80*	59 00073 A	0	NOP 0	
18*	7 00007		DZ 0		81*	60 00074 A	0	NOP 0	
19*	8 00010		DZ 0		82*				
20*	9 00011 A	0	NOP 0		83*				
21*	10 00012 A	0	NOP 0		84*				
22*					85*	61 00075	ALARMI	BM 1	*BODIR
23*	11 00013	KORAK	DZ 1000	*BRI, POH, KR. /MM/MIN	86*	62 00076		BM 000001	*GOTOVO
24*	12 00014		DZ 1000		87*	63 00077		BM 000001	*GOTOVO
25*	13 00015		DZ 1000		88*	64 00100		BM 000001	*GOTOVO
26*	14 00016 A	0	NOP 0		89*	65 00101		BM 1	*BODIR
27*	15 00017 A	0	NOP 0		90*	66 00102		BM 000001	*GOTOVO
28*					91*	67 00103		BM 000001	*GOTOVO
29*	16 00020	HFXC	BM 000000000011		92*	68 00104		BM 000001	*GOTOVO
30*	17 00021		BM 000000000011		93*	69 00105		BM 000001	*GOTOVO
31*	18 00022		BM 000000100011		94*	70 00106		BM 000001	*GOTOVO
32*	19 00023 A	0	NOP 0		95*	71 00107		BM 1	*BODIR
33*	20 00024 A	0	NOP 0		96*	72 00110		BM 01	*PODRHTAYANJE
34*					97*	73 00111		BM 000001	*GOTOVO
35*	21 00025	DIM	DZ 1700	*Z-DIM, KONI, /0,01MM/	98*	74 00112		BM 000001	*GOTOVO
36*	22 00026		DZ 1700		99*	75 00113		BM 000001	*SZMAX
37*	23 00027		DZ 1700		100*	76 00114		BM 000001	*GOTOVO
38*	24 00030 A	0	NOP 0		101*	77 00115		BM 000001	*GOTOVO
39*	25 00031 A	0	NOP 0		102*	78 00115		BM 000001	*GOTOVO
40*					103*	79 00117		BM 000001	*GOTOVO
41*	26 00032	DUB	DZ 1000	*DUBINA REZ. /0,01MM/	104*	80 00120		BM 000001	*GOTOVO
42*	27 00033		DZ 1000		105*	81 00121		BM 000001	*GOTOVO HOD
43*	28 00034		DZ 1000		106*	82 00122		BM 000001	*GOTOVO
44*	29 00035 A	0	NOP 0		107*	83 00123		BM 000001	*GOTOVO
45*	30 00036 A	0	NOP 0		108*	84 00124		BM 000001	*GOTOVO
46*					109*	85 00125		BM 000001	*GOTOVO
47*	31 00037	ALFA	DZ 45	*UQAO RED, DUB, REZ. /0/	110*	86 00126		BM 01	*PODRHTAYANJE
48*	32 00040		DZ 45		111*	87 00127		BM 000001	*GOTOVO
49*	33 00041		DZ 45		112*	88 00130		BM 000001	*GOTOVO
50*	34 00042 A	0	NOP 0		113*	89 00131		BM 01	*PODRHTAYANJE
51*	35 00043 A	0	NOP 0		114*	90 00132		BM 000001	*GOTOVO
52*					115*	91 00133		BM 000001	*GOTOVO
53*	36 00044	PX1	DZ 1000	*X-KOD, ALARMA/0,01MM/	116*	92 00134		BM 0001	*SZMAX
54*	37 00045		DZ 1000		117*	93 00135		BM 000001	*GOTOVO
55*	38 00046		DZ 1000		118*	94 00136		BM 000001	*GOTOVO
56*	39 00047 A	0	NOP 0		119*	95 00137		BM 000001	*GOTOVO
57*	40 00050 A	0	NOP 0		120*	96 00140		BM 000001	*GOTOVO
58*					121*	97 00141		BM 000001	*GOTOVO
59*	41 00051	PY1	DZ 0	*Y-KOD, ALARMA/0,01MM/	122*	98 00142		BM 0001	*SZMAX
60*	42 00052		DZ 0		123*	99 00143		BM 000001	*GOTOVO
61*	43 00053		DZ 0		124*	100 00144		BM 000001	*GOTOVO
62*	44 00054 A	0	NOP 0		125*	101 00145		BM 000001	*GOTOVO
63*	45 00055 A	0	NOP 0		126*	102 00146		BM 000001	*GOTOVO







Ljubomir Jurić\*

Jure Benić\*\*

POSTOJANOST TROŠENJA KRUŽNIH NOŽEVA ZA  
REZANJE SALONITA U ZAVISNOSTI O MATERIJALU I GEOMETRIJI ALATA

R e z i m e

Ovaj rad obuhvaća proučavanje literature iz područja problematike rezanja i svojstava salonita, mjerenja potrebnih veličina u svrhu određivanja postojanosti trošenja kružnih noževa za rezanje svježeg lista salonita kao i obradu rezultata. Pokusi su provedeni dijelom u pogonskim uvjetima, a dijelom u laboratoriju. Tretirana su tri tipa kružnih noževa i to: tip I, nož od brzoreznog čelika Č.7680, tip II, nož od Č.4230 s nanosom volframovih karbida, tip III, nož od brzoreznog čelika Č.7680 tvrdo kromiran. Dobiveni rezultati upućuju na primjenu noža tipa III s potrebom daljnjeg ispitivanja ponašanja u radu.

DEPENDENCE OF WEAR OF CIRCULAR CUTTING TOOLS FOR  
ASBESTOS-CEMENT PLATES ON MATERIAL AND GEOMETRY OF TOOL

S u m m a r y

This paper gives review of literature concerning cutting and properties of asbestos-cement plates and measuring of proper parameters for determination of wear of circular tools for cutting fresh asbestos-cement foils, and analysis of results, too. The experiments were performed in the shop and laboratory conditions. Three kinds of cutting tools were examined: No 1, high speed cutting steel Č.7680 /JUS/, No 2, from steel Č.4230 with wolfram carbide layer on the surface, and No 3 high speed cutting steel Č.7680 with hard chromium surface. The results of analysis and experiments indicate usefulness of use cutting tool No 3, with necessity of further investigation of its performances in the shop.

1. UVOD

1.1. Opravdanost ispitivanja postojanosti trošenja kružnih noževa

Životnost problema iskazuje se u njegovoj uklopljenosti u sadašnji trenutak. Naime, materijal noža je brzo rezni čelik, s čijom nabavom se mogu očekivati već u skorjoj budućnosti problemi, te se iznalaženje alternativnih rješenja za izbor materijala noža

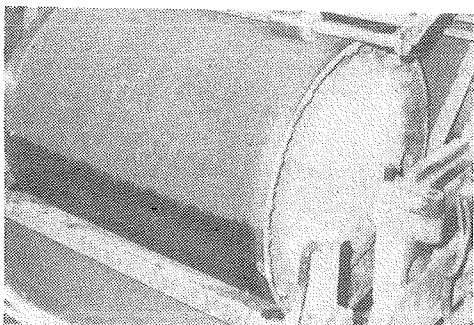
već sada nameću kao nužnost. Izbor brzoreznog čelika za materijal noža posljedica je ugradnje uvoznog postr-ojenja, pa će se u ovom radu pokušati dobiti potrebni argumenti za izbor alternativnog rješenja.

Uz materijal od kojeg je izradjen, kružni nož posjeduje i određenu geometriju. Tehnološka i konstrukciona

\*Ljubomir Jurić, mr, asistent Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, Rudjera Boškovića b.b.

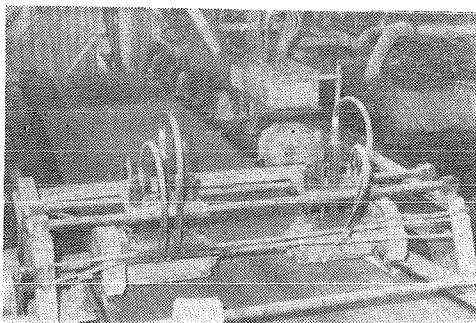
\*\*Jure Benić, tehnolog za alat, RO Tvornica salonita "Antiša Vučićić", Vranjica,

uvjetovanost ograničava mogućnosti variranja dimenzija i oblika noža. Razvojni put rješavanja problema rezanja svježeg lista i zapažanja u praksi, dali su saznanja kojima se danas služimo kao putokazom i smjernicama u daljnjem rješavanju ovog problema. Prvi oblik kružnog noža (uvoznog) za rezanje svježeg lista je puni kružni nož. U odnosu na ravni omogućavao je kontinuirano rezanje. Razvojem rješenja odrezivanja, kod suvremenih strojeva na bubnju je usvojeno rezanje češljastim noževima, sl. 1.1.



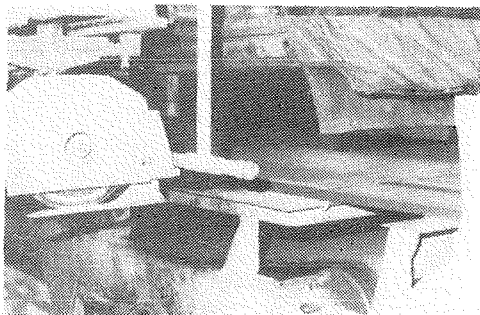
Sl. 1.1. Namatanje svježeg lista salonita na formatni valjak i rezanje češljastim nožem.

Uzdužno i poprečno rezanje svježeg lista vrši se na radnom stolu - traci, na koju svježi list dolazi po silasku s bubnja, sl. 1.2.



Sl. 1.2. Uzdužno i poprečno odrezivanje svježeg lista pomoću kružnih noževa

Pri tome se uzdužno odrezivanje obavlja bez potrebe za zaustavljanjem transportne trake, dok se poprečno odrezivanje mora izvršiti pri mirovanju svježeg lista, sl. 1.3.



Sl. 1.3. Detalj noža za poprečno odrezivanje svježeg lista

Kako je zaustavljanje lista potrebno radi njegovog polaganja na kalup i slaganja u stogove, isto se koristi i za poprečno odrezivanje. Sve to mora biti završeno u periodu namatanja slijedećeg svježeg lista na formatnom valjku, tj. u taktnom vremenu proizvodne linije, tj. u trajanju od 45 s. Zbog prirode tehnološkog procesa, generalno čišćenje postrojenja obavlja se svakih 10 dana, pa je poželjno da se tom prigodom izvrše i eventualne izmjene kružnih noževa. Ubrzo nakon probnog rada tome je udovoljeno ugradnjom nazubljenog kružnog noža (domaćeg) umjesto punog (uvoznog).

#### 1.2. Svježi list salonita i sposobnost obrade

Salonit je zapravo materijal u kojem su azbestna vlakna povezana stvrdnutim kristalohidratima u monolitnu cjelinu. To nije samo smjesa azbesta i cementa. Zbog složenosti odnosa u kojima se oni u salonitu nalaze, riječ je o novom materijalu posebnih svojstava, |1|, |2|.

Svježiji list je međufaza u nastajanju gotovog proizvoda. Njegovo stvarnjavanje, tj. povećanje čvrstoće do konačnih vrijednosti u gotovom proizvodu, rezultat je procesa hidratacije cementa u salonitu. Za ovaj proces potrebna je voda u porama svježeg lista, a povišena temperatura ubrzava ovaj proces.

Sposobnost obrade je najsloženija tehnološka osobina. Za razliku od ostalih u tehnici jasno definiranih pojmova, fizikalne, mehaničke, kemijske i električke osobine materijala, ovdje imamo posla s veoma mnogo utjecajnih faktora [3], [4].

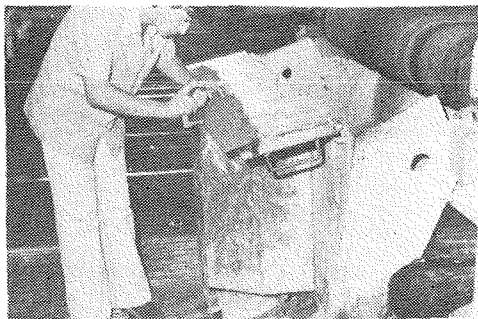
Stoga je veoma teško definirati sposobnost obrade. Što se tiče metala i nekih nemetalnih materijala (drvo, kamen, plastika) u tehničkim priručnicima nadju se podaci za rezanje. S obzirom da je salonit specifičan materijal, koji s aspekta nauke o rezanju nije u literaturi (koliko nam je poznato) tretiran, možemo na temelju iskustva naglasiti da je s aspekta obradivosti najveći problem abrazivnost, posebno u fazi važnog svježeg lista. Stoga standardni kriteriji [3] mogu se samo djelomično primijeniti.

## 2. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

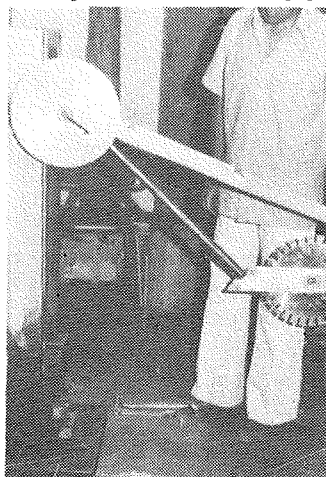
### 2.1. Rezultati pokusa i način mjerenja

Prvi dio pokusa izvršen je u eksploatacionim uvjetima, praćenjem promjena na prerezu. Kao kriterij uzeta je veličina srha u zavisnosti o prereznoj dužini. Podaci o srhu uzimani su jednom dnevno neposrednim mjerenjem na svježem listu svakih 200 mm po dužini prereza prema sl. 2.1., a dnevno prerezana dužina uzeta je iz dnevnika rada, kojeg vode vodje smjena. Drugi dio pokusa izvršen je u laboratoriju Zavoda za strojarsku teh-

nologiju FESB-e u Splitu. U tu svrhu korišten je modificirani Charpy-bat u svrhu odredjivanja promjene na oštreci noža, prolazom kroz konsistentni materijal, prema sl. 2.2.

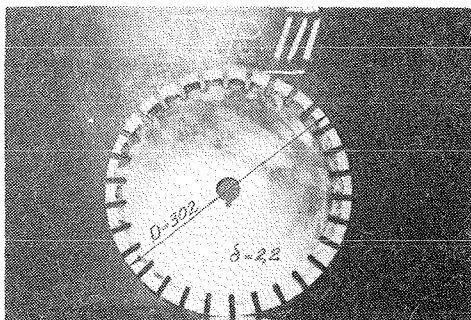


Sl. 2.1. Mjerenje veličine srha pomičnim mjerilom s papuščicama

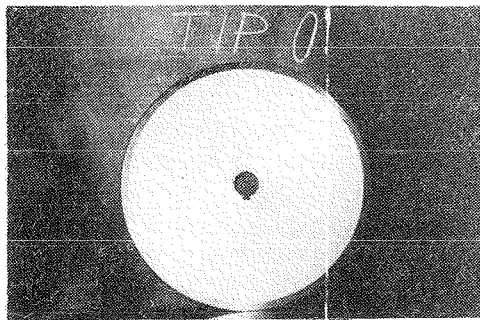


Sl. 2.2. Mjerenje izlaznog kuta klatna na modificiranom Charpy-batu

Kao kriterij uzet je izlazni kut klatna, uz konstantni početni kut. U svrhu što pouzdanijeg odredjivanja srednje vrijednosti izlaznog kuta, mjerenje je ponavljano 10 puta s jednim te istim nožem. Oba dijela gore spomenutih pokusa izvršena su sa tri spomenuta tipa noževa, prema slijedećim slikama:



Sl. 2.3. Nož od Č.7680 tvrdo kromiran po obodu, istog izgleda kao i tip I i II



Sl. 2.4. Nož tipa 0 od brzoreznog čelika, bez zubača po obodu (wikat iz probnog rada 1974)

### 3. REZULTATI STATISTIČKE OBRADJE

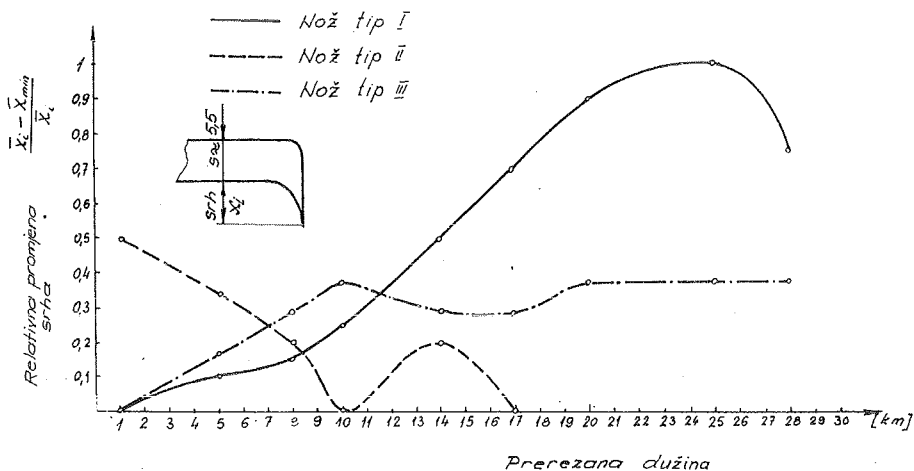
Zbog ograničenog prostora, tabelarni pregled rezultata kao i dijagramski prikazi ovdje su izostavljeni, već je u nastavku dat samo dijagramski prikaz rezultata dobivenih analizom varijance, odnosno na temelju analize aritmetičkih sredina, sl. 3.1. [5], [6].

### 4. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih mjerenja i statističke obrade rezultata prvog dijela pokusa, možemo donijeti slijedeći zaključak:

Unutar perioda između zamjene jedne garniture noževa drugom (period od 10 dana, tj. između dvaju čišćenja postrojenja), ustanovljeno je da pri normalnim eksploatacionim uvjetima:

- nož tipa I od Č.7680 istroši se u tolikoj mjeri da je poželjno izvršiti oštrenje,
- nož tipa II od Č.4230 s nanosom volframovih karbida u prvim km preza pokazuje tendenciju smanjivanja srha, vjerojatno zbog gubitka gornjih slojeva nanosa,



Sl. 3.1. Dijagramski prikaz relativne promjene srha u zavisnosti o prereznoj dužini, dobiven na temelju analize aritmetičkih sredina

- nož tipa III od č.7680 tvrdo kromiran, pokazuje u prvim km prereza tendenciju porasta srha, a s porastom prerezane dužine, daje konstantnu veličinu srha i gladak prerez. Tek nakon 60 km prereza ustanovljeno je da se sloj tvrdog kroma cca 0,01 mm već istrošio, a nož je praktično u nastavku radio kao nož tipa I.

Drugi dio pokusa izvršen je na modificiranom Charpy-batu s tjestastom epruvetom od staklarskog kita, tj. bez prisustva vlakana azbesta koja prigodom stvarnog rezanja zahtijevaju oštrije bridove na prorezima i obodu zubaca noža. Stoga bi ovu probu na analogan način bilo uputno izvršiti s epruvetom od realnog salonita, što je u ovom radu bilo nemoguće zbog dislokacije laboratorija s Charpy-batom u odnosu na tvornicu salonita, te bi već pri transportu epruvete došlo sigurno do izrazite promjene svojstva svježeg salonita (sušenje).

Naime, kod ove probe vjerojatno se radi o prilagodjavanju reznog dijela noža formi geometrije koja lakše prolazi kroz konsistentni materijal. Ovo je posljedica izrazitog abrazivnog djelovanja salonita na rezni dio

noža od brzoreznog čelika, što je manje izraženo kod noževa tipa II i III čije su površine dodatnom obradom postale otpornije upravo na abraziju (habanje). Konačno se može zaključiti da je ovaj rad samo konstatirao potrebu daljnjih ispitivanja, jer svako produljenje vijeka trajanja noža donosi veliku korist tvornici. Daljnja ispitivanja trebalo bi usmjeriti na nastavak rada s nožem tipa III (tvrdo kromiran), u cilju odredjivanja optimalnog sloja tvrdog kroma. Svakako, bilo bi poželjno u tom slučaju ispitati i tvrdo kromiran nož od jeftinijeg alatnog čelika, eventualno od čelika za poboljšanje.

#### LITERATURA

- [1] P.N.Sokolov: "Tehnologija asbestocementnih izdjelij", Izdateljstvo lit. po stroiteljstvu, Moskva 1968.
- [2] V.A.Vojevodskij: "Mašini i oborudovanije dlja proizvodstva asbestocementnih izdjelij", Mašinostroeniye, Moskva 1973.
- [3] R. Zdenković: "Obrada metala skidanjem", FSB, Zagreb 1965.
- [4] P. Stanković: "Mašinska obrada I", Gradjevinska knjiga, Beograd 1971.
- [5] I. Pavlić: "Statistička teorija i primjena", Tehnička knjiga, Zgb 71.
- [6] I. Jurić: "Problematika trošenja kružnih noževa za rezanje svježeg salonita", diplomski rad na FESB-u, Split 1983.



### **III - OBRADA DEFORMISANJEM**





Binko Musafia \*)

## GRANIČNA DEFORMABILNOST

### R e z i m e

Istraživanja dimenzionalno konfigurativnih odnosa izvučenih dijelova kao i deformacionih sila, radnih napona, oblika alata i graničnog stepena deformacije, u funkciji od parametara materijala i procesa osnosimetričnog izvlačenja i dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida, pokazuju usaglašenost postignutih teoretskih i eksperimentalnih rezultata. Optimizacija procesa postiže se paralelnim određivanjem graničnih mogućnosti preoblikovanja u uslovima minimiziranih radnih napona.

## GRENZEN DER VERFORMBARKEIT

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Untersuchungen bezüglich Dimensionen und Formen der Ziehstücke, sowie der Verformungskräfte, Arbeitsspannungen, Werkzeugformen und Grenzverformungsgrad in der Funktion der Werkstoff und Prozessparameter beim Drahtziehen und Tiefziehen mit Abstrecken, zeigt eine Annäherung theoretischer und experimentaler Ergebnisse. Ein Prozessoptimum wird derzeit durch parallele Ermittlung der Verformbarkeit - Grenzstufe unter Bedingung minimaler Arbeitspannungen erreicht.

### I. U v o d

Ispitivanje graničnih mogućnosti preoblikovanja uključuje kategoriju racionalne proizvodnje po fizičkom konceptu realizacije kvalitetnih uzoraka ostvarenih sa graničnim stepenom deformacije [1]. Odmah se konstatuje da je nužna egzistencija međuzavisnosti komponenta tenzora defor-

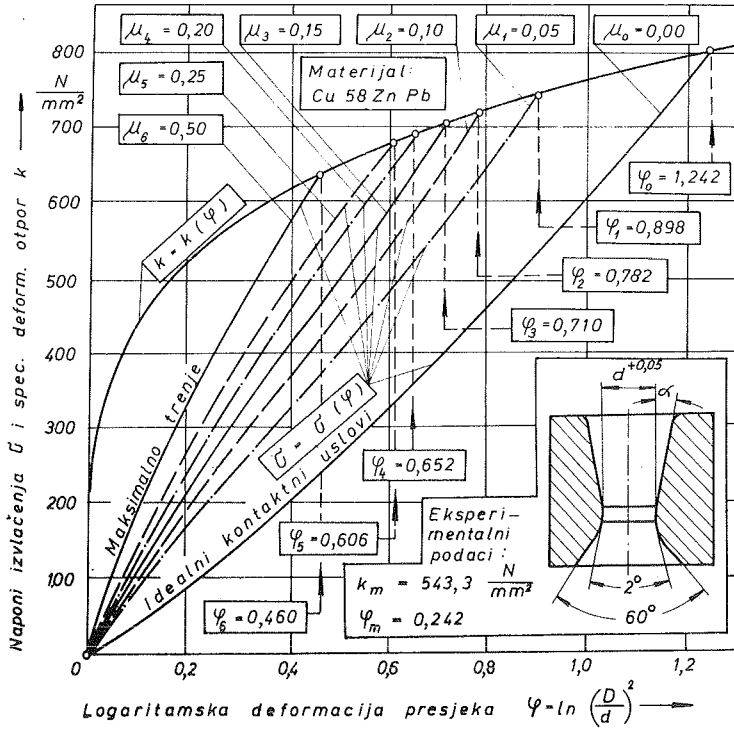
macije  $(\epsilon_{ij} \dots \epsilon_{km})$  od kontravarijantnih koordinata dotične tačke  $(x^i \dots x^m)$ , data sistemom diferencijalnih jednačina:

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{ij}}{\partial x^k \partial x^m} + \frac{\partial^2 \epsilon_{km}}{\partial x^i \partial x^j} - \frac{\partial^2 \epsilon_{ik}}{\partial x^j \partial x^m} - \frac{\partial^2 \epsilon_{jm}}{\partial x^i \partial x^k} = 0 \quad (1)$$

\*) Dr Binko Musafia, dipl.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu, 71000 Sarajevo, Omladinsko šetalište bb.

Predložene jednačine kompatibilnosti deformacija (1) predstavljaju kontinualni sistem, izgrađen bez eventualnih prskotina, što je kod analize granične deformabilnosti od posebnog značaja.

Na osnovu eksperimentalnih podataka mešinginga za presovanje, može se dati eksplisita interpretacija ove postavke u obliku [3]:



Sl.1 Granične mogućnosti preoblikovanja procesa izvlačenja osnosimetričnih profila

2. Fizički koncept

Ekvivalentni napon pod pretpostavkom identiteta funkcije radnog i deformacionog očvršćavanja, u uslovima tehnološke primjene identičan je specifičnom deformacionom otporu i zavisi od intenzivnosti priraštaja deformacija [2].

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_i &= F \left( \int \bar{\sigma}_{ij} d\epsilon_{ij} \right) = f \left( \int d\epsilon_i \right) \\ &\equiv k(\psi) = 765,869 \psi^{0,264} \text{ [N/mm}^2 \text{]} \quad (2) \end{aligned}$$

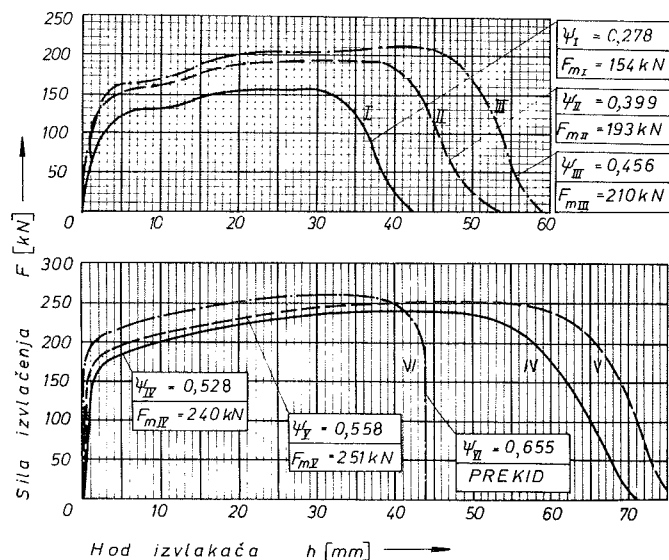
Stabilnost procesa plastične obrade u zatvorenom ciklusu opterećenja i elastičnog ras-terećenja (do stanja  $\bar{\sigma}_{ij}^0$  unutar hiperpovr-

šine opterećenja) limitirana je postulatom D.C.Druckera [4]:

$$\oint (\sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0) d\epsilon_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

Narušavanje stabilnosti procesa ima za posljedicu bifurkaciju ravnotežnog stanja sa lokalizacijom i lomom pa nejednačina (3)

Analogno je po A.Gelejju [5] optimalni ugao izvlačenja diktiran ekstremom (minimumom) funkcije napona izvlačenja. Očito je da su ključne veličine optimiranog procesa direktno zavisne od mehaničkih pokazatelja materijala vezanih uz fenomen gubitka stabilnosti ( $\varphi_m$ ) i tribološke konstelacije procesa (iz-



Sl.2 Indikatorski dijagrami procesa dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida

uključuje i fizički kriterij granične deformabilnosti.

### 3. Granična stanja

Analički pristup graničnoj deformabilnosti izvlačenja osnosimetričnih profila (sl.1) baziran je na egalitetu napona izvlačenja i moći nošenja u zoni prenosa sile. Minimizirani proizvodni ciklus rezultira graničnim stepenom logaritamske deformacije:

$$\varphi_g = F(\varphi_m, \mu) = 1 + \varphi_m + \frac{4}{3} \mu - 2 \sqrt{\frac{2}{3} \mu (1 + \varphi_m) + \frac{2}{3} \mu} \quad (1)$$

ražene uslovnim koeficijentom kontaktnog trenja  $\mu$ ).

### 4. Ekstremale

Po drugom ekstremalnom principu napon procesa dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida u izlaznom presjeku zone deformacije dobiva se minimizacijom funkcije [6]:

$$G = \frac{2}{\sqrt{3}} k \left[ \frac{\lambda}{2} \left( \frac{1}{\sin^2 \varphi} + \frac{1 - \psi}{\sin^2 \theta} \right) + \mu \left( \frac{\lambda \psi}{\sin^2 \alpha} + \frac{\psi^2}{1 - \psi} \operatorname{ctg} \alpha \right) \right]_{\min} \quad (5)$$

Kod određene stepena deformacije ( $\psi$ ), pri radu sa optimalnim uglom izvlačenja ( $\alpha = \alpha_{opt}$ ), pomoćni ugao prekidnog polja ( $\varphi$ ) i korelacioni faktor procesa ( $\lambda$ ) zavise od varijabilnog ugla kinematskog polja ( $\theta$ ):

$$\left. \begin{aligned} \text{ctg } \varphi &= \psi \text{ctg } \alpha - (1 - \psi) \text{ctg } \theta \\ \lambda &= \frac{1}{1 - \psi} \frac{1}{\text{ctg } \alpha - \text{ctg } \theta} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

U najpovoljnijim kontaktnim uslovima idealno plastičnog materijala, pri optimalnom uglu kinematskog polja odstupanje napona izvlačenja (5) od teorijske vrijednosti iznosi 1,8% [8].

### 5. Eksperimenti

Snimljeni indikatorski dijagrami (sl.2) sa probnim uzrocima od čelika Č.1220, pokazuju da su maksimumi probnih sila, sve do deformacije razaranja ( $\psi_{\bar{u}} = 0,655$ ), monotono rastuće funkcije stepena deformacije [7]. Teorijska vrijednost graničnog stepena deformacije iznosi  $\psi_f = 0,593$ , dok rezultati eksperimentalnih istraživanja pokazuju nešto umanjenu vrijednost granične deformabilnosti  $\psi_e = 0,567$  (sa procentualnim odstupanjem od 4,5%), što znači da teorijske i eksperimentalne vrijednosti padaju u interval između pete i šeste probe ( $0,558 < \psi_f < 0,655$ ). Minimizacija energetskog bilansa procesa postignuta je radom sa optimalnim uglom izvlačenja. Uz fosfatirane probne uzorke, sa poliranim radnim površinama alata i uz aktivno emulziono podmazivanje obezbijedjeni su povoljni kontaktni uslovi (eksperimentalna vrijednost koeficijenta kontaktnog trenja  $\mu = 0,05$ ). Treba istaći da i fenomen hladnog očvršćavanja probnog materijala utiče na povećanje

granične deformabilnosti.

### 6. Zaključak

Kod procesa plastične obrade sa pozitivnim radnim naponom gubitak stabilnosti uočava se pojavom lokalizovane deformacije i razaranjem. Radi toga je najkraći proizvodni ciklus uslovljen radom sa graničnom deformabilnošću, koja zavisi od moći nošenja materijala i dinamičkih pokazatelja procesa.

### Literatura

- [1] B. Musafia, Modelska analogija procesa ravninskog deformacionog stanja, Obrada deformisanjem u mašinstvu, br.3, s. 1 - 22, Niš, 1977.
- [2] H. Ford, Advanced Mechanics of Materials, Longmans, Green and Co. Ltd, London, 1963.
- [3] B. Musafia, Plastomehanika, svetak 3, Matematska teorija plasticnosti, Mašinski fakultet, Sarajevo, 1977.
- [4] D.C. Drucker, Introduction to Mechanics of Deformable Solids, Mc Graw Hill Book Company, New York, 1967.
- [5] A. Geleji, Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch, Akademie Verlag, Berlin, 1961.
- [6] B. Musafia, Primjena ekstremalnih principa teorije plasticnosti u tehnologiji obrade deformacijom, Zbornik radova IX Savjetovanja proizvodnog mašinstva s. 1.1 - 1.25, Niš, 1977.
- [7] B. Musafia, oblik zone deformacije kao element optimizacije procesa, Zbornik radova XVI Savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, s. 155 - 158, Mostar, 1982.
- [8] B. Musafia, Tehnologija obrade deformacijom, Zbornik radova seminara "Tehnologija u savremenim proizvodnim uslovima", s. 1-18, Mašinski fakultet Sarajevo - UNIS - Udruženja metalna industrija Sarajevo, 1980.

Dr Branislav Devedžić<sup>\*)</sup>

PRILOG POTPUNIJE SAGLEDAVANJU KOMPLEKSNE PROBLEMATIKE OBRADIVOSTI METALA DEFORMISANJEM

R e z i m e

Š obzirom da se pojam obradivosti metala deformisanjem u stručnim krugovima ponekad tumači nejednobrazno, pokazalo se potrebnim da se u tom smislu učine izvesna razjašnjenja. Osim toga, u radu su izvršeni sistematizovanje i delimična analiza brojnih faktora koji utiču na obradivost.

A CONTRIBUTION TOWARD A MORE COMPLETE UNDERSTANDING OF WORKABILITY OF METALS

S u m m a r y

Since the term "workability" is sometimes understood non-uniformly amongst the people using it, ceration explanations seem to be necessary. Proposed in the paper are also some other new definitions. In addition, numerous influential and limiting factors defining workability have been systematized and partly analyzed.

1. Uvod

Obradivost metala različitim postupcima obrade deformisanjem zavisi od mnoštva uticajnih činilaca i drugih specifičnosti. Zato je korisno, sa jedne strane, ustanoviti njene kvantitativne pokazatelje, a sa druge, principijelno sagledati mogućnost njenog eventualnog poboljšanja u konkretnim slučajevima obrade. Pri tome može biti veoma pogodno da se čitav kompleks relevantnih faktora jedinstveno razmotri i svrsta u odgovarajući sistem. U tom smislu, u daljem se sažeto izlaže jedan sopsstveni pristup autora.

2. Opšta podela

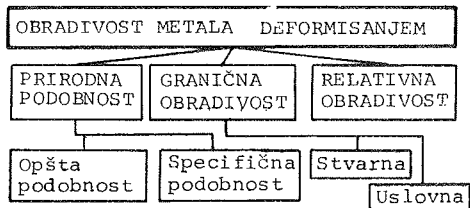
Najopštija podela obradivosti metala deformisanjem prikazana je na šemi - sl. 1.

Skraćena objašnjenja pojedinih pojmova korišćenih pri ovoj podeli proizlaze iz sledećeg.

2.1. "Prirodna" podobnost

Ova karakteristika materijala zapravo

predstavlja njegov prirodni potencijal, u smislu obradivosti i zavisi isključivo od osnovnih svojstava koje on poseduje bez dodatnih



Sl.1. Opšta podela obradivosti metala deformisanjem

spoljnih uticaja. U opštem kvalitativnom smislu smatraju se veoma podobnim za ovu obradu metali kao što su: bakar, aluminijum, malougljenični čelik i sl.

2.1.1. Opšta "prirodna" podobnost

Ovo svojstvo karakterišu, prvenstveno, sledeća dva kvantitativna pokazatelja.

1) "Prirodna" plastičnost, tj. plastičnost koju metal poseduje u uslovima jednoosnog

\*) Dr Branislav Devedžić, redovni profesor Masinstva fakulteta u Kragujevcu, ul. Sestre Janjić 6

naponskog stanja (najčešće se izražava preko većičine izduženja ili skraćenja epruvete dostignutog do trenutka razaranja materijala).

## 2) Deformacioni otpor

$$K = K(\text{mater.}; \phi_e; t; \dot{\phi})$$

gde je:  $\phi_e$ -karakteristika ekvivalentne deformacije;  $t$ -temperatura;  $\dot{\phi}$ -brzina deformacije.

Sa stanovišta obradivosti, poželjno je da nivo odgovarajuće krive tečenja bude što niži. U nedostatku ove krive, kao orijentacioni ekvivalentni pokazatelji u istom smislu mogu se eventualno koristiti zatezna čvrstoća  $\sigma_M$  ili tvrdoća H.

### 2.1.2. Specifična podobnost

Pored opšte podobnosti, neke vrste obrade zahtevaju da materijal poseduje i još neka svojstva, koja u nekom drugom slučaju mogu igrati beznačajnu ulogu, ili čak biti nepoželjna. Najčešće se radi o sledećim svojstvima:

- eksponent deformacionog ojacavanja ("n-faktor");
- koeficijent normalne anizotropije ("r-faktor");
- otpornost prema stvaranju oksidne kore pri zagrevanju do visokih temperatura;
- otpornost prema starenju;
- ostala specifična svojstva.

### 2.2. Granična obradivost

Ovaj pojam se odnosi na maksimalnu (graničnu) sposobnost materijala da se uspešno obradjuje na odredjen način i u odredjenim obradnim uslovima.

Kvantitativni pokazatelj granične obradivosti obeležavaće se u daljem, uopšte simbolom  $P_g$ .

#### 2.2.1. Stvarna granična obradivost

Odnosi se na stvarne maksimalne sposobnosti materijala u smislu obrade. Na primer, ona može biti iskazana preko stepena oblikovanja ostvarenog do trenutka pojave razaranja materijala na kritičnom mestu, itd.

#### 2.2.2. Uslovna granična obradivost

Odnosi se na dozvoljenu granicu u smislu obradivosti koja se, zbog odredjenih uslova,

ne bi smela prekoračiti. Na primer, ona može biti izražena preko najvećeg dozvoljenog specifičnog površinskog pritiska u alatu za istiskivanje i sl.

### 2.3. Relativna obradivost

Ovde nije u pitanju granična sposobnost materijala da se obradjuje nekom vrstom obrade u širem smislu, već njegov potencijal obradivosti u nekom sasvim konkretnom slučaju obrade (dakle, ne samo pri odredjenom tipu obrade, već i pri odredjenom radnom komadu i drugim konkretnim obradnim uslovima). Adekvatan kvantitativni pokazatelj ostvarenih relevantnih odnosa obeležiće se simbolom  $P_s (<P_g)$ .

Na primer, ako se granična obradivost izražava preko ostvarive granične deformacije  $\phi_g$ , onda će biti  $P_g = \phi_g$ , a takodje i  $P_s = \phi_s$ , pri čemu je  $\phi_s$  - stvarno ostvarena najveća deformacija na kritičnom mestu radnog komada. Na osnovu toga, moguće je kvantitativno izraziti relativnu obradivost kao

$$\Delta P = P_g - P_s$$

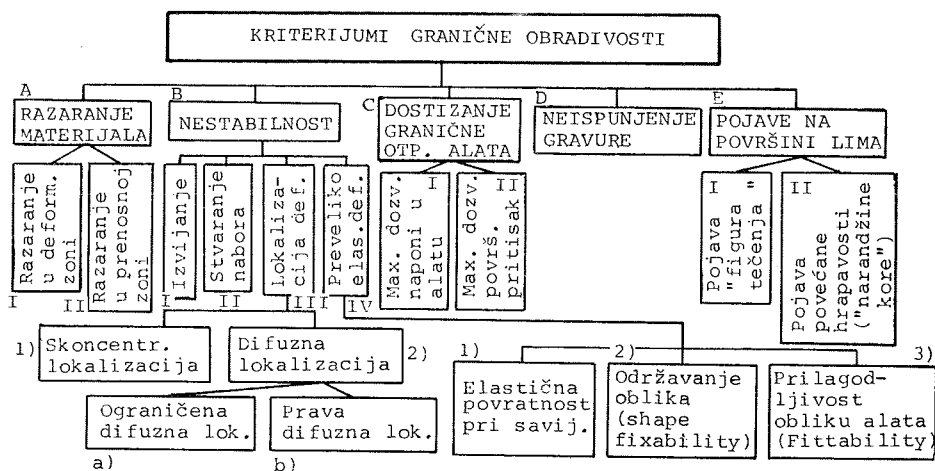
Lako je zaključiti da je, sa tehnološkog stanovišta, relativna obradivost od primarnog značaja.

### 3. Kriterijumi obradivosti

Različitosť kriterijuma obradivosti uslovljava i različite forme njenih pokazatelja ( $P$ , odn.  $\Delta P$ ). Pri razmatranju ovih kriterijuma treba imati u vidu da se oni vezuju, prvenstveno, za graničnu obradivost i da se oblici relevantnih pokazatelja ustanovljenih pri tome ( $P_g$ ) u osnovi zadržavaju nepromenjenim i pri izražavanju relativne obradivosti, samo što su im broježane vrednosti drukčije ( $P_s < P_g$ ).

#### 3.1. Kriterijumi granične obradivosti

Sistematizovana podela ovih kriterijuma prikazana je na semi - sl. 2. Na njoj je ujedno izvršeno i detaljnije raščlanjavanje istih, sa stanovišta pojavnih oblika i različitih ograničenja.



Sl. 2. Kriterijumi granične obradivosti

### 3.1.1. Kratak osvrt na specifičnost nekih uticajnih činilaca i najčešće korišćene pokazatelje

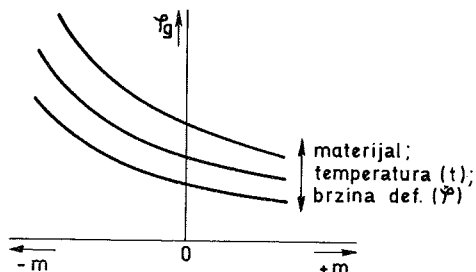
#### A. Razaranje materijala

##### I Razaranje u deformacionoj zoni

Materijal se u deformacionoj zoni razara kada deformacija na kritičnom mestu dostigne granični iznos  $\phi_g$ . Sa druge strane, veličina ove deformacije, bez obzira na vrstu obrade, uopšte zavisi od: "prirodne"-podobnosti materijala; naponskog stanja na kritičnom mestu; temperature i brzine deformacije:

$$\phi_g = \phi_g(\text{mater.}; m; t; \dot{\phi})$$

Ova zavisnost se može pregledno prikazati pomoću krive granične deformabilnosti (sl. 3).



Sl.3. Krive granične deformabilnosti

Karakteristika na apscisi  $m$  predstavlja vrednost pokazatelja naponske šeme. Pogodno je da se on definiše tako da bude sastavljen od naponskih invarijanti:

$$m = f \left[ \frac{J_1(\tau_\sigma)}{|J_2(D\sigma)|} \right]$$

gde su:  $J_1(\tau_\sigma)$  - prva invarijanta tenzora napona  $\tau_\sigma$ ;  $J_2(D\sigma)$  - druga invarijanta devijatora tenzora napona  $D_\sigma$ .

Smisao ovakvog odnosa treba tražiti u činjenici da invarijanta  $J_1(\tau_\sigma)$  uključuje "hidrostatički pritisak", koji ima bitan uticaj na deformabilnost, a invarijanta  $J_2(D\sigma)$  sadrži komponente napona neophodne za ostvarenje plastičnih deformacija. Poznato je, naime, da je

$$J_1(\tau_\sigma) = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma_m$$

gde je  $\sigma_m$  - srednji normalni napon, kao i

$$J_2(D\sigma) = -\frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

Uzimajući kvadratni koren apsolutnog iznosa ove invarijante, dobija se izraz za ekvivalentni smičući napon

$$\tau_e = \sqrt{|J_2(D\sigma)|}$$

Prema tome, koeficijent naponske šeme može se pisati u jednostavnom obliku

$$m = \frac{\sigma_m}{\tau_e} = \sqrt{3} \frac{\sigma_m}{\sigma_e}$$

Drugu mogućnost predstavlja indirektno ocenjivanje granične obradivosti preko relevantnih dimenzijsko-geometrijskih pokazatelja koji se mogu registrovati u trenutku razaranja materijala. kao ilustracija u tom smislu mogu poslužiti: maksimalna dubina pri Erichsen-ovom opitu ( $h_{Eg}$ ); odnos precnika sabijene glave ( $D$ ) i početnog precnika šipke ( $d$ ) pri formiranju pečurkastog tela sabijanjem ( $(D/d)_g$ ); minimalni relativni poluprecnik krivine ugaonog savijanja  $[(r_u/s)_{\min} = (r_u/s)_g]$ ; itd.

## II Razaranje materijala u prenosnoj zoni

Ocena granične obradivosti po ovom kriterijumu može se izvršiti direktno preko veličine najveće sile koju materijal može uspešno preneti, kao i na osnovu pokazatelja maksimalnog stepena deformacije koji se može ostvariti do trenutka razaranja (kidanja) materijala.

Na primer, pri dubokom izvlačenju to može biti  $\beta_{\max} = \beta_g = (D_o/d_o)_{\max} = (D_o/d_o)_g$ ; pri vučenju žice (šipke)  $\phi_{\max} = \phi_g = (\ln A_o/A_1)_g$  (gde su:  $A_o$  i  $A_1$  poprečni preseći šipke pre i posle sužavanja); itd.

## B. Pojava nestabilnosti

Na ovom mestu, zbog ograničenog obima rada, neće biti moguće razmatrati specifičnosti pojedinih pojavnih oblika nestabilnosti naznačenih na sl. 2. Poći će se, naime, od pretpostavke da su oni poznati, a neki ilustrativni primeri vidova odgovarajućih pokazatelja navedeni su u tabeli 1.

## C. Dostizanje granične otpornosti alata

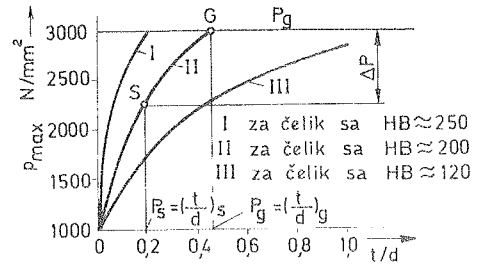
### I Najveći dozvoljeni naponi u alatu

Posebno su značajni radni naponi u tangencijalnom pravcu, s obzirom da oni imaju zatežuću karakter i mogu pre dovesti do razaranja materijala, nego naponi u radialnom pravcu (koji su pritiskujući).

### II Najveći dozvoljeni površinski radni pritisak

Savremeni alatni čelici mogu uspešno podneti najveće površinske radne pritiske do oko  $3000 \text{ N/mm}^2$  pa se ta (ili slična) vrednost može smatrati gornjim ograničavajućim kriterijumom

obradivosti. Kao ilustracija odnosa i ograničenja u ovom smislu, na sl. 4. je prikazan dijagram radnih napona pri hladnom utiskivanju za tri različita materijala (tri različite tvrdoće), u zavisnosti od relativne dubine utiskivanja  $t/d$  ( $t$ -dubina utiskivanja;  $d$  - prečnik utiskivača). U svom gornjem delu ovaj dijagram je ograničen vrednošću  $p_{\max} = 3000 \text{ N/mm}^2$ . Na dijagramu su takodje naznačeni i odnosi koji se odnose na relativnu obradivost  $\Delta P$  (o njoj će biti reči u daljem).



Sl. 4. Dijagram utiskivanja

## D. Neispunjenje gravure

Ovaj ograničavajući faktor obradivosti merodavan je pri kovanju u kalupima. Eventualno se može definisati kao:  $(h/b)_{\max} = (h/b)_g$ ; odn.  $(h/s)_{\max} = (h/s)_g$ ; gde je  $h$  - visina uskog rebra (ili sl.) čiju šupljinu treba ispuniti;  $b$  - njegova širina;  $s$  - debljina zida šupljeg otkovka.

## E. Pogoršanje kvaliteta lica

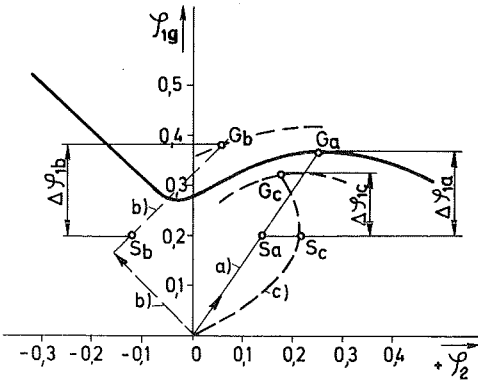
Dva različita vida manifestovanja ovog pogoršanja naznačena su u šemi na sl. 2. i ovde neće biti opisivani.

## 3.2. Kriterijumi relativne obradivosti

Ovaj kriterijum će se ovde samo ilustrirati na primeru oblikovanja lima dvoosnom razvlačenjem. Ako se kao pokazatelj granične deformabilnosti pri tome usvoji veća glavna deformacija u ravni lima  $\phi_{1g}$ , onda se dobija poznati Keeler-ov dijagram (sl. 5).

Na dijagramu su prikazani uticaji tri različite "istorije" deformisanja ( $a; b; c$ ) na položaj granične krive. Osim toga, za svaki od ova tri slučaja šematski je prikazan položaj





Sl. 5. Dijagram granične deformabilnosti tačke  $\underline{S}$  koja odgovara maksimalnim stvarno dostignutim deformacijama  $\phi_1$  i  $\phi_2$  na kritičnom mestu. Na taj način položaji tačaka  $\underline{S}$  definišu pokazatelje  $P_s = \phi_{1s}$ , a položaji tačaka  $\underline{G}$  pokazatelje  $P_g = \phi_{1g}$ , pa je relativna obradivost

$$\Delta P = \phi_{1g} - \phi_{1s} = \Delta \phi_1$$

Ukoliko je u pitanju proporcionalno deformisanje, onda se njegova istorija može prikazati pravom linijom (a). U tom slučaju postoji, kako sličnost i koaksijalnost devijatora priraštaja plastične deformacije  $D_{de,p}$  i devijatora napona  $D$ .

$$D_{de,p} = d\lambda D_c = I_{de,p}$$

tako i istovetan odnos između tenzora velikih deformacija ( $\phi$ ) i devijatora napona, pa važi:

$$\frac{\phi_1 - \phi_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\phi_2 - \phi_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\phi_3 - \phi_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \lambda$$

To praktično znači da se veličine ostvarenih deformacija na kritičnom mestu mogu odrediti na osnovu krajnjih dimenzija označene elementarne površine na tom mestu i njihovog dovođenja u vezu sa početnim iznosima.

Za slučaj ravanskog naponskog stanja u ovom slučaju biće:  $\sigma_3 = 0$ ;  $\sigma_2/\sigma_1 = n = \text{const.}$ , pa se može pokazati da je tada

$$n = \frac{2\phi_2 + \phi_1}{2\phi_1 + \phi_2}$$

odnosno  $\phi_2/\phi_1 = \text{const.}$  (linija a na dijagramu).

Medjutim, ako ova proporcionalnost ne postoji, istorija deformisanja se više ne može prikazati pravom linijom (b; c), niti se ukupna deformacija može odrediti samo na osnovu početnih i krajnjih dimenzija uocnog elementa površine lima. Takođe se pri tome, za isti materijal, menja i položaj graničnih krivih, kao i pokazatelj relativne obradivosti  $\Delta\phi$ .

Analogni odnosi naznačeni su i na sl. 4. - za slučaj utiskivanja.

Iz svega proizlazi da postoje dve načelne mogućnosti poboljšanja relativne obradivosti:

1. Poboljšanje granične obradivosti (povećanje  $P_g$ ).
2. Smanjenje iznosa  $P_s$ .

#### 4. Pregled značajnijih pokazatelja obradivosti za neke tipične vrste obrade

Kao ilustracija prednjih razmatranja i zaključaka, u tabeli 1. navedni su primeri mogućih oblika pokazatelja granične i relativne obradivosti za nekoliko čestih slučajeva obrade. Pri tome su takođe navedene orijentacione broјčane vrednosti nekih graničnih pokazatelja.

#### Napomena

Pokazatelj relativne obradivosti u najopštijem vidu, za slučaj da je kriterijum granične obradivosti razaranje materijala u deformacionoj zoni, može se definisati kao

$$\psi = \int_0^{\tau} B(\tau) \frac{\dot{\gamma} d\tau}{\gamma_g |m(\tau)|} \leq 1^* \quad (0 \leq \psi \leq 1)$$

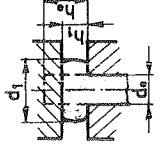
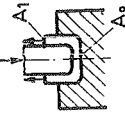
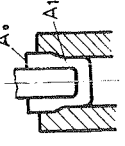
gde je:  $\tau$  - vreme odvijanja procesa deformisanja;  $B$  - pokazatelj nemotonosti procesa;  $\dot{\gamma}$  - ugaona brzina;  $\gamma_g$  - granična ekvivalentna ugaona deformacija.

Medjutim, u ovom radu nisu razmatrane pojedinosti složenijih procesa, a umesto koeficijenta  $\psi$  korišćena je razlika  $\Delta P$ .

\*) Ako je deformisanje etapno (diskretno) i ako se u okviru pojedinih etapa malo menjaju parametri koji zavise od  $\gamma_g$  biće

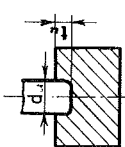
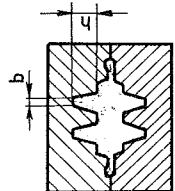
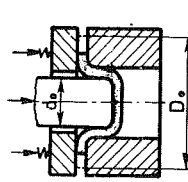
$$\psi = \sum_{i=1}^n \psi_i = \sum_{i=1}^n \Delta\gamma_i / \gamma_{gi}$$

Tabela 1: Pregled značajnijih pokazatelja obradivosti za neke tipične vrste obrade.\*

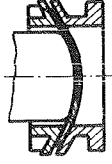
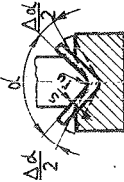
Vrsta obrade	Skica	Simbol kriter. gran. obr. (u sk. sa šemom na sl. 2)	Najčešće korišćeni pokazatelji granične obradivosti $P_g$ i pri- meri njihovih vrednosti pri obradi čelika	Najčešći i mogući oblici pokazatelja relativne obradivosti $\Delta P = P_g - P_s$	činioci koji značajnije utiču na obradivost
Sabija- nje u hladnom stanju		AI BI	$P_g = \phi_g = 1/n_1^h \approx 1,6$ $P_g = (d_1/d_0)g \approx 2,2(2,6,4)^*$ $P_g = (d_1/n_1)g \approx 4,5(8,5;10)^*$ $P_g = (h/d_0)g \approx 2,4(4,5;8)^*$	$\Delta P = \Delta\phi \approx 1,6 - (1/n_1^h)s$ $\Delta P \approx 2,2 - (d_1/d_0)s; \dots$ $\Delta P \approx 4,5 - (d_1/n_1)s; \dots$ $\Delta P \approx 2,4 - (h/d_0)s; \dots$	Opšta podobnost, napon- ska šema (m), geometrij. odnosi, trenje (fosfati- ranje, mazivo), konst- rukcija alata, deforma- ciono ojačavanje, žare- nje, broj operacija, oblici predsabijanja,...
Istiski- vanje u hladnom stanju		CI CII AI BI	$P_g = \phi_g = (1/n_{A1}^A)g \approx 0,7-2,2$ $P_g = \sigma_{\text{dozv. (alata)}} = \sigma_g(a)$ $P_g = P_{\text{dozv. (a)}} = P_g(a) \approx 3000 \text{ N/mm}^2$	$\Delta P = \Delta\phi \approx (0,7-2,2) - (1/n_{A1}^A)s$ $\Delta P = \sigma_g(a) - \sigma_s(a)$ $\Delta P \approx 3000 - p_{\text{max}}$	Opšta podobnost, napon- ska šema (m), deforma- ciono ojačavanje (n), stepen redukcije prese- ka, vrsta istiskivanja, geom. karakter. alata, armiranje alata, trenje (fosfati ranje, mazivo), površinska tvrdoća ala- ta, međuzarenje, kom- binovanje sa drugim operacijama,...
Izvla- čenje sa stanji- vanjem zidova		AII	$P_g = \phi_g = (1/n_{A1}^{A_0})g \approx 0,3$ (za jednu operaciju)	$\Delta P = \Delta\phi = \phi - \phi_s \approx 0,3 - (1/n_{A1}^{A_0})s$	Opšta podobnost, stepen redukcije preseka (de- bljina zida), broj operac., deform. ojačav. (n), geome- trij. odnosi u alatu (ugao konusa), trenje, brzina deformisanja,...

\*) Prva vrednost odnosi se na sabijanje u jednoj operaciji, a vrednost u zagradi na sabijanje u dve, odnosno tri, operacije.

Nastavak tabele 1.

<p>Utiskivanje</p> 	<p>AI CI CII</p>	<p><math>P_g = t_{ug} \approx \frac{d_0^2 \cdot p}{13 \cdot (\text{TOHB})^3}</math> (za osno-simetrične utiskivače)</p> <p><math>P_g = t_{ug} \approx 0,31 \frac{A_u \cdot p}{D_u \cdot (\text{TOHB})^3}</math> (za utiskivače četvorugaonog preseka)</p> <p><math>P_g = P_{\text{dozv}}(\text{alata}) = P_g(a)</math></p> <p><math>P_g(a) \approx 3000 \text{ N/mm}^2</math></p> <p><math>P_g = \sigma_{\text{dozv}} \cdot (\text{alata})^{\sigma} \cdot g(a)</math></p>	<p>Opšta podobnost, deformativno ojačavanje (n), dubina utiskivanja, trenje, geometrijski oblik, žarenje (struktura), tvrdoća i čvrstoća alata, tvrdoća materijala, brzina utiskivanja,...</p>
<p>Toplo kovanje u kalupima</p> 	<p>D AI CI CII</p>	<p><math>P_g = \left(\frac{h}{h_1}\right) \cdot g \approx 3-5</math></p> <p><math>P_g = \left(\frac{h}{S}\right) \cdot g \approx 3-5</math> (s-debljina zida šupljih tela)</p> <p><math>P_g = \left(\frac{h_0}{h_1}\right) \cdot g</math></p> <p><math>P_g = \sigma_{\text{dozv}} \cdot (\text{alata})^{\sigma} \cdot g(a)</math></p> <p><math>P_g = P_{\text{dozv}} \cdot (\text{a}) = P_g(a)</math></p>	<p>Opšta podobnost, naponsko stanje, geometrijski oblik i odnosi, geometrijski dimenzijski odnosi venca, vrste kovanja, zaobljenjaja, broj i vrsta prethodno-pripremljenih oblika, trenje (oksidna kora, mazivo,...), temperatura, specifična energija udara, brzina deformiranja, dimenzije bloka alata (ev. armir. i sl.), dinamič. izdržlj. alata,...</p>
<p>Duboko izvlačenje</p> 	<p>AII BII BIII</p>	<p><math>P_g = \beta \cdot g \left(\frac{D_0}{d_0}\right) \approx 1,7</math> (za celik)</p> <p><math>P_g = F \approx d_0 \cdot \pi \cdot s \cdot M</math></p> <p><math>P_g = s_{rg} = \left(\frac{D_0}{d_0}\right) \cdot g \cdot 100 \approx 1,5</math></p> <p><math>P_g = \left(\frac{D_0 - d_0}{S}\right) \cdot g \approx 22</math></p>	<p>Opšta podobnost, stepen izvlačenja, broj operacija, koeficijent normalne anizotropije (r), trenje (hrapavost, mazivo, mesto podmazivanja), držanje lima, geometrija alata (zaobljenjaja, zazori), deformativno ojačavanje (n), brzina izvlačenja,...</p>

Nastavak tabele 1.

<p>Izvlačenje ve- likih delova tipa karose- rijskih</p>		<p>A I A II BIII(1,2) BIV (1,2,3) EI EII</p> <p><math>P_g = \phi_g \left( \ln \frac{d_1}{\sigma_0} \right) g</math> (<math>d_1</math> i <math>d_0</math> - prečnici osa elip- se i kruga merne mreže) <math>P_g = F = L \sigma_M</math> (L - dužina konture zone pre- nosa sile) <math>P_g = h = h_{max}</math> (h - visina nabora pri opitu metodom Yoshida) <math>P_g = l_{Tg}</math> <math>P_g = \sigma_{Tg}</math> (<math>l_{Tg}</math> - dužina diskontinuiteta na krivooj <math>\sigma - \epsilon</math>; <math>\sigma_{Tg}</math> - granica tečenja)</p>	<p><math>\Delta P = \phi_g - \phi_s = \left( \ln \frac{d_1}{\sigma_0} \right) g - \left( \ln \frac{d_1}{\sigma_0} \right) s</math> <math>\Delta P = F - F_{izv. max} = L \sigma_M - F_{izv. max}</math> <math>\Delta P = h - h_{max}</math> <math>\Delta P = l_{Tg} - l_{Ts}</math> <math>\Delta P = \sigma_{Tg} - \sigma_{Ts}</math></p>	<p>Opšta podobnost, eksponent deformacionog ojačavanja (n), koeficijent normalne anizotropije (r) naponska sema (<math>\sigma_2/\sigma_1</math>), debljina li- ma, držanje (sila, zatezna rebra i dr.), geometrijski oblik, broj i vrsta opera- cija, konstrukcija alata, trenje (hrapavost, mazivo, mesto podm.), krupnoća zr- na, granica tečenja, modul elastičnosti, <math>r/\sigma_T</math>, sklo- nost ka starenju, ...</p>
<p>Savijska- nje</p>		<p>AI BIV1</p> <p><math>P_g = \left( \frac{r}{s} \right) g = \left( \frac{r}{s} \right)_{min}</math> <math>P_g = \left( \frac{r}{s} \right) g = \left( \frac{r}{s} \right)_{max} = \frac{E}{2\sigma_T}</math></p>	<p><math>\Delta P = \left( \frac{r}{s} \right) g - \left( \frac{r}{s} \right) s</math> <math>\Delta P = \left( \frac{r}{s} \right) g - \left( \frac{r}{s} \right) s =</math> <math>= \frac{E}{2\sigma_T} - \left( \frac{r}{s} \right) s</math></p>	<p>Opšta podobnost, dimenzij- sko-geom. odnosi (ugao sa- vijanja, debljina, ...), koeficijent normalne ani- zotropije (r), anizotrop. u ravni, konstrukcija alata, modul elastičnosti, kvalitet površine, ...</p>

LITERATURA

1. R. FROBIN, "Verfahrens-und Werkstoffseitige Grenzbedingungen bei Umformvorgängen" - INFERT 82, Tech. Univ. Dresden, 1982.
2. B. DEVEDŽIĆ, "Osnovi Teorije Plastičnog De-  
formisanja Metala" - Maš. Fak.-Kragujevac, 1975.
3. B. DEVEDŽIĆ, "Teorijsko Definisane Poljezaja Diješana  
granice Deformabilnosti u Zavisnosti od Istorije Defor-  
misanja", - Časopis Obrada Det. u Maš., br. 3, Mš, 1977.
4. V. L. KOLMOGOROV - "Plasticnost i Razrušenje" -  
Moskva, Metallurgija, 1977.
5. M.G. COCKCROFT, D.J. LATHAM, "Ductility and the Workability  
of Metals", Jour. of the Inst. of Metals, Febr., 1968.

Velibor Marinković\*

TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA NEKIH POSTUPAKA  
OBRADJE DEFORMISANJEM ŠUPLJIH OSNOSIMETRIČNIH ELEMENATA

R e z i m e

U radu je teorijski analizirana kinematika tečenja materijala u procesima istosmernog i suprotnosmernog istiskivanja i izvlačenja sa stanjenjem zida omotača. Primenom metoda gornje procene za osnosimetrične slučajeve deformisanja dobijeni su izrazi za radne napone i sile deformisanja kao i izrazi za određivanje optimalnih uglova nagiba matrice. Postavke teorijske analize potvrđene su optima.

THEORETISCH-EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE VERFAHREN  
DER BILDSAMEN VERFORMUNG VON AXIALSYMMETRISCHE HOHL-WERKSTÜCKE

Z u s a m m e n f a s s u n g

In diesem Beitrag werden die Verhalten des Werkstoffflusses beim Hohl-Vorwärts- und Rückwärtsfliesspressen und Abstreck-Gleitziehen theoretisch analysiert. Durch die Methode der "obere Schranke" sind die Ausdrücke zur Ermittlung der Prozessarbeitspannungen, Kräfte und Optimalzentralwinkeln ausgeführt. Die Ergebnisse der theoretischen Analyse wurden durch Versuchen bestätigt.

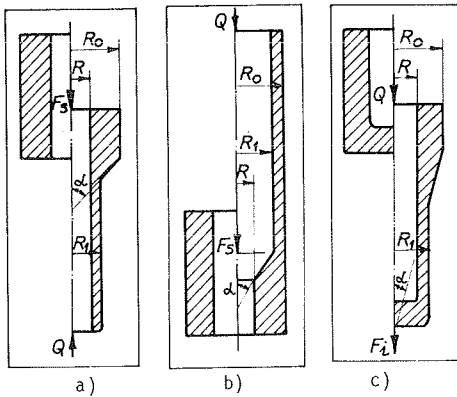
1. U V O D

U radu [1] sprovedena su teorijska istraživanja i analiza većeg broja različitih postupaka obrade plastičnim deformisanjem punih i šupljih profila (razne varijante istiskivanja, izvlačenja sa stanjenjem, vučenja i dr.). U kinematskom smislu ovise procesi mogu uopšteno tretirati kao tečenjem materijala (kontinuum) kroz konusne otvore i procepe. Time je za teorijsku analizu i donošenje opštih zaključaka dovoljno izabrati nekoliko karakterističnih procesa - reprezentanata. To omogućuje i pojednostavljenu

verifikaciju primenjene metodologije i metoda teorije plastičnosti, na jednom od karakterističnih procesa obrade.

Iz široke grupe različitih procesa obrade materijala deformisanjem (OMD) i njihovih varijanata mogu se izdvojiti tri karakteristična (slika 1), i to: (a) istosmerno istiskivanje šupljih profila (cevi)-"sužavanje"; (b) suprotnosmerno istiskivanje šupljih profila (cevi)-"proširivanje"; (c) izvlačenje sa stanjenjem šupljeg profila (čašice).

\* Dr Velibor Marinković, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14.



Slika 1

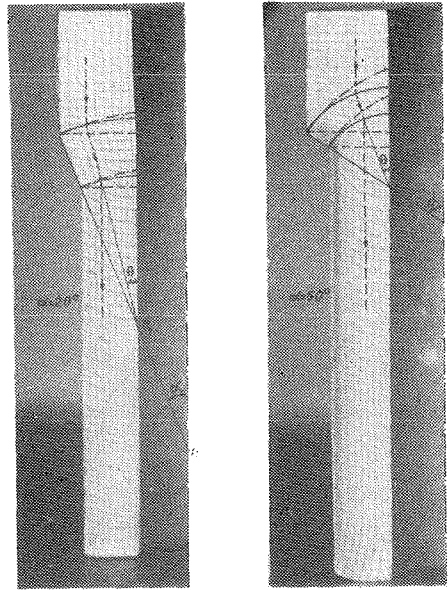
## 2. KINEMATIKA TEČENJA MATERIJALA

Istraživanje kinematike tečenja materijala u procesima zaprimenskog deformisanja ima višestruki teorijski i praktični značaj. Poznavanjem kinematike tečenja (vektorskog polja brzina, odnosno trajektorija čestica materijala) jednoznačno se definišu granice zone plastičnih deformacija, deformaciono i naponsko stanje. Time je, s druge strane, omogućeno određivanje radnih napona, napona na kontaktnim površinama alata, stepena deformacije u svakoj tački zone plastičnih deformacija i drugo.

Trajektorije kretanja čestica materijala određuju se na osnovu eksperimentalnih istraživanja, postavljaju analitički ili definišu preko mogućeg polja brzina sa nizom varirajućih parametara. U zadnjem slučaju se rešenja svode na varijacione probleme teorije plastičnosti. Najčešći slučaj je da se kinematika tečenja definiše analitički na osnovu prethodnih eksperimentalnih istraživanja.

Za analizu kinematike tečenja u procesima OMD, prikazanih na sl.1, izvršena je serija opita ispitivanja šupljih elemenata sa prethodno nanetom mernom mrežom po meridijanskom preseku. Izgled mernih mreža u stacionarnom stadijumu procesa (sl.2) navodi na zaključak da je hipoteza o "radijalnom" tečenju materijala ovde sasvim prihvatljiva. Granice

zone plastičnih deformacija su delovi krivih površina (u meridijanskim presecima to su delovi krivih linija) koje nisu unapred poznate. Na osnovu izgleda trajektorija sa sl.2 nameću se tri moguće aproksimacije:



Slika 2

1. Granice zone su kružni prstenovi (prave linije u meridijanskom preseku).
2. Granice zone su delovi sfernih površina (delovi kružnica iz centra  $O$ , po meridijanskom preseku).
3. Granice zone su delovi torusnih površina (delovi kružnica iz centra  $O_1$ , po meridijanskom preseku).

Analogna slika tečenja materijala dobija se i u procesima OMD punih profila (istiskivanje, vučenje žice) [2], [3], [4]. Na osnovu svega toga mogu se doneti sledeći opšti zaključci.

U procesima izvlačenja sa stanjenjem, vučenja žice, reduciranja i slično, po pravilu, uglovi nagiba konusa matrice su  $\alpha \leq 20^\circ$ , pa je prva aproksimacija granica zone plastičnih deformacija zadovoljavajuća, a hipoteza o radijalnom tečenju materijala prihvatljiva.

Druga po redu aproksimacija je prihvatljiva za

processe istiskivanja (reduciranja) punih komada i vučenje žice. Međutim, kod deformisanja šupljih profila (sl.1 i sl.2) ona nije adekvatna, tim pre, što tada hipoteza o radialnom tečenju nije održiva za celu zonu plastičnih deformacija.

Treća aproksimacija je prihvatljiva za sve uglove nagiba matrice koji se sreću u praksi. Pri tome, hipoteza o radialnom tečenju egzistira u celoj zoni plastičnih deformacija. Ova aproksimacija je adekvatna i za obradu šupljih i punih profila. Tako, na primer, pri istiskivanju punih profila (sl.1a, za  $R \equiv 0$ ) delovi torusnih površina kao granice zone plastičnih deformacija šupljeg profila degenerišu u delove sfernih površina. Prema tome, treća aproksimacija je najuniverzalnija.

### 3. DEFORMACIONO STANJE I RADNI NAPONI

#### 3.1. Deformaciono stanje

Na slici 1 izdvojena su tri karakteristična procesa OMD, dok se mnogi drugi mogu tretirati kao specijalni slučajevi ovih. U kinematskom smislu procesi prikazani na sl.1a i sl.1c potpuno su analogni. Zato će se za analizu deformacionog stanja uzeti u razmatranje postupci istosmernog i suprotnosmernog istiskivanja šupljih profila (cevi).

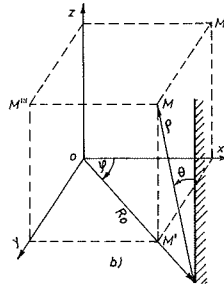
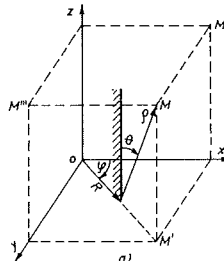
Iz prethodne analize sledi zaključak da je za dva pomenuta postupka, u cilju određivanja polja brzine i komponenta tenzora brzine deformacije, pogodno definisati ortogonalni krivolinijski koordinatni sistem (sl.3). Na osnovu jednačina transformacije i opštih izraza za napone i deformacije [5] dobijaju se složeni izrazi za komponente tenzora brzine deformacije [1], koji se ovde, zbog ograničenosti prostora, ne navode.

Za osnosimetrično radialno tečenje važe relacije  $V_\theta = V_\varphi = \partial/\partial\varphi = 0$ , pa se pomenuti izrazi svode na jednostavnije:

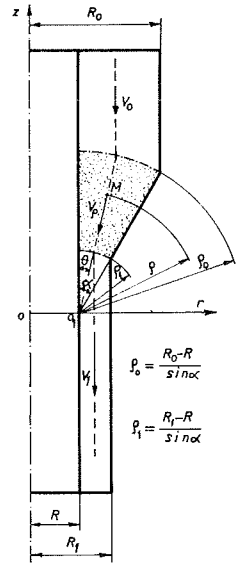
$$\dot{\epsilon}_\rho = \frac{\partial V_\rho}{\partial r} ; \quad \dot{\epsilon}_\theta = \frac{V_\rho}{\rho} \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon}_\varphi = \pm \frac{V_\rho \cdot \sin\theta}{R_i \pm \rho \cdot \sin\theta} \quad (1)$$

$$\dot{\gamma}_{\rho\theta} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial V_\rho}{\partial \theta} ; \quad \dot{\gamma}_{\rho\varphi} = \dot{\gamma}_{\varphi\theta} = 0$$



Sl. 3



Sl. 4

Iz uslova postojanosti zapremine  $\dot{\epsilon}_\rho + \dot{\epsilon}_\varphi + \dot{\epsilon}_\theta = 0$  i graničnog uslova  $V_\rho|_{\rho=R_0} = -V_0 \cdot \cos\theta$  nakon integraljenja i izvesnih transformacija dobija se izraz:

$$V_\rho = - \frac{F(\theta)}{\rho \cdot (R_i \pm \rho \cdot \sin\theta)} \quad (2)$$

$$F(\theta) = V_0 \cdot \rho_0 \cdot \cos\theta \cdot (R_i \pm \rho_0 \cdot \sin\theta)$$

gde su:

- $V_\rho$  - radialna brzina kretanja čestica materijala,
- $V_0$  - brzina tiskača,
- $\rho, \theta$  - respektivno, tekući radijus i tekući ugao (sl.4),
- $\alpha$  - ugao nagiba konusa matrice (tiskača).

