XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
MOSTAR 1982. GOD.

ZBORNIK RADOVA

MOSTAR 7. i 8. oktobra 1982. god.

Izdaje: MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA "DŽEMAL BIJEDIĆ"
MOSTAR
Štampa: FTN OOUR ŠTAMPARIJA ZA GRAFIČKU DELATNOST
NOVI SAD
Tiraž: 500 primeraka

ORGANIZOVANJE XVI SAVJETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
MATERIJALNO SU POMOGLI:

REPUBLIČKA ZAJEDNICA ZA NAUČNI RAD SR BOSNE I HERCEGOVINE

INDUSTRIJA ALATA, TREBINJE

SOUR "SOKO", MOSTAR

"UNIS" - RO "IGMAN", KONJIC

"SOKO" - RO VAZDUHOPLOVNA INDUSTRIJA, MOSTAR

ELEKTROPRIVREDA BiH, SARAJEVO
- RO TERMOELEKTRANA "GACKO"

"ENERGOINVEST" - RO ELEKTROLIZA I RO TVORNICA GLINICE, MOSTAR

"UNIS" - RO TVORNICA STRUGANIH I ŠTANCOVANIH DIJELOVA, KONJIC

PRIVREDNA KOMORA BiH, SARAJEVO

PRIVREDNA KOMORA, MOSTAR

"UNIS" - RO "TADIV" TVORNICA ZAKOVICA, KONJIC

"UNIS" - TVORNICA ELEKTRODA UTP, MOSTAR

HIDROELEKTRANE NA NERETVI - OOUR JABLANICA

OOUR "ELEKTRO-KONJIC", KONJIC

"UNIS" - RO "ELEKTRONIK", MOSTAR

OOUR "BUJICE", KONJIC

MAŠINSKI FAKULTET MOSTAR

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

ČLANOVI ZAJEDNICE SU:

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

ORGANIZATOR XVI SAVJETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE:

MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA "DŽEMAL BIJEDIĆ" MOSTAR,
BLAGOJA PAROVIĆA bb.

ORGANIZACIONI ODBOR XVI SAVJETOVANJA:

1. Dr Vučko Mečanin,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru, predsjednik

2. Dr Omer Pašić,dipl.inž., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u Mostaru
3. Dr Božo Ćorić,dipl.inž., vanr.prof. Mašinskog fakulteta u Mostaru
4. Dr Anto Mišković,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
5. Mr Damjan Rotim,dipl.ecc., predsjednik poslovodnog odbora SOUR "SOKO", Mostar
6. Emir Hadžizukić,dipl.inž., predsjednik poslovodnog odbora UNIS RO "IGMAN", Konjic
7. Milenko Pješčić,dipl.inž., generalni direktor RO "SOKO" Vazduhoplovna industrija, Mostar
8. Mr Obrad Čečur,dipl.inž., predsjednik poslovodnog odbora Industrije alata, Trebinje
9. Josip Musa,inž.org., predsjednik poslovodnog odbora Energoinvest, RO Elektroliza, Mostar
10. Mr Halid Sarić,dipl.ecc., direktor Rudnika i Termoelektrane, Gacko,
11. Zdravko Djurasović,dipl.ecc., predsjednik poslovodnog odbora UNIS RO "Elektronik", Mostar
12. Mr Nedjo Bajić,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
13. Mr Himzo Djukić,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
14. Mr Kordić Zdenko,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
15. Mr Zdravko Lončar,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
16. Mr Vojo Višekruna,dipl.inž., docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
17. Nikola Mustapić,dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru

18. Mr Vlado Prusina,dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru, sekretar savjetovanja

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	Obrid	1977. godine
XII	Maribor	1978. godine
XIII	Banja Luka	1979. godine
XIV	Čačak	1980. godine
XV	Novi Sad	1981. godine

Odlukom Zajednice jugoslovenskih naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva (ZJNIPM) organizovanje XVI savjetovanja povjereno je Mašinskom fakultetu u Mostaru.

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

ORGANIZACIONI ODBOR

S A D R Ž A J

Strana

OBRADA REZANJEM

D.Vukelja:
Obrada metala rezanjem - Uvodni referat 1

S.Sekulić., P.Kovač:
Komponente otpora rezanja pri obradi na strugu u zavisnosti od elemenata presjeka režućeg sloja i grudnog ugla alata 33

R.Kovačević:
Definisanje zavisnosti komponenti otpora rezanja od uticajnih faktora pri obradi struganjem 39

M.Jovičić., T.Danojlić:
Postojanost izmjenjivih pločica TM pri obradi na NC-strugovima 43

A.Perić:
Prilog analizi ekonomske brzine rezanja kod običnog rezanja alatom definisane oštrice 47

R.Milović:
Distribucija temperature u alatu pri obradi čelika za automate ... 51

Z.Seljak:
Obdelava z velikimi rezalnimi hitrostmi 55

P.Leskovar., D.Noe:
Vpliv mehanskih lastnosti materiala na identifiacijo rezalnego procesa 59

P.Pejčić:
Odredjivanje obradljivosti čelika Č.4732 na strugu 63

J.Kopač:
Težavnost obdelave obrabno odpornih avstenitnih jekel - 12 MN 67

M.Soković., Z.Seljak:
Kvaliteta obdelane površine pri gladilnem frezanju kaljenih orodnih jekel 71

M.Dragović:
Prilog izučavanju troškova obrade pri optimalnim režimima rezanja 75

R.Glušćević:
Prilog studiji razvoja metoda za brzo definisanje eksploatacionih karakteristika alata 79

A.Mišković., D.Vukelja., J.Kevelj:
Neke nove mogućnosti izrade preciznih otvora 85

M.Kalajdžić., M.Glavonjić:
Dinamičko ponašanje mašine i kvalitet obradjene površine pri provlačenju 89

R.Pantić., P.Ivanović:
Nov postupak za obradu dubokih otvora 93

Z.Nikić., S.Radonjić:
Identifikacija procesa proširenja prolaznih otvora 97

K.Premović:
Jedan primjer primjene analitičkih korelacija za identifikaciju naponskih stanja u alatima za urezivanje navoja 101

B.Popović., B.Komberović:
Regresiona analiza obrade T žljeba 105

V.Prusina:
Prilog analizi uticaja režima obrade na veličine sa kojima se identifikuje tačnost izrade zupčanika 109

Š.Šavar., R.Jelačić:
Optimizacija parametara režima brušenja metodom "strmog penjanja" 113

N.Bajić:
O adaptivnom upravljanju kod procesa obrade brušenjem 117

B.Kršljak:
Odredjivanje optimalnih režima brušenja pri ravnom brušenju alatnog čelika tocilima od kubnog nitrida bora 123

R.Vukosojević., D.Brough:
Praćenje ponašanja obradne sposobnosti tocila tokom procesa 129

Lj.Zirojević:
Prognoze i granice primjene visokoučinskog brušenja reznog alata 133

F.Roethel., M.Dobovšek:
Izhodišča za pripravo postopka elektroerozijske obdelave 127

OBRADA DEFORMACIJOM

P.Popović:
Stanje i pravci istraživanja u oblasti obrade materijala deformisanjem u nas 141

D.Musafia:
Oblik zone deformacije kao element optimizacije procesa 155

S.Živanović., M.Jurković:
Uticaj zračenja i brzine deformisanja na trajnost orudja za prosjecanje i probijanje 159

A.Povrzanović:
Utjecaj podmazivanja na provlačenje aluminija 163

A.Mule:
O nekim karakteristikama spojnica i kočnica mehaničkih presa 167

M.Drezgić:
Problemi komplesnog razmatranja metoda ispitivanja mehaničkih presa sa gledišta sigurnog i bezbjednog rada 171

D.Domazet:
Analiza efekata prednaprezanja jednodjelnih nosećih struktura presa primjenom metoda konačnih elemenata 175

M.Jurković., S.Živanović:
Istraživanje tribološkog fenomena u procesu hladnog valjanja metodom normalnog pritiska i sile trenja 179

P.Popović., H.Djukić:
Funkcionalna ograničenja kao faktor uticaja na izbor optimalne tehnologije izvlačenja sa redukcijom zida omotača 183

V.Domazetović:
Analiza zavisnosti parametara i pouzdanosti izrade cilindričnih elemenata rotizanjem 187

P.Leš:
Promjene mehaničkih svojstava sinterovanog materijala kod hladnog preoblikovanja 193

H.Djukić:
Eksperimentalno odredjivanje zakona promjene sile pri izvlačenju sa redukcijom zida omotača 201

V.Mitković:
Odredjivanje parametara trenja u procesu sabijanja 205

V.Volčanšek., B.Krsmanović:
Prilog ispitivanjima uticaja geometrije alata na otpore isticanja pri istosmjernom istiskivanju 211

D.Vukičević:
Postupak disperznog ojačavanja kod metoda dobijanja materijala poboljšanih plastičnih svojstava 215

M.Stefanović:
Neki aspekti uticaja kontaktnog trenja pri izvlačenju tankih limova 221

D.Nikolić., V.Stoiljković:
Odredjivanje pritiska i aksijalne sile sabijanja cevi pri grupnom oblikovanju kompenzacionih cevi 225

V.Boljanović., P.Popović:
Uticaj ugla savijanja na veličinu ugla otvaranja predmeta obrade ... 229

K.Kuzman., B.Čergić:
Analiza soopvisnosti preoblikovalnih in mehanskih lasnosti jekel za hladno masivno preoblikovanje 233

M.Maht:
Teorija sličnosti i metoda modeliranja u postupcima slobodnog sabijanja u hladnom stanju 239

M.Stojiljković:
Interpretacija not-stop uslova na primjeru obrade deformisanjem 243

D.S.Domazet., D.Temeljkovski:
Kritička analiza koncepciskih rešenja pogonskog mehanizma presa za izradu guma za motorna vozila 247

B.Rančić:
Analiza uticajnih faktora na stepen punoće dijagrama izvlačenja 251

B.Ljubomir:
Prilog analizi opravdanosti primjene kovačkih valjaka 255

D.Vilotić., M.Planček:
Istraživanje parametara procesa pri slobodnom sabijanju paralelopipeda prizmatičnim alatom 259

P.Ćosić:
Uticaj stanja površine na trenje pri deformiranju aluminija..... 265

I.Trbojević:
Odredjivanje funkcije stepena deformacije u procesu obrade vučenjem .. 269

D.Lazarević:
Uticaj temperature na zateznu čvrstoću i izduženje nekih legura aluminijuma 273

Z.Orehovec:
Razvoj domaće linije za konfekcioniranje lima 277

D.Mandić:
Neki uporedni rezultati ispitivanja čvrstoće podnožja zubaca rezanih i valjanih zupčanika 281

B.Grizelj:
Elastično vraćanje čeličnih dvostruko zakrivljenih ploča nakon izrade hladnom plastičnom deformacijom 285

N.Tomić., Lj.Petrović., M.Tomić., Ž.Adamović:
Prilog izučavanju uticaja nakih parametara na obradivost lima dubokim izvlačenjem 289

ALATNE MAŠINE SA NUMERIČKIM UPRAVLJANJEM I NC TEHNOLOGIJA

R.Gatalo:
Numeričko upravljanje mašinama alatkama i NU tehnologija - stanje i tendencije razvoja 293

R.Gatalo., Lj.Borojev., M.Zeljković., Z.Konjović:
Automatsko projektovanje operacionog postupka kao jedne od faza u SAPOR-S sistemu za automatizovano projektovanje upravljačkih informacija za numa za obradu struganjem (I) 327

R.Gatalo., Lj.Borojev., M.Zeljković., Z.Konjović:
Automatsko projektovanje operacionog postupka kao jedne od faza u SAPOR-S sistemu za automatizovano projektovanje upravljačkih informacija za numa za obradu struganjem (II) 331

J.Hodolić., V.Milošević., R.Gatalo., J.Rekecki:
Sistemski postprocesor kao modul SAPOR-S sistema i baza za efikasnu primjenu sistema u proizvodnim pogonima 337

J.Grum., J.Peklenik:
Razvoj in uporaba kibernetskih metod za geometrijske informacije v proizvodnem strojništvu 343

V.Milačić., P.Bojanić., M.Pilipović:
Primjena kompjuterske grafike u projektovanju NU tehnologije 357

S.Urošević:
Prilog razmatranju metoda primjene grupne tehnologije na alatnim mašinama sa numeričkim upravljanjem 363

I.Popović., R.Kovačević:
Savremena tehnologija na CNC-obradnim centrima 367

V.Mečanin., M.Jović:
Iznalaženje optimalnog redoslijeda operacijskih zahvata pri obradi složenih struktura na numerički upravljanim obradnim centrima 371

S.Srećković., P.Jovanović:
Uticaj razvoja mikroračunarske tehnologije na koncepciju uredjaja programskog upravljanja 375

M.Trojanović., M.Stojanović., A.Pavlović., P.Popović:
Numeričko upravljanje presom za ugaono savijanje lima 379

V.Garbajs., M.Silvij:
Adaptivno kremiljenje elektroerozijskega obdelovalnego procesa 383

M.Tomić., Ž.Adamović:
Prilog analizi funkcija mjernih sistema primjenjenih kod NU-mašina alatki sa osvrtom na "Homel"-ov GPL digitalni sistem za pozicioniranje. 387

S.Arsovski:
Uticaj primjene NC-alatnih mašina na produktivnost i ekonomičnost u domaćim proizvodnim sistemima 391

A.Polajnar:
Vrednotenje uporabnosti NC-strojev 395

V.Vuletić., E.Lemaher:
Organizaciono-tehnološke podloge za projektovanje numeričko upravljane (NU) tehnologije 399

TEORIJA I TEHNIKA ZAVARIVANJA

O.Pašić., S.Jokšić:
Značaj i uloga zavarivanja u proizvodnom mašinstvu 405

K.Vrljem:
Nekoja saznanja o osnovama osnovne kinematike obložene elektrode za elektro-lučno ručno zavarivanje 413

S.Kralj., Dj.Lončar:
Elektrode za zavarivanje sivog liva na hladno 417

V.Prosenc., I.Polajnar:
Ispitivanje zavarljivosti martenzitnih i feritno-martenzitnih čelika primjenom akustične emisije zavara 421

B.Kovačivić., M.Streny:
Neki primjeri optimizacije tehnologije zavarivanja u proizvodnji energetske i procesne opreme 425

N.Mišina
Neke promjene svojstava čelika N-A-XTRA70 usljed toplinskog popuštanja napetosti 429

Z.Kordić:
Primjena matematičko statističkog metoda za odredjivanje kvaliteta i sigurnosti kod elektro-otpornog tačkastog zavarivanja alumijijske legure AlMgSiCu 433

R.Dedić., M.Behmen:
Uticaj položaja tačkasto zavarenih spojeva na statičku nosivost spoja limova d=1 mm legure 3.1364.5 437

B.Auzulović:
Utjecaj vibriranja prilikom zavarivanja na udarnu žilavost 443

N.Mustapić:
Izbor najuticajnijih parametara radiografske kontrole u zavarivačkoj proizvodnji 447

B.Anzulović:
Popravci zavarivanjem dinamički opterećenih konstrukcija 451

O.Pašić., M.Čampara., I.Meštrović:
Primjena tehnologije navarivanja u proizvodnji i reperaturi rudarske opreme

B.Kovačević., M.Grbin:
Navarivanje sjedišta ventila 463

I.Veža:
Rekonstrukcija proizvodnog procesa izrade metalnih konstrukcija 469

OBRADA REZANJEM

XVI SAVJETOVANJE ŠROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

DUŠAN VUKELJA*

OBRADA METALA REZANJEM- UVODNI REFERAT**

1. Uvod

Šesnaesto savjetovanje proizvodnog mašinstva održava se u vrijeme povećanih napora i naročitih aktivnosti u mašinogradnji i cijeloj privredi, da bi se ostvarili ciljevi ekonomske stabilizacije zemlje.

Pri tome,mašinogradnja ima posebno mjesto i ulogu. Treba istaći,da se još uvijek nalazimo u fazi prisustva brojnih licenci i uvoza tehnologija, za koja se izdvajaju velika novčana i materijalna sredstva.

Polazeći od toga,pravi je trenutak,da se izmjeni situacija i mobilišu domaći instituti i visoke škole kao i stručnjaci iz udruženog rada boljim nagradjivanjem na pronalaženju novih rješenja za mašinogradnju. Rezultati toga direktno bi uticali na smanjenje cijena proizvoda uz istovremeno poboljšanje njihovog kvaliteta. Kada je riječ o obradi rezanjem prisutan je veći broj zadataka koji čekaju rješenja. To su prevashodno rješenja koja se odnose na alat(poboljšanje kvaliteta),mašinu(izbor i bolje korištenje) materijal predmeta i ekološki aspekti obrade metala.

U ovom referatu govori se o rezultatima istraživanja na domaćem terenu, a kroz diskusiju se očekuje dopuna ovog izlaganja. Sem toga valjalo bi razmisliti i o budućnosti daljih istraživanja procesa rezanja na osnovama zajedništva visokog školstva i nauke u Jugoslaviji.

U referatu se polazi od sistematizacije nauke o obradi materijala, a kasnije kroz rezultate istraživanja obrazlažu se sadržaji teorija.

2. PRETHODNA RAZMATRANJA

Razvoj nauke o rezanju kao primjenjene nauke, u sve većoj mjeri nameće da se njene postavke zasnivaju ne samo na eksperimentalnim podacima nego i na saznanju fundamentalnih nauka.

Razvoj je bio vrlo dinamičan. Od formula za otpore rezanja koje su bazirali na elementima klasič - ne otpornosti materijala,danas se nauka o obradi materijala grana na više primjenjenih i fundamentalnih teorija. Po autoru to su slijedeće:

1. Teorija stvaranja strugotine,
2. Mehanika rezanja,
3. Tribologija ili teorija trenja,
4. Termodinamika rezanja,
5. Teorija habanja,
6. Teorija integriteta obradjene površine,
7. Teorija oscilacija pri obradi materijala,
8. Teorija obradivosti materijala,
9. Teorija optimizacije postupaka obrade,

---

* Dr Dušan Vukelja,dipl.ing. redovni profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

** Uvodni referat iz Obrade rezanjem za XVI Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.god.

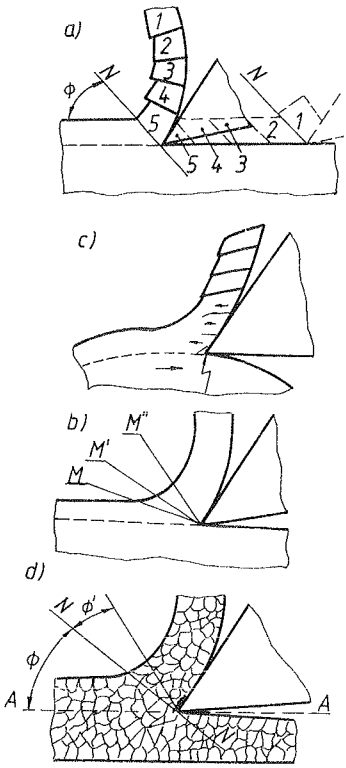
lo. Teorija izbora optimalnih parametara geometrije alata.