Zamenom izraza (2) i (1) dobijaju se konačni obrasci za komponente tenzora brzine deformacije, koji se zbog složenosti ovde ne navode.

\* Kod udvojenih algebarskih znakova "±" ili "∓" gornji znak se odnosi na koordinatni sistem sa sl.3a (tada je  $R_i \equiv R$ ), a donji znak na koordinatni sistem sa sl.3b ( $R_i \equiv R_0$ ).

Efektivna (uopštena) brzina klizanja može se izraziti u obliku:

$$\dot{\gamma}_e = \sqrt{4 \cdot (\dot{\epsilon}_\rho^2 + \dot{\epsilon}_\theta^2 + \dot{\epsilon}_\theta \cdot \dot{\epsilon}_\rho)} + \dot{\gamma}_{\rho\theta} \quad (3)$$

Za dalju teorijsku analizu neophodno je izvršiti linearizaciju izraza (3). U radu [1] autor je pokazao da se u ovom slučaju može sa zadovoljavajućom tačnošću upotrebiti linearizacija A.A. Iljušina, u obliku:

$$\dot{\gamma}_e \approx C_Y \cdot \dot{\gamma}_{\max} = 1,08 \cdot \dot{\gamma}_{\max} = 1,08(\dot{\epsilon}_\rho - \dot{\epsilon}_\theta) \quad (4)$$

### 3.2. Radni napon i optimalni ugao

Zbog ograničenosti prostora dalja analiza odnosice se na slučaj istosmernog istiskivanja cevi (sl.1a). Za određivanje radnog napona (pritiska) i sile primenjen je metod gornje procene, razvijen za osnosimetrične slučajeve deformisanja:

$$p = \frac{1}{V_0 \cdot A_0} \cdot \Sigma N_i = \frac{1}{V_0 \cdot \pi (R_0^2 - R^2)} \cdot \Sigma N_i \quad (5)$$

Za dati krivolinijski koordinatni sistem (sl.3a) snaga unutrašnjih sila u zoni plastičnih deformacija određuje se iz jednakosti (sl.4):

$$N_d = k_s \cdot \int \int \int \dot{\gamma}_e \cdot dV = k_s \cdot C_Y \cdot \int \int \int \dot{\gamma}_{\max} \cdot dV = \\ = k_s \cdot C_Y \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^\alpha d\varphi \cdot \int_0^\rho f F(\theta) \cdot d\theta \cdot \int_{\rho_1}^{\rho_0} \left[ \frac{2}{\rho} + \frac{\sin\theta}{R + \rho \cdot \sin\theta} \right] d\rho \quad (6)$$

Ukupna snaga klizanja (smicanja) po površinama prekida brzina (granicama zone plastičnih deformacija) biće:

$$N_s = k_s \cdot \int \int_{A_s} |V_s| \cdot dA_s = N_{s0} + N_{s1} = \\ = 2k_s \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^\alpha d\varphi \cdot \int_0^\rho V_0 \cdot \sin\theta \cdot \rho_0 (R + \rho_0 \cdot \sin\theta) \cdot d\theta \quad (7)$$

Uzimajući da je koeficijent trenja ( $\mu = \text{const}$ ) isti na svim kontaktnim površinama, ukupna snaga sila trenja za slučaj istiskivanja sa kruto vezanim trnom određuje se iz jednakosti:

$$N_t = \Sigma_{i=0}^4 N_{ti} = 2k_s \cdot \mu \cdot \int_0^{2\pi} \int_0^H \int_0^\rho V_0 \cdot R_0 \cdot d\varphi \cdot dz +$$

$$+ \int_0^{2\pi} \int_0^\rho V_{\rho|\rho=\alpha} \cdot (R + \rho \cdot \sin\alpha) \cdot d\varphi \cdot d\rho +$$

$$+ \int_0^{2\pi} \int_0^\rho \rho_0 \cdot \cos\alpha \cdot \int_0^\rho \rho_1 \cdot \cos\alpha \cdot (V_{\rho|\theta=0} - V_0) \cdot R \cdot d\varphi \cdot d\rho + \\ + \int_0^{2\pi} \int_0^L \int_0^\rho V_1 \cdot R_1 \cdot d\varphi \cdot dz + \int_0^{2\pi} \int_0^L \int_0^\rho (V_1 - V_0) \cdot R \cdot d\varphi \cdot dz \quad (8)$$

gde su:

$$V_{\rho|\rho=\alpha} = V_0 \cdot \cos\alpha \cdot \frac{\rho_0 \cdot (R + \rho_0 \cdot \sin\alpha)}{\rho \cdot (R + \rho \cdot \sin\alpha)}$$

$$V_{\rho|\theta=0} = V_0 \cdot \rho_0 / \rho; \quad V_1 = V_0 \cdot (R_0^2 - R^2) / (R_1^2 - R^2)$$

$$k_s = K/\sqrt{3}$$

Nakon integraljenja izraza (6)-(8) iz jednakosti (5), dobija se:

$$p = p_d + p_s + p_t \quad (9)$$

$$p_d = \frac{C_Y}{\sqrt{3}} \cdot K_{sr} \cdot \left\{ \ln \frac{\lambda_0 - 1}{\lambda_1 - 1} \right\}^2 + \left( 1 + \frac{1}{\lambda_0^2 - 1} \right) \cdot \ln \lambda_0 + \\ + \frac{1}{1 + \lambda_0} \left( 1 - \frac{\lambda_0 - 1}{\lambda_1 - 1} \right) \cdot \left[ 1 + \frac{1}{(\lambda_0 + 1)(\lambda_1 + 1)} \cdot \right. \\ \left. \cdot \left( 2 - \frac{\lambda_0 - 1}{\lambda_1 - 1} \right) \right] \ln \lambda_1 \quad (9')$$

$$p_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot K_{sr} \cdot \frac{1}{\lambda_0 + 1} \cdot \frac{1}{\sin\alpha} \cdot \left[ 2 + (\lambda_0 - 1) \frac{\alpha}{\sin\alpha} - \right. \\ \left. - (\lambda_0 + 1) \cdot \cos\alpha \right] \quad (9'')$$

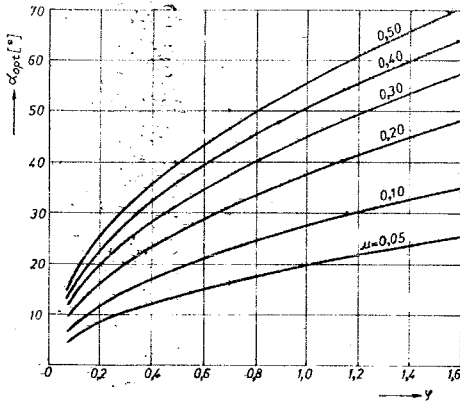
$$p_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot K_{sr} \cdot \mu \cdot \left\{ \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + 1} \cdot \left[ \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - 1} \cdot \frac{2H}{R_0} + \left( \text{ctg}\alpha + \frac{1}{\lambda_0 \cdot \sin\alpha} \right) \cdot \right. \right. \\ \left. \left. \cdot \ln \frac{\lambda_0 - 1}{\lambda_1 - 1} \right] - \frac{2 \text{ctg}\alpha}{\lambda_0} \left( 1 - \frac{\lambda_1 - 1}{\lambda_0 - 1} \right) \right\} + \\ + \frac{1}{\lambda_1^2 - 1} \cdot \left( 1 + \lambda_1 - \frac{\lambda_1^2 - 1}{\lambda_0^2 - 1} \right) \cdot \frac{2L}{R} \quad (9''')$$

gde su:  $\lambda_0 = R_0/R$ ;  $\lambda_1 = R_1/R$ .

U izrazima (9) svuda egzistira srednja vrednost specifičnog deformacionog otpora. Tačne vrednosti mogu se dobiti (prema Siebelu, Storoževu, Perlinu i dr.) uzimajući za svaku zonu tela koje se deformiše pripadne vrednosti specifičnog deformacionog otpora  $K_0$ ,  $K_{sr}$ ,  $K_1$  [1].

Iz ekstremuma funkcije radnog napona (9) dobija se obrazac za određivanje optimalnog ugla nagiba matrice [1], čiji je grafik prikazan na sl.5.





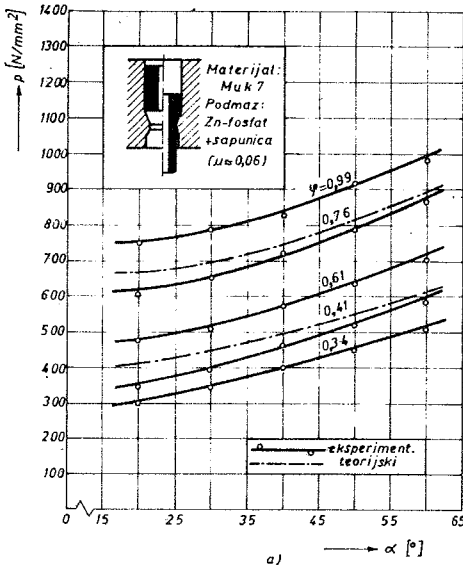
Slika 5

## 5. ZAKLJUČAK

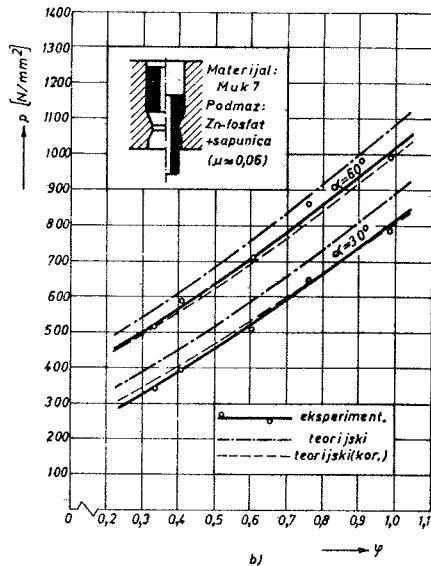
Eksperimentalni rezultati autora i drugih istraživača [1], [2] potvrdili su valjanost primjenjene metodologije i adekvatnost malog broja uvedenih aproksimacija i uprošćenja.

Prikazana metodologija se može primjenjivati i razvijati i za druge slične procese obrade materijala deformisanjem.

Rezultati dobijeni u ovom radu mogu biti sa dovoljno pouzdanosti korišćeni neposredno u praksi.



Slika 6



## 4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Eksperimentalna istraživanja u ovom radu odnose se na istosmerno istiskivanje šupljih elemenata (cevi) od mekožarenog ugljeničnog čelika ("Muk 7") u hladnom stanju. Pripremi su bili fosfatirani a podmazivanje je vršeno tehničkom sapunicom.

Uporedni teorijski i eksperimentalni rezultati prikazani su na sl.6. Eksperimentalni rezultati se odnose na stacionarni period deformisanja. Očigledna je visoka podudarnost teorijskih i eksperimentalnih rezultata u kvantitativnom i kvalitativnom smislu.

## 6. LITERATURA

- [1] Marinković V., 1982., Istraživanje tečnja materijala u procesima zapreminskog (masivnog) deformisanja u hladnom stanju. Doktorska disertacija, Niš, Mašinski fakultet.
- [2] Lange K., 1974., Lehrbuch der Umformtechnik, Band 2, Massivumformung, Berlin/Heidelberg/New York, Springer Verlag.
- [3] Perlin I.L., Ermanok M.Z., 1973., Teorija voločenija, Moskva, "Metallurgija".
- [4] Marinković V., 1978., Magistarska teza, Niš, Mašinski fakultet.
- [5] Sokolovskij V.V., 1969., Teorija plastičnosti, Moskva, Vissšaja škola.

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

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

Large block of faint, illegible text in the middle left section, appearing to be a main body of text.

Large block of faint, illegible text in the middle right section, appearing to be a main body of text.

Faint, illegible text at the bottom left of the page, possibly a footer or concluding paragraph.

Faint, illegible text at the bottom right of the page, possibly a footer or concluding paragraph.

Milan Jurković, Kasim Čurtović\*

PRILOG ISTRAŽIVANJU TEHNOLOŠKO-ENERGETSKIH  
PARAMETARA VIŠEVALJKASTE DEFORMACIONE MAŠINE  
U FUNKCIJI BROJA POGONJENIH VALJAKA\*\*

R e z i m e

U radu se teoretski i eksperimentalno istražuje uticaj broja pogonjenih valjaka na tehnološko (broj prolaza, stepen deformacije, brzina valjanja - izvlačenja, zahvatni ugao) i energetska (obrotni moment valjaka, specifična potrošnja energije) iskorištenje deformacione mašine za izradu osnosimetričnih profila.

THE CONTRIBUTION TO INVESTIGATION TECHNOLOGICAL AND  
ENERGETISTIC PARAMETERS OF THE MULTIROLLERS MACHINE  
IN A FUNCTION OF THE NUMBER OF DRIVEN ROLLERS

S u m m a r y

The aim of this paper is theoretical and experimental investigation the influence of the number of driven rollers on technological and energetistic utilization of the machine for the realization axysymmetrical profiles.

1. U v o d

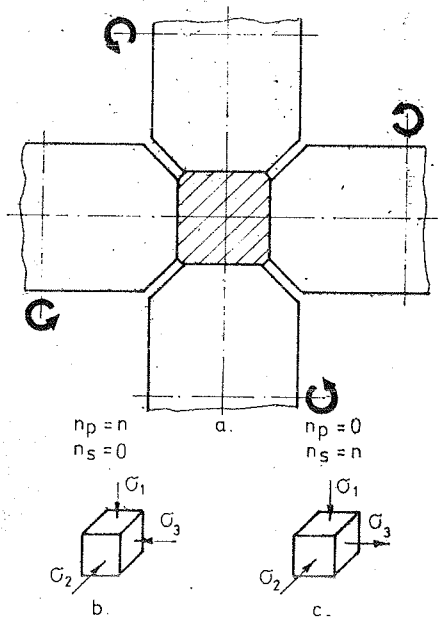
Viševaljkaste deformacione mašine namijenjene su za izradu osnosimetričnih i drugih profila. Po izvedbi izvrsnog organa mašine mogu biti konstruktivno izvedene sa dva, tri i više valjaka koji zajednički obrazuju odgovarajući otvor poprečnog presjeka kalibra (sl.1a).

S obzirom na broj pogonjenih valjaka deformacione mašine mogu biti sa svim pogonjenim valjcima ( $n_p=n$ ), sa pogonjenim slobodnim valjcima ( $n_p+n_s=n$ ) i sa svim slobodnim valjcima ( $n_s=n$ ). Kada su svi valjci pogonjeni tada se u zoni deformacije ostvaruje istoimeno pritisko naponsko stanje (sl.1b),

\* Dr Milan Jurković, dipl.ing., vanredni profesor, Mašinski fakultet Banjaluka  
Kasim Čurtović, dipl.ing., direktor OOUR PU, RO "Krejinametall" Bihać

\*\* Prikazani rad radjen je u okviru naučnoistraživačkog projekta "Istraživanje, razvoj i konstrukcija deformacione mašine za izradu osnosimetričnih profila" u čijem finansiranju učestvuju SIZ nauke BiH i RMK Zenica.

odnosno kada su svi valjci slobodni: tada se postupkom izvlačenja u zoni deformacije ostvaruje raznoimeno naponsko stanje, sa dva pritiska i jednim zateznim naponom (sl. 1c).



Sl.1. Shema viševaljkastog otvora kalibra (a), istoimeno pritisno naponsko stanje (b) -  $n_p = n$  i raznoimeno naponsko stanje (c) -  $n_p = 0$

U ovom radu se istražuju dvije granične izvedbe ovih deformacionih mašina i to: sistem valjanja kada su svi valjci pogonjeni i sistem izvlačenja kada su svi valjci slobodni. Prema tome razmatranjem navedenih obradnih sistema ustvari se pomoću tehnološko-energetskih parametara istražuje efektivnost datih naponskih stanja u funkciji broja pogonjenih valjaka.

U okviru tehnoloških parametara razmatra se stepen deformacije, zahvatni ugao, brzina deformisanja i broj prolaza, a u okviru energetskih parametara potrebni obrtni moment valjaka za obavljanje procesa deformacije i specifična potrošnja energije.

## 2. Teoretsko istraživanje

### 2.1 Stepen deformacije i zahvatni ugao

Pri zahvatu metala sa više pogonjenih valjaka  $n_p$  i slobodnih  $n_s$  kada se ne uzimaju u obzir sile inercije i sile zatezanja pri valjanju na površini svakog pogonjenog valjka djeluje normalna sila  $p_p \cdot b_p \cdot R \cdot d\alpha$  i sila trenja  $\tau_p \cdot b_p \cdot R \cdot d\alpha$ . Analogno navedenom i na površini slobodnih valjaka djeluje normalna sila  $p_s \cdot b_s \cdot R \cdot d\alpha$  i sila trenja  $\tau_s \cdot b_s \cdot R \cdot d\alpha$ . Elementarni moment sile trenja na površini slobodnog valjka je

$$dM_{ps} = \tau_s R^2 b_s d\alpha \quad (1)$$

dok je moment otpora obrtanja na rukavcu

$$dM_{rs} = p_s \mu_r r b_s R d\alpha \quad (2)$$

gdje je:

$\mu_r$  - koeficijent trenja u rukavcu slobodnog valjka

$r$  - poluprečnik rukavca slobodnog valjka

$b_s$  - širina površine kontakta metala i slobodnog valjka

$p_p, p_s$  - specifični normalni pritisci na pogonjeni i na slobodni valjak

$R$  - poluprečnik valjka

Izjednačavanjem (1) i (2) dobije se kontaktni tangencijalni napon

$$\tau_s = p_s \mu_r \frac{r}{R} \quad (3)$$

Postavljanjem jednačine ravnoteže profila u momentu zahvata i označavanjem  $a_1 = b_s/b_p$  i  $a_2 = p_s/p_p$ , te izražavanjem koeficijenta kontaktnog trenja između metala i valjka uglom trenja  $\beta$ , dobije se uslov zahvata za viševaljkasti kalibar

$$\alpha \leq \frac{n_p \beta - a_1 a_2 n_s \mu_r \frac{r}{R}}{n_p + a_1 a_2 n_s} \quad (\text{rad}) \quad (4)$$

Data jednakost (4) pokazuje da se zahvatni ugao umanjuje povećanjem broja

slobodnih valjaka i opadanjem broja pogonjenih valjaka što znači da je tada zahvat metala valjcima teže ostvariti. U tabl.1. za četvorovaljkas-ti kalibar  $a_1=a_2=1,0$  ;  $R = 100$  mm,  $\mu_r = 0,005$  i  $r = 25$  mm i određeni ugao trenja  $\beta$  prikazana je zahvatna mogućnost u funkciji broja pogonjenih valjaka.

Tabl.1. Zavisnost ugla zahvata od broja pogonjenih i slobodnih valjaka  $\alpha = f(n_p, n_s)$

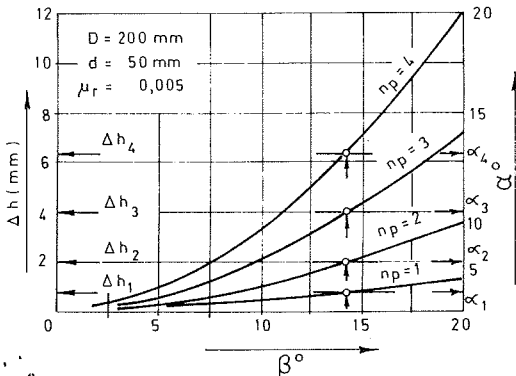
Ugao trenja $\beta^\circ$	Ugao zahvata $\alpha^\circ$				
	$n_p=4$ $n_s=0$	$n_p=3$ $n_s=1$	$n_p=2$ $n_s=2$	$n_p=1$ $n_s=3$	$n_p=0$ $n_s=4$
2	2	1,49	0,97	0,45	-0,07
5	5	3,71	2,46	1,19	-0,07
10	10	7,50	4,98	2,45	-0,07
20	20	14,98	9,96	4,95	-0,07

Tabelarni prikaz (tabl.1) pokazuje da za  $n_p = 0$  i  $n_s = 4$  nije moguće ostvariti zahvat valjanjem, već je potrebno primijeniti postupak izvlačenja.

Stepen deformacije zavisi od veličine ugla zahvata, a to znači da indirektno zavisi i od broja pogonjenih valjaka,

$$\Delta h = D (1 - \cos \alpha) \quad (5)$$

što se najbolje vidi iz grafičkog prikaza (sl.2) gdje je za



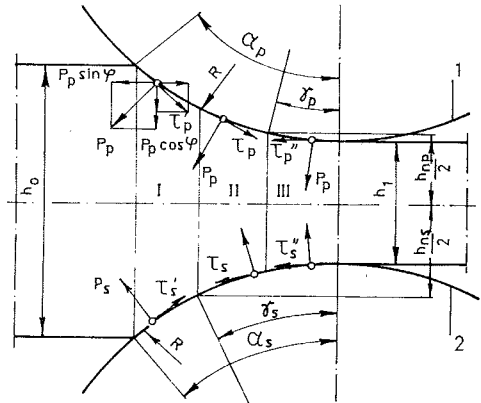
Sl.2. Apsolutna deformacija  $\Delta h = f(n_p, n_s)$

$$\beta = \text{const}, \alpha_4 > \alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1, \text{ odnosno } \Delta h_4 > \Delta h_3 > \Delta h_2 > \Delta h_1$$

gdje oznaka u eksponentu označava broj pogonjenih valjaka.

### 2.2. Moment obrtanja valjaka

Moment valjanja preko horizontalnih i vertikalnih komponenata sila normalnog pritiska i tangencijalnih sila trenja (sl.3) odredi se po izrazu



Sl.3. Shema specifičnih pritisaka na kontaktnoj površini pogonjenog (1) i slobodnog (2) valjka viševaljkastog kalibra

$$M = n_p \int_0^\alpha P_p b_\varphi R^2 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi + n_p \int_{\delta_s}^\alpha T'_p b_\varphi R^2 \cdot \sin^2 \varphi d\varphi + n_p \int_{\delta_p}^{\delta_s} T_p b_\varphi R^2 \sin^2 \varphi d\varphi - n_p \int_0^{\delta_p} T''_p b_\varphi R^2 \sin^2 \varphi d\varphi - n_p \int_0^\alpha P_p b_\varphi R^2 \cos \varphi \cdot \sin \varphi d\varphi + n_p \int_{\delta_s}^\alpha T'_p b_\varphi R^2 \cos^2 \varphi d\varphi + n_p \int_{\delta_p}^{\delta_s} T_p b_\varphi R^2 \cos^2 \varphi d\varphi - n_p \int_0^{\delta_p} T''_p b_\varphi R^2 \cos^2 \varphi d\varphi \quad (6)$$

Uslov ravnoteže profila uzimanjem u obzir otpora obrtanja slobodnih valjaka i primjenom zatezanja

$$n_p \int_0^\alpha P_p b_\varphi R \sin \varphi d\varphi - n_p \int_{\delta_s}^\alpha T'_p b_\varphi R \cos \varphi d\varphi - n_p \int_{\delta_p}^{\delta_s} T_p b_\varphi R \cos \varphi d\varphi + n_p \int_0^{\delta_p} T''_p b_\varphi R \cos \varphi d\varphi +$$

$$+ n_s \int_0^\alpha p_s b_\varphi R \sin \varphi d\varphi + n_s \mu_r \frac{r_r}{R} \int_0^\alpha p_s b_\varphi$$

$$R d\varphi + A_o \left( \pm \sigma_o \mp \frac{\sigma_1}{\lambda} \right) = 0 \quad (7)$$

Metodom određivanja momenta obrtanja valjaka  $|1|$ ,  $|2|$  i zanemarivanjem kontaktnog tangencijalnog napona s obzirom da drugi, treći i četvrti član jednačine (6) su značajno mali u odnosu na veličinu prvog člana, te zamjenom dužine zahvata tetivom i unošenjem zamjene  $R \cos \varphi = R \cos \frac{\alpha}{2}$  i  $p_x = p_p \approx p_s$  poslije transformacije dobije se

$$M = n \int_0^\alpha p_x b_\varphi R^2 \sin \varphi \cos \varphi d\varphi + n_s R \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \int_0^\alpha p_x b_\varphi R \sin \varphi d\varphi + n_s \mu_r \frac{r_r}{R} R \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \int_0^\alpha p_x b_\varphi R d\varphi + R A_o \left( \pm \sigma_o \mp \frac{\sigma_1}{\lambda} \right) \cos \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

Unošenjem vrijednosti  $p'_x$  i  $p''_x$  u (8) za zonu zaostajanja i preticanja, te  $p_x$  za središnje područje zone deformacije  $|1|$ , nakon određenih transformacija i integracije dobije se moment valjanja u viševaljkastom kalibru

$$M = \frac{\delta A_o}{n\mu} \frac{\lambda - 1}{\lambda} p_{sr} \left( n_p \frac{1}{2} + \frac{n_s \mu}{\delta} R \cos \frac{\alpha}{2} + n_s \mu_r r \right) + A_o \left( \pm \sigma_o \mp \frac{\sigma_1}{\lambda} \right) R \cos \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

gdje je:

$p_{sr}$  - srednji normalni pritisak

$A_o$  - poprečni presjek profila prije deformisanja

$\delta$  - faktor kontaktne površine

$l = \sqrt{R\Delta h}$  - dužina kontaktne zone

$\lambda = A_o/A_1$ , koeficijent izduženja profila

$b_\varphi$  - širina poprečnog presjeka profila u funkciji ugla

$\sigma_o, \sigma_1$  - normalni napon zadnjeg i prednjeg zatezanja profila

$n = n_p + n_s$  - ukupni broj valjaka

$\mu$  - koeficijent kontaktnog trenja

Analizom jednakosti (9) može se utvrditi da povećanjem broja slobodnih valjaka moment valjanja raste, budući da je u (9)

$$\frac{l}{2} = \frac{\mu}{\delta} R \cos \frac{\alpha}{2}, \quad \delta = \frac{2\mu l}{\Delta h}$$

Za inženjerske proračune moment valjanja u viševaljkastom kalibru može se odrediti po (9) ili pri  $n_s = 0$  i  $n_p = n$  po

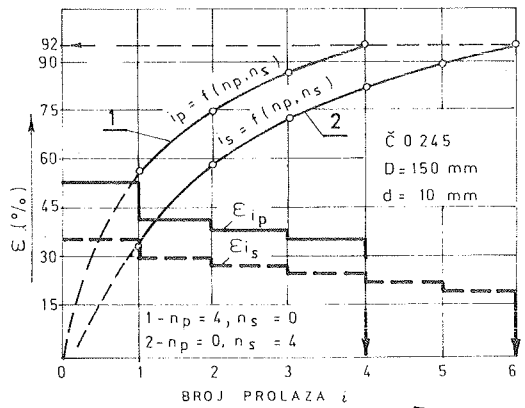
$$M = \frac{\delta A_o \cdot l}{2\lambda\mu} (\lambda - 1) p_{sr} + A_o \left( \pm \sigma_o \mp \frac{\sigma_1}{\lambda} \right) R \cos \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

gdje je  $p_{sr}$  - srednji specifični pritisak materijala na valjak

### 3. Eksperimentalno istraživanje

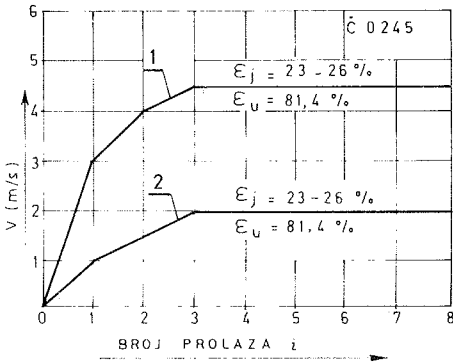
Eksperiment je izveden za dva granična slučaja i to za:  $n_p = n, n_s = 0$ , odnosno za  $n_p = 0, n_s = n$ .

Dobiveni rezultati [3] grafički su prikazani na sl.4 iz čega se vidi da je obradni sistem koji ostvaruje istoimeno pritisno naponsko stanje ( $n_p = n, n_s = 0$ ) povoljniji u odnosu na raznoimeno naponsko stanje ( $n_p = 0, n_s = n$ ), budući da je pri istom ukupnom stepenu deformacije potreban znatno manji broj prolaza (i) tj.  $i_p = 4 < i_s = 6$



Sl.4. Broj prolaza ( $i_p, i_s$ ) i stepen deformacije po prolazu ( $\epsilon_{ip}, \epsilon_{is}$ ) u funkciji broja pogonjenih valjaka, pri  $\epsilon = \text{const.}$

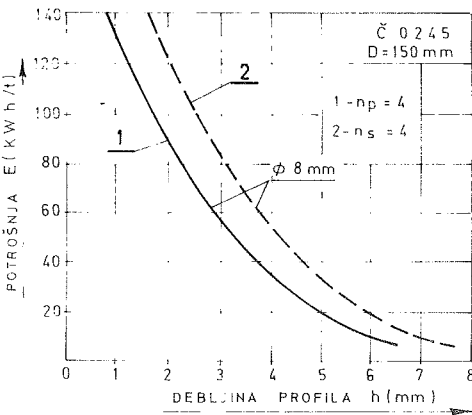
Ostvareni stepen deformacije po jednom prolazu (sl.4) takodje pokazuje efikasnost primjene viševaljkastog kalibra sa svim pogonjenim valjcima. Brzina valjanja kao najuticajniji faktor produktivnosti deformacionog procesa (sl.5) pokazuje da je



Sl.5. Brzina valjanja - izvlačenja u funkciji broja pogonjenih valjaka,  $1-n_p=4, n_s=0$ ;  $2-n_p=0, n_s=4$

$$v_{\max} = v_p = 4,5 \text{ m/s} > v_s = 2 \text{ m/s} = v_{\min}$$

Energetsko stanje navedenih deformacionih sistema prikazano je na sl.6, gdje je manja specifična potrošnja energije (kWh/t) za obradni sistem sa pogonjenim valjcima ( $n_p=n=4$ ).



Sl. 6. Specifična potrošnja energije  $E = f(n_p, n_s)$

#### 4. ZAKLJUČCI

Izvedeno istraživanje pokazuje uticaj broja pogonjenih valjaka koji obrazuju otvor poprečnog presjeka kalibra na tehnološke i energetske parametre viševaljkaste deformacione mašine za izradu osnosimetričnih profila.

Taj uticaj se ogleda na formiranju odgovarajućeg naponsko-deformacionog stanja u zoni deformacije, što se odražava na efikasnost i produktivnost deformacionog procesa. Izvršni organ mašine izveden sa svim pogonjenim valjcima ima znatnu prednost u odnosu na izvršni organ izveden sa svim slobodnoobrotnim valjcima, a što se prije svega ogleda u slijedećem: ostvaruje se veći zahvatni ugao, veći ukupni stepen deformacije i do 60%, veća brzina valjanja i preko 200%, veća produktivnost obradnog sistema do 250% i manji utrošak energije po jedinici težine proizvedenog profila.

Prema tome moguće tehničko rješenje pored pogonjenih valjaka koji imaju nesumnjivu prednost treba tražiti i u kombinaciji ovih sistema.

#### 5. Literatura

- [1] Smirnov S., Teorija prokatki, Metallurgija, Moskva, 1967.
- [2] Celikov A., Nikitin G., Rokotjan S., Teorija prodoljnoi prokatki, Metallurgija, Moskva, 1980.
- [3] Jurković M., Čurtović K., Razmatranje efikasnosti primjene obradnih sistema za izradu osnosimetričnih i sličnih profila. Časopis "Obrada deformisanjem u mašinstvu", br.1-2. Novi Sad, 1983.





Milan Jurković, Stevan Živanović\*

IDENTIFIKACIJA KRUTOSTI KASETNOG SISTEMA DEFORMACIONE  
MAŠINE ZA VALJANJE OSNOSIMETRIČNIH PROFILA\*\*

R e z i m e

Identifikacijom krutosti moguće je odrediti optimalni oblik kasetnog sistema, te pouzdano izračunati tehnološke parametre deformacionog procesa i shemu kalibracije.

THE IDENTIFICATION OF THE STIFFNESS OF CASSETTICAL SYSTEM  
OF THE MACHINE FOR ROLLING AXISYMMETRICAL PROFILES

S u m m a r y

By the identification of the stiffness is possible to determine optimum shape of cassetical system and reliably to calculate the technological parameters of the process and the scheme of a calibration.

1. U v o d

Važan faktor tačnosti dimenzija i oblika u poprečnom i uzdužnom pravcu osnosimetričnog profila je pored dimenzija i kvaliteta polaznog materijala, kvaliteta alata, režima valjanja i krutost deformacione mašine. Promjena intenziteta sile s kojom metal u procesu deformisanja opterećuje radne valjke utiče na izmjenu apsolutne dimenzije i geometrije otvora kalibra, što se opet odražava na dimenziju poprečnog presjeka valjanog profila.

Prema tome kvalitet kalibracije i tačnost valjanog profila zahtijeva proučavanje i ispitivanje elastične deformacije kasetnog sistema, što je neophodno učiniti ne samo radi razrade kalibracije i tehnologije valjanja, već i prije svega radi projektovanja kasetnog sistema, kao najvitalnijeg elementa valjačke mašine. Kod kontinuiranih mašina za valjanje profila kasetni sistemi su postavljeni u liniji, tako da je posebno važna krutost završnih kaseti gdje se oblikuje

\* Dr Milan Jurković, dipl.ing., vanredni profesor, Mašinski fakultet Banjaluka  
Dr Stevan Živanović, dipl.ing., red.profesor, Mašinski fakultet Banjaluka

\*\* Prikazani rad radjen je u okviru naučnoistraživačkog projekta "Istraživanje, razvoj i konstrukcija deformacione mašine za izradu osnosimetričnih profila, koji finansira SIZ nauke BiH i RMK Zenica.

konačni profil poprečnog presjeka. Dakako, poznavanje krutosti važno je i kod pripremnih kaseti, budući da elastičnu deformaciju kasetnog sistema treba uzeti u obzir kod projektovanja tehničko-tehnoloških parametara valjanja, odnosno kod proračuna stepena deformacije, koeficijenta izduženja, prečnika valjaka, otvora kalibara, konstantnosti protoka itd.

Obično se krutost iskazuje odnosom sile pritiska metala na valjke  $F$  (kN) i elastične deformacije kasete  $f$  (mm)

$$C = \frac{F}{f} \quad (1)$$

Ukupna elastična deformacija kasetnog sistema može se iskazati pomoću

$$f_u = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 \quad (2)$$

gdje je:

- $f_1$  - elastična deformacija račnih valjaka od djelovanja poprečne sile i momenta savijanja
- $f_2, f_3, f_4$  - elastična deformacija podmetača, ležaja, čaure
- $f_5, f_6$  - elastična deformacija zavojnog vretena i navrtke
- $f_7$  - elastična deformacija noseće strukture (kućišta) kasete uslijed djelovanja momenta savijanja, aksijalnih i poprečnih sila.

Ako se pretpostavi valjak kao greda ravnog poprečnog presjeka tada je progib pod dejstvom opterećenja

$$f = f_m + f_p \quad (3)$$

Progib pod dejstvom momenta savijanja

$$f_m = \frac{F}{18,8 E D^4} \{ 8l_1^3 - 4l_1 l_2 + l_2^3 + 64l_3^2 \left[ \left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right] \} \quad (4)$$

Progib pod dejstvom poprečnih sila

$$f_p = \frac{F}{G E D^2} \left\{ l_1 - \frac{l_2}{2} + 2l_3 \left[ \left( \frac{D}{d} \right)^2 - 1 \right] \right\} \quad (5)$$

gdje je:

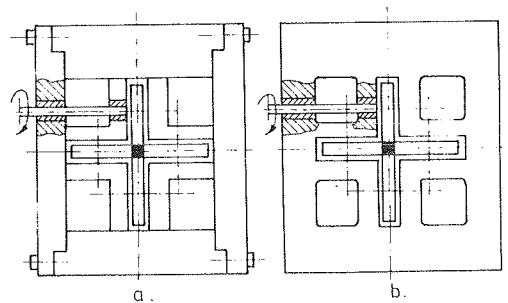
- $D$  - najmanji prečnik valjka
- $l_1$  - rastojanje izmedju napadnih linija superponiranih reakcija oba ležaja
- $l_2$  - širina valjanog materijala
- $l_3$  - rastojanje od napadne linije superponirane reakcije do kraja radne površine valjka

$d$  - prečnik rukavca valjka u ležaju  
 $G$  - modul elastičnosti pri smicanju

Date jednakosti pokazuju da se povećanjem prečnika valjaka smanjuje progib pri konstantnoj veličini ostalih parametara. Međutim, veći prečnik valjaka zahtijeva veće kućište kasete, veću količinu materijala za izradu kasete, veće obrtne mase, te analogno tome i veću snagu za pogon obrtnih elemenata kasetnog sistema. Smanjenje dužine valjaka za dva puta [1] dozvoljava sniženje deformacije za osam puta, što upućuje na podatak da je geometrijsko oblikovanje kasetnog sistema izuzetno bitno u pogledu sveukupne krutosti sistema.

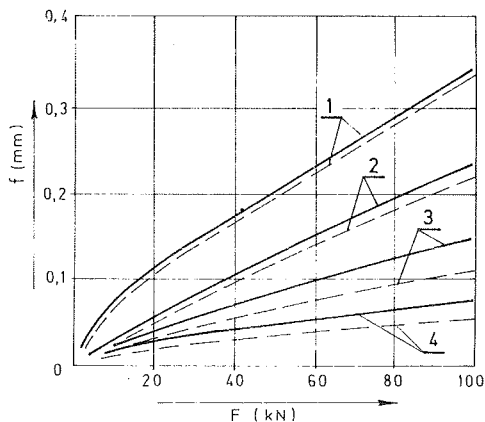
## 2. Vrste kasetnih sistema

Po konstruktivnoj izvedbi kasetni sistemi mogu biti otvorenog i zatvorenog tipa (sl. 1), izvedeni s kliznim ležajima iz tekstolita [1], [2] ili valjčastim koničnim ležajima. Konstruktivna izvedba utiče na krutost što prikazuje sl.2.



Sl.1. Konstruktivne izvedbe kasetnih sistema,  
 a - otvoreni tip, b - zatvoreni tip

Prema rasporedu oslonaca kasete mogu biti sa simetričnim i nesimetričnim rasporedom oslonaca, dok prema načinu podešavanja mogu biti podešavajuće i ne podešavajuće, a prema broju valjaka sa 2,3,4 i više valjaka.



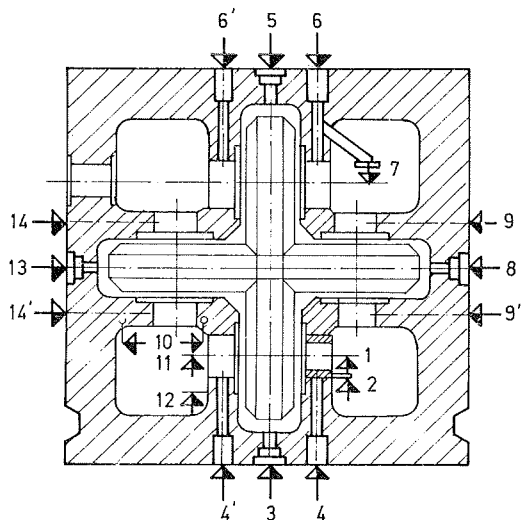
Sl.2. Krive deformacije  $f=f(F)$  elementa kasetnog sistema  
 - - - - - kasetna zatvorenog tipa,  
 ————— kasetna otvorenog tipa  
 1-radni valjak, 2-ležaj, 3-okvir (kućište), 4-počešavajući element

### 3. Lokacija mjernih davača

Raspored davača na kasetnom sistemu (sl.3) je takav da se mogu odrediti deformacije svakog valjka posebno, što je neophodno za proračun kalibra i drugih karakteristika kasete. Opterećenje valjka rože se izvesti u statičkim i dinamičkim uslovima rada. Statičko ispitivanje zasniva se na opterećenju valjka koji je oslonjen u ležištima sa odgovarajućim rasponom oslonaca reakcija sila. Na radnu površinu valjka djeluje se silom intenziteta od  $F_{min}$  do  $F_{max}$  pri čemu se konstatuje progib. Ovakvo opterećenje garantuje tačnost fiksiranog radialnog pritiska na valjak, isključuje grešku, moguća je kontinuirana promjena sile i isključuje se velika priprema koja je inače prisutna kada se izvodi ispitivanje u režimu dinamičkog opterećenja.

Ipak ispitivanje opterećenja i elastičnih deformacija u tehnološko-proizvodnim uslovima daje realne podatke za proračun odstupanja dimenzija

poprečnog presjeka profila, radi čega se daje prikaz lokacije mjernih alata na sl.3. Mjernim davačem 1 određuje se elastična deformacija oslonca rukavca i ležaja, davačem 2 mjeri se deformacija ležaja.



Sl.3. Shema rasporeda davača za mjerenje sile i deformacija elementa kasete

Davačima 3, 5, 8 i 13 mjeri se deformacija svakog sklopa valjaka, a davačima 4 (4'), 6 (6'), 9 (9') i 14 (14') određuje se sila pritiska metala na valjke. Davačem 7 mjeri se djelomična deformacija ležajnog sklopa, dok davačem 10 određuje se istežanje noseće strukture kućišta (podporne stijenke). Davačem 11 određuje se ukupna deformacija ležajnog sklopa. Davač 12 mjeri deformaciju koja nastaje kao rezultat pritiska na noseću stijenku.

### 4. Analiza krutosti kasetnog sistema

Pri analizi krutosti obično se pod elastičnom deformacijom  $f$  podrazumijeva veličina zazora koja se ostvari između dva valjka kasete i to poddjelovanjem sile  $F$ . Za komparativnu analizu kaset različitog tipa preporučljivo je primijeniti koefici-

jent krutosti radnog valjka

$$C_v = \frac{F}{f_y} \quad (6)$$

gdje je:

$f_y$  - elastična deformacija valjačkog sklopa

Radi ocjene tačnosti profila pri valjanju potrebno je razmotriti dva pokazatelja i to:

- Koeficijent krutosti kalibra koji karakterizira odnos sile i povećanje maksimalne osnovne dimenzije kalibra

$$C_k = \frac{F}{f_d} \quad (7)$$

gdje je:

$f_d$  - izmjena maksimalne osnovne dimenzije kalibra kao rezultat elastične deformacije kasete

- Koeficijent krutosti oblika kalibra

$$C_o = \frac{F}{f_{\Delta d}} \quad (8)$$

gdje je:

$f_{\Delta d}$  - razlika maksimalne i minimalne dimenzije kalibra koja nastaje kao rezultat elastične deformacije elemenata kasete (ovalnost okruglog kalibra ili maksimalna razlika visine šestostranog profila).

Kod komparativne analize efektivnosti primjene kasete različitog tipa, a pri izradi profila visoke tačnosti uzima se krutost valjka jednaka za svaku od razmatranih kasete.

Maksimalna promjena prečnika okruglog kalibra  $f_d$  za dvovaljkasti i četvorovaljkasti kasetni sistem je  $f_d = 2f_y$ . Promjena ovalnosti okruglog dvovaljkastog kalibra je  $f_{\Delta d} = 2f_y$  dok je ovalnost za četvorovaljkasti okrugli kalibar

$$f_{\Delta d} = 2f_y - 2f_y \sin 45^\circ \approx 0,6 f_y$$

Promjena oblika šestostranog osnosimetričnog profila za dvovaljkasti kalibar je  $f_{\Delta d} = \sqrt{3} f_y$ , dok je za četvorovaljkasti kalibar  $f_{\Delta d} = 0,27 f_y$ .

Sličnom analizom i korištenjem koeficijenata krutosti kasete, valjaka, kalibra i oblika kalibra moguće je odrediti optimalni tip kasetnog sistema,

te pouzdano izračunati tehnološke osobine i shemu kalibracije pri valjanju različitih osnosimetričnih profila.

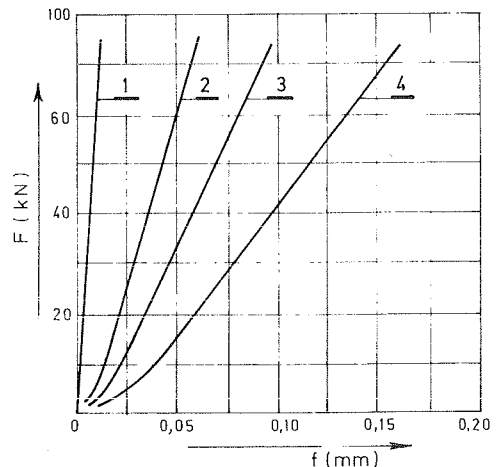
Rezultati eksperimentalnog ispitivanja elastične deformacije kasetnog sistema dati su u tabl.1.

Tabl. 1. Elastične deformacije dijelova sistema kasete

Elementi kasete	Deformacija (mm) pri sili valjanja F (kN)			Deform. elementa kasete (%)
	25	50	75	
Sklop valjka	0,0310	0,0550	0,0865	≈ 62,8
Noseći ležaj i čaura	0,0102	0,0312	0,0554	≈ 31,5
Okvir kasete	0,0016	0,0063	0,0085	≈ 5,7
Ukupna defom.	0,0428	0,0925	0,1504	100,0

Prema navedenom u ukupnoj deformaciji kasete najveći je udio deformacije koja se odnosi na sklop valjka, a najmanje na noseću strukturu kasete.

Na sl. 4. dat je grafički prikaz deformacije elemenata kasete sa simetričnim rasporedom oslonaca.



Sl. 4. Deformacije  $f=f(F)$  elemenata kasete, 1-okvir (kućište), 2-ležaj, čaura, noseći element, 3-valjak, rukavac, osovina valjka, 4-kasetni sistem

Primjenom metode konačnih elemenata izračunate su elastične deformacije (mm) okvira različitog geometrijskog oblika kasete (tabl.2)

Tabl.2. Maksimalna deformacija (mm) pri sili valjanja  $F$  (kN)

Oblik okv. kasete	Opterećenje (kN)			
	50	100	150	200
Kvadratna	0,0264	0,0528	0,0792	0,1056
Osmougaona	0,0229	0,0458	0,0687	0,0916
Okrugla	0,0182	0,0365	0,0547	0,0730

Pri opterećenju sklopa kasete silom 200 kN dobijene su elastične deformacije date u tabl.3.

Tabl. 3. Deformacije sklopa kasete

Oblik okvira kasete	Jedin.	D e f o r m a c i j a		
		$f_{ok}$	$f_{pu}$	$f_{jl}$
1	2	3	4	5
Kvadratna	mm	0,1928	0,0006	0,0262
	%	27,74	0,085	3,73

Nastavak tabl. 3.

$f_l$	$f_v$	$f_p$	$f_u$	Modul krutos. kN/mm
6	7	8	9	
0,043	0,2664	0,1728	0,7118	33,3
6,13	37,96	24,62	100	

- $f_{ok}$  - deformacija okvira  
 $f_{pu}$  - deformacija pritisknog uređaja  
 $f_{jl}$  - deformacija podmetača ležaja  
 $f_l$  - deformacija ležaja  
 $f_v$  - deformacija valjka od pritiskne sile na valjak  
 $f_p$  - deformacija progiba valjka  
 $f_u$  - ukupna deformacija

Prema tome pri izradi osnosimetričnog profila uslijed elastične deformacije kasetnog sistema doći će do odstupanja dimenzije profila, kako je to prikazano u tabl.4.

Tabl. 4. Maksimalno odstupanje dimenzije profila (mm)

Oblik okvira kasete	Opterećenje (kN)		
	10	25	50
Kvadratna	0,0355	0,0887	0,177

Nastavak tabl. 4.

Opterećenje (kN)		
100	150	200
0,355	0,532	0,710

## 5. ZAKLJUČCI

Izvedena analiza krutosti kalibra pokazuje da pri valjanju okruglih i šestostranih osnosimetričnih profila treba uzeti u obzir elastičnu deformaciju kalibra.

Sličnom analizom moguće je odrediti optimalni oblik kasetnog sistema te pouzdano izračunati tehnološke parametre deformacionog procesa i shemu kalibracije.

Prema tome eksperimentalno istraživanje krutosti omogućuje određivanje optimalnog odnosa dimenzija elemenata kasetnog sistema, tako da se zadržavanjem elastičnih deformacija u dozvoljenim granicama i povoljnim rasporedom masa materijala mogu ostvariti uštede u materijalu i do 20%.

Mali odnos dužine radne površine valjka i prečnika valjka povoljno utiče na stabilnost koeficijenta krutosti i znatno smanjuje elastičnu deformaciju sklopa valjka.

## 6. L i t e r a t u r a .

- [1] Čekmarev P., Pobegailo G., Točnaja prokatka sortovih profilei, Metallurgija, Moskva, 1972.
- [2] Dmitriev D., Ispolzovanie žestkih kletei na sortoprokatnyh stanah, Točnost prokatki, Doneck, 1967.



Stevan Živanović, Milan Jurković

UTICAJ NAPONSKE SCHEME NA TOPLOTNI BILANS  
U PROCESU IZRADE OSNOSIMETRIČNIH PROFILA

R e z i m e

Neophodnost korekcije obrasca za proračunavanje prirastaja temperature i količine stvarane toplote u procesu izrade osnosimetričnih profila proizilazi iz činjenice da dosadašnji obrasci nisu uzimali u obzir shemu naponskog stanja procesa. U ovom radu su razradjene naponske sheme za sve tri vrste procesa i na osnovu istraživanja predložen je korekcionni faktor.

THE INFLUENCE OF STATE OF STRESS ON THE  
THERMAL BALANCE IN THE PROCESS OF REALIZATION  
AXIALLY-SYMMETRICAL PROFILES

S u m m a r y

The necessity of correction of formulas for calculation a increase of temperature and quantity of developed heat in the process of the realization axially-symmetrical profiles is the consequence of a fact that up to now formulas do not take into consideration a state of stress of corresponding process. In this paper are made through study of state stresses for all tree kinds of process and on the ground of research is proposed the correctional factor.

1. Dosadašnji pristup

Kontinualni proces izare, u hladnom stanju, osnosimetričnih profila popraćen je znatnim porastom temperature i stvaranjem velike količine toplote.

Porast temperature usljed plastične

deformacije prouzrokovao je disipacijom energije plastičnog preoblikovanja i može se odrediti po obrascu Siebla /1/

$$\Delta T_d = \frac{\zeta_p \psi_i}{c_p S} \quad /K/ \quad (1)$$

Dr Stevan Živanović, dipl. ing., redovni profesor

Dr Milan Jurković, dipl. ing., vanredni profesor, Mašinski fakultet  
Banjaluka, Danka Mitrova 63-

gdje je

$\sigma_p$  - granica plastičnosti - N/mm<sup>2</sup>

$\varphi_i$  - intenzitet deformacije

$c_p$  - specifični toplotni kapacitet obradka - J/g K

$\rho$  - gustina obradka - g/cm<sup>3</sup>

Za čelik Č 0345, koji je korišćen u eksperimentalnom dijelu ovog rada

$$c_p = 0,4815 \quad \text{J/g K}$$

$$\rho = 7,85 \quad \text{g/cm}^3$$

$$c_p \rho = 3,78 \quad \text{J/K cm}^3$$

Za proračun količine toplote stvarane porastom temperature obradka služi obrazac /2/

$$Q = c_p \rho V \Delta T_d \quad \text{/J/} \quad (2)$$

gdje je V - zapremina u zoni deformisanja.

U ovom radu su razmatrane tri tehnologije izrade osnosimetričnih profila: 1. valjanje, 2. valjačko izvlačenje i 3. matrično izvlačenje. Shodno obrascu (1) dobija se isti priraštaj temperature za sve tri vrste tehnologija. Tako npr. za deformisanje čelika Č 0345 sa  $\sigma_{02} = 39,9 \text{ kN/cm}^2$ , za jedinični stepen deformacije  $\epsilon_1 = 0,5$ , pri čemu je  $\varphi_1 = 0,7025$ , priraštaj  $\Delta T_d = 88,7 \text{ K}$ .

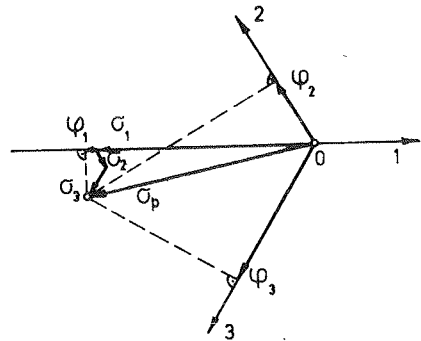
Eksperimentalna istraživanja, koja su izveli autori ovog rada /3/ pokazuju sljedeći priraštaj temperature u zoni deformisanja: 1. za valjanje-89 K, 2. za valjačko izvlačenje 93 K i 3. za matrično izvlačenje 166 K.

Objašnjenje razmimoilaženja teorijskih (obrazac 1) i eksperimentalnih rezultata istraživanja potraženo je u različitosti naponske sheme, što predstavlja suštinu novog prilaza razmatranoj problematici.

## 2. Naponske sheme procesa

Prikaz naponskog stanja procesa izrade osnosimetričnih profila pomoću tri različite tehnologije u kosougolom koordinatnom sistemu omogućuje da se sagleda položaj naponskog stanja u oktaedarskoj ravni i da se odredi granica plastičnosti, koja je različita za sve tri vrste procesa.

Na sl. 1. prikazano je naponsko-deformaciono stanje procesa valjanja. U ovom slučaju sva tri napona su negativna, pri čemu najveću apsolutnu vrijednost ima napon  $\sigma_1$ , tj. napon u pravcu radijalnom u odnosu na pravac valjanja. Ovdje postoji zavisnost  $|\sigma_1| > |\sigma_2| > |\sigma_3|$ .



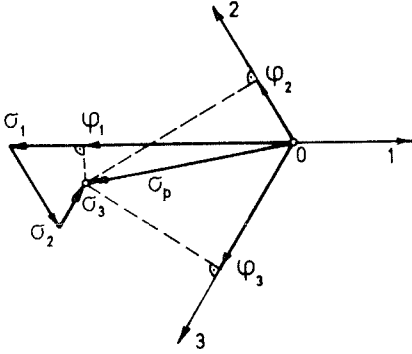
Sl.1. Prikaz naponsko-deformacionog stanja u oktaedarskoj ravni za proces valjanja

Na sl.2. prikazano je naponsko-deformaciono stanje procesa valjačkog izvlačenja. U ovom slučaju

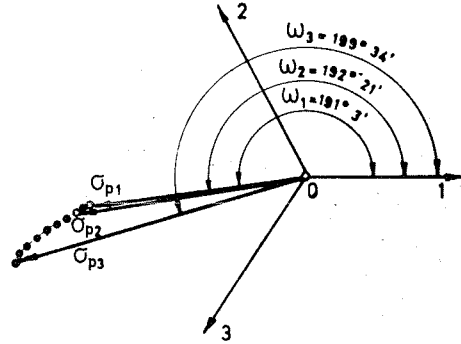
$$\sigma_1 < 0, \quad \sigma_2 < 0, \quad \sigma_3 > 0$$

Na sl.3. prikazano je naponsko-deformaciono stanje za proces matričnog izvlačenja. Na slici 4. indeksi označavaju: 1 - valjanje, 2 - valjačko izvlačenje i 3 - matrično izvlačenje.

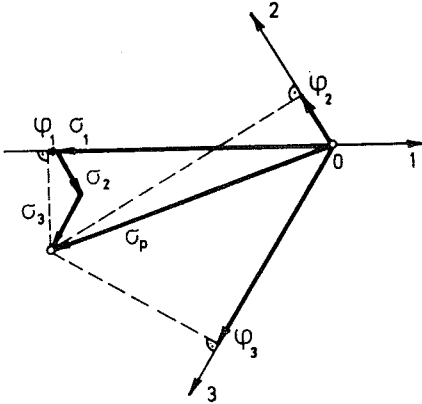




Sl.2. Prikaz naponsko-deformacionog stanja u oktaedarskoj ravni za proces valjačkog izvlačenja



Sl.4. Pokazatelj naponske sheme za tri vrste tehnologija



Sl.3. Prikaz naponsko-deformacionog stanja u oktaedarskoj ravni za proces matičnog izvlačenja

### 3. Različitost intenziteta deformacija

Obzirom na različitost naponske sheme za sve tri vrste navedenih tehnologija postojeće za isti jedinični stepen osnovne deformacije tri razne deformacione sheme ovih procesa. Kako se ovdje radi o procesima sa kvaziprostolinijskim tokovima deformacije, to su pokazatelji deformacione sheme isti kao i pokazatelji naponske sheme. Znači da je za proces valjanja pokazatelj naponske sheme  $\omega_1 = 191^\circ 3'$ , za proces valjačkog izvlačenja  $\omega_2 = 192^\circ 21'$ , a za matično izvlačenje  $\omega_3 = 199^\circ 34'$ .

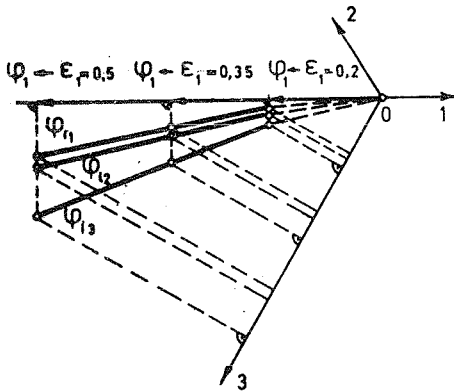
Tako da poznajući  $\varphi_1$  i  $\omega$  mogu se odrediti komponente  $\varphi_2$  i  $\varphi_3$ . Tako npr. pri  $\varphi_1 = -0,6931$  ( $\varepsilon_1 = 0,5$ ) za valjanje je  $\varphi_2 = 0,2398$  a  $\varphi_3 = 0,4533$ , za valjačko izvlačenje  $\varphi_2 = 0,2311$  i  $\varphi_3 = 0,4620$ , a za matično izvlačenje  $\varphi_2 = 0,1398$  i  $\varphi_3 = 0,5533$ .

Rezultati istraživanja deformacionog toka su prikazani na sl.5. gdje  $\varphi_{11}$  predstavlja valjanje,  $\varphi_{12}$  - valjačko izvlačenje i  $\varphi_{13}$  - matično

Na sl.4. prikazan je pokazatelj naponske sheme  $\omega$  za tri vrste tehnologija. Na osnovu ovog prikaza može se izvršiti uporedjenje intenziteta granice plastičnosti za sve tri vrste procesa. Tako za proces valjanja  $\sigma_{p1} = 47,7 \text{ kN/cm}^2$ , za proces valjačkog izvlačenja  $\sigma_{p2} = 49,0 \text{ kN/cm}^2$ , a za matično izvlačenje  $\sigma_{p3} = 64,4 \text{ kN/cm}^2$ . Sva tri procesa su vršena pri brzini  $v = 1 \text{ m/s}$  i pri

$$\varepsilon_{11} = \varepsilon_{12} = \varepsilon_{13} = -0,5.$$

čno izvlačenje.



Sl.5. Tok deformacije za tri vrste tehnološkog procesa

Intenzitet deformacije pri  $\epsilon_1 = 0,5$  iznosi za pojedine tehnologije:

$\varphi_{11} = 0,7025$  - valjanje,  $\varphi_{12} = 0,705$  - valjačko izvlačenje i  $\varphi_{13} = 0,7325$  - matrično izvlačenje.

#### 4. Korekcionni faktor

Različitost naponsko-deformacione sheme za navedene tri vrste procesa prouzrokuje različiti priraštaj temperature pri istoj osnovnoj jediničnoj deformaciji. Na osnovu izvršene analize predlaže se sljedeći obrazac za proračunavanje priraštaja temperature u procesima izrade osnosimetričnih profila pomoću tri opisane tehnologije.

$$T_d = \frac{\gamma \sigma_p \varphi_i}{s c_p} \quad /K/ \quad (3)$$

Korekcionni faktor "y" ima za pojedine procese sljedeće vrijednosti

$$\gamma_1 = 1 - \text{proces valjanja}$$

$$\gamma_2 = 1,018 - \text{proces valjačkog izvlačenja}$$

$$\gamma_3 = 1,331 - \text{proces matričnog izvlačenja}$$

Za proračun količine toplote stvarene porastom temperature obradka predlaže se sljedeći obrazac

$$Q = \gamma \sigma_p \varphi_i V \quad /J/ \quad (4)$$

#### 5. ZAKLJUČCI

Na osnovu obavljene analize dolazi se do sljedećih zaključaka:

1. Dosadašnji obrasci za proračunavanje priraštaja temperature i količine toplote stvarane u procesu izrade osnosimetričnih profila ne prikazuju stvarno stanje
2. Uzročnik znatnih odstupanja proračunskih od stvarnih rezultata je u različitosti naponsko-deformacione sheme, tj. u različitosti pokazatelja naponsko-deformacione sheme.
3. Za proračunavanje priraštaja temperature i količine toplote predlažu se obrasci koji sadrže korekcionni faktor u odnosu na dosadašnje obrasce.
4. Neophodnost uvođenja korekcionnog faktora proizilazi iz činjenice da je odstupanje rezultata dobijenih dosadašnjim obrascima u odnosu na stvarne znatno i da kod matričnog izvlačenja iznosi 33,1 %.

#### 6. L i t e r a t u r a

- /1/ A. Hensel, T. Spittal, Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebungs- verfahren, Leipzig 1980.
- /2/ P. Poluhin, Plastičeskaja deformacija metallov i splavov. Moskva 1981.
- /3/ M. Jurković, S. Živanović, Izbor optimalne metode izrade uske čelične trake, naučno-istraživački projekat SIZ Nauke Bosne i Hercegovine, Banjaluka 1981.

V. Domazetović, M. Vukčević i M. Mijanović\*

PRILOG ODREĐJIVANJU NAPONSKO-DEFORMACIONOG STANJA  
KRUPNIH OTKOVAKA

R e z i m e

Procesi kovanja krupnih otkovaka složene konfiguracije odvijaju se u uslovima komplikovanih naponsko-deformacionih odnosa što veoma otežava teorijski pristup. U tom smislu je od posebnog značaja formiranje metoda koji sa stanovišta praktične primjene daje korektne rezultate.

U radu je razradjen postupak određivanja naponsko-deformacionog stanja otkovaka koji je moguće primijeniti bez obzira na složenost oblika istih.

ANALYSIS OF STRESS AND DEFORMATION STATE IN LARGER  
FORGINGS

S u m m a r y

Difficulties in analysing the teoretical model of smith forging process of larger forgings are discussed. The paper presents new developed method of analysis of stress and deformation state of larger forgings applied independent of shape of forging.

1. UVOD

Složenost oblika otkovaka omogućava do kraja teorijski korektan pristup pri analizi naponsko-deformacionog stanja. S obzirom da se razmatraju komadi kod kojih su deformacije velike a konfiguracija složena, otežan je pristup metodom linija klizanja. Takodje, primjena u literaturi najčešće korišćenih obrazaca za nalaženje radne sile daje velika rasipanja (za konkretan slu-

čaj 150-400 MN). Komadi koje posmatramo su relativno velike debljine te i pokušaj analogije sa valjanjem ne daje zadovoljavajuće rezultate.

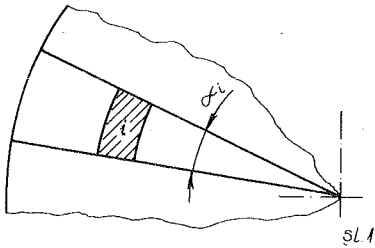
U ovom radu će se izložiti metod geometrijskog aproksimiranja kovanih komada uz postupno praćenje napona i deformacija po meridijalnim presjecima otkovka.

---

\* Dr Vuko Domazetović, dipl. ing., V. profesor, Mašinski fakultet - Titograd  
Milan Vukčević, dipl. ing., Mašinski fakultet - Titograd  
Marina Mijanović, dipl. ing., Mašinski fakultet - Titograd.

2. ANALIZA DEFORMACIJA

Posmatramo krupne otkovke sa više različitih meridijalnih presjeka. Otkovke ćemo tretirati kao uslovno osno simetrične što nam daje mogućnost da utvrdimo uglove  $\alpha_i$  zastupljenosti pojedinih presjeka pri čemu je  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 2\pi$ , gdje je: n-broj presjeka. Složenu konfiguraciju pojedinih presjeka dijelimo na aproksimativne površine za različite presjeka iste širine. Na sl.1. je prikazana podjela jednog od radialnih presjeka otkovka složenog oblika.



$\alpha_{SI}$  - udeo zastupljenosti dijela 5 presjeka I,

$r_{rSI}$  - radijus težišta dijela 5, presjeka I,

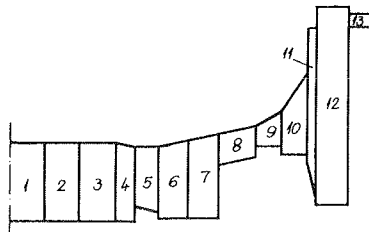
$A_{SI}$  - površina dijela 5, presjeka I.

U opštem slučaju će biti za k-ti dio i i-ti presjek:  $\Delta V_{ki} = \alpha_{ki} r_{rki} A_{ki}$

Izjednačavanje zapremine prstena otkovka sa zapreminom odgovarajućeg prstena priprema, za slučaj kada posmatramo 5-ti djelić tijela sa ukupno 3 različita radialna presjeka dobija se:

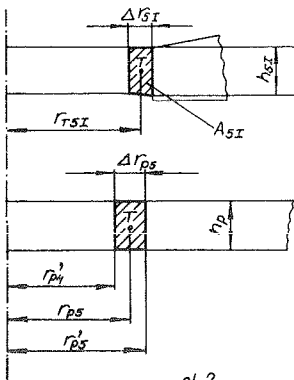
$$\sum_{i=1}^3 \Delta V_{si} = \Delta V_{sp}$$

U opštem slučaju za k-ti djelić tijela sa n presjeka prethodna jednačina



Korišćenjem nadjenih površina i prethodno izračunatih uglova zastupljenosti presjeka uz primjenu Guldenove teoreme nalazimo djelove zapremine na radiusu otkovka koji pripadaju različitim presjecima. Npr., za peti dio posmatranog presjeka I na sl. 1. će biti, prema sl. 2. pripadna zapremina

$$\Delta V_{SI} = \alpha_{SI} r_{rSI} A_{SI}, \text{ gdje su:}$$



sl.2.

će imati oblik:

$$\sum_{i=1}^n \Delta V_{ki} = \Delta V_{kp}$$

Geometrijske veličine priprema obilježene na sl.2. naći ćemo po obrascima:

$$r_{PS}^2 = \sqrt{\frac{\Delta V_{SP}}{S} h_p} + r_{PV}^2, \quad r_{PK}^2 = \sqrt{\frac{\Delta V_{KP}}{S} h_p} + r_{PK-1}^2$$

$$\Delta r_{PS} = r_{PS}^2 - r_{PV}^2, \quad \Delta r_{PK} = r_{PK}^2 - r_{PK-1}^2$$

$$r_{PS} = \frac{r_{PS}^2 + r_{PV}^2}{2}, \quad r_{PK} = \frac{r_{PK}^2 + r_{PK-1}^2}{2}$$

k=1,2,...,r r-broj djelova na koje je podijeljen presjek.

Uporedo su navedeni obrasci za 5-ti i k-ti djelić presjeka. Takođe nalazimo i odgovarajuće uglove priprema  $\alpha_{PKi}$  definisane izrazima:

$$\alpha_{PSI} = 2\pi \frac{\Delta V_{SI}}{\sum_{i=1}^3 \Delta V_{si}}, \quad \alpha_{PKi} = 2\pi \frac{\Delta V_{ki}}{\sum_{i=1}^n \Delta V_{ki}}$$

i=1,...,n; n-broj presjeka.

Isti određuju djelove zapremine prstena platine koji odgovaraju veličini zapremine i-tog presjeka na za sve presjeke istom radiusu.

Ovakva uporedna analiza omogućava da se dodje do geometrijskih velič-

ina neophodnih za nalaženje deformacija postupno po radiusu otkovka. Potrebne geometrijske veličine za k-tu podjelu presjeka su:

$r_{ki}$  - radius težišta k-te podjele otkovka i-tog presjeka,

$r_{kp}$  - radius težišta k-te podjele priprema,

$\Delta r_k$  - širina k-te podjele otkovka,

$\Delta r_{kp}$  - odgovarajuća širina priprema,

$\alpha_{ki}$  - ugao zastupljenosti i-tog presjeka na k-toj podjeli otkovka,

$\alpha_{kpi}$  - ugao zastupljenosti priprema koji odgovara i-tom presjeku k-te podjele otkovka,

$h_{ki}$  - srednja visina k-te podjele otkovka na i-tom presjeku,

$h_p$  - visina priprema.

Gornje geometrijske veličine omogućavaju da se izraze glavne deformacije posmatranih djelova. Obrasci su dati uporedo za i-ti presjek, k-tu podjelu presjeka i za konkretan slučaj - I presjek i 5-ti djelić:

$$\varphi_{px} = \ln \frac{\Delta r_k}{\Delta r_{kp}}$$

$$\varphi_{ps} = \ln \frac{\Delta r_k}{\Delta r_{ps}}$$

$$\varphi_{pxi} = \ln \frac{\alpha_{ki} r_{ki}}{\alpha_{kpi} r_{kp}}$$

$$\varphi_{sxi} = \ln \frac{\alpha_{sxi} r_{sxi}}{\alpha_{psxi} r_{ps}}$$

$$\varphi_{hxi} = \ln \frac{h_{ki}}{h_p}$$

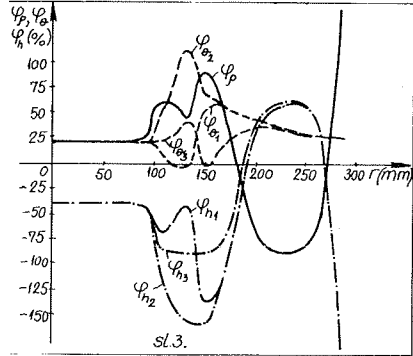
$$\varphi_{hsxi} = \ln \frac{h_{sxi}}{h_p}$$

$$\varphi_{px} + \varphi_{pxi} + \varphi_{hxi} = 0$$

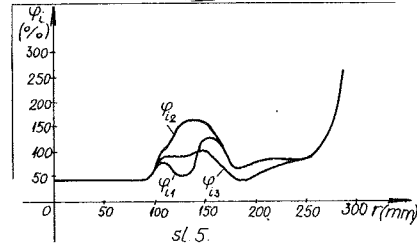
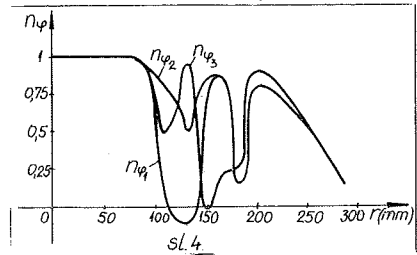
$$\varphi_{ps} + \varphi_{sxi} + \varphi_{hsxi} = 0$$

Iz istaknutih relacija se vidi da će vrijednosti radialnih stepena deformacije  $\varphi_p$  za sve presjeke biti isti dok će se tangencijalni  $\varphi_\theta$  i visinski  $\varphi_h$  stepeni deformacije razlikovati od presjeka do presjeka. Na izložen način se mogu naći dijagrami stepena deformacije po radiusu otkovka za sve operacije kovanja u odnosu na pripremak. Na sl. 3. su dati dijagrami  $\varphi_p$ ,  $\varphi_\theta$  i  $\varphi_h$  za otkovak složenog oblika dobijen u I-operaciji sa tri različita radialna presjeka.

Isti omogućavaju da se prati promjena koeficijenta vida deformacionog stanja  $n_\varphi$  (sl.4.) i inteziji-



vnosti deformacije  $\varphi_i$  (sl.5.) čime se dobija potpuniya informacija o načinu deformisanja. Sa sl.4. se da zaključiti da u opštem dijelu posmatrano prevladava deformaciono stanje pritiska mada je u pojedinim zonama prisutno i deformaciono stanje smicanja. Deformacija  $\varphi_i$  po svojoj brojnoj vrijednosti prati maksimalnu apsolutnu vrijednost deformacije posmatranog presjeka.



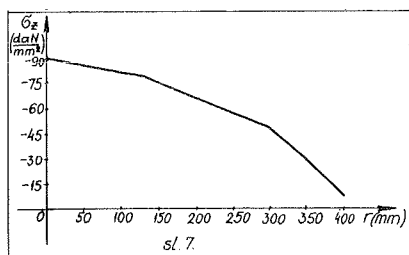
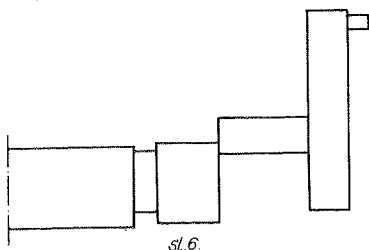
Treba imati na umu da su svi dijagrami dobijeni u odnosu na pripremak i da se grafičkim oduzimanjem može doći do dijagrama promjene pokazatelja deformacije sledeće u odnosu na prethodnu operaciju.

Ovakva analiza omogućava da se uoče mjesta maksimalne, zatim kritične deformacije, odredi deformaciono stanje za različite radiuse i različite

presjeke. Ista predstavlja osnov za nalaženje naponskog stanja.

### 3. ANALIZA NAPONA

Početni korak pri analizi naponskog stanja jeste geometrijsko modeliranje otkovka koje treba da ispunjava dva uslova: da postavljeni model bude dovoljno složen da realno aproksimira otkovak, i dovoljno prost da omogućava korektnu i relativno jednostavnu naponsku analizu (vidjeti sl.6.). Primjenom poznatih obrazaca za slobodno sabijanje, ubadanje itd. dolazi se do dijagrama aksijalnih napona  $\sigma_z$  po radijusu otkovka i za različite operacije (sl. 7). Dijagram je takvog oblika da aksijalni naponi opadaju od ose prema vijencu otkovka.



Treba imati na umu da se deformisanje vrši u toplom stanju, s obzirom da se radi o krupnim otkovcima a na pojedinim mjestima relativno velikim deformacijama, što nam omogućava da sve napone izražavamo u funkciji specifičnog deformacionog otpora prihvaćenog za pojedine operacije kao konstantnog.

U daljem radu polazeći od postavke da je koeficijent vida deformacionog stanja  $n_\varphi$  jednak koeficijentu vida naponskog stanja  $n_\sigma$ , uz korišćenje uslova plastičnosti za ravansko deformaciono stanje, saqlasno hipotezi najveće deformacione energije utrošene na promjenu oblika, moguće je naći napone u tangencijalnom  $\sigma_\theta$  i radijalnom  $\sigma_r$  pravcu. Dakle, gornjom analizom je moguće dobiti dijagrame aksijalnih  $\sigma_z$ , radijalnih  $\sigma_r$ , tangencijalnih  $\sigma_\theta$ , napona i intenzivnosti napona  $\sigma_i$ , po radijusu otkovka za sve operacije sukcesivno.

Iskoristićemo poznatu relaciju za istisnutu zapreminu koja za 5-ti dio operacije sa tri različita radijalna presjeka ima oblik:

$$V_{5 \text{ ist.}} = \sum_{i=1}^3 V_{5i} \varphi_{\max 5i}$$

U opštem slučaju k-ti dio, operacije sa n radijalnih presjeka će biti:

$$V_{k \text{ ist.}} = \sum_{i=1}^n V_{ki} \varphi_{\max ki}$$

Sada možemo naći vrijednost deformacionog rada posmatrane operacije preko izraza:

$$W = \sum_{k=1}^r V_{k \text{ ist.}} \sigma_{zsrk}$$

r - broj djelova na koje je podijeljen otkovak,

$\sigma_{zsrk}$  - srednji aksijalni napon posmatranog dijela.

Geometrijskom analizom otkovka se može utvrditi hod alata prese  $\Delta h$ , pa slijedi i vrijednost sile deformacije posmatrane operacije:

$$F = W / \Delta h$$

Na ovaj način se može doći do vrijednosti za deformacioni rad  $W_m$  i deformacionu silu  $F_m$  u m-toj operaciji,  $m=1,2,\dots,s$ , s-broj operacija, na osnovu kojih je moguće pravilno izabrati presu za posmatrane operacije kovanja.

Za prvu operaciju kovanja krupnog otkovka čiji jedan presjek je prikazan na sl. 1. gabaritnih dimenzija  $\emptyset 690 \times 205$  mm gornjom analizom se dobija:

$W_1 \approx 12,7 \text{ MNm}$      $F_1 \approx 245 \text{ MN}$ .

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je razradjen metod analize naponsko-deformacionog stanja složenih uslovno osnosimetričnih otkovaka. Složenost geometrije i visoke deformacije onemogućavaju pristup poznatim metodama. Zato se išlo na niz aproksimacija koje su sa stanovišta praktične primjene zadržane u granicama korektnog. Nadjeni su dijagrami glavnih deformacija i napona po presjecima i operacijama. Takođe su nadjena i vrijednosti deformacionih sila i radova za pojedine operacije.

#### 5. L I T E R A T U R A

- /1/ B.MUSAFIJA: Obrada metala plastičnom deformacijom, Sarajevo 1976.
  - /2/ M.V.STOROŽEV, E.A.POPOV: Teorija obrabotki metalov davljenijem, Moskva, Mašinstrojenje, 1977.
  - /3/ A.A. LJUBČENKO: Konstruirovanie šampov i qorjačaja listavoja šampovka, Moskva, Mašinstrojenje, 1974.
  - /4/ Spravočnik: Kovka i šampoyka cvetnih metalov, Moskva, Mašinstrojenje, 1972.
-





Himzo Djukić\*

Roko Markovina\*\*

NEKI REZULTATI KONIFIKACIJE CIJEVI SA UKIVANJEM NAVOJA

R e z i m e

U radu su dati neki rezultati konifikacije cijevi sa istovremenim ukivanjem unutarnjeg navoja. Posebna pažnja je posvećena: uvijanju spoljnih vlakana, funkciji zadebljanja i promjeni strukture materijala.

S u m m a r y

The paper offtes some results of the tube cinification with a simultaneous riveting of the internal thread. Special attention has been paid to the twisting of the external fibres, to the function of the increase of thickness, and to the alteration of the material structure (grain size).

1. Uvod

Konifikaciju cijevi je u principu moguće izvršiti na više načina od kojih su najpoznatiji:

- rotaciono kovanje,
- radijalno kovanje,
- presovanje na hladno i
- presovanje na toplo.

Krajevi konificiranih cijevi mogu biti najrazličitijeg poprečnog presjeka a najčešće se primjenjuju

sljedeći oblici:

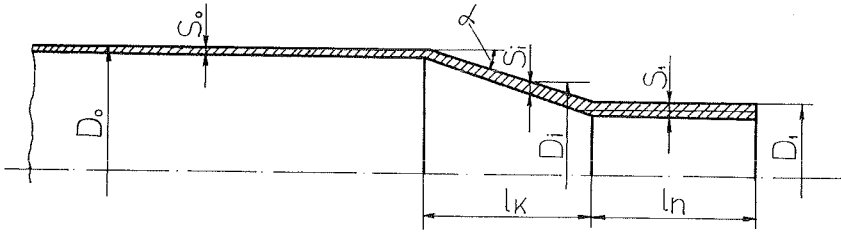
- konusni,
- cilindar-konus-cilindar i
- sverno oblikovan kraj.

Jedan od oblika koji se primjenjuje kao nosivi element u pojedinim konstrukcijama je cijev konificirana u obliku cilindar-konus-cilindar (slika 1.). Ovakvi elementi se mogu dobiti jednom od naprijed

---

\* Dr Himzo Djukić, docent, Mašinski fakultet Mostar, B. Parovića bb 79000.

\*\* Mr Roko Markovina, Razvojno istraživački centar, Mostar, B. Parovića bb 79000



Slika 1.

pobrojanih metoda. U slučaju da navoj na unutrašnjoj strani konifcirane cijevi (sl.1.) treba dobiti ukivanjem, tada je oblikovanje takve cijevi moguće izvesti samo radijalnim kovanjem. Da bi se izvršila konifikacija cijevi sa istovremenim ukivanjem unutrašnjeg navoja neophodno je potrebno riješiti niz tehnoloških problema koji su uglavnom vezani za proces formiranja unutrašnjeg navoja. U ovom radu su prikazani rezultati:

- mjerenja uvijanja spoljnih vlakana cijevi,
- promjene strukture materijala u zoni konifikacije i
- funkcija zadebljanja kao posljedica konifikacije.

## 2. Eksperimentalni rad

Eksperimenti su izvedeni na eksperimentalnoj mašini koja radi na principu radijalnog kovanja. Kao polazni materijal korištene su cijevi od AlCuMg2 i W 3.1354 sa osnovnim mehaničkim osobinama datim u tabeli 1. Prema JUS C.C2.100, AlCuMg2 legura spada u grupu materijala koji imaju loša plastična svojstva, te je potrebno posvetiti

posebnu pažnju termičkoj obradi materijala prije, u toku i poslije oblikovanja.

$s_{o,2}$	$d_m$	$d_5$	HB	E
	daN / mm <sup>2</sup>	%	daN / mm <sup>2</sup>	
30	45	12	110	7350

Tabela 1.

Za eksperimente su korištene cijevi vanjskog prečnika  $D_o = 20$  i  $25$  mm; debljine  $s_o = 1$  mm.

Na osnovu dimenzija datih na sl.1. deformacije poprečnog presjeka se mogu izraziti preko sljedećih veličina:

- odnosom sužavanja:

$$m_d = \frac{D_i}{D_o} \quad (1)$$

- jediničnom deformacijom:

$$\epsilon_d = \frac{D_o - D_i}{D_o} = 1 - m_d \quad (2)$$

- logaritamskom deformacijom poprečnog presjeka:

$$\varphi_u = \ln \frac{A_o}{A_i} \quad (3)$$

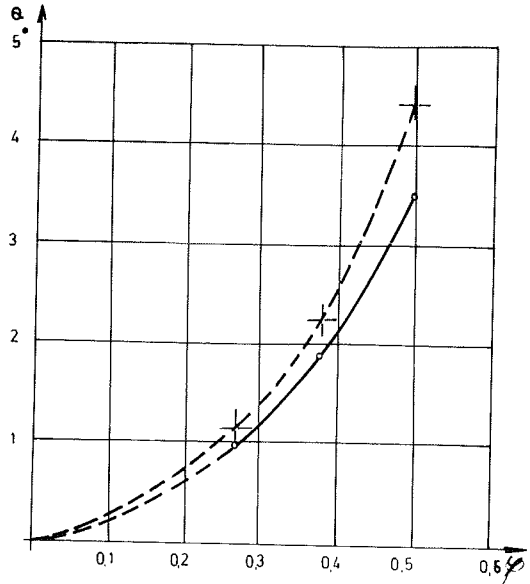
- logaritamskom deformacijom preč-

nika:

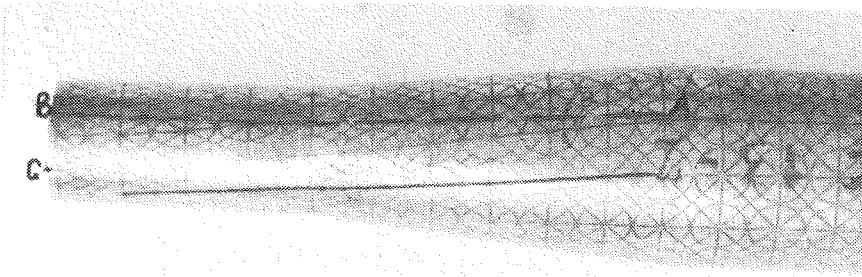
$$\varphi = \ln \frac{D_o}{D_i} \quad (4)$$

### 2.1. Uvijanje spoljnih vlakana

Uvijanje spoljnih vlakana cijevi je prouzrokovano silom trenja koja ima pravac tangente usmjeren suprotno od smjera obrtanja cijevi. Intenzitet sile zavisi od intenziteta normalne sile oblikovanja cijevi i koeficijenta kontaktnog trenja. Da bi se registrovalo uvijanje spoljnih vlakana, izvršeno je nanošenje mjerne mreže na cijevi elektrohemijiskim putem. Izgled jedne cijevi sa nanešenom mrežom je prikazan na slici 2.



Slika 3.



Slika 2.

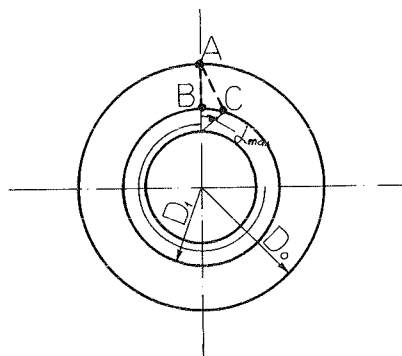
Sa slike 2. se jasno uočava uvijanje spoljnih vlakana (AC), odnosno kretanje od ose cijevi (AB) za ugao  $\theta$ . Mjerenjem vrijednosti odstupanja od osnovnog pravca i poznavanjem geometrije cijevi sračunate su vrijednosti ugla uvijanja i logaritamske deformacije prečnika. Zavisnost izmedju izvršenog stepena deformacije i ugla uvijanja je prikazano na slici 3. Puna linija na slici 3. predstavlja ugao uvijanja spoljnih vlakana na konusnom dijelu cijevi ( $l_k$  sl.1.) a crt-kana, uvijanje spoljnih vlakana na cilindričnom dijelu cijevi ( $l_n$  sl.1.).

Do povećanja ugla uvijanja na cilindričnom dijelu cijevi dolazi zbog povećanog otpora koji nastaje ukivanjem unutrašnjeg navoja. Ugao uvijanja mjereno u radijalnom pravcu (sl.4) u zavisnosti od logaritamskog stepena deformacije prečnika je prikazan na slici 5.

Razlika izmedju maksimalnog i minimalnog ugla uvijanja u radijalnom pravcu je nastala zbog formiranja unutrašnjeg navoja.

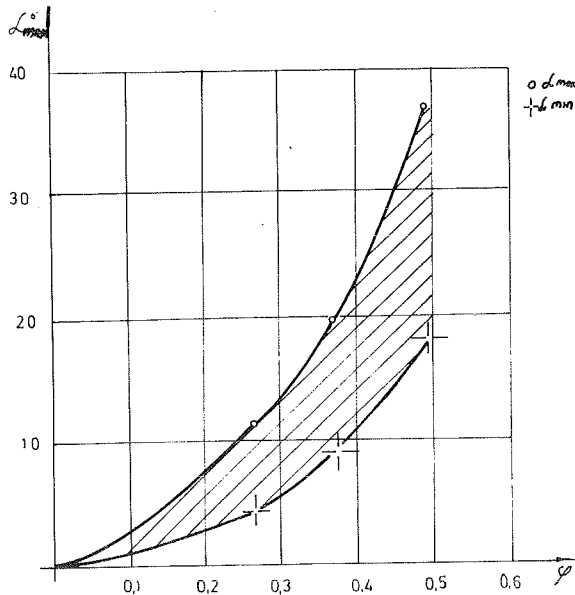
### 2.2. Promjena veličine zrna

Pošto se konifikacija cijevi izvodi u hladnom stanju zbog ostvarenog velikog stepena deformacije

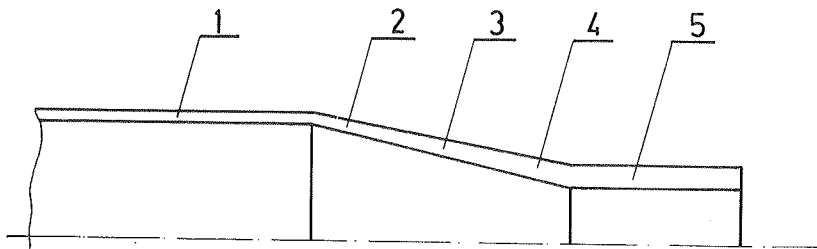


Slika 4.

neminovno dolazi do promeđene veličine zrna u zoni konifikacije. Na osnovu izvršenih metalografskih ispitivanja u pet karakterističnih mjesta (slika 6.) dobivena je sljedeća veličina zrna:



Slika 5.



Slika 6.

Na mjernom mjestu 1 (sl.6) dobivena je sitnozrnasta struktura koja odgovara strukturi osnovnog materijala, jer se tačka 1 nalazi u nedeformisanoj zoni. U zoni tačke 2. (sl.6) dolazi do naglog okrupnjavanja zrna zbog kritičnog stepena deformacije za ispitivani materijal. Sa povećanjem stepena deformacije dolazi do usitnjavanja zrna (tačke 3 i 4) da bi se u zoni formiranja navoja dobila homogena sitnozrnasta struktura čija je veličina zrna nešto veća od veličine zrna osnovnog materijala.

### 2.3. Funkcija zadebljanja

Funkcija zadebljanja se dosta dobro može dobiti preko korigovanog izraza autora /2/ datog sljedećom jednačinom:

$$s/s_0 = 0,988 R_0/R + 0,118 \quad (5)$$

### 3. Literatura:

- /1/ Šestakov N.A. Tehnologija rotacionih kovki i valjcovki, Moskva, 1982.
- /2/ V.Vujović: Naponi i deformacije pri hladnom rotacionom kovanju cjevastih proizvoda. VI SPS, Opatija, 1970.

M. Drezgić, Ž. Janković\*

BRZINA I VREME KRETANJA RUKU RADNIKA KA OPASNOJ  
ZONI, KAO USLOV BEZBEDNOG RADA NA PRESAMA

R e z i m e

U radu je, na bazi eksperimentalnih rezultata, izračunato vreme potrebno za kretanje ruku operatora ka opasnoj zoni na presi kao funkcija brzine reakcije operatora i rastojanja mesta dvoručnog aktiviranja.

VELOCITY AND TIME OF MOVING OPERATOR'S HANDS TOWARDS DANGEROUS  
ZONE AS A CONDITION OF SAFETY AT WORK ON PRESSES

S u m m a r y

In the, presen paper, on base of experimental results, as a function of operators reaction velocity and a distance of two hands activation place from dangerous zone, necessary time for moving operators hands towards dangerous zone on the press is calculated.

1. UVOD

Ekscentar i srodne prese, kod kojih su kao vid zaštite primenjene dvoručne komande, veoma su rasprostranjene u metaloprerađivačkoj industriji. Iako dvoručne komande, u širem smislu, ne predstavljaju apsolutnu zaštitu, one to mogu biti, ako se pri postavljanju alata i izboru režima obrade imaju u vidu preporuke, koje su rezultat brojnih ispitivanja.

Prve rezultate o brzini kretanja ruku objavio je Löbl, još 1935.god. pri čemu je za dužinu putanje od oko 600 mm dobio brzinu 1,8 m/s [4]. Medjutim, za dužinu putanje od oko 400 mm, prosečna brzina kretanja ru-

ku radnika je iznosila oko 1,6 m/s. Istraživanja koje je izvršilo holandsko Ministarstvo za rad 1970. godine, unela su veliku zabunu, jer su dobijeni rezultati, koji su oko 5 puta veći od, do tada poznatih. Na osnovu objavljenih podataka nastala je izvesna sumnja u vrednost brzine kretanja ruku radnika od 1,6 m/s.

Slična merenja, 1974. godine, nezavisno jedan od drugog, obavili su Wüstenberg i Schärmer. Njihovi rezultati su oko 50% veći od rezultata koje je dobio Löbel.

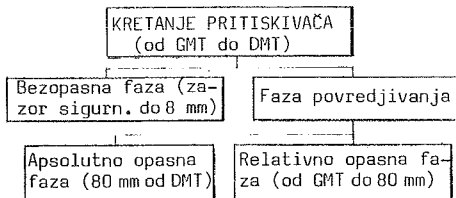
Najnovija istraživanja na ovom polju obavio je 1980. godine M. Drezgić. Za razliku od prethodnih merenja, ovde je na modelu za simu-

\*Dr Miroslav N. Drezgić, dipl.maš.inž., vanredni profesor Fakulteta zaštite na radu, Univerziteta u Nišu, Čarnojevića, br.10a.  
Žarko M. Janković, dipl.inž. zaštite na radu, asistent Fakulteta zaštite na radu Univerziteta u Nišu, Čarnojevićeva br.10a.

liranje rada ekscentar prese mereno vreme kretanja ruku radnika od mesta aktiviranja do opasne zone na presi, [2].

## 2. FAZE KRETANJA PRITISKIVAČA

Da bi se predvidele odgovarajuće mere zaštite na presi, neophodno je da se zna veličina opasnog prostora i vreme kretanja pritiskivača. Potrebno je, dakle, da se zna u kom trenutku i u kom delu puta pritiskivača može doći do povrede radnika. Pri radnom hodu, kretanje pritiskivača može da se podeli u nekoliko faza, sl.1.



Sl. 1. Faze kretanja pritiskivača

Kada pritiskivač zauzme položaj na oko 8 mm od donje mrtve tačke (DMT), smatra se da u tom slučaju ne mogu prsti radnika ući u taj međuprostor. To rastojanje se naziva zazor sigurnosti. Kretanje pritiskivača od zazora sigurnosti do DMT je bezopasna faza. Medjutim, kretanje pritiskivača od gornje mrtve tačke (GMT) do zazora sigurnosti, predstavlja opasnu fazu. Vreme trajanja opasne faze,  $T_{of}$ , je vreme kretanja pritiskivača od GMT do zazora sigurnosti,  $T_w$ , + vreme koje protekne od trenutka aktiviranja do početka kretanja  $T_o$ , odnosno:

$$(1) \quad T_{of} = T_o + T_w$$

Mogućnost povredjivanja u toku trajanja opasne faze se povećava. Najmanja opasnost je na početku, kada je pritiskivač u GMT, a najveća kada pritiskivač zauzme takav položaj da rastojanje između gornjeg i donjeg dela alata iznosi oko 80 mm, što je približno veličini stisnute šake. Kretanje pritiskivača od tog trenutka, pa do zazora sigurnosti je apsolutno opasna faza. Praksa pokazuje, da ako se ruke radnika nadju u

određenom trenutku u tom delu opasne faze, povrede su neizbežne.

Kretanje pritiskivača od GMT do 80 mm od DMT je relativno opasna faza. Mogućnosti za povredjivanje u ovoj fazi su prisutne, ali zbog odnosa brzina kretanja pritiskivača i ruku radnika, krajnji ishod nije uvek povreda.

Ukoliko je hod pritiskivača manji od 8 mm, opsluživanje prese je bezopasno i nisu potrebne mere za zaštitu ruku radnika.

## 3. PUTANJA KRETANJA RUKU RADNIKA OD MESTA AKTIVIRANJA DO OPASNE ZONE

Prirodni pokreti ruku radnika slede blago zakrivljene putanje mnogo češće nego pravu liniju. Rameni zglobovi, lakatni zglobovi i zglobovi šake prirodno rotiraju na različite načine prilikom različitih kretanja. U slučaju da treba rukom obaviti pokret po unapred utvrđenom pravcu, stvarnom ili zamišljenom, odstupanja zakrivljene putanje nisu veća od oko 12 mm na bilo koju stranu. Ta odstupanja mogu da budu veća ali samo kod nekih specifičnih pokreta, na primer, kod promene pravca kretanja ruku.

U većini slučajeva putanja kretanja ruke radnika može da se aproksimira paraboličnom zavisnošću. Potvrda ovakvog zaključka proizilazi iz merenja, koja su obavljena pomoću fotografskog zapisa niza svetlosnih signala emitovanih sa ruke radnika u jednakim vremenskim intervalima, [4]. Najjednostavnije putanje aproksimirati jednačinom kvadratne parabole:

$$(2) \quad v = \frac{\sqrt{d^2 + x^2}}{y^2} \cdot u^2$$

Dužina luka parabole može da se proračuna na osnovu formule:

$$(3) \quad L(x, y) = \int_0^u \frac{y}{\sqrt{1 + v^2}} du$$

ili

$$(4) \quad L(x, y) = k_1 + \left(\frac{y}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{k_2} \ln \left| \frac{2}{y} (k_1 + k_2) \right|$$

gde je:

$$k_1 = \sqrt{\left(\frac{y}{2}\right)^2 + x^2 + d^2}; \quad k_2 = \sqrt{x^2 + d^2}$$

x i y su koordinate smičućeg mesta, a d polovina rastojanja između dvoručnih komandi.

Na osnovu položaja komandi za aktiviranje prese i mesta u opasnoj zoni može da se odredi putanja kretanja ruku radnika. Određivanje putanje formulom (4) je prilično komplikovano. Medjutim, može se ta putanja, sa dovoljnom tačnošću pretpostaviti kao prava linija u obliku:

$$(5) \quad v = \frac{\sqrt{x^2 + d^2}}{y} \cdot u$$

Dužina ove prave linije je najkraće rastojanje izmedju mesta aktiviranja i smičućeg mesta u opasnoj zoni:

$$(6) \quad L(x,y) = \sqrt{(x^2 + y^2 + d^2)}$$

#### 4. PRORACUN VREMENA KRETANJA RUKU RADNIKA

Za određivanje sigurnosnog rastojanja komandi od opasne zone, potrebno je da se zna vreme kretanja ruku radnika. Vreme potrebno da ruke radnika dodju od mesta aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni na presi, funkcija je rastojanja izmedju ove dve tačke. Parametri koji takodje bitno utiču na vreme kretanja ruku su ritam rada i psihofizičke sposobnosti radnika.

Eksperimentalni rezultati vremena kretanja ruku, za radnika prosečnih radnih sposobnosti, prosečno zamorenog i usvojeni ritam rada od 20 ciklusa u minuti, prikazani su u tabeli 1.

TABELA 1\*

x y	100	150	200	250	300
90	556	587	605	622	643
120	581	607	630	641	663
160	588	617	633	649	673
200	604	624	638	655	675

\*Vreme kretanja ruku radnika,  $T$  [ms], prikazano je u zavisnosti od položaja smičućeg mesta u opasnoj zoni,  $x$  [mm] i  $y$  [mm]. Detaljnije u uslovima i metodologiji merenja videti u citiranoj literaturi [2,3].

Za rešavanje ovog problema korišćen je metod najmanjih kvadrata. Znajući dužinu putanje, nije teško odrediti vreme kretanja ruku od mesta aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni na presi, prema formuli:

$$(7) \quad T = A + B \cdot L(x,y)$$

Ovako pretpostavljena funkcija ima svo-

je fizičko objašnjenje. Prvo, vreme zavisi od dužine puta. Drugo, konstanta  $A$  ima dimenziju vremena i u sebi sadrži vreme reakcije radnika kao i ukupno vreme potrebno za uključivanje pritiskivača nakon aktiviranja prese. Treće, konstanta  $B$ , dimenziono usaglašava formulu i ima dimenziju recipročne brzine.

Nepoznate konstante  $A$  i  $B$  treba odrediti tako, da pretpostavljen funkcionalni oblik (7) dâ minimalna odstupanja u odnosu na eksperimentalne rezultate. Metodom najmanjih kvadrata dobija se sistem jednačina:

$$(8) \quad \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^q [T_{ij} - A - B \cdot L(x_i, y_j)] = 0$$

$$\sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^q [T_{ij} - A - B \cdot L(x_i, y_j)] \cdot L(x_i, y_j) = 0$$

Korišćenjem podataka iz tabele 1 dobijane su vreme kretanja ruku radnika:

$$(9) \quad T = 445 + 0,566 \cdot L(x,y)$$

$$(10) \quad T = 450 + 0,564 \cdot L(x,y)$$

gde su koordinate smičućeg mesta u opasnoj zoni  $x, y$ , prema formulama (4) i (6) date u mm.

Ovako dobijene formule za proračun traženog vremena kretanja ruku radnika, aproksimiraju celu familiju krivih  $T(x,y)$ . Rezultati koji se dobijaju njihovom primenom dobro se slažu u poredjenju sa eksperimentalnim [2].

#### 5. USLOV SIGURNOSTI

Da bi se sprečile povrede na presama, potrebno je da pritiskivač dospe do zazora sigurnosti pre nego što ruke radnika udju u opasnu zonu. Znači, potrebno je da vreme trajanja opasne faze bude kraće od minimalnog vremena kretanja ruku radnika od mesta aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni. Takav uslov naziva se uslov sigurnosti:

$$(11) \quad T > T_{of}$$

gde je  $T$  vreme kretanja ruku radnika,  $T_{of}$  vreme trajanja opasne faze, (1). Vreme kretanja pritiskivača od GMT do zazora sigurnosti za prese koje imaju frikcionu spojnicu (kočnicu), određuje se približno formulom:

$$(12) \quad T_w = \frac{\theta}{\omega}$$

gde je  $\theta$  ugao obrtanja vratila, koji odgovara delu putanje pritiskivača od GMT do zazoru sigurnosti,  $\omega$  ugaona brzina koja se smatra konstantnom.

Ako se sa  $h$  obeleži veličina zazora sigurnosti a sa  $R$  poluprečnik krivaje, ugao  $\theta$  može se izračunati formulom:

$$(13) \quad \theta = \pi - \arccos \left( \frac{h}{R} - 1 \right),$$

tako se dobija,  $|5|$ :

$$(14) \quad T = \frac{\theta}{6n}$$

gde je  $n$  broj hodova pritiskivača u minuti, a  $\theta$  ugao zadat u stepenima. Medjutim, ovako određeno vreme kretanja pritiskivača je približno. Stvarno vreme može biti znatno duže, što je posebno važno zbog neispunjavanja uslova sigurnosti.

Prilikom određivanja vremena  $T$  zanemareni su svi efekti proklizavanja, odnosno, postepenog izjednačavanja ugaone brzine vodećeg i vodjenog vratila i pogrešno je uzeto da je  $\omega = \text{const.}$  u periodu trajanja opasne faze.

O ispunjavanju uslova sigurnosti može biti reči tek nakon određivanja svih potrebnih vremena i uglova kočenja, zaustavljanja pritiskivača prese.

Pri određenim radnim operacijama vremena kretanja ruku od mesta aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni su poznata. Za većinu presa poznato je i vreme reakcije mehanizama upravljanja  $|6|$ . Medjutim, ni za jednu presu nije poznato vreme efektivnog uključivanja ili kočenja vodjenog vratila, bez koga je nemoguće proveriti uslov sigurnosti. U tabeli 2 data su sigurnosna rastojanja od mesta ručnog aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni za neke prese domaćih proizvođača  $|7|$ .

TABELA 2\*

1	2	3	4	5	6	7
AR 40	400	60	88	500	564	210
AR 63	630	56	100	535	588	252
AR 80	800	52	112	576	602	278
AR100	1000	78	112	384	608	288
AR125	1250	44	120	682	703	456
AR160	1600	40	120	750	711	470
AR200	2000	35	180	857	716	480
AR250	2500	30	190	1000	722	490
AR315	3150	25	190	1200	728	500

\*1 - tip prese; 2 - nominalna sila u kN; 3 - broj hodova pritiskivača u  $\text{min}^{-1}$ ; 4 - dužina hoda pritiskivača u mm; 5 - vreme kretanja pritiskivača od GMT do zazora sigurnosti u ms; 6 - vreme kretanja ruke radnika od mesta aktiviranja do smičućeg mesta u opasnoj zoni u ms; 7 rastojanje od mesta aktiviranja do opasne zone na presi u mm.

## 6. ZAKLJUČAK

Vreme za koje pritiskivač dospe od GMT do zazora sigurnosti zavisi od tehničkih karakteristika prese. Na prvi pogled pogrešan bi bio zaključak da je zbog velike razlike u vremenu kretanja ruku i vremena kretanja pritiskivača, za prese većih nominalnih sila, učestali broj povreda. Kod presa većih nominalnih sila, dužina putanje, kojom se ruke radnika kreću od mesta aktiviranja do opasne zone znatno je veća, što doprinosi i povećanju potrebnog vremena da ruke dospeju u opasnu zonu.

U slučaju kada broj hodova pritiskivača prese i dužina rastojanja izmedju mesta aktiviranja i opasne zone ne zadovoljavaju uslov sigurnosti, neophodno je sistemu dvoručnog uključivanja pridodati i druge sigurnosne naprave, kao što je nepokretna ili pokretna zaštitna ograda, uredjaj za sprečavanje ponovljenog hoda pritiskivača i slično.

## 7. Literatura

- [1] Demidovich B., Maron I., Computational mathematics, Mir publisher, Moscow, 1976.
- [2] Drezgić M., Prilog istraživanjima uslova i principa sigurnog i bezbednog rada na mašinama za obradu materijala deformisanjem, sa posebnim osvrtom na mehaničke prese, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1980.
- [3] M. Drezgić, Ž. Janković, Analiza sigurnosti primene dvoručnih komandi na krivajnim presama, Zbornik radova Fakulteta zaštite na radu, str.9-17, 1-2/1981, Niš.
- [4] P. Knaus, Sigurnost naknadnog zahvata na presama za obradu metala, Jugoslovenska i inostrana dokumentacija zaštite na radu, Niš, str.24-38, 12/1974.
- [5] Zlotnikov S.L., Kazakevič P.I., Mihajlova V.L., Tehnika bezopasnosti i promišljena sanitarija u kuznečno presovih cevah, Mašinstvo, Moskva, 1974.
- [6] Vlasov V.I., Sistemi uključivanja krivošipnih pressov, Mašinstvo, Moskva, 1969.
- [7] \* \* \* Prospektni katalog fabrike Ivo Lola Ribar, Železnik, Beograd, 1971.



dr. Vojislav Stoiljković\*

## INDUSTRIJSKA IZRADA ELEMENATA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM

### R e z i m e

Istraživanje novih metoda oblikovanja lima fluidom vrše se na Mašinskom fakultetu u Nišu već duži niz godina. Rezultati teorijskih i eksperimentalnih istraživanja do kojih se došlo u proteklom periodu omogućili su da se predje na industrijsku izradu elemenata oblikovanjem nestišljivim fluidom. U ovom radu se daje prikaz elemenata koji su u fazi izrade navedenom tehnologijom. Pri tome se ukazuje i na prednosti primene nove tehnologije u odnosu na do sada primjenjivane.

## INDUSTRIEHERSTELLUNG DER ELEMENTE MIT WIRKMEDIEN

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Schon lange Zeit erfolgen an der Maschinen-baufakultät die Untersuchungen der neuen Methoden des Blechformens mit Wirkmedien. Die gewonnenen Ergebnisse der theoretischen und experimentellen Untersuchungen haben den Übergang an die industrielle Herstellung der Elemente mit Wirkmedien ermöglicht. In dieser Arbeit werden Elemente in der Phase der Herstellung mit angegebener Technologie dargestellt. Dabei wird auch an die Vorteile der Verwendung dieser neuen Technologie in Bezug auf die bisher verwendeten hingewiesen.

### 1. Uvod

Istraživanje postupaka oblikovanja elemenata od lima nestišljivim fluidom vrši se na Mašinskom fakultetu u Nišu već punih 12. godina. U početku je teorijski i eksperimentalno istraživani postupak izvlačenja cilindričnih i koničnih elemenata bez i sa pridržačima, i to posrednim i neposrednim dejstvom

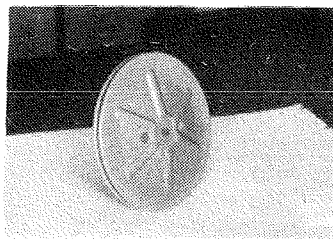
fluida na lim/1,2,3,4,5/. Kasnije se prešlo i na istraživanje oblikovanja cevi od lima nestišljivim fluidom /6,8,9,10/. Za realizaciju tih istraživanja projektovana je specijalna hidraulična presa od 1.000 kN /7/. Ovu presu je uradio MIN i ista se nalazi u Laboratoriji za obradu deformisanjem na Mašinskom fakultetu u

Nišu. Pored te prese MIN ima u proizvodnom programu čitavu familiju hidrauličnih presa za oblikovanje elemenata od lima fluidom.

Rezultati teorijskih i eksperimentalnih istraživanja do kojih se došlo u proteklom periodu na polju izrade elemenata nestišljivim fluidom, kao i osvajanje i izrada specijalne hidraulične prese omogućili su da se predje na industrijsku izradu elemenata oblikovanjem nestišljivim fluidom. U ovom radu se daje prikaz elemenata koji su u fazi industrijske izrade navedenom tehnologijom. Pri tome se ukazuje i na prednosti primene nove tehnologije u odnosu na do sada primenjivane tehnologije. Ta prednost se ogleda u boljem kvalitetu unutrašnje površine elemenata, u postizanju većeg graničnog odnosa oblikovanja u većoj produktivnosti obzirom da u je dnom alatu može da se vrši izvlačenje, oblikovanje i probijanje, kao i u nižoj ceni alata u odnosu na alate za klasično izvlačenje i oblikovanje. Sve to bitno se odražava i na cenu koštanja po jedinici proizvoda.

## 2. Izvlačenje, oblikovanje i probijanje elemenata

Ovde su prikazani elementi od lima koji se industrijski izrađuju, ili će biti tako izrađivani, primenom tehnologije izvlačenja prostog i reverzibilnog, oblikovanja i probijanja nestišljivim fluidom. Jedan od prvih elemenata koji je počeo industrijski da se radi je remenica za veš mašinu koju proizvodi EI-Niš. Takva remenica prikazana je na slici 1. Ista je ranije dobijana od silumina livenjem pod pritiskom. Izradom remenice od lima postiže se znatno smanjenje težine, a to uz jednostavniju tehnologiju čini velike uštede obzirom da se remenica radi u količinama preko 200.000 komada godišnje



Sl.1.

Izrada remenice od lima vrši se u tri operacije (misli se na operacije primenom postupaka obrade deformisanjem), i to: izrada kružnog priprema prosjecanjem; izvlačenje, oblikovanje i probijanje remenice i oblikovanje dela za klinasti kaiš na remenici. Ovde će biti detaljnije opisana druga operacija, dok se za treću operaciju samo napominje da se ista radi na mašini sa rotacionim kretanjem.

Izvlačenje, oblikovanje i probijanje otvora na remenici vrši se nestišljivim fluidom u alatu prikazanom na sl. 2. Ovaj postupak, odnosno alat, prijavljen je patentnom zavodu.

Pripremak od lima stavlja se na donji deo alata (poz.7) preko držača lima (poz.6). Nakon toga dolazi do zatvaranja gornjeg (poz.1) i donjeg dela alata (poz.5). Ceo alat postavljen je na specijalnoj hidrauličnoj presi za oblikovanje fluidom dvostrukog dejstva // . Silu zatvaranja alata obezbeđuje glavni cilindar, a silu držača lima obezbeđuje izbacivač prese.

Pošto je zatvoren alat dovodi se nestišljiv fluid pod pritiskom u gornji deo alata (poz.1). Dejstvo fluida prenosi se preko gumene membrane na lim i isti počinje da se izvlači po drugoj klasi /4,6,9/. Pošto kalup (poz.7) ima gravuru koja odgovara rebrima za oja-

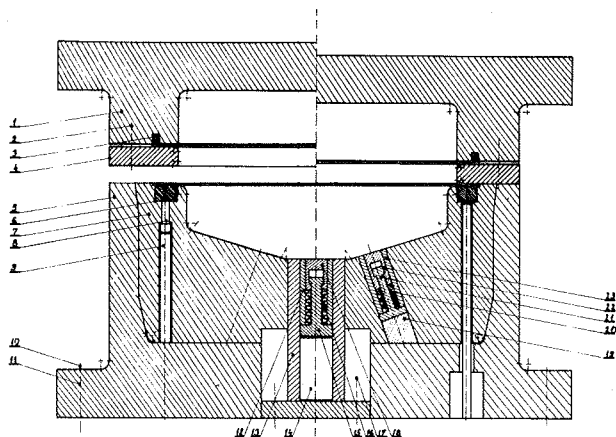
čanje na remenici(sl.1) to pri kraju oblikovanja, pod dejstvom pritiska fluida, lim dobija završni oblik, prema gravuri kalupa.

Daljim povećavanjem pritiska fluida, preko multiplikatora koji je ugradjen na presi/7/ savladjujē se sila opruga (poz.16. i 20.) i dolazi do probijanja željenih otvora dejstvom fluida preko reznih ploča(poz.12. i 23) . Obzirom da se probijanje ostvaruje i pod dejstvom pridržiivača(poz.18 i 22),odnosno sa izmenjenom naponskom šemom u odnosu na klasično probijanje, to se dobija kvalitetnija prosečna površina.

Alat prikazan na slici 2. jasno ilustruje mogućnost izvlačenja, oblikovanja

šinskom fakultetu je pripremljena dokumentacija za alate za izradu posuda za voće, supu, šećer i slične ukrasne proizvode ,koje će izradjivati "ZLATARA-MAJDANPEK".

Metoda izrade elemenata od lima nestišljivim fluidom može veoma uspješno da se primeni i za izradu cilindara u kojih je odnos izvlačenja veći od 2. Jedan takav cilindar prikazan je na slici 3.(poz.3) .Za njegovu izradu na klasičan način potrebne su dve operacije izvlačenja eventualno jedna operacija kalibrisanja i jedna operacija probijanja otvora. Sve to može da se, primenom nestišljivog fluida kao nosioca de-

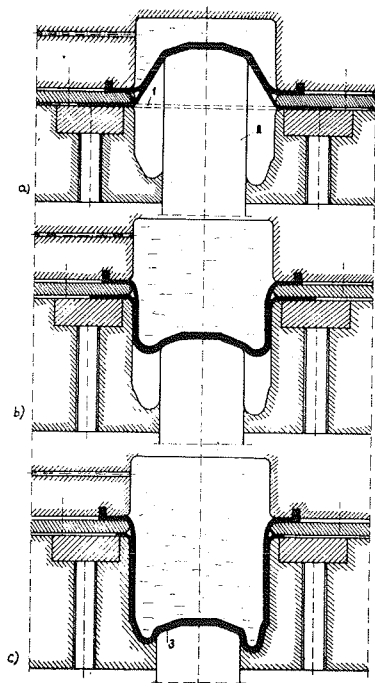


Sl.2.

i probijanja u jednom hodu. Delovi dobijeni ovom tehnologijom su veoma kvalitetni, a cena im je znatno niža od sličnih delova dobijenih klasičnom tehnologijom. Posebna prednost prikazanog postupka je u tome što u istom alatu mogu da se oblikuju limovi različitih debljina. Pored toga, izmenom samo kalupa (poz.7) u istom kućištu mogu da se izradjuju i drugi delovi. Koristeći ova saznanja na Ma-

formacione sile i čvrstog kalupa kao nosioca oblika, svede na korišćenje samo jednog alata. Principijelan tok izrade navedenog cilindra prikazan je na slici 3.

U početnoj fazi izrade cilindra pripremak(poz.1) stavlja se između donjeg i gornjeg dela alata i alat se zatvara silom koja je veća od najveće vrednosti sile otvaranja alata



Sl.3.

koja je proizvod pritiska fluida i projekcije površine. Po zatvaranju alata počinje pomeranje pridržiavača (poz. 2) naviše (sl.3'). Pri tome pritisak fluida u gornjem delu alata ima toliku vrednost da sila reakcije na čelo pridržiavača bude manja od aktivne sile, da bi došlo do pomeranja pridržiavača naviše. Na ovaj način ostvaruje se proces izvlačenja po trećoj klasi kada je čvrst izvlakač nosilac oblika, a fluid nosilac deformacione sile. Za slučaj malih debljina lima fluid može da bude i stišljiv.

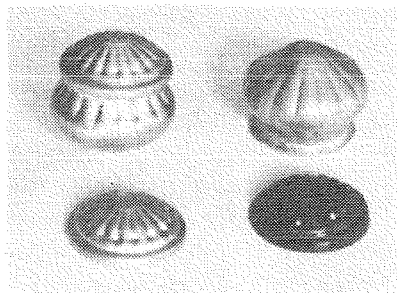
Po dostizanju odredjenog odnosa izvlačenja po trećoj klasi, odnosno posle odredjenog pomeranja pridržiavača naviše povećava se pritisak fluida u gornjem delu alata. Usled toga se najpre zaustavi kretanje pridržiavača naviše, da bi zatim došlo do pomeranja istog naniže (sl.3) To znači da počinje izvlačenje po drugoj klasi sa pokretnim pridržiavačem/4/.

Ovaj proces se odvija sve dok se pridržiavač ne vrati do dna kalupa (sl.3). Daljim povećanjem pritiska fluida doći će do završnog oblikovanja elementa i do probijanja otvora na mestima gde je to potrebno. Pri probijanju otvora savladjuje se sila kojom se pridržiavač u reznoj ploči suprotstavlja dejstvu fluida i isti se pomera naniže.

Po završenom probijanju smanjuje se pritisak fluida do nule, otvara se alat i vadi se gotov deo. Ceo proces može da se automatizuje i da traje veoma kratko, što znači da može da se ostvari relativno velika produktivnost.

Kvalitet unutrašnje površine cilindra je veoma dobar, pa ne zahteva nikakvu dodatnu obradu i u slučaju da se radi o pneumatskim kočionim cilindrima. Alat za izradu pomenutog cilindra je veoma jednostavan, naročito zato jer nema ulaznja čvrstih delova alata jednog u drugi, pa nije potrebno da alat ima vodjice.

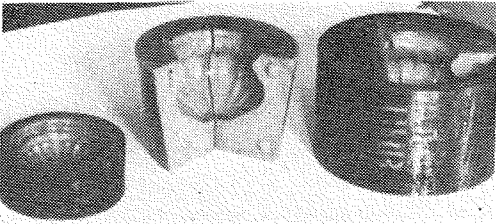
Pored remenice i cilindra nestišljivim fluidom mogu da se oblikuju i delovi ukrasnih proizvoda, kao što su vaze, pehari, bokali, posude za supu, šećer i slično, ili pak delovi lusterata i stonih lampi. Na Mašinskom fakultetu u Nišu uspešno je osvojena izrada većeg broja ukrasnih delova za "ZLATARU MAJDANPEK" kao i delova lusterata. Neki od tih delova prikazani su na slici 4.



Sl.4.

Prikazani delovi su dobijeni u alatu koji ima isti gornji deo i kućište do njegov delu alata. Za svaki deo je menjan samo kalup za oblikovanje, koji može da bude od plastike, aluminijuma i slično. Izgled nekih kalupa prikazan je na slici 5.

Za delove u kojih se smanjuju prečnici od dna ka gornjem delu elementa, da bi deo mogao da se izvodi iz alata, koristi se dvodelni, ili trodelni kalup (vidi deo na slici 4. i alata na slici 5). Višedelni kalupi koriste se i za oblikovanje delova od cevi kao što su kompenzacione cevi i fitinzi.



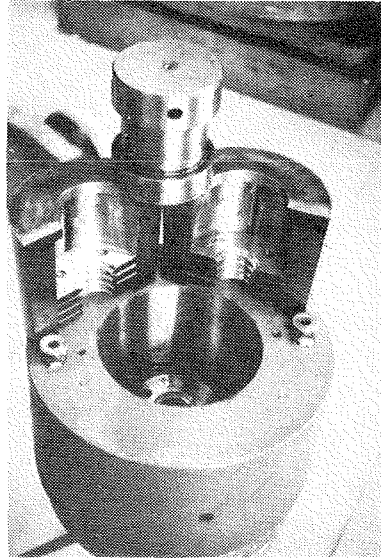
Sl.5.

### 3. Izrada kompenzatora i fitinga fluidom

Postoji veći broj postupaka za izradu kompenzacionih cevi (6,8). Najčešće je u primeni klasičan postupak, pri kome su svi delovi alata čvrsti. Znatno manje se primenjuju postupci u kojih čvrste delove alata može da zameni fluid. Jedan od tih postupaka, pri kome je nosilac deformacione sile nestižljiv fluid, a nosilac oblika dvodelni čvrst kalup, istraživan je na Mašinskom fakultetu u Nišu (6/i) doveđen je do faze industrijske primene. Do sada su osvojena dva kompenzatora N<sup>o</sup>40 i N<sup>o</sup>200. Bez ikakvih poteškoća mogu se izradjivati i kompenzatori čiji su dimenzije unutar osvojenih, kao i izvan tih dimenzija.

Na slici 6. prikazan je alat za izradu kompenzatora N<sup>o</sup>40. Ovaj alat je prijav-

ljen patentnom zavodu.



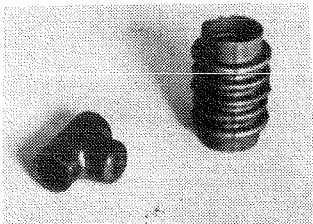
Sl.6.

U prikazanom alatu se postiže grupno (istovremeno) oblikovanje svih rebara kompenzacione cevi. Zato se koriste pokretni dvodelni prstenovi, koji su smešteni u dvodelnom kućištu. Kućište se postavlja u donji deo alata zajedno sa prstenovima i umeće se početni pripremak cevi. Nakon toga dolazi do zatvaranja alata sa gornje strane tiskačem, koji je pričvršćen za pritiskivač prese. Kad je izvršeno zatvaranje alata i zaptivanje šupljine cevi, dovodi se fluid pod pritiskom, kroz donji deo alata, u unutrašnjost cevi. Pri dostizanju odredjenog pritiska uključuje se pomeranje gornjeg dela alata, koji počinje da sabija cev u aksijalnom pravcu i da pomera dvodelne prstenove. Tako, jednovremenim dejstvom unutrašnjeg pritiska i aksijalne sile, dolazi do oblikovanja svih rebara (broj rebara nije tehnološki ograničen), i to pri relativno malom pomeranju tiskača, a to znači i za veoma kratko vreme. Pomeranjem tiskača naviše izlazi dvodel-

no kjeište iz donjeg dela alata i uradjena kompenzaciona cev može da se izvodi iz alata. Grupno oblikovanje kompenzacionih cevi u dvodelnom sekci onom kalupu ima dosta prednosti u odnosu na do sada primenjivane postupke. Te prednosti proističu iz promene šeme naponskog stanja, koja je ostvarena sabijanjem cevi aksijalnom silom. Usled toga mogu da se otvore veći stepeni deformacije, uz manje stanjenje zida cevi. Manje stanjenje povećava broj ciklusa, koji može da se postigne u primeni kompenzatora, odnosno povećava njihov vek.

Pored kompenzacionih cevi nestišljivim fluidom mogu da se iz cevi oblikuju različiti fitinzi - instalacijska armatura. Ovde se pre svega misli na "T" fitinge, ili T račve u dijapazonu  $\phi$  (6-108) mm. Primena ovih fitinga, zajedno sa kolenima, pravim spojnicama, redu cirima i slično, je veoma zastupljena u građevinarstvu za razvod pijače vode, sanitarnih voda i energetskih fluida (para, vrela-topla voda i gas). Pored toga, nabrojani fitinzi imaju širu primenu za instalacije u brodogradnji gde je to moguće, kao i u automobilskoj industriji. Posebna oblast primene cevi sa armaturom čini bela i rashladna tehnika.

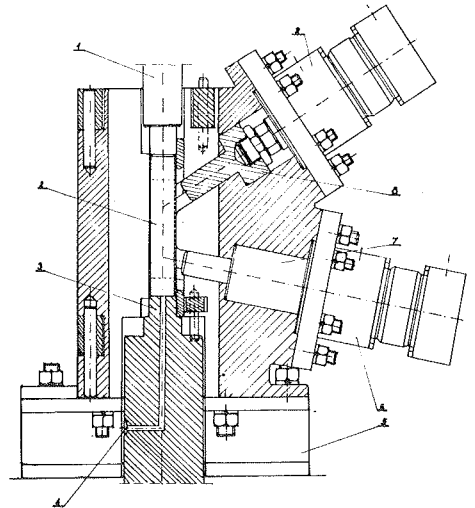
Na Mašinskom fakultetu u Nišu trenutno se radi na izradi jednostrukih i dvostrukih T račvi od bakarnih i aluminijumskih cevi. Na slici 7. prikazan je jedan uzorak T račvi i kompenzacione



Sl.7.

cevi N<sup>o</sup>40, koja je uradjena u alatu prikazanom na slici 6.

Izrada dvostruke T račve sa račvama koje zaklapaju, sa osom početne cevi, ugao manji od 90°, vrši se u alatu prikazanom na slici 8. Ovaj alat



Sl.8.

je prijavljen patentnom zavodu. Alat prikazan na sl.8. je dvodelni alat i isti se zatvara. Alat je postavljen na hidrauličnoj presi sa vertikalnim položajem ose cevi. Na donjem delu alata, koji je učvršćen na stolu prese, nalaze se dva hidraulična cilindra (poz. 7 i 8), koji obezbeđuju silu pridržavanja bočnih račvi pri oblikovanju.

Po zatvaranju alata uključuje se presa i tiskač (poz. 1) sa gornje strane, i tiskač (poz. 3) sa donje strane, počinju da sabijaju cev, koja je već sa unutrašnje strane opterećena fluidom, koji je doveden kroz otvor (poz. 4). Pod dejstvom aksijalne sile i unutrašnjeg

pritiska fluida cev počinje bočno da se oblikuje u otvorima koji su predviđeni u alatu. Da ne bi došlo do velikog stanjenja cevi na tim mestima /4/, pridržiivači (poz. 7 i 8) dejstvuju odredjenom silom i tako smanjuju stanjenje.

Nakon odredjenog hoda tiskača (poz. 1. i 3) završno je oblikovanje duple T račve. Unutrašnjost cevi se rasterećuje pritiska, a tiskači se vraćaju u početni položaj, a dvodelni alat se stvara i vodi se gotov deo. Postupak pri izradi sledećeg komada se ponavlja.

Dobijene T račve prikazanim postupkom su veoma dobrog kvaliteta. Stanjenje zida cevi je malo, a ostvarljivi stepeni deformacije su zadovoljavajući i omogućuju industrijsku primenu izradjenih delova. Vreme izrade delova je veoma kratko.

#### 4. ZAKLJUČAK

Istraživanje novih metoda oblikovanja lima nestišljivim fluidom traje na Mašinskom fakultetu u Nišu već duži niz godina. Rezultati do kojih se došlo tokom tih istraživanja potvrdili su niz prednosti te tehnologije u odnosu na klasične. Sadašnja faza industrijske primene te tehnologije za izradu konkretnih delova predstavlja završni korak, koji treba da omogući značajne uštede privredi, da potvrdi kvalitet domaćeg istraživanja i da još u većoj meri prokrči put domaćem znanju na račun licencnih tehnologija.

#### 5. Literatura

- /1/ V. Stoiljković, Naponsko i deformativno stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom i identifikacija optimalnog pritiska, Magistarski rad, Maš. fakul. Beograd, 1974.
- /2/ V. Stoiljković: Izrada elemenata nestišljivim fluidom sa pridržiivačem, Obrada deformisanjem u mašinstvu, N<sup>o</sup> 2, N. Sad, 1976, str. 68-88.
- /3/ Naučno-istraživački projekat: "Istraživanje na polju osvajanja tehnologije izrade predmeta rada metodom izvlačenja nestišljivim fluidom", Mašinski fakultet Niš, 1974, Rukovodilac: dr Predrag Popović, red. prof.
- /4/ V. Stoiljković: Naponsko i deformativno stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom sa pridržiivačem i identifikacija uticajnih faktora sa uspostavljanjem njihovih korelacionih odnosa, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1977.
- /5/ V. Stoiljković: Druckbestimmung neim Tiefziehen von Komschen Elementen mit Wirkmedien, Annals of the CIRP, Vol. 27/1/78, str. 171-175.
- /6/ Naučno-istraživački projekat: "Istraživanje i razvoj metoda oblikovanja lima deformisanjem i presovanje profila uz korišćenje maksimalne obradivosti" Mašinski fakultet Niš, 1979-1980., Rukovodilac: dr VOjislav Stoiljković, docent
- /7/ D. Domazet-V. Stoiljković- Hidraulična presa za izvlačenje lima nestišljivim fluidom domaće proizvodnje, Zbornik radova, BIAM, 1980, Zagreb, str. 3-29 -3-40
- /8/ V. Stoiljković-Oblikovanje cevi nestišljivim fluidom, Zbornik radova, Mašinski fakultet Niš 1980, str. 255-268.
- /9/ Naučno-istraživački projekat: "Istraživanje i razvoj novih postupaka obrade lima deformisanjem sa analizom uticajnih parametara i uspostavljanjem odredjenih zavisnosti u cilju ispunjenja postavljenih zahteva" M. F. Niš, 1982-85, rukovodilac: Dr V. Stoiljković, vanr. prof.
- /10/ V. Stoiljković- V. Šolaja - Formen der Kompensationsröhren mit Wirkmedien, - Rad je spremljen za štampu.
- /11/ К. Богоявленский Е. Церяков, А. Кошнев-Штамповка деталей велосипедных рам, Кузн-штамп. производство, N 5, 1979.

- /12/ O.Taksin , Über die Auswendung eines hydraulischen Ausbauchverfahren, Ind.Anz.88.Ig.Nr. 37.
- /13/ E.Kurstz, Flüssigkeit format Rohrteile, Maschinenmarkt, Würzburg, Ig.76/1970), Nr. 14-UT 19.
- /14/ К.Боро вленский, L.Eberlin, Entwicklung und Gestaltung des hydromechanischen Ausbauchens für die industrielle Anwendung Fertigungstechnik und Betrieb 28/1978.
- /15/ L.Eberlin, R.Zschekel, Das Hydromechanische Ausbauchen von Rohrstücken-ein neues Verfahren zur Herstellung von Rohrverbindungs-elementen, Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 27.(1978) Heft 3/4.



Vinko Volčanšek<sup>+</sup>

PRILOG KLASIFIKACIJI SLOŽENOSTI POPREČNOG PRESEKA  
ISTISKIVANIH PROFILA

R e z i m e

U tehnologiji istiskivanja metala jedan od osnovnih faktora je složenost preseka profila. Pošto do danas nemamo jedinstveno prihvaćeni faktor složenosti oblika profila, to je u radu dat pregled dosada korišćenih faktora oblika i predlog nove klasifikacije složenosti preseka profila.

BEITRAG DER MANNIGFALTIGKEITSKLASIFIKATION DES  
QUERSCHNITTES DER STRANGGEPRESSTEN PROFILE

Z u s a m m e n f a s s u g

In der Strangpressentechnologie der Metalle einer der Grundfaktoren stellt die Querschnittsmannigfaltigkeit der stranggepressten Profile dar. Da wir bisher einen einzigartig aufgenommenen Mannigfaltigkeitsfaktor der Profile noch nicht haben, in der Arbeit wird nur die Übersicht der bisher genutzten Formenfaktoren und der Vorschlag der Neuklassifikation der Querschnittsmannigfaltigkeit der Profile gegeben.

1. UVOD

Tehnologija istiskivanja daje velike mogućnosti istiskivanja različitih preseka profila. Tako da imamo vrlo veliki broj različitih preseka profila.

Sa složnošću preseka profila menja se produktivnost, cena alata i vek alata. Radi ovoga potrebno je iz-

naći takav faktor oblika profila koji će obuhvatiti što veći broj uticaja a koji utiču na troškove proizvodnje profila.

2. FAKTOR OBLIKA PROFILA





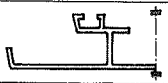


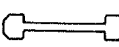
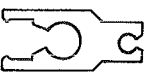
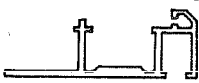

Mnogi faktori istiskivanih profila su definisani standardima na primer: dimenzije, tolerancije mera,




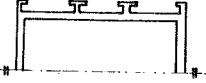
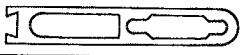
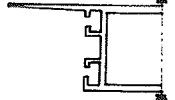



<sup>+</sup> Dr Vinko Volčanšek, dipl. ing, vanredni profesor Tehničkog fakulteta u Boru. Stan: Branka Krsmanovića 21/9, 18000 NIŠ.

ravnost, upredenost, izgled površina, mehaničke osobine i drugo. Ali najslabiji faktor geometrije poprečnog preseka profila nema jedinstvenog kriterijuma koji bi obuhvatio sve uticaje sa gledišta težine izrade profila i alata. Sada se koriste mnogi faktori oblika profila ali koji su nepotpuni i nisu našli širu primenu [1].

U ovom radu dat je predlog faktora oblika koji obuhvata odnos obima profila i okrugle šipke istog preseka i odnosa najveće i najmanje debljine zida profila.

Tabela I. Podaci punih i šupljih preseka profila i faktora oblika

Presek	O [mm]	t max min [mm]	f /1/
			1
	25	3/3	1,9
	34	1,3 1,3	3,9
	72	2/2	4,4
	87	1,8 1,8	5,3
	55	16/4	6,5
	95	2/2	6,9
	46	8/2,5	7,4
	35	6/2,5	7,6
	55	2,5 1,5	8,3
	62	15/4	10,5

Presek	O [mm]	t max min [mm]	f /1/
	34	2/2	4
	72	3/3	4,5
	42	8/3	6,5
	72	2/1,8	7
	87	2,5 1,5	8,8
	82	2,5 1,8	9,9
	69	18/5	11,4
	51	8/2	12,5
	82	3/1,5	13,1

Oznake: O-obim profila, t-debljina zida, f-faktor oblika

$$f = \frac{O}{O_0} \cdot \frac{t_{\max}}{t_{\min}} \quad /1/$$

Za uslov:  $A_p = A_0$

gde je: O- obim preseka [mm]  
t- debljina zida [mm]  
A- površina preseka [mm]  
p- profil  
o- okrugla šipka

Ovim faktorom nisu obuhvaćeni uticaj položaja preseka profila na osu istiskivanja i odnos opisanog kruga oko profila i otvora recipijenta. Ovi uticaji se mogu definisati posle projektovanja alata i odredjivanja veličine otvora recipijenta.

## 3. KATEGORIZACIJA OBLIKA PROFILA

Prema veličini faktora oblika /1/, možemo izvršiti kategorizaciju težine oblika profila u veći ili manji broj kategorija.

Na osnovu statističkih podataka oko 3 000 oblika profila, došli smo do podataka o zastupljenosti pojedinih oblika preseka profila. Najveći broj profila je u granicama od 4 - 6 faktora oblika, prema /1/.

U tabeli I dati su podaci o karakterističnim presecima profila.

Na osnovu izvršene analize podataka oblika profila, predlažemo pet kategorija oblika profila i tri kategorije složenosti alata za istiskivanje.

U tabeli II date su brojčane vrednosti predloženih kategorija preseka profila i složenosti izrade alata za istiskivanje.

Radi uporedjenja u tabeli II date su i vrednosti kategorizacije oblika profila prema Opštim uslovima isporuke Udruženja preradivača aluminijuma Jugoslavije.

Ova kategorizacija je izvršena na osnovu sledećeg faktora oblika profila:

$$f = \frac{D_p}{t_{\min}} \quad /2/$$

gde je:  $D_p$  - opisani krug preseka profila [mm]  
 $t_{\min}$  - najmanja debljina zida [mm]

Prema faktoru oblika profila /2/ imamo pet kategorija oblika profila i dva korekciona faktora za šuplje preseke profila. Kategorizaciju alata za istiskivanje nemamo.

Prema broju zastupljenih alata i profila u pojedinim kategorijama, najveći broj alata je u II kategoriji a profili u II i III kategoriji. Ova zastupljenost pokazuje opravdanost predložene kategorizacije.

Tabela II. Kategorizacija težine izrade alata i oblika profila

Kategorija	Za alate po faktoru /1/	Za profile	
		po fak. /2/	po fak. /1/
I	1 - 4	do 10	1 - 3
II	4 - 8	11 - 15	3 - 6
III	>8	16 - 25	6 - 9
IV		26 - 35	9 - 12
V		>36	>12
Šuplji profil sa 1 otvorom		+ 5 %	/
Šuplji profil sa 2 otvora		+ 10 %	/

## 4. ZAKLJUČAK

Predloženi faktor oblika poprečnog preseka profila, kategorizacija složenosti profila i kategorizacija složenosti izrade alata treba poslužiti kao osnova za definisanje:

- tehnološkog faktora težine istiskivanja profila,
- faktora težine izrade alata,
- za izradu normativa vremena za proizvodnju profila i
- za definisanje tehnološkog škarta pri proizvodnji profila.

## LITERATURA

- [1] K.Laue; H.Stenger: Strangpressen Aluminium Verlag GmbH, 1976, Düsseldorf
- [2] M.Vater; H.P.Heil: Der Einfluss der Profilform auf den Kraftbedarf beim Strangpressen "Aluminium" 1969/3, Düsseldorf
- [3] V.Volčanšek: Ugotavljanje parametrov pri prešanju aluminiskih profilov "Strojniški vestnik", 1975/5-6, Ljubljana
- [4] V.Volčanšek: Istraživanje uticajnih faktora na otpore isticanja i njihove korelacione odnose pri istosmernom toplom presovanju legure  $AlMgSi_0,5$  u proizvodnim uslovima Disertacija, 1981, Maš.fakultet u Nišu

Dušanka Vukićević<sup>x</sup>  
Predrag Popović

POVEĆANJE POSTOJANOSTI ALATA ZA OBRADU DEFORMISANJEM  
PRIMENOM DISPERZNO OJAČANIH MATERIJALA

R e z i m e

Poznato je da svojstva materijala od koga se izrađuju alati za obradu deformisanjem imaju fundamentalan uticaj na postojanost i vek alata. Sa ciljem povećanja postojanosti ovih alata vršena su istraživanja na osvajanju materijala poboljšanih svojstava metodom disperznog ojačavanja nemetallnim fazama  $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$  sistema Fe-Cr12-Mo, pa se u ovom radu daju neki rezultati tih istraživanja.

ERHÖHUNG DER BESTÄNDIGKEIT BEI DEN WERKZEUGEN FÜR DIE VERFORMUNGSBEARBEITUNG DURCH DIE ANWENDUNG DER DISPERSIV VERSTÄRKTEN WERKSTOFFE

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es ist bekannt, dass die Eigenschaften des Werkstoffes aus dem die Verformungswerkzeuge gefertigt werden, einen fundamentalen Einfluss auf die Beständigkeit und Lebensdauer der Werkzeuge haben. Mit dem Zweck der Beständigkeitserhöhung bei diesen Werkzeugen wurden die Untersuchungen im Bereich der Materialgewinnung mit den verbesserten Eigenschaften durch die Methode der dispersiven Verstärkung mittels nichtmetallischen Phasen  $Al_2O_3$  und  $ZrO_2$  des Systemes Fe-Cr12-Mo durchgeführt, und in dieser Arbeit sind gewisse Ergebnisse dieser Forschung, bzw. Untersuchungen gegeben.

1. Uvod

Problematici postojanosti i veka alata za obradu materijala deformisanjem posvećena su mnoga istraživanja u stalnom nastojanju da se kroz povećanje kvaliteta alata smanje proizvodni troškovi, odnosno poveća opšta ekonomska rentabilnost proizvodnje. U tom smislu, pravci istraživanja su usmereni u:

- iznalaženju novih materijala

za izradu alata za obradu deformisanjem, materijala poboljšanih svojstava obzirom na habanje, stabilnost mehaničkih svojstava na povišenim temperaturama, i sl.  
- u traženju novih konceptijskih rešenja alata i  
- u povećanju kvaliteta njihovih radnih površina.

U ovom radu se daju neki rezultati i-

<sup>x</sup> Dr Dušanka Vukićević, dipl.ing.met., profesor više škole Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

Dr Predrag Popović, dipl.maš.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

straživanja u prevcu iznalaženja novih materijala za izradu alata za obradu deformisanjem, koji treba - zbog svojih poboljšanih svojstava - da doprinesu povećanju postojanosti ovih vrsta alata.

## 2. Konsolidacija legure

Istraživanja, o kojima se govori u ovom radu, vršena su na sistemu legure Fe-Cr12-Mo, jer legure ovog sistema se najviše primenjuju u izradi alata za obradu deformisanjem. Proces ojačavanja je vršen dodavanjem malih količina nemetalnih faza  $Al_2O_3$  /1/ i  $ZrO_2$ .

Kompozitne legure Fe-Cr12-Mo sa različitim malim procentima  $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$  dobijene su od prahova: Fe, Cr, Mo,  $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$  čistoće 99,9 % metodom sinterovanja. Pri sinterovanju je manjan procenat učešća molibdena i procenat učešća očvršćavajućih faza  $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$ .

Da bi se, pak, ispitao uticaj temperature i vremena na konsolidaciju sistema, varirane su vrednosti oba pomenuta parametra u procesu pred-sinterovanja Fe-Cr12-Mo- $Al_2O_3$  /1/, dok je sistem Fe-Cr12-Mo- $ZrO_2$  samo sinterovan u protičnoj struji vodonika na temperaturi 1.273 K u trajanju od 90 minuta.

## 3. Rezultati istraživanja

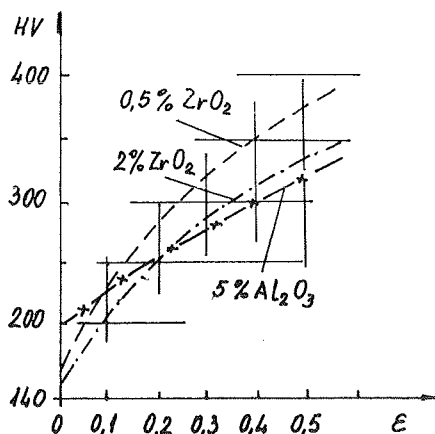
U radu /1/ su izneti neki rezultati istraživanja i ispitivanja u domenu iznalaženja materijala za izradu alata za obradu deformisanjem poboljšanih svojstava u odnosu na već poznate materijale koji se u ovu svrhu koriste, pa se legura Fe-Cr12-Mo- $Al_2O_3$  u ovom radu koristi samo za uporedjenje sa legurom Fe-Cr12-Mo- $ZrO_2$ .

Rezultati ispitivanja oba sistema

legura Fe-Cr12-Mo-ojačavajuća faza ( $Al_2O_3$  i  $ZrO_2$ ) pokazuju da su:

- ove legure termostabilne i
- da pri deformisanju u hladnom stanju sa porastom stepena deformacije intenzivno raste tvrdoća.

Rezultati ispitivanja zavisnosti promene tvrdoće legura: Fe-Cr12-Mo4,8-5 %  $Al_2O_3$ , Fe-Cr12-Mo4,8-0,5% $ZrO_2$  i Fe-Cr12-Mo4,8-2% $ZrO_2$  dati su grafički na slici 1.



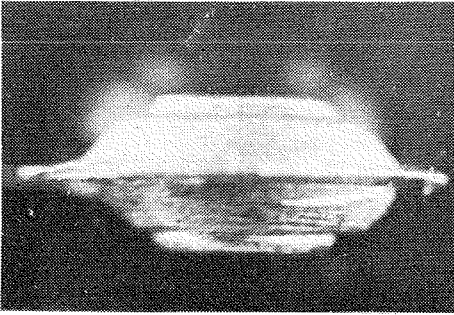
Slika 1.

Rasmatranjem zakona promene tvrdoće od stepena deformacije, prikazanih na slici 1., se vidi da pri plastičnom deformisanju legura Fe-Cr12-Mo4,8-0,5% $ZrO_2$  veoma intenzivno ojačava sa porastom stepena deformacije.

Ovo, pak, njeno svojstvo, obzirom da su pri ispitivanjima njenih plastičnih svojstava dobijeni veoma dobri rezultati, čini je pogodnom za izradu gravure u alata za obradu deformisanjem metodom utiskivanja u hladnom stanju, jer se, sa jedne strane, ova metoda obrade može uspešno primeniti pri izradi alata obzirom na plastična svojstva ovog materijala, a sa druge, dobijaju se radne površine alata zadovoljavajuće tvrdoće.

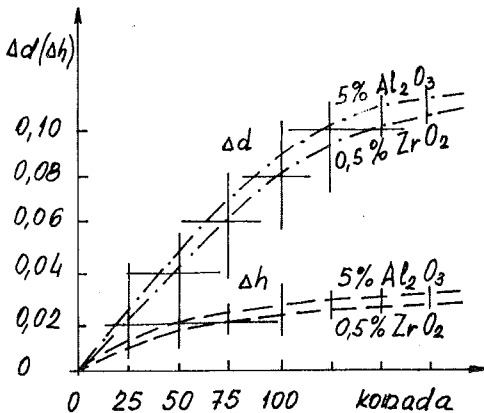
Za eksperimentalna ispitivanja izradj

eni su alati od pomenutih legura metodom utiskivanja u hladnom stanju i u njima sabijani uzorci, prikazani na slici 2., od čelika Č.1120 u vrućem stanju (uzorci zagrevani na temperaturu od 1.320 K).



Slika 2.

Sa ciljem registrovanja trošenja radnih površina eksperimentalnih alata, odnosno registrovanja parametra koji meritorno izražava postojanost, periodično, posle svakih 25 sabijenih uzoraka, merene su visinske dimenzije i dimenzije po prečniku gravura, i rezultati u obliku nastalih razlika dati su grafički na slici 3.



Slika 3.

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovi izvršenih ispitivanja i analize dobijenih rezultata, mogu se

izvući sledeći zaključci, i to:

1. Alat izradjen od Fe-Cr12-Mo4,8-0,5%ZrO<sub>2</sub>, posle utiskivanja gravure u hladnom stanju, ima zadovoljavajuću tvrdoću, te nije potrebna bilo kakva dalja obrada, što čini njegovu izradu jednostavnom i jeftinom.
2. Kako su alati izradjeni od legure Fe-Cr12-Mo4,8-5%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pokazali 1/ veću postojanost od alata izradjenog od alatnog čelika Č.4751, a alat izradjen od Fe-Cr12-Mo4,8-0,5%ZrO<sub>2</sub> pokazao još veću otpornost na habanje u odnosu na alat izradjen od Fe-Cr12-Mo4,8-5%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, što pokazuju rezultati dati na slici 3. ovog rada, to je dobijen još jedan novi materijal koji obezbedjuje povećanje postojanosti alata za obradu deformisanjem.
3. Konačno, svi do sada dobijeni rezultati istraživanja u ovoj oblasti ukazuju da metoda disperznog ojačavanja materijala zaslužuje posebnu pažnju, kako bi se - primenom materijala dobijenih ovom metodom - omogućilo povećanje postojanosti alata za obradu deformisanjem.

#### 5. Literatura

- 1/ D.VUKIĆEVIĆ, P.POPOVIĆ: Kompozitna, disperzno ojačana legura Fe-Cr12-Mo4,8-5%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kao materijal za izradu alata za obradu deformisanjem. Časopis "Obrada deformisanjem u mašinstvu", br. 8., Novi Sad, 1983.
- 2/ D.VUKIĆEVIĆ: Istraživanje procesa dobijanja kompozitnih materijala sa poboljšanim tehničko-tehnološkim karakteristikama na bazi Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Fe-Cr12-Mo-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Beogradu, 1982.
- 3/ D.VUKIĆEVIĆ, P.POPOVIĆ: Postupak disperznog ojačavanja kao metoda dobijanja materijala poboljšanih plastičnih svojstava. Zbornik radova XVI savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.