11. Kibernetika obradnog procesa.

Svakako da postoje i druga mišljenja u vezi s tim, ali je sigurno da su razlike minimalne.

Teorija stvaranja strugotine

Time u [1] 187o godine postavlja prvi teorijski model sl.1 definiše pri tome ugao ravne smicanja, koji se kreće u granicama φ=25 do €35°



Sl.1. Teorijski modeli o načinu obrazovanja strugotine

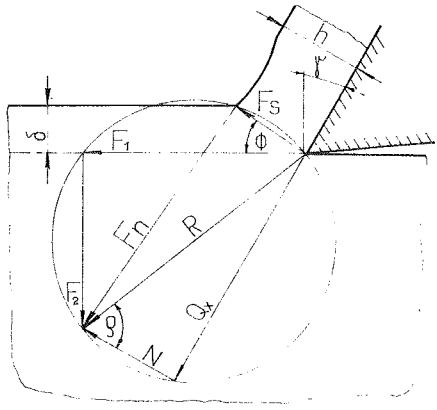
Sa druge strane nešto kasnije Brigs smatra[3] da se smicanje odvija u više ravni koje prolaze kroz vrh noža.

Tejlor [6] posmatra proces rezanja kao statistički sa više ravni smicanja u samoj strugotini.

Usačev upotpunjuje proces stvaranja strugotine preko mikro struktura.

Siebel [5] 1936.godine formira svoj model na bazi modela datog u [6]. Izmedju dva rata usavršava se tehnika za izučavanje deformacija pri nastajanju strugotine, a prikazi o tome dati su u [8] i [9] .

U [39] se povezuje stvaranje strugotine sa teorijskim postavkama mehanike rezanja. Iz čega proizilazi poznata Merčanstva konstanta korištenjem principa minimalnog dejstva sl.2.



Sl.2. Mahrov krug za otpore rezanja

Nešto kasnije objavljeni su rezultati istraživanja[35] , a zatim [36], [41] u kojima se povezuju teorije nastajanja strugotine sa

mehanikom rezanja i elementima termodinamike rezanja,te teorija trenja i teorija habanja, to su fundamentalna djela koja su inicirala niz drugih, a odnose se na rezanje koje se izvodi na strugu. Proces rezanja je pomoću specijalnog pribora zaustavljen. Korjen strugotine je poslije toga isjecan ulivan u plastiku i pravljeni su poslije toga izbrusci na osnovu kojih je vršena analiza dogadjaja u strugotini kao tok deformacije, dužina kontakta strugotine i grudne površine. Tom prilikom je otkrivena pojava unutrašnjeg trenja sl.3 i stepen jačanja na kontaktnim površinama.

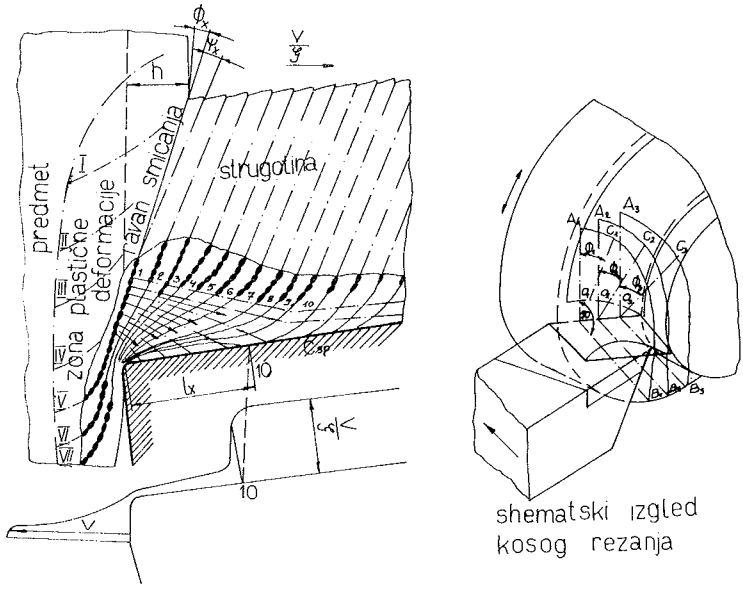
kontaktu grudne površine i strugotine.

Ocjenjivanje je vršeno na osnovu rezultata eksperimenta,a isto tako preko jednačine

$$d\sigma = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma}{\partial \dot{\varepsilon}} d\dot{\varepsilon} + \frac{\partial \sigma}{\partial T} dT \quad (1)$$

pri čemu je

σ - otpor rezanja,
ε - deformacija
$\dot{\varepsilon}$ - intenzitet deformacije,
$(\dot{\varepsilon} \sim \frac{\varepsilon}{t} = \frac{\alpha \gamma_y}{dy})$,
T - temperatura,
t - vrijeme deformacije$(t = \frac{\Delta s}{v})$,
v - brzina smicanja .

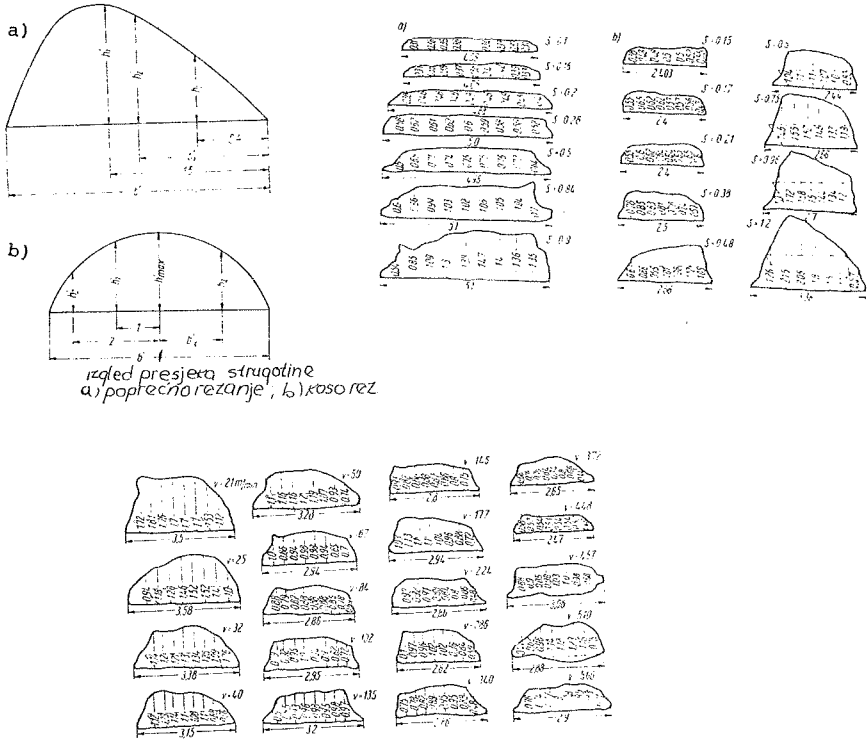


Sl.3. Presjek kroz strugotinu (izgled kočionog sloja)

Analiziran je uticaj intenziteta deformacije na veličinu ojačanja. Analizirane su brojne pojave kod takozvanog ortogonalnog i kosog neslobodnog rezanja. Takodje je prihvaćeno da se ne javlja tečna faza na

Može se vidjeti na osnovi prethodne jednačine, da je dominantan uticaj srednjeg člana tj.intenziteta deformacije. Uticaj brzine i koraka kao i vida obrade(ortogonalno odnosno koso neslobodno) na

stepen sabijanja dat je na sl.4.

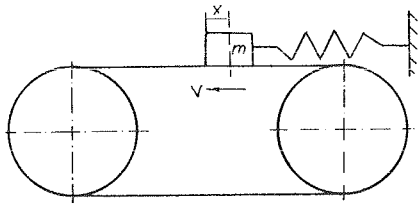


Sl.4. Presjeci strugotina pri različitim vidovima obrade(uticaj koraka i brzine na stepen sabijanja) Materijal Č.153o.

Pri tome debljina strugotine se smanjuje pri obradi kod većih brzina rezanja. Na presjek strugotine bitno utiče,takodje,ugao podešavanja χ. Strugotina ima drugi oblik pri radu sa obrtnim noževima [31].

Stabilnost procesa rezanja

Istraživanja stabilnosti procesa rezanja započinju modelom Van der Pola sl.5.



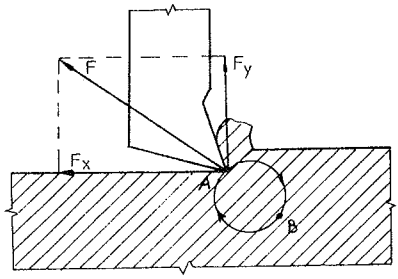
Sl.5. Model Van der Pola(Tumačenje vibracija u obradi rezanjem)

Do jednačina oscilacija dolazi se analizom sistema, pri čemu se uzima, da se veličina koeficijenta trenja mjenja linearno. Dobijeno je

$$m\ddot{x} + (c - d)\dot{x} + k\,x = 0 \qquad (2)$$

Ovdje amplitude rastu beskonačno, što nije tačno. Realniji model bio bi gdje je promjena koeficijenta trenja nelinearna.

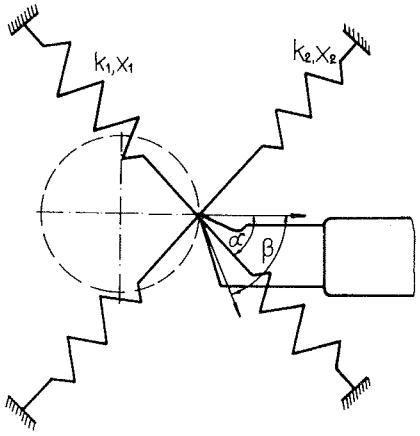
Prema mišljenjima datim u [25] pojava autooscilacija pri obradi rezanjem uzrokovana je periodičnim promjenama veličine otpora rezanja i presjeka strugotine, a kao dominirajući uticaj pri tome uzima se širina strugotine. Frekvencija autooscilacija je određena sopstvenom frekvencijom nekog od članova sistema, a ne zavisi od broja obrtaja. Energija kojom se napajaju autooscilacije se može objasniti na osnovu sl.6. Naime, ako se vrh alata kreće u smjeru A prema B, otpor F ima



Sl.6. Model autooscilacija prema [25]

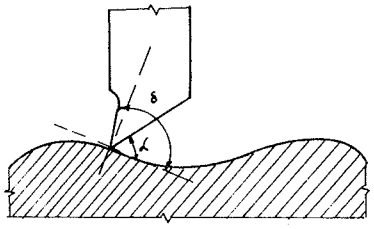
suprotan smjer od brzine, tada se energija uvećava, a pri kretanju od B prema A smjer brzine i otpora se poklapa i energija obrade se smanjuje, njihova razlika daje energiju autooscilacija.

Prema modelu [24] polazi se od sistema sa dva stepena slobode sl.7 pri tome analizuje promjenu



Sl.7. Model autooscilacija prema [24]

parametara geometrije i njihov uticaj na veličinu otpora.



Sl.8. Promjena parametara geometrije sječiva pri autooscilacijama.

$$F = Fm + \Delta F \qquad (3)$$

dolazi se do jednačina

$$m\ddot{x}_1 + C_1 x_1 = \Delta F \cos(\beta - \alpha) \quad \Delta F = r_{,y}$$
$$m\ddot{x}_2 + C_2 x_2 = \Delta F \sin(\beta - \alpha) \qquad (4)$$

a njihova rješenja daju kriterijume stabilnosti ($r \rightarrow$ koeficijent dubine)

$$r_q = \frac{(C_2 - C_1)\left[\cos(2\alpha - \beta) - \sqrt{\sin 2\alpha - \sin(2\beta - 2\alpha)}\right]}{\cos^2 \beta} \qquad (5)$$

na osnovu čega proizilazi da r_q u prvom redu zavisi od $C_2 - C_1$, a apsolutna stabilnost dobiva se za $\alpha > \beta$, tako da vektor otpora zauzima odredjen ugao u prostoru.

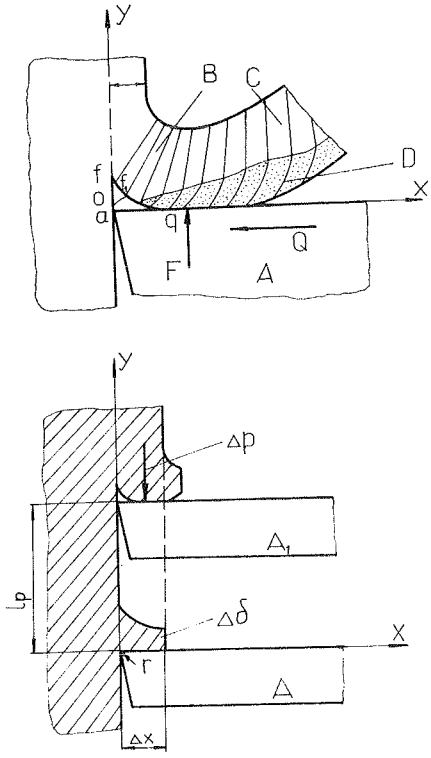
U vezi stim pojavile su se nove konstrukcije alatnih mašina gdje su korišćeni ovi rezultati. U odnosu na raniji izgled alatnih mašina se izmjenio.

Fenomen autooscilacija nakon objavljivanja rezultata datih u [24] počinje da se više istražuje. Tu treba spomenuti radove [23] a od domaćih [73] gdje se koriste statističke metode razvijene u nekim drugim naukama, a primjenjene efektno na proces rezanja.

Novijeg datuma su istraživanja data u [29]. Polazi se od zaostajanja poremećaja nornalnog otpora rezanja F u odnosu na pomjeranje koje je upravno na smjer kretanja i zaostajanja otpora trenja Q_t u odnosu na otpor F sl.9.

Zaostajanje pomjeranja za Δx alat A dospjeva u položaj ispod nedeformisanog sloja. Priraštaj otpora ΔF koji djeluje na alat raste sa porastom veličine deformacije metala počev od nule do konačne vrijednosti priraštaja na nekom putu l_p tj. iz položaja A u A_1 za vrijeme τ_{pt}. Strugotina koja se pomjera duž grudne površine noža i shodno debljini skidanog sloja δ dobija se priraštaj $\Delta\delta$ koji se povećava uslijed faktora sabijanja, pri tome sila trenja Q_t ne povećava se trenutno.

Sloj metala koji se skida u blizini obradjivane površine podvrgnut je periodičnom rezanju sa obrazovanjem naprslina ispred vrha



Sl.9. Model autooscilacija kod zaostajanja

alata i složenim deformacijama metala. Pri čemu se dijelovi strugotine periodički sabijaju za sjecaju u pravcu brzine, te tako nastaju lamele koje su smaknute pod uglom koji odgovara ravni smicanja.

Opisani diskretan proces reza-

nja objašnjava da naprezanje u ravni Y raste brže nego naprezanje od sabijanja i smicanja skidanog sloja, tako da je uslijed toga deformacija strugotine propraćena periodičkim kidanjem metala u ravni Y.

U uskim fazama generisanja strugotine dolazi do kašnjenja sila poremećaja što izaziva pojavu nelinearnosti procesa. Ipak u analizi stabilnosti procesa rezanja uzima se da je on približno kontinualan. Ovi zaključci prihvaćeni su na većini realnih procesa obrade metala rezanjem.

Za opis autooscilacija polazi se od jednačina

$$\Delta F(t+\tau_{Ft}) = -B\Delta X = \Delta F_x$$
$$\Delta Q(t+t_{Qt}) = f\Delta F(t) = \Delta Q_p \qquad (6)$$

Parametri kašnjenja τ_{Ft} i τ_{Qt} pri variranju brzine rezanja takodje su promjenjive veličine.
Uvedu li se zamjene (sl.1o i 11)

$$Q = \frac{\Delta Q}{Q_s} \; ; \; F = \frac{\Delta F}{F_s} \; ; \; X = \frac{\Delta X}{X_s}$$

$$Y = \frac{\Delta Y}{Y_s} \qquad T_{x2}^2 = \frac{mx}{C_x} = \omega_x^{-2}$$

$$T_{y2}^2 = \frac{my}{c_y} = \omega_y^{-2}$$

$$Tx1 = \frac{bx}{C_x} = \frac{dx}{\omega x}$$

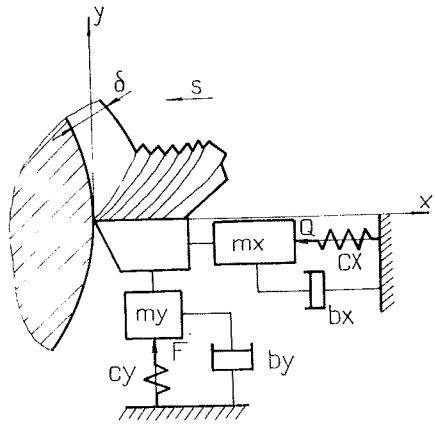
$$T_{y2} = \frac{by}{C_y} = \frac{by}{C_y} = \frac{dy}{f} \approx \frac{dy}{\omega y}$$

$$B = k\, b_c\, \varepsilon\, \delta^{\varepsilon - 1}$$

$$\tau_{Ft} = \frac{1f}{v_s + \Delta y} \; ; \; \tau_{Qt} = \frac{L_a}{v_s + \Delta y + \xi \Delta x}$$

dobijaju se izrazi (sl.1o i 11)

Ova istraživanja iskorištena su na modernim mašinama alatkama u cilju poboljšanja i postizanja boljih tehnoekonomskim efekata. Ovdje se iznose ova i ako različita gledišta radi diskusije.

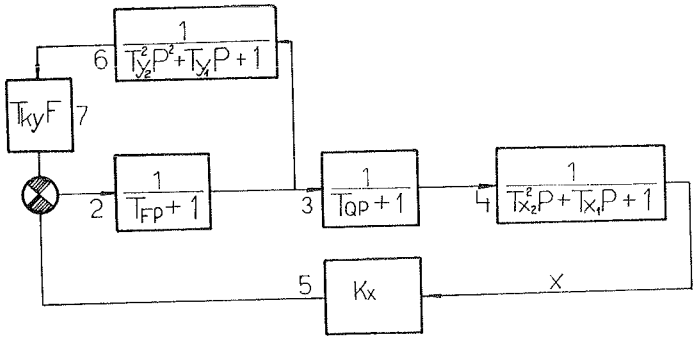


Sl.10 . Model procesa rezanja sa dva stepena slobode uz prisustvo zaostajanja promjene normalne sile u odnosu na silu trenja

Obradljivost materijala

Obradljivost je kao što znamo, skup većeg broja svojstava materijala koji pokazuju sa kakvim se uspjehom može da obradjuje rezanjem materijala i predstavlja dio nauke o obradi rezanjem koja defi - niše utrošak energije, intenzitet habanja, kvalitet obrade, oblik strugotine i visina temperatura u temperaturskom polju zone rezanja.