Milentije Stefanović\*

PROVLAČENJE TRAKA KAO OSNOVNI POSTUPAK SIMULACIJE TRENJA  
PRI IZVLAČENJU LIMOVA

R e z i m e

Radom su obuhvaćena istraživanja vezana za osnovni model izučavanja trenja pri dubokom izvlačenju-provlačenje trake od lima između ravnih pritisknih površina. Istražuje se uticaj brzine, pritiska i maziva na silu, koeficijent trenja i površinsku hrapavost lima. Koristi se običan i čelični lim sa antikorozijskim prevlakama.

ПРОТЯЖКА ЛИСТОВЫХ ОБРАЦОВ - ОСНОВНЫЙ МЕТОД СИМУЛЯЦИИ  
ТРЕНИЯ ПРИ ГЛУБОКОЙ ВЫТЯЖКЕ

Р е з ю м е

В докладе рассматривается основная модель изучения трения при глубокой вытяжке листовых металлов-протяжка листа между сжатыми поверхностями. Исследовано влияние скорости, давления и смазки на силу и коэффициент трения, изменение шероховатости поверхности листа. Использован стандартный и листовый металл с антикоррозионным покрытием.

1. Uvod

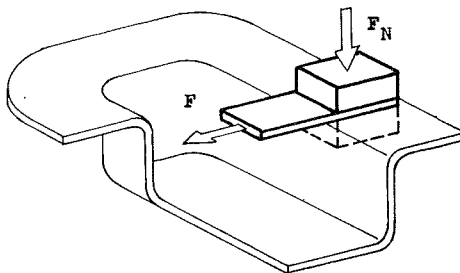
Osnovni model izučavanja trenja pri dubokom izvlačenju limova je provlačenje traka između ravnih kontaktnih površina /1/, čime se simulira stanje na obodu složenih komada i to onih zona koje se ne uvlače u otvor matrice, sl.1.

Detalji, vezani za ovakav pristup u izučavanju trenja pri izvlačenju, preko tzv. elementarnih i složenih modela, izloženi su u radu /2/.

Pri provlačenju je zatežući napon u epruveti-traci niži od napona na granici tečenja, pa je deformisanje elastično. Za uobičajene vrednosti površinskih pritisaka pri izvlačenju važi poznati zakon trenja:

$$F_T = \mu F_N = F/2$$

Slična ispitivanja pri znatno višim kontaktnim pritiscima, koriste se kod izučavanja mehanizma trenja i habanja pri korišćenju čeličnih limova povišene čvrstoće za izvlačenje /3/.



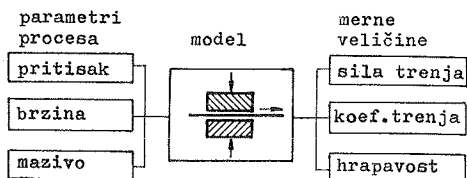
Sl.1. Model simulacije trenja na obodu komada koji se izvlači

\*Milentije Stefanović, Mr, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu, ul. S. Janjić 6

## 2. Eksperimentalna ispitivanja

### 2.1. Uslovi ispitivanja

Osnovni cilj ispitivanja je određivanje sile provlačenja, odnosno sile trenja u funkciji parametara uticajnih na izučavani proces, prema sl.2. Na ovaj način se može ustanoviti veza između karakterističnih pokazatelja trenja i činilaca koji opisuju kontaktne uslove - brzine, pritiska i maziva.



Sl.2. Shema ispitivanja provlačenjem

Na gornjoj slici prikazana je uprošćena shema tribo-ispitivanja /4/ primenjena u radu, pri čemu nisu uzeti u obzir i ulazi i izlazi sekundarnog karaktera (vreme trajanja kontakta, temperatura, iznos habanja).

U tabeli 1 date su vrednosti uticajnih parametara.

Tabela 1

brzina mm/min	prit. MPa	mazi- vo	materijal	deb. mm	sr.hr. μm
20	4,4	M1	Č.0148P5	0,83	1,988
200	9,2	M2	" (ZnCr)	1,00	1,985
	13,9	F	" (Zn)	0,80	1,128
	19,0				

Dužina epruveta je iznosila 250mm, a širina 20mm. Materijal Č.0148P5 je niskougljenični čelični lim visokog kvaliteta, namenjen dubokom izvlačenju. I druga dva materijala imaju istu namenu, ali pripadaju grupi limova sa antikorozijskim prevlakama. Oznaka (ZnCr) se odnosi na tzv. zink-hrom metal, a Zn (oznake nisu standardne, pošto ovi materijali nisu obuhvaćeni JUS-om) na pocinkovani lim.

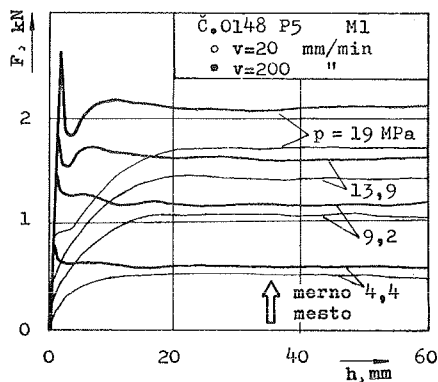
Eksperimenti su izvodjeni na mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12, pri čemu je korišćen specijalni uređaj za provlačenje traka.

Oznake M1 i M2 odnose se na mineralna ulja različito komponovanih aditiva, a F na korišćenje folije polietilena kao maziva.

### 2.2. Eksperimentalni rezultat

Sila provlačenja, odnosno dvostruka sila trenja je osnovna merna veličina pri ispitivanju. Računskim putem se određuju ostali pokazatelji, pri čemu je npr. izračunati normalni napon nepodesan za upoređenje, zbog različitih debljina lima. Očigledno je da su dobijene vrednosti vezane za tačno određene brzinsko-pritiskne uslove u kontaktu i korišćeno mazivo.

Na sl.3. pokazani su dijagrami "sila provlačenja-hod epruveta" pri podmazivanju uljem M1 i različitim ostalim parametrima, za Č.0148P5. Za ovaj materijal je radjen potpuni faktorni eksperiment, a za ostale su sprovedeni parcijalni planovi.

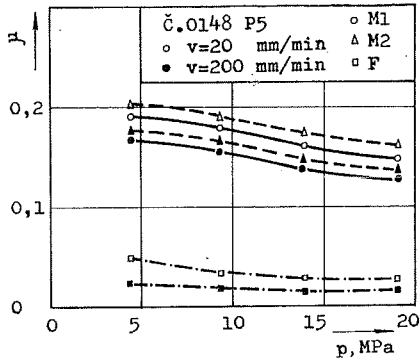


Sl.3. Zavisnost sile provlačenja od hoda epruveta

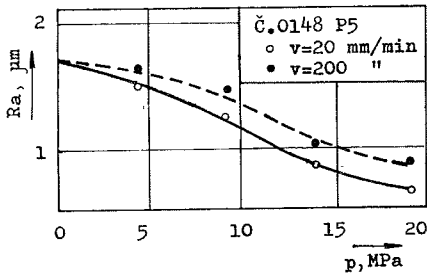
Očigledan je uticaj pritiska i brzine na silu provlačenja. Ovakvo ispitivanje može poslužiti i za ocenjivanje maziva za duboko izvlačenje. U ovom slučaju bolja svojstva pokazuje mazivo M1, ne računajući "hidrodinamičko" podmazivanje polietilenom, sl.4.

Opadanje koeficijenta trenja sa porastom površinskog pritiska je posledica sporijeg porasta sile trenja od porasta pritiska. Opadanje koeficijenta trenja prati i intenzivno poravnjanje vrhova

neravnina površine lima, koje se može registrovati merenjem srednje hrapavosti, sl.5.



Sl.4. Zavisnost koeficijenta trenja od vrste maziva

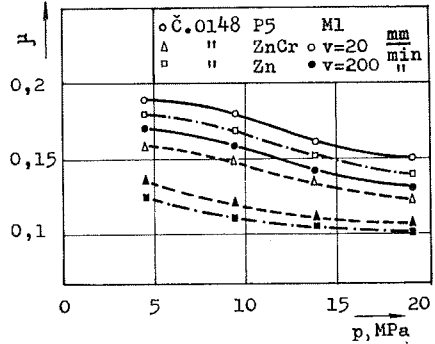


Sl.5. Promena srednje hrapavosti pri provlačenju

Obrada rezultata na uobičajen način (dispersiona analiza, Fišerov kriterijum signifikantnosti) pokazuje značajan uticaj svih pomenutih faktora, pre svega pritiska.

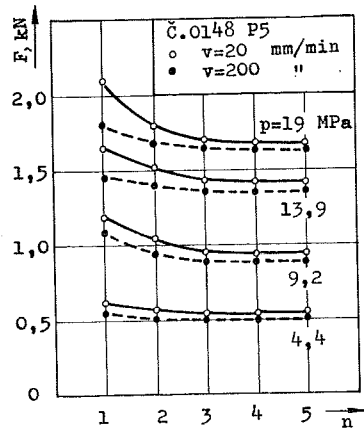
Prevlake na limovima, koje mogu biti različitog sastava i namene, ponašaju se kao čvrsta maziva i imaju veliki uticaj na trenje pri izvlačenju. Od važnosti je određivanje parametara trenja kod ovakvih limova, posebno u uslovima narušavanja neprekidnosti sloja prevlake. Uporedni rezultati za uobičajene pomenute vrste prevučениh limova, dati su na sl.6.

Pri izmeni brzine klizanja dolazi i do promene u odnosima koeficijentata trenja; pri tome su ispitivani materijali okarakterisani isključivo topografijom i hemijskim sastavom kontaktnih površina.



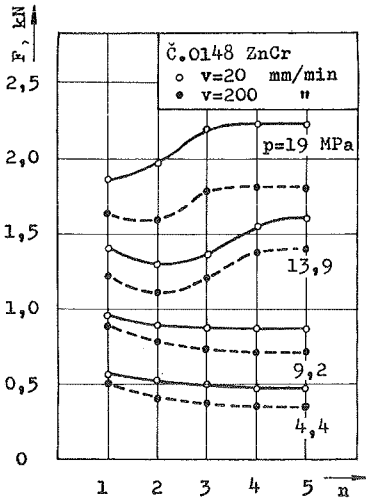
Sl.6. Promena koeficijenta trenja za različite materijale

Pri uzastopnom provlačenju traka, pri nepromenjenim ostalim uslovima, pouzdano se može doći do karakteristika postojanosti-stabilnosti površinskog sloja lima. Kod limova bez prevlake, sl.7. do poravnjanja koja odgovaraju uslovima u kontaktu, dolazi posle 3. provlačenja.

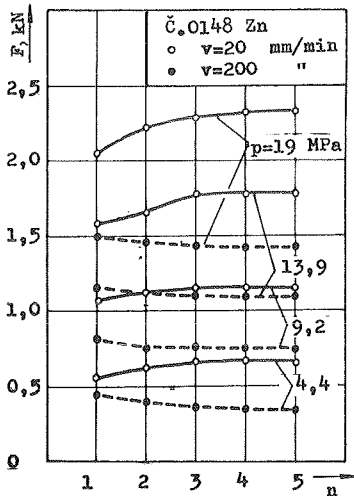


Sl.7. Zavisnost sile od broja provlačenja

Medjutim, prevučeni limovi pri naknadnim provlačenjima (ili, npr. višeoperacionom izvlačenju) moraju posedovati svojstva očuvanja prevlake, kako bi se zadržala i glavna osobina ovih limova-visoka otpornost prema koroziji. Rezultati na sl.8. i 9. upravo i pokazuju nestabilnost prevlaka pri nekom od uzastopnih provlačenja.



S1.8. Zavisnost sile od broja provlačenja



S1.9. Zavisnost sile od broja provlačenja

Poškinkovani lim (Zn) ima prevlaku koja se narušava već pri drugom provlačenju i relativno niskom pritisku. Lim (ZnCr) ima dobra svojstva pri niskim pritiscima, dok pri višim vrednostima i ovde dolazi do razaranja sloja prevlake, što ima za posledicu odvajanje čestica prevlake i lepljenje za alat.

Narušavanje prevučenog sloja dovodi do lokalnog porasta sile trenja, čime

se menjaju uslovi u zoni držača, odnosno utiče na stabilnost procesa izvlačenja.

### 3. Zaključak

Ispitivanje provlačenjem traka od lima, i pored određenih nedostataka (normalni napon je niži od napona na granici tečenja, uprošćena je priroda deformisanja površinskog sloja) omogućava izučavanje i razjašnjenje načina uticaja pojedinih parametara, kao i selekciju maziva za duboko izvlačenje.

Prevlake na limovima se ponašaju kao čvrsti filmovi maziva, čime se znatno smanjuje sila i koeficijent trenja. Zbog toga je neophodno posebno podešavanje sile držača pri izvlačenju ovakvih limova.

Sa povećanjem brzine i pritiska u zoni kontakta opada koeficijent trenja. Pri uzastopnom provlačenju prevučениh limova dolazi do bržeg ili sporijeg narušavanja prevlake u zavisnosti od njenih svojstava. Kod višeracionog izvlačenja, ovo se može manifestovati poremećajima u procesu obrade.

### 4. Literatura

- /1/ K.Blumel, Surface Interactions During Pressforming as Simulated by the Strip Draw Test, 10-th IDDRG, Warwick, 1978, 253-227.
- /2/ M.Stefanović, Neki aspekti uticaja trenja pri izvlačenju tankih limova, XVI Savet. proizvod. mašinstva, Mostar, 1982, 221-224.
- /3/ K.Miyaushi, ... Galing Behaviour and its Tests in Press Forming of Autobody Parts, 10-th IDDRG, Warwick, 1978, 287-295.
- /4/ H.Czichos, Tribology, Trib. series 1, Elsevier Scientific Publ. Comp., New York, 1978.

Igor Duplančić\*

Željko Domazet\*

UTJECAJ NEKIH TEHNOLOŠKIH FAKTORA  
NA SILU PRI ISTOSMJERNOM ISPREŠAVANJU ALUMINIJA

R e z i m e

U radu su prikazani rezultati laboratorijskih ispitivanja utjecaja stupnja deformacije, brzine istjecanja i materijala na veličinu deformacije sile pri istosmjernom isprešavanju punih okruglih profila iz aluminijskih.

THE EFFECT OF SOME TECHNOLOGICAL  
PARAMETERS ON THE FORCE IN DIRECT EXTRUSION OF ALUMINIUM

S u m m a r y

This paper presents the results of laboratory measurements of force in direct extrusion of aluminium rods concerning the degree of deformation, the velocity of extrusion and the type of material used.

1. UVOD

Brojna stručna literatura i do sada provedena istraživanja [1], [3], [4] ukazuju na niz faktora utjecajnih na proces obrade metala isprešavanjem.

Istraživanja koja se provode na pogonskim prešama i u pogonskim uvjetima daju vrlo korisne rezultate ali su zbog visokih troškova izrade alata, utroška materijala i energije, te korištenja proizvodnih preša i ometanja redovne proizvodnje vrlo skupa. Stoga se često provode znatno jeftinija laboratorijska istraživanja na malim modelskim prešama i alatima a dobije-

ni rezultati mogu dati niz korisnih podataka za proizvodnu praksu.

2. PLAN I IZVODJENJE POKUSA

Planom pokusa je predviđeno ispitivanje utjecaja nekih parametara na visinu deformacione sile pri istosmjernom isprešavanju punih profila okruglih poprečnih presjeka iz aluminijskih. Prema istraživanjima provedenim u [1], [2], [3], [4] visina deformacione sile ovisi o: geometriji alata; materijalu; pripremi i dimenzijama trupaca; dimen-

\* Igor Duplančić, mr. ing., znan. asistent - Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje - Split, Rudjera Boškovića b.b.  
Željko Domazet, dipl. ing., asistent - Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje - Split, Rudjera Boškovića b.b.

zijama profila; brzini, temperaturi i postupku isprešavanja, itd.

Kako ispitivanje utjecaja svih navedenih faktora na visinu deformacione sile zahtijeva više vremena, materijalnih sredstava i prostora, sintetiziranjem je smanjen broj ispitivanih faktora. Na osnovi međusobnog rangiranja odredjen je njihov redoslijed po kojem su izvršena ispitivanja.

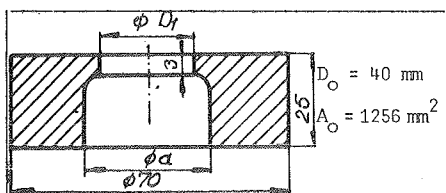
A. Stupanj deformacije  $\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$

B. Brzina isprešavanja  $v_1$

C. Materijal trupca

A. Za ispitivanje utjecaja stupnja deformacije  $\varphi$  na visinu deformacione sile korištene su ravne matrice  $\alpha = 90^\circ$  s visinom radne površine  $s = 3$  mm i različitom veličinom otvora  $\emptyset D_1$ . Pregled karakterističnih veličina pojedinih matrica prikazan je u tablici I.

Tablica I



$D_1$ mm	$a$ mm	$A_1$ mm <sup>2</sup>	$\frac{A_0}{A_1}$	$\varphi = \ln \frac{A_0}{A_1}$
5	10	19,6	64,1	4,16
9	14	63,6	19,7	2,98
15	20	176,7	7,1	1,96
20	25	314,1	4,0	1,38

B. Ispitivanja su provedena pri tri brzine isprešavanja i to:  $v_1 = 24$ , 42,6 i 115 cm/min.

C. U pokusima su korišteni trupci dimenzija  $\emptyset 38 \times 60$  izradjeni iz Al99,5 i AlMgSi 0,5 čiji je kemijski sastav prikazan u tablici II.

Tablica II

Materijal %	Al 99,5	AlMgSi 0,5
Cu	0,01	0,02
Mg	-	0,62
Si	0,18	0,40
Fe	0,22	0,28
Zn	0,02	0,03
Ti	0,001	-
Al	ostalo	

Ostali su parametri za vrijeme ovih ispitivanja držani pod kontrolom. To znači da je proveden postupak istosmjernog isprešavanja okruglih šipki bez podmazivanja pri temperaturi od  $\check{V} = 450^\circ\text{C}$ . Svi su pokusi ponavljani tri puta.

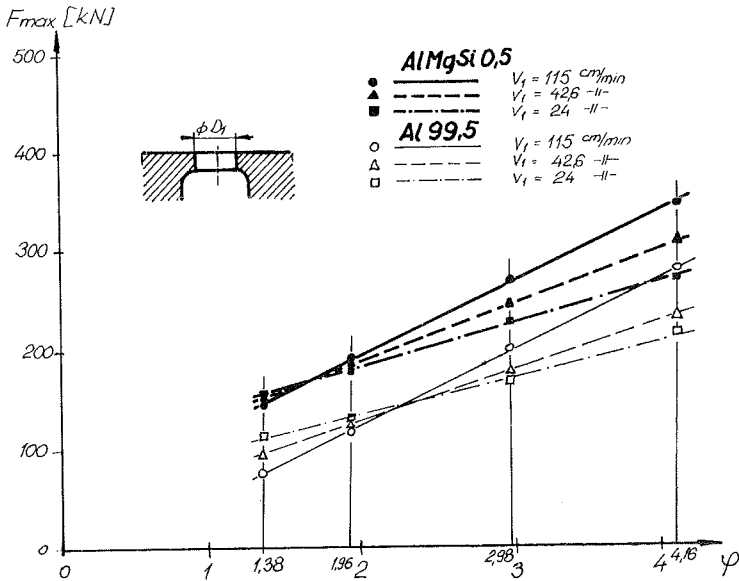
Pokusni isprešavanja su provedeni na vertikalnoj hidrauličkoj preši maksimalne sile  $F_{\max} = 600$  kN pomoću posebne naprave vlastite konstrukcije, [3] koja predstavlja model preše promjera  $D_0 = 40$  mm.

Zagrijavanje trupaca na radnu temperaturu  $\check{V} = 450^\circ\text{C}$  je izvršeno pomoću laboratorijske elektrotopne peći u trajanju od 30 min. Radni cilindar preše je pomoću grijača snage  $P = 600$  W zagrijan i održavan na temperaturi  $\check{V}_r = 450^\circ\text{C}$ . Također su prije upotrebe sve matrice progrijane na istu radnu temperaturu.

### 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Za vrijeme svakog isprešavanja su na instrumentu preše očitane vrijednosti maksimalnih sila a prosječne vrijednosti od tri mjerenja za sve ispitane faktore prikazane su na slici 1.

Iz slike 1. se jasno za oba pokusna materijala uočava linearna ovisnost deformacione sile  $F_{\max}$  o stupnju deformacije  $\varphi$ .



Sl. 1. Utjecaj  $\varphi$ ,  $v_1$  i materijala na silu isprešavanja pri  $\vartheta = 450^\circ\text{C}$

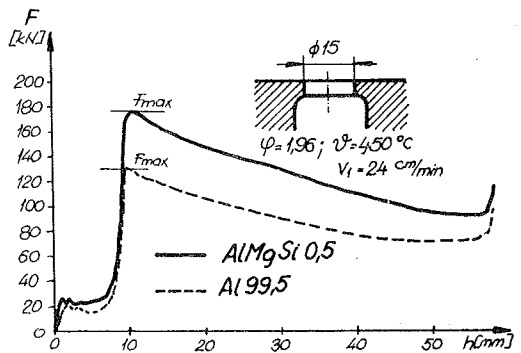
Povećanje brzine isprešavanja povećava koeficijente smjerova dobivenih pravaca. Osim toga uočava se da su pri malim stupnjevima deformacije ( $\varphi < 2,3$  za Al 99,5 i  $\varphi < 1,6$  za AlMgSi 0,5) i većim brzinama isprešavanja izmjerene niže vrijednosti sile  $F_{max}$ . Pri većim stupnjevima deformacije od navedenih je utjecaj brzine isprešavanja sasvim suprotan.

Uzroci ovih pojava u ovom radu nisu ispitivani a najvjerojatnije se nalaze u uvjetima tečenja materijala na modelskoj preši.

Za vrijeme svakog isprešavanja snimljeni su dijagrami sila u ovisnosti o hodu klipa preše a karakteristični dijagrami za oba pokusna materijala su prikazani na slici 2.

Vidljivo je da se u početku procesa jedan manji dio radnje troši na sabijanje umetnutog trupca u radnom cilindru preše, a istjecanje materijala

započima tek kad sila dosegne maksimalni iznos. Daljnji tok krivulja je karakterističan za proces istosmjernog isprešavanja.

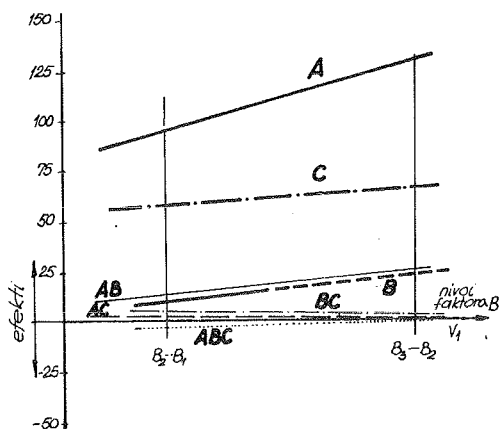


Sl. 2. Dijagram sila u ovisnosti o hodu klipa preše

#### 4. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Budući se jasno uočava linearna zavisnost izmedju sile  $F_{max}$  i stupnja deformacije  $\varphi$  provedena je analiza va-

rijance izmjerenih vrijednosti  $F_{max}$  prema korigiranom planu pokusa  $2 \times 3 \times 2$  sa tri ponavljanja. Na osnovi toga su ispitani efekti utjecaja pojedinih faktora A, B, C kao i njihovih interakcija AB, AC, BC i ABC a rezultati tih istraživanja su grafički prikazani na slici 3.



Sli. 3. Efekti utjecaja pojedinih faktora na silu  $F_{max}$

Na osnovi provedenih laboratorijskih ispitivanja i analize rezultata može se zaključiti slijedeće:

Od ispitivanih faktora najjači utjecaj na silu pri isprešavanju ima stupanj deformacije  $\varphi$  (A), zatim materijal trupca (C), dok je utjecaj brzine isprešavanja  $v_1$  (B) vrlo malen. Interakcije pojedinih ispitivanih faktora pokazuju slab značaj.

## 5. LITERATURA

- [1] J. HRIBAR, I. DUPLANČIĆ, J. PRGIN, J. ČOLOVIĆ, Ž. LAZINICA: "Problem visine poprečnih deformacija pri ekstruziji šipkastog materijala od lakih metala", Izveštaj za SIZ-I, Zagreb, 1975.
- [2] R. KOPP, H. WIEGELS: "Vergleich verschiedener Formeln zur Kraftberechnung beim Strangpressen mit Meßwerten", Berichte des Symposium in Bad Nauheim 1976 - Deutschen Gesellschaft für Metallkunde
- [3] I. DUPLANČIĆ: "Problem sila i poprečnih deformacija pri ekstruziji šipkastog materijala lakih metala", Magistarski rad - Split, 1977.
- [4] Z. MILANOVIĆ: "Ispitivanje utjecaja pojedinih parametara na silu i tok materijala pri isprešavanju" Diplomski rad na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu, 1979.



Janez Pipan \*  
Janez Diaci \*\*

UGOTAVLJANJE FAKTORJA NORMALNE PLASTIČNE ANIZOTROPIJE IN POTEKA KRIVULJE  
PLASTIČNOSTI S KONTINUIRNIM ENOOSNIM NATEZNM PREIZKUSOM

P o v z e t e k

V članku je opisana metoda merjenja R-faktorja in poteka krivulje plastičnosti s kontinuirnim enoosnim nateznim preizkusom, ki je bila razvita na FS Univerze EK v Ljubljani. Razvit je bil posebni merilnik deformacij, s katerim je mogoče kontinuirno slediti vzdolžni in prečni deformaciji standardne epruvete ISO 80 x 20 mm ali ISO 50 x x 12,5 mm, ki jo raztezamo na univerzalnem preoblikovalnem stroju. Merilnik je povezan z laboratorijskim procesnim računalnikom DEC PDP 11/03, ki po posebej izdelanih programih zbira merilne podatke, jih obdeluje in shranjuje v banko podatkov.

DETERMINATION OF TRUE STRESS/STRAIN CURVE AND R-FACTOR BY CONTINUOUS  
UNIAXIAL TEST

S u m m a r y

The subject of this paper is the method for automatic continuous measuring of true stress/strain curve and R-factor by uniaxial tension test. A special extensometer has been designed for measuring length and width deformations of standard ISO 80 x 20 mm or ISO 50 x 12,5 mm tensile test-pieces, while being stretched on universal hydraulic test machine. The experiment is connected to digital laboratory computer DEC PDP 11/03, that enables on the basis of special purpose programs, automatic measuring, calculations and storage of experimental data.

1. UVOD

Z novimi spoznanji o vplivu krivulje plastičnosti in faktorja normalne plastične anizotropije na

preoblikovalnost hladno valjane pločevine se je povečala tudi vloga enoosnega nateznega preizkusa. Zlasti v

---

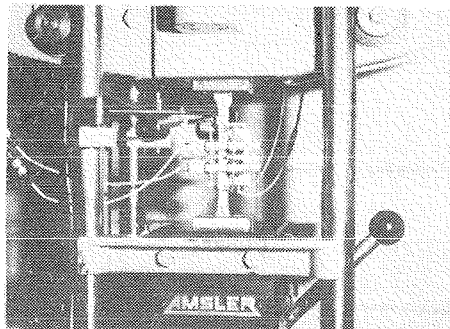
\* mag. Janez Pipan, dipl.ing., asistent za področje preoblikovanja,

\*\* Janez Diaci, dipl.ing., asistent, Fakulteta za strojništvo, Univerze  
Edvarda Kardelja, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

primeru ugotavljanja teh dveh parametrov pa se je izkazal diskontinuirni natezni preizkus, kakršnega je mogoče opraviti z enostavno preizkuševalno opremo (trgalni stroj, pripomočki za ročno merjenje dolžine) tako zaradi zamudnosti same meritve in naknadne obdelave podatkov, kakor tudi zaradi podvrženosti subjektivnemu vplivu merilca, kot neprikladen. Vsled tega je prišlo v zadnjih dveh desetletjih v svetu do razvoja naprav za kontinuirno snemanje krivulje plastičnosti in faktorja normalne anizotropije (R-faktorja). Temu razvoju smo se pridružili tudi na FS Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani in v sklopu raziskovalne naloge "Identifikacija preoblikovalnosti tanke pločevine" razvili merilni sistem za avtomatsko snemanje krivulje plastičnosti in R-faktorja.

## 2. OPIS MERILNEGA SISTEMA

Osnova pri koncipiranju merilnega sistema je bila že obstoječa merilna oprema na FS, t.j. univerzalni hidravlični preizkuševalni stroj AMSLER in laboratorijski procesni miniračunalnik DEC PDP 11/03, posebej pa je bil razvit in izdelan merilnik deformacij (slika 1).



Slika 1: Merilnik deformacij

Merilnik deformacij je izdelan tako, da lahko kontinuirno sledi spremembi merilne dolžine ter hkrati na dveh mestih znotraj merilnega območja, tudi spremembam širine standardne epruvete ISO 80 x 20 mm ali ISO 50 x 12,5 mm. Za pretvorbo poti tipal v analogne električne signale so v merilniku deformacij uporabljeni induktivni daljniki poti M2DC, v primeru merjenja sile pa ima to vlogo merilni potenciometer, nameščen na osi kazalca sile preizkuševalnega stroja.

Merilnik deformacij in merilnik sile sta povezana z računalnikom DEC PDP 11/03, ki premore 16 k hitrega spomina, kot periferne enote pa ima še multiplekser, A/D pretvornik, programsko uro, disketno enoto ter videoterminal.

## 3. POTEK PREIZKUSA

Preizkus je krmiljen z računalnikom po posebej za to izdelanem programu: Preko tastature videoterminala najprej vnesemo splošne podatke o preizkušancu, začetno debelino epruvete  $S_0$  /mm/, startno silo  $F_{ST}$  /N/ in predvideni čas trajanja preizkusa  $T$  /s/.

Startna sila predstavlja silo, pri kateri računalnik sproži začetek odčitavanja merjenih vrednosti, izberemo pa jo nekoliko izpod meje tečenja epruvete, kar omogoča namestitvev merilnika deformacij na že vpeto epruveto. Čas trajanja preizkusa  $T$  izberemo glede na predvideno nastavitvev hitrosti pomika čeljusti preizkuševalnega stroja tako, da dosežemo polno območje homogene deformacije epruvete.

Odčitavanje analognih signalov posameznih kanalov, ki poteka s frekvenco 2 kHz sproža računalniška ura v ča-

sovnih presledkih

$$t = \frac{T}{500} \quad /s/ \quad /1/$$

Na podlagi A/D pretvorb analognih signalov izračuna računalnik pri vsakem preizkusu po 500 točk krivulje plastičnosti, hkrati pa tudi vrednosti R-faktorja.

Računanje točk krivulje plastičnosti poteka po enačbah:

$$k_{fi} = (F_i L_i) / V \quad /N/mm^2/ \quad /2/$$

$$L_i = \ln(L_i / L_o) \quad /3/$$

$$V = L_o B_o S_o \quad /mm^3/ \quad /4/$$

kjer pomenijo  $L_o$ ,  $B_o$ ,  $S_o$  začetno dolžino, širino in debelino,  $L_i$ ,  $B_i$ ,  $S_i$  njihove trenutne vrednosti,  $V$  pa prostornino merilnega dela epruvete.

Računanje R faktorja poteka po indirektni metodi na osnovi izmerjenih vrednosti dolžine in širine.

$$R = \frac{\ln(B_o / B_i)}{\ln(L_i / L_o) - \ln(B_o / B_i)} \quad /5/$$

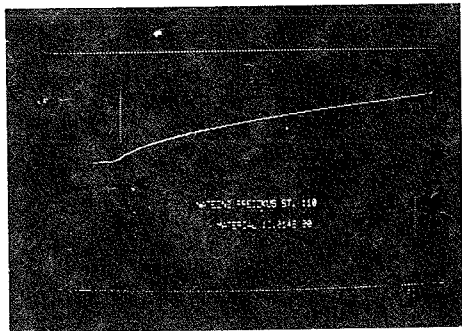
Po končanem preizkusu zapiše računalnik tako dobljene vrednosti v posebne datoteke, kjer jih hrani za nadaljno obdelavo, lahko pa jih tudi prenesemo v banko podatkov.

#### 4. PRIKAZ REZULTATOV

Za prikaz rezultatov so namenjeni posebni programi, s katerimi je mogoče podatke iz datotek zapisati na ekran videoterminala v obliki razpredelnic vrednosti deformacijskih trdnosti oz. R-faktorja pri posameznih vrednostih logaritemske deformacije dolžine (sliki 2 in 3), ali v obliki grafičnih prikazov (sliki 4 in 6).

Slika 2: Primer tabelaričnega izpisa  $k_f$  in  $\varphi_L$  za posamezne točke

Slika 3: Primer tabelaričnega izpisa vrednosti R in  $\varphi_L$  za posamezne točke



Slika 4: Primer grafičnega prikaza krivulje plastičnosti



Radinko Gligorijević\*  
Milomir Brkić\*\*  
Hari Bivas\*

UTICAJ HLADNOG VALJANJA NA DINAMIČKU ČVRSTOĆU VIJAKA VITALNIH DELOVA MOTORA I PROBLEMI  
OBEZBEDJENJA KVALITETA

R e z i m e

Pouzdanost motora određena je pouzdanošću njegovih delova. U članku su analizirani glavni uticajni faktori na dinamičku čvrstoću vijaka kao što su: materijal, postupak termičke obrade i razugljeničenje, sile pri-tezanja i postupak izrade navoja. Glavni akcenat je stavljen na uticaj valjanja pre i posle termičke obrade na izdržljivost i probleme obez-bedjenja, u industrijskim uslovima kvaliteta vijaka klase čvrstoće 10.9 i 12.9 za klipnjače, zamajce, glavu cilindra i poklopca ležajeva ra-dilice dizel motora.

THE EFFECT OF COLD ROLLING ON FATIGUE STRENGTH OF SCREWS SECURING VITAL ENGINE  
COMPONENTS AND THE PROBLEM OF MAINTAINING QUALITY

S u m m a r y

Engine reliability is defined by the reliability of its component parts. This article gives analysis of main factors affecting fatigue strength of screws, such as: material, heat-treatment process and decarburisation, tightening torque and thread making procedure. Main accent is placed on the effect of rolling before and after heat-treatment, on endurance and on problems relative to ensuring, in industrial conditions, quality level of screws of 10.9 and 12.9 hardness grade for conn rods, flywheels, cylinder head and crankshaft bearing caps in diesel engines.

1. Uvod

Dinamička čvrstoća vijčanog spoja zavi-si od više faktora od kojih su najbitni-ji:

- materijal;
- predopterećenje;

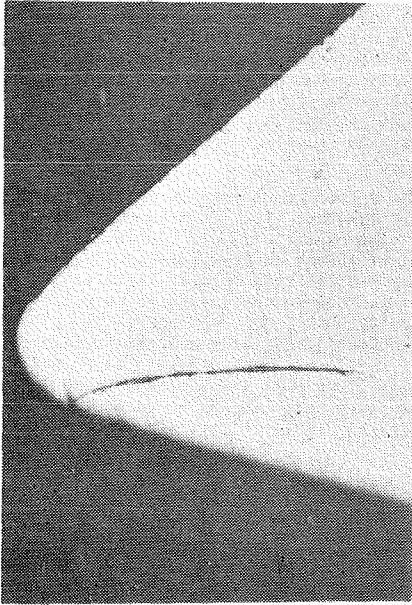
\* Mr. R. Gligorijević, dipl. inž., IMR-Beograd

\* H. Bivas, dipl. inž., IMR-Beograd

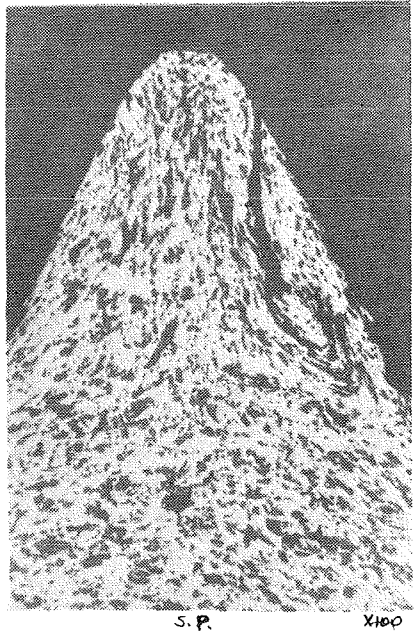
\* M. Brkić, fiz. met., IMR-Beograd

- konstruktivni parametri: profil i način izrade navoja, nazivni prečnik, oblik sta-bla i prelaza, navrtka i oblik navojnog spo-ja u celini;
- postupak izrade.

Treba naglasiti da je razvojem fotoelastič-nosti i mernih traka /1/ došlo pre 5-6 go-dina do revizije metoda proračuna vijčanog spoja. Najbitniji zaključak je da su kla-sične metode znatno podcenile opterećenje spoja, te je i pored relativno velikih fak-tora sigurnosti, često dolazilo do razaranja spoja. Novija iskustva /1,8/ potvrđuju da



Sl.1.1 Prevaljanost navoja (x 100)



Sl.1.2 Prevaljanost navoja na boku i vrhu



Sl. 3. Prskotine kao nastavak prevaljanosti (x 500)

## 3. ZAKLJUČCI

Na osnovu dugogodišnjeg iskustva i ispitivanja može se reći da je za odgovorne vijke potrebno:

- 1) definisati vrstu materijala na osnovu granice razvlačenja a ne zatezne čvrstoće;
- 2) navoj valjati posle termičke obrade;
- 3) galvansku zaštitu nanositi samo ako je to neophodno ali na povišenim temperaturama;
- 4) ispitna sila ne može biti kriterijum dokaza kvaliteta;
- 5) mašine za valjanje navoja tako podesiti da ne dodje do prevaljanosti navoja.

## Literatura:

1. L. Rossi, A. De Bellis; Calcolo e verifica estensimetrica di un collegamento testacappello di biella, ATA 12 (1979), 496
2. Forrest, P., Fatigue of Metals, Oxford 1962
3. Frast, N., Metal Fatigue, Oxford 1974
4. Decarburization, ISI Publication 133, London 1970
5. Harris, W., Metallic Fatigue, Oxford 1961
6. G. Butz, SAE J81, Juni 1982
7. Grover, H., Estimation of fatigue Life of weld. Riveted and Bolted Str., Applied Mech. division institute
8. V.D.I. norme, 2230, 1977
9. DIN norme





Miljenko Math

PRORAČUNAVANJE SILE SLOBODNOG SABIJANJA  
PRIMJENOM DIMENZIONALNE ANALIZE

R e z i m e

Fizikalni odnosi između dimenzionalnih veličina izražavaju se funkcijama bezdimenzionalnih parametara poznatih kao kriteriji sličnosti. Ovi uvjeti sličnosti moraju zadovoljiti numeričku jednakost odgovarajućih kombinacija svih parametara i modelnog procesa i onog stvarnog. U radu su prikazani rezultati modeliranja procesa slobodnog sabijanja u hladnom stanju, te put pronalaženja empiričkih izraza koji mogu biti od praktičnog značaja.

THE COMPUTATION OF THE FORCE OF COLD  
UPSETTING BY APPLYING THE METHOD  
OF DIMENSIONAL ANALYSIS

S u m m a r y

Physical relationships between dimensional quantities are expressed by functions of nondimensional parameters known as similarity figures. These conditions of similarity must satisfy the numerical equality of the respective combinations of all parameters of the modelled process as well as these of actual behaviour. In this study it is given the results of modelling the process of cold upsetting including a way to obtain the empirical formulas that can be of practical importance.

Dimenzionalna analiza je matematička metoda koja omogućava dobivanje informacija o obliku zavisnosti među veličinama u fizičkim sistemima, kada su zbog njihove složenosti potpuna matematička rješenja neostvarljiva i

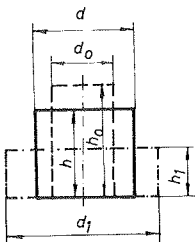
iznalaženje uvjeta fizičke sličnosti među zbivanjima, pa time i ustanovljavanje zakona modeliranja i prenošenja rezultata dobivenih pokusima sa modelima na obično veliko mjerilo tehničke izvedbe. Metodom dimenzionalne

Mr. Miljenko Math, dipl. ing. asistent na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Zavod za tehnologiju, Znanstveno područje Oblikovanje metala deformiranjem, Đ.Salaja 1, Zagreb

odnosi analize između dimenzionalnih veličina izražavaju se kao funkcije bezdimenzionalnih parametara ili tzv. kriterija sličnosti. Ovi kriteriji sličnosti moraju zadovoljiti numeričku jednakost odgovarajućih kombinacija svih parametara i modelnog procesa i onog stvarnog

Sa stanovišta dimenzioniranja strojeva za preoblikovanje i projektiranje tehnološkog procesa, te postavljanja zahtjeva za određenim stupnjem deformacije najvažniji su podaci za to potrebne sile i rada. U vezi s tim ove su dvije veličine promatrane u smislu primjene dimenzionalne analize i metode modeliranja.

Dimenzionalna analiza slobodnog sabijanja između ravnih ploha u hladnom stanju - u vlastitim pokusima kao probni uzorak uzet je valjak iz Al 99,5 % materijala koji je zadovoljavao zahtjev za oblikovljivošću u hladnom stanju. Za modelni izradak izabran je valjak promjera  $d=6,0$  mm. Visina valjka varirana je tako da je odnos visine i promjera iznosio redom  $h/d=0,5; 1,0; 1,5; 2,0$ . Time su visine modelnih valjaka iznosile 3mm, 6mm, 9mm, 12 mm. Za valjke tehničke izvedbe izabrani su sljedeći odnosi dužina  $\lambda$  kao parametra geometrijske sličnosti: 1:2,5; 1:5; 1:7,5; 1:10



Sl.1.

$\varphi = \ln h_0/h_1$ , gdje je sa  $h_0$  označena početna visina a sa  $h_1$  visina nakon deformacije, i one su iznosile redom: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9/sl. 1/. U cilju ujedinjenja uvjeta trenja kontaktne površine izradaka obrađene su na istu kvalitetu, dok su površine alata polirane. Ujedno je obavljeno podmazivanje sa molycot pastom  $MoS_2$ . Eventualna naprezanja od prethodnih obrada eliminirana su postupkom normalizacije, a materijal

iz kojeg su izrađivani uzorci bio je iz iste šarže. Postupak sabijanja obavljen je na hidrauličkoj preši sa mogućnošću regulacije porasta sile, odnosno brzine alata i ova je brzina iznosila 0,5 mm/s. Sile su mjerene dinamometrom sa tenzometarskim trakama priključenog na mjerno pojačalo.

Za praktičnu provedbu dimenzionalne analize korištena je Buckinghamova metoda. Treba li odrediti oblik jednadžbe koja povezuje silu slobodnog sabijanja valjkastog tijela sa mjerodavnim varijablama, to se odgovarajući problem može napisati u obliku dimenzionalno homogene jednadžbe.

$$f/k_f, \varphi_m, G, E, d, h, \mu, \varphi, F/=\text{O} \quad /1/$$

Ovdje je  $k_f$  naprezanje plastičnog oblikovanja,  $\varphi_m$  vlačna čvrstoća materijala,  $G$  modul klizanja,  $E$  modul elastičnosti,  $\mu$  koeficijent kontaktnog trenja a  $F$  sila. Kako se promatra postupak oblikovanja u hladnom stanju to je poznato da brzina deformacije ima praktično zanemariv utjecaj na naprezanje plastičnog oblikovanja  $k_f$  i da se eventualno povišenje temperature uslijed toga u ovom slučaju može također zanemariti. Iz tog razloga su varijable vremena  $\varphi$ , temperature  $t$  i brzine alata  $v$  odnosno brzine deformacije  $w$  u jednadžbi /1/ izostavljene.

Iz ovoga slijedi tzv. kriterijska jednadžba definirana kriterijima sličnosti

$$K_1 /i=1-7/:$$

$$f\left(\frac{F}{k_f d^2}, \frac{k_f}{\varphi_m}, \frac{G}{\varphi_m}, \frac{E}{\varphi_m}, \mu, \frac{h}{d}, \varphi\right)=\text{O} \quad /2/$$

U koliko želimo jednadžbu /2/ definirati za silu slijedi da je:

$$\frac{F}{k_f d^2} = f\left(\frac{k_f}{\varphi_m}, \frac{G}{\varphi_m}, \frac{E}{\varphi_m}, \mu, \frac{h}{d}, \varphi\right) \quad /3/$$

Budući da su svi izratci bili od istog materijala i da je u potpunosti bio ispunjen uvjet geometrijske sličnosti to su bezdimenzionalne veličine  $K_{2-5}$  konstantne. Uz pretpostavku da je bio ispunjen uvjet sličnosti trenja  $\mu = \bar{\mu}$  može se pisati:

$$\frac{F}{k_f d^2} = f(h/d, \varphi) \quad /4/$$

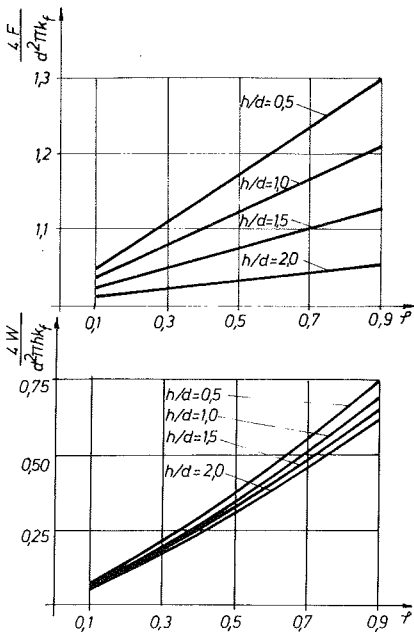
Uzimajući u obzir da je iz teorijskih razloga sila proporcionalna sa površinom može se konačno pisati:

$$\frac{4F}{k_f d^2} = f''(h/d, \varphi) \quad /5/$$

Analognim postupkom u slučaju rada deformacije može se uspostaviti veza između rada i odnosa visine i promjera  $h/d$  te stupnja deformacije :

$$\frac{4W}{k_f d^2 h} = f'''(h/d, \varphi) \quad /6/$$

Ako se u pokusima varira  $h/d$  i  $\varphi$  moguće je na pogodan način odrediti ove zavisnosti u empirijskom obliku. Na sl. 2 prezentiran je grafički prikaz ovisnosti sila i rada od stupnja deformacije  $\varphi$ , i od odnosa  $h/d$ , za modelne uzorke.



Sl. 2

Regresiona analiza izraza /5/ i /6/ pokazala je da se oba izraza mogu aproksimirati sa odgovarajućim izrazima

$$\frac{4F}{k_f d^2} = a_0 + a_1 \frac{d}{h} \cdot \varphi \quad /7/$$

$$\frac{4W}{k_f d^2 h} = \frac{b_0 \cdot \varphi^{b_1}}{b_2 + b_3 \frac{h}{d}} \quad /8/$$

pri čemu su ustanovljeni slijedeći indeksi determinacija za pojedine izraze:

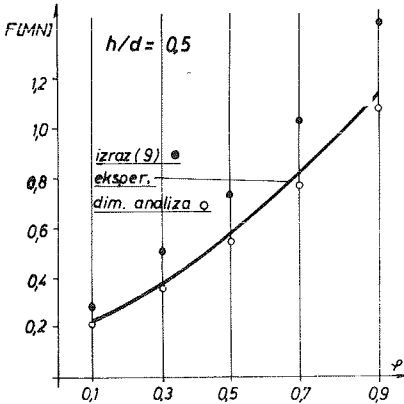
Funkcija	Indeks determinacije $r^2$
$f''$	0,938776136
$f'''$	0,997270313

Ustanovljeno je da postupak regresione analize, koristeći rezultate dimenzionalne analize ukazuje na u ovom slučaju pouzdan put određivanja deformacione sile i deformacionog rada. Prosječna odstupanja eksperimentalnih i teoretski potrebnih veličina sila bila su u granicama ispod 5 % (max. odstupanje 13 %), a u slučaju deformacionog rada ova su prosječna odstupanja bila ispod 7,5 % (max. odstupanje 14,6 %). Ova tvrdnja dobiva još više na težini ima li se na umu da se kod geometrijskog odnosa  $\lambda = 1 : 10$  zahtjeva 100 puta veće deformacione sile i 1000 puta veći deformacioni radovi na objektu stvarnih dimenzija od onih veličina sila i rada postignutim u modelnom ispitivanju.

Kod toga je moguće ukazati na pouzdanost ovog načina određivanja sile, to tim više što korištenje nekih drugih u praksi uobičajenih izraza daje odstupanja od rezultata mjerenja. Takova je komparativna analiza izvršena za ekstremne slučajeve odnosa  $h/d=0,5$  i  $h/d=2,0$  za proračun sile slobodnog sabijanja prema izrazu iz elementarne plastomehanike

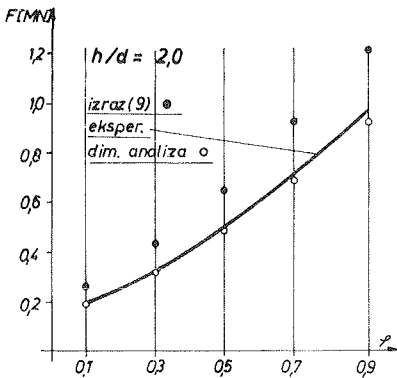
$$F = \frac{d}{\mu} \frac{h}{k_f} \left( e^{\frac{\mu d}{h}} - 1 \right) \quad /9/$$

i sile sabijanja dobivene metodom dimenzionalne analize te one dobivene pokusom (sl. 3, 4)



Sl. 3

Prikazano je odstupanje računski potrebnih sila od one dobivene eksperimentom u ovisnosti od odnosa visine i promjera. Očita je nepouzdanost izračunavanja sile za istovrsne uvjete sabijanja po izrazu nastalom na principima elementarne teorije plastičnosti.



Sl. 4

Uočene nesuglasnosti rezultata pokusa i proračuna mogu tehnologu biti dragocjena orijentacija o podobnosti pojedinih izraza za primjenu. Iz prikazanog evidentno je da razlike izračunatih rezultata dosežu i preko 40 % odstupanja od stvarne veličine deformacione sile određene mjerenjima. Dobrim dijelom to je uzrokovano samo približnim poznavanjem osnovnih ulaznih podataka pa stoga eksperiment ostaje najpouzdanija metoda određivanja deformacione sile. Ustanovljeno je da proračun sile dobiven metodom dimenzionalne analize

da je prosječna odstupanja u granicama do 5% /maks. odstup. 13 %/.

Na osnovu iznešenoga uočljivo je da dimenzionalna analiza ne zahtjeva poznavanje jednadžbi koje se odnose na promatrani problem. Za primjenu dimenzionalne analize dovoljno je poznavati veličine koje su od važnosti za razmatrani proces. Broj bezdimenzionalnih grupa dobiva se na osnovu Buckinghamovog  $\pi$  - teorema. Za određivanje oblika zavisnosti ovih grupa zahtijeva se rješavanje sistema algebarskih linearnih jednadžbi. Pritom je broj bezdimenzionalnih varijabli uvijek manji od broja dimenzionalnih varijabli, koje ulaze u bezdimenzionalne grupe. Kako se dimenzionalnom analizom kriteriji sličnosti mogu odrediti i bez poznavanja zavisnosti među dimenzionalnim varijablama, eksperimentalno je određivanje te zavisnosti u velikoj mjeri olakšano, ako se eksperimentom određuje zavisnost bezdimenzionalnim varijabli kriterijske jednadžbe, jer je broj bezdimenzionalnih varijabli manji.

#### Literatura

1. Hill R., The mathematical theory of plasticity Oxford University, 1950.
2. Pawelaki O., Plastomechanische Grundlagen der Kaltumformung, D.G. für Metallkunde, 1969.
3. Kienzle O., Mechanische Umformtechnik, Springer Verlag, Berlin 1968.
4. Backofen A.W., Deformation processing, AWP, California, 1977.
5. Bridgman P.W., Dimensional analysis, Yale University, London 1978.
6. Pawlowski J., Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalischtechnischen Forschung, Springer V., 1971.
7. Math M., Prilog primjeni teorije sličnosti u oblikovanju metala deformiranjem, magistrski rad, FSB, Zagreb, 1981.

Sato Olević

USPOREDNO ISPITIVANJE KRUTOSTI EKSCENTAR PRESE POMOĆU KUGLASTOG  
I KARDANSKOG ZGLOBA

R e z i m e

Usporednim pokusima opterećivanja preše posredstvom novokonstruiranog i izradjenog kardanskog zgloba, s pet sloboda gibanja i posredstvom ranije uobičajnog kuglastog zgloba s tri slobode gibanja, ustanovljena je signifikativna razlika u opružnim deformacijama radnog prostora preše ovisna o primjeni vrste zgloba. U novijim razmatranjima krutost radnog prostora preše opisuje se linearnim opružnim koeficijentom i kutnim opružnim koeficijentom. Usporedba sličnih strojeva omogućena je faktorom proporcionalnosti linijske krutosti i faktorom proporcionalnosti kutne krutosti.

S u m m a r y

PARALLEL CHECK OF RIGIDITY OF ECCENTRIC PRESS BY BALL AND  
UNIVERSAL JOINT

By comparative experimentes of press loading by means of newly constructed and manufactured cardan joint with five possible degrees of motion, and by means of previously commonly used ball joint with three possible degrees of motion, a significant difference in stiffness deformations of the press working area has been found out depending on the kind of joint applied. In newer considerations, the press working area stiffness is described by the longitudinal stiffness coefficient and the angular stiffness coefficient. The comparison of the similar machines is enabled by the longitudinal stiffness proportionality factor and the angular stiffness proportionality factor.

1.UVOD

U istraživanju krutosti strojeva za oblikovanje deformiranjem ističe se prototipna analiza, posebno u statičkoj krutosti preša. U stari-

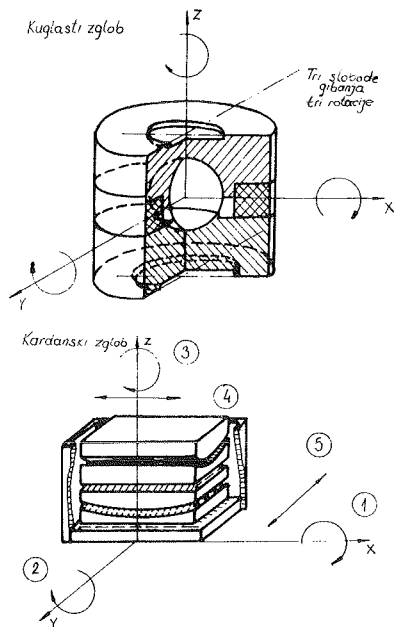
Jim radovima o ovom predmetu obično se navodi da je opterećivanje preše provedeno posredstvom kuglastog tlačnog zgloba koji omogućuje da tlačne plohe preše slijede deformacije tijela radnog stola i malja u pogledu nagiba. Ovakav način opterećivanja zadovoljavao je sve do prije nekoliko godina, kada se intenzivno počeo istraživati uticaj krutosti preše na tačnost izratka i gubitka opružnog rada. Osim toga zahtjevi o ekonomičnosti postupka oblikovanja nalažu primjenu sve jednostavnijih i jeftinijih alata a to na preše predstavlja sve oštrije zahtjeve u pogledu krutosti.

Prije četiri godine objavljeni su prvi rezultati eksperimentalne analize krutosti za opterećivanje preša posredstvom novog tlačnog zgloba koji se razlikuje od ranijeg po tome što osim tri rotacije tlačnih ploha omogućuje i dvije translacije. Odmah su uočene brojne prednosti takvog načina opterećivanja. Ostalo je, međutim, još neistraženo pitanje da li se opterećivanjem posredstvom novog tlačnog zgloba postižu značajne razlike u deformiranju radnog prostora preše u odnosu na opterećivanje na stariji način.

## 2. KUGLASTI I KARDANSKI TLAČNI ZGLOB

Kako je već spomenuto u prethodnom izlaganju primjena kuglastog ili kardanskog tlačnog zgloba omogućuje dva kvalitetno potpuno različita načina mjerenja kao što se vidi na slici 1 i realno prikazuje te razlike. Kardanski tlačni zglob, koliko je poznato, dosad je uveden jedino u istraživanjima krutosti provedenih u "Institutu za strojeve za oblikovanjem deformacijom"

Tehničkog sveučilišta u Hanoveru, gdje je i izmišljen. Podaci o ispitivanju

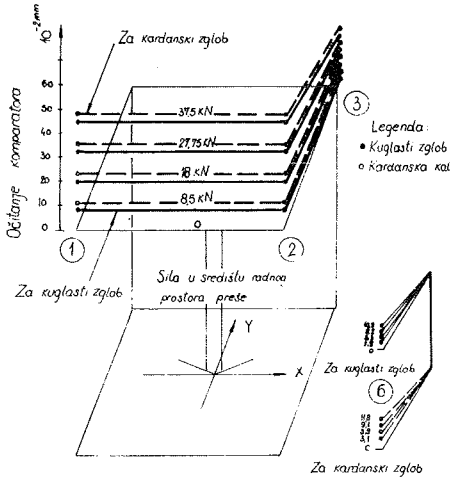


Usporeni prikaz sloboda relativnih gibanja tlačnih ploha radnog prostora preše u slučaju primjene kuglastog kardanskog tlačnog zgloba pri opterećenju radnog prostora

krutosti takvim zglobovima objavljeni su u (1 i 2). Značajne prednosti primjene takvog tlačnog zgloba pred kuglastim bile su poticaj nastojanju da se takav zglob konstruira, izradi i primjeni upravo prototipnoj analizi preše koja slijedi u daljem tekstu.

Pri konstruiranju zgloba nastojalo se da zglob omogućí slobode gibanja u slici 1 tj. pet sloboda relativnog gibanja među tlačnim ploham, radnog prostora preše. Ovo se nastojalo postići postavljanjem valjčića (poput igličastog ležaja) u prostor između po dvije konveksno-konkavne i po dvije ravne plohe ploča položene jedne na drugu. Nastojalo se izraditi kardanski

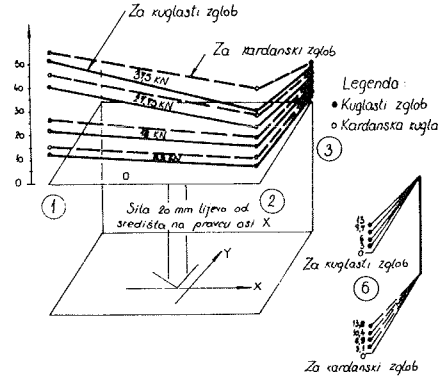
zglob koji će se moći primjeniti za opterećivanja do približno 200kN.



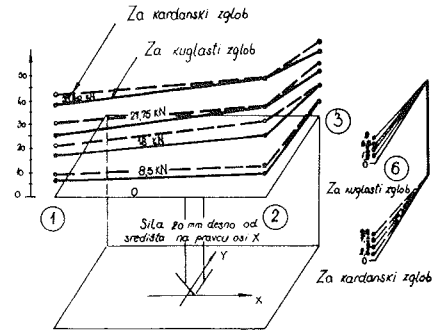
Slika 2. Usporedni grafički prikaz očitavanja komparatora za mjerna mjesta 1, 2, 3 i 6.

Budući da je zglob trebao imati svojstva slična valjanom ležaju izabrani su valjčići promjera 4 i duljine 12 mm. Čelik Č 4159 izabran je za izradu ploča koje su obradjene najprije blanjanjem i grubim brušenjem. Toplinski postupak proveden je za tvrdoću  $52 \pm 2$  mjerenoj po metodi Rockwell C. Kontaktne plohe su fino brušene i polirane do hrapavosti klase 3. Naknadnim proračunom koji vrijedi za valjkaste ležajeve i Industrije kugličnih ležaja - Beograd (br.3) procjenjeno je da bi ovako izradjeni kardanski zglob podneo statičko opterećenje i veće od 200kN. Ovo je znatno više od maksimalnih opterećenja 50 kN, primjenjenih u ispitivanjima u okviru ovog rada. Na slijedećim slikama vide se razlike u vrijednostima očitavanjima između opterećivanja posredstvom kuglastog i kardanskog zgloba mogu se pripisati slijedećim činjenicama: Nepostojanje translatorskih sloboda gibanja kod opterećenja posredstvom

kuglastog zgloba djeluje ukružujuće na radni prostor i međusobnim položajem radnih ploha.



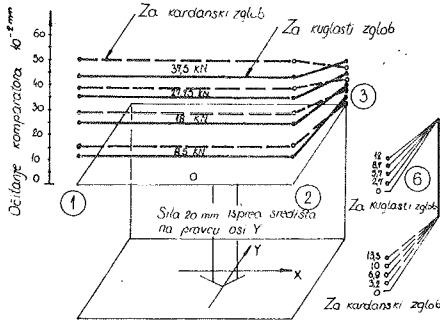
Slika 3. Usporedni grafički prikaz očitavanja komparatora, kad sila djeluje 20mm lijevo od središta na pravcu osi X



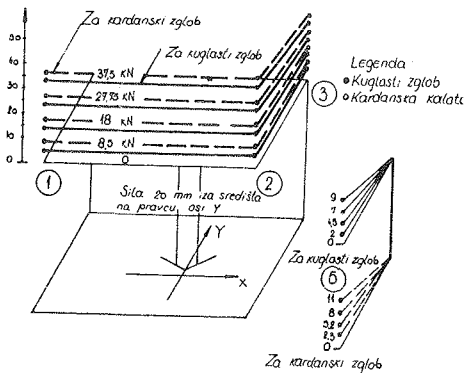
Slika 4. Usporedni grafički prikaz očitavanja komparatora za mjerna mjesta 1, 2, 3 i 6 kad sila djeluje 20mm desno od središta na pravcu osi X

Tijelo stroja dodatno se opterećuje što rezultira nešto manjom vertikalnom komponentom opterećenja, pa prema tome i manjom deformacijom radnog prostora u tom pravcu. Spomenimo još i činjenicu da tra-

nslatorne slobode gibanja, koje omogućuje kardanski zglob, približno način opterećivanja pri eksperimentu stanju kakvo se stvarno događa u proizvodnom opterećivanju stroja. S tog razloga za proračun linijske i kutne krutosti uzimat će se vrednosti očitavanja pri opterećivanju posredstvom kardanskog tlačnog zgloba.



Slika 5. Usporedni grafički prikaz očitavanja komperatora za mjerna mjesta 1, 2, 3 i 6 kad sila djeluje 20 mm ispred središta na pravcu osi Y.



Slika 6. Usporedni grafički prikaz očitavanja komperatora za mjerna mjesta 1, 2, 3, 6 kad sila djeluje 20 mm iza središta na pravcu osi Y.

### 3. ZAKLJUČAK

Krutost je temeljna značajka strojeva za oblikovanje deformiranjem. Ima veliko značenje za tačnost izratka i gubitak opružnog rada oblikovanja, gradijent opterećenja stroja i alata, a u vezi s tim i za pojavu vibracija dijelova stroja i djelovanje stroja na okolinu.

Modelski i prototipno, teorijski i eksperimentalno, još uvijek se više istražuje statička krutost, iako je proizvodnu primjenu važnija dinamična krutost. U novim razmatranjima krutost radnog prostora preše opisuje se linijskim opružnim koeficijentom i kutnim i kutnim opružnim koeficijentom. Usporedba sličnih strojeva omogućena je faktorom proporcionalnosti linijske krutosti i faktorom proporcionalnosti kutne krutosti.

Za prototipnu analizu krutosti univerzalne ekscentar preše s C-postoljem, nazivne sile 50 kN, primjenjena je posebna hidraulička naprava za opterećivanje, a konstruiran je i izrađen kardanski tlačni zglob s pet sloboda gibanja.

### 4. LITERATURA

1. E.DOEGE, G. BOCKEL, D.MORAGHEGHI M.HANISCH, "Einfluss der Umformmaschine auf die Werkstückgenauigkeit", HFF-Bericht, 10. UKH 1980, S.25/1-13.
2. IKL Priručnik-Industrija kotrljajućih ležajeva, Beograd 1957 g.
3. S.OLEVIĆ, "Prilog razmatranju krutosti preše" magistarski rad.
4. A.MULC, "Krutost strojeva za oblikovanje deformiranjem", Zbornik radova Seminar BIAM 80., Zagreb 1980. str. - 3-61 do 3-74.



Nada Tomić \*  
Miroljub Tomić

UTICAJ PROCESA PROIZVODNJE NA PLASTIČNOST  
HLADNO VALJANIH LIMOVA

R e z i m e

Čelični limovi koji su namenjeni u procesu obrade dubokim izvlačenjem potrebno je da poseduju odgovarajuću plastičnost, kako bi se proces obrade obavio bez pojave razaranja lima.

Na postizanje potrebnih karakteristika, pored hemijskog sastava može se uticati u samom procesu hladnog valjanja pogodnim izborom pojedinih parametara valjanja, pre svega stepena redukcije i temperature žarenja. Pored opštih načela o uticaju ovih parametara na plastičnost, u radu se daju i neke preporuke za izbor parametara pri valjanju limova koje se koriste u Hladnoj valjaonici MK Smederevo.

INFLUENCE OF THE PRODUCTION PROCES ON THE PLASTICITY  
OF THE COLD ROLLED PLATES

S u m m a r y

It is necessary for the steel plates, which are intended for processing of deep pulling out, to possess appropriate plasticity, in order to carry out the processing without destructing the plates. The influence on reaching the necessary characteristics could be done in process of cold rolling, by suitable choice of rolling parameters, first of all by reduction degree and heating temperature. Besides the general principles about the influence of these parameters on the plasticity, in practice are given some recommendations for choosing the parameters for rolling plates, used in the Cold Mill Complex, MK Smederevo.

1. UVOD

Pod hladnim valjanjem se prethodnog zagrevanja, obično na podrazumeva valjanje metala bez temperaturi oko 10 do 115 °C.

\* Nada Tomić, maš.ing., SOUR MKS, RO Železara Smederevo

Mr Miroljub Tomić, dipl.maš.ing., SOUR MKS, RO Železara Smederevo

Za razliku od limova i traka dobijenih postupkom toplog valjanja, koji imaju lošiji kvalitet površine i manju tačnost debljine zbog neravnomernog zagrevanja polufabrikata kao i relativno kraći vek trajanja usled pregorevanja polufabrikata za dobijanje toplo valjanih limova, hladno valjani limovi i trake poseduju tačnost debljine, glatku površinu i visoke mehaničke i tehnološke osobine, što je, sobzirom na njihovu namenu u procesima obrade plastičnom deformacijom i neophodno. Stoga, a i zbog same tehnologije toplog valjanja, limovi čija debljina treba da je oko 2 mm (tanki limovi) dobijaju se hladnim valjanjem iz toplo valjanih traka u koturovima debljine obično 3 do 4 mm pa i više, što zavisi od konačne debljine nakon hladnog valjanja.

Prema hemijskom sastavu hladno valjani čelični limovi mogu biti od ugljeničnih, nisko, srednje i visoko legiranih čelika. Najveće količine hladno valjanih limova se izradjuju od mekih nisko ugljeničnih čelika, dok na visoko ugljenične i legirane čelike dolazi oko 15 do 22%.

Osim hemijskog sastava, na širok izbor mehaničkih osobina može se uticati pogodnim izborom pojedinih parametara pri procesu dobijanja tankih, hladno valjanih limova.

Tehnologija dobijanja hladno valjanih limova uglavnom se sastoji iz:

- pripreme toplo valjanih traka za hladno valjanje, tzv, luženje,
- hladnog valjanja,
- rekristalizacionog žarenja,

- dresiranja, i
- adjustiranja.

Kako se u procesima hladnog valjanja, rekristalizacionog žarenja i dresiranja može dosta uticati na poboljšanje plastičnosti limova, to će se izvršiti kraća analiza uticaja tih procesa na plastičnost limova.

## 2. HLADNO VALJANJE TRAKA I LIMOVA

Hladnim valjanjem toplo valjanih traka na valjaoničkim stanicama, najčešće kvarto stanicama, menja se oblik traka koje se zahvatom valjaka izdužuju usled trenja a na račun smanjenja debljine.

Promenom odstojanja valjaka menja se debljina valjane trake, ali ta promena obično ne može da se vrši u toku jednog provlaka. Broj provlaka uslovljen je sledećim faktorima:

- zahvatom sposobnošću valjaka,
- dobijanjem preseka potrebnih dimenzija,
- čvrstoćom radnih valjaka i delova valjačke pruge,
- snagom pogonskih motora,
- otpornošću valjaka na habanje, i
- kvalitetom valjanih proizvoda.

Razlika debljine trake pre i posle valjanja naziva se redukcijom debljine koja je u funkciji pomenutih faktora.

Kako je proces hladnog valjanja vezan sa procesom otvrdnjavanja to je, na osnovu literaturnih podataka i dosadašnjih analiza karakteristika limova dobivenih različitim stepenima redukcije, utvrđeno da sa porastom stepena redukcije rastu tvrdoća i zatezna čvrstoća, a karakteristike plastičnosti, npr.

izduženje, opadaju.

Kako na veličinu stepene redukcije utiču mnogobrojni faktori, to je otežano iznalaženje funkcionalne veze između njih i stepena redukcije. Tako npr, kod čelika sa većim sadržajem ugljenika veći je i stepen redukcije pri provlaku.

Takodje je stepen redukcije veći kod neumirenih čelika u odnosu na umirene. Ako je veća temperatura toplo valjane trake pri namotavanju na metalici, tada se ostvaruju veći stepeni redukcije.

U tabeli 1. date su vrednosti stepena redukcije pri kojima se dobijaju optimalne vrednosti za mehaničke osobine lima.

Tabela 1.

Vrsta čelika	max % C	Redukcija %
Č.0145	0,15	0,8 - 2,0
Č.0146	0,12	0,8 - 1,6
Č.0147	0,10	0,8 - 1,5
Č.0148	0,08	0,6 - 1,0

Pritisak metala na valjke treba da obezbedi ostvarenje date redukcije, koja se za svaki provlak određuje iz uslova jednakosti dozvoljenog opterećenja uslovljenog otpornošću valjaka i otpornošću metala.

Osnovne karakteristike kvarto stana u Hladnoj valjaonici MK Smederevo su:

- prečnik radnih /potpornih valjaka ----- 500/1300 mm
- radna dužina valjaka --- 1700 mm
- radna brzina ----- 20 m/s
- maksimalni pritisak metala na valjke ----- 7500 KN
- snaga motora za pokretanje valjaka ----- 1000 KW.

### 3. REKRISTALIZACIONO ŽARENJE

Limovi se posle valjanja u hladnom stanju žare. Žarenjem se poboljšavaju osobine metala promenom strukture nastale pri hladnom valjanju.

Žarenje je jedan od osnovnih postupaka termičke obrade pod kojim se podrazumeva zagrevanje metala do određene temperature i progrevanje na istoj sa sporim hladjenjem.

Rekristalizaciono žarenje se definiše kao vrsta termičke obrade pri kojoj dolazi do transformacije deformisane u nedeformisanu strukturu, obrazovanjem i rastom novih nedeformisanih zrna, uz istovremeno vraćanje metalu polaznih osobina. Pored toga rekristalizacionim žarenjem se umanjuju znatna unutrašnja naprezanja koja sa porastom deformacije rastu.

Najvažniji faktori koji utiču na rekristalizaciju su:

- temperatura zagrevanja,
- vreme zagrevanja i progrevanja,
- veličina prethodnog zrna,
- stepen deformacije u hladnom stanju.

Pri hladnoj deformaciji metala znatan deo energije se troši za stvaranje disklokacija (mesta najveće energetske sadržine) usled čega se na tim mestima nalazi izvesna količina potencijalne energije. Stoga je rekristalizacija uslovljena težnjom sistema da ukloni neravnomernosti u sadržini energije nastale plastičnom deformacijom u hladnom stanju i da predje u slobodno energetsko stanje. Stvaranjem nenapregnutnih centara za rekristalizaciju i njihovim daljim rastom poboljšavaju se plastična svojstva metala.

Rekristalizacijom se u potpunosti uklanja otvrdnjavanje, povećava plastičnost, smanjuje otpor prema deformaciji.

Temperatura zagrevanja pri procesu rekristalizacije imaju veliki uticaj na osobine hladno valjanog lima.

Zagrevanjem do oko 500°C struktura lima ostaje nepromenjena, ali ipak postepeno opadaju čvrstoća i tvrdoća uz porast istezanja, što je posledica popuštanja unutrašnjih naprezanja.

Iznad 500°C počinje rekristalizacija što dovodi do naglog sniženja čvrstoće i tvrdoće i povećanja istezanja.

Zavisno od debljine i kvaliteta lima preporučuju se temperature žarenja date u tabeli 2.

Tabela 2.

Debljina lima (mm)	Temperatura žarenja (°C)		
	Č.0146	Č.0147	Č.0148
0,5 - 0,8	630	650	700
0,8 - 1,0	640	680	710
1,0 - 1,5	640	690	710
1,5 - 2,0	640	700	710

#### 4. DRESIRANJE TRAKA I LIMOVA

Dresiranje, tj. hladno valjanje traka i limova nakon žarenja predstavlja proces u tehnologiji dobijanja tankih limova kojim se postiže tačnost debljine i kvalitetna površina lima.

Ukupna redukcija kod dresiranja ne sme da prekorači vrednost od 0,5 + 3%, jer se njenim povećanjem pogoršavaju plastične osobine limova, a naročito osobine limova namenjenih za duboko izvlačenje. S obzirom na mali stepen redukcije, dresiranje se obično iz-

vodi sa jednim provlakom.

#### 5. ZAKLJUČAK

Da bi se limovi uspešno koristili u procesima obrade deformacijom, težnja je da ti limovi budu meki i žilavi, a manje krti i tvrdi, tj. da poseduju odgovarajuću plastičnost pri obradi. Nasuprot povećanoj plastičnosti koja se manifestuje povećanjem relativnog stepena izduženja i veličinom dubine izvlačenja, karakteristike otvrdnjavanja: zatezna čvrstoća, granica razvlačenja, tvrdoća itd., treba da opadaju.

Kako se na povećanje plastičnosti u velikoj meri može uticati u procesu valjanja, to je potrebno voditi računa o izboru stepena redukcije i parametara rekristalizacije, a shodno navedenim preporukama u ra-

du koje su dale vrlo dobre rezultate pri valjanju limova u Hladnoj valjaonici MK Smederevo.

#### 6. LITERATURA

- /1/ Musafija, B.: Obrada metala plastičnom deformacijom, "Svetlost", Sarajevo, 1976.
- /2/ Tehnološke instrukcije Hladne valjaonice MK Smederevo
- /3/ Popov, E.A.: Osnovi teoriji listovoj štamповki, "Mašinstroenie", Moskva, 1977.
- /4/ Čaušević, M.: Teorija plastične prerade metala, "Svetlost" Sarajevo, 1979.

Branko Grizelj

SILA OBLIKOVANJA I KALIBRIRANJA DVOSTRUKO ZAKRIVLJENIH  
PLOČA

R e z i m e

U priloženom radu, daje se prije svega teoretska strana ovisnosti sile oblikovanja i kalibriranja od utjecajnih faktora. Industrijski pokusi (M1:1) su pokazali, da su odstupanja od teoretskih izraza minimalna.

Die FORMUNGS-UND KALIBRIERUNGSKRAFT BEI DEN PLATTEN  
DER DOPPELKRÜMMUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

In der vorliegenden Arbeit, wurde zunächst von der theoretischen Seite die Abhängigkeit die Formungs- und Kalibrierungskraft bei der Platten der Doppelkrümmung von den Einflussfaktoren gegeben. Auf Grund der Industriellenversuchen (M1:1) wurde gezeigt, dass die Abweichungen von den theoretischen Ausdrücken geringfügig sind.

1. UVOD

Izrada dvostruko zakrivljenih ploča spada u oblikovanje limova. Obavlja se u jednom ili više radnih hodova na hidrauličkim prešama. Radi se o oblikovanju koje se nalazi između dubokog vučenja i savijanja sa istovremenim istežanjem. Postupak oblikovanja se sastoji u tome da se limena ploča stavlja u kalup i oblikuje pod pritiskom preše u određeni oblik sl.1.

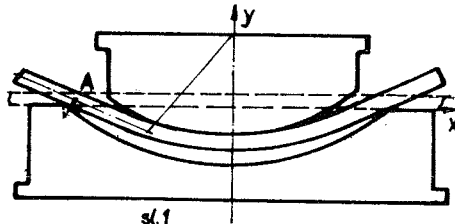
Mr Branko Grizelj, dipl.ing.  
šef PKB-alata "Đuro Đaković" i  
znanstveno-nastavni asistent  
Strojarski fakultet Slav. Brod

2. PRORAČUN SILE

2.1. Proračun naprezanja

Da bi se došlo do izraza za deformacionu silu, potrebnu za oblikovanje ploče, potrebno je razmotriti koja naprezanja djeluju u presjeku A sl.1. To su:

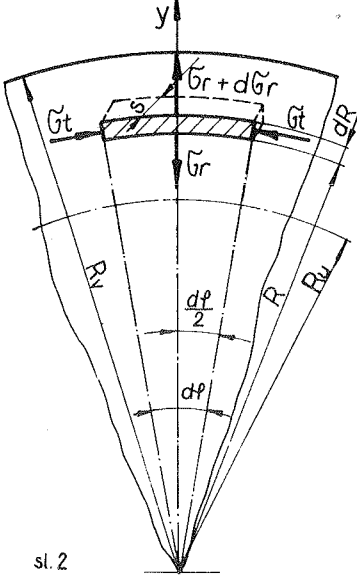
1. Naprezanje uslijed plastične deformacije  $\checkmark_u$
2. Naprezanje za savladavanje sile trenja na silazu s ruba  $\checkmark_{tr}$
3. Naprezanje na savijanje  $\checkmark_{sav.}$



Ukupno naprezanje u presjeku A iznosi:

$$\tilde{\sigma}_k = \tilde{\sigma}_u + \tilde{\sigma}_r + \tilde{\sigma}_{sov} \quad (1)$$

Da bi se došlo do računskog izraza za naprezanje uslijed plastične deformacije  $\tilde{\sigma}_v$  potrebno je da se razmotre sile koje djeluju na šrafirani element izrezan iz isječka ploče u udaljenosti R sl.2.



Na unutarnjoj površini elem. djeluje vlačna sila  $\tilde{\sigma}_r \cdot R \cdot d\phi$  s usmjerenom prema centru, a na suprotnoj vanjskoj površini djeluje vlačna sila  $(\tilde{\sigma}_r + d\tilde{\sigma}_r)(R + dR)d\phi$ . Na radijalnim površinama djeluju tlačne tangencijalne sile  $\tilde{\sigma}_t \cdot s \cdot dR$ . Iz uvjeta ravnoteže sila  $\sum y = 0$  slijedi:

$$(\tilde{\sigma}_r + d\tilde{\sigma}_r)(R + dR)d\phi s - \tilde{\sigma}_r R d\phi s + 2\tilde{\sigma}_t s \sin \frac{d\phi}{2} \cdot s dR = 0$$

Faktor uvrštavanja  $\sin \frac{d\phi}{2} = \frac{d\phi}{2}$  (zbog malog kuta), kraćenja sa s i zanemarivanja malih veličina drugog reda dobiva se:

$$(\tilde{\sigma}_r + \tilde{\sigma}_t) dR + d\tilde{\sigma}_r \cdot R = 0 \quad (2)$$

Da bi se dobivena diferencijalna jednačba mogla riješiti koristi se uvijet plastičnog tečenja:

$$\tilde{\sigma}_r + \tilde{\sigma}_t = k_f \quad (3)$$

gdje je:

$k_f \left( \frac{N}{mm^2} \right)$  - naprezanje preoblikovanja  
 Stavljajući izraz (3) u (2) dobiva se:

$$k_f dR + d\tilde{\sigma}_r \cdot R = 0$$

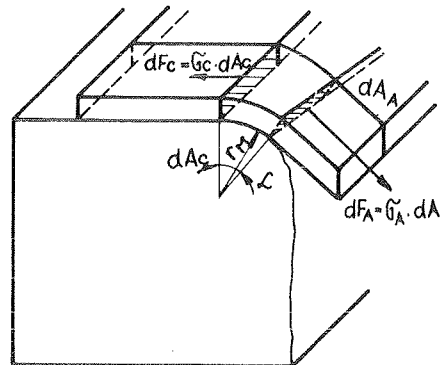
i odatle: 
$$\int_{\tilde{\sigma}_u}^{\tilde{\sigma}_v} d\tilde{\sigma}_r = -k_f \int_{R_u}^{R_v} \frac{dR}{R}$$

$$\tilde{\sigma}_v - \tilde{\sigma}_u = k_f \ln \frac{R_v}{R_u}$$

Na kraju oblikovane ploče je  $\tilde{\sigma}_v = 0$  pa se dobiva konačan izraz za naprezanje uslijed plastične deformacije:

$$\tilde{\sigma}_v = k_f \ln \frac{R_v}{R_u} \quad (4)$$

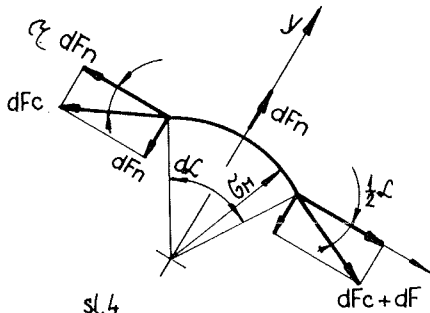
Tokom oblikovanja, ploča klizi uzduž zaobljenog ulaznog ruba polumjera  $r_n$ , te treba savladati silu trenja zbog čega mora naprezanje na silazu s ruba to jest na polumjeru  $R_v$  biti veći od  $\tilde{\sigma}_u$ . Ako se zamisli da je ploča podjeljena na pojaseve može se takav jedan volumenski element predstaviti kao vučenje pojasa. Pojas dodiruje polumjer kalupa po luku i nosi teret  $dF_c$  i  $dF_A$ . Zbog toga u dijelovima pojasa djeluje sila  $dF_c$  i  $dF_A$  sl.3.



sl. 3

Kada se sila  $dF_A$  povećava za  $dF = dF_A - dF_c$  nastupit će kretanje pojasa.

Posmatra se koordinatni sistem xy sl.4 elementarnog pojasa  $dl = r_n \cdot d\alpha$ .



sl.4

Iz uslova ravnoteže za pravac tangente (x) i normale (y) dobiva se:

$$\sum x = (dF_c + dF) \cos \frac{1}{2} d\alpha - dF_c \cos \frac{1}{2} d\alpha - \mu dF_n = 0 \quad (5)$$

$$\sum y = dF_n - (dF_c + dF) \sin \frac{1}{2} d\alpha - dF_c \sin \frac{1}{2} d\alpha = 0 \quad (6)$$

Prilikom uvrštavanja sin  $\frac{1}{2} d\alpha \approx \frac{1}{2} d\alpha$ ,  $\cos d\alpha \approx 1$  (zbog malog kuta i zanemarivanjem beskonačno malih veličina višeg reda) dobiva se iz izraza (5) i (6):

$$dF - \mu \cdot dF_n = 0 \quad (7)$$

$$dF_n - dF_c \cdot d\alpha = 0 \quad (8)$$

Iz izraza (7) i (8) dobiva se priraštaj sile u pojasu

$$dF = \mu \cdot dF_c \cdot d\alpha$$

Ukupan priraštaj sile u pojasu za konačan kut (kut dodira) bit će:

$$\int_{dF_c}^{dF_A} \frac{dF}{dF_c} = \mu \int_0^{\alpha} d\alpha$$

Integriranjem se dobiva

$$\ln dF_A - \ln dF_c = \mu \alpha$$

te sila u pojasu

$$dF_A = dF_c \cdot e^{\mu \alpha}$$

Odatle se dobiva sila trenja jednog volumenskog elementa na kraju polumjera  $r_n$

$$\Delta F = dF_A - dF_c = dF_c (e^{\mu \alpha} - 1) \quad (9)$$

Odnosi li se to na presjek A dobiva se slijedeći izraz za naprezanje trenja

$$\check{u}_{tr} = \frac{\Delta F}{dA_A} \quad (10)$$

Ako se u izraz (10) stavi izraz (9)

$$\check{u}_{tr} = \frac{dF_c}{dF_A} (e^{\mu \alpha} - 1)$$

dobiva se

$$\check{u}_{tr} = \check{u}_c \frac{dA_c}{dA_A} (e^{\mu \alpha} - 1)$$

$$\check{u}_{tr} = \left( \frac{\check{u}_c}{\check{u}_A} \right) \check{u}_A \frac{dA_c}{dA_A} (e^{\mu \alpha} - 1)$$

Kako je  $r_n$  nasuprot oblikovanoj ploči i polumjeru gornjeg kalupa vrlo malen, to su presječne točke A i C vrlo blizu. Zbog toga se može uzeti da je:

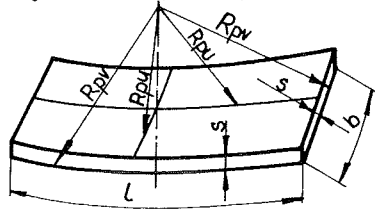
$$\left( \frac{\check{u}_c}{\check{u}_A} \right) \left( \frac{dA_c}{dA_A} \right) = 1$$

pa se dobiva konačan izraz napre- zanja za savladavanje sile trenja na silazu s ruba

$$\check{u}_{tr} = \check{u}_0 (e^{\mu \alpha} - 1) \quad (11)$$

$$\check{u}_{tr} = k_f \ln \frac{R_v}{R_u} (e^{\mu \alpha} - 1) \quad (12)$$

Naprezanje na savijanje u obliko- vanoj ploči bit će pozitivno u va- njskoj vlačnoj zoni, a negativno u unutrašnjoj tlačnoj zoni ispred neutralne ravnine. Ovo će napreza- nje rasti sa debljinom ploče s i opadati sa porastom polumjera za - krivljenosti  $R_{pv}$  sl.5.



sl.5

Izraz za  $\check{u}_{sov}$  je:

$$\check{u}_{sov} = k_f \frac{s}{2R_{pv} + s}$$

Uvrštavajući izraze (4), (12) i (13) u (1) dobiva se

$$\check{u}_{uk} = k_f \ln \frac{R_v}{R_u} + k_f \ln \frac{R_v}{R_u} (e^{\mu \alpha} - 1) + k_f \frac{s}{2R_{pv} + s}$$

$$\check{u}_{uk} = k_f \left( \ln \frac{R_v}{R_u} e^{\mu \alpha} + \frac{s}{2R_{pv} + s} \right) \quad (14)$$

## 2.2. Proračun sile

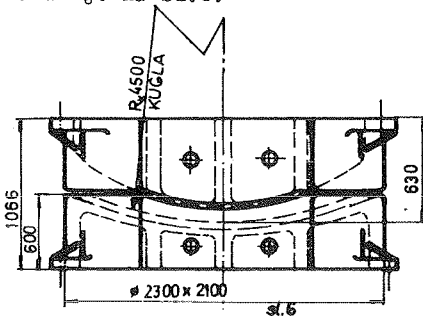
U presjeku A sl.1 djeluje zajedri- čka sila oblikovanja koja iznosi

$$F_{uk} = A_A \cdot \check{u}_{uk} \quad (15)$$

$$F_{uk} = 2R_v \cdot \pi \cdot s \cdot k_f \left( \ln \frac{R_v}{R_u} e^{\mu \alpha} + \frac{s}{2R_{pv} + s} \right) \quad (16)$$

### 3. USPOREDBA IZVEDENIH IZRAZA I EKSPERIMENTALNIH POKAZATELJA ZA SILU OBLIKOVANJA

Za izvodjenje eksperimenata upotrebjavane su ploče 29x2000x2000 mm, materijal NIOVAL 47. Alat na kojem su izvedeni eksperimenti prikazan je na sl.6.



Pomoću izraza (16) može se izračunati potrebna sila za oblikovanje

$$F_{uk} = 2R_v \cdot \pi \cdot s \cdot k_f \left( \ln \frac{R_v}{R_u} e^{k^2} + \frac{s}{2R_{pv} + s} \right)$$

$$F_{uk} = 2 \cdot 1000 \cdot \pi \cdot 29 \cdot 600 \left( \ln \frac{1000}{977} e^{2 \cdot 0,57} + \frac{29}{2 \cdot 4529 + 29} \right)$$

$$F_{uk} = 3170495 \text{ N}$$

$$F_{uk} = 3,17 \text{ MN}$$

Potrebna sila oblikovanja očitana na presi

$$F_{uk \text{ exp}} = 3,2 \text{ MN}$$

Ploča oblikovana pomoću sile 3,2 MN imala je po rubovima nabore visine do 5 mm, a polumjer oblikovane ploče mjereno u razli. pravcima imali su odstupanja do 1000 mm od teoretskog polumjera 6210 mm. Radi toga se data ploča morala kalibrirati.

Sila kalibriranja može se izračunati na osnovu izraza

$$F_k = k \cdot F_{uk \text{ exp}} \quad (17)$$

Da bi se izračunala sila kalibriranja potrebno je eksperimentalnim putem odrediti veličinu koeficijenta kalibriranja  $k$  za određene dimenzije.

Za ploču dimenzija 29x2000x2000 koeficijent kalibriranja  $k$  iznosi

$$k = 2,$$

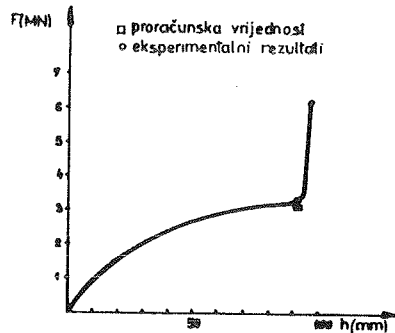
a za ploču dimenzija 16x2000x2000 koeficijent kalibriranja  $k$  iznosi

$$k = 2,5$$

Uspoređujući vrijednost koeficijenta kalibriranja vidi se da je njegova vrijednost veća što je debljina ploče s manja. To je radi toga što se u toku procesa oblikovanja stvaraju nabori na krajevima ploče, koji su to veći što je debljina ploče s manja. Tako na primjer za ploču dimenzija 20x2000x2000 mm može se pretpostaviti na osnovu naprijed eksperimentalno određjenih vrijednosti

$$k = 2,34$$

Na slici 7. data je ovisnost sile oblikovanja i kalibriranja za ploču 29x2000x2000 mm od veličine hoda prese.



sl. 7

### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu teoretskih izraza dobiven je izraz za proračun sile oblikovanja iz koje je vidljivo da na silu oblikovanja imaju utjecaj:

- površina oblikovane ploče,
- polumjer oblikovane ploče,
- debljina oblikovane ploče i
- materijal.

Eksperimenti pokazuju da se dobiveni teoretski izrazi mogu primjenjivati u praksi.



Andrija Mulc i Antun Vučetić <sup>+</sup>

PRILOG ANALIZI RADNE MOĆI MEHANIČKIH PREŠA <sup>++</sup>

R e z i m e

Tri vrste mehaničkih preša sa stalno rotirajućim zamašnjakom razmatrane su u pogledu građe, inercionih karakteristika pokretnih dijelova i osnovnih karakteristika inercionog bloka i pogona. Analiza je namijenjena boljoj orijentaciji u projektiranju i primjeni mehaničkih preša u proizvodnim procesima.

CONTRIBUTION TO WORK CAPACITY ANALYSIS OF MECHANICAL PRESSES

S u m m a r y

Three types of mechanical presses with continually rotating flywheel have been analyzed concerning its design, inertia characteristics of movement elements and basic parameters of inertia block and drive. The analysis was made for the purpose of better orientation in design and application of mechanical presses in production processes.

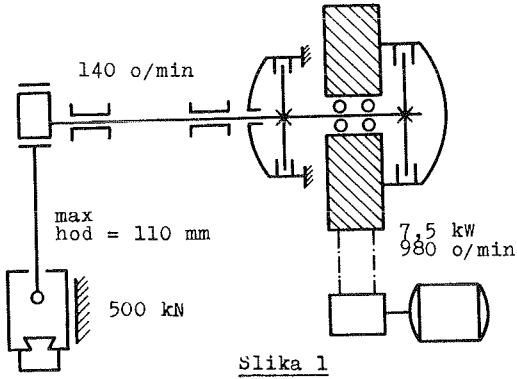
1. Uvod

Radna moć je temeljna karakteristika preše. Potrebno ju je poznavati pri projektiranju tehnološkog procesa, pri izboru preše, automatizaciji, proračunu kapaciteta proizvodne linije, pregradnji postojećih i projektiranju novih preša. S jedne strane ovisi o građi mehanizma malja i dozvoljenom opterećenju preše, a s

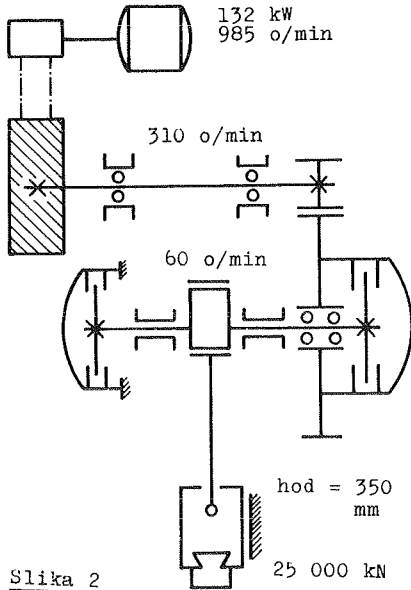
druge strane o kinetičkoj energiji inercionog bloka i o karakteristika-pogonskog elektromotora. U praksi radna moć se većinom procjenjuje na temelju veličine kinetičke energije inercionog bloka /1, 2, 3, 4/, vodeći računa o tome da je opterećenje preše unutar dozvoljenih granica. Pri projektiranju treba voditi računa i o

<sup>+</sup> Dr Andrija Mulc, izv. profesor, dr Antun Vučetić, red. profesor, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Bure Salaja 5, 41 000 Zagreb.

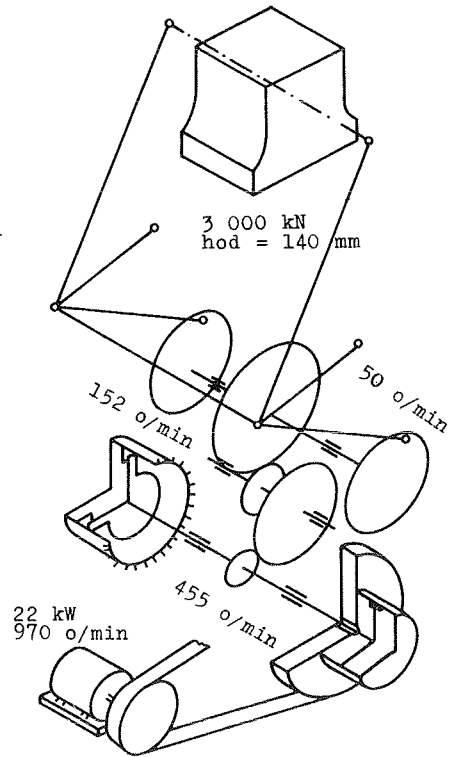
<sup>++</sup> Dio rezultata istraživanja provedenih za znanstveni zadatak "Istraživanje karakteristika strojeva za oblikovanje deformiranjem s obzirom na proizvodnu namjenu," financiranog od Samoupravne interesne zajednice za znanstveni rad S R Hrvatske.



Slika 1



Slika 2

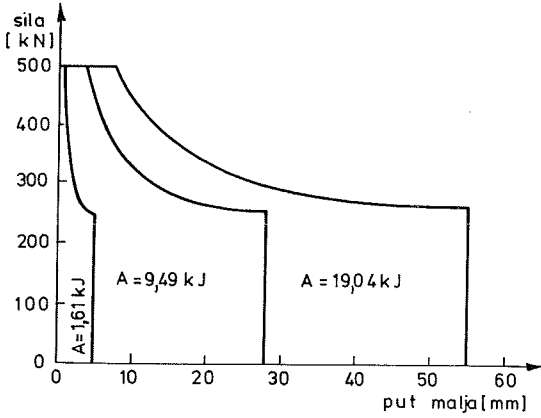


Slika 3

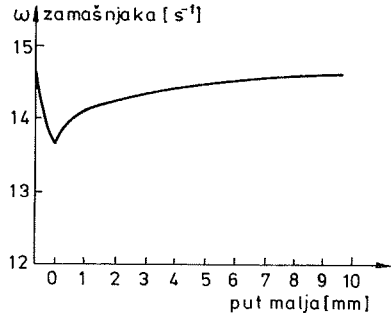
TABLICA 1

Podaci o razmatranim strojevima

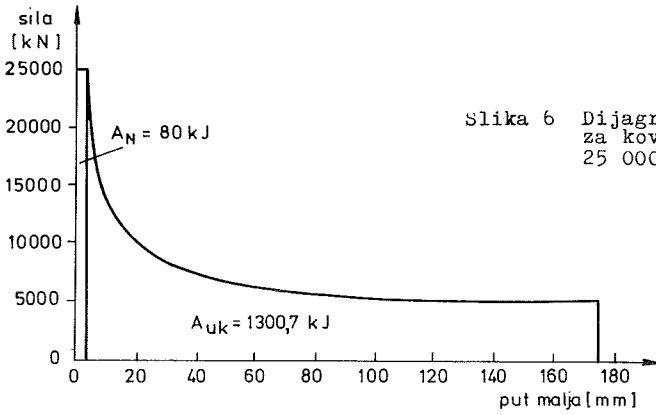
		stroj sa slike/ nazivna sila kN		
		1	2	3
		500	25 000	3 000
Masa kg	pokretnih dijelova	1 607	60 000	3 996
	zamašnjaka	611	9 480	731
Kinetička energija kJ	pokretnih dijelova	12,3	2 672	80,6
	zamašnjaka	10,4	2 199	63,7



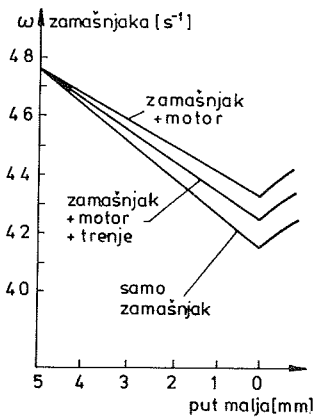
Slika 4 Dijagram sila-put malja za prešu 500 kN



Slika 5 Prikaz  $\omega$  za put malja preše sa slike 1, kod  $A = 1,61$  kJ



Slika 6 Dijagram sila-put malja za kovačku ekscentar prešu 25 000 kN



Slika 7 Prikaz  $\omega$  za put malja preše sa slike 3, kad se uzima u obzir i trenje

gubicima trenja, opružnom radu preše i o mogućnosti ponovnog ubrzavanja zamašnjaka do nazivnog broja okretaja /5, 6, 7, 8/.

Radi potpunijeg uvida u radnu moć već izrađenih preša, u daljem tekstu razmatraju se tri po namjeni različite suvremene preše. Prva je univerzalna ekscentar preša sa slike 1. Druga, sa slike 2, je kovačka maxi preša, a treća je preša namijenjena hladnom masivnom oblikovanju - sl.3. Do osnovnih podataka o tim strojevima došlo se je identifikacijom njihove konstrukcije i to uz pomoć knjiga (npr. /6/) i kataloga. Neki podaci provjereni su i mjerenjem na dostupnim strojevima. Rezultati dobiveni proračunima na temelju takve identifikacije smatraju se procjenom. To je razlog da se u tekstu ne navode proizvođači razmatranih strojeva. kod prve preše hod malja može se mijenjati u granicama od 10 do 110mm. Dijagram ovisnosti sile o putu malja prikazan je na slici 4 i to za najmanji, srednji i najveći put malja. Nazivni kut ekscentra je uvijek  $30^{\circ}$ . Na preši sa slike 2 hod malja se ne može mijenjati. Nazivni kut ekscentra je  $10^{\circ}$ , a dijagram sila-put malja vidljiv je na slici 6. Za treću prešu dijagram sila-put malja nije prikazan, jer je nazivna sila preše ista za cijeli put malja od 5 mm. Poznavajući momentne dijagrame pogonskih elektromotora i karakteristike inercionog bloka svake preše, zalet zamašnjaka može se proračunati na uobičajeni način /10/.

## 2. Zaključno razmatranje

Iz slike 4 i Tablice 1 vidljivo je da inercioni blok ne može udovoljiti radnoj moći što ju dozvoljava opterećenje preše 1 za najveći i srednji put malja. Dijagram na slici

5 odnosi se na najkraći hod malja. Usporedbom slike 6 i podataka iz Tablice 1 može se uočiti da niti inercioni blok preše 2 nema dovoljno veliku kinetičku energiju da se ostvari radna moć preše na temelju dovoljenog opterećenja.

Preša 3 ima dovoljno veliku kinetičku energiju inercionog bloka za ostvarenje nazivne sile na nazivnom putu malja. Vrijeme zaleta zamašnjaka je kraće od trajanja jednog ciklusa i onda kad se uzmu u račun i gubici trenja.

## 3. Literatura

- /1/ H. MÄKELT, "Die mechanischen Pressen," Carl Hanser Verlag, München 1961.
- /2/ ..., "Handbuch für die spanlose Formgebung," Louis Schuler A.G., Göppingen 1964.
- /3/ H. MÄKELT, "Pressen-Handbuch," Th. Kieserling u. Albrecht, Solingen 1970.
- /4/ H. TSCHÄTTSCH, "Taschenbuch Umformtechnik," Carl Hanser Verlag, München 1977.
- /5/ E. N. LANSKOJ, A. N. BANKEŤOV, "Elementi rasčeta detalej i uzlov krivošipnih pressov," Mašinstroenie, Moskva 1974.
- /6/ A. A. IGNATOV, T. A. IGNATOVA, "Krivošipnie gorjačeštampovočne pressii," Mašinstroenie, Moskva 1974.
- /7/ H. PÜSCHMANN, "Auslegung des Schwungradantriebes umformender und schneidender Werkzeugmaschinen mit Schubkurbelantriebe," Maschinenbautechnik 13, H. 5, 1964, S. 228 - 235.
- /8/ L. I. ŽIVOV, A. G. OVČINNIKOV, "Kuznečno-štampovočne oborudovanie - Pressi," Višća škola, Kiev 1981.
- /9/ P. POPOVIĆ, "Utica j zakona promene kretanja pogonskog mehanizma mehaničkih krivajnih presa na proizvodnost," Obrada deformisanjem u mašinstvu, n. 4, 1977, s.84-94.
- /10/ K. HADŽIMURATOVIĆ, Magistarski rad, FSB Zagreb, 1977.
- /11/ M. STANČIĆ, D. STANIŠIĆ, J. ČAPAKIĆ, D. IVANĐA, Diplomski radovi FSB Zagreb, 1979 - 1982.
- /12/ Katalozi i prospekti preša

Ljubomir Bogdanov <sup>x</sup>

UTICAJ PRELAZNOG MOSTIĆA KOD ALATA ZA KOVANJE NA  
POUZDANOST PROCESA KOVANJA

R e z i m e

Prelazni mostić, kao konstruktivni elemenat za kočenje tečenja metala u venac (magacin viška materijala) u literaturi je malo obradjen. Utrošak energije za oblikovanje samog otkovka i za tečenje metaka u magacin viška materijala uticajan je sa aspekta kvaliteta (toka vlakana), strukture i uštede energije.

INFLUENCE OF FLASH CLEARANCE ON RELIABILITY  
OF FORGING PROCESS

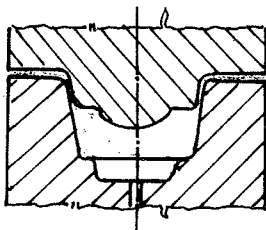
S u m m a r y

The flash clearance, as a structural element braking the flow of metal into the gutter, is hardly dealt with in literature. The energy consumed to form the forging and to flow the metal into the gutter is influential from the point of view of quality (flow lines), structure and energy saving.

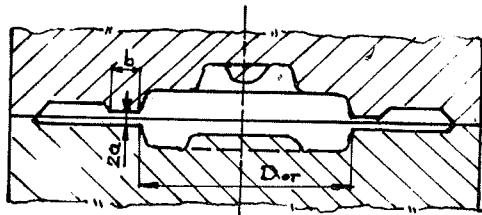
1. Uvod

Kovanje u kalupima može biti u zatvorenom kalupu bez viška materij-

sti, a njegov karakter zavisi od oblika otkovka.



a) Zatvoreni kalup



b) otvoreni kalup

Slika 1.

ala i u otvorenom kalupu - sa magacinom viška materijala, kako je prikazano na slici 1.

Pri zapreminskom oblikovanju tečenje metala je bez ikakve zakonito-

Prelazni mostić (2.a.b) ima ulogu "kočenja" tečenja metala u magacin viška materijala. Stavljanjem uložnog materijala u kalup, posle nekoliko udaraca, metal na prelaznom mostiću se zahladi i otpor tečenja se p-

<sup>x</sup> Ljubomir Bogdanov, dipl.maš.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Nišu i šef Razvojne laboratorije SOUR MIN - Niš.

ovećava. Kada materijal popuni gravuru, tek onda sav višak teče preko prelaznog mostića u magacin.

Stepen složenosti otkovka izražen brojčano preko odnosa:  $s = V_{ot}/V_{op}$  (zapremina otkovka i zapremina opisano g tela) je uticajan na izbor prelaznog mostića (2a).

Kovanje je nestacionarni proces, i zato ga treba izučavati u fazama. Obično se razmatra i proučava:

- popuna gravure alata metalom i
- istiskivanje viška metala u magacin.

U prvoj fazi veći značaj ima oblik alata i priprema, i od njih zavisi naponsko stanje. Za totalnu popunu gravure alata metalom neophodno je stvoriti takve napone u magacinu koji će uravnotežiti napone tečenja u gravuri alata. Osobina metala da menja oblik pod određenim uslovima a bez prskanja je kovnost. Ta osobina je uslovljena plastičnošću metala. Sva tela se mogu dovesti u plastično stanje bez obzira da li su sa amorfnom ili kristalnom gradnjom. Da se postigne plastičnost nekada je:

- potrebno povišati temperaturu ili
- postići određenu brzinu deformacije i vreme držanja pod opterećenjem, vrednost napona, raspored dejstva spoljašnjih sila, i sl.

## 2. Definisane geometrijskih vrednosti prelaznog mostića

Za kovanje otkovaka u dubokim gravurama treba veći deformacioni otpor u magacinu viška materijala. Ako su složeni oblici otkovaka, onda se prehodno koriste pripreme gravure za preraspodelu materijala i tek onda se obavi definitivno kovanje u završnoj gravuri sa cilj-

em smanjenja otpora tečenja materijala u magacin viška materijala.

Na pouzdanost procesa kovanja od bitnog uticaja su geometrijski odnosi prelaznog mostića i otkovka.

A.V.Rebeljski je dao obrazac za proračun mostića:

$$2.a = 0,015 \cdot \sqrt{F_n} \quad (1)$$

gde je:  $F_n / \text{mm}^2$  - projekciona površina u ravni sastava kalupa.

Iz jednačine (1) za okrugle otkovke u ravni sastava kalupa vrednost (2.a) biće:

$$2.a = 0,0133 \cdot D_{ot} \quad (2)$$

N.Fojtglenger preporučuje:

$$2.a = 0,016 \cdot D_{ot} \quad (3)$$

$$\frac{b}{2.a} = \frac{63}{\sqrt{D_{ot}}} \quad (4)$$

H.Volf preko analize statističkih podataka daje preporuke:

$$2.a = 0,89 \cdot \sqrt{Q_{ot}} - 0,017 \cdot Q_{ot} + 1,13 \quad (5)$$

$$\frac{b}{2.a} = 1,25 \cdot e^{-1,09 \cdot Q_{ot}} + 3 \quad (6)$$

gde je:  $Q_{ot} / \text{kg}$  - masa čistog otkovka.

Sa smanjenjem vrednosti (2.a) sila kovanja se povećava. Povećanjem vrednosti (b) usled hladjenja metala u vencu poraste sila trenja, te u ukupnom bilansu sila na prelaznom mostiću je osetno povećana.

Vreme eksploatacije alata (vek) obično je manja pri većim silama kovanja i raste sa povećanjem (2.a). Zato treba naći optimalne odnose nabrojanih veličina. Racionalni proces kovanja je onaj koji u momentu popune gravure alata metalom dobije visinu otkovka prema crtežu, tj. isključiti ponovljeni proces kovanja zbog visine.

Zato je neophodno izabrati takve dimenzije prelaznog mostića koje će omogućiti neophodan otpor bez posebnih zahteva za veće sile pri završnom kovanju.

Rezultati ispitivanja za oblik prelaznog mostića pokazuju da treba obezbediti uslov za neophodan otpor tečenja metala, što zavisi od oblika otkovka.

Rezultati potvrđuju da određen uticaj pored oblika otkovka ima i oblik priprema, kao i prečnik uložnog materijala  $D_0$ .

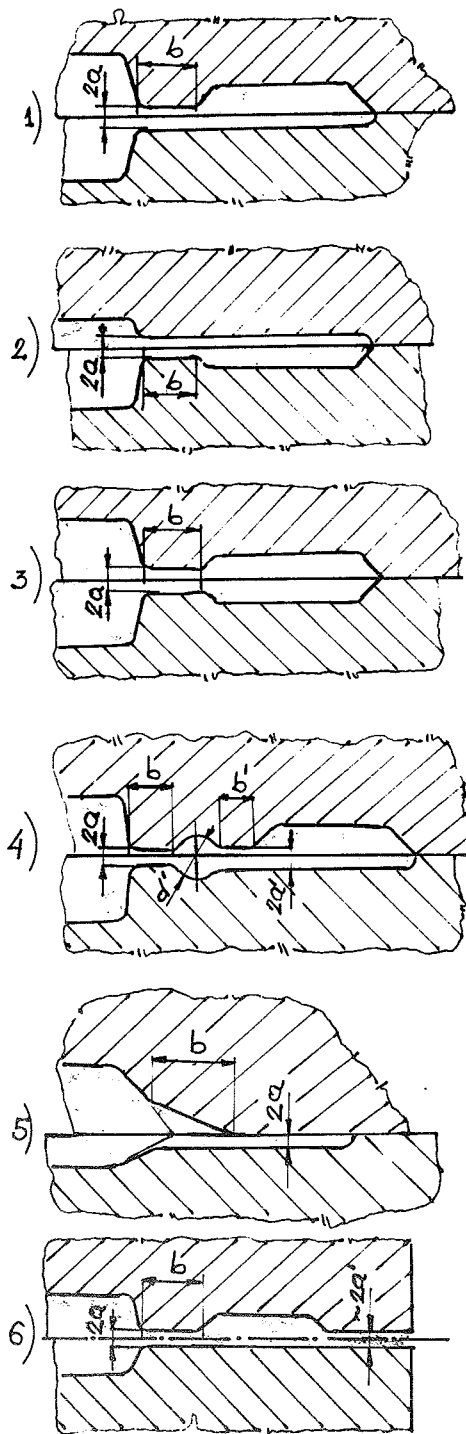
Pri proračunu dimenzija prelaznog mostića i venca, i utroška materijala u venac, neophodno je uočiti odsustvo fizičke sličnosti u otkovku sa geometrijskom sličnošću oblika.

Veća sličnost zapreminske forme otkovka, pri istim uslovima, utiče na deformacionu silu i biće manja za oblik sa manjim odnosom površine prema zapremini otkovka, (uloga sile kontaktnog trenja) a takođe se menjati i intenzitet hladjenja do donje temperature kovanja.

Količina toplote akumulirana u geometrijski sličnih otkovaka proporcionalna je zapreminama, a prenos toplote pri jednakim savurama proporcionalan je površinama.

3. Oblici prelaznih mostića sa magacinom viška materijala u primeni

Oblici prelaznih mostića sa magacinom viška materijala dati su na slici 2. Uvažavajući nabrojane faktore izabraće se pogodan tip mostića u konstrukciji alata. Izbor za kovanje na čekiću je prema složenosti otkovka, kao na slici 2., tip 1., najviše se koristi, a ako treba obezbediti veće kočenje tečenja meta-



Slika 2.

la u magacin koristi se tip 4., a ako je materijal male plastičnosti koristi se tip 5., itd.

Za Maxi prese koristi se tip 6., a može i drugi tip uz obezbedjenje z-azora na udarnim površinama (2.a) jer kod presa, zbog konstantnog hoda, nesmeju se kalupi udarati, jer usled dilatacija, zbog zagrevanja sistema stradala bi glavna ležišta na vratilu prese.

Preporuke za izbor dimenzija prelaznog mostića su u stručnoj literaturi dosta protivurečne. Priručnik u redakciji M.V.Storoževa preporučuje da kod kovanja složenih oblika na presama treba umanjiti debljinu prelaznog mostića u odnosu na kovanje na čekiću. L.M.Ohrimenko preporučuje da pri kovanju na presama, za tečenje metala u venac za jedan radni hod prese neophodno je debljinu prelaznog mostića povećati skoro d-va puta u odnosu na kovanje u čekiću.

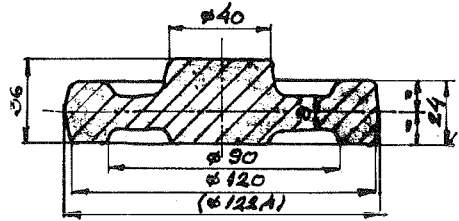
Sve pomenute metode nisu uzimale u obzir uticaj istisnutog metala u magacin viška materijala, raspored gravura, sastav kalupa i oblik pripremka.

Na veličinu utroška metala u venac utiču kao drugostepeni faktori: promena dimenzija pripremka zbog netačnog sečenja materijala, obgorevanje pri sagorevanju, habanje gravure alata, i dr.

Broj udara za definitivno kovanje se smatra optimalnim u čekića ako je u granicama 3 - 4, a u presa jedan udar. Ukoliko je prelazni mostić izveden nestručno, a naročito izlazni radijusi, ciklus kovanja će se poremetiti. Može se desiti da otkovak i sa dvostruko većim brojem udaraca ne dobije završne mere. Prema tome, gubi se stabilnost procesa kovanja, pouzdanost i kvalitet

rada dolaze pod sumnju. Zato prelazni mostić sa aspekta proračuna i izrade najvažnija komponenta kovačkog alata.

Primer: Za zupčanik, slika 3., izračunati elemente prelaznog mostića. ( $Q_{ot} = 1,64 \text{ kg}$ ).



Slika 3.

$$2.a = C,0133 \cdot D_{ot} = 0,0133 \cdot 122,4 = 1,63$$

$$2.a = C,016 \cdot D_{ot} = 0,016 \cdot 122,4 = 1,96$$

$$2.a = C,89 \sqrt{Q_{ot}} = 0,017 \cdot Q_{ot} + 1,13 = 2,24$$

Prema standardima bira se:

- za čekić:  $2.a = 2,00 \text{ mm}$
- za prese:  $2.a = 2,5 \text{ mm}$

#### 4. ZAELJUČAK

Od pravilnog izbora prelaznog mostića umnogome zavisi pravilnost i produktivnost kovanja, tok vlakana, deformaciona sila i izdržljivost alata. Za pravilan izbor dimenzija potrebno je iskustvo i analiza odredjenih parametara prema obliku otkovka.

#### 5. Literatura

- /1/ B.MUSAFIJA: Obrada metala plastičnom deformacijom, Sarajevo, 1979.
- /2/ J.M.OHRIMENKO: Tehnologija kuznečno štampovočnog proizvodstva, Moskva, 1976.
- /3/ PIOTR WASIUNIK: Kucie matrisowie, Warszawa, 1968.
- /4/ H.TSCHATSCH: Taschenbuch umformtechnik Verfahren Maschinen Werkzeuge, München-Wien, 1976.



Mirko Plančak\*

SILA IZBACIVAČA U PROCESU SUPROTNO - SMERNOG  
HLADNOG ISTISKIVANJA

R e z i m e

*U okviru rada dat je prikaz istraživanja veličine sile izbacivanja u procesu suprotno - smernog istiskivanja čelika. Konstatovano je da je za analitičko određivanje ove sile potrebno poznavati ravnotežni pritisak između matrice i materijala koji je samo uslovno moguće odrediti. Zbog toga pribeglo se eksperimentalnom određivanju sile izbacivanja. Istraživanja su pokazala da na veličinu ove sile trenje ima značajan uticaj.*

AUSSTOSSKRAFT BEIM RUCKWÄRTS NAPFFLIESSPRESSEN  
VON STAHL

Z u s a m m e n f a s s u n g

*In dieser Arbeit ist die Untersuchung der Ausstosskraft beim Rückwärtsnapffliesspressen von Stahl dargestellt. Für die analytische Lösung dieses Problems ist es notwendig den Gleichgewichtsdruck zwischen Matrizewand und Werkstück zu kennen. Da dieses Problem nur bedingt zu lösen ist, hat man die Ausstosskraft experimentel ermittelt. Diese Untersuchung hat gezeigt dass die Reibung einen grossen Einfluss auf die Ausstosskraft hat.*

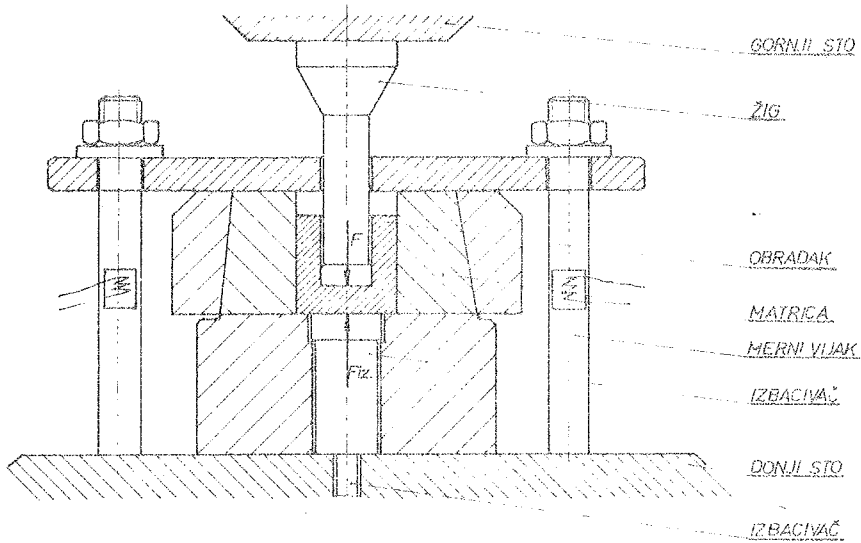
1. U V O D

U tehnologiji hladnog istiskivanja čelika troškovi alata predstavljaju, u okviru ukupnih troškova proizvodnje značajnu stavku. Zbog toga je potrebno posvetiti posebnu pažnju konstrukciji i izradi svih elemenata

alata za hladno istiskivanje.

Najvažniji delovi alata su žig, matrica sa ojačavajućim prstenovima i izbacivač. Žig prenosi silu sa mašine na obradak dok se u matrici smešta pripremak koji će se u toku pro-

\* Mr Mirko Plančak, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Veljka Vlahovića 3



Sl. 1. Skica alata za suprotno-smerno istiskivanje

cesa deformisati. Oba ova elementa izložena su visokim aksijalnim i radijalnim pritiscima.

Na kraju procesa deformisanja potrebno je dobijeni obradak izbaciti iz matrice. U tu svrhu služi izbacivač (Sl.1.).

Pored deformacione sile, sila izbacivača je veoma važan parametar procesa istiskivanja. Poznavanjem veličine ove sile i njene promene u toku procesa, kao i uticajne parametre, omogućava optimalnu konstrukciju i izradu alata za hladno istiskivanje, posebno izbacivača. Izbacivač je još i danas u najčešćim slučajevima element alata koji se konstruiše i izvodi na bazi empirije. To neizbežno vodi do čestih lomova izbacivača ili pak do predimencionisanja ovog elementa pa i alata u celini. Konstrukcijom alata na bazi prethodno poznatih sila koje će se u procesu pojaviti izbegle bi se ove teškoće.

Poznavanje sile izbacivača važno je i sa aspekta izbora mašine za proces istiskivanja i to u tom smislu da mašina predviđena za izvođenje procesa mora biti sposobna dodatne

dejstvom izbacivača čija sila mora biti veća od potrebne sile izbacivanja.

O problemu sile izbacivača veoma malo je podataka u literaturi što navodi na zaključak da se ova problematika detaljnije razmatra tek u novije vreme.

## 2. ANALIZA PROCESA ISTISKIVANJA SA ASPEKTA MEDJUDEJSTVA ALAT-MATERIJAL

Sila izbacivača neophodna je da savlada silu trenja koja vlada između obratka i zida matrice. Veličina ove sile može se izraziti kao

$$F_{izb.} = F_N \cdot \mu \quad (2.1)$$

$F_{izb.}$  - sila izbacivača

$F_N$  - normalna sila na zid matrice

$\mu$  - koeficijent trenja

U gornjem izrazu su kako " $F_N$ " tako i " $\mu$ " veličine koje treba prethodno (teorijski ili eksperimentalno) odrediti, što čini posebnu teškoću

Za bolje razumevanje problematike sile izbacivača korisno je analizirati tom proces srazmerno

istiskivanja: pripremak koji se na početku procesa postavi u matricu manjeg prečnika od matrice. Delovanjem žiga na pripremak ovaj se deformiše prvo elastično pri čemu dostiže prečnik matrice. Sa produžavanjem delovanja žiga ovo elastično deformisanje priprema nastavlja se, čime se pojavljuje kontaktni pritisak između priprema i zida matrice. Istovremeno usled tog pritiska elastično se deformiše i matrica (povećava joj se otvor). Žig takodje povećava svoj prečnik usled pritisne sile koja deluje na njegovom čelu.

Ovo nastavljanje elastičnih deformacija elemenata obradnog sistema ide sve do trenutka postizanja granice tečenja materijala priprema, kada počinje plastično deformisanje. Posle završetka procesa plastičnog deformisanja i matrica i žig teže da se vrate na svoje prvobitne dimenzije tj. da smanje svoje prečnike. Kod žiga se to odvija bez većih problema (pod pretpostavkom da se unutrašnji prečnik obratka smanji za manji iznos nego prečnik žiga) što omogućava izvlačenje žiga iz obratka uz pomoć veoma malih sila. Kod matrice je smanjenje njenog prečnika na početne dimenzije otežano obratkom koji se nalazi u njoj. U tom međjudejstvu matrice i obratka uspostavlja se ravnotežni kontaktni pritisak  $P_{\text{ravn}}$  između ova dva elementa obradnog sistema tako da se prethodni izraz može detaljnije definisati kao:

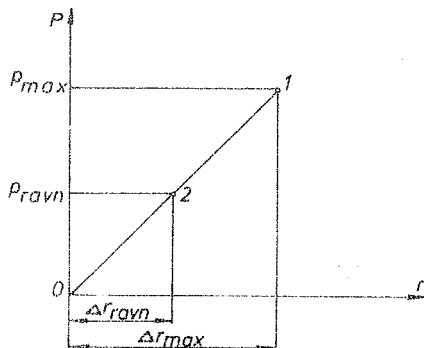
$$F_{\text{izb.}} = P_{\text{ravn.}} \cdot A \cdot u \quad (2.2)$$

$A$  - površina zajedničkog kontakta matrice i materijala

Iz gornjeg izraza sledi da za silu izbacivanja nije merodavan maksimalni pritisak koji se javlja u toku procesa nego ravnotežni pritisak koji se uspostavi između matrice i obratka nakon završetka procesa istiskivanja.

Gore opisani proces elastičnog deformisanja matrice i s tim u vezi

pojava maksimalnog tj. ravnotežnog pritiska na njenom zidu može se grafički prikazati (Sl.2).



Sl. 2. Elastične deformacije matrice sa vreme procesa istiskivanja

Za vreme procesa deformisanja raste pritisak na zid matrice do maksimalne vrednosti  $P_{\text{max}}$  (tačka 1), koji izaziva maksimalnu radijalnu elastičnu deformaciju matrice  $\Delta r_{\text{max}}$ . Posle završetka procesa taj pritisak opada da bu se u tački 2. postavilo ravnotežno stanje.

Iako postoje pokušaji teoretskog određivanja  $P_{\text{ravn}}$ , a time i sile izbacivanja, ipak - za sada - najpouzdanije podatke pružaju eksperimentalna istraživanja.

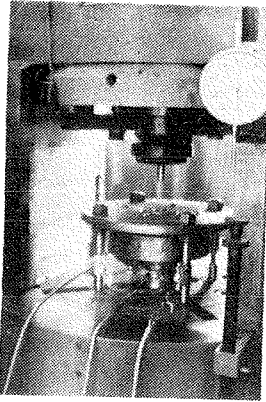
### 3. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA SILE IZBACIVAČA

U sklopu širih istraživanja procesa hladnog istiskivanja vršena su istraživanja veličine sile izbacivača.

Kao uticajni faktori na ovu silu analizirani su vrsta podmazivanja (tri nivoa) i veličina deformacije (dva nivoa). Dimenzije priprema bile su  $\emptyset 25 \times 16,8$  mm. Unutrašnji prečnici obratka su bili  $\emptyset 14$  i  $\emptyset 14;90$ , što odgovara veličini logaritamske deformacije od 38% i 61% retrospektivno. Materijal uzorka je č1221.

Alat na kome su vršena istraživanja omogućavao je merenje sile izbacivača preko mernih vijaka (sl.1).

Eksperimenti su vršeni na hidrauličnoj presi Sack u Kiesselbach od 6300 kN. Alat i radni prostor prikazani su na (sl.3) Detaljan opis alata dat je u radu /5/.



Sl.3. Alat i radni prostor mašine za vreme procesa istiskivanja

Vrednost koeficijenta trenja za pojedine slučajeve podmazivanja preuzete su iz odgovarajuće literature.

U tabeli T-1., dati su podaci za veličinu eksperimentalno određene sile izbacivača za dve veličine deformacije i tri načina podmazivanja i to kao rezultati tri merenja.

Na osnovu podataka iz tabele T-1., izvršena je regresiona analiza kojom je dobijena zavisnost između sile izbacivača i veličine trenja i to

- za veličinu deformacije  $\phi=38\%$

$$y = 5187 X + 763 \text{ (daN)}$$

- za veličinu  $\phi = 61\%$

$$y = 4785 X + 771 \text{ (daN)}$$

Na sl.4 grafički su prikazane gornje zavisnosti.

stepen deform.	Način podmazivanja	Sila izbacivača Fizb. (daN)
$\phi = 38\%$	Fosf.+MoS <sub>2</sub>	950
		1050
		1100
	Fosf.+maš.ulje	1250
		1200
		1180
MoS <sub>2</sub>	1304	
	1440	
	1280	
$\phi = 61\%$	Fosf.+MoS <sub>2</sub>	1080
		950
		1050
	Fosf.+maš.ulje	1100
		1250
		1370
MoS <sub>2</sub>	1260	
	1360	

Tabela T - 1

#### 4. ZAKLJUČAK

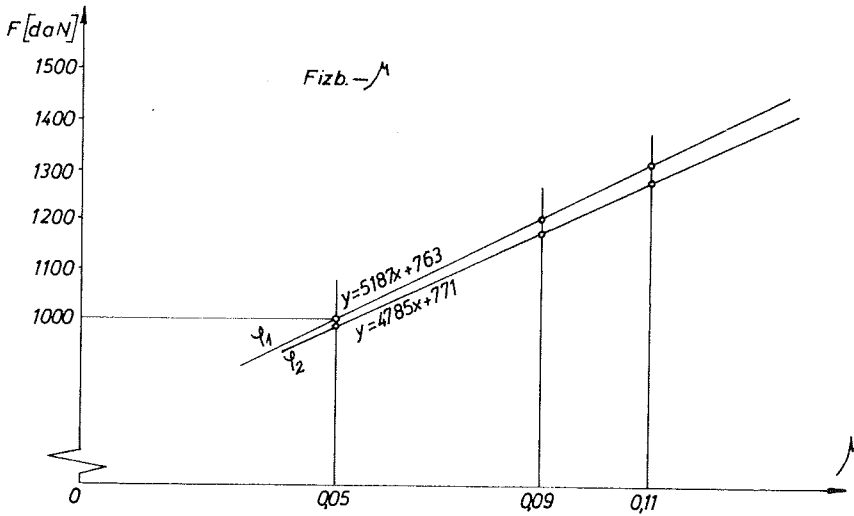
U radu je analizirana sila izbacivača u procesu suprotno-smernog istiskivanja. Poznavanje ove sile neophodno je za pravilno konstruisanje jednog od aktivnih delova alata - izbacivača.

Pokazano je da je za teoretsko određivanje sile izbacivanja neophodno poznavati vrednost ravnotežnog radialnog pritiska koji se uspostavlja između obratka i zida matrice na kraju procesa.

Eksperimentalno je sila izbacivača određena na specijalnom alatu, u zavisnosti od vrste podmazivanja i veličine deformacije. Rezultati istraživanja prikazani u ovom radu pokazali su da na silu izbacivača znatno utiče veličina kontaktnog trenja dok stepen deformacije ima daleko manji uticaj. Većem trenju odgovara i veća sila izbacivača.

Uticaj veličine stepena deformacije nije toliko izražen. Ovo se može objasniti na sledeći način: veći stepen deformacije rezultira u većoj ukupnoj visini uzorka (i većoj kontaktnoj površini obratka "A" u izrazu  $F_{iz.} = P_{ravn.} \cdot A \cdot \mu$ ), ali je u tom slučaju

manji ravnotežni pritisak " $p_{\text{ravn.}}$ ", tako da sila izbacivača ostaje približno nepromenjena.



Sl.4. Zavisnost izmedju sile izbacivača i veličine trenja

## 5. LITERATURA

1. Besser, Pöhlmann: "Ausstosskraft beim Kaltfliesspressen" - Umformtechnik, April 1970.
2. Schmitt, G.: "Untersuchungen über das Rückwärtsnapffliesspressen von Stahl bei Raumtemperatur" - Bericht aus dem IU Nr.7, Stuttgart 1968.
3. Plančak, M.: "Istraživanje uticaja kontaktnog trenja na naponsko-deformaciono stanje u procesima hladnog zapreminskog oblikovanja", Magistarski rad, N.Sad, 1979.
4. Geiger, R.: "Der Stofffluss beim kombinierten Napffliesspressen" Bericht aus dem IU, Nr. 36, Stuttgart, 1976.
5. Plančak, M.: "Jedno rešenje alata za laboratorijsko istraživanje procesa obrade suprotno-smernim istiskivanjem" XIII Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Banja Luka, 1979.



Izrađen: Urošević<sup>1)</sup>

ODRAN IZLISTUP RACIONALIZACIJI PROCESA HLADNOG VALJANJA PROFILA IZ LIME-  
NIH TRAKA<sup>2)</sup>

### R e z i m e

Različiti profili izradeni u procesima hladnog valjanja lime-  
nih traka nalaze sve širu primenu u izradi različitih proizvo-  
da. Sadržajem, priprema proizvodnje valjanih limenih profila za-  
hteva često veoma značajna ulaganja što utiče na veličinu opti-  
malne proizvodne serije. Šira primena ovih profila je zbog to-  
ga uslovljena snižavanjem troškova pripreme proizvodnje po sva-  
koj seriji. U radu se daje kratak prikaz jedne od mogućih meto-  
da rešavanja ovog zadatka.

ENTWICKLUNG DER RATIONALISIERUNG DER HERSTELLUNG DER KALTVERWALZTEN  
LIMENEN PROFILS.

### Z u s a m m e n f a s s u n g

In diesem wird die Aufgabe der Entwicklung des rationalen He-  
rstellungsverfahrens der kaltverwählten Blechprofilen gesprochen.  
Es wurde kurz eine Methode gezeigt die zwei folgende Vorausset-  
zungen mitat:

- die Standardisierung des Walzverfahren, und
- die Klassifizierung und Standardisierung des Walzwerkzeug  
formen.

### 1. Uvodna napomena

Izrada otvorenih ili zatvorenih  
profila kontinualno uzdužnim de-  
formisanjem limenih traka u proc-  
sima njihovog "hladnog valjanja",  
nesporno, nalazi sve širu indust-  
rijsku primenu. Ovim postupkom se  
može izraditi profili sa često ve-  
oma složenim poprečnim presekom,  
sa veoma tačnim zidovima (veoma  
tanci profili), visokom tačnošću i

kvalitetom, pri čemu se dimenzije  
profila mogu kretati u širokim ra-  
ponima. Istovremeno, proizvodnost  
ovih procesa je po pravilu veoma vi-  
soka. U poredjenju s nekim drugim  
postupcima izrade profila, postupak  
njegovog oblikovanja u procesima hl-  
adnog valjanja limenih traka pokazu-  
je, u većini slučajeva, izrazite te-  
hnoekonomske prednosti.

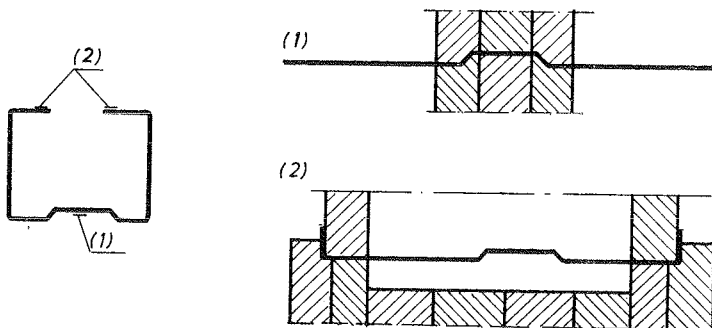
1) Dr. Urošević, Urošević, redovni profesor Pedagoško tehničkog  
instituta, Bečak, Borisa Kidriča bb.

2) Ovi predizveštaji deliridni pri az dela istraživanja koja se odvijaju  
u okvirima saradnje tehničkog instituta TTP, Bečak i fabrike "Ura  
Bireli & Deaco", G. Kilmovac u toku realizacije razvojnih tehnoloških  
projekata.

Međutim, proces hladnog valjanja profila iz limenih traka kao polaznog materijala zahteva značajna ulaganja u toku tehničke pripreme proizvodnje. Najpročito do izražaja dolaze:

- Ulaganja u odgovarajuće alate (specijalni valjci i pribori) za valjanje,
- duga pripremno završna vremena na

nje kritične veličine. To znači da bi se opseg pripreme hladnovaljanih limenih profila mogao proširiti ukoliko bi se tehničko tehnološkim merama mogla sniziti donja kritična veličina serije pri valjanju odgovarajućeg profila. To je moguće pod uslovom da se radna mašina za valjanje kao i koncept tehnološke pripreme



Sl. 1

radnim mašinama (mašinama za valjanje) u toku izrade planiranih količina (serija) odgovarajućih profila, i

- napori u toku tehnološke pripreme proizvodnje kao što su projektovanje tehnoloških procesa, konstrukcija alata, a zatim često neophodne probe i "doterivanje" tokom početne proizvodnje novih profila.

Visoki troškovi pripreme proizvodnje svakog pojedinačnog profila, određuju donju granicu za veličinu ekonomske serije pri proizvodnji odgovarajućeg profila postupkom hladnog valjanja limenih traka. Tako se može tvrditi da primenu hladno valjanih profila kao konkurentnih proizvoda (materijala) u toku izrade raznih proizvoda ograničava njihova cena u slučajevima kada je serija valjanja ispod neke do

me učine u toj mjeri adaptibilnim da omoguće ekonomičnu izradu na istom obradnom sistemu i više stotina serija raznih profila u toku jedne godine.

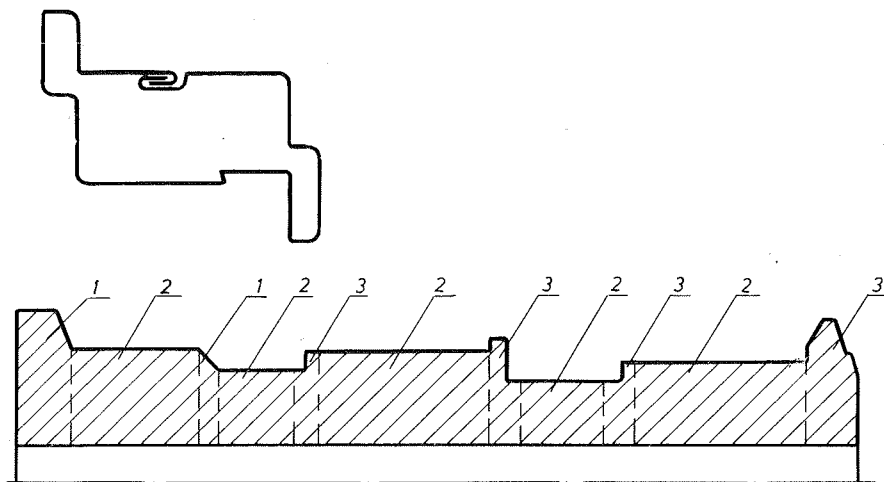
U narednom tekstu se daje osvrt na deo istraživanja koja imaju za osnovu razvoj i primenu specifičnog koncepta grupne tehnologije u procesima hladnog valjanja profila iz limenih traka, pri čemu se polazna rešenja traže preko:

- (1) klasifikacije i standardizacije faza odgovarajućih operacija hladnog valjanja profila iz limenih traka (tipizacija karakterističnih faza u okviru procesa valjanja), i
- (2) klasifikacije i standardizacije oblika i dimenzija valjaka kao



osnovnih radnih alata procesa valjanja s ciljem da se izdvoje i definišu uređeni skupovi valjaka tipskih oblika i valjaka specifičnih oblika.

slike, standardizacija redosleda savijanja znači da će deo profila (1) uvek biti savijen u prvoj fazi (1), odnosno deo profila (2) će



### 3.1. 2

#### 2. Tipizacija faza valjanja

Standardizacija redosleda faza kontinualnog procesa deformisanja (savijanja) limenih traka pri valjanju profila je početni uslov kojim treba da se omogući razvoj daljih aktivnosti u vezi sa racionalizacijom procesa. Standardizacija obuhvata: (1) - redosled pojedinih faza savijanja, i (2) - postupak savijanja, odnosno tipizaciju procesa u odgovarajućoj fazi savijanja, pri čemu se pod "fazom savijanja" podrazumeva proces deformisanja materijala (limene trake) tokom njegovog prolaska između jednog para valjaka.

Smisao standardizacije redosleda faza valjanja sa njihovom tipizacijom ilustruje se uz pomoć sheme na slici 1. Tako prema slici 1, pri savijanju relativno jednostavnog otvorenog profila prikazanog na levoj strani

biti savijen u sledećoj tipskoj fazi savijanja (2) - deoni deo slike 1. Svaka od ovih faza savijanja treba da se izvodi po tipskom tehnološkom rešenju, jer je to uslov za standardizaciju alata (valjaka) i pribora.

#### 3. Klasifikacija alata za valjanje valjaka

Klasifikacija valjaka kao osnovnih alata u procesima valjanja limenih profila ima za cilj definisanje njihovih standardnih oblika i dimenzija. Time bi trebale da se obezbede osnovne pretpostavke o višenamenskom korišćenju pojedinih elemenata valjaka na odgovarajućim fazama valjanja u načelu sasvim različitih profila. To znači da se u pojedinim fazama valjanja odgovarajućih profila, parovi valjaka formira

Pripori	00	Rukavci i osovine	01	Distantni prstenovi	02	Elementi kliznih i drugih ležajeva	03	Vodice trake	04	Ramovi za pomoćne valjke	05		
	Valjci tipskih oblika	10	Cilind. bez zaobljenjā	11	Cilind. sa zaobljenjem R	12	Cilindr. jednostrano stepenast	13	Cilindrič. dvostrano stepenast	14	Cilindr. izdubljen	15	
		20	Koničan jednostrano	21	Koničan dvostrano	22	Cilindrično koničan	23	Cilindrično koničan cilindričan	24		25	
		30	Kružno izdubljen	31	Kružno ispupčen	32		33		34		35	
		40	Pomoćni za savijanje konični	41	Pomoćni za savijanje kružni	42	Ostali pomoćni	43		44		45	Valjci za kalibrisanje
50		51		52		53		54		55			
Valjci spec. oblik	90	Koničnog oblika	91	Konično cilindričnog oblika	92	Kružni oblici	93	Kružno cilindrični oblici	94	Kombinacije 90÷93	95	Kombinacije u bloku	

Sl. 3

ju slaganjem tipskih i specifičnih valjaka oblika "segmentata valjaka". Tako nastaju kompletni oblici valjaka. Na ovaj način se tipski oblici segmentnih valjaka mogu višestruko koristiti u raznim fazama valjanja različitih profila. Kompletni oblici valjaka čiji profili odgovaraju zahtevima savijanja lima u odgovarajućoj fazi valjanja profila, nastaju dodavanjem tipskim oblicima specifičnih segmentata valjaka koji se projektuju i izrađuju isključivo radi korišćenja u odgovarajućoj fazi valjanja konkretnog profila.

Postupak oblikovanja, odnosno definisanja tipskih segmentata valjaka, ilustruje plan na slici 2. Prema ovoj slici, za relativno složen zatvoren profil prikazan na gornjem levom delu slike 2, u odgovarajućoj fazi valjanja

nja je potrebno koristiti valjak čiji je opšti profil prikazan na donjem delu slike. I kao što je na ovom delu slike ilustrovano, valjak za ovu fazu valjanja može nastati spretnim kombinovanjem tipskih (1) i (2) i specifičnih (3) segmentata valjaka.

Uslov za korišćenje tipskih segmentata valjaka je njihovo razvrstavanje (klasifikacija) u uređjene skupove. Na slici 3 je prikazan je dan u razvoju plan klasifikacije tipskih segmentata valjaka. Koncept razvoja plana klasifikacije prema slici 3 ima za cilj:

- razvrstavanje konstrukcijskih načina crta segmentnih alata za valjanje (valjaka) prema njihovim tipovima i tako formiranje konstrukcij

sko informacione baze koja treba da omogući organizovan razvoj konstrukcijskih aktivnosti u vezi sa izborom standardnih oblika tipskih valjaka, i

- čuvanje valjaka u magacinu alata u formi njihovih uredjenih skupova što treba da omogući njihovo efikasno operativno korišćenje.

#### 4. Umesto zaključaka

Proces hladnog valjanja profila iz limenih traka nudi značajne mogućnosti za tehnoekonomsku optimizaciju proizvodnje širokog spektra poluproizvoda oblika profila. Potrebno je zbog toga u odgovarajućim proizvodnim sistemima uložiti neophodne napore radi usmeravanja njihovog razvoja u pravcu koji obećava približavanje optimalnim mogućnostima ove proizvodnje.



V.Djukanović i R.Žujović x)

SOPSTVENIM SNAGAMA NOVIH 25.000 TONA ČELIČNIH PROIZVODA U  
ŽELJEZARI "BORIS KIDRIČ" NIKŠIĆ

R e z i m e

U toku 1979 i 1980 godine grupa stručnjaka Željezare "Boris Kidrič" je izvršila jednu veliku inovaciju koja po svom obimu, složenosti, načinu izvodjenja, cijeni koštanja i efektima predstavlja jedinstven slučaj u našoj zemlji a i šire. Sami podatak da se za 3500 miliona starih dinara dobio novi metalurški kapacitet od 50 hiljada tona čeličnih proizvoda pokazuje da se ovdje radi o ogromnom poduhvatu.

BY OWN EFFORTS ANOTHER 25000 TONS OF STEEL PRODUCTS IN THE  
"BORIS KIDRIČ" STEELWORKS

S u m m a r y

During 1979 and 1980 the group of the experts from "Boris Kidrič" Steelwork carried out a remarkable innovation which by its size, comlehity, the way it has been made, the costs and the efects represents the unique invention in our country and even further. Only the fact that a new metalurgical capacity of 50.000 tons of medium steel sections was produced for 3.500.000 din shows that the special project is done.

1. Uvod

Željezara "Boris Kidrič" u Nikšiću je 1977 godine počela modernizacija i proširenje svojih kapaciteta sa tadašnjih 150.000 hiljada tona na 315.000 hiljada tona gotove robe. Pošto se ova aktivnost odvijala pod vrlo otežanim uslovima jer je u isto vrijeme trebalo proiz-

voditi, rušiti stara postrojenja i ugrađivati nova a ne smanjivati proizvodnju to je i moralo dolaziti do određenih diksproporcija u pojedinim fazama proizvodnog procesa. Tako je u 1979.godini došlo do toga da su kapaciteti Čeličane bili mnogo veći nego valjaonica, jer

x) Djukanović Vojin, dipl.ing. dipl.ecc. P.Predsjednik POŽ-a

Žujović Radisav, dipl.ing. Član POŽ-a

Kombinovana valjaonica koja je trebala da primi ovu proizvodnju čelika nije mogla biti završena u ovom periodu a i u ovoj godini nije još uhodana da bi prihvatila proizvodnju od 100.000 tona novih proizvoda.

Da bi se prevazišlo ovo stanje grupa stručnjaka iz Željezare je uzela na sebe zadatak da poveća proizvodnju na postojećoj Srednjoj valjaonici i istu uspješno realizovala u toku 1979. i 1980. godini.

### 1. Srednja valjaonica prije rekonstrukcije

Ova valjaonica je namijenjena za proizvodnju kvalitetnih čelika dimenzionog asortimana:

okruglo od  $\varnothing$  30 do  $\varnothing$  95 mm

plosnato od 50 x 40 do 130 x 140 mm

šestougaono od 30 do 52 mm

kvartal od 50 do 80 mm

Polufabrikat je bio sa Bluming valjaonica maksimalne dužine 2,2m a dimenzija raznih vrsta kvadrata od 80 do 135 mm zavisno od profila i dimenzije koja se valjala. Zagrijavanje materijala se vršilo u potisnim zagrevnim pećima kojih je bilo dvije. Ostala proizvodnja se kretala zadnjih pet godina oko 50.000 tona godišnje.

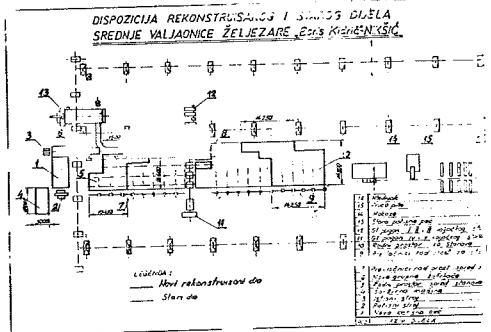
### 2. Izvršeni radovi na rekonstrukciji Srednje valjaonice

#### a) Cilj rekonstrukcije

Osnovni zadatak koji je radna grupa postavila sebi jeste taj da se stvori mogućnost za povećanje proizvodnje sa sadašnjih 50.000 na 100.000 tona robne proizvodnje i to kvalitetnih čelika.