Prema tome obradljivost datog materijala nije mogućno da se odredi jednim brojem. Ipak se u nekim pojednostavljenim slučajevima obradljivost materijala definiše sa V_x, pri čemu je x - postojanost (na primjer za T=6o imamo V6o). Obradljivost zavisi u prvom redu od fizičkih osobina obradjivanog materijala, jačine na kidanje, tvrdoće, relativnog izduženja, toplotne vodljivosti od mikro strukture i hemijskog sastava.



Sl.11. Blok shema procesa rezanja
2 i 3 - inercijalna grupa
4 i 6 - oscilatorna grupa

Pri tome mikrostruktura zavisi od toplotne obrade.

Sa povećanjem jačine materijala obradljivost (V 6o) se snižava ali ne uvijek. Na primjer pri obradi čistog molidbena jačina je niska, ali je V_{6o} znatno uži u odnosu na konstrukcijske čelike,s tim u vezi, uveden je pojam obradljivosti materijala.

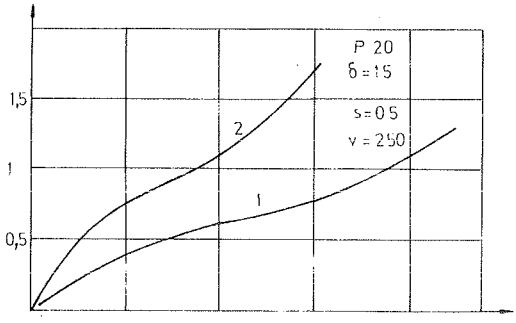
Toplotna vodljivost takodjer bitno utiče na obradljivost (v 6o). Sa sniženjem veličine toplotne vodljivosti odnosno v_x se snižava.

Mikro struktura bitno utiče na obradljivist. Optimizacijom mikrostrukture mogućno je da se obradljivost značajno poveća. Pri tome pojedini elementi mikrostruktura mogu da djeluju veoma abrazivno na površinu alata.

Osnovni element strukture je ferit koji je veoma plastičan,lijepi se na sječivo(stvaraju se naslage), što nepovoljno utiče na kvalitet obrade, ali ne djeluje abrazivno na alat.

Kod većine ugljeničnih čelika osnovna struktura je perlit. Prema obliku cementita mogu da prisustvuju perlit u vidu pločica i ferit u obliku zrna gdje je cementit rasporedjen u vidu malih zrna u osnovnoj masi ferita. Ovaj posljednji oblik je plastičniji u odnosu na prethodni i značajno manje abrazivan, ali su temperature rezanja više kod zrnastog perlita u odnosu na pločasti.

Abrazivni uticaj mikro struktura za hromov čelik dat je na sl.12. Na osnovu toga mogućno je da se vrednuje obradljivost.



Sl.12. Uticaj mikrostrukture na obradljivst za hromov čelik VCM 125
1-zrn.str.perlita,2-perlit u vidu pl.

Malougljenični čelici (do C=o,3%), obradjuju se odlično pri gruboj i završnoj obradi u uslovima prisutne perlitnoferitne strukture u vidu pločica, koja je ravnomjerno raspo-redjena. Ako je neravnomjeran raspored tada se pogoršava obradljivost.

Pri obradi čelika sa C=o,36-o,6 najbolja se obradivost postiže uz prisustvo u strukturi zrnastog perlita. Medjutim, pri obradi malim brzinama rezanja (obrada zupčanika provlačenjem,razvrtanje,urezivanje navoja) u uslovima završne obrade postižu se bolji rezultati kada je prisutan u mikrostrukturi perlit u vidu pločica. Pri obradi legiranih čelika i sa većim sadržajem ugljenika pokazala se kao dobra za obradljivost (najbolja) mikrostruktura u vidu zrnastog perlita sa većim zrnima cementita. Postojanost alata se značajno povećava, a kvalitet obrade je dobar.

U svim slučajevima gdje je potrebno da se obradljivost popravlja neophodno je da se ograniči stvaranje neravnomjernog ferita.

Kao što je pomenuto, na obradljivost bitno utiče hemijski sastav.

Po pravilu čelici sa manjim sadržajem ugljenika lošije su obradljivi u odnosu na veći sadržaj.

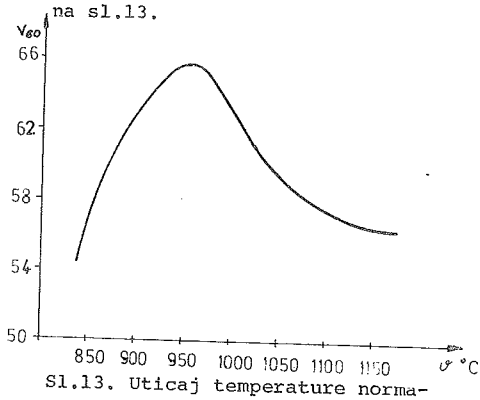
Uticaj mangana zavisi od prisustva ugljenika i ostalih legirajućih elemenata. Pri povećanju istovremeno ugljenika i mangana obradljivost se pogoršava. Prisustvo silicijuma pogoršava obradljivost dok prisustvo fosfora(tek kad ga je više od o,1%) povoljno utiče na obradljivost.

Prisustvo takodje utiče i prisustvo sumpora.

U svakom slučaju poboljšanje obradivosti preko metalurških procesa ostvaruje se prečišćavanjem čelika ili dodavanjem nekih elemenata kao i njihovom odgovarajućom termičkom obradom.

Dodavanjem olova mogućno je da se brzina rezanja može povećati i do tri puta.

U pogledu toplotnog tretiranja obradljivost se popravlja (ugljeničnih čelika do o,5% C) normalizacijom. Pri tome tempetatura normalizacije tim je veća što je sadržaj ugljenika niži. Dok se poboljšanje obradljivosti čelika sa većim sadržajem ugljenika izvodi žarenjem (nastaje perlit u vidu zrna). Uticaj temperature normalizacije na obradljivost data je na sl.13.



Sl.13. Uticaj temperature normalizacije legiranih niskougljeničnih čelika na V6o

Obradljivost visokolegiranig čelika postiže se sferoidezacijom cementita koja se realizuje kratkim žarenjem čelika na temperaturi 2o - 3o° iznad kritične temperature i laganim hladjenjem ili složenim toplotnim postupcima.

Ovim postupcima mogućno je da se popravi značajna obradljivost i u pogledu kvaliteta obrade.

Slično toplotnim uticajima na obradljivost čelika mogućno je da se toplotnim postupkom poboljša obradljivost livenog gvoždja.

Ovdje medjutim mora da se vodi računa o tome da se sniženjem tvrdoće livenog gvoždja snižava otpornost na habanje. O tome detaljnije može da se vidi u [6o] .

Pored opisanih toplotnih postupaka poboljšanja obradljivosti,moguće je to učiniti i čisto mehanički uvodjenjem vibracionog rezanja.

Obradljivost titana

Zahvaljujući maloj specifičnoj težini i povoljnim drugim svojstvima primjena se sve više širi. Naročito u vazduhoplovstvu a i u drugim tehnikama. Za potrebe Fabrike vazduhoplova razvijena je metodologija i izvršena ispitivanja obradljivosti titana na Mašinskom fakultetu u Mostaru pri obradi na strugu i bušenjem [75]

Prije razmatranja obradljivosti daju se o ovom materijalu opšti podaci.

Opšti podaci

Titan je po rasprostranjenosti deveti element na zemljinoj kori i obuhvata o,6% zemljine kore. Medju konstrukcionim metalima po rasprostranjenosti zauzima četvrto mjesto odmah iza aluminijuma,magnezijuma i gvoždja dok je znatno rasprostranjeniji od hroma,nikla, bakra,olova i drugih metala. Sirovine za dobijanje titana su veoma rasprostranjene i obezbjedjuju dugotrajnu eksploataciju. Najrasprostranjeniji minerali titana su ilmenit $FeO-TiO_2$ i rulit TiO_2.

Najpoznatija svjetska nalazišta titana nalaze se u Indiji, Noverškoj i Sjedinjenim Državama, a u našoj zemlji nalazi se uglavnom vezan u boksitnim rudama.

Brzi razvoj metalurgije titana počeo je tek otkrićem Krollovog procesa 1939.godine. Prema ovom postupku titan se dobiva redukcijom titan-hlorida($TiCl_4$) pomoću magnezija:

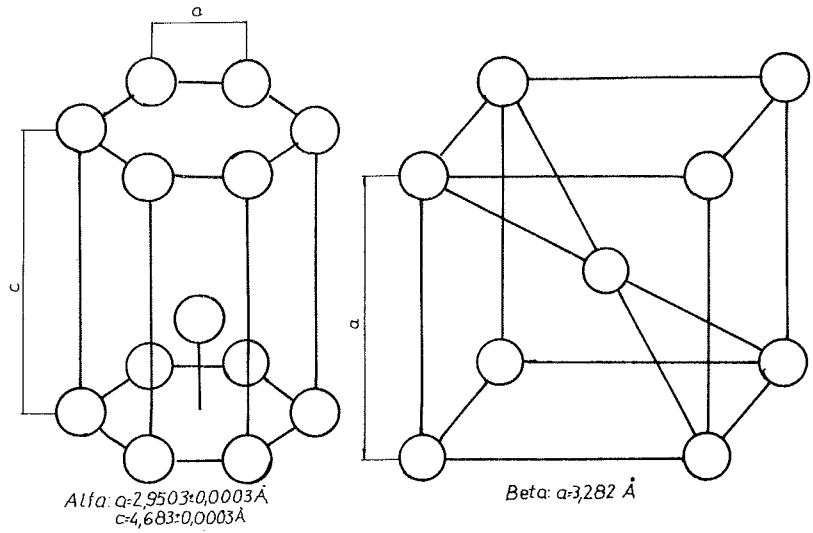
$$TiCl_4 + 2Mg = Ti + 2MgCl_2$$

Titan-hlorid se dobije iz rude prilikom procesa u gvozdenim loncima sa neutralnom atmosferom. Ovim postupkom dobijamo titan različite čistoće. Kao nečistoće su najčešće azot i kiseonik iz vazduha i gvoždja iz lonca u kome se vrši redukcija. Titan dobiven na ovaj nsčin nije pogodan za praktičnu primjenu, zato se formiraju gredice i tope u elektrovakumskim pećima radi prečišćavanja . Na ovaj način dobivamo titan relativno čist od kiseonika i azota,ali ipak može da sadrži metalne nečistoće.

Titan pripada četvrtoj grupi elemenata periodičnog sistema,redni broj mu je 22,atomska težina 47,9 i atomska zapremina lo,64 cm^3/g atoma,radijus atoma 1,46 A i broja srebrenasto siva.

Postoje dvije alatropske modifikacije titana: Niskotemperaturska α modifikacija ima heksagonalnu rešetku. Viskotemperaturna β modifikacija titana ima prostorno centriranu kubnu kristalnu rešetku.

- Specifične karakteristike titana i njegovih legura su:
- mala specifična težina,oko $4,5.1o^3$ (kg/m^3) izmedju aluminijuma i čelika;
- velika mehanička otpornost,naročito važi za legure;
- otpornost na koroziju u velikom broju medija;
- dobre osobine nekih medju njima



Sl.14. Oblici i karakteristike kristalnih rešetki titanovih modifikacija

na vrlo niskim temperaturama;
- nemagnetičnost.

Ovi materijali obuhvataju dvije velike kategorije:

- Nelegirani titan tj.trgovački čist sa minimalno 99% titana koji je označen slovom T i odgovarajućom cifrom koja odgovara jačini na kidanje materijala u žarenom stanju: T35,T40,T50 i T60.

- Legirani titan koji sadrži legirajuće elemente kao što su aluminijum,vanadijum, kalaj itd. i čija oznaka sadrži simbole legirajućih elemenata i procentualnog učešća onih koji su zastupljeni u najvećem iznosu:TA6V,TA5E,TA4M, itd.

Fizičke osobine titana se znatno razlikuju od fizičkih osobina najčešće primjenljivih konstrukcijskih materijala. U tabeli br.3 data su uporedjenju osobina titana sa nekim konstrukcijskim materijalima.

Čisti titan je nepodesan kao konstrukcijski materijal jer je u tom stanju relativno mekan i rastegljiv. Titan komercijalnog kvaliteta koji sadrži izvjesne količine interkristalnih elemenata kao što su: kiseonik, azot i ugljenik, znatno je jači i može poslužiti kao dobar konstrukcioni materijal. Mehaničke osobine titana zavise prije svega

Nelegirani titan

Tabela br.1.

Oznaka	O%	N_2%	H_2%	Fe%	Si%
T35	o,o8	o,o5	o,o15	o,12	o,o4
T4O	o,o8	o,o5	o,o15	o,12	o,o4
T5O(PM)	o,o8	o,o7	o,o15	o,25	o,o4
T6O	o,o8	o,o8	o,o15	o,3o	o,o4

Legirani titan

Tabela br.2.

Oznaka Type	C	Fe	Si	Al	Mn	Va	H_2	O_2
TA6V	o,o8	o,25	-	5,5-7	-	3,5-4,5	o,o125	o,2

od čistoće tj. od količine primjesa nakon dobivanja. Uticaj nekih primjesa na mehaničke osobine titana dato je na sl.15.

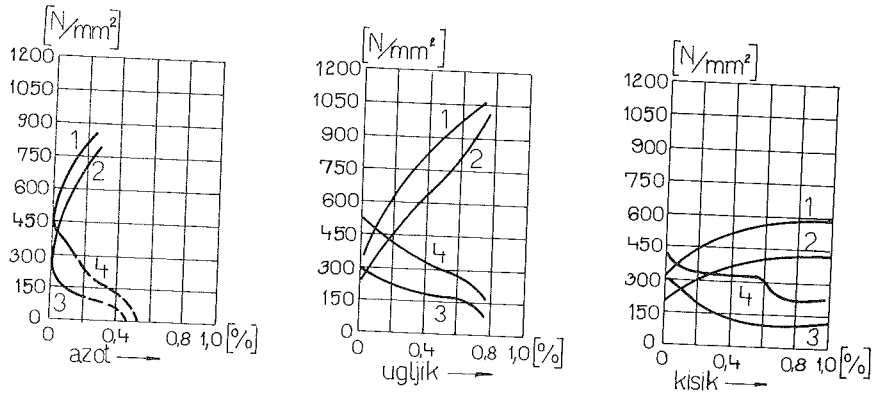
Tabela br.3

Element,konstruk-materijal	Ti	Fe	Al	Mg	Cu	Ta	Nb	Nehr. čelik
Redni broj	22	26	13	12	29	73	41	-
Atomska težina	47,9	65,85	26,97	24,32	63,57	92,91	9,ol	-
Tačka topljenja K	1953	18o8	953	923	1358	2743	1563	1693
Modul elastičnosti (10^3 N/mm^2)	11o	2o4	71	47	127,5	114	3oo	194
Koeficijent linearnog širenja pri 293 K 10^{-6}	8,5	11,7	22,9	25,2	16,5	7	11,7	-
Specifični električni otpor pri 293K (Ω mm^2/m)	o,478	o,1	o,o27	o,o46	o,ol7	o,16	o,o3	o,72
Koeficijent provodjenja toplote pri 293 K (W/mK)	16	75	21o	145	385	-	-	-
Specifična težina (g/cm^3)	4,5	7,86	2,7	1,74	8,94	8,6	1,85	7,93

Danas se proizvodni čist titan i titan trgovačkog kvaliteta koji može biti niske i visoke tvrdoće. U tabeli br.4. date su mehaničke osobine čistog i komercijalnog titana.

Tabela br.4.

OSOBINA	Čisti titan	Komercijalni titan	
		niske tvrdoće	visoke tvrdoće
Modul elastičnosti ($10\ N/mm^2$)	11000	11000	11000
Modul klizanja (N/mm^2)	45000	45000	45000
Zatezna čvrstoća ($10\ N/mm^2$)	2o-3o	45-55	6o-7o
Izduženje (%)	4o-6o	2o-3o	2o-25
Redukcija presj.(%)	7o-9o	4o-7o	4o-5o
Tvrdoća HV	8o-1oo	16o-18o	2oo-22o
Granica razvlačenja ($10\ N/mm^2$)	12-18	3o-4o	5o-6o
Udarna žilavost ($1o\ N/mm^2$)	4-12	4-12	4-12



1- zatezna čvrstoća
2- granica razvlačenja
3- relativno izduženje
4- relativno suženje

Sl.15. Uticaj kiseonika,ugljenika i azota na mehaničke osobine titana.

U visokorazvijenim zemljama titan je danas gotovo konvencionalni konstrukcijski materijal. Mogućnost primjene titana i njegovih legura i osobine koje uslovljavaju primjenu date su u tabeli br. 5.

Tabela broj 5

Osobina	Područje primjene u industriji
1	2
Otpornost na koroziju	- hemijska industrija - kondenzatori za nuklear.reaktore - ispitivanje u okeanologiji - industrija hlora
Visoka specifična otpornost na toplotu i hladnoću	- naoružanje - vazdušne letilice - atomska postrojenja - djelovi sportskih automobila
Nemagnetičnost	- geofizika - elektronska oprema

OBRADA TITANA I NJEGOVIH LEGURA STRUGANJEM

Režimi obrade

Prije nekoliko godina tvornički rad sa titanom i njegovim legurama u obradi rezanjem je smatran delikatnim, ali s obzirom na stečeno iskustvo danas je to skoro redovna tehnika.

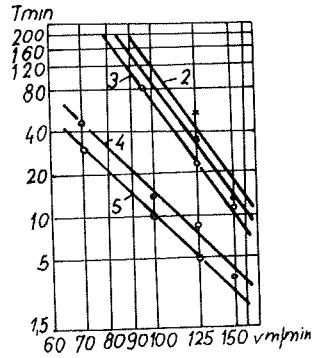
Faktori koji bitno utiču na obradu titana i njegovih legura su slijedeći:

- visoka temperatura pri obradi zbog slabe toplotne provodljivosti, što nameće obilno hladjenje i ograničene brzine rezanja,
- nizak modul elastičnosti može dovesti do vibracija ako djelovi nisu dovoljno stegnuti i ako je mala snaga mašine,
- opasnost od požara zbog strugotine; ova je opasnost minimalna ako je uskladištenje izvedeno normalno i hladjenje obilno,
- mogućnost struganja bitno je vezana za sloj oksida,
- vremena obrade su nešto viša od vremena obrade čelika usljed nešto nižih brzina rezanja.

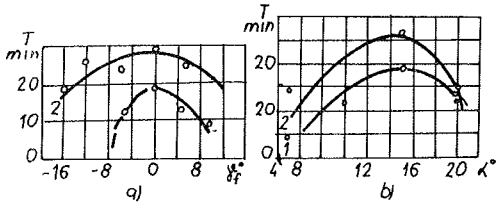
Bez ulaženja u detalje operacija iz ovih karakteristika mogu se izvući sljedeća praktična pravila:

- brzina rezanja znatno su niža u odnosu na čelik,
- obrada se obavlja sa znatno većom dubinom rezanja, a u skladu sa tehnološkom operacijom,
- potrebno je da se koriste mašine veće snage i povećane krutosti,
- treba da se koriste sredstva za hladjenje otporna na visoke pritiske, a dotok rashladnog sredstva mora biti tačno upravljen na površinu dodira strugotine sa vrhom alata,
- hladjenje je obilno,preporučuje se da to budu topljiva ulja sa rastopinama nitritamina sa baritom i ulja sa dodatkom sumpora,
- alati koji se koriste mogu biti od brzoreznog čelika ili tvrdog metala,
- dozvoljena pohabanost je manja u odnosu na obradu čelika tako da se oštrenje alata vrši češće i precizno.