Stručni tim koji je bio sastavljen od izvršilaca iz Željezare je za period od godinu dana uspio da izvrši projektovanje nove opreme, iz-

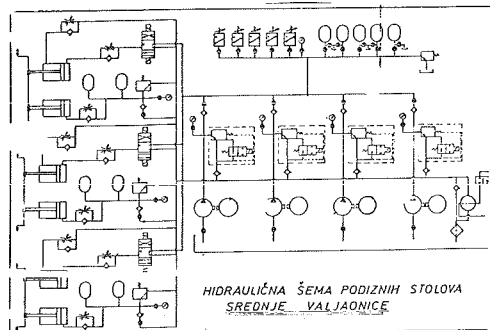
radu iste u radionicama Željezare "Boris Kidrič" da izvrši njeno montiranje kao i uhodavanje novougrađene opreme. Na datoj skici je pokazano šematski koja su postrojenja bila prije rekonstrukcije, a koja posle rekonstrukcije.

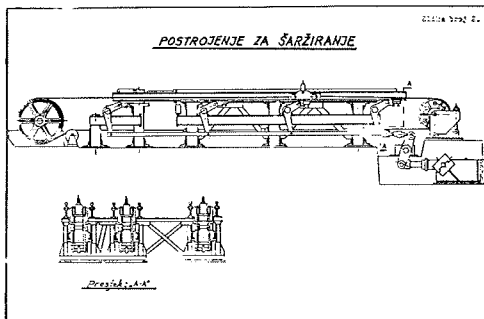


#### b) Pregled izvršenih radova

Nakon izvršenih analiza i sagledavanja donesena je Odluka da se projektuje i izradi potpuno nova oprema i to:

- automatski hidraulični šažirni sto za ulaganje nove peći
- potisna peć kapaciteta 25 t/h za novi uložak sa svim pomoćnim agregatima
- produžen radni prostor ispred i pozadi stanova u dužini 86m
- izradjeni novi hidraulični podizni stolovi veće dužine
- prevlačnici materijala za novi radni prostor.





Osim toga bilo je potrebno uraditi svu elektro i hidrauličnu instalaciju za nova postrojenja, kao i svu potrebnu tehniku i gradjevinsku dokumentaciju.

Sami podatak da je uradjeno preko 1200 radioničkih crteža govori o obimnosti i složenosti ovog posla.

Osim toga sve ove radove je trebalo izvoditi tako da ne dodje do zastavljanja proizvodnje izuzev za normalni godišnji remont pogona.

Ono što je posebno važno u ovom poslu jeste to da su sve ovo originalna rješenja radjena na osnovu iskustva i da je maksimalno korišćena hidraulika za izvršavanje teških metalurških operacija.

### 3. Poboljšanje uslova rada

Uslovi radnika ovom rekonstrukcijom su se vidno poboljšali. Prije svega ulaganje materijala koje je ranije bilo ručno sada se vrši pomoću hidrauličnog birača.

Pritiskivanje gredica i istiskivanje istih je takodje mehanizovano umjesto ranije ručnoga.

Posebno olakšanje prestavljanja radna na hidrauličnim podiznim stolovima ranije su bili mehanički stolovi gdje je bilo vrlo otežano raditi zbog stalnih vibracija i lo-

movu pojedinih djelova.

Sa hidrauličnim komponentama to je u potpunosti izbjegnuto tako da sada imamo miran rad stolova, a veća dužina novoizgrađenih stolova omogućava lakše manipulisanje sa užarenim komadom čime su izbjegnuti ogromni fizički napori.

Osim toga dato je i novo rješenje odvoda i skupljanje cundera što je ranije vršeno ručno.

### 4. Ostvarena proizvodnja i ekonomski efekti

Za zadnje 3 godine rada proizvodnja Srednje valjaonice je bila:

1980.god.	67.500 tona ili u odnosu na 1979. više 18182 ili 37%
1981.god.	72.500 tona ili u odnosu na 1979. više 23182 ili 47%
1982.god.	74.500 tona ili u odnosu na 1979. više od 25182 ili 51%.

Ako se uzme u obzir prosječna prodajna cijena čelika koja je bila u 1980.godini 1968 din/kg. u 1981.godini 2586 din/kg i u 1982.godini 3562 din/kg. onda ukupni prihod po osnovu ove inovacije iznosi:

1980.god.	$18182 \times 1968 = 36.018.542,000$	st. dinara
1981.god.	$23182 \times 2586 = 59.948.652,000$	st. dinara
1982.god.	$25182 \times 3563 = 89.698.284,000$	st. dinara

Na osnovu ovih cijena i ostvarene proizvodnje Radna zajednica Ekonomika i knjigovodstvo željezare je izračunala efekte koje po osnovu ima radni kolektiv i oni iznose:

- Ostvareni čisti dohodak po osnovu povećanja proizvodnju za 1980.god.....  
4.326.230.000 st. dinara
- Ostvareni čisti dohodak po osnovu povećanja

- proizvodnje za 1981. godinu .....  
8.152.673.900 st.dinara
- Ostvareni čisti dohodak po osnovu povećanja proizvodnje za 1982. god.....  
1.219.903.500 st.dinara
- Odnosno za ove tri godine rada dok je ova rekonstrukcija u potpunosti izvršena čisti novi dohodak po osnovu ove inovacije iznosi.....  
24.577.930.000 st.dinara.

Ovo su minimalni efekti računati po najnepovoljnijim uslovima poslovanja.

#### VI. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

- I. Za ove tri godine rada radni tim koji je radio inovaciju Srednje pruge Željezare "Boris Kidrič" je u periodu 1979-1982 godine uspio u potpunosti da

je uspješno primijeni u praksi.

2. Za ovo vrijeme je ostvaren novi ukupni prihod u iznosu od.....  
185.665.400 st.din.
3. Ukupni novi čisti dohodak iznosi ..... 24.577.930.000 st.d.
4. Ovom inovacijom su stvoreni daleko bolji uslovi rada i smanjene povrede radnika tako da se to ne može mjeriti ni približno sa ranijim stanjem.
5. Stvorene su mogućnosti za 100% povećanje proizvodnje na Srednjoj valjaonici, a do sada je to povećanje ostvareno sa 51%.
6. Prema tome ovdje se radi o ogromnom poslu koji je uspješno obavljen u Željezari "Boris Kidrič" i to spostvenim snagama.



## **IV – INDUSTRIJSKI ROBOTI I MANIPULATORI**



Zoran Seljak\*

MODULNA GRADNJA FLEKSIBILNIH STREŽNIH NAPRAV

R e z i m e

Ključni področji tehnološkega napredka sta mikroelektronika in avtomatizacija strege. V prispevku je obravnavano področje fleksibilnih strežnih naprav (industrijskih robotov), ki so grajene na modulnem načelu. Z njimi je možno pokriti precej široko področje, npr. na: stružnicah, frezalnih in vrtilnih strojih, strojih za tlačno litje, kovaških stiskalnicah, na štancah, v kalilnicah, montaži itn.

MODULAR CONSTRUCTION OF FLEXIBLE HANDLING DEVICES

S u m m a r y

It is microelectronics and automation of handling which represent two very important fields in the advancement of technology. The paper treats the problem of flexible handling devices (industrial robots) which are built according to modular design. By flexible handling devices it is possible to cover the needs of a rather wide field as for example on lathes, milling and drilling machines, die casting machines, forging presses, punching machines, hardening installations etc.

1. UVOD

Že pred kakšnim desetletjem so se pojavile dovolj močne tendence uvajanja strežnih naprav za avtomatizacijo proizvodnih potekov, ki so bile zasnovane na modulni gradnji. Sistem modulne gradnje omogoča sestavljanje strežnih naprav s poljubnim številom prostostnih stopenj tako, da kombiniramo

s serijsko izdelanimi moduli s translacijskim ali rotacijskim gibanjem in s prijemalnim modulom. Prednost take uporabe je v reševanju specifičnih nalog in problemov po ugodni ceni. Za večje teže in naloge, ki presegajo premike preko 1250 mm, so se uveljavile portalne izvedbe. Vgradnja krmi-

---

\* dr. Zoran Seljak, dipl.ing., profesor

Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 61000 Ljubljana, Murnikova 2

ljenih motorskih enot z merilnim sistemom omogoča v povezavi s krmilnim mikroprocesorjem lahko programiramo delovni potek strežne naprave.

Avtomatizacija strege je izhod pri reševanju problemov racionalizacije proizvodnih naprav in za izboljšanje produktivnosti, da bi dosegli zmanjšanje stroškov v proizvodnji. V proizvodni sferi moramo cilje jasno definirati že pri investicijah, da bi kasneje lahko dosegli resne premike. Pomembnost in razloge pri investicijah bi lahko vrstili tako:

- racionalizacija in zmanjšanje stroškov proizvodnje;
- izboljšanje kvalitete v proizvodnji;
- nadomestilo manjkajočih delavcev;
- varovanje okolja;
- povečanje zmogljivosti proizvodnje.

Pri neštetih področjih bomo za doseg naših ciljev rabili vseh vrst strežnih naprav. Stroškovno intenzivno proizvodnjo je mnogokrat možno urediti le z vlaganjem v strežne naprave in tako doseči tudi boljšo kvaliteto izdelkov. Pomembni razlogi za planirano namestitve fleksibilnih strežnih naprav bi bili: prevzem delovnih postopkov in avtomatizirano delo, izboljšanje in stabilizacija kvalitete, humanizacija delovnega mesta in dela, kakor tudi možnost avtomatizacije dela na manjših serijah.

Mnoge strežne funkcije lahko razrešimo z različnimi kombinacijami modulnih enot in tako izpolnimo naslednje zahteve:

- možnost kombiniranja pnevmatičnih, hidravličnih in električnih strežnih enot;
- majhni investicijski stroški;
- majhni časi na takt;
- ponovna uporabnost modulov za pri-

pravo drugih enot;

- velika natančnost in ponovljivost gibov;
- prilagodljivost na obstoječe sisteme in naprave;
- enostavno vzdrževanje in integrirana priključitev.

S popolnim modulnim programom lahko sestavimo glede na vrsto naloge dokaj preproste dodajalne naprave z dvema ali tremi prostostnimi stopnjami, lahko pa tudi "industrijske robote" s štirimi - ali petimi prostostnimi stopnjami.

## 2. MODULNA GRADNJA

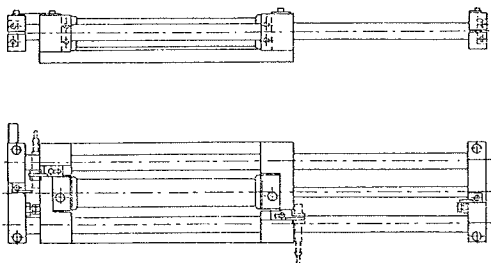
Vsako strežno funkcijo lahko razdelimo na enostavne linearne in rotacijske gibe. Glede na te gibe lahko razvijemo odgovarjajoče module. Standardizirani elementi modulov omogočajo uporabniku, da rešuje probleme strege z majhnim naporom pri projektiranju sistema in konstruiranju posameznih elementov. Različne točke v prostoru bomo dosegli s primerno kombinacijo translacijskih in rotacijskih modulov. Mnoge možnosti kombiniranja z moduli dopuščajo široko področje uporabe in s tem optimalno prilagajanje na delovno nalogo.

Linearni moduli so namenjeni premočrtnim gibanjem. Izvedeni so za različne dolžine gibov, razen tega pa je možno še fino nastavljanje z mehanskimi prisloni. Modul ima navadno naslednjo tehnično izvedbo (slika 1):

- pogon s stisnjenim zrakom 6 bar ali hidravlično do 100 bar;
- kaljena ali trdo kromana vodila z mazanjem;
- vgrajeno regulacijo hitrosti;
- možnost prestavljanja prislonov;
- zaznavanje končnega položaja s pnevmatičnim ali induktivnimi senzor-

ji;

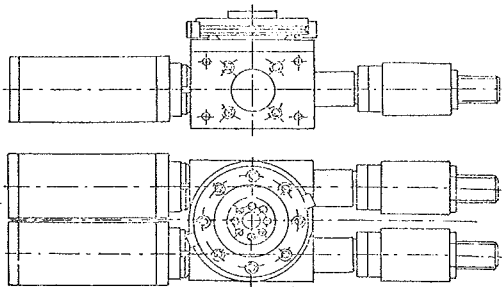
- velike pritrtilne ploskve za pritr-ditev prijemal, nosilcev, orodij ali spojnic za povezavo med moduli.



Slika 1: Translacijska enota s pnevmatskim pogonom

Pri električnih izvedbah je možno poljubno krmiliti hitrosti in položaje zaustavljanja tako, da s tem še poveča fleksibilnost uporabe.

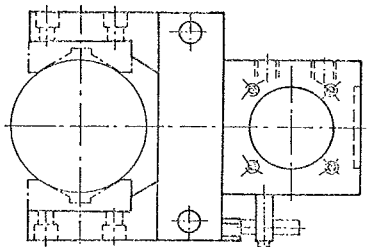
Rotacijski modul je namenjen vrtilnemu gibanju do približno  $210^{\circ}$ . Pri rotacijskih moduli lahko nastavljamo zavrtitev po celem območju. Največkrat imamo pogon z batom in zobato letvijo (slika 2). Na ta način je tudi dušenje v končnem položaju podobno kot pri linearnih moduli. Senzorji za končne položaje so vgrajeni. Regulacija hitrosti je v priključkih.



Slika 2: Rotacijska enota s pnevmatskim pogonom in dušenjem v končnem položaju

Prijemala so namenjena za dodajanje

in odzemanje obdelovancev. Po izvedbi imamo prijemala s paralelnim ali kotnim zapiranjem klešč, z dvema ali tremi prsti (slika 3). Prijemalo lahko prime obdelovanec na dovodni drči, iz vertikalnega magazina ali na drugem obdelovalnem stroju in ga vloži v obdelovalni stroj. Dostikrat imamo dvojno prijemalo, ki omogoča skrajšanje časa strege in klešče so prilagojene natančno na obliko obdelovanca.



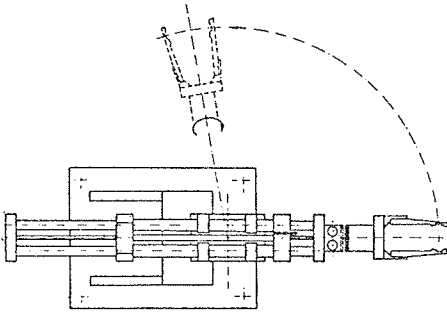
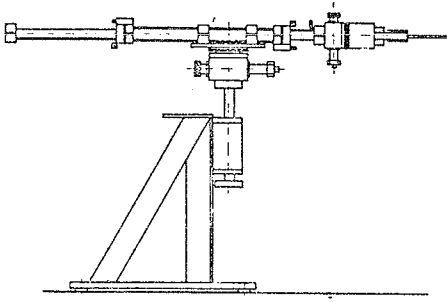
Slika 3: Prijemalna enota

### 3. FLEKSIBILNE STREŽNE NAPRAVE

Iz posameznih modulov lahko sestavimo strežno napravo, s katero lahko vlagamo in snemamo obdelovance na obdelovalnih strojih ali pri podobnih opravilih. Na sliki 4 je prikazana naprava, ki jo sestavljajo: prijemalna enota, rotacijska za obračanje prijemala, dolga translacijska, rotacijska za obračanje roke in kratka translacijska enota za dviganje in spuščanje.

Iz dosedanjih ugotovitev izhaja, da je z modulno gradnjo možno pokriti dokaj široko področje strežnih nalog - po nekaterih ocenah do 85 % nalog, ki so primerne za robotizacijo. Uporaba modulno grajenih strežnih naprav je možna pri:

- stružnicah, frezalnih strojih, vrtilnih strojih itn.;
- strojih za tlačno litje in pri obrezovanju ulitkov;
- kovaških stiskalnicah;
- izsekovanju rondel, vlečnih orodjih



Slika 4: Fleksibilna strežna naprava na samostojnem podstavku

itn.;

- kaljenju vzmeti, orodij itn.;
- v montaži in drugod.

Pred uvedbo avtomatizacije strege na teh strojih moramo opraviti obsežno inženirsko delo. Analizirati moramo delovno mesto in dobiti odgovor na nekaj osnovnih vprašanj:

- kako težak je obdelovanec, ki ga bomo prenašali in kakšna je zahtevana natančnost pozicioniranja;
- kakšna dodatna oprema je potrebna, da bodo obdelovanci v definirani legi in bo prijemalna enota lahko prijela;
- kakšne premike mora napraviti fleksibilna strežna naprava, da bo opravila predvideno delo;
- kakšen je zahtevani čas za izvedbo strežne funkcije;
- kakšne spremembe bodo potrebne na

stroju, da bomo lahko avtomatizirali strežne funkcije;

- kakšen je vpliv na okolico, npr. z vidika varnosti pri delu;
- kako naj bo organizirano upravljanje in nadzor.

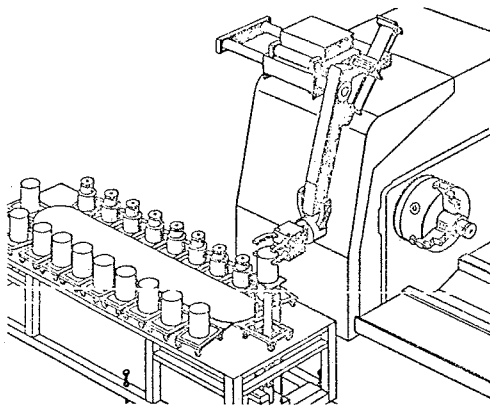
Ob odločanju o investiranju je posebno pomembno, da upoštevamo tudi dodatno opremo, ki je potrebna za redno delo fleksibilne strežne naprave. Tako ni neobičajno, da znašajo stroški dodatne opreme za avtomatizacijo strege 50 do 100 % nabavne cene za fleksibilno strežno napravo.

#### 4. DODAJANJE OBDELOVANČEV NA STRUŽNICAH

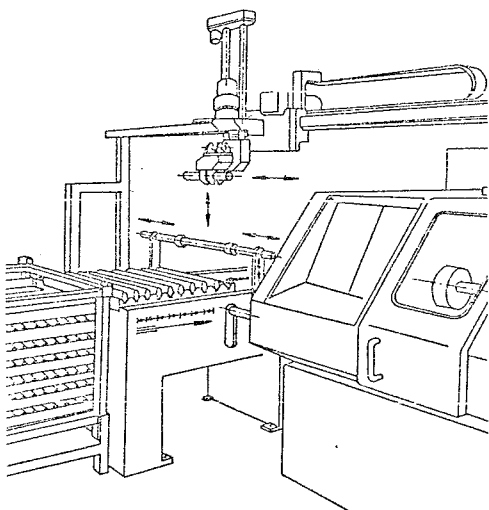
Tu bomo obravnavali le dva primera, ki sta karakteristična po dodatnih strežnih napravah za dodajanje obdelovancev in odvod izdelkov (slika 5). Dvojno prijemalo lahko dodaja obdelovance do 2 x 5 kg. Z napravo lahko hitro pozicioniramo, hitrost premikov je velika in zato so pomožni časi izredno kratki. Zaradi majhnih izmer lahko strežno napravo namestimo direktno na stružnico. Ponovljivost pri pozicioniranju je  $\pm 0,3$  mm. Dodajalni transporter ima 20 palet (150x200 mm), čas takta 2,2 s, dvig obdelovanca k prijemalu 300 mm /4/.

V drugem primeru dodajamo obdelovance z dvižno enoto in prijemalom preko posebnega portala (sl.6). Neobdelani obdelovanci so zloženi v paletah, ki so zvrščene v posebnem okvirju. Paleta je nameščena ob stroju tako, da lahko dvižna naprava dvigne obdelovance do prijemala, ki ga po portalu prenese v obdelovalni položaj. Obdelani komad lahko drugo prijemalo prenese na prazen prostor v paleti in ga odloži. Ta izvedba omogoča izredno dobro izkori-

## 5. AVTOMATIZIRANA STREGA PRI TLAČNEM LITJU



Slika 5: Na stružnici nameščena fleksibilna strežna naprava z verižnim dodajalnikom



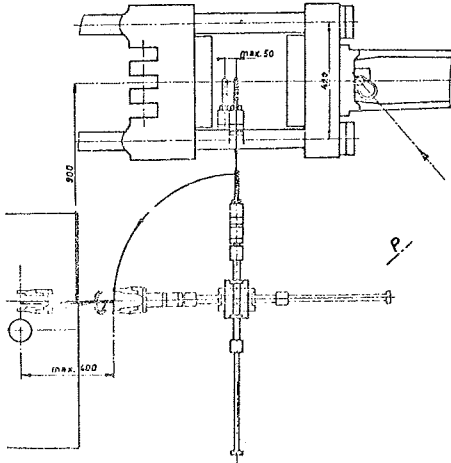
Slika 6: Strežna naprava na portalu z dovodom obdelovancev na paletah /5/

ščenost prostora, razen tega z lahko-  
to transportiramo obdelovance od stro-  
ja do stroja, ko so zloženi na pale-  
tah. Prijemalo in dvižna enota sta  
gnana pnevmatično, modul za vzdolžni  
premik je navadno gnan z elektromo-  
torjem.

Pri podrobnem proučevanju problematike delovnega okolja v livarnah za tlačno litje lahko enoveljavno ugotovimo, da je potrebna humanizacija dela. Težko delo se odraža v fluktuaciji in v visokem bolniškem staležu. Delavci so močno fiziološko in psihološko obremenjeni in zato tudi ta delovna mesta težko zasedemo. Druga značilnost, ki jo moramo upoštevati je v tem, da je uporaba tlačne litine iz aluminija v velikem razmahu. Zaradi prihrankov na energiji težimo v večji meri k osvajanju vedno bolj zapletenih in natančnih oblik. Iz tega izhaja priporočilo za racionalizacijo in humanizacijo dela na tem področju. Avtomatizirali naj bi streglo na strojih za tlačno litje. To lahko dosežemo s fleksibilnimi strežnimi napravami /6/.

Z uvedbo avtom. strežnih naprav lahko formiramo proizvodno celico tako, da postavimo v zaporedje stroj za tlačno litje in stiskalnico z obrezovalnim orodjem (slika 7). Položaj ulitka pri odprti kokili je določen, ravno tako je določen položaj ulitka na obrezovalnem orodju pod stiskalnico. Tako je določeno izhodišče za koncipiranje fleksibilne strežne naprave.

Za opravljanje strežnih funkcij smo določili posamezne module, ki bodo opravljali zahtevane premike. Prijemalni modul ima klešče prilagojene na premer dolivka. Odmik ulitka iz orodja omogoča kratka translacijska enota. Temu sledi daljši umik ulitka iz območja stroja, za to je potrebna dolga translacijska enota. Roko zasučemo z vrtilno enoto tako, da je obdelovanec usmerjen proti stiskalnici. Sledi obračanje ulitka v horizontalno lego z



Slika 7: Prikaz snemanja ulitkov in vlaganja v stiskalnico

drugo vrtilno enoto. Ulitek primaknemo k obrezovalnemu orodju z vertikalno kratko translacijsko enoto. V celoti imamo 2 kratka translacijska modula, 2 vrtilna modula in 1 dolgi translacijski modul.

#### 6. AVTOMATIZIRANA STREGA PRI KOVANJU

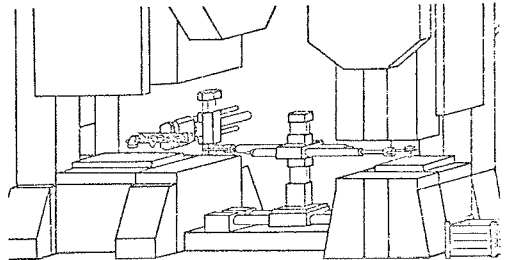
V kovačnicah so tipična opravila za laganje peči, dodajanje žarečih obdelovancev in odlaganje izkovkov. Razen velikih telesnih naporov zahteva delo v kovačnici tudi temperaturne obremenitve in nevarnost nesreč pri delu. Humanizacijo dela lahko dosežemo le z avtomatizacijo strege.

Uvedba fleksibilnih strežnih naprav ali industrijskih robotov v kovaško industrijo je težavna. Pretresi, visoke temperature in umazanija otežočajo delovanje teh naprav - čeprav bi ravno tam kjer so delavci najbolj obremenjeni, bilo uvajanje avtomatizacije smiselno. Avtomatizirane strežne naprave naj bi prevzele dodajanje in odzemanje obdelovancev in prenos od

gravure do gravure, kadar kujemo večstopensko /7/.

Na sliki 8 je delni prikaz kombinirane uporabe fleksibilnih strežnih naprav pri kovaških stiskalnicah /8/. Na prvi stiskalnici oblikujemo obdelovance tako, da imamo izvedbo s trostopenskim prijemalnim modulom. Prijemalni moduli so v kombinaciji z rotacijskim modulom, da lahko obdelovance med posameznimi stopnjami obrnemo. Po opravljenem kovanju druga strežna naprava prime izkovek in ga vloži v obrezovalno orodje.

S povezavo kontinuirne žarilne peči, stiskalnic in odvodne drče z avtomatičnimi strežnimi napravami dosežemo že zelo kompleksno proizvodno celico.



Slika 8: Fleksibilna strežna naprava s trojnim prijemalom in drugo enoto za vlaganje v obrezovalno orodje

#### 7. AVTOMATIZIRANA STREGA PRI KALJENJU

Delo v kalilnici vpada v težavnejša opravila. V primeru kaljenja avtomobilskih vzmeti se npr. srečamo s precej težkimi obdelovanci, ki žarijo, ko jih vlagamo v kalilni stroj. Prisotne so tudi oljne pare, ki se razvijajo med pomakanjem žarečega jekla



v oljno kopel. Razlogov je torej dovolj, da bi delavcem olajšali delo z uvedbo avtomatizirane strege.

Z analizo poteka dela smo ugotovili, lego žarjenih obdelovancev, ko padejo iz žarilne peči. To je začetna lega, končna lega pa je na orodju kalilnega stroja. Naloga strežne naprave je, da prenese obdelovance od žarilne peči do kalilnega stroja in tam tudi pozicionira.

Odločili smo se, da bomo uporabili posebej oblikovane klešče, ki jih bomo lahko na prijemalnem modulu enostavno menjavali in sam modul bo dovolj oddaljen od žarečega obdelovanca. Dvig obdelovanca omogoča vertikalni translacijski modul. Zasuk klešč proti kalilnemu stroju opravi vrtilni modul. Primik obdelovanca h kalilnemu stroju pa translacijski modul s podaljšano izvedbo vodil, ki povezujejo prostor med žarilno pečjo in kalilnim strojem (slika 9).

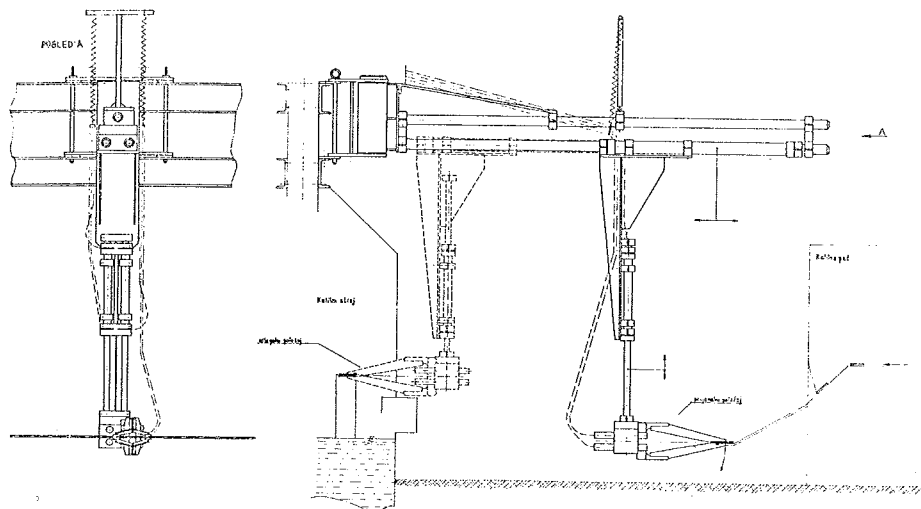
### 8. ZAKLJUČNE UGOTOVITVE

Iz teh izvajanj lahko ugotovimo, da z modulno tehniko pokrijemo vrsto zahtev na področju avtomatizacije strege.

Preprostejše naloge lahko rešujemo sami tako, da uporabimo standardne module in jih sestavimo v sistem. Na voljo moramo imeti le preizkušene osnovne enote za translacijsko in rotacijsko gibanje, s hidravličnim, pnevmatičnim ali električnim pogonom v različnih velikostih.

Pri analizi delovnih mest, kjer naj bi navedli avtomatizacijo strege, je priporočljivo, da deloma postopoma npr. najprej je aktualno odvzemanje ulitkov iz stroja za tlačno litje, temu sledi vlaganje za obrez ulitkov, nato še čiščenje in ostala mehanska obdelava.

"Robotizacija" zahteva dostikrat tudi spremembo oblike obdelovanca ali rekonstrukcijo stroja.



Slika 9: Vlaganje ploščatih vzmeti v orodje za kaljenje

Potencialni uporabniki fleksibilnih strežnih naprav - še bolj pa industrijskih robotov - vse prepogosto izbirajo za začetek najtežavnejše naloge. Izhajajo iz predpostavke, ako bo ta problem ugodno rešen, ostalo bo šlo z lahkoto.

Tak pristop ni primeren. Poskus se nam lahko prelevi v "bahaško napravo", ki nas onemogoči za kasnejše učinkovite posege.

Priporočljivo je, da pričnemo z reševanjem preprostih problemov in nato preidemo na bolj zahtevne.

Prav je, da sledimo načelu koliko delovnih mest bomo robotizirali in ne koliko robotov bomo postavili.

## 9. LITERATURA

- /1/ K. Moeller: Industrieroboter verändern die Arbeitswelt; Industrie Anzeiger 1982/23, str. 17
- /2/ A. Hörl: Flexible Werkstückhandlung in Fertigungszellen, Fertigungsinseln und Fertigungssystemen; Zwf 77 (1982)4, s. 187-191
- /3/ P. Kovačič: Avtomatizacija strege stružnic z modulnimi enotami, Zbornik 8. seminarja - Avtomatizacija strege, 10. in 11. junij 1982, Ravne na Koroškem
- /4/ H. Pötschke: Werkstückhandhaben heisst auch Werkstück zuführen; Technische Rundschau 1982/13, s. 9-13
- /5/ H. Hammer, idr.: Automatische Drehbearbeitung durch integrierte flexible Werkstückhandhabung; VDI-Z 123 (1981)17, s. 691-697
- /6/ N.N.: Industrie-Roboter zielen auf Spezialisierung; Einsatzbeispiele aus der Druckgussindustrie und Schweistechnik; dima 5/79 s. 31-32
- /7/ E. Breuer: Industrieroboter (interview ob 6. Int. Symp. Industrieroboter; Technische Rundschau 1973/45, s. 33-37
- /8/ N.N.: Camel Robot in the Forge; Industrijska publikacija Camel Robot s.r.l.

Janko Jelenc, Zoran Seljak\*

FLEKSIBILNI MONTAŽNI SISTEMI V PROIZVODNI MALIH ELEKTROMOTORJEV

R e z i m e

Klasična montažna linija zahteva veliko časa za preureditev pri zamenjavi izdelka. Predstavlja tudi veliko neodvisnost delavcev, ki so vključeni v montažno linijo. Pri snovanju nove montaže smo izdelek preoblikovali za lažjo montažo. Na nekaterih odsekih poteka montaža avtomatično, tako dodajanje delov kot tudi strega. Nov fleksibilni montažni sistem je izoblikovan tako, da se da hitro preurediti na drug izdelek in enako število delavcev izdelava 80 % več izdelkov kot prej.

FLEXIBLE ASSEMBLY SYSTEM FOR SMALL ELECTROMOTORS

S u m m a r y

On the classical assembly line a long resetting time is required when a change from one type of the suction unit to the other one is made and great interdependence of workers is requested. A redesign of parts was created to achieve unification of forms and reduction of elements by joining the functions of several elements into one. Partly is the assembly fully automated, the assembly of the stator and suction turbine are designed as two independent cells equipped by parts feeders and modules of flexible handling devices. Thus a new flexible assembly system was formed which allows an easy reprogramming and an 80 % higher efficiency at the same number of workers was achieved.

1. UVOD

Izhodišče za nalogo, ki jo obravnavamo v prispevku, je bila ugotovitev, da je potrebno proizvodnjo sesalnih enot znatno povečati, ob tem pa po možnosti doseči nižje proizvodne stroške, izboljšano kvaliteto in še zelo pomembna

---

\* Janko Jelenc, dipl.ing.; Iskra Železniki  
dr. Zoran Seljak, dipl.ing., profesor; Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 61000 Ljubljana, Murnikova 2

zahteva, da delavci ob tekočem traku ne smejo biti bolj obremenjeni kot so bili doslej.

V preteklosti so bili pri postavljanju organizacije in oblikovanju dela vedno poudarjeni tehnični in ekonomski kriteriji. Premalo pozornosti pa je bilo posvečeno socialnemu aspektu človek - stroj. Pritisk toge organizacije in monotonost dela povzročata odtujitev dela. Delavec ne vidi več v takih razmerah smisla svojega dela in dobiva občutek anonimnosti. Delo ga negira, ne pa afirmira. Proizvodni proces lahko postane postopoma manj učinkovit.

Racionalizacija v montaži je bila v preteklosti možna le na osnovi intuitivnih izboljšav. Dosedanji dosežki znanosti in tehnologije pa omogočajo tudi na tem področju usmerjeno uvajanje inovacij. V montaži ne dosežemo racionalizacijo samo z avtomatizacijo, pač pa s celo vrsto postopkov:

- z oblikovanjem izdelkov za lažjo montažo;
- z oblikovanjem delovnih mest, ki omogočajo učinkovitejše in varnejše delo;
- z oblikovanjem fleksibilnega montažnega sistema, ki omogoča lažje prilagajanje na potrebe trga in menjavanje vrste izdelkov;
- organizacijske oblike na novem montažnem sistemu.

## 2. OBLIKOVANJE ZA LAŽJO MONTAŽO

Stroški montaže predstavljajo več kot polovico izdelovalnih stroškov. Poznani so tudi rezultati raziskav /1/, da se v montaži približno tretjina časa porabi neposredno za spajanje. Ostali dve tretjini sta namenjeni pozicioniranju, transportiranju, prilagajanju, čakanju in podobno. Te dodatne čase

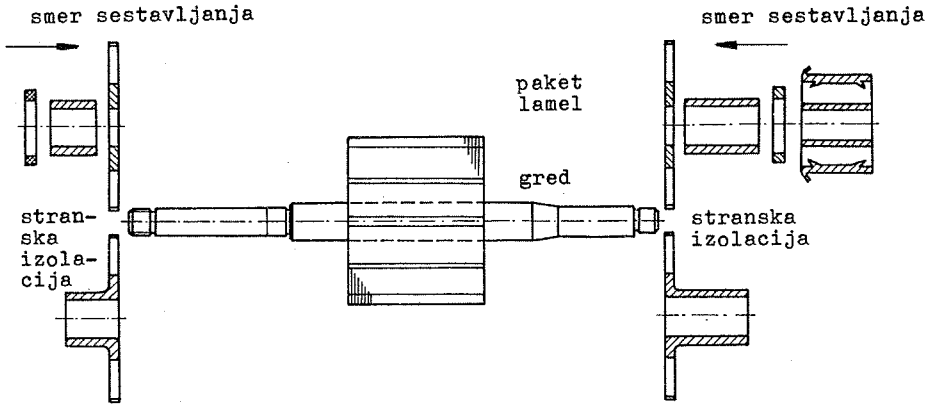
lahko zmanjšujemo s primernejšim oblikovanjem elementov in celotnega izdelka, kakor tudi z izboljšano organizacijo proizvodnje /2, 3/. Pri snovanju izdelka moramo torej delovati v dveh smereh:

- izdelek naj bo za izdelavo in montažo ugoden;
- izbrati najprimernejši način montaže.

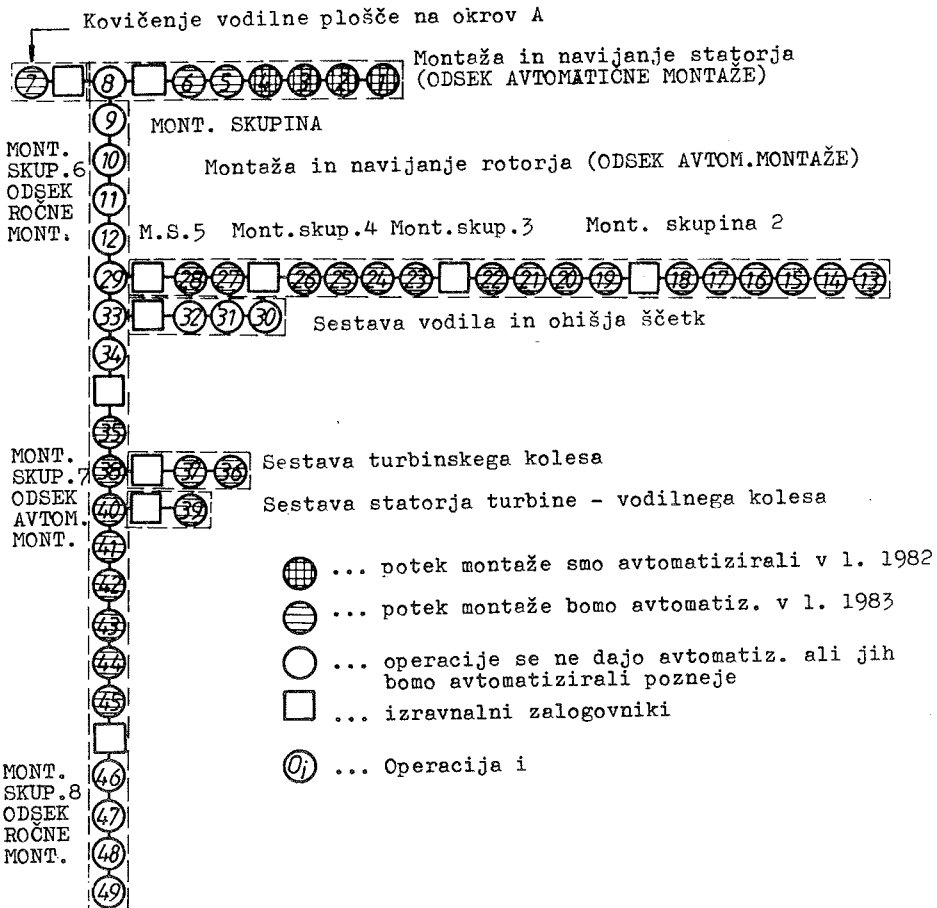
Razen spreminjanja oblik, da bi dosegli boljše ali racionalnejšo izdelavo skušamo tudi čim več elementov združiti. To nam omogočajo predvsem postopki litja, sintranja, kovanja, hladnega preoblikovanja, upogibanja, globokega vleka in varjenja. K temu je pripomogel tudi razvoj plastičnih mas, ki lahko v mnogih primerih nadomestijo kovino ali kakšen drug negorljiv material. Na sliki 1 je prikazan rotor, kjer namesto prejšnjih treh elementov uvedemo le enega. Seveda mora material novega elementa odgovarjati predpisom različnih tržišč. Tako namesto šestih dodatnih naprav rabimo le dve za avtomatično dodajanje pri montaži.

Z analitičnim pristopom smo pregledali in obravnavali tudi elemente statorja in turbine ter dosegli nekatere oblikovne poenostavitve. Upoštevano je bilo tudi avtomatično urejanje pri montaži.

Iz prejšnjih 15 več ali manj različnih vrst elektromotorjev, katerih elementi so bili dokaj različni, je uspelo oblike zelo poenotiti. Različne variante sesalnih enot lahko danes sestavljamo z minimalnimi spremembami, čeprav se razlike nanašajo največ na zahteve predpisov v različnih državah ali po namembnosti uporabe posameznih enot.



Slika 1: Stara in nova izvedba rotorja



Slika 2: Mrežni plan montažnih operacij na sesalni enoti z označenimi montažnimi skupinami in planom uvajanja avtomatizacije

## 3. PLANIRANJE MONTAŽNIH MEST

Glede na to, da skušamo delo pri montaži racionalizirati in napraviti čim bolj humano, bomo čimveč strežnih funkcij avtomatizirali. Ob tem je zelo pomembno, da je sistem čimbolj fleksibilen. Tako ga pri majhnih zastojih preuredimo na novo varianto izdelka. Predno bomo prešli na planiranje, se moramo odločiti za montažno strukturo. Prvi korak predstavlja zaporedje operacij, t.j. zajeti vsa opravila, da izdelek sestavimo. Potek montaže lahko ponazorimo z mrežnim planom, kjer lahko prikažemo zaporedje, izdelovalne čase in število operacij. Prikazati je tudi možno operacije, ki jih je možno avtomatizirati /4, 5/.

Št. op.	Opis naloge - operacije	Varian. I	Var. II	Var. III
		Izd. čas v urah za 100 kosov	Izd. čas v urah za 100 kosov	Izd. čas v urah za 100 kosov
	MONTAŽA IN NAVIJANJE ROTORJA			
13.	Odbiranje rotorskih lamel			
14.	Utiskavanje gredi v rotorsko lamelo			
15.	Natiskavanje izolirnih rotorskih listov	1,00	0,50	0,50
16.	Natiskavanje izolacijskih tulč			
46.	Privitje matice			
47.	Vpenjanje v napravo za trajni tok			
48.	Kontrola in popravilo sesalnih enot	0,50	0,50	0,50
49.	Embaliranje sesalnih enot			
	SKUPAJ	25,80	20,90	17,84

Tabela 1: Faze dela z izdelovalnimi časi

Skupina, ki napravi ocene in sestavi mrežni plan montaže sestavljajo: koordinator, planer proizvodnje, konstrukter strežnih in proizvodnih naprav, konstrukter izdelkov, vodja montaže, tehnolog. Skupina ugotovi, katere operacije je možno avtomatizirati. Pri tem je potrebno upoštevati tehnične, ekonomske in socialne kriterije.

Delovna skupina je imela naslednje izhodišče: sesalna enota se sestoji iz motorskega in turbinskega dela,

je valjaste oblike pribl. premera 150 mm in 250 mm dolžine, največja teža 2,5 kg, trenutno je v izdelavi 13 izpeljank. Največja zmogljivost montažnega sistema naj bo 3000 enot/dan v dvoizmenskem delu. Celotna montaža bo nameščena v enem prostoru, od začetnega sestavljanja, vmesnega skladiščenja podsestavov, končne kontrole in končnega embalaranja. Delo naj bo organizirano v skupinah, omogočena mora biti postopna avtomatizacija montažnih dejavnosti. Montažni sistem se mora prilagajati menjavam izpeljank glede na zahteve tržišča.

Potek montaže je delno prikazan na razpredelnici 1 in na sliki 2. V razpredelnici so podani obdelovalni časi za posamezne operacije in za tri variante, ki jih bomo skušali zelo na kratko prikazati v naslednjih odstavkih.

Pri p r v i v a r i a n t i naj bi obstoječi način montaže razširili z nakupom dodatnih strojev in podaljšali tekoči trak ter tako povečali zmogljivost montaže na 3000 enot/dan pri dvoizmenskem delu. Avtomatiziranih bi bilo le manjše število operacij, drugače pa bi se delo odvijalo ob klasičnem tekočem traku. Delavke bi morale prekladati posamezne enote s traku, opraviti svojo nalogo in zopet odložiti v taktu kot ga diktira njegova hitrost.

Pri d r u g i v a r i a n t i predvidevamo avtomatizirano sestavljanje in navijanje rotorja. Montaža in navijanje statorja naj bo delno avtomatizirano končno montažo pa bi izvedli na sistemu z dvojnimi transportnimi trakom in linijsko razporeditvijo delovnih mest. Delavkam ni več potrebno prekladati posameznih enot s traku in zopet

na trak. Z dodatnimi vlaganji v avtomatizacijo posameznih operacij lahko zmanjšamo število delavcev in cel sistem bi se izplačal v 19,5 mesecev.

Tretja varianta predvideva avtomatizirano navijanje in montažo rotorja in statorja. Uporabili bi dvojni transportni trak s četverokotno razporeditvijo tako, da dobimo neodvisna montažna mesta. Sistem je grajen modularno. Dodali bomo še 20 izravnalnih zalogovnikov, da bodo posamezna delovna mesta čimbolj neodvisna. Fleksibilnost tega sistema je precej nad prejšnjima. Investicijski stroški so večji, vendar se nam vložek povrne prej kot v dveh letih. Odprta je možnost uvajanja dodatne avtomatizacije tistih operacij, ki jih s prvim investiranjem še ne bi avtomatizirali.

projektna skupina ocenila za avtomatizacijo. Ročna montažna mesta so kombinirana z avtomatičnimi vijačniki, dodajalnimi napravami, napravami za spajanje in dvema robotoma za obračanje. Delo je olajšano, ker so sesalne enote pritrjene na paletah, ki potujejo na dvojnem tekočem traku. Pri vsakem delovnem mestu lahko delavka zaustavi paleto, jo fiksira in montira določeno število elementov ter spusti paleto k naslednji delavki k zaključnim montažnim delom in na testiranje kvalitete. Če neka operacija ne bi bila do konca izvedena, se paleta vrne nazaj, s senzorjem ugotovimo stopnjo izgotovljenosti in jo usmerimo na odgovarjajoče delovno mesto.

Posamezna delovna mesta obsegajo več opravil tako, da po dve delavki sode-

i	KRITERIJI	Teža kriterija $G' i$	Alternativne rešitve $A_i$					
			$A_I$		$A_{II}$		$A_{III}$	
			$Y_i$	$G' i \cdot Y_i$	$Y_i$	$G' i \cdot Y_i$	$Y_i$	$G' i \cdot Y_i$
1.	Izdelavni stroški	28	4	112	7	196	6	168
2.	Zmogljivost in fleksibilnost sistema	12	1	12	1	12	8	96
3.	Stopnja avtomatizacije	12	3	36	7	84	9	108
4.	Zanesljivost	17	3	51	3	51	10	170
5.	Zahtevnost vzdrževanja	10	5	50	3	30	9	90
6.	Potrebni prostor	2	4	8	4	8	4	8
7.	Zmožnost prilagajanja, oz. širjenje in bogatitve dela	19	0	0	3	57	9	171
UPORABNA VREDNOST $N_{A_j} = G' i \cdot Y_i$			269		438		811	

Tabela 2: Ovrednotenje predlaganih alternativnih rešitev

Z analizo vrednosti posameznih rešitev smo za realizacijo izbrali najvišje točkovano varianto (razpredelnica 2). Ta varianta predvideva avtomatizacijo vseh tistih operacij, ki jih je

lujeta pri sestavljanju cele motorne enote ali pri sestavljanju sesalne enote. Tako je dosežena neodvisnost delavcev od takta, ki je sicer tako značilna za delo pri tekočem traku.

### Ugotovitve pri uvajanju novega montažnega sistema

Z uvedbo avtomatizacije montaže rotorjev in delne avtomatizacije pri montaži cele motorne enote je bilo ugotovljeno, da se mora obdelava elementov strogo podrediti dovoljenim tolerancam. Dokler je bila montaža še ročna, so lahko delavke pri montaži odpravljale manjše izdelovalne napake, pri avtomatičnem sestavljanju pa tega popuščanja ni več.

Na fleksibilnem montažnem sistemu je delavkam delo zelo olajšano, ker je odpadlo prekladanje sesalnih enot s traku na delovno mizo in nazaj. Cela vrsta težavnih in monotonih opravil je avtomatiziranih. Z uvedbo izravnalnih zalogovnikov med podsistemi delavke niso več pod vplivom takta, ki je drugače izražen z morečim psihološkim pritiskom.

V mnogih primerih spremlja uvedbo novitete v obliki tehnične ali organizacijske izboljšave določena opozicija delavcev, ker se počutijo pretirano izkoriščani ali prekomerno obremenjeni. V našem primeru so se odnosi sprostiti. Zaradi uvedbe fleksibilnega montažnega sistema ni več tolikšne medsebojne odvisnosti in zato tudi manj medsebojnih napetosti. Vsak delavec lahko s svojim prispevkom merljivo doprinaša k efektu montažnega sistema in je motiviran v intenzivnejšem delu. Torej delavec ni več vezan na medsebojno povezano montažno linijo, kjer se intenzivnost oziroma takt ravna po najslabšem členu.

Socialni aspekt inovacije je posebno pomemben, ki ga pa v tem prikazu nismo mogli ovrednotiti in je predmet posebne sociološke študije.

Delovni kolektiv, ki je sprejel nov montažni sistem v proizvodnjo, je uspel tudi v ostri mednarodni konkurenci. Ob stagnaciji potrošnje so v celoti obdržali tržišče in ga v nekaj primerih razširili na nova področja. To je bilo doseženo z dobro kvaliteto in konkurenčno ceno - ob lasnem dobičku. Uspeh izhaja iz uvajanja inovacij v izdelek, iz sprememb v proizvodnji in vzpodbujene motiviranosti delavcev.

#### 4. LITERATURA

- /1/ H.J. Dilling: Montagegerechte Produktgestaltung; VDI-Berichte Nr. 323, 1978
- /2/ G. Boothroyd: Design for Assembly Handbook, University of Massachusetts, Amherst
- /3/ VDI-Richtlinie 2222, Konstruktionsmethodik, Konzipieren technischer Produkte; VDI-Verlag, Düsseldorf 1967
- /4/ H. Metzger: Planung und Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage; Doktor -Ingeniers Disertation, Stuttgart 1977
- /5/ H.G. Löhr: Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme; Krauskopf 1978
- /6/ H. Reger: Das Doppelgurtband- ein flexibles Montagesystem; Zeitschrift f. ind. Fertigung 62(1972) 136-140.



Miodrag Stojiljković\*

REALIZACIJA TERNARNOG STANJA U POSTUPKU MANIPULACIJE  
POMOĆU PNEUMATIKA

R e z i m e

Korišćenjem konvencionalnih binarnih pneumatskih sistema, u radu se analizira slučaj ternarnog stanja kao primenljivog rešenja u postupcima manipulacije, uz mogućnost aplikacije u različitim tehnološkim procesima. Usvojen primer realizacije ternarnog stanja na hvataču jednog pneumatskog manipulatora ilustruje ovu konstataciju.

REALISIERUNG DES TERNÄRZUSTANDES IN MANIPULATIONVERFAHREN  
MIT HILFE PNEUMATIK

Z u s a m m e n f a s s u n g

Durch Nützung der konventionellen, binären, pneumatischen Systeme, wird in dieser Arbeit ein Fall des Ternärzustandes wie anwendungsbar Lösung in Manipulationverfahren mit Anwendungsmöglichkeit in verschiedenen Prozesse analysiert. Der angenommene Fall der Realisierung des Ternärzustandes auf dem Greifer eines pneumatischen Manipulators illustriert diese Feststellung.

1. UVOD

Projektovanje novih kao i rekonstrukcija postojećih uređaja za manipulaciju zavisi pre svega od samog dela koji se manipuliše (oblik, količina, veličina itd.), od uređaja za obradu, slobodnog prostora, vrste pogona i sl.

Poznato je da su sa ovom problematikom najbolje upoznatiji korisnici, te iz tog razloga često oni projektuju, odnosno izradjuju uređaje za manipulaciju.

U daljem tekstu biće obradjen princip rada pneumatskog sistema, kao mogućnost pojednostavljenja u postupku manipulacije uglavnom

pri dodavanju, prenošenju i izbacivanju radnog predmeta, sa težnjom da nadje aplikaciju u rešavanju ove problematike.

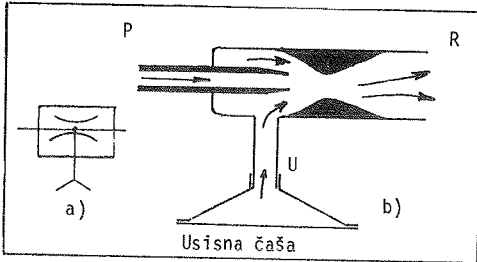
2. PRIKAZ VARIJANINOG REŠENJA PNEUMATSKOG  
SISTEMA ZA REALIZACIJU TERNARNOG STANJA\*\*

Polazeći od zahteva ternarnog stanja na bazi postojećih binarnih pneumatskih komponenata, realizovano je kolo osnovnog operatora predloženo ternarnog sistema.

\*Mr Miodrag Stojiljković, dipl. maš. inž. Mašinski fakultet, Beogradska 14.

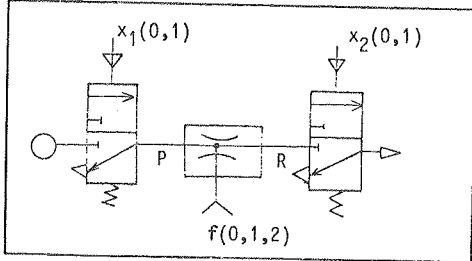
\*\*Ternarna (troznačna) logika je poseban slučaj višeznačne logike gde se pri  $k = 3$  različitih logičkih stanja, dobija da funkcija od  $n$  promenljivih, zadata pomoću tablice sa brojem vrsta  $3^n$ , daje  $N = 3^{3^n}$  različitih logičkih troznačnih funkcija zavisnih od  $n$  promenljivih.

Kao osnovna komponenta pri realizaciji sheme, koristi se "vakuum-usisna mlaznica" prikazana na sl.1. Pomoću ove komponente, sa odgovarajućom usisnom čašom ili drugom formom, usisavaju se i čvrsto drže delovi sa glatkom i gustom gornjom površinom, bez korišćenja naknadnog vakuuma u postupku manipulacije.



Sl.1. Vakuim-usisna mlaznica: a) simbol; b) principijelno rešenje; vakuim-usisna mlaznica zasnovana je na principu Venturija, gde se proticanjem komprimovanog vazduha od P prema R stvara vakuim na priključku U

Pneumatska shema za realizaciju ternarnog stanja prikazana je na sl.2.



Sl.2. Principijelna pneumatska shema za realizaciju ternarnog stanja

Binarne promenljive  $x_1$  i  $x_2$  dovode se na vakuim-usisnu mlaznicu (prema sl.2), tako da  $x_1$  deluje na priključku P, a  $x_2$  na priključku R, dok se na priključku U dobija vrednost troznačne funkcije (0,1,2), dveju promenljivih, gde su promenljive  $x_1$  i  $x_2 \in \{0,1\}$ .

Ova konstatacija zasnovana je na činjenici da ukoliko se isključi dovod komprimovanog vazduha kod P, prestaje usisavanje (0), odnosno, prekine slobodno isticanje vazduha kod R, na priključku U umesto vakuuma (-p) javlja se pritisak (p). Ako se definisana stanja na priključku U obeleže sa:

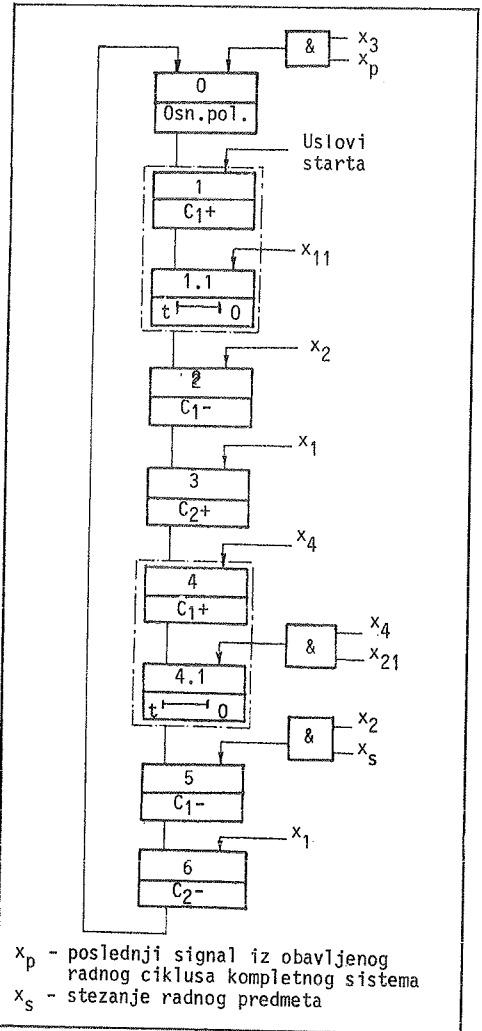
- 0 - nema signala;
- 1 - vakuim (-p);

2 - pritisak (p);

tada veza izmedju vrednosti logičkih promenljivih i diskretnih vrednosti pritiska 0,p i -p, može se prikazati pomoću kombinovane tablice 1.

TABLICA 1

i	$x_1$	$x_2$	f
0	0	0	0 *
1	0	1	0 (0)
2	1	0	p (1)
3	1	1	-p (2)



Sl.3. Gruba struktura funkcionalnog plana analiziranog primera  
 $C_1^+ C_1^- C_2^+ C_1^+ C_1^- C_2^-$

3. PRIMER REALIZACIJE

U konkretnom slučaju usvojiće se primer realizacije ternarnog stanja na hvataču jednog pneumatskog manipulatora, čije je kretanje naznačeno poznatim načinom obeležavanja u obliku strukture redoslednog upravljanja.

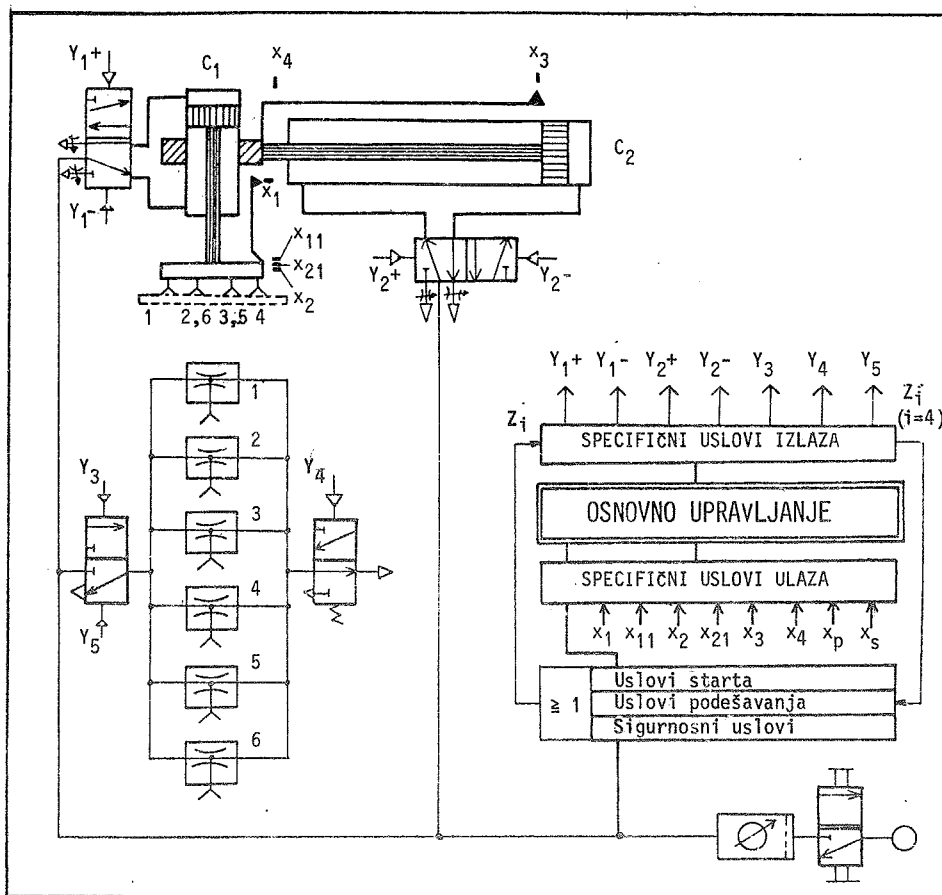
$$C_1+ \quad C_1- \quad C_2+ \quad C_1+ \quad C_1- \quad C_2-$$

Karakteristično u postupku analize jeste usvojeno varijantno rešenje pneumatskog sistema za realizaciju ternarnog stanja, sa aspekta racionalnog korišćenja industrijske pneumatike, a u smislu pojednostavljenja hvatača industrijskog manipulatora.

Uključivanjem vakuuma ( $Y_3 = x_1$ ), neposredno ispred krajnjeg položaja hoda klipnjače ( $C_1+$ ), ostvareno je uzimanje radnog predmeta, njegovo prenošenje do stanice za obradu ( $C_1- C_2+$ ) i spuštanje u poziciju za obradu ( $C_1+$ ).

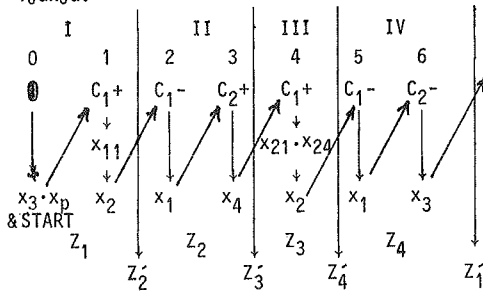
Stavljanje u poziciju za obradu značajno je po tome, što se vakuum zamenjuje pritiskom ( $Y_4 = x_{21} \cdot x_4$ ), pa radni predmet pod dejstvom pritiska zauzima pravilan položaj u alatu stanice za obradu. Pošto se izvrši stezanja radnog predmeta, isključuje se pritisak ( $Y_5 = x_2 \cdot \text{STEZANJE}$ ) i hvatač vraća u početni položaj ( $C_1- C_2-$ ).

Radi ilustracije, na sl.3 prikazana je grupa struktura funkcionalnog plana analiziranog



Sl. 4. Principijelna pneumatska shema analiziranog primera manipulatora ( $C_1+ C_1- C_2+ C_1+ C_1- C_2-$ ) kod koga se realizacija hvatača sastoji od 6 vakuuma usisnih mlaznica, a što je uslovljeno veličinom i konturom radnog predmeta

primera, prema strukturi redoslednog upravljanja.



Slika 4 predstavlja principijelnu shemu upravljačkog plana, sa ciljem kompletiranja postupka u pogledu sinteze pomoću opštevažeg kriterijuma [1].

#### 4. ZAKLJUČAK

Značaj ternarnog stanja u postupku manipulacije zasnovan je na jednostavnoj i ekonomičnoj mogućnosti realizacije standardnim binarnim pneumatskim komponentama, uz ispunjavanje zahteva koji se odnose na uređaje za manipulaciju.

To je moguće zbog nezavisnosti analiziranog sistema u pogledu energetskog medijuma osnovnog uređaja za manipulaciju, pa se može predvideti, kako prilikom projektovanja novih sistema, tako i pri rekonstrukciji postojećih.

#### 5. LITERATURA

- [1] STOJILJKOVIĆ M., 1981., Prilog analizi inženjerskih metoda za sintezu sekvencijalnog automata na bazi pneumatike, Niš, Magistarski rad, Mašinski fakultet Niš.
- [2] CHAPPERT R., CAMPA A., THIBERVILLE L., 1979., L'Automatique par les problèmes, Tome 2, Paris, Foucher.
- [3] Поспелов Д.Д., 1968., Логические методы анализа и синтеза схем, Москва, Энергия.

Andrej Grželj \*

MERILNI ROBOT ZA MERJENJE VALJASTIH OBDELOVANČEV MED OBDELAVO

R e z i m e

Delo na kratko podaja rezultate razvoja merilnega robota za obdelovalni sistem z geometrijskim adaptivnim krmiljenjem. Merilni robot je zasnovan na laserski interferometriji in je namenjen za samodejno merjenje obdelovancev med obdelavo pri struženju, brušenju in sličnih procesih. Mikroračunalnik krmili merilni proces po programu meritev.

MEASURING ROBOT FOR MEASURING ROTATIONAL WORKPIECES IN PROCESS

S u m m a r y

In the paper are briefly given the results of development of measuring robot applied in manufacturing systems with geometrical adaptive control. Measuring robot is based on laser interferometry and is intended to measure automatically the workpiece, which is processed in turning, grinding or in some similar process. Measuring process is controlled by microcomputer.

1. UVOD

Zajemanje merilne informacije, že med samim procesom obdelave, pomeni občo tženjo, značilno za kibernetski pristop v sodobni tehniki in znanosti.

Za uspešno optimizacijo in geometrijsko adaptivno krmiljenje obdelovalnega postopka potrebujemo zadovoljiv matematični model ter merilni sistem za neposredno merjenje veličin stanja postopka med obdelavo. Najprimernejši način geometrijskega krmiljenja dosežemo s krmiljenjem, ki je zasnovano na meritvah pomikov podajalnih sistemov ali na meritvah dimenzij obdelovanca med obdelavo.

Pri geometrijskem adaptivnem krmiljenju (GAK) pri istočasni obdelavi in meritvah obdelovanca med obdelavo je neposredno vprašanje zasnova in izvedba merilnega sistema - merilnega robota (MR), ki je sposoben na ukaz procesnega računalnika samodejno izmeriti dimenzije obdelovanca ter izmerjeno vrednost posredovati procesnemu računalniku obdelovalnega sistema /1/.

2. KIBERNETIČNA SLIKA GAK Z MR

Računalniško krmiljeni obdelovalni sistem z GAK in z MR je prikazan na sl. 1. Merilni robot je pri tem namenjen

---

\* Grželj Andrej, doc.dr.dipl.ing. Univerza Edvarda Kardelja Ljubljana, Fakulteta za strojništvo, Murnikova 2, 61000 Ljubljana



## 3. MERILNI ROBOT

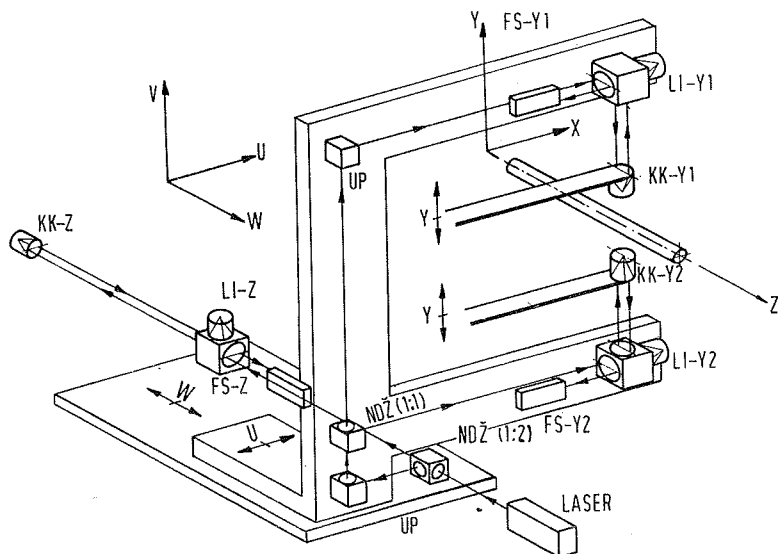
Dosedanji sistemi za merjenje dimenzij obdelovancev, še zlasti za merjenje med obdelavo imajo vrsto pomanjkljivosti.

Merilni robot za merjenje obdelovancev med obdelavo pri struženju in okroglem brušenju, opisan v tem delu, ki je tudi predmet patentne prijave pri Zveznem patentnem zavodu /4/, odpravlja vrsto pomanjkljivosti dosedanjih merilnih sistemov. Merilni robot sl.3 in 4, ima vgrajene tri linearne interferometre (LI-Y1, LI-Y2, LI-Z), s katerimi meri istočasno avtomatsko po programu meritev, med obdelavo premer in dolžino na tem premeru valjastega obdelovanca v širokem merilnem območju z visoko točnostjo (0,5 um) in zanesljivostjo. Pri tem sta laserska interferometra (LI-Y1) in (LI-Y2) postavljena v jarem MR tako, da sta njuna retroreflektorja (KK-Y1) in (KK-Y2) vgrajena v elastično

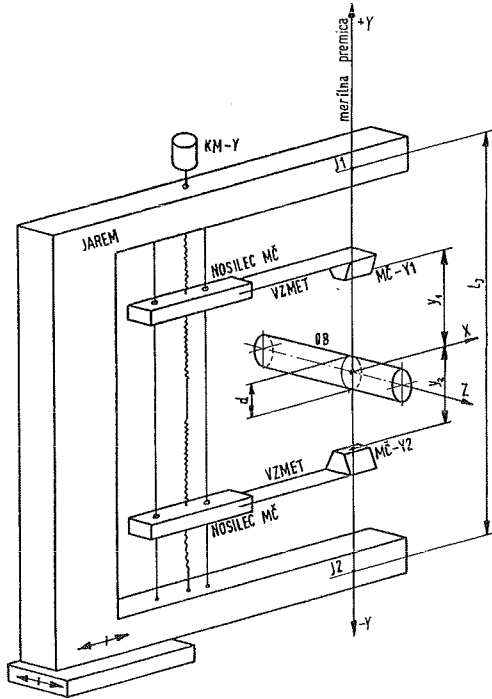
vpetih tipalih - merilnih čeljustih (MČ-Y1) in (MČ-Y2). Merilna os linearnih interferometrov sovpada z merilno premico obdelovanca. Linearni laserski interferometer (LI-Z) z retroreflektorjem (KK-Z), ki je postavljen v merilno os vzporedno osi obdelovanca, stalno meri tisto dolžino obdelovanca, na kateri merita linearna interferometra (LI-Y1) in (LI-Y2) njegov premer.

Pogon merilnih čeljusti je izveden s koračnim ali enosmernim motorjem preko desnosučno-levosučnega krogličnega vijakačnega vretena, pri tem je tipalo (MČ-Y1) oziroma (MČ-Y2) elastično vpeto preko listnate vzmeti na nosilec tipala.

MR lahko deluje kot samostojni merilni sistem ali kot merilni sistem, ki predstavlja merilno tipalo za neposredno merjenje obdelovanca v obdelovalnem sistemu z GAK. Mikroračunalnik MR-a **zbare**, obdela in in posreduje merilne rezultate GAK-u obdelovalnega sistema ali pa jih izpiše na zaslonu.



Sl.3 Merilni robot, optični i optičnoelektronski elementi LMS.



Sl.4 Merilni robot, shema s pogonskim mehanizmom in merilnimi čeljustmi

Tipanje dimenzij obdelovanca izvrše merilne čeljusti. Ali se bo obdelovanec v trenutku meritev vrtel ali bo miroval - kvaziistočasnost obdelave in meritev [1], je odvisno od izvedbe celotnega obdelovalnega postopka. Povdariti pa moramo, da je pri plinskem He-Ne dvofrekvenčnem enomodnem laserju valovna dolžina laserske svetlobe  $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ , kar omogoča sledenje položaja tipal - merilnih čeljusti z občutljivostjo  $\lambda/4$ ; z uporabo elektronske delitve lahko povečamo občutljivost še za 10 krat.

#### 4. ZAKLJUČEK

Prepričani smo, da je prišel čas, ko so pri nas dani pogoji pri proizvajalcih obdelovalnih strojev in pri proizvajalcih laserskih sistemov za gradnjo opisanih merilnih

robotov za namene računalniško krmiljenih obdelovalnih sistemov z GAK. Tovarna ISKRA-CEO iz Ljubljane je na področju laserske interferometrije že razvila ustrezni laserski linearni interferometer.

#### 5. Literatura

- /1/ Grželj A.: Razvoj in raziskava merilnih metod za avtomatsko merjenje dimenzij obdelovanca za adaptivno krmiljenje. Doktorska teza, Fak. za strojništvo, Ljubljana 1977
- /2/ Grželj A.: Laserski interferometer za merjenje dolžin in pomikov. Nova proizvodnja 30/78.N1, 53-61.
- /3/ Scherer Mirel, SEIV MEASURE: automatisation de la mesure. Machine moderne N.865, maj 1982, 30.31.
- /4/ Grželj A.: Sistem laserske merilne glave. Zvezni patentni zavod, N.6646 - P594/83.
- /5/ Grželj A.: Neposredno merjenje obdelovanca pri računalniško krmiljenih obdelovalnih strojih. Zbornik radova MMA' 83, 97-105, Fakultet tehniških nauka, Novi Sad.



Mr Ivica Mandić, znanstveni asistent  
Fakultet elektrotehnike, strojarstva  
i brodogradnje, Split, R.Boškovića bb

MATEMATIČKI MODEL KAO TEMELJ ZA PROJEKTIRANJE INDUSTRIJSKOG  
MANIPULATORA U POGONIMA ZA KOVANJE

S a ž e t a k

Radni uvjeti u industrijskim pogonima za kovanje i prešanje su vjerojatno jedni od najtežih u industriji uopće, pa je već dugo prisutna težnja da se takvi pogoni automatiziraju ili, u posljednje vrijeme, robotiziraju.

U ovom radu dan je detaljni matematički model industrijskog manipulatora osnovne sferne konfiguracije RRT na temelju Lagrangeovih jednadžbi. Ovaj matematički model omogućava brzo i točno izračunavanje položaja i brzina pojedinih segmenata manipulatora, izračunavanje kinetičkih energija pojedinih segmenata odnosno sila koje moraju osigurati aktuatori u pojedinim zglobovima da bi se omogućilo funkcionalno gibanje manipulatora.