Uticaj parametara geometrije na postojanost dat je na sl.17.



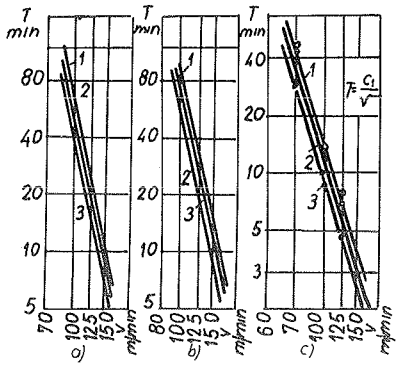
Sl.16. Zavisnost postojanosti T od brzine rezanja v pri finom struganju bez hladjenja titanove legure "BT5" (kriva 3) sa α strukturom; legure "BR3-1"(kriva 1) i "BT8" (kriva 2) sa $\alpha+\beta$ strukturom; legure "BT15" sa β strukturom (krive 4 i 5). Nož sa pločicom od K2o i geometrijom; f=o,5-o,7 mm; $\gamma_f = 0^o$; R = o,6-o,8 mm; $\gamma = 8 - 10^o$; $\alpha = \alpha_1 = 15^o$; $\varkappa = 45^o$; $\lambda = 0^o$; s=o,11 mm/o; δ =o,5mm; 1 - 4 pri h=o,5mm; pri h=o,3mm.



Sl.17. Uticaj veličine grudnog ugla vlakna γ_f(a) i ledjnog α(b) na postojanost noža pri struganju titanovih legura bez hladjenja. 1 - legura "BT3" sa nožem K2o; 2 - legura "BT14" sa nožem " K3O" ; v = 6o m/min; s=o,21 mm/o; δ = 1,5 mm; h=o,3mm.

Geometrija noža kod kojeg je zapažena najveća postojanost je uzeta kao optimalna.

U toku ispitivanja obradljivosti najveći uticaj na postojanost pokazuje brzina rezanja i pomak,dok dubina rezanja utiče na postojanost sa manjim stepenom. U tom odnosu postoji potpuna analogija sa zakonima karakterističnim za legiranje i ugljenične čelike. Pri pomacima s <o,1 (mm/o) remete se uslovi postojanog habanja i snižava se postojanost i zbog značajne koncentracije toplote u zoni ledjne površine. Tako se kod tanke strugotine titanovih legura snižava odvod toplote.

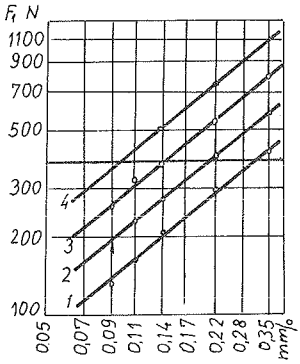


Sl.18. Uticaj brzine rezanja na postojanost alata sa pločicom "K2o" pri struganju bez hladjenja
a) legura "BT5"; b) legura "BT8" i c) legura "BT15";
s = o,11 mm/o; δ=o,5mm; h=o,5; o,4; o,3 mm(za krive 1, 2, 3)

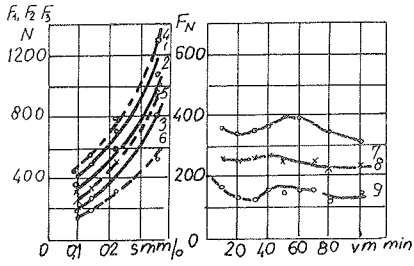
Pri obradi sa pomacima većim od o,2 mm/o sniženje postojanosti povezano je sa pojavom intenzivnog habanja po grudnoj i ledjnoj površini što dovodi do bržeg razaranja sečiva.

Na slici19. prikazan je uticaj dubine i pomaka na tangencijalnu komponentu sile otpora rezanja. Matematskom obradom tih podataka ustanovljena je slijedeća zavisnost:

$$F_1 = 173o \cdot \delta \cdot s^{o,8} \quad [N]$$



Sl.19.Zavisnost komponente F_1 sile rezanja od pomaka i dubine rezanja pri struganju titanove legure "BT3" alatom sa pločicom"K2o".Struganje bez hladjenja sa:v=4om/min; δ=o,55; o,76; 1,o5; 1,45mm(krive 1,2,3,4)

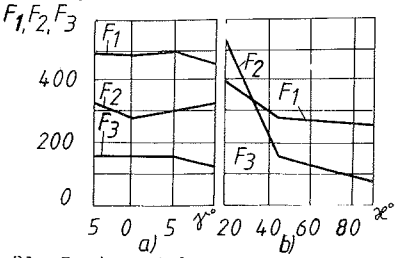


Sl.2o.Zavisnost komponenti F_1,F_2, F_3 otpora rezanja pri struganju legure titana "BT3" i čelika:a) od pomaka s(pri v=4o m/min, δ= 1 ;1-3 za leguru titana 4-6 za čelik;b)od brzine rezanja v(pri s=o,11 mm/o, δ=1,o mm),7-9 rezanje bez hladjenja sa pločicom "K2o" i geometrijom γ= 0; $\alpha = \alpha_1$= $\varkappa_1$=15 $\varkappa$=45°, λ=0°, R=6-o,8 mm.

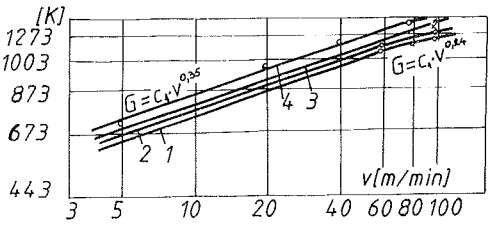
Sa slike 2o. se vidi da sa povećanjem pomaka rastu i veličine konponenti otpora rezanja, dok pri smanjenju koraka(od o,o3-o,o5 mm/o radijalna komponenta (F_2) po ve-

ličini može preći tangencijalnu F_1 a komponenta F_3 može biti bliska po vrijednosti sa komponentom F_1.

Promjena grudnog ugla γ=-5 do 10° ne pokazuje bitne uticaje na komponente otpora rezanja. Važan uticaj na njih ima napadni ugao $\varkappa$(sl.21). Za vrijednosti ugla $\varkappa$=20° izmedju komponenti otpora rezanja postoji odnos $F_1 : F_2 : F_3$=1:1,25:0,25. Sa povećanjem ugla $\varkappa$ do 45° smanjuje se tangencijalna i radijalna komponenta tako da je odnos $F_1:F_2$=1,8:1. Pri povećanju ugla $\varkappa$ do 90° komponente F_2 i F_1 se neznatno smanjuju, dok aksijalna komponenta F_3 neznatno raste.

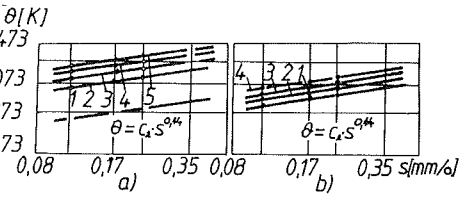


Sl.21. Zavisnost komponenti otpora rezanja od veličine grudnog ugla i napadnog ugla"pri struganju titanove legure "BT3".
a) v=4o(m/min),s=o,22 mm/o, δ=1,o mm
b) v=4o m/min,s=o,11 mm/o, δ=1,omm

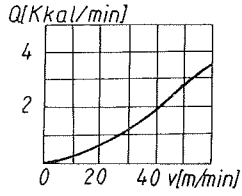


Sl.22.Zavisnost temperature rezanja od brzine rezanja pri struganju titanove legure "BT3-1" nožem od tvrdog metala "K 3o" sa: δ=1,onm, i različitim pomacima: 1-s=o,11 mm/o, 2-s=o,17 mm/o, 3-s=o,22 mm/o, 4- s=o,35 mm/o

Zavisnost temperature rezanja od uslova rezanja može se vidjeti na slikama 22.23 i 24.



Sl.23.Temperature rezanja θ(K) pri struganju legure titana "BT3-1" nožem sa pločicom "K3o" u zavisnosti od pomaka s.
a) pri δ=1,omm i različitim brzinama rezanja: 1- v= 2om/min, 2-v=4om/min
3-v=6o m/min, 4-v=8o m/min, 5-v=1oo m/min.



Sl.24. Količina toplote koju odnosi strugotine pri struganju titanove legure "BT2" sa različitim brzinama rezanja (v).

Pri obradi titanovih legura najveće poteškoće stvara obradu kore . Poteškoće se izražavaju time što se pri ovoj obradi javlja intenzivno habanje alata stvara pojavu visoke okorinosti.

Tabela broj 5 je formirana ns osnovu sljedećih režima rezanja: v= 125 m/min, s=o,11 mm/o, δ=o,5mm, rezanje bez hladjenja nož sa pločicom "K2O" sljedeće geometrije: γ = 0°, γ= 10°, $\alpha = \alpha_1$=15°, $\varkappa$=45°; $\varkappa_1$=15°, λ= 0°, R= o,6-o,8 mm.

Postojanost alata pri završnoj obradi titanovih legura.

Tabela br. 5

Strukturna grupa legure	Tip legure	Postojanost T min
α	BT5	11,o
β	BT15	4,7
$\alpha+\beta$	BT3-1	2o,2
	BT8	27,o

Postojanost je data pri kriterijumima habanja noža na ledjnoj površini o,3mm.

Treba istaći da je jedan od važnih zadataka,kako u tehnologiji mašinstva tako i u teoriji rezanja izučavanje integriteta obradjene površine ili sastava površinskog sloja poslije obrade rezanjem i njegov uticaj na kvalitet proizvoda.

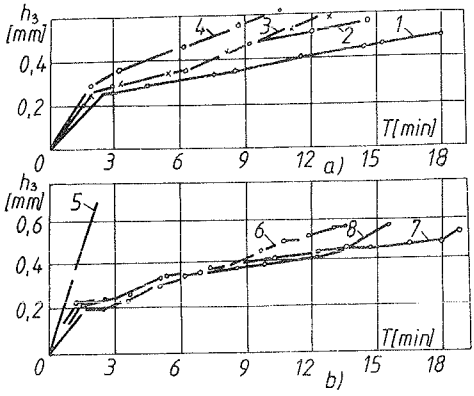
Posebno u oblasti primjene titanovih legura, kao konstrukcionog materijala.Hrapavost obradjene površine djelova od titanovih legura obradjenih struganjem zavisi od pomaka,brzine i dubine rezanja.

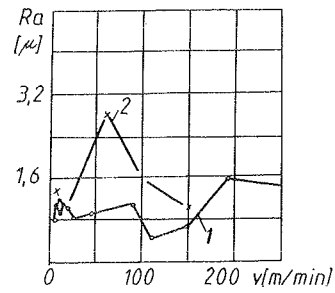
Na sl. 25 date su krive habanja alata

b) f = o,5-o,7mm, γ_f=0°, γ=8-10°, α_1= $\varkappa_1$=15°, $\varkappa$=45°, λ = 0°, R=o,6-o,8mm, 5= α =5°,6 -α =10°, 7 -α =15°, 8-α = 20°

Na slici 26. prikazana je zavisnost kvaliteta obradjene površine (Ra) titanovih legura od brzine rezanja (v) pri struganju bez hladjenja nožem sa pločicom "K2o" ove geometrije:

f=o,5-o,7mm, γ_f=0°, γ=8-10°, $\alpha = \alpha_1$= = $\varkappa_1$=15°, $\varkappa$=45°, λ= 0°
R=o,6-o,8mm pomak s=o,11mm/o, δ= 1,o mm.





Sl.26. Hrapavost obradjene površine legure titana.

Sl.25. Zavisnost veličine pohabanosti na ledjnoj površini alata sa pločicom "K2o" od veličine grudnog (a) i ledjnoj (b) ugla.
a) f=o,5-o,7mm, γ=8-10°, α= α_1= $\varkappa_1$ = 15°, $\varkappa$ =45°, λ= 0°
R=o,6-o,8mm, 1 = γ_f = 0°, 2 - γ_f = 5°, 3- γ_f=5°,4- γ_f=10°,

Optimizacija parametara režima obrade

Kao dio nauke o obradi metala rezanjem u okviru koje se radi na tehnoekonomskoj optimizaciji parametara obrade. Uveo ju je prvi Tejlor. Razvijeno je poslije toga nekoliko kriterijuma:minimalni troškovi, maksimalna proizvodnost,tehnoekonomski kvalitet obrade uz postizanje povoljnog oblika strugotine , a i više matematskih modela. Kod kriterijuma minimalnih troškova polazi se od izraza

$$U = M + N + A \qquad (8)$$

koji se transformiše u poznate izraze koji zavise od parametara režima, a optimalne vrijednosti nalaze se diferenciranjem.

$$\frac{\partial U}{\partial V} = 0 \quad \frac{\partial U}{\partial \delta} = 0 \quad \frac{\partial U}{\partial s} = 0 \qquad (9)$$

ako se pri tome uzimaju u obzir i ograničenja tada se formira nov izraz sa ograničenjima pomoću Langrange-ovih multiplikatora.

$$\phi = U + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i \qquad (10)$$

ovdje su:

λ_i - Langrange-ovi multiplikatori,
Z_i - ograničenja

Diferenciranjem (3) i izjednačenjem tih izraza sa nulom dolazi se do n+3 jednačine čija rješenja daju optimalne vrijednosti parametara.

U praksi se više koriste modeli linearnog programiranja gdje su razvijeni i programi za kompjutersku podršku. Kod samooptimizirajućih sistema kao što je poznato većina kriterijuma može biti obuhvaćena upravljanjem kompjuterom u samom procesu obrade.

Za obradne centre sa NC upravljanjem razvijen je model za optimizaciji parametara obrade.

$$K = KMO \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} t_{pij} +$$

Troškovi pomoćnih vremena u procesu obrade

$$+ K=KMO \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} t_{ij} +$$

Troškovi mašine i posluživanja u funkciji vremena obrade

$$+ KMO \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left(t_{zij} + \frac{\sum_{z=3}^{5} K_{AZ}}{KMO}\right) \frac{t_{ij}}{T_{ij}} +$$

Troškovi alata i izmjene alata po periodu postojanosti

$$+ \sum_{z=6}^{9} K_z \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \frac{t_{ij}}{T_{ij}} \qquad (11)$$

Ostali troškovi u funkciji parametara obrade

ili u matričnom obliku: prema (11a) odnosno (12).

Pokazano je da optimalni uslovi vladaju samo u slučaju kada su optimalni uslovi u svim etapama obrade obradnog procesa.

Kod optimizacije korišćenjem kriterijuma u vidu

$$T = C_{VB} / \left(V S^{H} F_a D \right)^{\frac{1}{m}} \qquad (13)$$

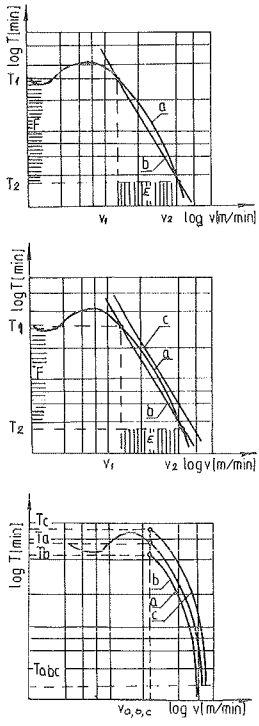
a oblici T-v krivih prikazni su na sl.27.

Broj alata u obradi

vrsta obrade

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ . \\ . \\ . \\ K_j \\ . \\ . \\ . \\ K_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{15}, \ldots\ldots\ldots, K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24}, \ldots\ldots\ldots K_{2n} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34}, \ldots\ldots\ldots K_{3n} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ K_{j1} & K_{j2} & K_{j3} & K_{j4}, \ldots\ldots\ldots K_{jn} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ K_{k1} & K_{k2} & K_{k3} & K_{k4}, \ldots\ldots\ldots K_{kn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ . \\ . \\ . \\ 1 \\ . \\ . \\ . \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (11a)$$

odnosno $K = \sum_{j=1}^{k} K_i \, b_i$ (12)



Slika 27.

Za maksimalnu proizvodnost polazi se od specifične proizvodnosti

$$Q = \frac{1}{t_k} \qquad (14)$$

Pri radu sa više alata ovaj se kriterijum može napisati u obliku

$$Q = \frac{1}{tg + tp + tpz} \qquad (15)$$

a optimalna vrijednost parametara režima obrade odredjuje se pomoću:

$$\frac{\partial Q}{\partial v} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad \frac{\partial Q}{\partial s} = 0$$

Termodinamika rezanja.

Uvod

U savremenim uslovima proizvodnje pri obradi rezanjem glavni cilj je obezbjedjivanje visokog kvaliteta proizvoda uz minimalne troškove obrade. Rješenje tih zadataka (svakog pojedinačno) vezano je, prema polaznom konceptu autora,

za izučavanje i upravljanje toplotnim pojavama.

Kvalitet obrade predmeta, njegova pouzdanost i trajnost, u eksploatacijskim uslovima direktno zavise od toplotnih opterećenja koja su bila prisutna u toku obrade.

U pogledu produktivnosti temperaturs-ko polje nastalo u zoni rezanja ispoljava svoj uticaj preko perioda rezanja i parametara režima obrade izmedju kojih postoji korelacija. Ova veza, uzgred budi rečeno, može biti iskorištena i za brže dolaženje do parametara režima obrade i upravljanja samooptimizirajućih obradnih sistema. Valja istaći pri tome, da visina temperature u temperaturskom polju različito utiče na postojanost alata od brzoreznog čelika i tvrdog metala.

Alati od tvrdog metala gube rezne sposobnosti kod nižih temperatura, dok je primjena alata od brzoreznog čelika ograničena visinom temperatura. Naime postoji kritična temperatura iznad koje se ne mogu koristiti alati od brzoreznog čelika. Poznavajući temperaturs-ko polje u strugotini, alatu i predmetu mogućno je da se bolje podesi hladjenje i tako umanji nepovoljan uticaj toplotnih opterećenja na period rezanja.

Pored ovoga, poznavanjem temperaturskih polja u procesu rezanja omogućuje se pravilnije sagledavanje problema procesa habanja alata(intenzivnost habanja) u različitim uslovima obrade, bolje odabiranje alatnog materijala za odgovarajuću obradu, bolje postavljanje zahtjeva za razvoj novih alatnih materijala koji treba da obezbjede najpovoljnije režime obrade,kao i procjena uticaja i kvaliteta rashladnih sredstava koja se primjenjuju u procesu rezanja.

Sve to je uticalo da se razvije nova nauka o toplotnim pojavama u obradi metala rezanjem tj. termodinamika rezanja.