Matematički model poslužio je za projektiranje i izradu laboratorijskog prototipa manipulatora kao i za izbor aktuatora u zglobovima manipulatora.

MATHEMATICAL MODEL AS BASIS FOR INDUSTRIAL MANIPULATOR DESIGN  
IN FORGING PLANTS

S u m m a r y

The working conditions in industrial workshops for forging and pressing are probably among the hardest in industry, and there is an increasing tendency to automate, recently even to robotize these workshops.

In this paper a detailed mathematical model of basical spherical configuration RRT of industrial manipulator on the basis of Lagrange's equations is given. This model calculates very quickly and exactly all the positions and velocities of manipulator's segments, and also all the kinetic energies and forces/torques of actuators in manipulator's joints.

Mathematical model is used as a basis for design of laboratory prototype of manipulator and choice of actuators.

1. Uvod

Radna mjesta u pogonima za kovanje su poznata kao veoma teška, zamorna i opasna. Buka, vrućina, težina predmeta i prljavština su elementi koji rad čine neugodnim za radnike, a sve to rezultira u nisku produktivnost.

Poteškoće vezane uz ove poslove, kao i općenita tendencija izbjegavanja teških i opasnih poslova, rezultirala je u činjenicu da je sve manje i manje radnika voljno provesti svoj radni vijek u takvim pogonima.

Rješenja koja su bila povezana uz povećanje naknade za ovu vrstu poslova rezultirala su u narušavanje zdravlje radnika, što nikako nije bio pravi put.

Sve okolnosti, zajedno sa potrebom za humanizacijom takvih radnih mjesta su rezultirale u želju da se mehaniziraju i automatiziraju takvi pogoni. To znači da strojevi trebaju obavljati teške poslove koje su inače radili ljudi a da istovremeno ne opadne, nego čak i da se poveća produktivnost.

Budući se ovim reducira direktan ljudski rad, radnike treba prekvalificirati da obavljaju poslove na održavanju i popravcima što opet unosi dodatne momente u ovu problematiku. Automatizacija u industrijskim pogonima za kovanje i prešanje ima tri faze: automatski strojevi posebne namjene, poluautomatski telemanipulatori i roboti.

Automatski strojevi posebne namjene kao npr. kod automatskog transfera predmeta do prese se izradjuju zajedno s presama i integralni su dio sistema.

Sa automatskim presama proizvodnja se može učetvorostručiti iako ne smijemo zaboraviti da je njihova cijena zapažljivo veća nego klasičnih presa. No, ako se ne osigura stalni i stručno održavanje takvih presa može doći do zastojia i gubitaka. Osim toga, automatske prese ograničavaju vrst predmeta koji se kuju i oni moraju uglavnom biti cilindrični ili konični. Poželjno je da operator stoji uz radno mjesto i da zaustavi rad prese u slučaju nepravilnog položaja odkivka za vrijeme obrade,

da ispravi pogrešku i da ponovno stavi sustav u pogon.

Mnoge od presa u današnjim tvornicama su takve da se, rad sa njima može automatizirati bilo poluautomatskim teleanipulatorima bilo industrijskim robotima.

Teleanipulatori se koriste kada je moguće automatizirati cijeli radni proces osim nekih parametara koje postojeći roboti na tržištu ne mogu savladavati jer još nije moguće projektirati dovoljno pouzdan sustav za neku specifičnu primjenu. To je naročito slučaj kod čekića za kovanje gdje je veoma teško točno upravljati položajem odkivka pa se tu koriste teleanipulatori. Potreba za točnim namještajem odkivaka i mogućnosti rukovanja bilo kojim oblikom odkivka u procesu oblikovanja rezultira dakle u upotrebu teleanipulatora.

U slučajevima kad je moguće točno namještati položaj odkivka i sinhronizirati rad procesa tada možemo razmišljati o upotrebi mnogo složenijih sustava - industrijskih robota. Jasno, prije upotrebe robota treba ispuniti određene uvjete. Prvo treba provjeriti da li je robot geometrijski kompatibilan sa drugim strojevima i da li može dosegnuti sve položaje koji se zahtijevaju u toku radnog ciklusa. Upotreba robota je pogodna za srednje serije proizvodnje gdje njegova mnogostranost naročito dolazi do izražaja. Može se sa sigurnošću tvrditi da će većinu problema u pogonima za kovanje i prešanje biti moguće riješiti s robotima s četiri stupnja slobode gibanja (osnovna sferna konfiguracija RRT, te četvrti stupanj slobode kao rotacija hvataljke). Za postavljanje u kalupe najpovoljnije je da taj četvrti stupanj bude rotacija u vertikalnoj ravnini kroz ruku (pitch-ljulanje) dok je za slobodno kovanje najpovoljnija rotacija u ravnini o-omitoy na završetak ruke, dakle oko osi ruke (roll - valjanje).

Općenito, u jednom složenom pogonu za kovanje imamo pet različitih područja rada i to: a) područje peći, b) područje kovačke prese ili čekića, c) područje u kojem se rukuje predmetom, d) područje u kojem se rukuje eventualnim alatima, e) područje iz kojeg se predmet uzima odnosno u koje se gotov proizvod odlaze.

Industrijski robot je obično montiran na nepokretnom podnožju i mora biti postavljen na takav način te imati takve osobine, da svojom hvataljkom može dosegnuti sva ova područja, a u svrhu obavljanja svih postupaka koje zahtijeva tehnologija proizvodnje.

Složenost primjene se povećava ako se uzmu u obzir i ostali parametri kao što su težina dijelova kojima se rukuje, brzina i potreban broj udaraca prese ili čekića. Jasno je, što su predmeti teži pogodnija je upotreba robota ali i kod manjih tereta roboti uspješno obavljaju poslove posluživanja prese i mogu se takmičiti i s najboljim radnicima. Ako ima više tipova kovanja, potrebno je koristiti složenije robote, što zbog kompleksnosti operacije može usporiti rad. Isto tako upotreba robota može biti opravdana kod posluživanja dviju ili više presa za kovanje. U slučajevima kada se jedan robot koristi za rukovanje predmetima do 5-6 kg mase i poslužuje dvije prese mogu se postići brzine koje postižu dobro uvježbani radnici.

Posebni problem se javlja kod operacije vrućeg kovanja i prešanja jer objekt za vrijeme obrade mijenja oblik i položaj. To od robota zahtijeva prilagodljivu hvataljku i šaku koja treba biti upravljana računalom, te opskrbljena senzorima za povratne informacije. Za veoma teške terete povoljnije je koristiti poluautomatskim teleanipulatorima.

## 2. Matematički model kinematike i dinamike industrijskog manipulatora na temelju Lagrangeovih jednadžbi

Shematski prikaz manipulatora osnovne sferne konfiguracije (RRT) sa valjanjem šake je na sl.1. Osnovna konfiguracija manipulatora ima tri stupnja slobode gibanja (rotacija  $\theta$ , rotacija  $\phi$  te translacija  $q_3$ ) dok šaka sa hvataljkom rotira oko uzdužne osi trećeg segmenta (valjanje  $\psi$ ). Na slici je prikazan apsolutni koordinatni sustav kao i koordinatni sustavi u pojedinim zglobovima sa odgovarajućim osima rotacije odnosno translacije.

Na sl.2. prikazan je početni položaj manipulatora i na temelju te slike određujemo početne položaje osiju rotacije odnosno translacije:

$$\begin{aligned} \text{za } \theta: e_{10}^{-1} = z_1 = (0, 0, -1) \quad \text{za } q_3: e_{30}^{-1} = x_3 = (1, 0, 0) \\ \text{za } \phi: e_{20}^{-1} = y_2 = (0, 1, 0) \quad \text{za } \psi: e_{40}^{-1} = x_4 = (1, 0, 0) \end{aligned} \quad (1)$$

Početni položaji težišta pojedinih segmenata su općenito:

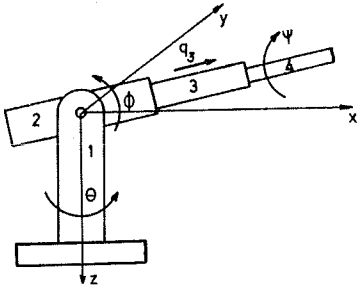
$$\begin{aligned} r_{10} = (x_1^*, 0, 0) \quad r_{30} = (x_1 + x_2 + x_3^*, 0, 0) \\ r_{20} = (x_1 + x_2^*, 0, 0) \quad r_{40} = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4^*, 0, 0) \end{aligned} \quad (2)$$

Na temelju sl.1. lako zaključujemo da je za ovakav manipulator:

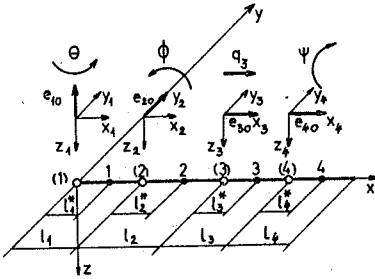
$$e_1^* = 0, \quad e_1 = 0 \quad (3)$$

pa su početni položaji težišta pojedinih segmenata u tom slučaju:

$$\begin{aligned} r_{10} &= (0, 0, 0) & r_{30} &= (l_2 + l_3^*, 0, 0) \\ r_{20} &= (l_2^*, 0, 0) & r_{40} &= (l_2 + l_3 + l_4^*, 0, 0) \end{aligned} \quad (4)$$



Sl.1. Manipulator sa četiri stupnja slobode gibanja



Sl.2. Početni položaj manipulatora sa sl.1.

Ulazne informacije za tvorbu matematičkog modela su  $r_{i0}$  (početni položaji težišta segmenta),  $e_{i0}$  (početni položaji jediničnih vektora rotacije/translacije u zglobovima),  $l_i$  (duljine segmenata),  $m_i$  (mase segmenata).

Nakon pomaka manipulatora iz početnog položaja potrebno je računati nove položaje jediničnih vektora ( $e_i$ ) i nove položaje težišta segmenata ( $r_i$ ) što računamo s pomoću Rodrigove formule koja glasi:

$$r^* = r_0 \cos\theta + (1 - \cos\theta)(e_0 \cdot r_0)e_0 + e_0 \times r_0 \sin\theta \quad (5)$$

Brzine težišta pojedinih segmenata se računaju s pomoću izraza:

$$v_i = \frac{dr_i}{dt} \quad (6)$$

Kinetička energija tijela mase  $m$  koje se giba brzinom  $v$  je dana poznatim izrazom:

$$E_k^* = \frac{mv^2}{2} \quad (7)$$

Totalnu kinetičku energiju svakog pojedinog segmenta manipulatora računat ćemo razdvajanjem segmenta na infinitezimalne dijelove te integriranjem preko cijele dužine segmenta, dakle:

$$E_k = \frac{m}{2\ell} \int_0^\ell v^2(s) ds \quad (8)$$

gdje je  $\ell$  dužina segmenta, a  $s$  udaljenost uzduž osi segmenta;  $v(s)$  je brzina točke koja se nalazi na udaljenosti  $s$  od jednog kraja segmenta. Pretpostavlja se jednolična razdioba mase uzduž cijele dužine segmenta sa linearnom gustoćom:

$$\rho = \frac{m}{\ell} \quad (9)$$

Zakretni momenti odnosno sile računaju se na temelju Euler-Lagrangeove formule:

$$T_i = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial \theta_i} \quad (10)$$

$$F_i = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x_i} \quad (11)$$

gdje su:  $\theta_i$  - rotacijski pomak;  $\dot{\theta}_i$  - rotacijska brzina;  $x_i$  - translacijski pomak;  $\dot{x}_i$  - translacijska brzina.

$T_i$  je zakretni moment potreban da se obavi rotacijsko gibanje u zglobu  $i$ .

$F_i$  je sila potrebna da se obavi translacijsko gibanje u zglobu  $i$ .

Ako još definiramo potencijalnu energiju segmenta sa  $E_p$  onda je tzv. "gravitacijski član":

$$G_{iT} = \frac{\partial E_p}{\partial \theta_i} \quad (12)$$

odnosno

$$G_{iF} = \frac{\partial E_p}{\partial x_i} \quad (13)$$

ovisno o tome da li se radi o rotacijskom ili translacijskom gibanju.

Za sustav sa  $n$  stupnjeva slobode gibanja moment je:

$$T_i = G_{iT}(\theta) + \sum_{j=1}^n I_{ij}(\theta) \ddot{\theta}_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n C_{ijk}(\theta) \dot{\theta}_j \dot{\theta}_k \quad (14)$$

Prvi član je "gravitacijski član" dobijen iz potencijalne energije. Drugi član je suma umnožaka momenata inercije  $I_{ij}$  i kutnih ubrzanja  $\ddot{\theta}_j$ . Treći član je dvostruka suma članova koji sadrže kutne brzine i tvori moment koji uravnotežuje djelovanje Coriolisovih sila te uključuje i centrifugalne sile.

Koeficijenti  $G_i(\theta)$ ,  $I_{ij}(\theta)$  i  $C_{ijk}(\theta)$  su funkcije samo konfiguracije  $\theta$  gdje je:

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \quad (15)$$

Ovi koeficijenti ne ovise, dakle, o kutnim ili ubrzanjima u zglobovima već su polinomi od dužine segmenata te sinusa i kosinusa kuteva zglobova.

Sličan izraz vrijedi i za silu:

$$F_i = G_{iF}(x) + \sum_{j=1}^n m_{i,j}(x) \ddot{x}_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n D_{ijk}(x) \dot{x}_j \dot{x}_k \quad (16)$$

Totalna kinetička energija cijelog sistema je suma kinetičkih energija pojedinih segmenata:

$$E_k = \sum_{j=1}^n E_{kj} \quad (17)$$

Totalni moment odnosno sila koje treba osigurati pojedini aktuator je suma komponenti:

$$T_i = \sum_{j=1}^n T_{ij} \quad (18)$$

$$F_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \quad (19)$$

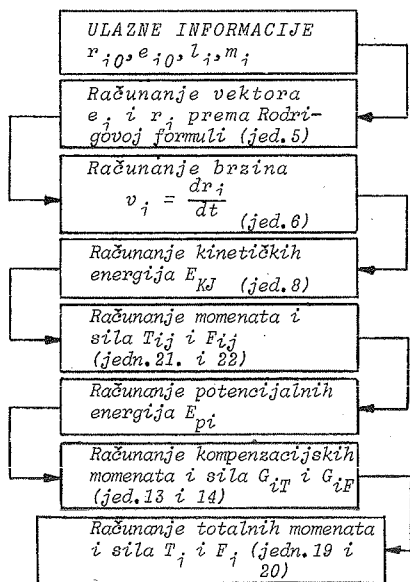
gdje su  $T_{ij}$  momenti aktuatora u zglobovu  $i$  da se osigura gibanje segmenta  $j$ :

$$T_{ij} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_{kj}}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial E_{kj}}{\partial \theta_i} \quad (20)$$

a  $F_{ij}$  sile aktuatora u zglobovima  $i$  da se osigura gibanje segmenta  $j$ :

$$F_{ij} = \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_{kj}}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial E_{kj}}{\partial x_i} \quad (21)$$

Na sl.3. prikazan je dijagram toka koji opisuje matematičko modeliranje kinematike i dinamike industrijskog manipulatora na temelju Lagrangeovih jednažbi.



Sl.3. Dijagram toka koji opisuje matematičko modeliranje kinematike i dinamike industrijskog manipulatora na temelju Lagrangeovih jednažbi.

Na temelju ovih izraza dobijene su vrijednosti za položaje težišta segmenata osnovne konfiguracije manipulatora ( $r_1, r_2, r_3$ ), za brzine težišta segmenata ( $\dot{v}_1, \dot{v}_2, \dot{v}_3$ ), za kinetičke energije pojedinih segmenata ( $E_{k1}, E_{k2}, E_{k3}$ ), za potencijalne energije pojedinih segmenata ( $E_{p1}, E_{p2}, E_{p3}$ ), za kompenzacijske momente/sile ( $T_{1G}, T_{2G}, T_{3G}$ ) te za momente/sile u pojedinim zglobovima za pokretanje određenih segmenata ( $T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{22}, T_{23}$  i  $F_{33}$ ). Zbog ograničenog prostora nećemo dati ove rezultate već ćemo prikazati samo izraze za totalne momente/sile u pojedinim zglobovima.

Očigledno je:

$$T_1 = T_{11} + T_{12} + T_{13} + T_{1G} \quad (22)$$

$$T_2 = T_{22} + T_{23} + T_{2G} \quad (23)$$

$$F_3 = F_{33} + F_{3G} \quad (24)$$

pa jednostavno uvrštavamo već izračunate vrijednosti:

$$T_1 = \frac{m_1 r^2}{2} \ddot{\theta} + \frac{1}{3} m_2 l_2^2 (\ddot{\theta} \cos^2 \phi - 2\dot{\theta} \dot{\phi} \sin \phi \cos \phi) + m_3 \left[ (l_2^2 + 2l_2 q_3 + q_3^2 + l_2 l_3 + \frac{l_3^2}{2}) (\ddot{\theta} \cos^2 \phi - 2\dot{\theta} \dot{\phi} \sin \phi \cos \phi) + (2l_2 \dot{q}_3 + 2q_3 \dot{q}_3 + \dot{q}_3 l_3) \dot{\theta} \cos^2 \phi \right] \quad (25)$$

$$T_2 = \frac{1}{3} m_2 l_2^2 (\ddot{\theta} + \dot{\theta}^2 \sin \phi \cos \phi) + m_3 \left[ (l_2^2 + 2l_2 q_3 + q_3^2 + l_2 l_3 + \frac{l_3^2}{2}) (\ddot{\theta} + \dot{\theta}^2 \sin \phi \cos \phi) + (2l_2 \dot{q}_3 + 2q_3 \dot{q}_3 + \dot{q}_3 l_3) \dot{\theta} \right] + (-m_2 l_2^* + m_3 (l_2 + l_3^* + q_3)) g_2 \cos \phi \quad (26)$$

$$F_3 = m_3 \left[ \ddot{q}_3 - (\dot{q}_3^2 l_2 + \dot{q}_3^2 q_3 + \dot{q}_3^2 \frac{l_3}{2} + \dot{\theta}^2 l_2 \cos^2 \phi + \dot{\theta}^2 q_3 \cos^2 \phi + \dot{\theta}^2 \frac{l_3}{2} \cos^2 \phi) \right] + (-m_3 g_2 \sin \phi) \quad (27)$$

Na ovaj način odredili smo potrebne sile i zakretne momente aktuatora u pojedinim zglobovima koji su neophodni da bi robot obavljao funkcionalne pokrete. Značajno je napomenuti da smo, zahvaljujući Euler-Lagrangeovom pristupu, do toga došli bez računanja translacijskih i rotacijskih ubrzanja, već su nam bili dovoljni položaji i brzine pojedinih segmenata robota te kinetičke i potencijalne energije.

### 3. Zaključak

Opisana metoda omogućava relativno jednostavno izračunavanje potrebnih sila i zakretnih momenata u zglobovima robota. Primjenljivija je za "ručno" izračunavanje za robote do tri stupnja slobode gibanja. Za veći broj stupnjeva slobode izrazi za brzinu, kvadrat brzine, kinetičku energiju, a naročito za

parcijalne i vremenske derivacije, postaju veoma komplikirani i dugi što povećava mogućnost pogreške. Drugim riječima, za računanje potrebnih sila i momenata za osnovnu konfiguraciju robota je pogodna, a za računanje istih tih veličina za stupnjeve slobode hvataljke nije primjerena.

Što se tiče njene upotrebe na elektoničkim računalima, mana joj je izračunavanje parcijalnih i vremenskih derivacija. Ovo ograničenje se može eliminirati pohranjivanjem određenog broja koeficijenata u memoriji, ali u tom slučaju treba paziti na ravnotežu između troškova memorije i troškova izračunavanja u realnom vremenu.

Značajno je napomenuti da ovom metodom, bez izračunavanja ubrzanja u zglobovima, dobijemo analitičke izraze za totalne momente i sile aktuatora u pojedinim zglobovima što nam daje direktnu informaciju za izbor odnosno projektiranje aktuatora naročito s osvrtom na ekstremna opterećenja.

Računanje potencijalnih energija, te kompenzacijskih momenata i sila zbog utjecaja gravitacije je jednostavno, a zgodnim izborom koordinatnih osiju postaje izrazito pristupačno. Veću poteškoću s matematičke točke gledišta predstavlja rješavanje određenih integrala kod izračunavanja kinetičke energije, te rješavanje parcijalnih i vremenskih derivacija kod izračunavanja sila i momenata u zglobovima.

Korištenjem rekurzivnih kinematičkih relacija, ubrzava se postupak izračunavanja položaja, brzina, a po potrebi i ubrzanja segmenata, što zajedno sa brzim izračunavanjem sila i momenata otvara mogućnost za rješavanje inverznog problema dinamike robota u realnom vremenu. Za zaključiti je, takodjer, da je ova metoda povoljna kod samog projektiranja robota, za izračunavanje geometrije, masa i momenata inercije pojedinih segmenata te za sintezu i izbor potrebnih aktuatora u zglobovima.

#### Literatura

1. Anon.: Manipulators in the Forge-a Brief Historical Survey, Metal Treatment and Drop Forging, pp 64-68, February 1965.
2. E.Appleton, W.B.Heginbotham, D.Law: Open Die Forging with Industrial Robots, The Industrial Robot, pp. 191-194, December 1979.
3. H.Chase: Automated Hot Forging, Machinery and Production Engineering, 23, pp.1014-1019, December 1970.
4. J.M. Hollerbach: A Recursive Lagrangian Formulation of Manipulator Dynamics, Massachusetts Institute of Technology, A.I. Memo No.533, June 1979.
5. B.K.P.Horn, K.Hirokawa, V.Y.Vazirani: Dynamics of a Three Degree of Freedom Kinematic Chain, Massachusetts Institute of Technology, A.I. Memo No.478, October 1977.
6. P.Koch: Automation in der Druckgesserei bewirk auch umweltfreundliche Arbeitsplatz, Maschinenmarkt 83,pp 1582-1589, 1977.
7. I.Mandić: Kritična primerjava metod za izračun dinamičkih enačb industrijskih robotov, magistrska naloga, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 1981.
8. I.Mandić: Robotizacija industrijskog pogona za kovanje-kinematika i dinamika industrijskog manipulatora sa četiri stupnja slobode gibanja, Zbornik radova JUREMA 1983. 2.svezak str. 151-154, Zagreb 1983.
9. R.Paul: Manipulator Cartesian Path Control, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.SMC-9, No 11, November 1979.
10. Vukobratović M.: Dinamika robota (monografija), Institut "Mihailo Pupin", Beograd 1977.
11. Vukobratović M.D.Stokić: Dinamičko upravljanje manipulatorima (monografija), Institut "Mihailo Pupin", Beograd 1979.



V. R. Milačić, D. S. Milutinović\*)

IDENTIFIKACIJA I PRILAGODJAVANJE RADNIH MESTA  
ZA PRIMENU ROBOTA\*\*

Re z i m e

Potreba za razvojem metodologije uvođenja industrijskih robota u domaćim uslovima postoji već duže vreme, pa ima smisla postaviti pitanje načina rešenja ovog problema. Jedan odgovor na to pitanje može dati opšta metodologija identifikacije radnih mesta za uvođenje industrijskih robota prikazana u ovom radu.

IDENTIFICATION AND ADAPTATION OF WORKING PLACE FOR THE ROBOTS  
INTRODUCTION

S u m m a r y

Need for development of the methodology of introduction of industrial robots under local conditions has been felt for a longer period of time, so that there is sound sense of posing the question of the solution of this problem. One of the answers to this question can be given by general methodology of identification of job posts suitable for introduction of industrial robots, which is shown in this Paper.

1. UVOD

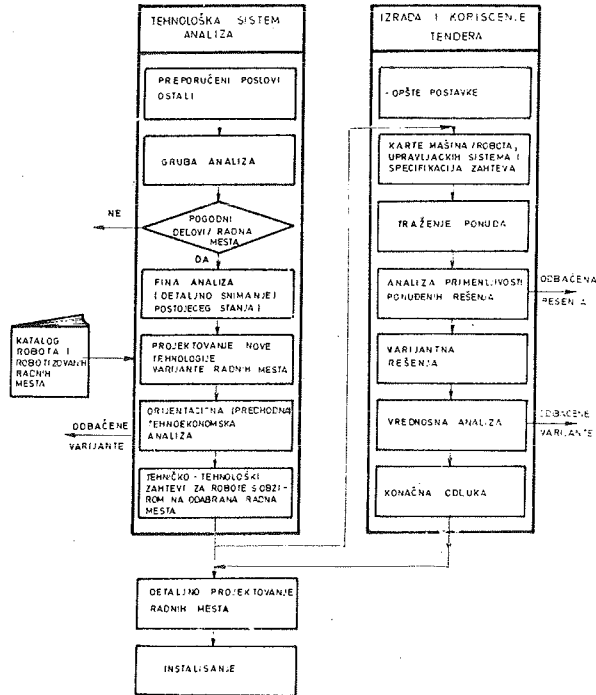
Postavka metodologije uvođenja u ovom radu je data na slici 1. Osnovna zamisao je da se krene sa tehnološkom sistem analizom proizvodnog programa /1/ koja obuhvata:

- definisanje preporučenih i ostalih poslova/radnih mesta koja će se razmatrati,
- grubu analizu ovih radnih mesta, pri čemu se po definisanim kriterijumima odbacuju ona koja se dalje ne razmatraju,

- finu analizu sa detaljnim snimanjem postojećeg stanja na radnim mestima na kojima se može očekivati primena robota,
- projektovanje nove tehnologije/radnih mesta u više varijanti na osnovu kataloga izvedenih robota i robotizovanih radnih mesta,
- orijentacionu (prethodnu) tehnoko-nomsku analizu sa odbacivanjem nepovoljnih varijanti,
- definisanje tehničko-tehnoloških zahteva za robote obzirom na radna mesta.

\*) Prof. dr Vladimir R. Milačić, dipl.inž., mr Dragan Milutinović, dipl.inž., Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80

\*\*\*) Rad je radjen u okviru projekta kojeg finansira zajednica nauke SR Srbije i industrija.



Slika 1. Postavka metodologije uvodjenja robota u ovom radu

Dalja grupa aktivnosti se odnosi na izradu i korišćenje tendera za nabavku robota. Ulaz u ovu grupu aktivnosti su ukupni rezultati tehnološke sistem analize izraženi kroz tehničko-tehnološke zahteve za robote na analiziranim i odabranim mestima. Izradu i korišćenje tendera čine sledeće grupe aktivnosti:

- karte robota, upravljačkih sistema i opreme sa popunjenim ključnim tehničko-tehnološkim zahtevima,
- traženje ponuda,
- analiza primenljivosti ponudjenih rešenja robota i opreme i odbacivanje nepogodnih,
- varijante radnog mesta za pogodnim (mogućim) robotima,
- vrednosna analiza ponudjenih rešenja.

Na osnovu iscrpnih analiza radnih mesta, dobijenih tehničko-tehnoloških zahteva i oda-

branih robota sledi detaljno projektovanje i instalisanje radnih mesta.

Dalje se metodološki prikazuju aktivnosti vezane za analizu i prilagodjavanje radnih mesta za uvodjenje robota.

## 2. METODOLOGIJA TEHNOLOŠKE SISTEM ANALIZE RADNIH MESTA SA ASPEKTA PRIMENE ROBOTA I MANIPULATORA

Robotizovana tehnologija je relativno nova i kao takva ne može se osvrnuti na veliko iskustvo. Prilikom planiranja uvodjenja ovih sistema potrebno je proslediti kompleksan tok aktivnosti s obzirom na raznolikost ovih sistema koji se susreću na tržištu. S druge strane njihova cena, neadekvatna ugradnja i ispad iz rada mogu da donesu potpuno suprotne efekte od željenih.

Tehnološka sistem analiza radnih mesta /2, 3,



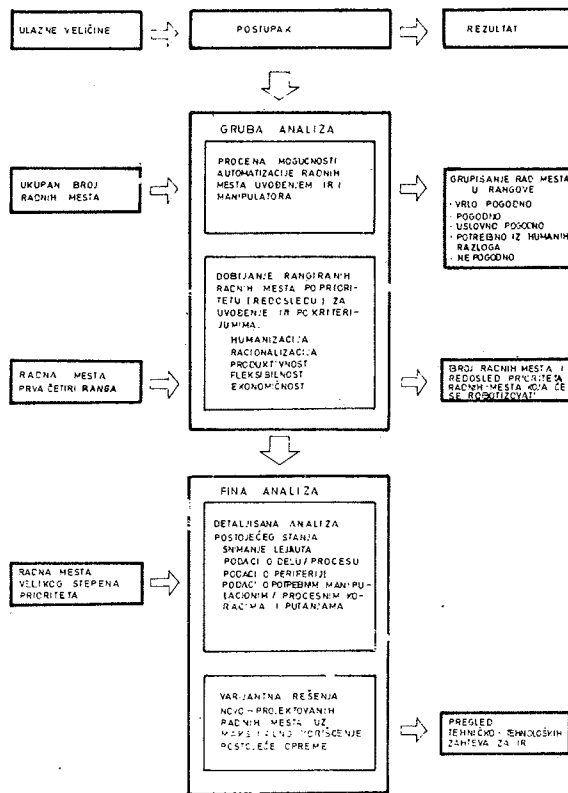
4, 5/ i njihovo rangiranje s obzirom na mogućnost uvođenja IR<sup>\*</sup>) ima za cilj, pre svega, da definiše profil zahteva koji bi dao odgovor koliki nam je broj robota potreban i kakvih.

Kod planiranja IR i manipulatora, često se postavlja pitanje koja se radna mesta mogu robotizovati i do kog stepena složenosti treba nabavljati ove sisteme. Odgovori na ova pitanja se uglavnom nalaze intuitivno i često dovode do velikih zabluda i "pristalice" i "protivnike" IR.

Dalje se opisuje metoda koja omogućava da se registruju radna mesta koja je moguće automatizovati uvođenjem IR, zatim utvrđivanje vrsta i njihovog broja na osnovu kojih se dalje mogu definisati tehničko-tehnološki zahtevi za IR.

Postupak za tehnološku sistem analizu radnih mesta se deli u dva osnovna koraka /1, 5 i 6/:

- grubu analizu za ocenu mogućnosti podizanja nivoa automatizacije uvođenjem IR i dobijanje rangiranih radnih mesta po prioritetu za uvođenje IR ,



Slika 2. Postupak tehnološke sistem analize radnih mesta

- finu analizu za dobijanje tehničko-tehnoloških zahteva za IR na utvrđenim radnim mestima.

Polazna osnova za analizu je sveukupnost radnih mesta u proizvodnji. U gruboj analizi se radna mesta svrstavaju u pet kategorija po osnovu mogućnosti primene IR (slika 2). Svrha

\* ) IR - industrijski robot/i

ovakvog pregleda je da se rano eliminišu ona radna mesta koja jedva ili uopšte ne omogućavaju automatizaciju primenom robota na sadašnjem tehnološkom nivou.

U finoj analizi koja se nastavlja na grubu se, pretraživanjem, dobijaju rang liste prioriteta mesta koja treba robotizovati. Za mesta sa najvišim stepenom prioriteta određivanim po više osnova i u više varijanti formiraju se tehničko-tehnološki zahtevi. Zbog obimnosti podataka po radnom mestu kao i velike i vrlo raznovrsne ponude robota na tržištu i naravno, za veliki broj radnih mesta celokupna metodologija može biti računarski orijentisana.

Bez obzira da li je reč o manuelnom ili računarskom sprovođenju analize potrebno je za realizaciju algoritma sa slika 1 i 2 razviti odgovarajuće nosače informacija - obrasce za brzo i pregledno prikupljanje, sistematizaciju i obradu podataka kao i za prezentaciju dobijenih rezultata /1, 5 i 6/.

U napred postavljenim algoritmima su pojedine faze date uopšteno pošto velika raznolikost radnih zadataka, od manipulacije do obavljanja procesa, zahteva modulaciju i obradu svakog kompleksa pitanja. Kvalitet celokupne analize zavisi od kvaliteta cele radne grupe koja vrši analizu i koja po pravilu mora da je dobro upoznata sa datom i mogućim tehnologijama za određenu oblast sa problemima u oblasti robotike i da ima dobar uvid u komercijalno izvedena rešenja robota i njihove primene. S obzirom da uvođenje robota često vodi novim rešenjima magacina, hvatača i pomoćne opreme takodje je bitno da je radna grupa sposobna i za određene konstruktorske zadatke.

### 3. UMEMSTO ZAKLJUČKA

Prema raspoloživim prognozama /5/ industrijski roboti, kao uređaji fleksibilne automatizacije, pokazujuće eksponencijalni karakter prodora u industriji u sledećim godinama. Tako se u SAD 1984. godine predviđa plasman od 200 miliona dolara sa godišnjim rastom od 25% a 1990 u SAD i Evropi 3 milijarde dolara. Ova kretanja se potvrđuju u Japanu, SAD i Švedskoj, dok druge zemlje počinju da slede taj primer. Da bi smo se uključili u ove tokove neophodan je sistematski pristup ovoj problematici kojeg je donekle moguće ostvariti ovakvim analizama u ključnim industrijama i tehnologijama za izabrane tipične industrijske pogone - reprezentate.

### 4. LITERATURA

- /1/ Strateški projekt "Sistemi industrijskih robota", Beograd, 1982
- /2/ Weck, M., 1976, Handling Case-Studies, WZL, RWTH, Aachen
- /3/ Schimke, E.F., 1976, Planung von Handhabungssystemen, Dissertation Techn. Hochschule, Aachen
- /4/ Schraft, R. D., 1976, Systematisches Auswählen und Konzipieren von programmierbaren Handhabungssystemen, Dissertation Techn. Hochschule, Stuttgart
- /5/ Milutinović, D., 1981, Sistemi industrijskih robota i manipulatora za mašine alatke, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd
- /6/ Milutinović, D., Milačić, V., Opšta metodologija sistem analize industrije sa stanovišta primene robota, Zbornik radova, IX JUPITER-konferencija, Herceg Novi, 1983

## V - ODRŽAVANJE



Majstorović, V., Spasić, Ž., Milačić, V.\*)

## JUPITER MODEL ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA

### R e z i m e

Probleme održavanja mašinskih sistema treba razmatrati u njihovom životnom veku, od idejnog rešenja, do isključenja iz procesa eksploatacije. Osnovu za ovo predstavlja razvijen model održavanja na bazi računara, kod koga se mogu identifikovati tri karakteristične celine: (i) projektovanje za održavanje, (ii) projektovanje održavanja, i (iii) upravljajne održavanje. Svaki od navedenih nivoa ima razradjenu strukturu koja se bazira na banci podataka za tehničko-tehnološke informacije održavanja. To je JUPITER model održavanja mašinskih sistema, koji se u ovom radu detaljno prikazuje, sa jednim primerom industrijske primene.

## JUPITER MODEL OF MACHINE SYSTEMS MAINTENANCE

### S u m m a r y

The problem of machine systems maintenance should be considered throughout their service life, from the first concept of a system to its rejection from the utilization process. The basis is a developed computer-aided maintenance model, where three characteristic units may be identified: (i) design for maintenance, (ii) design of maintenance, (iii) maintenance control. Each of the given levels has its own elaborated structure, which is based on a data bank of technological maintenance information. This is the contents of the JUPITER model of machine systems maintenance, described in this paper in full, detail, with one example application to industrial environment.

### 1. UVOD

Mašinski sistemi u industriji prerade metala predstavljaju najčešće složene inženjerske sisteme, koji u svom životnom veku prolaze kroz tri faze: (i) projektovanje, (ii) proizvodnja, i (iii) eksploatacija. Ova konstatacija se posebno odnosi na FTS (fleksibilne tehnološke sisteme), koji po pravilu obuhvataju: mašinu alatku, robot, upravljajku jedinicu, transportni sistem, mernu mašinu i sistem za skladištenje), pred koje se postavljaju

oštri zahtevi u pravcu podizanja parametara tehničke i ekonomske efektivnosti. Elementi tehničke i ekonomske efektivnosti se sreću u svim fazama životnog veka mašinskog sistema i posebno su značajni za korisnika. Međutim, dominantan uticaj na njih ima proizvođač, koji ih "ugrađuje" u mašinski sistem.

JUPITER model održavanja mašinskih sistema polazi od integralnog posmatranja mašinskog

\*) Mr Majstorović Vidosav, dipl.inž., dr Žarko Spasić, dipl.inž., prof. dr Vladimir Milačić, dipl.inž., Mašinski fakultet Univerziteta u Beograd, Beograd, 27. marta 80

sistema u njegovom životnom veku sa stanovišta održavanja, pri čemu se mogu identifikovati tri karakteristične celine /1/:

(i) projektovanje za održavanje, (ii) projektovanje održavanja, i (iii) upravljanje održavanjem, slika 1. Polazeći od ovakve koncepcije održavanja mašinskih sistema, u radu je ovaj koncept detaljnije prikazan. Takođe su prikazani i neki rezultati industrijske primene ovog modela.

## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE JUPITER MODELA ODRŽAVANJA MAŠINSKIH SISTEMA

Ovaj model se zasniva na inženjerskom pristupu problemima održavanja uz podršku računara. On pripada konceptu industrijskog održavanja /1, 2/, čije su osnovne karakteristike: (i) operacije održavanja se izvode na bazi planiranja, praćenja i upravljanja parametrima tehničke i ekonomske efektivnosti, (ii) funkcija održavanja ima definisanu organizacionu strukturu, (iii) za planiranje i izvođenje operacija održavanja se koriste standardi rada, i (iv) za funkcionisanje integralnog informacionog sistema u održavanju koristi se računar.

Prvi nivo JUPITER modela održavanja se odnosi na fazu projektovanja mašinskog sistema sa stanovišta održavanja. Polazni elementi su hijerarhijski dekomponovana struktura mašinskog sistema po sledećim nivoima: mašinski sistem (NU mašina alatka), mini mašina (prenosnik za glavno kretanje), sklop (glavno vreteno), podsklop (vratilo sa zupčanikom), deo (čaura), zapreminski element (zubac zupčanika), površinski element (unutrašnja površina prstena ležaja) i linijski element (ivica vodjice za glavno kretanje). Za mašinski sistem možemo uspostavljati sledeće parametre tehničke efektivnosti: (i) pouzdanost, (ii) pogodnost za održavanje, (iii) raspoloživost, i (iv) popravljivost. U zavisnosti od faze životnog mašinskog sistema, ovi parametri mogu da budu: (i) planirani, (ii) projektovani, i (iii) ostvareni (eksploatacioni).

Osnovu za projektovanje mašinskih sistema sa stanovišta održavanja, čine razvijeni procesori za to. Jedan model takvog procesora je prikazan na slici 2. On se bazira na bazi podataka o ovim parametrima. Veći broj istraživačko-razvojnih institucija u razvijenim zemljama do sada su formirale više banki podataka, pre svega o parametrima pouzdanosti. Na bazi modela procesora prikazanog na slici 2, u CeNT-u se vrši istraživanje koja treba da omoguće formiranje banke podataka o parametrima tehničke efektivnosti, za mašinske sisteme iz industrije prerade metala (mašine alatke). U procesu projektovanja mašinskog sistema parametri tehničke efektivnosti se planiraju, predikuju i alociraju, koristeći pri tome određene metodologije (AGREE, ARING, EFTES i druge). Izlaz iz ovog nivoa JUPITER modela održavanja mašinskog sistema je projektovan mašinski sistem sa njegovim sas-

tavnim elementima, respektujući parametre tehničke i ekonomske efektivnosti.

Za ovako projektovan mašinski sistem, na drugom nivou se vrši planiranje i projektovanje tehnologije održavanja. Planiranje tehnologije održavanja se vrši preko definisanja logističke podrške, koja obuhvata: (i) modele održavanja na bazi definisane tehnologije održavanja, (ii) opremu za testiranje i dijagnostiku, (iii) rezervne i popravljive delove, (iv) ljude i obuku rukovaoca i održavaoca, (v) dokumentaciju i software, (vi) uslove eksploatacije, i (vii) transport i rukovanje. Osnove za izbor modela održavanja mašinskog sistema i/ili njegovih sastavnih elemenata predstavlja algoritam, prikazan na slici 3. Osnovni faktori koji opredeljuju model održavanja su: (i) tip proizvodno-tehnološkog procesa, (ii) ponašanje mašinskog sistema pri otkazu, i (iii) politika popravki (odnos između troškova zastoja prouzrokovanih iznenadnim otkazima i troškova planiranog održavanja). Koristeći ove podatke, kao i podatke o radu odnosno zastoji na bazi modela za analizu tehničke i ekonomske efektivnosti (moduli 30 i 40), dolazi se do optimalnog modela održavanja.

Tako dolazimo do četiri osnovna modela održavanja mašinskih sistema i njegovih sastavnih elemenata, a to su: (i) metode planiranog održavanja obuhvataju modele preventivnog održavanja, održavanja na bazi stanja i prediktivno održavanja, i (ii) metod, odnosno model otkaza gde se operacije održavanja izvode nakon pojave neispravnosti.

Model preventivnog održavanja se zasniva na terminiranim operacijama održavanja i obuhvata tri varijante: (i) periodičnu, (ii) sekvencijalnu i (iii) adaptivnu varijantu. Kada postoji baza podataka o ponašanju mašinskog sistema sa stanovišta tehničke efektivnosti primenjuje se periodična varijanta. Drugi model, sekvencijalna varijanta se primenjuje kada se sledeći termin operacije održavanja određuje na osnovu stanja elemenata održavanja. Ovo posebno dolazi do izražaja kod mašinskih sistema koji rade u različitim režimima rada. Kada ne postoje sigurne i potpune informacije o mašinskom sistemu i/ili njegovim sastavnim elementima, primenjuje se adaptivna varijanta. Ovdje se nakon izvođenja operacije održavanja vrši dopunjavanje postojećih baza podataka i provera statističkih zakona raspodele u radu i otkazu, odnosno parametara tehničke efektivnosti.

Održavanje na bazi stanja izvodi se primenom i/ili kombinacijom sledećih varijanti: (i) permanentnim praćenjem stanja, (ii) sekvencijalnim praćenjem bez zaustavljanja, i (iii) sekvencijalnim praćenjem sa zaustavljanjem.

Primena novih tehnika i tehnologija u izgradnji mašinskih sistema, posebno primena mikroprocesora, je unela revoluciju u oblast održavanja na bazi stanja. Kontinualnim praćenjem parametara procesa rada mašinskog sistema (vibracije, temperatura, zvučnost, pohabanost

i drugo), može se predupređiti pojava neispravnosti, a istovremeno postići puno iskorišćenje elemenata mašinskog sistema. Osnovnu tehničko-tehnološku podršku ovog modela održavanja sačinjavaju: (i) instrumenti za kontrolu pojava prskotina (stroboskop, endoskop, penetracija, magnetni tok, itd.), (ii) instrumenti za kontrolu bez razaranja (na bazi ultra zvuka ili X zraka), (iii) instrumenti za merenje i analizu vibracija (vibrometar, analizator), (iv) instrumenti za analizu buke i šuma (bukomeri, industrijski stetoskop), (v) instrumenti za spektrofometričnu analizu maziya, i (vi) praćenje karakterističnih veličina procesa pomoću mikroprocesora.

Za mašinske sisteme vrlo visokog nivoa tehničko-tehnološke složenosti, na bazi razvijenih modela o parametrima tehničke efektivnosti, uz pomoć razvijenog procesora, primenjuje se model prediktivnog održavanja. Ovde se radi o mašinskim sistemima iz procesne industrije, koji moraju da imaju vrlo visok nivo pouzdanosti u radu. I najzad, za mašinske sisteme i njegove sastavne elemente, gde osnovni faktori koji opredeljuju model održavanja ne zahtevaju posebne uslove održavanja, primenjuje se model otkaza.

Za mašinski sistem i/ili njegove sastavne elemente, koji je projektovan i proizveden na bazi parametara održavanja, za koga je razvijena i uspostavljena tehnologija održavanja, na trećem nivou JUPITER modela održavanja, vrši se razvoj i uvođenje računarskog informacionog sistema održavanja. Opšta struktura software-a koji podržava treći nivo ovog modela je prikazan na slici 4. Osnovne karakteristike razvijenog software-a su /1/: (i) modularni princip razvoja, uvođenja i primene, (ii) interaktivni sistem rada između korisnika i računara, i (iii) organizovan sistem baze podataka. On ima tri nivoa: (i) nivo korisnika; na ovom nivou se daje opis korišćenja sistema i generisanje sistema za korisnika, (ii) nivo rada modula, koji obuhvata generator programa za pojedine module i bazu podataka, i (iii) nivo izveštaja, koji je predstavljen generatorom izveštaja. Matične i strukturne datoteke obuhvataju sistemske i korisnikove podatke. Sistemski podaci se koriste za olančavanje baze podataka. Software za funkciju održavanja mogu koristiti: (i) radne organizacije koje imaju sopstveni računar (FORTRAN ili COBOL kompajler), (ii) radne organizacije koje koriste usluge CePTI centra i računar PDP 11/34, i (iii) radne organizacije u CePTI mreži.

### 3. NEKI REZULTATI INDUSTRIJSKE PRIMENE JUPITER MODELA ODRŽAVANJA

Prvi i drugi nivo JUPITER modela održavanja predstavljaju istraživačko-razvojne aplikacije na koji se detaljno radi u CeNT-u, kroz projekte koje finansira Zajednica nauke. Treći nivo, odnosno njegovi pojedini moduli su do sada aplicirali u odredjenom broju proizvodnih sistema. Ovde će nešto detaljnije bi

ti prikazan primer primene za računarski informacioni sistem održavanja u "Kolubari"/3/. Opšti blok model razvijenog i primenjenog sistema je prikazan na slici 5, odakle se može videti da su primenjena prva dva modula trećeg nivoa JUPITER modela.

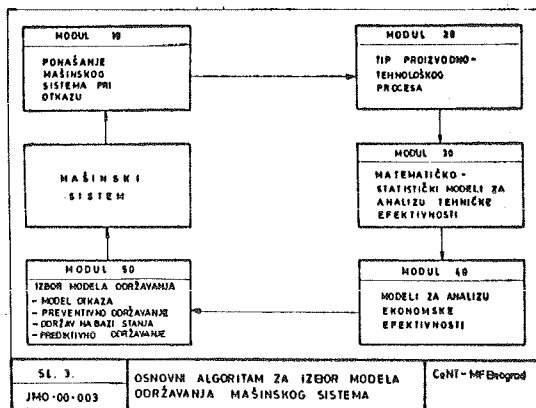
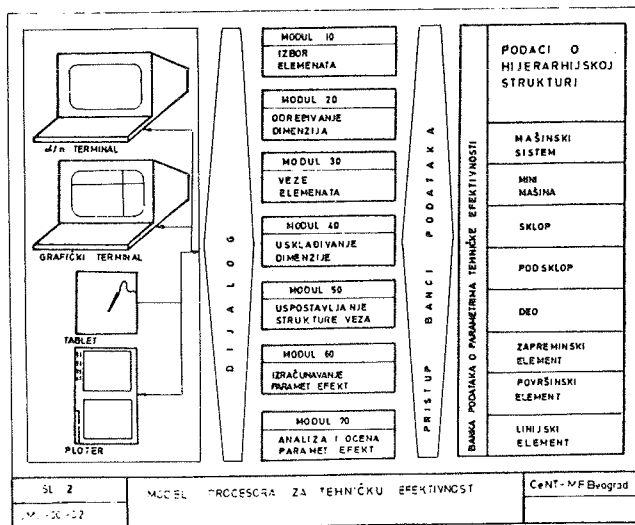
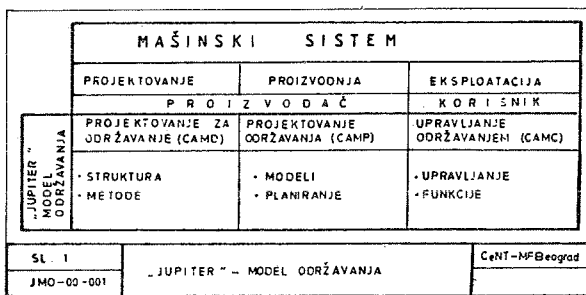
Iz baze podataka oba modula, razvijenim software-om moguće je dobiti niz različitih izveštaja, koji se mogu svrstati u dve osnovne grupe: (i) osnovni izveštaji iz baze podataka, i (ii) dopunski izveštaji iz baze podataka. U osnovne izveštaje spadaju: katalog dokumentacije (po različitim osnovama), katalog standardnih delova (po različitim osnovama), katalog mašina, katalog nestandardnih delova, računarska struktura održavanja (po različitim kriterijumima), računarski pregledi upotrebe (po različitim kriterijumima), planovi održavanja (servisne liste), tehnološki postupak remontnog održavanja, potrebni izvršiocci za preventivno i investiciono održavanje, potrebni rezervni delovi za preventivno i investiciono održavanje, planirani troškovi održavanja, ostvareni troškovi održavanja i niz drugih. Dopunski izveštaji se odnose na specifične potrebe korisnika i dobijaju se prema njegovim potrebama. Navedeni izveštaji se koriste u: (i) službi za razvoj informacionog sistema održavanja za planiranje i upravljanje preventivnim i investicionim održavanjem, (ii) u tehničkim pripremama održavanja za planiranje i upravljanje operacijama održavanja, planiranje potrebnih rezervnih delova i materijala, (iii) u magacinskim rezervnim delova za planiranje, praćenje i upravljanje zalihama, (iv) u službi nabavke za naručivanje i praćenje narudžbi rezervnih delova kao i drugim segmentima proizvodno-poslovnog sistema "Kolubara".

### 4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je na sistematizovan način prikazao JUPITER model održavanja, koji predstavlja inženjerski pristup razrešavanju čitavog niza pitanja u životnom veku mašinskog sistema sa stanovišta održavanja. On se bazira na razvijenim procesorima za prvi, drugi i treći nivo, za koga je software razvijen do kraja. Dalji istraživačko-razvojni napor u CeNT-u idu u pravcu primene modela i koncepta u industrijskim uslovima koji su dati preko nivoa projektovanje za održavanje i projektovanje održavanja.

### 5. LITERATURA

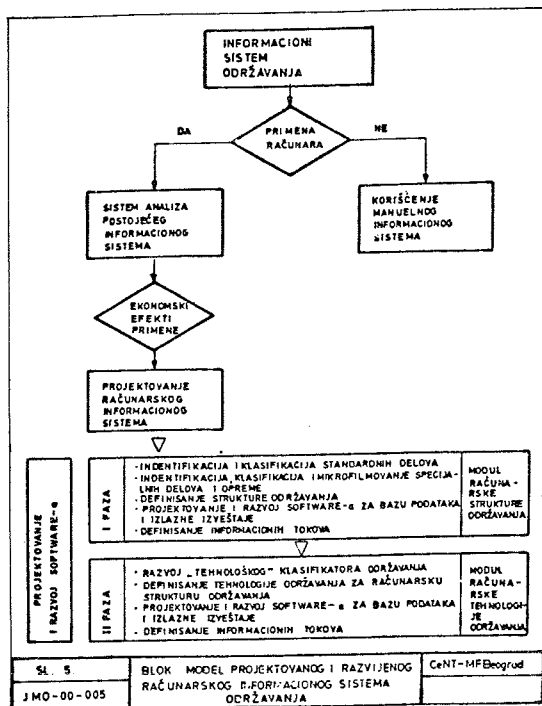
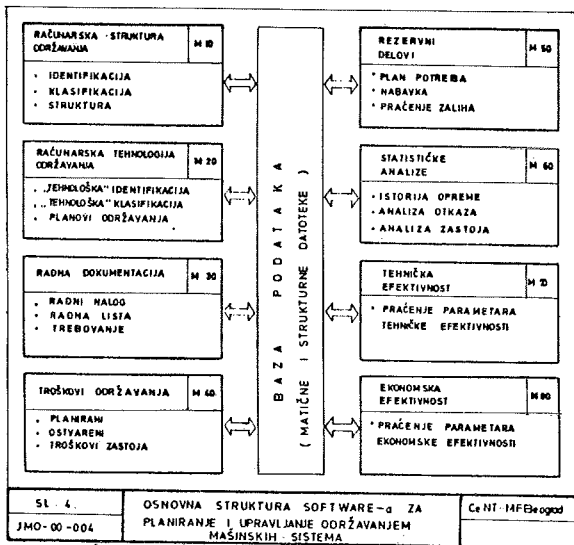
- /1/ Majstorović, V., 1981, Razvoj software-a za planiranje i upravljanje funkcijom održavanja proizvodnih sistema, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd
- /2/ Majstorović, V., Milačić, V., 1983, JUPITER model održavanja mašinskih sistema - priručnik za inženjere, projektante, tehnologe i održavaoce, Mašinski fakultet, Beograd
- /3/ Majstorović, V., Popadić, M., i drugi, 1983, Projektovanje i razvoj informacio-





nog sistema održavanja za mašinske sisteme u SOUR REIK "Kolubara" primenom računara,

XIV Majski skup jugoslovenskih održavalaca sredstava za rad, Osijek





D. Stanivuković\*)  
Ž. Spasić\*\*)   
V. Majstorović\*\*\*)  
S. Kecojević\*

JEDINSTVENI PRISTUP UPRAVLJANJU REZERVNIM DELOVIMA - FORMIRANJE BANKE PODATAKA  
I JUGOSLOVENSKOG CENTRA ZA REZERVNE DELOVE (Centar YUMO R/D)\*\*\*)

R e z i m e

Na XIII Majskom skupu održavalaca sredstava za rad Jugoslavije 1982. godine u Kragujevcu pokrenuta je inicijativa za osnivanje Centra za rezervne delove. Osnovni cilj Centra je da obezbedi potrebne ažurne podatke o r/d. S tim u vezi je sačinjen predlog jedinstvenog klasifikacionog sistema r/d i kreirana banka podataka o r/d koja se ažurira podacima o r/d prikazanim u nosaču informacija. Takođe su pokrenuta istraživanja problema upravljanja r/d i mogućnosti supstitucije uvoza r/d.

AN UNITED APPROACH TO THE SPARE PARTS CONTROL - THE DATA BASIS AND YUGOSLAV SPARE  
PARTS CENTRE (Centre YUMO R/D) ESTABLISHING

S u m m a r y

At the XIII Yugoslav maintenance meeting 1982, in Kragujevac the establishing of the Yugoslav spare parts centre is initiated. The main goal of Centre is to provide the necessary data on spare parts. In that sense the proposal of the united classification system of the spare parts is developed. Also, the data basis of the spare parts is created. This basis could be with the data on spare parts accured. The investigation of the spare parts control and the possibility of the import of the spare parts substitution are also initiated.

1.0 UVOD

Za uvoz opreme /mašina, uredjaja, postroje-  
nja i sl./ i rezervnih delova u poslednjih  
10 godina |1| utrošeno je oko 30 milijardi  
US \$. U domaću opremu i rezervne delove u  
tom periodu investirano jepribližno ista su-  
ma, što znači da je ukupno utrošeno oko 60  
mlrd US \$ .

Procenjuje se da su ukupni troškovi održava-  
nja približno jednaki troškovima investici-  
ja godišnje, jasno je o kolikim se finansij-

skim sredstvima radi. Smatra se da troško-  
vi rezervnih delova iznose približno treći-  
nu ukupnih troškova održavanja, što znači  
da se za r/d godišnje utroši oko 2 mlrd US  
\$.

Poznata situacija koju izaziva nestašica  
r/d ne samo u industriji /takođe i u po-  
ljoprivredi i drugim privrednim granama/  
je uticala da se na XIII Majskom skupu ju-  
goslovenskih održavalaca sredstava za rad

---

\*) dr inž. Dragutin Stanivuković, docent i Slobodan Kecojević, dipl.inž., asistent,  
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, V. Vlahovića 3.

\*\*) dr inž. Žarko Spasić, asistent i mr Vidosav Majstorović, asistent, Mašinski  
fakultet, Beograd, ul. "27. Marta" 80.

\*\*\*) Rad je rezultat dela Radne grupe za razvoj Centra za rezervne delove - YUMO R/D

[4], 1982. u Kragujevcu, pokrene inicijativa za osnivanje Jugoslovenskog centra za rezervne delove - Centra YUM0 R/D. Ciljevi Centra su:

- prikupljanje i obrada podataka o r/d po granama privrede, na osnovu kojih bi se sačinili katalozi organizacija održavanja, katalozi proizvođača r/d i kapaciteta radionica za proizvodnju r/d,
- distribucija podataka or/d korisnicima,
- istraživanja problema upravljanja r/d i mogućnosti supstitucije r/d i materijala za r/d,
- izrade predloga proizvodnih programa r/d i zapošljavanje kadrova,
- i dr.

U vezi s tim sačinjen je jedinstveni pristup upravljanju r/d i predlog banke podataka o r/d - na osnovu nosača informacija i jedinstvenog klasifikacionog sistema za r/d.

Takodje je pokrenut Jugoslovenski naučno-istraživački projekt "ISTRAŽIVANJE PROBLEMA UPRAVLJANJA REZERVNIM DELOVIMA I MOGUĆNOSTI SUPSTITUCIJE UVOZA REZERVNIH DELOVA I MATERIJALA ZA REZERVNE DELOVE" [5] (do sada su pokrenuta parcijalna istraživanja ovih problema u SR Crnoj Gori - Mašinski fakultet u Titogradu i u SAP Vojvodini - Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu) u čijoj realizaciji će učestvovati privredne i naučne organizacije iz cele zemlje.

## 2.0 OSNOVI JEDINSTVENOG PRISTUPA UPRAVLJANJU REZERVNIM DELOVIMA

### 2.1 Ciljevi razvoja banke podataka o rezervnim delovima

Osnovni ciljevi koje treba ostvariti na osnovu korišćenja banke podataka o rezervnim delovima su [2]:

- razvoj jedinstvene metodologije za upravljanje rezervnim delovima u industriji,
- razvoj programske podrške za upravljanje rezervnim delovima /upravljanje zalihama, nabavka, ulazno/izlazne promene stanja na skladištu, planovi, troškovi/,

- štampanje kataloga rezervnih delova za pojedine radne organizacije i grupacije u industriji,
- supstitucija uvoza rezervnih delova,
- organizovanje proizvodnje rezervnih delova i kapacitetima domaćih pogona,
- bolje iskorišćenje pogona i radionica službi održavanja,
- razmene rezervnih delova /prema potrebi i pre otpisa uz koordinaciju Centra YUM0 R/D/,
- sredjivanje magacina rezervnih delova i smanjenje nivoa zaliha,
- zajedničko snabdevanje i skladištenje,
- standardizacija termina, klasifikacije rezervnih delova, kompjuterskih izveštaja i procedura prikupljanja podataka i korišćenja izlaznih izveštaja,
- organizovanje inovacionih kurseva za službe održavanja domaće industrije.

Na osnovu niza pilot-studija i provera [6] u radnim organizacijama i primedaba i oцена na naučnim i stručnim skupovima /IX JUPI-TER-konferencija, XIV Majski skup jugoslovenskih održavalaca sredstava za rad/ definisani su dokumenti za prikupljanje podataka o r/d /opšti podaci o r/d, tehničko-konstruktione karakteristike r/d, crtež, uputstvo za popunjavanje i dr./.

### 2.2 Osnovni podaci o r/d potrebni za banku podataka

Na sl. 1 je prikazan osnovni nosač informacija za prikupljanje podataka o r/d [2].

Osnovni klasifikacioni sistem za r/d prikazan je na sl. 2. Jedinstvena oznaka obuhvata:

- opšti klasifikacioni broj za Centar YUM0 R/D,
- klasifikacioni /identifikacioni/ broj u RO /veza sa katalozima - sopstvenim ili dobavljača/.

Na sl. 3 je prikazan nosač informacija o tehničko-konstrukcionim karakteristikama r/d.

### 2.3 Formiranje banke podataka

Zbog postojećih razlika u prilazima i nivoima upravljanja r/d u radnim organizaci-

jama - od nepostojanja datoteka r/d do kompjuterskog upravljanja r/d - potrebno je sačiniti jedinstvenu metodologiju upravljanja r/d koji pretpostavlja formiranje odgovarajućih banki podataka. Potrebno je razviti programsku podršku /software/ /za potrebe jedinstvene metodologije/ koja omogućuje:

- obradu podataka od opšteg interesa prema postavljenim ciljevima i koncepciji banke podataka o rezervnim delovima u okviru Centra YUMO/RD,
- obradu podataka u pojedinim radnim organizacijama u cilju kompjuterskog upravljanja aktivnostima koje se odnose na rezervne delove pri čemu se prioritet daje upravljanju zalihama rezervnih delova,
- ažuriranje i informaciono usaglašavanje opšte i parcijalnih banki podataka. Ovo se može ostvariti u off-line ili on-line vezi krajnjih korisnika sa Centrom YUMO R/D i računarom PDP 11/34.

Prema tome, programska podrška treba da bude kompatibilna sa raznorodnom opremom /hardware/ instalisanom u industriji i izvedena u programskom jeziku višeg nivoa /COBOL, FORTRAN/. Podaci iz dokumenta OP zapisivali bi se u banku podataka Centra za rezervne delove, dok bi podaci sa dokumenta TK i KS bili sastavni delovi parcijalnih banki podataka po radnim organizacijama.

Na sl. 4 su prikazane faze formiranja banke podataka o r/d. Aktivnosti su detaljnije opisane u [3].

### 3.0 ZAKLJUČNE NAPOMENE

Definisani ciljevi ukazuju na opravdanost formiranja banke podataka o rezervnim delovima kao osnove za angažovanost koje bi se odvijale u okviru Centra YUMO R/D. Opšti podaci bi se memorisali u Laboratoriji za nove tehnologije /kompjuterski sistem PDP 11/34 sa sistemskim software-om/ dok bi se podaci potrebni za upravljanje rezervnim delovima zapisivali u banke podataka pojedinih korisnika iz industrije

uz obezbedjenje komunikacionih veza i kompatibilnosti korišćenja podataka.

Do sada su definisani dokumenti za prikupljanje podataka i parcijalno razradjene faze vezane za klasifikaciju rezervnih delova, projektovanje ulaza i projektovanje sistema programa. Radne organizacije iz industrije poseduju neka rešenja vezana za kataloge rezervnih delova. Kako se ovde radi o dugoročnim aktivnostima u čijim realizacijama treba da učestvuju industrija, naučne institucije i institucije koje će koordinirati navedene aktivnosti potrebno je da se udruživanjem sredstava i rada obezbedi materijalna baza uz odgovarajuću participaciju republičkih i pokrajinskih kao i regionalnih zajednica nauke.

### 4.0 LITERATURA

- [1] Stanivuković, D.: Osnivanje Jugoslovenskog centra za rezervne delove /Centar YUMO R/D/, XIV Majski skup jugoslovenskih održavalaca sredstava za rad, Osijek, 1983.
- [2] Spasić, Ž. i dr.: Upravljanje rezervnim delovima: jedinstvena metodologija sa opštom i posebnim bankama podataka i kompatibilnom programskom podrškom, ibid.
- [3] Spasić, Ž. i dr.: Formiranje banke podataka o r/d - deo aktivnosti JUPITER-sistema i modula TOPIS-sistema, IX JUPITER-konferencija, Herceg Novi, 1983.
- [4] Stanivuković, D. i dr.: Predlog za osnivanje Centra za rezervne delove - YUMO R/D, XIII Majski skup jugoslovenskih održavalaca sredstava za rad, Kragujevac, 1982.
- [5] Stanivuković, D. i dr.: Nacrtno-istraživačkog projekta "ISTRAŽIVANJA PROBLEMA UPRAVLJANJA R/D I MOGUĆNOSTI SUPSTITUCIJE UVOZA R/D I MATERIJALA ZA R/D", Institut za INDUSTRIJSKE SISTEME, Novi Sad, 1983.
- [6] Majstorović, V. i dr.: Osnovi analize pod sistema r/d za grupu izabranih proizvodnih sistema i predviđanje razvoja Centra YUMO R/D, Ibid [1]



R. Nikolić, M. Dragović, M. Pejović<sup>x)</sup>

PREVENTIVNO ODRŽAVANJE I PRAĆENJE STANJA POSTROJENJA UZ POMOĆ  
RAČUNARA U ŽELJEZARI "BORIS KIDRIČ" NIKŠIĆ

R e z i m e

U radu je kratko prikazana problematika korišćenja računara za potrebe održavanja metalurških postrojenja.

Posebno je istaknuta problematika primene i uhodavanja računara u Željezari Nikšić, kao i prikaz postavljenog i razvijenog sistema planiranja i upravljanja aktivnostima preventivnog održavanja uz podršku računara. Takođe su kratko prikazani i neki od efekata ostvareni u dosadašnjoj praksi.

RECHNERGESTUEZTES VORBEUGENDE INSTANDHALTUNG PLANUNG IM STAHLWERK  
"BORIS KIDRIČ" NIKŠIĆ

Zusammenfassung

Im Artikel ist die Problematik EDV - Einfuehrung in Instandhaltung von Sthlwerke kurz betrachtet.

Die Autoren berichten ueber EDV Einlaufs-und Entwicklungs-Probleme im Stahlwerk Nikšić und beschreiben eigenes System zur Steuern von vorbeugende Instandhaltung. Einige Effekte des eingewendeten Systems sind auch kurz beschrieben.

Osnovni cilj održavanja proizvodnih postrojenja je obezbedjenje potrebnog nivoa raspoloživosti. To se postiže održavanjem potrebnog nivoa eksploatacionih karakteristika postrojenja odnosno-u slučaju da su te karakteristike već izgubljene-njihovim vraćanjem na potreban nivo. Sama racionalnost sistema za održavanje ogledaće se kroz troškove ostvarene tokom rada na održavanju, odnosno vraćanju proizvodnih karakteristika, ali

isto tako i kroz promenu ostalih troškova proizvodnje koji su direktno ili indirektno posledica održavanja. Cilj je da se obezbedi optimalno održavanje tj. ono kod kojeg će ukupni troškovi biti minimalni.

Promjena ostalih troškova-sem troškova samog održavanja-izuzetno je velika kod visokoautomatizovanih proizvodnih postrojenja. Takva visoka automatizacija, koja je u cr-

- <sup>x)</sup> Radosav Nikolić dipl.ing. projektant sistema AOP, Željezara "Boris Kidrič" - Nikšić,  
Momčilo Dragović dipl.ing. samostalni saradnik, Instituta IAMA Beograd, 27. marta 80  
Miodrag Pejović dipl.ing. direktor RZ Elektronski računski centar, Željezara "Boris Kidrič" Nikšić.

noj metalurgiji posebno izražena, posledica je logične težnje da se obezbedi visoka produktivnost, poveća kvalitet i eliminišu teški uslovi za izvršioce u proizvodnji. Imajući u vidu da se u crnoj metalurgiji (pored osnovnog) odvijaju i mnogi drugi tehnički procesi, očigledno je da će i mehanizmi proizvodnih postrojenja biti veoma različiti, kako po vrsti tako i po stepenu automatizovanosti. To će svakako zahtevati mnogo više znanja i angažovanja od strane održavanja, a radi ostvarenja njegovog osnovnog cilja. Taj će zadatak biti utoliko teže rešiv, ako se ima u vidu činjenica da se proces, na mnogim mestima u metalurgiji, ne smije prekidati obzirom na težinu posledica koje su najčešće izražene kao prekid u daljem lancu proizvodnje, a neracionalnost se ogleda kroz visoke troškove otklanjanja kvara i izgubljene proizvodnje. Tome treba dodati i činjenicu da su, u konkretnom slučaju, objekti održavanja veoma razudjeni, što za posledicu ima takodje potrebu za boljim planiranjem održavanja. Osnovne aktivnosti održavanja mogle bi se svrstati u nekoliko grupa, u zavisnosti od njihovog cilja i to:

- . aktivnosti na sagledavanju i kontrolni stanja,
- . aktivnosti na sprečavanju kvarova,
- . aktivnosti na otklanjanju kvarova,
- . aktivnosti na pripremi rez. delova i materijala,

Kako je broj podataka koji je, u cilju kvalitetnog upravljanja sistemom, neophodno pratiti, veoma veliki (na primer samo broj stavki rezervnih delova u željezarama se kreće od 35000 - 80000), a promene su veoma učestane to je za ovladavanje procesom neophodno brz i efikasan informacioni sistem. Takav može biti jedino odgo-

varajući kompjuterizovani sistem koji ima mogućnost on-line registrovanja promena i izvodjenja potrebnih aktivnosti. Ovde je svakako potrebno naglasiti da bi odgovarajući hardware - samo za potrebe održavanja - bio verovatno veoma skup, pa se zato mora planirati i njegovo šire korišćenje.

## 2. Razvoj računarske obrade u Željezari Nikšić

Sistematski pristup razvoju automatske obrade podataka i korišćenja računara u Željezari datira od kraja sedamdesetih godina (prvi proizvodni kapaciteti Željezare aktivirani su 1957. god.), a praktično korišćenje računara počelo je 1976. god. instalacijom mašine IBM 370/135.

Shvatajući razvoj sistema planiranja i upravljanja u Željezari kao dio programa modernizacije i proširenja kapaciteta (koji je inače postavljeno na širokoj bazi) pristupilo se faznom uvođenju korišćenja računara za potrebe planiranja i upravljanja, u čemu su danas već ostvareni zapaženi rezultati.

Celokupan posao podeljen je i realizovan u nekoliko faza i to:

### 1) Prethodna studija:

- . Analiza stanja i daljeg razvoja proizvodno-tehničkog i poslovnog sistema Željezare.
- . Utvrđivanje mogućih pravaca racionalizacije.
- . Definisane ciljeva automatizacije sistema u Željezari.

### 2) utvrđivanje plana:

- . Dugoročni plan razvoja AOP
- . Alternativni razvoj sistema
- . Potreban profil sistema za EOP
- . Formiranje embrionalne org. jedinice.

### 3) Izbor i instalacija sistema:

- . Idejno rešenje konfiguracije



sistema

- . Detaljni projekat sistema
- . Zatvaranje konstrukcije finansiranja
- . Nabavka, instalacija i testiranje uređaja

#### 4) Korišćenje i dalji razvoj:

- . Izrada aplikativnih programa
- . Izrada plana razvoja software

### 3. Opis automatizovanog sistema preventivnog održavanja

Automatizovani sistem planiranja i upravljanja preventivnim održavanjem razvijen je na bazi sistema "Kontrola i upravljanje zalihama rezervnih djelova" iz razloga što je dobro

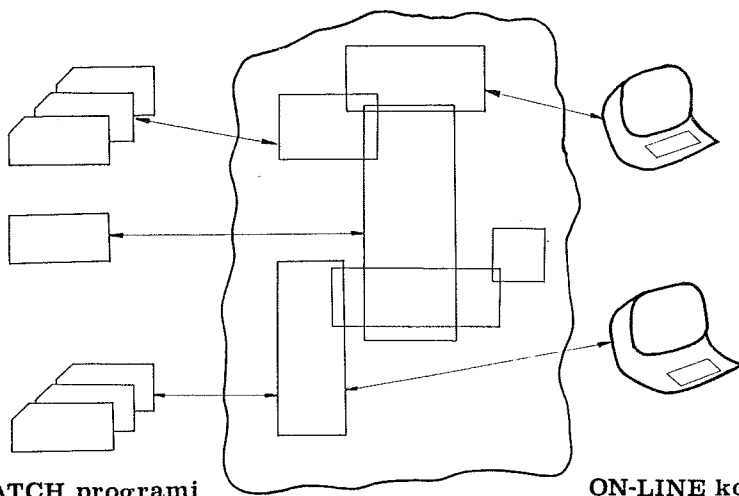
nosno riza preventivnih operacija koje periodično treba izvoditi na ključnim postrojenjima.

- (b)-Evidentiranje i izvještavanje po zastojsima na postrojenjima.
- (c)-Uvid u istorijat obavljenih radova i troškova na pojedinim postrojenjima.
- (d)-Održavanje kataloga rezervnih djelova.

Za potrebe funkcionisanja kompletnog sistema koriste se 4 banke podataka i to:

- rezervni djelovi (materijali)
- postrojenja
- dobavljači
- narudžbe.

### Integralne banke podataka



Sl.1.

upravljanje rezervnim djelovima ključ efikasnog upravljanja održavanjem. Oba sistema funkcionišu uz pomoć terminala, koji se za ove svrhe nalaze i Inspekcijama OOOR-a, Pripremi rada održavanja, Centralnom skladištu, Nabavnom odjeljenju i ERC-u.

Realizacijom projekta "Preventivno održavanje i praćenje stanja postrojenja" obezbjedjena je automatizacija sledećih aktivnosti:

(a)-Formiranje karte postrojenja, od-

Banke podataka organizovane su tako da obezbeđuju medjusobne veze u cilju smanjenja redundancije podataka i bolje iskorišćenosti prostora memorije centralnog procesora u ERC-u.