Poslije niza u tom pogledu istraživačkih poduhvata kod nas i u inostranstvu učinjen je najnoviji napor na istraživanju toplotnih pojava termodinamskim metodama pri visokoučinskom brušenju [7o]. Izvršen je proračun temperaturskih polja u zoni rezanja metodom konačnih elemenata.

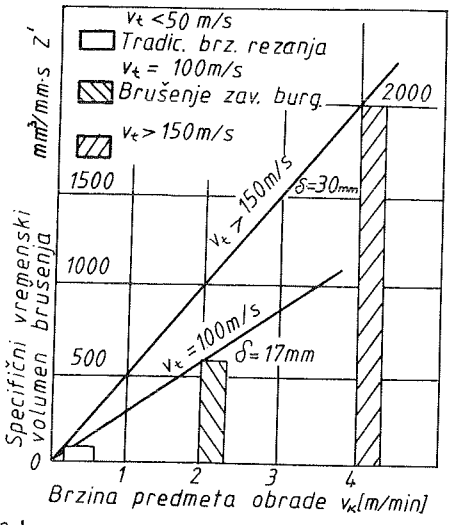
Kao što je prikazano u [7o] uvodjenje visokoučinskog brušenja vrijeme obrade snižava se za 8o% u odnosu na klasične postupke uz istovremeno dobar integritet obradjene površine.

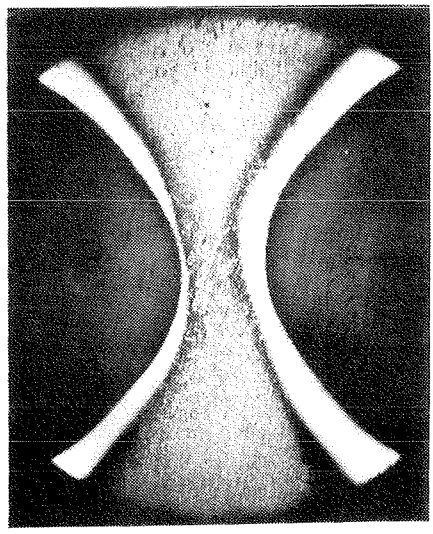
Na sl.28 dato je sadašnje stanje odnosa utrošaka vremena brušenja u odnosu na klasičan način.

Treba istaći (7o) da je ograničavajući faktor primjene visokoučinskog brušenja prisustvo visokih temperatura u pograničnom sloju predmeta obrade. Lošim izborom parametara režima obrade i rashladnog sredstva pojavljuju se u žljebu alata spaljene zone sl.29(presjek, bijeli pojas).

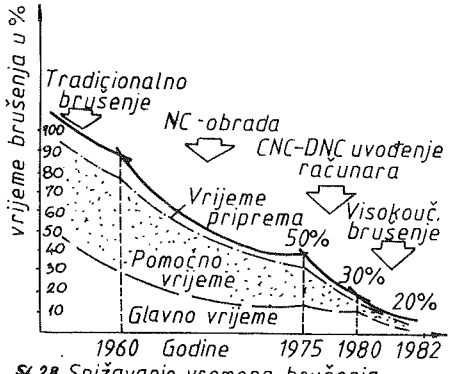
Promjene, pri tome, u mikro strukturi nastaju kada je temperatura na kontaktnim površinama viša od kritične temperature AC_3. Dolazi u tom slučaju do ponovnog kaljenja i pogoršavanja svojstva površinskih mikrostruktura,a time i do pogoršavanja svojstava alata u eksploataciji.

U okviru tog istraživanja razvijeno je novo domaće rashladno sredstvo za potrebe visokoučinskog brušenja [74].

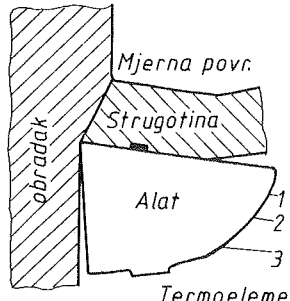




Sl.29.



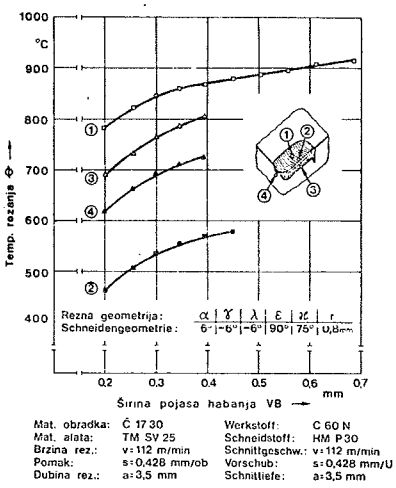
Sl.28. Snižavanje vremena brušenja u zavisnosti od vida brušenja



Sl.3o.Principijelna šema mjerenja temperatura na kontaktnoj površini alat-strugotina sa ugradjenim termoelementom.

Za eksperimentalnu identifikaciju temperatura na grudnoj površini noža pri obradi na strugu projektovan je nov termopar [61]i formiranje vrućeg spoja takodje na nov i efikasan način.

Dobiveni rezultati mogu da se koriste za upravljanje samooptimirajućim sistemima obrade rezanjem . Na slikama 3o. i 31 pokazani eksperimentalni rezultati zavisnosti temperatura i veličine pohabanosti.



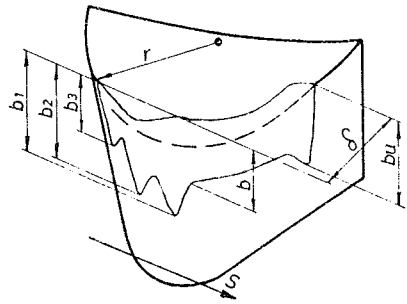
Sl.31. Porast temperatura rezanja na karakterističnim mjestima grudne, ledjne i pomoćne ledjne površine alata u zavisnosti od širine pojasa habanja.

Dobiveni rezultati sl.33 obradjivani su teorijski pomoću MKE [76].

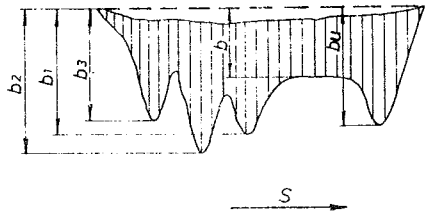
U razvijenom programu eliminišu se elementi što predstavlja habanje (sl.34), a rezultati proračuna dati su na sl.32. Pri tome su izvori i ponori bili locirani kako je to dato na sl.32.

Integritet obradjene površine

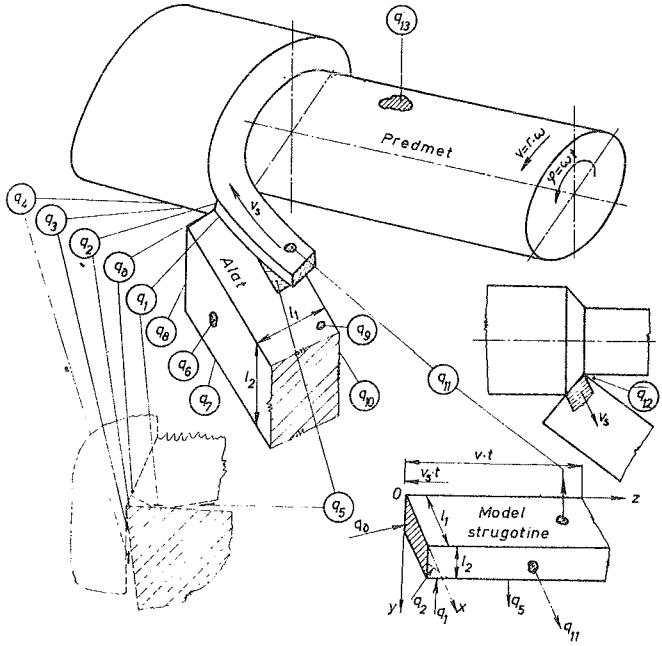
Pri završenoj obradi prevashodno se traži tačnost i kvalitet obradjene površine, pa u svojstvu kriterijuma se uzima habanje alata po ledjnoj površini. Prema ispitivanjima[45] pri završenoj obradi u uslovima malih presjeka strugotine na strugarskim noževima javljaju se tzv. koncentrično habanje. Za kvalitet obradjene površine od značaja je koncentrisano habanje u vidu žljebova ispod pomoćnog sječiva okrenuto obradjenoj površini. Izgled koncentrisanih žljebova dat je na sl.35 i 36. Pojava habanja i žljebova na alatu reperkutuju se oni na obradjenu površinu u vidu povećane hrapavosti. Iste rezultate dobio je i [6].



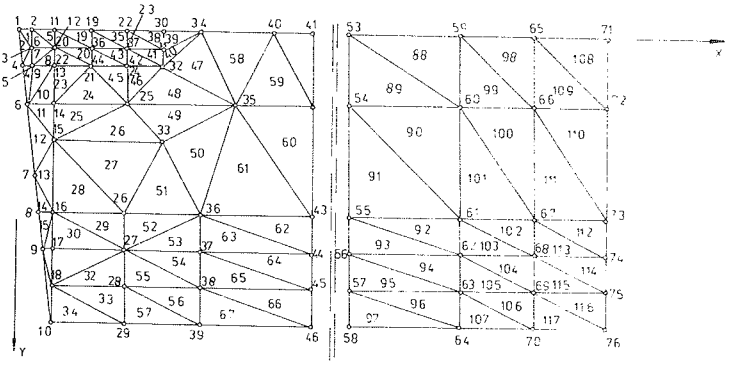
Sl.35



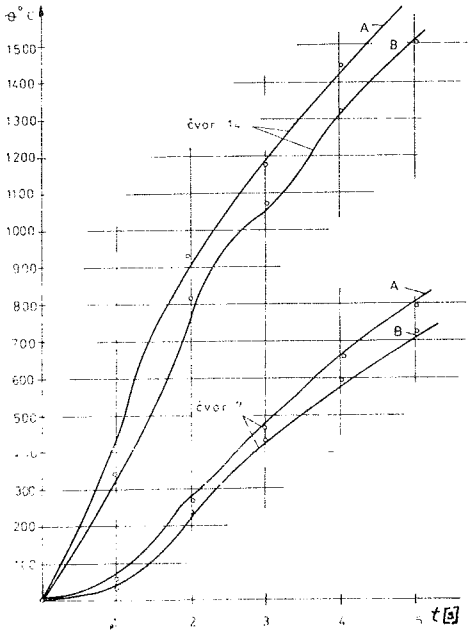
Sl.36.



Sl.32. Prostorni položaj izvora i ponora pri obradi rezanjem na strugu



Sl.33.



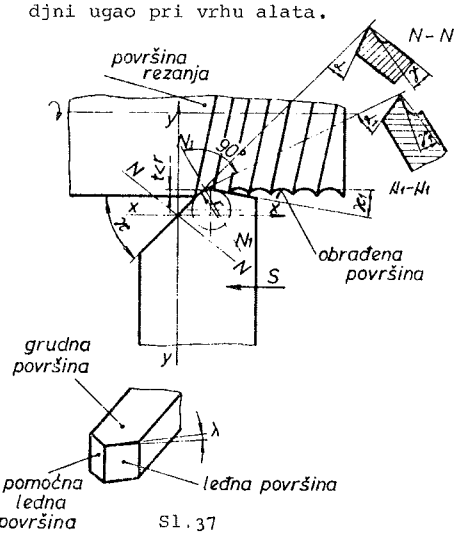
Sl.34.

Albreht smatra da obrazovanje žljebova na pomoćnom sečivu nastaje skidanjem naslaga koje se stvaraju u kontaktnoj zoni izmedju obradka i alata. Lajster vjeruje da žljebove treba posmatrati kao posljedicu skidanja čestica koje su dospjele na površinu alata. Šav i Dirke su pokušali da pojavu habanja pomoćnog sječiva pripišu atheziji izmedju glatkih površina.

Postoje i druge hipoteze raznih istraživača za uzroke pojave habanja,od kojih svaka posebno posmatrano ne može da objasni postanak habanja.Ipak većina prihvata gledište dato u [45]

Ranije je napomenuto da postoji više faktora koji utiču na kvalitet obradjivane površine. U radu [51] analiziran je uticaj geometrije vrha alata na kvalitet obradjivane površine.

Opšte poznato je da poluprečnik pri vrhu noža utiče na kvalitet obradjene površine, kako neposredno (veći poluprečnik obezbjedjuje kvalitetniju površinu i obrnuto), tako i u rezultatu promjene intenziteta plastične deformacije sloja ispred rezne ivice alata, slika 8. Pri obradi neke cilindrične površine posla izvjesnog vremena se opaža da alat gubi rezne sposobnosti, a to utiče da se dobije lošiji kvalitet površine nego na početku rezanja. Posle zatupljenja alata, potrebno je da se oštri, pri čemu oštrenjem treba obezbijediti optimalni grudi i ledjni ugao pri vrhu alata.



Sl.37

Može se još reći, da se geometrijski parametri na krivolinijskom dijelu rezne ivice razlikuju od parametara ostalih dijelova rezne ivice. Prema [51] i [57], važe slijedeće jednačine:

$$\operatorname{tg}\alpha_x = \operatorname{tg}\gamma \cdot \sin\varkappa + \operatorname{tg}\lambda \cdot \cos\varkappa \quad \ldots (16)$$

$$\operatorname{ctg}\gamma_y = \operatorname{tg}\gamma \cdot \cos\varkappa - \operatorname{tg}\lambda \cdot \sin\varkappa$$

Pri oštrenju po pomoćnoj ledjnoj površini

$$\operatorname{ctg}\alpha_x = \operatorname{tg}\alpha . \sin\varkappa + \operatorname{tg}\lambda . \cos\varkappa \quad \ldots(17)$$
$$\operatorname{ctg}\alpha_y = \operatorname{ctg}\alpha . \cos\varkappa - \operatorname{tg}\lambda . \sin\varkappa$$

Ako u sistemu jednačina (16) prvu jednačinu pomnožimo sa $\sin\varkappa$, a drugu sa $\cos\varkappa$, a zatim saberemo dobijene jednačine, dobija se jednačina (18). Analogno tome iz jednačine (17) dobija se jednačina (19).

$$\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\gamma_x . \sin\varkappa + \operatorname{tg}\gamma_y . \cos\varkappa \quad (18)$$

$$\operatorname{ctg}\alpha = \operatorname{ctg}\alpha_x . \sin\varkappa + \operatorname{ctg}\alpha_y \cos\varkappa \quad (19)$$

Iz jednačine (18) i (19) vidimo kako se uglovi mjenjaju u zavisnosti od napadnog ugla duž rezne ivice, približavajući se ka vrhu alata gdje je $\varkappa=0$, pa jednačine (18) i (19) prelaze u (2o) i (21)

$$\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\gamma_y \quad \ldots\ldots \quad (2o)$$

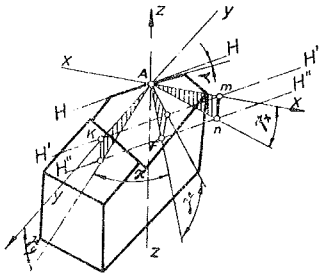
$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{ctg}\alpha_y \quad \ldots\ldots \quad (21)$$

Na osnovu jednačine (2o) i (21) mogu se izvući zaključci o relativno racionalnom oštrenju alata.

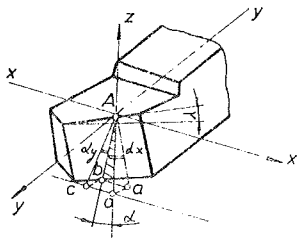
Kada grudni ugao γ ima pozitivnu vrijednost, uslovi rezanja na pomoćnoj reznoj ivici nisu povoljni, pa te veličine grudnog ugla γ treba izbjegavati ako treba dobiti kvalitetniju površinu na radnom predmetu. Pri negativnim uglovima γ uslovi rezanja na glavnoj reznoj ivici mogu postati nepovoljni u oblasti poluprečnika pri vrhu. Ti položaji, a takodje i ta činjenica da u oblasti poluprečnika pri vrhu strugotina se pomjera po površini alata u pravcu koji se približno poklapa sa ravni y-y, pa se izvodi zaključak (u saglasnosti sa jednačinom (2o)) da precizni alat treba biti naoštren sa optimalnim grudnim uglom γ_y u ravni y-y i sa minimalnim uglom γ_x u ravni x-x(sl.38).

Ledjni ugao α_y u ravni y-y, sl.39 ima veliko značenje za kvalitet obradjene površine i za pohabanost alata, zato što u toj ravni postoji kontakt izmedju alata i površine obradjivanog predmeta.

Da bi se izbjeglo trenje alata i obradjivane površine, potrebno je da ledjni ugao bude $\alpha_y > 0$.



sl.38



sl.39

Prema tome, racionalno oštrenje preciznog alata vrši se za obezbjedjivanje optimalne veličine ledjnih uglova α_y i α_x, odredjenih iz jednačine (17(.

Formulisani gornji stavovi eksperimentalno su provjereni na Delfskom tehnološkom univerzitetu u Holandiji, pri čemu su dobijene optimalne veličine geometrijski su primjenljive za slučaj preciznog oštrenja alara $r>0$. Uglovi γ_y i α_y a ne γ i α pri preciznom oštrenju sa $r>0$, neposredno utiču na kvalitet obradjene površine. Na vrhu alata sa $r>0$, napadni ugao $\varkappa=0$, zato je pri oštrenju neophodno rukovati sa jednačinom:

$tg\gamma = tg\gamma_y$ i $ctg\alpha = ctg\alpha_y$

tako da racionalno oštrenje alata treba obezbijediti sa $\gamma_y = \gamma_{opt.}$ i $\gamma_x = 0$, na grudnoj površini i $\alpha_y = \alpha_{opt.}$ i $\alpha_x = 0$, na ledjnoj površini.

Na osnovu literature [17], veza izmedju uglovnih veličina reznog klina i njihove projekcije na osnovnu ravan, može se kraće zapisati pomoću matrica:

$$\begin{bmatrix} N_{xm} \\ N_{ym} \\ N_{zm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{xo} \\ N_{yo} \\ N_{zo} \end{bmatrix}$$

gdje su: C_{ij} - elementi prevodjenja matrice; N_{xo} - projekcija vektora normale na ravan u polaznom koordinatnom sistemu S; N_{xm} - projekcija vektora normale na ravan u posmatranoj tački novog koordinatnog sistema S_m.

Veza izmedju projekcija grudnog ugla na pravce x i y, u nekoj tački, sa uglovima λ i γ_o ima matrični zapis:

$$\begin{bmatrix} N_{x1} \\ N_{x2} \\ N_{x3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tg\lambda \\ tg\lambda_o \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varkappa & -\sin\varkappa & 0 \\ \sin\varkappa & \cos\varkappa & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} tg\gamma_x \\ tg\gamma_y \\ -1 \end{bmatrix}$$

iz čega proizilaze poznate jednačine:

$$tg\lambda = tg\gamma_x \cos\varkappa - tg\gamma_y \sin\varkappa$$
$$tg\lambda_o = tg\gamma_x \sin\varkappa + tg\gamma_y \cos\varkappa, \text{ ili}$$

grudni ugao u posmatranoj tački, projektovan na ose x i y, u funkciji od λ i γ_o ima sljedeći matrični zapis:

$$\begin{bmatrix} tg\gamma_x \\ tg\gamma_y \end{bmatrix} = \begin{matrix} \cos\varkappa & \sin\varkappa & tg\lambda \\ -\sin\varkappa & \cos\varkappa & tg\lambda_o \end{matrix}$$

Analogno grudnom uglu, dobijamo matrični zapis za ledjni ugao u sljedećem obliku:

$$\begin{bmatrix} ctg(90^o - \lambda) \\ tg_o \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varkappa & -\sin\varkappa & 0 \\ \sin\varkappa & \cos\varkappa & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ctg\alpha_x \\ ctg\alpha_y \\ -1 \end{bmatrix}$$

iz čega proizilazi jednačina:

$$tg\alpha_o = ctg\alpha_x \sin\varkappa + ctg\alpha_y \cos\varkappa$$

Pri odredjivanju grudnih i ledjnih uglova na reznim ivicama fazonskih noževa ili fazonskih glodala u proizvoljnoj sečnoj ravni, ima se za potrebu mnogostruko prevodjenje koordinata sistema. U tom slučaju matrica sumarnog prevodjenja je jednaka proizvodu matrica elementarnih promjena.

Zavisnost medju uglovnim parametrima u različitim sječnim ravnima u ispitivanoj tački rezne ivice fazonskog noža ili glodala može se predstaviti u obliku matrice proizvoda:

$$N_\gamma = [\lambda][\varkappa][\gamma_1] \quad N_o$$
$$N_\gamma = M_{32} M_{21} M_{1o} N_o$$

gdje je:

$$M_{1o} = [\gamma_1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \\ 0 & \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \end{bmatrix}$$

$$M_{21} = [\varkappa] \begin{bmatrix} \cos\varkappa & -\sin\varkappa & 0 \\ \sin\varkappa & \cos\varkappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

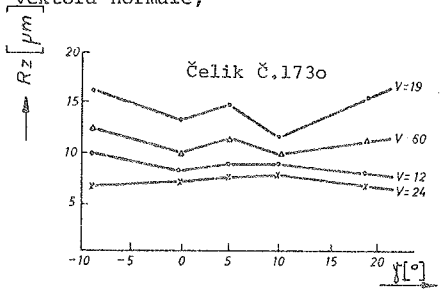
$$M_{32} = [\lambda] \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda \end{bmatrix}$$

Razvijeni matrični oblik glasi:

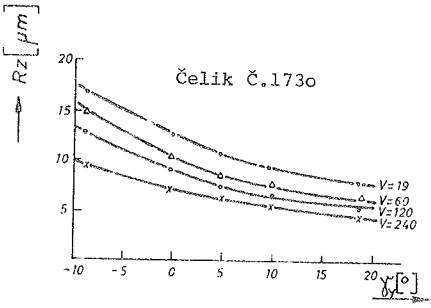
Razvijeni matrični oblik glasi:

$$\begin{bmatrix} N_{xm} \\ N_{ym} \\ N_{zm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\lambda & 0 & \sin\lambda \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\lambda & 0 & \cos\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos\gamma_1 & -\sin\gamma_1 \\ 1 & 0 & \sin\gamma_1 & \cos\gamma_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{xo} \\ N_{yo} \\ N_{zo} \end{bmatrix}$$

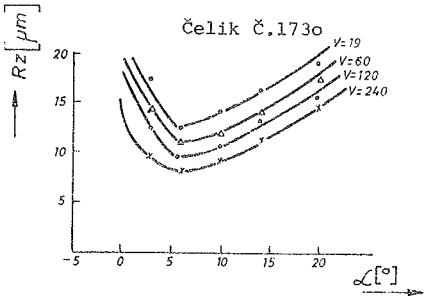
gdje je: $N_o=(N_{xo}\ N_{yo}\ N_{zo})$ -projekcija vektora normale na površinu reznog dijela alata(grudnu ili ledjnu) u polaznom sistemu koordinata S_o; $N_m=(N_{xm}\ N_{ym}\ N_{zm})$ - projekcija vektora normale,



Sl.4o



Sl.41.



Sl.42.

Uticaji parametara geometrije sječiva na kvalitet obrade dati su na sl.4o,41 i 42.Može se iz slike vidjeti da postoji optimalna vrijednost ledjnog ugla pri kojem se dobiva najbolji kvalitet obrade.Svakako da na te vrijednosti bitno utiče i brzina rezanja.Za praktične svrhe predloženo je empirijska zavisnost izmedju kvaliteta,brzine,koraka i poluprečnika vrha alata u vidu

$$R_a = \frac{C_{Ra}\ P\ s^q}{V} \lceil ki \qquad (22)$$

ovdje su: p,q,C_{Ra} - konstante Medjutim pri obradi sinterliva[69] ova formula nije mogla da se primjeni.Za finu obradu otvora u toku su napori za uvodjenje novih tehnologija.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi iznjetog može se zaključiti:

1. Nauka o obradi materijala(prema autoru) dijeli se u više teorija:
- Teorija stvaranja strugotine,
- Mehanika rezanja,
- Tribologija rezanja,
- Termodinamika rezanja,
- Teorija habanja,
- Teorija integriteta obradjene površine,
- Teorija oscilacija pri obradi materijala,
- Teorija obradljivosti materijala,
- Teorija optimizacije postupaka obrade,
- Teorija izbora optimalnih parametara geometrije alata,
- Kibernetika obradnog procesa.

2. Nastajanje strugotine je složen proces deformacije smicanja i pritiskivanja, a teorijski nije dovoljno obradjen.

3. U pogledu stabilnosti procesa rezanja prisutna su oprečna mišljenja i stavovi. Ipak teorija stabilnosti vezana za zaostajanje promjene normalnog otpora u odnosu na tangencijalnu komponentu mogla bi se prihvatiti kao realnija u odnosu na teorije koje uzimaju u obzir samo promjenu širine rezanja. Svakako da od toga zavisi apliciranje ovih teorija na rješavanju praktičnih problema obrade rezanjem i konstrukcije mašina alatki.

4. Na istraživanju obradljivosti učinjeno je više u odnosu na prethodne pomenute teorije. Kod nas je poznat projekt SIO-IAMA, a na Mašinskom fakultetu u Mostaru radi se na prikupljanju informacija za banku podataka. I drugi instituti i visoke škole rade na tome.
Utvrdjen je pri tome uticaj mikrostrukture, hemijskog sastava,jačine i tvrdoće. Razvijeno je i više postupaka za odredjivanje obradljivosti. Radjeno je ispitivanje obradivosti nekonvencionalnih materijala, molidbena, titana, pri tome, na primjer, za molidben je utvrdjeno sem parametara režima visoka abrazivnost na tvrde metale tipa P, dok se za obradljivost titana može reći da je:
- brzina rezanja znatno niža u odnosu na čelik,
- neophodno je da se koriste poboljšana sredstva za hladjenje u odnosu na pritiske, a isto tako da je obilno,
- mogu se koristiti alati od tvrdog metala i brzoreznog čelika,
- kriterijum zatupljenja(dozvoljena pohabanost) je niži u odnosu na obradu čelika, a i oštrenje alata mora da je brižljivije.

5. U okviru optimizacije parametara obrade objavljen je veći broj radova, ali se sem modela gdje se koristi linearno programiranje i najnovijeg Withofa.
Valjalo bi nastaviti istraživanja u cilju nalaženja novih pristupačnih i sveobuhvatnih modela.

6. Istraživanja temperaturskih polja eksperimentalnim putem izvršena je u radu 61 . Potvrdjeni su time brojni teorijski proračuni.
Pronadjena je veza izmedju temperatura u temperaturskom polju i veličina pohabanosti alata što je veoma značajno za praćenje habanja alata. Ali su istraživani i drugi toplotni efekti kao promjena oblika alata i ekspanzija predmeta. U uslovima visokoučinskog brušenja pokazano je da temperatursko polje u zoni rezanja predstavlja osnovni parametar za upravljanje procesom i kvalitetom proizvoda.

7. Kod integriteta obradjene povešine nova saznanja omogućila su kvalitetniji prilaz. U prvom redu pri ispitivanju sinter liva potvrdjena su gledišta data u 69 . Nastavljeni su napori na pronalaženju novih postupaka za završnu obradu.

4. LITERATURA

[1] Time I.A.: Soprotivljenie metalov i dereva rezaniju.Gornji žurnal,187o.

[2] Time I.A.: Memuari o stroganii metalov.Peter burg,1877.

[3] Briks A.A.: Rezanie metalov.Peterburg, 1896.

[4] Usačev Ja.G.: Javljenija proishodjašćije pri rezanii metalov.Izvjestija Petrogradskava politehničeskova instituta,tom 13,vip.1,1915.

[5] Siebel E. Hanbuch der Werkstoffprüfung,Springer Verlag, Berlin, 1939.

[6] Siebel E.: Die Prüfung der metallischen Werkstoffe,

 uglavnom klasični modeli

Springer,Verlag,Berlin,1955.str.574.

[7] Taylor F.W.:
a - Proc.Amer.Soc.Mechan,Eng.19o6
b - On the Art of Metal Cutting, 19o7
c - Iskusstvo rezaty metalliy,per. s angl.A.V.Pankina i L.A. Levesterna 19o9.

[8] Schwerd F., TechnZbl.prakt.Metallbearbeit,No 21/22,1936

[9] Schwerd F., Filmabnahmen des ablaufenden Spanes,VDI,No 9,1936.

[1o] Kuznjacov V.D.: Fizika tvjerdova tjela,tom3, Krasnoe znamja,Tomsk,1944,str. 742.

[11] Pankin A.V: Obrabotka metalov rezanjem.Moskva,1961.

[12] Vuljf A.M., Rezanie metalov. Mašgiz, Lenjingrad, 1963.

[13] Opizt E., Moderne produktionstechnik,V.W.Giradet,Essen 197o.str.7.i str.153-154

[14] Opizt E., Ostermann G. i Gappisch M.,Utersuchungen der Ursachen des Wrkzeugverschlei es.Forschungsbericht desr Landes NRW,No loll,Köln und Opladen:Westdeutscher Verlag,1961.

[15] Schaller E., Beitrag zur Untersuchung von Spannungen und dyinamischen Vorgä angen in der Grenzschicht zwischen Werkzeug und Span bei der Stahlzerspanung mit Hartmetallwerkzeugen,Dissertation TH Aachen,1961.

[16] Primus I.E, Beitrag zur Kenntnis der Spannungsverteilungen in den Kontaktzonen von Drehwerkzeugen,Dissertation,TH Aachen, 1969.

[17] Gappisch M.i Schilling W.,Spanbildung und Werkzeugverschlei bei der Bearbeitnung von Stahl mit Hartmetallwerkzeugen,Industrie Anzeiger,Vol.84, No 98,1962.

[18] Isaev A.I.: Proces obrazovanja povjernosnova sloja pri rezanii metalov. Trudi CNIITMAŠ,kn.33,Mašgiz, 195o.

[19] Lodadze T.N.: Stružkoobrazovanie pri rezaniu metalov. Mašgiz,Moskva,1952.

[2o.] Gončar JU.N. Modolov N.S.:Prisposobljenie dfa bistrava otvoda rezca. Stanki i instrumenti,N:5,1968,str. eo-31.

[21.] Opitc G: Savremenaja tehnika proizvodstva,Mašinostroenie, Moskva,1975.str.8.

[22.] Opitz H., Chatter Behaviour of Heavy Machine Tools,Final Report,AF 61(o52)-916,1. Jan 1966-31 March 1968.

[23.] Tobias S.A., Schwingungen an Werkzeugmaschinen,München, Karl Hanser Verlag,1961.

[24.] Tlusty J., Polaček M., Danek O. Spacek L, Selbsterregte Schwingungen an Werkzeugmaschunen,Berlin,VEB Verlag, 1962.

[25.] Kudinov V.A.: a-Dinamičeskaja harakteristika rezanija.stanki i instrumenti,№ lo, 1963,str.1-7.
b - Avtokolebanija pri rezaniem sneustojčivim norostom.Stanki i instrumenti,No 7,1965.

[26.] Blinov V.B.Šamej R.O.,Čumakov A.R.: Ispitivanja gorizontaljnorastočnih stankov na vibroustajčivost,Stanki i instrument, № 7,1972,str.13-14.

[27] Molockov A.V., Packevič V.A.: visokočastotnie vibracii pri točenie.No7,1972,str.11-12,Stanki i instrument.

[28.] Popov V.I.,Loktev V.I.: Rasčet vibroustojčevosti pri mnogo rezcovoj obrabotke. Stanki i instrumenti, No 7,1972.str.1o.

[29.] Eljjasberg ME.: Osnovi teorij ovtokolebanij pri rezanii.Stanki i instrument,No 1o,1962,NO 11 i No 12,1971.kao i No 1,1972.

[3o.] Eljjasberg M.E.: o rasčete ustojčivosti procesa rezanija s učetom predeljnova cikla sistemi. Stanki i instrument,No 2, 1975,str.2o-27.

[31.] Granovskij G.I. Kinematika rezanija,Mašgiz,Moskva 1948.

[32.] Stanic J., Teorijska i eksperimentalna analiza pravca toka strugotine pri kosouglom rezanju visesečnim alatom, IAMA,Elaborat 94/68 Beograd,1968.

[33.] Stanic J., Ugao pravca toka strugotine i metode njegovog odredjivanja,Mašinstvo,br.9.1969.

[34] Stabler,G.V.,The fundamental geometry of the cutting tols, Proc.J.Mech.1951.

[35] Shaw M.S., Cook N.H. i Smith P.A., The mechanics of three dimesional cutting operations, Transactions of the ASME,No 6, 1952.

[36] Zorev N.N., Vaprosi mehaniki rezanija metalov,Mašgiz,Moskva 1956.

[37] Rozenberg A.M.,Epemin A.N.,Elementi teorii procesa rezanija metalov,Mašgiz,Moskva,1956.

[38] Bobrov V.F.: Vlijanie ugla naklona glavnoj režušćej kromki instrumenta na proces rezanija metalov.Mašgiz,1962.

[39] Merchant M.E., Basic mechanics of Cutting Process, Journal of Applied Mechanics,Vol,66. No 3,1944.

[4o] Russell J.R. i Brown R.H.,The measurement of chip flow direction, Internat.J.Mech.Tool Desi and Res.,129,1966.

[41] V.Šolaja,D.Vukelja: The determination of tool wear viathe temperature increments in the process of cutting.

[42] T.Akiyama H.Kalenchi,T.Kishinami, K.Saito: Thermal Deformation Analysis of Cutting Tools by The Finite Element Method,Simulation of Thermal Deformation Bull Japan,Soc. of Prec.Engg. Vol 11 N.3 Sept.1977.

[43] A.Tay,M.Stevenson,G.De Vahl Davis,P.Oxley: A numerical Method for Calculating temperature distributions in machining,from force and shear angle measuremwnts, Int.I.Mach.Tool Des.Res Voll 1b pp 335-348,1976.

[44] Š.Savar: Sredstvo za hladjenje i podmazivanje alata pri obradi metala. Goriva i maziva 12,1973.

[45] V.Šolaja: Prilog teoriji završne obrade na strugu Elaborat 166/72, IAMA,1972.

[46] Pekelharing A.I., Schuerman, R.A. 1953 Tool Engg,vol 31, br.4,str.51 "Wear of Crbide Tools".

[47] Pekelkaring,A.J. Schuermann, R.A.1955 Werkstattst.Machbau, vol 45,str.49"Der Verschleiss and den Nebenschneiden von Hartmetalldermheiseln und die erzeugte Oberlflächenrauheit".

[48] Pekelharing,A.J.1959 CIRP Preprint "Finich Turing"

[49] Peklenik,J.1964 Annals of the CIRP,vol.12,str.173 "Contributin to the Theory of Surface Sharacterisation".

[5o] Peklenik, J.,1967 Annals of the CIRP,vol.15,str.381 "Luvestigation of the Surface Topology"

[51] Paul-Heinz Brameretz,Deie Entstehung der Oberflachenrauheit beim Feindrehen,W ind B.,(1961)N°1O.

[52] Šolaja,V. 1957a Zbornik MISAM vol,54,br.7 str.185"Prilog proračunavanju problema pri završnoj obradi na strugu"

[53] Šolaja, V. 1958 B Mašinstvo, vol.7,str.83"Prilog studiji koncentrisanog habanja alata pri obradi čekanja na strugu"

[54] Vukelja D.,Tehnološka informacija za obradu na strugu, V.Simpozijum JUPITER,Beograd (1975)

[55] Vukelja D., Uporedna analiza strugarskih noževa s obzirom na način pritezanja pločica od tvrdog metala Elaborat IAMA 166/72 Beograd(1972)

[56] Vukelja D., Rezultati ispitivanja TM za izbor poluprečnika zaobljenja vrha pločice, Elaborat IAMA 282/75,Beograd (1975).

[57] Priručnik I IAMA,Režimi rezanja(kolektiv),Beograd(1969)

[58] D.Vukelja: Termodinamika rezanja.Monografija,IAMA,2 197o Beograd

[59] D.Vukelja: Prilog studiji habanja alata pri obradi rezanjem.Goriva i maziva 12,1973.

[6o] Pržikril.Z.: Teorije obrabeni. SNTL,Praha.1975.

[61] Milikić D.: Nova metoda za mjerenje temperatura pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primjene. Doktorska disertacija.Fakultet tehničkih nauka Novi Sad,198o.

[62] Reznikov A.M.: Teplofizika rezanija.Mašinostroenie,Moskva, 1969.

[63] Zdenković R.: Obrada metala skidanjem. Sveučilište,Zagreb, 1965.

[64] Vierege G.: Die Energieverteilung und die Temperatur bei der Zerspanung.Werkstatt und Betrieb,86 1953,Heft 11,str. 691-7o3.

[65] Sekulić S.: Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termo napona rezanja. Doktorska disertacija. Fakultet tehničkih nauka,Novi Sad, 1977.

[66] Tsuyoshi A. i dr: Study on the early fracture of carbide tools "Ann.CIRP",198o,29,No1,53-56

[67] Reeber R.: Der Energie bedarf bei trannden Fertigungsverfahren,Werkstat und Betrieb,198o 113,1o9-113.

[68] Chubb P.S. i dr.:Coated cutting tools-a study of wear mechanisms in high speed pracining wear,198o,61,No2.283-293.

[69] Gordić V.: Razvoj metode ispitivanja obradivosti sinter materijala SINT C-1O u uslovima završne obrade na strugu, Magistarski rad,Kragujevac, 1981.

[7o] Zirojević Lj.: Termodinamski aspekti primjene rashladnog sredstva pri izradi alata za obradu rezanjem visokoučinskim brušenjem,Doktorska disertacija,Mostar,1982.

[71] Mišković Anto: Optimizacija i dimenzionisanje reznih elemenata alata primjenom metode konačnih elemenata.Doktorska disertacija,Mostar,1982.

[72] Mečanin V.: Optimizacija parametara obrade na numerički upravljanim mašinama sa posebnim osvrtom na obradne centre. Doktorska disertacija,Mostar, 1981.