Ključni posao, na bazi kojeg će da funkcioniše sistem je formiranje podataka o preventivnim operacijama za najznačajnija postrojenja u Željezari. Naime, tehnolozi za pojedine pogone imaju zadatak da na osnovu podataka proizvođača opreme, kao i na

osnovu sopstvenog iskustva, evidentiraju, interaktivno, preventivne operacije, uključujući podatke prikazane na ekranima sl. 2 i 3.

nedeljno za sve preventivne operacije koje treba da se izvedu u tekućoj sedmici. Nakon izvedene preventivne operacije radna lista se pre-

MPUV02 PVZ2	UVID U PREVENTIVNU OPERACIJU	REFERENT	DATUM 09.05.83 09.05.83
SIFRA 20010200 3T IND.PEC 8 NAZIV OPREME: LIVNICA	POSTROJENJE NAZIV	BR.CRTEZA	BR.CRTEZA IZVODJAC: M.A.
SIFRA : 011001	OPERACIJA	TIP OGRANICENJA :: BZ	
NAZIV : KONTROLA EMULZIONE PUMPE	TRAJANJE (CC.MM)	SLEDECE IZVODJENJE 09.06.83	
PERIOD (U DANIMA) 030	STVARNO TRAJANJE	ZADNJE IZVODJENJE	
COVJEK SATI			
: HIDRAULICAR			
OPIS RADOVA KOJI CE SE VRŠITI: IZMIJENITI MAST U LEZAJEVIMA EMULZIONE PUMPE VRŠEĆI IZVODJENJE LEZAJEVA, ISPRATI IH BENZOLOM ILI BENZINOM PA IH OSUSITI. ISPUNITI IH MASTU I UGRADITI U LEZAJNI PROSTOR.			
OPREMA, ALAT I DR. : GARNITURA KLJUČEVA			

Sl.2.

MPUV03 POV03	UVID U PREVENTIVNU OPERACIJU	REFERENT	DATUM 09.05.83 09.05.83
SIFRA 20010200 3T IND.PEC NAZIV OPREME: LIVNICA	POSTROJENJE NAZIV	BR.CRTEZA	BR.CRT.OPR: IZVODJAC : M.A.
MATERIJAL			
REBR 1	SIFRA 1210500134	NAZIV MAST ZA PODMAZIVANJE	STANJE 10.00
		PL:KOL UTR.KO 000,1	J/H KG
SIFRA : 011001 NAZ.OPE. : KONTROLA EMULZIONE PUMPE			

Sl.3.

Utvrđivanjem intervala izvodjenja stvorena je mogućnost štampanja radne liste za preventivne operacije kojima je interval izvodjenja istekao (sl.4). Radne liste se štampaju u inspekcijama OOUR-a i to jednom

daje poslovodji radi evidentiranja datuma izvodjenja direktnim upisom putem terminala.

Evidentiranje nastalih zastoja u radu postrojenja, po njihovoj pripadnosti i vremenu trajanja vrši smejn-

DATUM 13.06.83

RADNA LISTA ZA PREVENTIVU BR. 1100100000110101

OPREMA CELICANA  
 OPREMA OHP P.EC 60 I BR.1 BR.CR.  
 POSTROJENJE OHP P.EC 60 I BR.1 BR.CR.

IZVODAC : MASINSKA AUTOMATIKA TIP OPERACIJE : BZ

\*\*\* PREGLED REGULATORA DUVODA ULJA \*\*\*

SPECIJALNOSTI : HIDRAULICAR

OPIS RADOVA : PREGLEDATI REGULATOR I ZAMIJENITI DIHTUNG

OPREMA, ALAT I DR.: HIDRAULICNI ALAT

## MATERIJAL

MB.	SIFRA	NAZIV	PL. K. UT. P. J/M
1	1204008849	DIHTUNG 10E	001.0

PLAN. DATUM	28.05.83	PLANIRANO TRAJ. (CC.MM)	0.15
DATUM IZVOD.		STVARNO TRAJA. (CC.MM)	
		ODV. SATI (CC.MM)	

S1.4.

ski poslovođa proizvodnje uz saglasnost dežurnog izvršioca održavanja, odnosno lica koje je otklanjalo zastoje. Popunjeni obrasci se dostavljaju na unošenje putem terminala. Na bazi popunjenih podataka

štampanju se razni sumarni izvještaji u ERC-u dok je Službi održavanja obezbijedjen terminalski uvid u zastoje po postrojenjima.

MPOR001 PORD		SPISAK REZERVNIH DJELOVA				DATUM 9.05.83	
P O S T R O J E N J E							
SIFRA	NAZIV	P O S T R O J E N J A	TIP	GRPO	ST.UTI	CAS.PR.	J/M
20010200	3T IND. PEC		1		25		
SIFRA R/D NAZIV REZERVNOG DIJELA							STRANA 1
							STANJE
							NARUCENO
1204008848		DIHTUNG 10E					4
1204008899		RAZVODNIK 4W					4
1204009143		PRIRUBNICA FLI					3
1204009224		SPOJNICA 560I					10
1210007047		ZUPCANIK					6
1210100500		VENTIL					1
1393600205		REGULATOR					3
1393600418		SPOJNICA					1
1393900993		OPRUGA NM-5					1
1393901078		REHENICA					2

S1.5.

Prevažodni cilj aktivnosti održavanja kataloga rezervnih djelova je da se korisnicima sistema obezbijedi terminalski uvid u potrebe za djelovima. Odnosno, poznajući šifru postrojenja korisnik lako dolazi do

tivnosti remonta, bilo godišnjih ili periodičnih. Projektno rešenje omogućava dobijanje na terminalu pregleda svih radnih naloga vezanih za određeno postrojenje, zatim pregleda materijalnih troškova, utrošenog

MKPZP001		VEZA REZERVNI DIO - POSTROJENJE		DATUM 09.05.83	
KUPID	R/D	HAZIV REZERVNOG DIJELA	J/M	PLAN. CIJENA	
1204008848	014TUNG 10E	STANJE 4,00	KOM	75	
POSTROJENJA NA KOJIMA SE UGRADJUJE					STRANA 1
SIFRA	HAZIV POSTROJENJA				
10010100	60T UHP PEC 1				
10010500	10T EL. PEC 5				
10050000	30T VAKUM				
20010200	3T INO.PEC 8				

Sl.6.

podataka o rezervnim djelovima koji tom postrojenju pripadaju (ekran sl.5).

Sa druge strane dolazimo do podataka u koja se sve postrojenja ugrađuje određeni rezervni dio(sl.6).

Važnost podataka o dosadašnjim kvarovima i popravkama na pojedinim postrojenjima korišćenjem AOP-a je u tome što se tokom vremena iz tih podataka mogu uočiti područja sa visokim troškovima, odnosno postrojenja i oprema koji uzrokuju probleme. Praćenje stanja postrojenja omogućava nam dobijanje pregleda sa hronološkim popisom i opisom svih intervencija koje su obavljene na pojedinom postrojenju što nam može biti od pomoći u rješavanju sadašnjeg kvara, a takodje i prilikom planiranja ak-

i normiranog vremena po navedenim radnim nalogima. Pored toga predviđena je mogućnost dobijanja detaljnih podataka po konkretnom radnom nalogu kao: pregled ugradjenih rezervnih djelova, pregled izvodjača sa podacima o aktivnostima i vremenu (ostvareno/normirano). Navedeni pregledi će se dobijati na terminalu za radne naloge čiji datum završetka nije stariji od jedne godine, dok će se pregledi za ostale radne naloge štampati u ERC-u, po zahtevu korisnika.

#### Literatura:

1. V.Šolaja i saradnici: Granice održavanja u zemljama u razvoju - neka jugoslovenska iskustva, V Kongres evropskog udruženja održavalaca EFNMS, Opatija 1980.
2. Dokumentacija interne cirkulacije iz Željezare "B.Kidrič" Nikšić.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE TITIGRAD, 1983.GOD.

Djukanović Vojin, dipl.ing.dipl.ecc, P.predsjednik POŽ-a  
Nikolić Radosav, dipl.ing, vodeći projektant  
Pejović Miodrag, dipl.ecc, direktor RZ ERC-a  
Žujović Radisav, dipl.ing, član POŽ-a

UPRAVLJANJE I KONTROLA ZALIIHA REZERVNIH DJELOVA I MATERIJALA U ŽELJEZARI "BORIS KIDRIČ"-NIKŠIĆ UZ POMOĆ RAČUNARA

R e z i m e

U radu je prikazan sistem kontrole i upravljanja zalihama rezervnih djelova onakav kakav on u praksi funkcioniše u Željezari "Boris Kidrič"-Nikšić. Namjera nam je bila da koristeći originalne primjere ključnih poslova sa terminalskih ekrana slikovito prikažemo sistem koji se već pokazao veoma efikasan i od kojeg očekujemo da doprinese smanjenju zaliha rezervnih djelova, a time i oslabadajnju izvjesne količine finansijskih sredstava angažovanih u zalihama.

MANAGEMENT AND CONTROL OF STOCKS SPARE PARTS AND MATERIALS IN STEEL WORK "BORIS KIDRIČ"-NIKŠIĆ BY COMPUTER

S u m m a r y

In operation was shown system control and management of stock (reserve) such as it works in practice in Željezara "Boris Kidrič" - Nikšić. We have intention to use original examples of main jobs from terminal screen picturesquely give review of a system which was already show forth very effective and we expect that it will contribute reducing stocks of spare parts, and with that exemption of certain quantity financial resourses engaged in stocks.

1. Uvod

Za potrebe procesa održavanja u Elektronskom računskom centru projektovani su sledeći poslovi: Upravljanje i kontrola zaliha rezervnih djelova i materijala, preventivno održavanje i praćenje stanja postrojenja te interventno održavanje. Prioritet za

realizaciju dat je poslu "Upravljanje i kontrola zaliha rezervnih djelova i materijala", od kojeg se očekuju najveći efekti. Rješenja data u projektu su isključivi odraz zahtjeva u praksi, što je i razumljivo obzirom da su ih posta-

vili ljudi koji se svakodnevno suočavaju sa ovim problemima. Za rješavanje ovih problema nudjeni su gotovi programski proizvodi (paketi) čija se cijena kretala cca 100.000 \$. Prije realizacije ovog posla do detalja su izučena rješenja koja su nudjena paketima i nakon kompleksne analize odlučili smo se za realizaciju sopstvenih rješenja koja smo izveli sopstvenim snagama. Održavanje sopstvenih programa danas teče bez ikakvih problema, što nije slučaj kada je u pitanju kupovima gotovih - tuđih paketa. I najzad, i sa stanovišta cijene programa nije bilo opravdano ići na kupovinu istog.

## 2. Kratak opis manualnog načina rada koji je prethodio uvodjenju ON-LINE sistema

U sistemu za kontrolu i praćenje zaliha materijala i rezervnih djelova zastupljene su sledeće organizacione cjeline:

- odjeljenje za rezervne djelove (smješteno u službi odražavanja),
- nabavno odjeljenje
- centralno skladište
- ERC.

Kad su u pitanju rezervni djelovi brigu o stanju na zalihama je vodilo isključivo odjeljenje za rezervne djelove. Za te svehe ovo odjeljenje se koristilo tkzv. materijalnim karticama na kojima je vršeno knjiženje ulaza, izlaza i naručivanja. Prilikom zaprimanja ili izdavanja djelova iz skladišta, skladištari su formirali dokumentaciju koja se prosledjivala na dalju obradu (kalkulantska grupa pri skladištu i ERC), a takođe ažurirali stanje na "ležećim" karticama koje se nalaze na rezervnim djelovima. Kalkulantska grupa na osnovu dokumentacije prispjele od stra-

ne skladištara ažurira svoje "viseće" kartice i prosledjuje dokumentaciju ERC-u na dalje knjiženje. Odjeljenje za rezervne djelove je jednom nedjeljno od skladištara dobijalo izvještaj o ulazu i izlazu rezervnih djelova na bazi kojeg je vršilo ažuriranje materijalnih kartica, realizaciju narudžbi i otvaranje novih narudžbi. U ERC-u se vršio mjesečni obračun materijalnog poslovanja po planskim cijenama, štampani razni izvještaji, katalogi i td. Osnovni nedostatak ovakvog načina rada (praćenje zaliha za 50.000 materijala i rez.djelova) bila je neažurnost, otežano praćenje stanja zaliha, što je u nekim slučajevima dovodilo do gomilanja zaliha a u drugim do nedostatka rezervnih djelova. Takvo stanje je imalo direktnog odraza na rad postrojenja, odnosno na pružavanje zastoja usled nedostatka rezervnih djelova, pa je i postavljen prevashodni cilj iskoristiti mogućnosti novonabavljenog računara (procesor 4341) da bi se na sistematski način upravljalo zalihama u cilju povećanja ažurnosti, optimizacije pravovremenog naručivanja i kontrole zaliha.

## 3. ON-LINE sistem kontrole i upravljanja zalihama

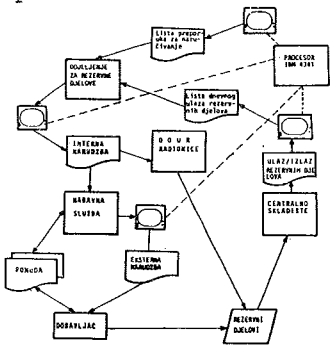
Aktivnosti koje su prethodile uvodjenju ON-LINE sistema kontrole i upravljanja zalihama rezervnih djelova i materijala su:

- dosledna primjena metodologije šifarskog sistema za materijale i rezervne djelove
- priprema tehničkih podataka o rezervnim djelovima na bazi kojih će da funkcioniše sistem.

Rezervni djelovi i materijali su šifrirani po jedinstvenom šifarskom sistemu sa 10-to mjesnom šifrom koja sadrži klasifikaciju djelova i materijala.

Za sve rezervne djelove pripremljeni su kataloški podaci i to: šifra, naziv, jed.mjere, planska cijena, tip, prioritet, matriciranost, br.crteža, kataloški broj, minimum, maksimum, količina za naručivanje i br.mjesta ugradnje.

Navedeni podaci uz preuzete podatke o stanju na zalihama su omogućili da sistem počne sa radom.



ON-LINE SISTEMI UPRAVLJANJA I KONTROLE ZALIH REZERVNIH REZERVNIH DJELOVA U DELICIJAMA "BOSNA STRANA" - B I S I S

Minimalna zaliha je tako definisana da ona predstavlja signal za naručivanje. Računar svakodnevno u odjeljenju za rezervne djelove daje listu rezervnih djelova čija je zaliha spala na minimalnu količinu ili ispod nje. Na bazi te liste ispostavljaju se interne narudžbe koje se evidentiraju na terminalu i to predstavlja prvu kariku u lancu naručivanja rezervnih djelova. Rješenja su prilagodjena da se direktno štampaju interne narudžbe ali za početak je ostavljena mogućnost njihove selekcije dok se sistem u potpunosti ne uhoda. Na bazi ispostavljene interne narudžbe i prikupljenih ponuda nabavno odjeljenje ispostavlja eksternu narudžbu koja se štampa na lokalnom štampaču u nabavnom odjeljenju.

EVIDENTIRANJE NARUČENJA/POSILA										
IMENSKI	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA
1	30000010	ALUMINIJ	4314	12x1500	KOM NAB.	30			1.05.83	
2	30000018	ALUMINIJ	4314	25x1500	KOM NAB.	10			1.05.83	
3	30000016	ALUMINIJ	4314	32x1200	KOM NAB.	10			1.05.83	
4	30000018	ALUMINIJ	4314	10x90	KOM NAB.	30			1.05.83	

Kada roba stigne u skladište skladištar formira dokumentaciju i prosledjuje je na evidentiranje preko terminala. Evidencija ulaza i zlaza robe u skladište ažurira banke podataka rezervnih djelova i materijala, kao i vrši realizaciju narudžbi u banci podataka narudžbi. Takođe se istim poslom pripremaju preporuke za naručivanje, liste ulaza rezervnih djelova i ulaza i izlaza osnovnih sirovina.

LISTA U PAKOVANJE ZA MATERIJAL										
IMENSKI	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA
66	45	24.02.83								24.02.83
41	864	11.02.83	100100	31	2.000	MBI				11.02.83
41	1048	14.02.83	100100	29	2.000	MBI				14.02.83
41	892	04.02.83	100100	71	1.000	MBI				04.02.83
41	1003	21.01.83	400000		8.299	MBI				21.01.83
41	12	02.01.83	400000		2.000	MBI				02.01.83
41	531	25.11.82	400000		30.000	MBI				25.11.82
11	31	25.11.82								

Odjeljenju rezervnih djelova odnosno ljudima iz procesa održavanja omogućeno je da na interaktivan način izvode neki od sledećih poslova:

POSLEDI KONTRORNE ZALIH I NABAVNE REZERVNIH DJELOVA									
ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA	ŠIFRA
K210	EVIDENTIRANJE POSILJARA ZA NOVU REZERVNI DIO								
K212	ŠIFROVA POSILJARA ZA REZERVNI DIO								
K214	VIDE U STANJE ZALIH REZERVNIH DJELOVA								
K216	VIDE U PAKOVANJE ZA REZERVNI DIO								
K218	VIDE U STANJE ZALIH NARUČENJE								
K220	ŠTAMPANJE INTERNE NARUČBE								
K222	ŠTAMPANJE EKSTERNE NARUČBE								
K224	ŠTAMPANJE OBLIČNE BANKE REZERVNIH DJELOVA								
K226	ŠTAMPANJE OBLIČNE BANKE REZERVNIH DJELOVA								
K228	ŠTAMPANJE OBLIČNE BANKE REZERVNIH DJELOVA								
K230	ŠTAMPANJE REZERVNIH STANJA								

UNESI ŠIFRU OBRANOG POSLA

Na osnovu šifre rezervnog dijela dobijaju se kompletni podaci o istom uključujući i podatke o: trenutnom stanju na zalihama, datumi zadnjeg ulaza i izlaza iz skladišta, podaci o naručenim količinama, početno stanje zaliha za tekuću godinu, ukupan ulaz i izlaz za tekuću godinu, potrošnja za zadnje tri godine.

IZLAZ		ULAZ		STANJE		DATUM	
STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE	STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE
8,000	23.11.82	20,000	79,000	11,000			
	11.02.83	30,000		8,000			
				18,000			

Ako postoje podaci o naručenoj količini veoma jednostavno dolazimo do podataka o narudžbi po kojoj je naručen rezervni dio koji nas interesuje.

IZLAZ		ULAZ		STANJE		DATUM	
STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE	STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE
8,000	23.11.82	20,000	79,000	11,000			
	11.02.83	30,000		8,000			
				18,000			

Ukoliko nas interesuju detaljni podaci o narudžbi čiji smo broj saznali dovoljno je da se pozovemo na isti i da dobijemo sliku narudžbe onakve kakva je upućena dobavljaču. Ukoliko smo pak zainteresovani da pogledamo sve narudžbe po nekom dobavljaču pozvaćemo se na njegovu šifru iz širarnika dobavljača. Analitički pregled ulaza i izlaza rezervnih djelova iz skladišta za zadnju godinu dana može se direktno dobiti na ekranu, a podaci stariji od jedne godine arhiviraju se kao istorijski.

STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE	STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE
8,000	23.11.82	20,000	79,000	11,000			
	11.02.83	30,000		8,000			
				18,000			

U nabavnom odjeljenju i skladišnoj službi mogu da se obavljaju navedeni interaktivni poslovi:

IZLAZ		ULAZ		STANJE		DATUM	
STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE	STANJE	ULAZ	IZLAZ	STANJE
8,000	23.11.82	20,000	79,000	11,000			
	11.02.83	30,000		8,000			
				18,000			

Za funkcionisanje kompletnog sistema iskorišćeni su sistemski resursi kako slijedi:

**ODJELJENJE REZERVNIH DJELOVA:**  
6 terminala + 2 štampača

**NABAVNO ODJELJENJE:**  
3 terminala + 1 štampač

**CENTRALNO SKLADIŠTE:**  
3 terminala + 1 štampač

Pošto je u željezari u toku realizacija ostalih poslova vezanih za praćenje proizvodnje i planiranje preventivnog održavanja to se i terminali instalisani za ove potrebe mogu koristiti za poslove upravljanja i kontrole zaliha rezervnih djelova. Uz opisane interaktivne poslove u cilju efikasnijeg i racionalnijeg funkcionisanja opisanog sistema štampaju se razni BATCH izvještaji po raznim nivoima, počev od poslovdnih organa pa do referenata za rezervne djelove. Navodimo nekoliko primjera takvih izvještaja:

- Stanje zaliha rez.djelova vrednosno i količinski iznad maksimuma,



- spisak rez.djelova koji zadnje godine nijesu imali potrošnju,
- izvještaj o otvorenim narudžbama,
- izvještaj o realizovanim i djelimično realizovanim narudžbama,
- izvještaj o ažurnosti i ponašanju dobavljača sa stanovišta roka isporuke robe, visine i učestalosti prekoračenja u odnosu na ugovoreni rok isporuke sa svim pratećim podacima.

#### 4. Efekti realizacije projekta

- Obezbjedjena dnevna ažurnost podataka,
- Optimalizacija zaliha rezervnih djelova i materijala,
- Sigurnije obezbjedjenje rezervnih djelova, jer je ljudski faktor sveden na minimum, što ima direktonog odraza na efektivni rad postojenja,
- Direktnim uvidom potrošnje rez.djelova i materijala za poslednje tri

godine pruža se vanredna mogućnost za izradu ekonomskog modela o optimalizaciji zaliha i ocjenu ispravnosti angažovanja novčanih sredstava u zalihe,

- Ocjenjuje se da će se u 1983.god.za-lihe smanjiti za 15% što bi značilo za 195.000.000din.(prosječna vrijednost zaliha u ovom periodu je cca 1.300.000.000 din.).

Uštede koje proizilaze iz ovog smanjenja računata samo prema kamatama po kojima se dobijaju kratkoročni krediti za obrtna sredstva:

$195.000.000 \times 28\%/100 = 54.600.000 \text{ din.}$

Tu su dalje šanse za smanjenje troškova držanja zaliha na skladištu, povećanje koeficijenta obrta i sl.



Slavko Arsovski, \*)  
Branislav Jeremić

PRILOG ISIRAZIVANJU UTICAJA STEPENA AUTOMATIZACIJE ALATNIH MAŠINA NA VREDNOST ODRŽAVANJA

R e z i m e

Analizom poslovanja većeg broja proizvodnih sistema ustanovljeno je veliko učešće funkcije održavanja u ukupnoj vrednosti proizvodnje. Pri tome je primećeno da je učešće vrednosti održavanja u vrednosti proizvodnje vrlo različito i da isto pre svega zavisi od stepena automatizacije proizvodne opreme. U radu su dati neki rezultati ispitivanja uticaja stepena automatizacije alatnih mašina na vrednost održavanja.

S u m m a r y

By means of an analysis of performance of a large number of production systems, it was established that the maintenance function represents a large part of the total value of the production. It was also noticed that the share of the maintenance costs in the total production value varies, depending primarily on the level of automation of the production equipment. Presented in the paper are some results of investigations of the effects of the level of automation on the maintenance costs.

1. UVOD

Poznato je da se povećanje produktivnosti rada u proizvodnim sistemima industrije prerade metala može postići između ostalog i povećanjem stepena automatizacije alatnih mašina. Ovaj, već klasičan put povećanja produktivnosti rada, dominirao je do 60-tin godina ovog veka. Rezultat toga su visokoautomatizovane alatne mašine niske fleksibilnosti.

U ovom radu razmatran je uticaj stepena automatizacije alatnih mašina na vrednost održavanja. Razmatrane grupe alatnih mašina tako su izabrane da najvišem stepenu automatizacije istih korespondira najveća složenost alatne mašine.

Rezultati istraživanja odnose se na jedan proizvodni sistem sa pretežno velikoserijskom

\*) Mr Slavko Arsovski, asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu  
Mr Branislav Jeremić, asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Sestre Janjić 6

proizvodnjom, pri čemu dominiraju mašine visokog stepena automatizacije. Funkcija održavanja je izdvojena iz proizvodnog sistema. U prvom delu rada dati su osnovni model za izračunavanje vrednosti održavanja i učešće vrednosti održavanja u ukupnoj vrednosti proizvodnje posmatranog proizvodnog sistema. U drugom delu rada dati su neki rezultati istraživanja uticaja stepena automatizacije na vrednost održavanja za četiri karakteristične grupe alatnih mašina različitih stepena automatizacije.

## 2. VREDNOST ODRŽAVANJA

U literaturi i praksi češće se govori o "troškovima održavanja", pri čemu je u iste uključeni i rad na održavanju opreme. Kako se rad u socijalističkom društvu ne javlja kao trošak, već se isti tretira kao vrednost, ispravnije je govoriti o vrednosti rada, odnosno, o vrednosti održavanja.

Vrednost održavanja sadrži dve osnovne komponente:

- vrednost rada na održavanju opreme i
- vrednost materijala i delova ugrađenih u opremu.

Pored ovog vrednost održavanja obuhvata i amortizaciju opreme, uređaja i alata koji se koriste pri održavanju.

Prema [1], vrednost rada na održavanju iznosi:

$$V_{\text{odr}} = \frac{V_0}{V_{\text{osr}}} \cdot \frac{t_k}{F} \cdot \sum_{o=1}^n (LD)_o \quad \text{gde je:}$$

- $V_0$  [din/min] - vrednost obrade posmatrane operacije,
- $V_{\text{osr}}$  [din/min] - srednja vrednost obrade u posmatranom proizvodnom sistemu,
- $t_k$  [min] - komadno vreme,
- $F$  [min] - vreme koje se troši u toku godine na proizvodnju svih artikala u proizvodnom sistemu
- $\sum (LD)_o$  [din] - bruto lični dohodci svih radnika koji rade na održavanju proizvodne opreme

Na ovaj način može se odrediti učešće održavanja u vrednosti svake operacije, odnosno, u vrednosti proizvodnje. Ispitivanja su pokazala da vrednost održavanja čini 3-10% od vrednosti proizvodnje. Na sl. 1. prikazana je struktura vrednosti proizvodnje jednog složenog proizvoda.

Rad na održavanju proizvodne opreme i alata tretira se kao indirektni rad. Ako se uzme u obzir i činjenica da je funkcija održavanja najčešće izdvojena iz proizvodnog sistema i da obavlja usluge za veći broj proizvodnih sistema, određivanje stvarno utrošenog rada na održavanju je znatno otežano. Jedan od načina za određivanje utrošenog rada funkcije održavanja je preko broja uslovnih radnika. Na sl. 2. prikazana je struktura indirektnog rada koji se obavlja van proizvodnog sistema za potrebe posmatranog proizvodnog sistema. U odnosu na ukupan utrošeni prosti rad koji se obavlja van posmatranog proizvodnog sistema na poslove održavanja troši se 47% časova prostog rada godišnje.

Sa sl. 2. jasno se uočava veliki utrošak rada na održavanju. Iz tih razloga treba tražiti puteve optimizacije funkcije održavanja i to sa organizacionog i tehničko-tehnološkog aspekta. Sigurno je da struktura proizvodne opreme bitno utiče na organizaciju funkcije održavanja. Raznorodna i složena proizvodna oprema čini rad na održavanju složenijim, uz istovremeno povećanje vrednosti rada na održavanju iste.

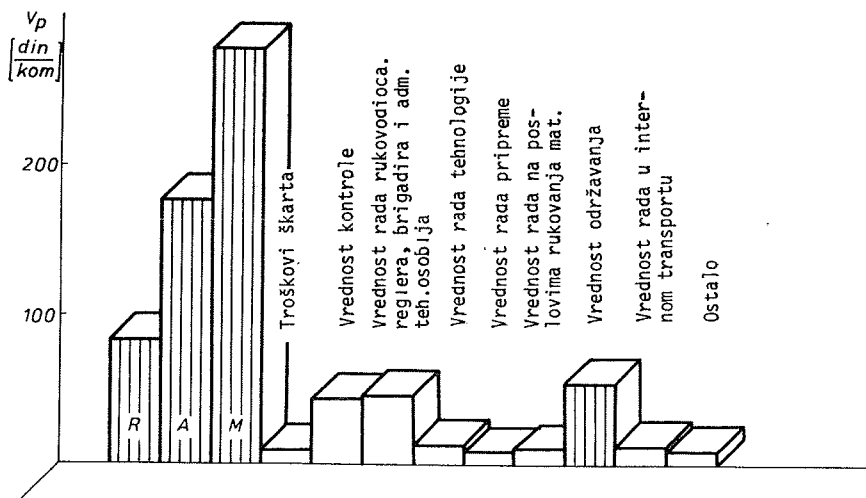
Učešće amortizacije opreme za održavanje je neznatno, pa isto nije uključeno u vrednost održavanja.

## 3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Analizirane su sledeće grupe alatnih mašina različitih stepena automatizacije:

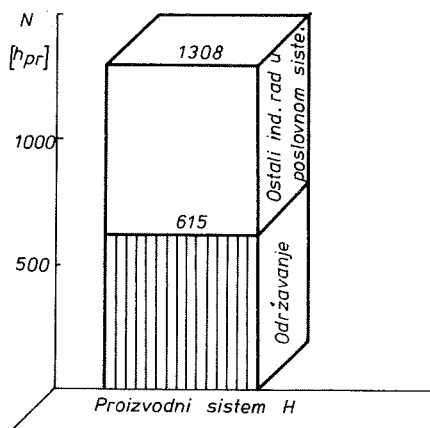
- šestovreteni automati (A),
- kopir strugovi (B),
- viševretene bušilice (C), i
- mašine za odvalno glodanje (D).

Mašine u okviru jedne grupe su isporučene od



Sl. 1. Učešće vrednosti održavanja u vrednosti proizvodnje jednog proizvoda

strane istog proizvođača, približno su istih karakteristika složenosti i stepena automatizacije. Analizom je utvrđeno da najveći stepen automatizacije imaju šestovreteni automati, nešto niži stepen automatizacije imaju kopir strugovi i viševretene bušilice, a mašine za odvalno glodanje imaju najniži stepen automatizacije.

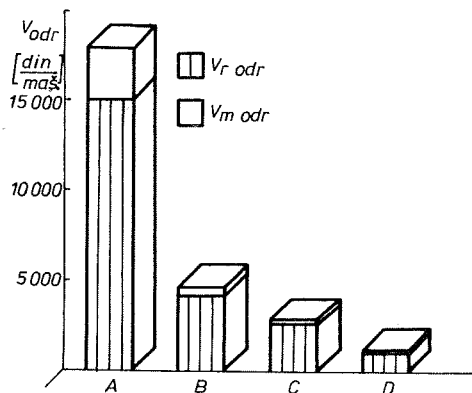


Sl. 2. Struktura utrošenog indirektnog prostog rada koji se obavlja na nivou poslovnog sistema za potrebe proizvodnog sistema H

Aktivnosti održavanja u posmatranom poslovnom sistemu prate se preko računara, što je omogućilo brzo i tačno iskazivanje svih neoph-

dnih parametara vezanih za vrednost održavanja.

Na sl. 3. prikazane su vrednosti rada na održavanju i vrednosti materijala i delova koji se ugrađuju u alatne mašine.

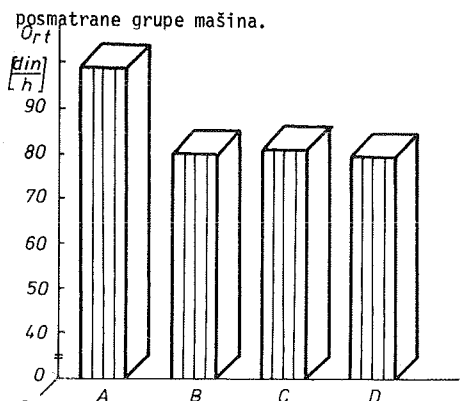


Sl. 3. Struktura vrednosti održavanja

Sa sl. 3. jasno se može uočiti da alatne mašine sa većim stepenom automatizacije istovremeno iziskuju i veću vrednost održavanja.

Praćenjem i utrošenog vremena koje je potrebno za održavanje svih mašina iz posmatranih grupa može se doći i do siedećeg vrlo interesantnog pokazatelja. To je odnos vrednosti rada na održavanju i utrošenog vremena na održavanju.

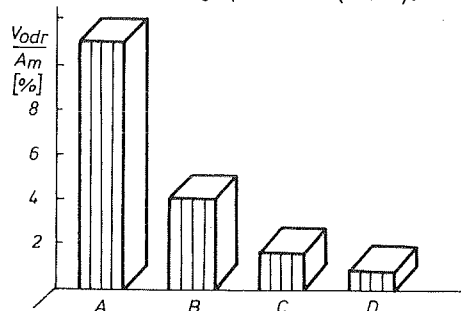
Na sl. 4. prikazani su ovi odnosi za četiri



Sl. 4. Odnos vrednosti rada i utrošenog vremena na održavanju mašina

Kod prve grupe mašina (mašine najveće složenosti i stepena automatizacije) potrebno je uložiti više rada stručnjaka raznih profila (hidrauličari, mehaničari, električari, itd.) u odnosu na ostale grupe mašina.

U zapadnoj literaturi i praksi troškovi održavanja daju se kao procenat vrednosti mašine i kao takvi sabiraju sa amortizacijom i ulaze u strukturu cene koštanja kao fiksni troškovi. Stoga je interesantno ustanoviti odnose vrednosti održavanja i godišnjih iznosa amortizacije za posmatrane grupe mašina (sl. 5).



Sl. 5. Odnos vrednosti održavanja i godišnjeg iznosa amortizacije

Iz poslednje slike jasno se vidi da sa povećanjem složenosti i stepena automatizacije alatnih mašina raste i vrednost održavanja. Sa druge strane, teza iz zapadne literature da se "troškovi održavanja" uzmu kao određeni procenat vrednosti mašine, odnosno, amortizacije je pogrešna jer se pri tome mora uzeti u obzir i stepen automatizacije alatne mašine.

#### 4. ZAKLJUČCI

Iz prethodnog mogu se izvući sledeći zaključci:

- funkcija održavanja najčešće nije optimalno organizovana, te se na poslovima održavanja troši i do 50% od ukupnog indirektnog rada van proizvodnog sistema. Za posmatrani proizvodni sistem troši se 47% indirektnog prostog rada van istog na poslovima održavanja;
- Zbog relativno velikog učešća rada na održavanju, isti opterećuje vrednost proizvodnje u iznosu i do 10%. U primeru datom u tekstu vrednost održavanja čini 6,4% vrednosti proizvodnje;
- Vrednost održavanja raste sa porastom složenosti i stepena automatizacije alatnih mašina. Iako je vrednost održavanja visoko automatizovanih alatnih mašina i do 20 puta veća od iste kod alatnih mašina nižeg stepena automatizacije;
- Kod alatnih mašina većeg stepena složenosti i automatizacije odnos vrednosti održavanja i vremena potrebnog za održavanje veći je nego kod alatnih mašina nižeg stepena automatizacije;
- Stepen automatizacije alatnih mašina manifestuje se i preko odnosa vrednosti održavanja i vrednosti amortizacije. Kod alatnih mašina visoke automatizacije ovaj odnos je oko 11% i sa smanjenjem stepena automatizacije alatnih mašina isti se smanjuje na 0,76%.

#### 5. LITERATURA

- 1 B. Ivković, Obrada metala rezanjem - Izbor ekonomičnih režima rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.
- 2 H. J. Warnecke, H. J. Bullinger, R. Hichert, Kostenrechnung für Ingenieure, 2. Auflage, Carl Hauser Verlag, München, Wien, 1981.
- 3 S. Arsovski, Struktura troškova obrade i lični dohodak radnika na proizvodnim mašinama sa numeričkim upravljanjem u domaćim proizvodnim sistemima, Tribologija u industriji (posebno izdanje), MF Kragujevac, 1981.

Branislav Jeremić \*)  
Slavko Arsovski

INTENZITET POJAVE OTKAZA KOD ALATNIH MAŠINA U FUNKCIJI STEPENA AUTOMATIZACIJE

R e z i m e

U velikim proizvodnim sistemima gde je zastupljena oprema različitog stepena automatizacije, valjanost modela optimalnog planiranja rezervnih delova je funkcija sistematskih analiza pojave otkaza kao i vrsta istih.

U Saopštenju se daju rezultati praćenja pojava i vrste otkaza u Zavodima "Crvena zastava" za četiri grupe mašina (visoko automatski strugovi, strugovi za kopiranje, viševretene bušilice i mašine za odvalno glodanje), za period od dve godine.

THE FAILURE RATE IN MACHINE TOOLS AS A FUNCTION OF THE DEGREE OF AUTOMATION

S u m m a r y

In large production systems, where equipment of various degree of automation is usually found, correctness of the model of optimal spare parts planning depends upon the systematic analysis of the appearances and types of failures.

Presented in the paper are the results of monitoring the appearances and types of failures in four groups of machines in the Zavodi "Crvena zastava" (highly automatic lathes, copying lathes, multi-spindle drills, and hob milling machines) over a period of two years.

1. Uvod

Svaka alatna mašina se može posmatrati kao sistem sastavljen od skupa elemenata, skoro isključivo redno povezanih. Ovakav sistem mora da obezbedi izvodjenje odredjenih operacija uz zadovoljenje funkcije kriterijuma (tačnost, kvalitet obrade, itd.) u vremenu i u datim uslovima okoline (temperatura, vibracije, itd.).

\*) Mr Branislav Jeremić, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Ul.Sestre Janjić br. 6  
Mr Slavko Arsovski, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Ul.Sestre Janjić, br. 6

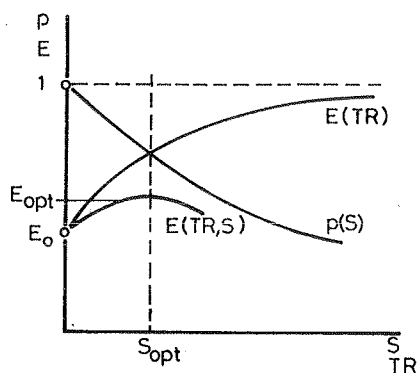
Ako alatna mašina ostvaruje parametre funkcije kriterijuma kaže se da je radno sposobna. U procesu eksploatacije mašine su izložene uticajima različitog karaktera i intenziteta, što prouzrokuje odstupanje parametara od zadate funkcije kriterijuma i umanjenje radne sposobnosti. Ako su parametri funkcije kriterijuma pod gore pomenutim uticajima van dozvoljene granice, mašina je u otkazu i treba preduzeti mere u cilju njenog povratka u radno stanje, a takva intervencija se naziva opravkom. Savremeni razvoj alatnih mašina povezan je sa pora-

stom stepena automatizacije, ostvarenog kombinovanjem elemenata mehanike, hidraulike i elektronike a što povećava složenost ovih sistema.

Intenzitet pojave otkaza je funkcija složenosti, odnosno stepena automatizacije alatnih mašina. U radu su analizirani vrsta i intenzitet pojave otkaza za četiri grupe mašina različite tog stepena složenosti. Na osnovu analiziranih podataka došlo se do stepena gotovosti kao važnog parametra za procenu verovatnoće da će mašina biti radno sposobna u proizvoljnom trenutku vremena. Osim toga definisan je stepen sposobnosti za održavanje.

## 2. Parametri vezani za otkaze i održavanje alatnih mašina

Povećanje složenosti alatnih mašina kroz broj redno povezanih komponenata dovodi do smanjenja pouzdanosti ali i do povećanja proizvodne efektivnosti ili projektovane proizvodnosti, kao što je to prikazano na sl. 1.



Sl. 1. Zavisnost efektivnosti i pouzdanosti od tehničke rezerve i složenosti

Kriva  $p(s)$  predstavlja promenu pouzdanosti od složenosti, a tačka  $E_0$  je početna efektivnost koja se povećava uvodjenjem složenosti. Rezultujuća kriva  $E(TR,S)$  je promena efektivnosti i tehničke rezerve (predimenzionisanja) i ista ima maksimum za koji postoji optimalna složenost ( $S_{opt}$ ).

Da bi se kvantificirao stepen gotovosti alat-

ne mašine od njene složenosti treba poći od pokazatelja vezanin za njeno stanje u radu i otkazu.

Srednje vreme rada  $\bar{T}_{vr}$  do pojave tehničkog otkaza se definiše kao aritmetička sredina intervala u radu (bez zastoja organizacione prirode):

$$\bar{T}_{vr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{vr_i} \quad (1)$$

Kao pouzdan pokazatelj pogodnosti mašine za održavanje služi srednje vreme obnavljanja radne sposobnosti, odnosno otklanjanja tehničkog otkaza:

$$\bar{T}_{ors} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ors_i} \quad (2)$$

Vreme obnavljanja radne sposobnosti sastavljeno je od vremena za dijagnozu, rastavljanje, popravku, sastavljanje i ispitivanje. Ako su poznata vremena  $\bar{T}_{vr}$  i  $\bar{T}_{ors}$  stepen gotovosti sa tehničkog aspekta je:

$$\eta_g = \frac{\bar{T}_{vr}}{\bar{T}_{vr} + \bar{T}_{ors}} \quad (3)$$

Jako interesantan je i pokazatelj sposobnosti za održavanje  $\eta_{s0}$ , koji se definiše kao odnos ukupnog vremena u radu  $T_{ur}$  prema vremenu održavanja  $T_{od}$  za razmatrani period vremena tj.:

$$\eta_{s0} = \frac{T_{ur}}{T_{od}} \approx \frac{\bar{T}_{vr}}{\bar{T}_{ors}} \quad (4)$$

Cilj je da  $\eta_{s0}$  bude što veće. Medjutim, kod alatnih mašina visokog stepena automatizacije (složenosti) bez dobro obučenog tehničkog kadra i kvalitetne opreme za dijagnostiku i otklanjanje otkaza ovo je nemoguće postići.

## 3. Rezultati istraživanja

Analize su izvršene za četiri grupe mašina različitog stepena složenosti i približno istog veka starosti. Mašine pripadaju OOUR Mehanička obrada Fabrike automobila Zavoda "Crvena zastava". U okviru svake grupe bilo je po pet mašina istog tipa.

Iz centra za EOP po inventarskim brojevima odabranih mašina uzeti su podaci koji se odnose na broj i vrstu otkaza, vreme otklanjanja i vreme zastoja za period od poslednje dve godine.



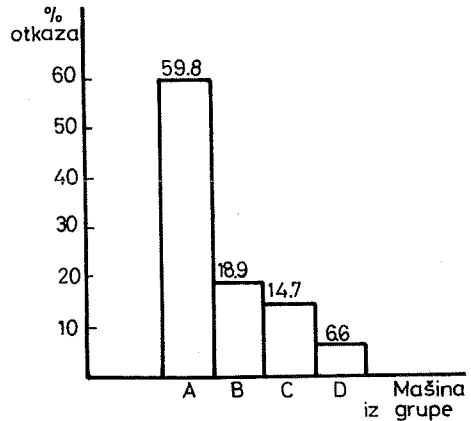
Prema procenjenom stepenu složenosti od najvećeg za grupu A ka najmanjem - D, odabrane grupe mašina su obeležene slovima A,B,C,D i ove oznake će dalje biti korišćene u radu.

Osnovne karakteristike mašina prema slovnoj oznaci su:

- A - šestovreteni automati čehoslovačke proizvodnje (P = 18 kw). Na automatima su veoma malo zastupljene hidraulične komponente.
- B - Strugovi za kopiranje proizvod švajcarske firme FISCHER (P = 35 kw). Hidraulika i pneumatika su zastupljene kod sistema za kopiranje i stezanje.
- C - Viševretene bušilice italijanske (FIAT) proizvodnje (P = 20 kw). Hidraulika i pneumatika se primenjuju za okretanje stola i vertikalno pomeranje.
- D - Mašine za odvalno glodanje, proizvod nemačke firme PFAUTER (P = 12 kw). Hidraulika je relativno malo zastupljena.

Iz ukupnog broja otkaza po grupama mašina definisan je srednji broj otkaza za svaku vrstu mašina i određeno procentualno učešće, a što je prikazano na sl. 2.

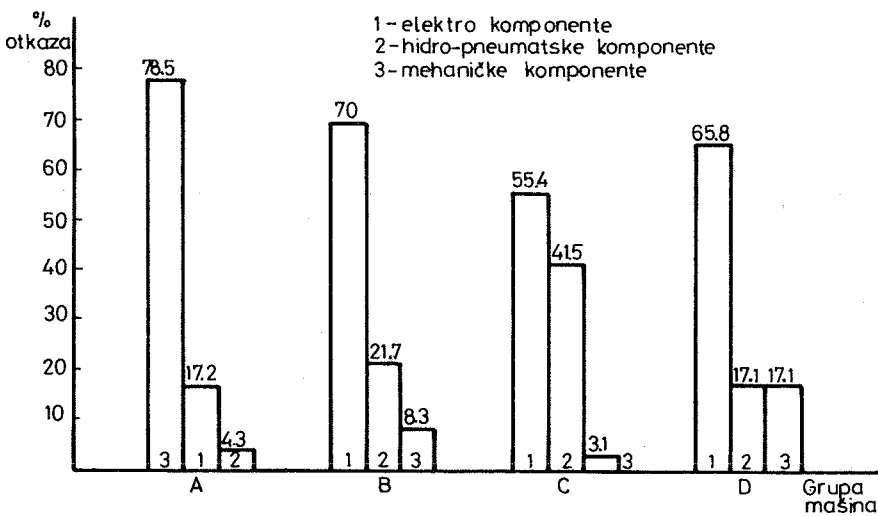
S obzirom na napred izloženo o vezi pouzdanosti i složenosti, potvrđeno je da je korektno izvršena podela po složenosti analiziranih.



Sl. 2. Srednje procentualno učešće otkaza po vrsti mašine

grupa mašina. Procentualno najveći broj otkaza registrovan je kod šestovretenih automata (59,8%) a najmanji kod mašina za odvalno glodanje (6,6%). Otkazi u toku praćenja mašina u eksploataciji podeljeni su i odnose se na otkaze elektro, hidropneumatskih i mehaničkih komponenti.

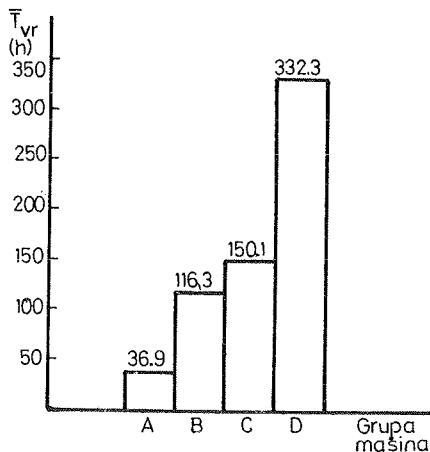
Struktura vrsta otkaza po grupama mašina prikazana je na sl. 3.



Sl. 3. Struktura vrsta otkaza po grupama mašina

S obzirom na koncepciju mašina iz grupe A jasno je izrazito veliko prisustvo otkaza mehaničkih komponenti (sl. 3). Kod ostalih grupa najintenzivniji su otkazi elektrokomponenta za njihovo otklanjanje potrebno je znatno manje vremena u poredjenju na mehaničke.

Pomoću jednačine (1) za prikupljene podatke izračunato je srednje vreme rada  $\bar{T}_{vr}$  do pojave tehničkog otkaza i prikazano na sl. 4.



Sl. 4. Srednje vreme rada do pojave tehničkog otkaza po grupama mašina

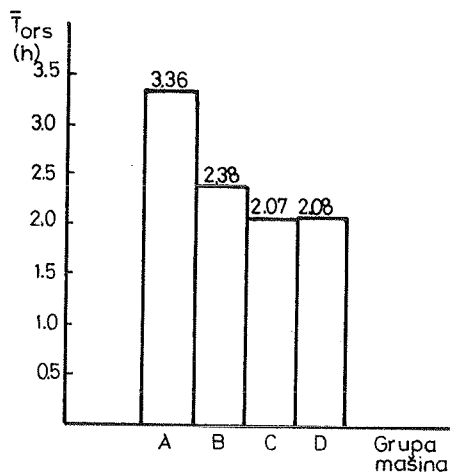
Sa navedene slike se vidi da je jako veliki odnos vremena do pojave otkaza između svih grupa mašina, a za A ovo vreme je čak 9 puta manje u odnosu na grupu D. Iz navedenog je jasno sa kakvim je sve problemima povezano realizovanje proizvodnje na mašinama označenim sa A.

Srednja vremena obnavljanja radne sposobnosti su izračunata (2) i prikazana na sl. 5.

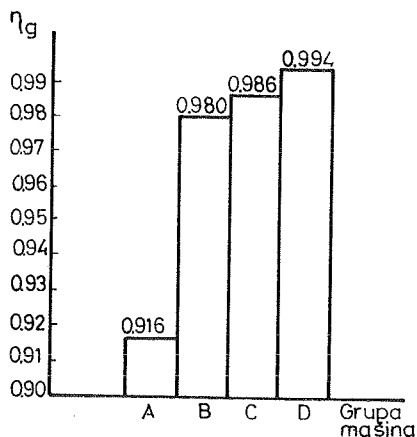
Napred je prikazano (sl. 3) da su kod grupe A najprisutniji otkazi mehaničkih komponenti, pa otuda i najveće vreme obnavljanja radne sposobnosti.

Stepen gotovosti (3) je različit kod analiziranih grupa, sl. 6. i najmanji je za šestovretene automate. To je i bilo očekivati s obzirom na sve napred prikazano.

Veliki intenzitet pojave otkaza mehaničkih komponenti alatnih mašina velikog stepena au-



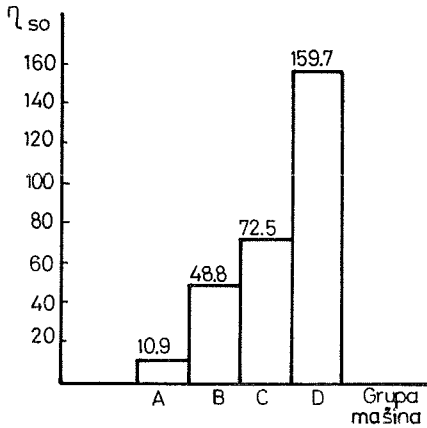
Sl. 5. Srednje vreme obnavljanja radne sposobnosti po grupama mašina



Sl. 6. Stepen gotovosti po grupama mašina

tomatizacije (složenosti) dovodi do smanjenja stepena sposobnosti za održavanje, sl. 7. (grupa mašina A). Obrnut je slučaj za opremu male složenosti.

Daljom analizom bi trebalo utvrditi da li je mala vrednost  $\eta_{50}$  posledica samo složenosti opreme ili i nedovoljno obučenog tehničkog kadra i nedostatka kvalitetne opreme za održavanje i otklanjanje otkaza.



S1. 7. Stepen sposobnosti za održavanje po grupama mašina

### 3. ZAKLJUČCI

1. U velikim proizvodnim sistemima neophodno je stalno prikupljati i analizirati podatke (za duži vremenski period) o ponašanju proizvodne opreme u eksploataciji (vrste otkaza, otklanjanje, itd.). Navedeno je odlučujuće kod nabavke nove opreme.

2. Intenzitet pojave otkaza raste sa povećanjem stepena automatizacije (složenosti) a pogotovu kod opreme u kojoj znatno prevladaju mehaničke komponente.
3. Stepen sposobnosti za održavanje se veoma značajno smanjuje sa povećanjem složenosti alatnih mašina.
4. Veza između stepena složenosti mašina, intenziteta pojave otkaza i stepena sposobnosti za održavanje može pouzdano poslužiti za razvoj optimalnih modela planiranja rezervnih delova i tehnologije održavanja.

### 4. Literatura

- [1] Todorović J., Zelenović D., 1981., Efektivnost sistema u mašinstvu, Beograd, Naučna knjiga.
- [2] Higgins L., 1977., Maintenance Engineering Handbook (Third Edition), Mc-GRAW-HILL Book Company.
- [3] R. Djipanov, Analiza činilaca koji utiču na trajnost korišćenja tehničkih sredstava, Održavanje mašina i opreme, 362-366, No 6-7, 1982.



V. Djukanović, R. Žujović, S. Stanković<sup>x)</sup>

METODE REGENERACIJE REZERVNIH DJELOVA U ŽELJEZARI

"BORIS KIDRIČ" NIKŠIĆ

R e z i m e

U Željezari postoji oko 50.000 rezervnih djelova od kojih su mnogi skupi i uvozni. Zbog toga, a i zbog nemogućnosti uvoza pojedinih vitalnih rezervnih djelova u Željezari se intenzivno radi na regeneraciji pohabanih rezervnih djelova. Za sada se koriste tri metode i to: navarivanje, zavarivanje pod praškom (EPP postupak) i metalizacija.

METHODS FOR REGENERATION OF SPARE PARTS IN THE STEEL WORKS

"BORIS KIDRIČ" NIKŠIĆ

S u m m a r y

There are 50.000 spare parts in the steel works, many of them are very expensive and are imported. Because of that and because impossibility of import some vital spare parts in the steel works is about intensively on the regeneration of spare parts which are works out. For now, three methods are used: overlaying welding, welding under the powder (EPP method) and metallization.

U današnje vrijeme regeneracija rezervnih djelova je neobično važna, jer se njome postižu ogromne uštede u vremenu i cijeni, a posebno kod uvoznih djelova koji se moraju plaćati u devizama. Cijena regenerisanog dijela se kreće između 10-40% cijene novog dijela što zavisi od veličine oštećenja. Osim cijene bitan faktor je i vrijeme tj. kratak rok opravke čime se opasnost na duga čekanja rezervnog dijela svode na minimum. Zadnjih godina u Željezari se poklanja puna pažnja ovoj oblasti tako da su za sada razvijene tri metode za regeneraciju rezervnih djelova i to:

- zavarivanje pod praškom (EPP postupak),
- metalizacija,
- navarivanje.

Ono što je posebno važno jeste to da smo osposobili kadar da kvalitetno primenjujući ove postupke ne samo za čelik nego i za ostale metale i njihove legure.

1. Zavarivanje pod praškom - EPP postupak

Ovom metodom su do sada urađeni mnogi rezervni djelovi u Željezari, a primjera radi navodimo sledeće:

- kranski točkovi - do sada urađeno 450 komada,
- klip 3 tonske el. lučne peći Ø400 x 3000 težine 3.000 kg.,
- štender kotrljače Bluminga Ø350 x 3800 težine 2.500 kg.,
- transportne kotrljače Bluminga,
- bakreni stezač elektrode 60 tonske peći težine 2.000 kg.,

x) Vojin Djukanović, dipl.ing.dipl.ecc. podpredsjednik Poslovnog odbora Željezare "Boris Kidrič" Nikšić  
Radisav Žujović, dipl.ing. član Poslovnog odbora Željezar "Boris Kidrič" Nikšić  
Slavko Stanković, ing. glavni tehnolog za zavarivanje

- zupčaste spojnice motora Bluminga,
- razne vrste zupčanika,
- kućišta motornih vozila i sl.

Da bi prikazali ekonomičnost i prednost ove metode navešćemo jedan primjer iz prakse pri reparaturi kranskih točkova. Ranije su ovi točkovi zamjenjivani novim, a zadnje tri godine se isključivo regenerišu.

a) Izrada novog kranskog točka  $\varnothing$  1000  
Radni nalog 29626, broj crteža 110557, težina odlivka je cca 600 kg. od ČL.4732, cijena odlivka za ovaj kvalitet se kreće od 15000-30000 starih dinara zavisno od broja naručenih komada.

Ako uzmemo da je to cijena 200.000 din./kg. onda to iznosi 12.000.000 st.din. Cijena obrade iznosi 53 časa na čeonom strugu i 5 časova na radijalnoj bušilici što po cijeni od 55.000 NČ čini 3.190.000 st.din. ili cijena novog točka iznosi 15.190.000 st.din.

b) Regeneracija starog točka

Za predobradu treba na čeonom strugu 35 časova što iznosi 35 x 55.000, 1.925.000 st.din.

Količina utrošenog materijala iznosi 60. kg. žice i 60 kg. praška što košta 779.000 st.din. Potrebno vrijeme varioca i pomoćnog radnika iznosi 32 sata ili 1.104.000 st.din. Ukupna cijena regeneracije starog točka iznosi 3.808.000 din. Prema tome ekonomski efekti iznose 15.190.000 - 3.808.000, 11.382.000 dinara.

Ako se ovome doda i ogromna razlika u vremenu izrade novog i regenerisanog točka onda je jasno da su ovi efekti ogromni.

Osim toga pokazalo se da je površinski sloj regenerisanog točka veoma tvrd i žilav te izdržava skoro 50% više nego novi točak površinski kaljen.

## 2. Regeneracija metalizacijom

Metalizacija je proces špricanja istopljenog metala na pripremljenu površinu u cilju dobijanja traženih dimenzija. Čist ili legirani metal se topi u plamenu gorućeg gasa i kiseonika i atomizira pomoću mlaza komprimovanog zraka u fini mlaz. Ovaj mlaz usmjeren je na

površinu u cilju formiranja čvrstog metalnog sloja. Obzirom se topljenom metalu pridružuje veliki mlaz vazduha, špricani predmet se mnogo ne zagrijeva. Metalizacija je zato poznata kao "hladan" proces nanošenja metala sa prednošću da predmet ne dobiva nikakve termičke ni štetične poremećaje tako da nije potrebna nikakva termička obrada.

Špricanje se najčešće koristi za obnavljanje pohabanih rezervnih dijelova ili čak za nanošenje tvrdog površinskog sloja otpornog na habanje do (60 Rc).

Za špricanje se koriste razne vrste žice kao dodatni materijal u zavisnosti od sastava osnovnog materijala dijela koji se metalizira.

Da bi izvršili kvalitetno nanošenje potrebno je izvršiti određene pripreme, a što zavisi od kvaliteta materijala, oblika i dimenzija predmeta. Osnovno je da površina mora biti čista od zaradjenosti raznih medija, a potom da se pripremi pjeskarenjem, brušenjem ili struganjem za proces metalizacije. Debljina nanijetog sloja može biti i do 20 mm što zavisi od kvaliteta dodatnog materijala.

Završna obrada se izvodi struganjem ili brušenjem.

Ovaj vid regeneracije vrlo je praktičan za predmete gdje su neznatna oštećenja (pohabanost) naročito u hidraulici, pneumatici i elektrici, a koji se usled pohabanosti nebi mogli služiti dalje svojoj namjeni. Ovaj postupak je naročito pogodan kod raznih rukavaca, osovinica, klipova, ležajeva, kontakata i sl. Kvalitet metalizacije zavisi od date tehnologije, izvršene pripreme, odabranog materijala i obučenosti neposrednih izvršilaca.

Širok je dijapazon primjenjivosti ovog postupka, a što se može vidjeti iz nekoliko primjera koji su radjeni u željezari:

- klipovi lo t. elektro lučnih peći

- $\varnothing$  250 x 4000,

- bronzani ulošci prenosnih vretena Bluminga,

- rolne na Bluming valjaonici 158 x 230 mm,
- djelovi ravnalice Kombinovane valjaonice,
- spojničke osovine Džems vozila,
- klizne ploče vučnih klupa 700 x 700 x 10,
- šuplje vratilo ljuštistica,
- klizni ležajevi Vučionice i sl.

### 3. Regeneracija zavarivanjem

Osim klasičnog načina zavarivanja u zaštiti  $CO_2$  gasa.

Osim postupkom žica se dovodi automatski konfinkirano, a zaštitu rastopine obezbeđuje gas  $CO_2$ . Ovdje je otpadak zanemarljiv što ovaj postupak čini produktivnim i ekonomičnim.

### Zaključci

Ovim radom smo pokušali da ukažemo na rezultate i mogućnosti koje postoje u željezari "Boris Kidrič" kod regeneracije rezervnih djelova. Pošto se ovdje radi o metalurškoj opremi koja radi u teškim uslovima rada neprekidno u sve tri smjene to su problemi habanja i izdržljivosti opreme vrlo veliki.

Sobzirom da se radi o velikom broju rezervnih djelova čija je izrada vrlo duga a često i skupa to se ovim postupcima to maksimalno obezbeđuje pogonsku spremnost postrojenja, zamjenjujući uvoz, a takodje se postižu veliki efekti i u ekonomičnosti poslovanja.





Petar Pejak, Milan Tomašević <sup>x/</sup>

## OSNOVE ODRŽAVANJA ALATNIH MAŠINA PO UTVRDJENOM STANJU

### R e z i m e

Visok nivo automatizacije u prikupljanju i obradi upravljačkih informacija dostignut u razvoju upravljačkih sistema savremenih alatnih mašina, kao i u pratećoj merno-regulacionoj tehnici, omogućava značajno unapređivanje tehnologije njihovog održavanja. Zaista, prelaskom sa uobičajene "planske" na fleksibilniju preventivu "održavanja po stanju", omogućava se dalja racionalizacija održavanja u uslovima stalno sužavajućih raspoloživih resursa. U radu se daje prikaz ove koncepcije održavanja ilustrovan karakterističnim primerima iz domena obrade metala rezanjem.

## "ON CONDITION BASED MAINTENANCE" VON WERKZEUGMASCHINEN

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Auf heutigen Automatisierungsstand in Daten- Sammlung und Verarbeitung bei entwickelten Steuerungssysteme von modernen Werkzeugmaschinen, sowie auch bei entsprechenden Mess- und Regulationsausrüstung, wurden auch neue Möglichkeiten im Bereich ihren Instandhaltung geschaffen. Bei Übergang von konventionelle "planmäßige" auf flexible Vorbeugung des realen Maschinenzustands, wurden weitere Rationalisierungsstufen bei ihren Instandhaltung ermöglicht. Dieser Arbeit bringt wichtigste Merkmale dieser Strategie auf Grund einigen Beispiele aus dem Bereich der spannenden Metalbearbeitung.

### 1. UVOD

U dosadašnjoj praksi održavanja alatnih mašina u našoj metaloprerađivačkoj industriji i mašingradnji uglavnom je primenjivana klasična politika preventivno-planskog održavanja. Ova koncepcija podrazumeva periodično obavljanje radova održavanja, po unapred utvrdjenom terminskom planu, uz iste postupke rada koji se uobičajeno grupišu u tipske aktivnosti kao što su to: preventivni pregledi, male, srednje i generalne opravke. Takav pristup odr-

žavanju, sa obimnim periodičnim radovima i zamenom delova bez obzira na stanje mašine i njenih komponenata, ne može biti ekonomičan u uslovima sve ograničenijih resursa. Iskustvo, međjutim, pokazuje da najveći deo sredstava rada ne gubi svoje proizvodno-tehnološke karakteristike naprečac, već da je to proces koji se kontinuirano odvija i traje. I sami kvarovi su, najčešće, posledice laganog propadanja tokom eksploatacije, a nagoveštaj

<sup>x/</sup> Petar Pejak, dipl.ing., Dr.-Ing. Milan Tomašević, samostalni saradnici Instituta za alatne mašine i alate, IAMA, Beograd, ul. 27 Marta br. 80/1

nekog loma, po pravilu, uvek je prisutan znatno pre nastalog kvara. Ukazujući na potrebu drugačijeg pristupa održavanju, ovo je trasiralo razvoj nove koncepcije održavanja - održavanja "na osnovu utvrđenog stanja", ili kraće: održavanja "po stanju".

Periodičnim ili kontinualnim merenjem fizičkih veličina od najvećeg značaja na eksploatacijsko stanje mašine, kao i upoređivanjem izmerenih sa deklarisanim graničnim vrednostima, stanje mašine se egzaktno utvrđuje i na osnovu toga donosi odluka o daljim aktivnostima na planu korekcije. Izvodjenju radova održavanja pristupa se dakle, isključivo u momentu kada je to zaista neophodno, tj. neposredno pred nastanak, sada već uveliko očekivanog kvara.

U poslednje vreme, u održavanju energetskih, metalurških, rudarskih i raznih procesnih strojenja i opreme, kod nas dolazi do sve veće afirmacije koncepcije održavanja po stanju. Kada su u pitanju alatne mašine, procenjuje se da ova politika održavanja još nije našla svoju primenu u dovoljnoj meri, što je i podstaklo autore da ovde iznesu svoje poglede na ovu, sve interesantniju problematiku.

## 2. OSNOVE KONCEPCIJE ODRŽAVANJA PO STANJU

Iako se koncepcija održavanja po stanju nalazi u žiži interesovanja industrije visokorazvijenih zemalja nešto manje od deset godina, može se reći da su već postignuti veoma dobri rezultati. Intenzivan razvoj merno i računarske opreme, počev od pogonskih prenosivih uređaja do visokoautomatizovanih monitorsko-upravljačkih i računarskih sistema, omogućio je olakšano i znatno kvalitetnije praćenje stanja sredstava za rad.

Dobijanje očekivanih rezultata sprovođenjem koncepcije održavanja po stanju, nužno pred-

postavlja ispunjenje sledećih bitnih uslova:

- otkazi mašina u većoj ili manjoj meri nastaju postepeno; određena karakteristika stanja, koja se može izmeriti, nedvosmisleno definiše stanje određene komponente ili dela,
- potencijalni otkazi mogu da ugroze bezbednost radnika, odnosno, mogu dovesti do visokih troškova održavanja i izgubljene proizvodnje,
- moguće je postaviti takav sistem praćenja stanja koji će obezbediti blagovremeno upozorenje predstojećeg otkaza, radi preduzimanja odgovarajućih mera,
- troškovi praćenja stanja i otklanjanja tako uočenih nedostataka bili bi manji od troškova otklanjanja iznenadnih kvarova i ostalih proisteklih troškova,
- postoji odgovarajuća kadrovska baza i tehnička opremljenost,
- u kolektivu postoji razumevanje, zainteresovanost i podrška ovom složenom poslu, i sl.

Praćenje stanja može se izvoditi u toku rada mašine ili u vremenima kada ona stoji. Svakako da prvi način ima svoje prednosti, pošto ne zahteva prekid u proizvodnji. Medjutim, u praksi ima dosta situacija u kojima se praćena mašina, zbog specifičnih zahteva proizvodnog sistema, povremeno ili redovno isključuje iz rada, što predstavlja povoljan moment za izvodjenje aktivnosti na praćenju stanja.

Većina metoda za praćenje stanja kod alatnih mašina svodi se na sistematsku primenu širokoprihvaćenih metoda dijagnosticiranja kvara, kao što su to metode:

- vizuelnog praćenja stanja,
- praćenja buke i vibracija,
- praćenja termičkog stanja,
- kontrole maziva,

- detekcije naprslina i pukotina i sl.

Celovit prikaz ove koncepcije održavanja nije moguće izložiti u radu ovoga obima. Sa željom da se materija ipak zaokruži, u daljem se sažeto prikazuju neki od razvijenih načina praćenja stanja kod alatnih mašina za obradu rezanjem, razvijenih npr. na praćenju buke i/ili linijskih vibracija.

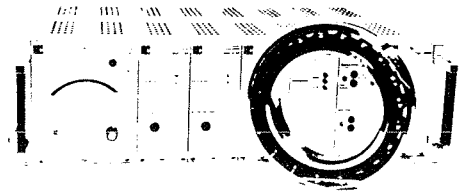
### 3. PRIMERI PRAĆENJA STANJA NA ALATNIM MAŠINAMA ZA OBRADU REZANJEM

Praćenje stanja alatnih mašina s aspekta održavanja, u praksi se najvećim delom svodi na praćenje energetsko-dinamičkog bilansa kompletnog obradnog sistema kojeg, pored osnovnog nosećeg mehaničkog sistema same mašine, čine još i radni predmet, alat i proces rezanja. Nesumljivo da će se eksploatacijsko stanje mašine tada najlakše odrediti ukoliko budemo mogli da pratimo alternativne ulaze i izlaze iz relevantnih podsistema.

Zaista, opredeljujući se za fizičke veličine stanja kao što su to npr. sile i momenti, odnosno, linijske vibracije, na današnjem nivou komercijalno razvijene merno-računarske tehnike, ovaj se zadatak može veoma uspešno rešiti, kako to prikazuju brojni primeri u praksi.

Uobičajeni tenzometrijski senzori kakvi su se više godina koristili za registrovanje dinamičkog obrtnog momenta i sila - uglavnom na glavnim vretenima - danas se čine prevaziđenim. Veliki proizvođači kugličnih ležaja, kao što su to npr. SKF i TIMKEN, komercijalno nude specijalno izvedene ležaje visokoprodiktivnih alatnih mašina kod kojih je senzorski efekat orijentisan merenju kako spoljašnjih, tako i unutrašnjih sila u ležaju, sl. 1. Nasuprot dosadašnjim rešenjima ovim je postignuta visoka merna tačnost bez narušavanja kon-

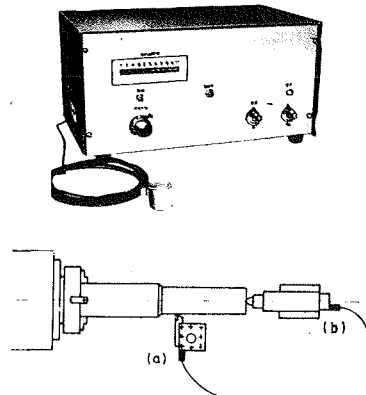
strukciono-tehnoloških karakteristika kao što su to krutost, prenosni odnosi, geometrijske mere i sl.



Sl. 1 Senzorski sistem za praćenje sila i momenata na glavnom vretenu kod struga /SKF - HOTTINGER/

Pretvarajući prednji ležaj mašine na ovaj način u davač sile, obilje interesantnih informacija može tada biti dobijeno iz odgovarajućeg mernog uređaja kompatibilnog sa savremenim NC/CNC upravljačkim jedinicama.

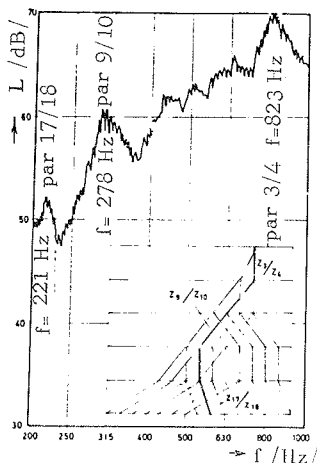
Japanska firma OKA INTERNATIONAL INC. razvila je komercijalno orijentisan uređaj za praćenje eksploatacijskog stanja obradnog sistema preko generisane buke. Sistem je namenjen prvenstveno visokoprodiktivnim strugovima, a zavisno od načina postavljanja može biti korišćen za različite nivoe dijagnostičiranja, sl. 2.



Sl. 2 Akustički senzorski sistem /OKA INTERNATIONAL INC./

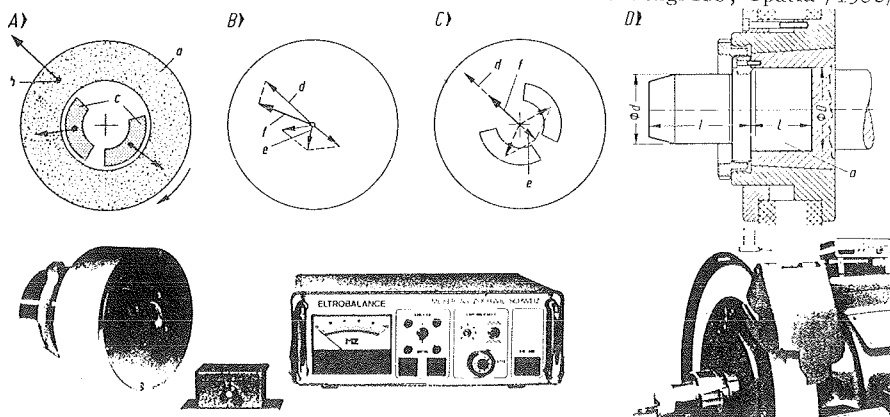
Bazirajući svoj rad na registrovanju zvučnog nivoa i/ili udarnog impulsa, ovaj uređaj može signalizirati različita stanja procesa, po-

čev od zatupljenja ili loma sečiva alata, pa do kvara na prenosniku za glavno kretanje, sl.3.



Sl. 3 Frekventni spektar buke prenosnika za glavno kretanje struga,  $n=560$  o/m

Registrowanje linijskih vibracija iskoristila je švajcarska firma MEYER AG kao parametar za ocenu dinamičkog stanja obradnog sistema brusilice za spoljašnje okruglo brušenje. Dinamička stabilnost glavnog vretena održava se automatskim uravnotežavanjem specijalne glave koja se posebno izvodi za svaki slučaj realizacije, sl. 4. Uravnotežavanje se odvija tokom trajanja čitavog obradnog procesa, čime se isključuje mogućnost havarije točila sa težim posledicama po samu mašinu ili njenog poslužioaca.



Sl. 4 Senzorski sistem za kontinualno praćenje linijskih vibracija i automatsko uravnotežavanje točila /u jednoj korekcijskoj ravni/ u toku rada - MEYER AG ZUCHWIL

#### 4. ZAKLJUČAK

Evidentne prednosti koncepcije održavanja po stanju, u odnosu na klasičan pristup plansko-preventivnom održavanju, mogu doći do izražaja samo u uslovima potpunog ovladavanja relevantnim informacijama koje stanje mašine utvrđuju. Na današnjem nivou tehnološkog razvoja alatne mašine raspoložu snažnom tehničkom osnovom za obradu svih onih informacija koje govore s aspekta eksploatacije /kao npr. CNC ili DNC jedinice/, pa ostaje samo da se dobiju i iskoriste sve one druge informacije koje su od značaja, pre svega, za samo održavanje. Težište budućeg delovanja naslućuje se u razvoju adekvatnih merno-regulacionih sistema sposobnih da stanje pouzdano prate i da ga, po mogućstvu, automatski koriguju.

#### Literatura

- 1/ M. Tomašević, P. Pejak, V. Šolaja, Održavanje sredstava rada na osnovi utvrđenog stanja, Zbornik radova VI Konferencije YUMO, Mostar /1977/.
- 2/ P. Pejak, R. Albijanić, M. Tomašević, Praćenje stanja postrojenja i uređaja preko buke i vibracija, Zbornik radova VII Konferencije YUMO, Struga /1973/.
- 3/ P. Pejak, M. Tomašević, K. Vuković, Condition Based Maintenance of Thermal Plants, Proceedings of the 5-th European Maintenance Congress, Opatia /1980/.