[73] V.Milačić: Dinamika sistema, Monografija 1 IAMA 1969.

[74] Grupa autora: Razvoj SHIP za visokoučinsko brušenje zavojnih burgija.Elaborat 9/81.LATOM-a, Mašinski fakultet Mostar,1981. godine .

[75] Grupa autora: Ispitivanje obradivosti titana i njegovih legura. Elaborat 6/8o.LATOM-a,Mašinski fakultet Mostar,198o.

[76] D.Vukelja: Analiza naprezanja u sječivu alata metodom konačnih elemenata.Zbornik radova BIAM, Zagreb,1976.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GODINE

Sava Sekulić*, Pavel Kovač**

KOMPONENTE OTPORA REZANJA PRI OBRADI NA STRUGU U ZAVISNOSTI OD ELEMENATA PRESEKA REŽUĆEG SLOJA I GRUDNOG UGLA ALATA

Komponente otpora rezanja najčešće se izražavaju u funkciji preseka režućeg sloja. Uticaju grudnog ugla samo se izuzetno poklanja nedovoljna pažnja. Da bi se dao prilog rešavanju ovog značajnog problema u radu se, na osnovu sopstvenih ispitivanja i originalne metodologije, daju zavisnosti za sve tri komponente otpora rezanja pri obradi na strugu, u obliku $F_i=f_i(A,g,v)$; za $\bar{\gamma}_j$= const.; i=1,2,3., pri čemu se koeficijenti i eksponenti u predloženim matematičkim modelima izražavaju u funkciji od grudnog ugla alata.

THE CUTTING FORCE COMPONENTS RELATED TO THE ELEMENTS OF THE CHIP GROSS-SECTIONAL AREA, CUTTING SPEED AND THE TOOL ORTHOGONAL RAKE ANGLE IN TURNING OPERATIONS. In the paper is establisned the equality, that gives the relationship betwen the cutting force components $F_i=f_i(A,g,v)$; for $\bar{\gamma}_j$=const., i=1,2,3., where the constants of the mathematical models are determined as a function of the tool orthogonal rake angle.

1. Uvod

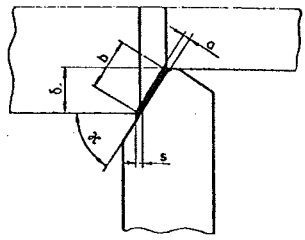
Odredjivanje otpora rezanja pri pojedinim vrstama obrade rezanjem predstavlja osnovni parametar koji je od interesa, kako sa teorijske, tako i sa praktične tačke gledišta.

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

Obično se koristi Kornenberg-ov izraz za glavni otpor rezanja pri obradi na strugu u zavisnosti od preseka režućeg sloja u obliku (sl.1.) |1|

$$F_1=k_s.A=\frac{C_K}{\delta^{\varepsilon_K}\sqrt{A}}=C_K.A^{1-\frac{1}{\varepsilon_K}}$$

U novije vreme komponente otpora rezanja se odredjuju primenom proširenog obrasca |1,2|



Slika 1.

$$F_i = C_{K_i} \cdot \delta^{x_i} \cdot s^{x_i};\quad i=1,2,3.$$

Glavni otpor rezanja može se tačnije odrediti i iz dopunjenog Kronenberg-ovog izraza |3|

$$F_1 = C_{Ks} A^{(1-\frac{1}{\varepsilon_K})} (\frac{g}{5})^k$$

a obrasca po Kienzle-u |4|

$$F_1 = k_{s_{1,1}} ba^{(1-z)}$$

gde vrednosti C_K, C_{K1}, C_{Ks} i $k_{s1,1}$ zavise od materijala radnog predmeta i grudnog ugla noža γ, a ε_K, x_1, y_1, k i z od materijala radnog predmeta.

---

*) Dr Sava St. Sekulić, dipl.ing., redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Veljka Vlahovića 3

**) Mr Pavel P. Kovač, dipl.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Veljka Vlahovića 3.

Uticaj grudnog ugla na komponente otpora rezanja najčešće se daje dijagramski, za odredjene elemente režima obrade i druge uslove, pa služi isključivo u ilustrativne svrhe, ili se komponente otpora rezanja, pri ostalim istim uslovima, predstavljaju izrazima oblika [7]

$F_1=C_1/1{,}012^{\gamma}$; $F_2=C_2/1{,}045^{\gamma}$; $F_3=C_3/1{,}050^{\gamma}$

ili preko ugla rezanja $\delta=(90-\gamma)$; $F_i=C_i(90-\gamma)^{pi}$; i=1,2,3.

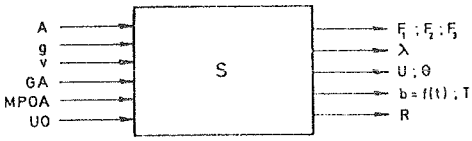
U literaturi se nalaze obrasci za odredjivanje komponenti otpora rezanja u obliku [2]

$$F_i = C_{ki}\,\delta^{x_i}\,s^{y_i}\,v^{z_i}\,\Pi K_i$$

gde se koeficijenti C_{ki} i eksponenti x_i, y_i i z_i odnose na odredjenu geometriju alata, kao i odredjene ostale uslove pri obradi, a proizvodom ΠK_i vrši se popravka za stvarne uslove obrade (uticaji: materijala obradka, grudnog ugla, napadnog ugla, ugla nagiba sečiva, poluprečnika zaobljenja vrha noža, ...) i koji bi trebalo da omoguće odredjivanje pojedinih komponenata za bilo koje zadane uslove pri rezanju. Medjutim, mora se istaći da se po gornjim obrascima to može postići samo u prvom približavanju. Za tačnije proračune kompleksni uslovi pri obradi ne mogu biti obuhvaćeni, dovoljno tačno, proizvodom ΠK_i.

2. Definisanje matematičkog modela na osnovu ulaznih i izlaznih parametara pri obradi na strugu

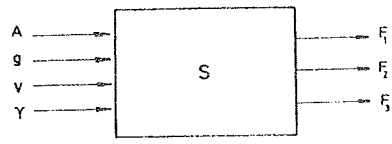
Obradu na strugu možemo posmatrati kao sistem koji karakterišu ulazni i izlazni parametri (sl. 2.) [9,10,11]



Slika 2.

Za odredjenu vrstu materijala obratka i alata, pri obradi na odredjenom radnom mestu, ulazne veličine su: elementi režima obrade - presek režućeg sloja A=δs, vitkost strugotine g=δ/s, brzina rezanja v, geometrija alata GA (grudni ugao γ, napadni ugao κ, poluprečnik zaobljenja vrha noža r,...), uslovi pri obradi UO (dinamičko stanje sistema MPOA (mašina M-pribor P-obradak O-alat A), sredstvo za hladjenje i podmazivanje,..). Izlazne veličine koje prate obradu na strugu su: sila odn. otpor rezanja (rezultujući otpor F_R, glavni otpor F_1, otpor prodiranja F_2 i otpor pomoćnog kretanja F_3), faktor sabijanja strugotine λ, termo-napon U odn. srednja temperatura rezanja θ koja mu odgovara, habanje alata b (uslovno usvojena veličina zavisna od vremena b=f(t), hrapavost obradjene površine R (uslovno usvojena veličina, npr. R_{max}, R_a, R_z,...),...

U cilju istraživanja uticaja grudnog ugla na komponente otpora rezanja, ograničimo se na posmatranje sistema bez uticaja ostalih karakteristika geometrije alata, pri obradi na jednom te istom radnom mestu, odn. bez uzimanja u razmatranje dinamičkih karakteristika MPOA i bez posmatranja uticaja sredstva za podmazivanje i hladjenje SPH. Tada se iz opšteg modela dobija radni model prema slici 3., na osnovu kojeg potražimo zavisnosti za komponente otpora rezanja:



Slika 3.

$$F_i = f_i(A,g,v,\gamma); \quad i=1,2,3 \qquad (2)$$

posredno:

$$F_{ij} = \varphi_{ij}(A,g,v); \quad \gamma_j = \text{const.} \qquad (3)$$

u obliku:

$$F_{ij} = C_{ij}A^{x_{ij}}g^{y_{ij}}v^{z_{ij}}; \quad \gamma_j=\text{const.} \qquad (4)$$
$$i=1,2,3$$
$$j=1,2,3.$$

gde su C_{ij} konstante i x_{ij}, y_{ij}, z_{ij} eksponenti zavisni od grudnog ugla, tj.

$$C_{ij} = \varphi_{ik}(\gamma)$$

$$x_{ij} = \varphi_{ik}(\gamma); \quad i=1,2,3. \qquad (5)$$

$$y_{ij} = \varphi_{ik}(\gamma); \quad j=1,2,3.$$

$$z_{ij} = \varphi_{ik}(\gamma); \quad k=k,1,2,3.$$

Pri čemu će se pojedine funkcije (5) potražiti u obliku:

$$\varphi_{ik} = a_{ik}\gamma^2 + b_{ik}\gamma + c_{ik}$$

pa će se za pojedine komponente otpora rezanja konačno dobiti:

$$F_{ij} = (a_{ik}\gamma^2 + b_{ik}\gamma + c_{ik}) \cdot$$
$$(a_{i1}\gamma^2 + b_{i1}\gamma + c_{i1})^{A}$$
$$(a_{i2}\gamma^2 + b_{i2}\gamma + c_{i2})^{g} \qquad i=1,2,3. \qquad (7)$$
$$k=k,1,2,3.$$
$$(a_{i3}\gamma^2 + b_{i3}\gamma + c_{i3})^{v}$$

Plan eksperimenta, uključujući i potreban broj opita, za utvrdjivanje zavisnosti (4) izvršen je primenom savremenih statističkih metoda uz korišćenje matrične algebre. Kako je broj nezavisno promenljivih tri, korišćen je trofaktorni plan eksperimenta. Broj eksperimenata uključujući i srednji nivo iznosi $n=2^k+n_0=2^3+4=12$. Adekvatnost modela i signifikantnost pojedinih njegovih parametara odredjena je prema Fischer-u, a tačnost (preko intervala poverenja za pouzdanost od 95%) prema Student-u [12,13,14,15].

3. Uslovi pri eksperimentalnom ispitivanju

Eksperimentalna ispitivanja izvršena su na konstrukcionom čeliku Č.0545 (oznaka po JUS St.50), hemijskog sastava: 0,29%C, 0,20%Si, 0,62%Mn, 0,030%S i 0,018%P, jačine materijala na kidanje σ_M=53,2 kN/cm2,sa granicom razvlačenja σ_V=28,3 kN/cm2 i izduženjem δ_5=26%.

Alati kojima je vršeno ispitivanje pri obradi bili su strugarski noževi za predhodnu uzdužnu obradu, pravi, sa pločicama od tvrdog metala prema JUS K.C1.051 (oznaka - ISO 1 i DIN 4971), kvadratnog poprečnog preseka drške 20x20, kvaliteta pločice P30. Geometrijski elementi sečiva alata su bili: primarni grudni uglovi γ'=-6;2; (6); 10^0, sekundarni grudni ugao γ"=12^0, ledjni ugao $\alpha=6^0$, napadni ugao $\kappa=70^0$, pomoćni napadni ugao $\kappa_1=20^0$, ugao nagiba sečiva $\lambda=4^0$ i poluprečnik zaobljenja vrha r=0,5 mm.

Izbor režima obrade izvršen je tako da zadovolji uslove koje predvidja plan eksperimenta. Preseci režućeg sloja su iznosili a=0,5; 0,36; 1,5 mm^2, a koeficijenti vitkosti g=5; 7; 10, pri brzini rezanja v=36,44; 54,66; 81,99 m/min.

Pri ispitivanju nije korišćeno sredstvo za podmazivanje i hladjenje.

Merenje komponenata otpora rezanja vršeno je pomoću trokomponentnog dinamometra "Kistler" type 3-KD 9263, čiji su se signali preko kapacitivnih pojačivača "Kistler" type CA 5001 i galvanometarskih pojačivača "Kistler" GA 5211, dovodili na tri kanala osmokanalnog svetlosnog oscilografa "August-Fischer" K. type AG-8 UV-G.

Eksperimentalni rezultati

Na osnovu ortogonalne plan-matrice eksperimenta formirana je tabela T.1., koja sadrži eksperimentalne vrednosti komponenata otpora rezanja za grudne uglove $\gamma=-6^0$, 2^0 i 10^0.

Obzirom da se procedura trofaktornog plana eksperimenta morala ponavljati višestruko, to se izradjen program za digitalni elektronski računar "Varian 73", kojim je obuhvaćena celokupna numerička obrada vezana za odredjivanje koeficijenata i eksponenata adekvatnost matematičkih modela, signifikantnost pojedinih promenljivih i tačnost matematičkog modela, izraženog preko intervala poverenja, za usvojeni nivo značajnosti α=0,05=1-p, odnosno za 95% pouzdanost.

Vrednosti koeficijenata i eksponenata u matematičkim modelima svrstane su u tabelu T.2.

Da bi se vrednosti konstanti C_i, x_i, y_i i z_i, što lakše odredili, za bilo koji grudni ugao γ, na osnovu predhodnih obrazaca, jednačine (8.1.) do (8.12), su predstavljene grafički dijagramima Sl. 4., sa kojih se dovoljno tačno mogu očitati potrebne vrednosti.

T.2.

i	C_{ij}	x_{ij}	y_{ij}	z_{ij}
		$\gamma = -6^0$		
1	6422	0,874	-0,024	-0,284
2	5196	0,814	-0,034	-0,336
3	2413	0,863	0,205	-0,229
		$\gamma = 2^0$		
1	3263	0,918	-0,003	-0,184
2	1442	0,792	-0,170	-0,105
3	1687	0,887	0,151	-0,221
		$\gamma = 10^0$		
1	3467	0,923	-0,021	-0,200
2	1640	0,658	-0,200	-0,171
3	1206	0,823	0,128	-0,180

Funkcije ψ_{ik}; i=1,2,3; k=k,1,2,3., prema izrazu (6) imaju oblik:

$$C_1=26,1931\ \gamma^2 +289,49522\gamma +3742,17403 \quad (8.1)$$

$$x_1=-0,0003\gamma^2 + 0,00429\gamma+0,91054 \quad (8.2)$$

$$y_1=-0,00031\gamma^2 +0,00146\gamma-0,00453 \quad (8.3)$$

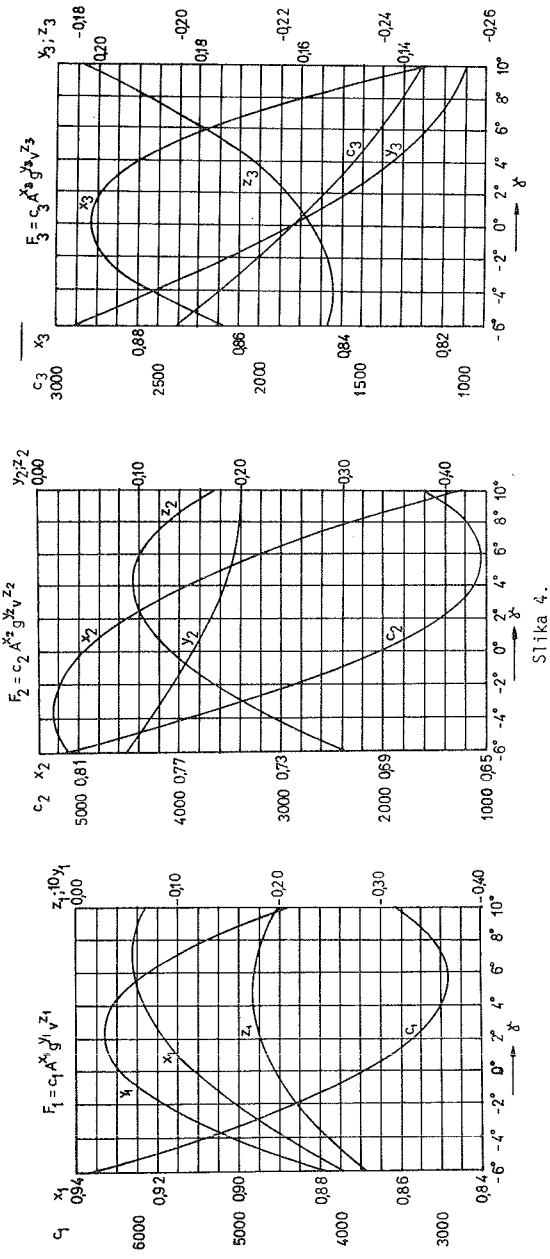
$$z_1=-0,00090\gamma^2 +0,00885\gamma-0,19828 \quad (8.4)$$

$$C_2=30,8777\gamma^2 -345,77208\gamma+2010,1107 \quad (8.5)$$

T.1.

Komponente otpora rezanja				F_1			F_2			F_3		
i Elementi plan-matrice				γ_j			γ_j			γ_j		
x_0	x_1	x_2	x_3	-6	2	10	-6	2	10	-6	2	10
1	-1	-1	-1	1210	900	900	775	450	400	810	550	450
2	+1	-1	-1	2950	2425	2350	1835	1050	850	2100	1425	1150
3	-1	+1	-1	1150	900	850	725	375	350	920	550	450
4	+1	+1	-1	3050	2350	2350	1760	900	750	2400	1500	1200
5	+1	-1	+1	2475	2100	2050	1420	900	750	1710	1100	900
6	-1	-1	+1	925	750	725	585	400	350	670	425	375
7	-1	+1	+1	900	750	725	550	350	325	780	500	450

8	1	0	0	0	1750	1325	1275	1010	575	500	1270	750	650
9	1	+1	+1	+1	2500	2150	2050	1370	900	600	2000	1350	1025
10	1	0	0	0	1775	1325	1300	1040	600	525	1310	825	650
11	1	0	0	0	1775	1400	1300	1010	625	500	1310	850	675
12	1	0	0	0	1700	1400	1275	1035	625	490	1260	850	645



Slika 4.

$$x_2=-0,00087\gamma^2-0,00624\gamma+0,80789 \quad (8.6)$$

$$y_2=0,000426\gamma^2-0,006938\gamma-0,153237 \quad (8.7)$$

$$z_2=-0,002325\gamma^2+0,01962\gamma-0,13501 \quad (8.8)$$

$$C_3=1,91775\gamma^2-83,13196\gamma+1847,61325 \quad (8.9)$$

$$x_3=-0,000695\gamma^2+0,00033\gamma+0,88947 \quad (8.10)$$

$$y_3=0,00245\gamma^2-0,00582\gamma+0,16165 \quad (8.11)$$

$$z_3=0,000258\gamma^2+0,0020\gamma-0,22619 \quad (8.12)$$

4. Zaključci

Na osnovu analize dobivenih rezultata mogu se doneti sledeći zaključci:

- zavisnost komponenata otpora rezanja mogu se uspešno predstaviti predloženim matematičkim modelima,
- svi modeli predstavljeni trofaktornim planom eksperimenta zadovoljavaju uslove adekvatnosti i tačnosti,
- uticaj pojedinih parametara u matematičkim modelima mogao bi se zanemariti, ali pošto se ovo ne može generalno zaključiti korisno je zadržati integralno predložene zavisnosti,
- grafičko prikazivanje konstanti u predloženim matematičkim modelima pokazalo se vrlo korisnim i
- provera konačnih izraza za pojedine komponente otpora rezanja zadovoljavaju u pogledu tačnosti (greška je manja od 15%).

Reference

[1] Stanković, P.: Mašinska obrada, I knjiga, sedmo izdanje, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.

[2] Ivković, B.: Obrada metala rezanjem, Izbor ekonomičnih režima obrade, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.

[3] Kronenberg, M.: Grundzüge der Zerspanungslehre Erster Band, Zweite Auf-Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1954.

[4] Kienzle, O.: Die Bestimung von Kräften und Leistungen an Spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen, Z.VDI, 1952, Bd. 94, Nr.11/12.

[5] Bruins, B.M.: Werkzeuge und Werkzeugemachinen, Teil 1, Carl Hauser Verlag, München, 1968.

[6] Opitz, H.: Moderne produktonstechnik, stand und tendenzen, 3 Auflage, Verlag W.Girardet, Essen, 1970.

[7] Krivouhov,V.A. i dr.: Rezanie metallov, Mašgiz, Moskva, 1954

[8] Sekulić,S.: Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja, doktorska disertacija na FTN, Novi Sad, 1977.

[9] Sekulić,S.: Glavni otpor rezanja u funkciji preseka, vitkosti i faktora sabijanja strugotine, Zbornik radova stručnog seminara BIAM'76, Zagreb, 1976.

[10] Sekulić,S.: Glavni otpor u funkciji preseka, vitkosti i termonapona pri obradi na strugu, Zbornik radova MMA'76, Novi Sad, 1976.

[11] Sekulić, S.: Identifikacija primarnih parametara obrade rezanjem na osnovu ulaznih i izlaznih veličina procesa, Zbornik radova XIII savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije III, Banja Luka, 1979.

[12] Stanić,J.: Metod inženjerskih merenja, drugo izdanje, Mašinski fakultet u Beogradu, 1975.

[13] Šor, J.B.: Statističke metode analize i kontrole kvaliteta i pouzdanosti,SMEITS, Beograd, 1975.

[14] Adler,Ju,P.i dr.: Planirovanie eksperimenta pri poiske optimaljnih uslovii, Nauka, Moskva, 1971.

[15] Kacev,P.G.: Statičeskie metodi issledovanija režuščego instrumenta, Mašinostroenie, Moskva, 1968.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.G.

Radovan Kovačević, Vukašin Zogović,
Djordjije Kovačević, Zdravko Krivokapić

DEFINISANJE ZAVISNOSTI KOMPONENTI OTPORA REZANJA OD UTICAJNIH FAKTORA PRI OBRADI STRUGANJEM

R e z i m e

U radu se analizira prednost uvodjenja proširenog izraza za odredjivanje zavisnosti komponenti otpora rezanja od uticajnih faktora pri obradi uzdužnim struganjem čelika Č.1431.

DEFINITION DER ABHÄNGIGKEIT DER SCHNITTKOMPONENTEN VON DEN EINFLUSSFAKTOREN BEI DER DREHBEARBEITUNG

S u m m a r y

In dieser Arbeit wird der Vorzug der Einführung einer Erweiterung des Ausdrucks für die Festlegung der Abhängigkeit der Schnittkomponenten von den Einflusskaktoren bei Längsdrehbearbeitung des Stahls Č.1431 analysiert.

1. U v o d

U teoriji rezanja kinetostatika, kao dio mehanike procesa rezanja skidanjem strugotine, proučava zakonitosti sila i momenata 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 praktični značaj u tehnologiji mašinske obrade.

U literaturi [1,2] i praksi uobičajeno je da se komponente otpora rezanja pri obradi struganjem definišu u zavisnosti od koraka i dubine rezanja, uz uzimanje u obzir i ostalih uticajnih faktora preko popravnih koeficijenata, funkcijom sljedećeg oblika

$$F_1=10C_{ki}t^{x_i}s^{y_i}k_{Fi},i=1,2,3,\ldots. \quad (1)$$

gdje su:

C_{ki}, x_i, y_i - parametri obradivosti materijala,

t - dubina rezanja,

s - korak,

$k_{Fi}=k_{FM}k_{FS}k_{F\chi}k_{F\lambda}k_{Fr}k_{Fv}$ - popravni koeficijent koji uzima u obzir uticaj brzine rezanja (k_{Fv}), materijala radnog predmeta (k_{FM}), napadnog ugla sječiva ($k_{F\chi}$), poluprečnika zaobljenja vrha noža (k_{Fr}), stanja i vrste materijala pripremka (k_{FS}) i ugla nagiba sječiva ($k_{F\lambda}$)

Medjutim, imajući u vidu da se pri obradi odredjene vrste materijala radnog predmeta, sa prethodno usvo-

Dr Radovan Kovačević, docent; Vukašin Zogović, asistent, mr Djordjije Kovačević, v.pred, Mašinski fakultet Titograd, Zdravko Krivokapić, dipl.ing., Željezara "Boris Kidrič" Nikšić.

jenim alatom, većina navedenih popravnih koeficijenata ne mijenja bilo bi opravdano da se komponente otpora rezanja definišu proširenim izrazom, obuhvatajući elemente režima rezanja (dubinu, korak i brzinu rezanja) koji se mijenjaju u toku obrade.

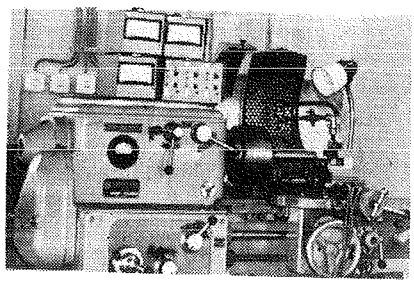
Predmet ovog saopštenja je uspostavljanje proširenog izraza za zavisnost komponenti otpora rezanja od dubine, koraka i brzine rezanja pri obradi uzdužnim struganjem čelika Č.1431, tj.

$$F_i^* = C_{ki} t^{xi} s^{yi} v^{zi}. \qquad (2)$$

2. Definisanje uslova ispitivanja

Odredjivanje zavisnosti komponenti otpora rezanja od elemenata režima rezanja (s,t,v) pri obradi radnog predmeta od čelika Č.1431 uzdužnim struganjem izvedeno je na univerzalnom strugu povećane tačnosti, tip 1A616, ruske proizvodnje, snage 4kW, alatom sa pločicom od tvrdog metala P20, uz korišćenje sredstva za hladjenje i podmazivanje "BIOSONIT 050". Mjerenje otpora rezanja izvedeno je trokomponentnim dinamometrom firme "KISTLER" koji radi na principu piezoelektričnog efekta. Izgled ispitivačkog radnog mjesta prikazan je na sl.1.

Planiranje eksperimenata je izvedeno na osnovu trofaktornog ortogonalnog plana eksperimenata, a usvojene vrijednosti elemenata režima date su u tabeli 1.



Sl.1. Izgled ispitivačkog radnog mjesta.

Tabela 1. Elementi režima rezanja

Režim rezanja	$v(x_1)$	$S(x_2)$	$t(x_3)$
max.	186,92	0,36	2,56
srednji	120,16	0,18	1,6
min.	77,24	0,091	1,0

2.1. Postavljanje plana eksperimenta

U planiranju eksperimenta i matematičkoj obradi eksperimentalnih rezultata primijenjen je statistički višefaktorni metod koji omogućava, uz minimalni skup eksperimentalnih tačaka, rasporedjenih po odredjenom algoritmu (višefaktornom planu), maksimum informacija o efektima matematičkog modela procesa.

Broj eksperimenata uključujući i srednji nivo, zbog provjere tačnosti faktornog eksperimenta, iznosi

$N = 2^k + 4 = 2^3 + 4 = 12$, gdje je:

- k - broj promjenljivih u matematičkom modelu (v,t,s),
- n_o - broj ponovljenih eksperimenata u centralnoj tački plana ($n_o = 4$).

Za matematički model zavisnosti komponenti otpora rezanja od elemenata režima rezanja usvaja se stepena funkcija oblika

$$F_i^* = C_{ki} t^{xi} s^{yi} v^{zi}.$$

Logaritmovanjem gornje jednačine dobijamo

$$\log F_i = \log C_{ki} + xi \log t + yi \log s + zi \log v,$$

ili

$$y = b_o x_o + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3, \qquad (3)$$

gdje je

$y = \log F_i$; $\log C_{ki}$; $X_1 = \log t$; $X_2 = \log s$;

$X_3 = \log v$; $X_o = 1$; $b_1 = X_i$; $b_2 = yi$ i $b_3 = zi$.

Provjera adekvatnosti linearnog matematičkog modela prema jed.(3) i značajnosti pojedinih koeficijenata

(b_i, i=0,1,2 i 3) izvodi se pomoću testa Fischer-a za nivo pouzdanosti p=0,95 [3].

3. Rezultati ispitivanja

U tabeli 2 prikazana je planmatrica sa eksperimentalnim rezultatima za komponente otpora rezanja F_1, F_2 i F_3.

Matematičkom obradom eksperimentalnih rezultata uz korišćenje razvijenog programa na računaru IBM 500 odredjene su konstante u jed.(3), pa imamo da je

$$Y_1=6,569-0,0148X_1+0,55X_2+0,4991X_3 \quad (4)$$

$$Y_2=6,072-0,0844X_1+0,318X_2+0,58X_3 \quad (5)$$

$$Y_3=5,31-0,0752X_1 + 0,5X_2 + 0,092X_3 \,. \quad (6)$$

Dekodiranjem jed.(4),(5) i (6) dobijamo proširene izraze za komponente otpora rezanja pri udzužnoj obradi struganjem čelika Č.1431, i to:

$$F_1=1995,64\cdot v^{-0,0336}s^{0,8}t^{1,06} \quad (7)$$

$$F_2=1338,9\ v^{-0,1912}s^{0,463}t^{1,235} \quad (8)$$

$$F_3=1473\ v^{-0,17}s^{0,738}t^{0,196} \,. \quad (9)$$

U zadnjim kolonama tabele 2 unijete su modelske vrijednosti za komponente otpora rezanja.

Tabela 2. Plan - matrica

Broj eksperim.	Komponenta plana	Kod				Eksperimentalni rezultati (N)			Modelske vrijednosti (N)		
		X_0	X_1	X_2	X_3	F_1	F_2	F_3	F_1	F_2	F_3
1		1	-1	-1	-1	250	160	130	257,8	180	134,1
2		1	1	-1	-1	240	145	115	243,3	147,3	112,7
3		1	-1	1	-1	767,2	345	397,2	772,6	345,6	359,3
4	X_0	1	1	1	-1	710	250	300	728,9	282,8	302,1
5		1	-1	-1	1	640	468,6	150	648,7	522,1	150,8
6		1	1	-1	1	600	420	140	611,9	427,2	126,8
7		1	-1	1	1	1892	971,5	411,5	1943,5	1000,3	404,1
8		1	1	1	1	1800	740	330	1833,4	820,1	339,8
9		1	0	0	0	720	430	200	684,6	383,2	212,6
10		1	0	0	0	720	430	200	684,6	383,2	212,6
11	X_0	1	0	0	0	720	440	210	684,6	383,2	212,6
12		1	0	0	0	710	440	210	684,6	383,2	212,6

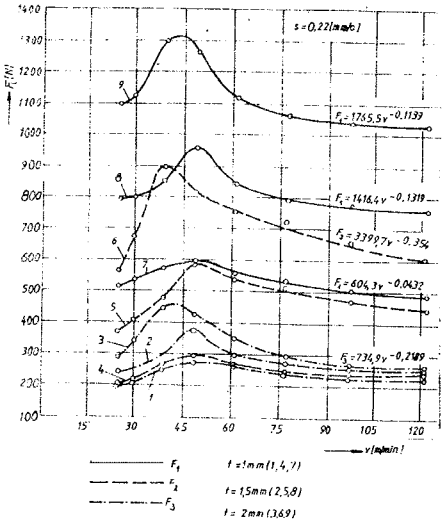
4. Analiza dobijenih rezultata

Imajući u vidu da se u ovom saopštenju posebna pažnja poklanja analizi uticaja brzine rezanja na komponente otpora rezanja zadržimo se kratko na analizi ovog uticaja.

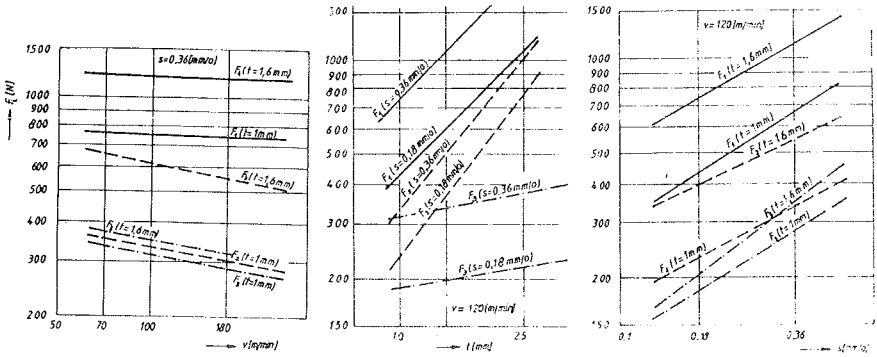
Na sl.2, prikazana je zavisnost komponenti otpora rezanja od brzine rezanja pri obradi struganjem čelika Č.1431 za različite dubine rezanja pri konstantnom koraku. Zavisnost $F_i=C_i/v^{n_i}$ važi za interval brzina rezanja od 60-120 m/min.

Na sl.3, data je grafička interpretacija dijela rezultata.

Analizom datih dijagrama može se zaključiti da na glavni otpor rezanja



Sl.2. Zavisnost komponenti otpora rezanja od brzine rezanja (Č.1431).



Sl.3. Rezultati ispitivanja zavisnosti komponenti otpora rezanja od elemenata režima rezanja

(F_1) i otpor prodiranja (F_2) ima veći uticaj dubina rezanja nego korak, dok je kod otpora pomoćnog kretanja (F_3) obrnut slučaj. Takodje se zaključuje da je sa rastom brzine rezanja nešto izraženije opadanje otpora prodiranja i otpora pomoćnog kretanja u odnosu na glavni otpor rezanja.

Da bi se ukazalo na opravdanost uvodjenja proširenog izraza za odredjivanje komponenti otpora rezanja pri obradi uzdužnim struganjem izvršimo uporednu analizu vrijednosti komponenti otpora rezanja odredjenih prema jed.(1) i (2).

Za čelik Č.1431 i alat sa pločicom od tvrdog metala, pri s=0,1mm/o, t=1mm i v=100m/min, u tabeli 3 prikazane su vrijednosti parametara obradivosti (C_{ki}, x_i, y_i) sa popravnim koeficijentom k_{vi} [1,2].

U tabeli 4 date su izračunate vrijednosti komponenti otpora rezanja jed. (1) i (2).

Analizom rezultata prikazanih u tabeli 4 zaključuje se da su vrijednosti izračunate na osnovu proširenog izraza za sve tri komponente otpora rezanja (posebno otpor pomoćnog kretanja) veće u odnosu na vrijednosti izračunate prema jed.(1). Ove razlike bi bile znatno veće pri nižim brzinama rezanja.

Tabela 3. Parametri obrad.čelika Č.1431.

	F_1	F_2	F_3
C_K	300	243	[illegible]
X	[illegible]	0,9	1,0
Y	[illegible],75	0,6	0,5
X_v	[illegible]	[illegible],27	[illegible]

Tabela 4. Pregled izračunatih vrijednosti za F_1, F_2 i F_3

	F_1(N)	F_2(N)	F_3(N)
$F_i = 10 C_{ki} t^{xi} s^{yi} v^{xi}$	2[illegible],1	164,[illegible]	95,7
$F_i^* = C_{ki} t^{xi} s^{yi} v^{xi}$	[illegible],8	[illegible]	123,1
$F_i^* - F_i$ %	12,7	[illegible]	[illegible]

5. Z a k l j u č a k

Izvedena ispitivanja ukazuju da prošireni izraz obezbedjuje tačnije odredjivanje komponenti otpora rezanja pri uzdužnom struganju (veće u odnosu na dosadašnji način odredjivanja preko popravnog koeficijenta za brzinu rezanja) omogućavajući na taj način racionalniju konstrukciju i ekonomičniju eksploataciju proizvodnih sredstava, kao i optimizaciju procesa obrade.

6. L i t e r a t u r a

[1] Bobrov, V.F.: Osnovi teoriji rezanjija metallov, Mašinostroenie, Moskva, 1975.

[2] Grupa autora, Mašinska obrada - Priručnik za proračun mjerodavnih režima mašinske obrade rezanjem, Privredni pregled, Beograd, 1971.

[3] Tihomirov, V.B. Planirovanie i analiz eksperimenta, Moskva, "Legkaja industrija" 1974.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOGA MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.GOD.

Milenko Jovičić, Tomislav Danojlić[x]

POSTOJANOST IZMENLJIVIH PLOČICA TVRDOG METALA PRI OBRADI NA NC- STUGOVIMA

R e z i m e

U radu su prikazani rezultati dobijeni pri uporednom ispitivanju izmenljivih pločica tvrdog metala domaće i inostrane proizvodnje kod obrade na NC-strugovima.
Ispitivanja su izvodjena u proizvodnim uslovima pri obradi delova od nodularnog liva, sivog liva,čeličnog liva i čelika,pri prethodnoj i završnoj obradi. Pločice tvrdog metala su bile oslojene i neoslojene,različitog oblika i dimenzija.

STANDZEIT VON WENDESCHNEIDPLATTEN BEI DER BEARBEITUNG AN NC- DREHMASCHINEN

S u m m a r y

Die Standzeit von Wendeschneidplatten wurde in einem Vetrieb bei der Bearbeitung an NC-Drehmaschinen untersucht.
Die Wendeschneidplatten waren ausländischer und heimischer Herstellung(beschichtet und unbeschichtet) und die Werkstücke aus dem Gusseisen mit Kugelgraphit,Grauguss,Stahlguss und Stahl.

1. Uvodne napomene

U cilju ocene kvaliteta izmenljivih pločica tvrdog metala domaće proizvodnje i mogućnosti zamene pločica inostrane proizvodnje,izvedeno je uporedno ispitivanje postojanosti odgovarajućih oslojenih i neoslojenih pločica pri obradi na NC-strugovima u pogonskim uslovima Industrije mašina ILR-Železnik.
Ovim ispitivanjima je bilo obuhvaćeno ukupno oko 90 pločica tvrdog metala, koje su bile oslojene i neoslojene,sa i bez žlebova za lomljenje strugotine a sledećih oblika i dimenzija: SNMM 120408,SNMA 190612,SNMM 190612, CNMA 120412,CNMM 120412,TNMA 160408, TNMM 160408 i KNUX 160410.
Izmenljive pločice domaća dva proizvodjača(PRVI PARTIZAN-T.Užice i SINTAL - Zagreb) i pločice dva inostrana proizvodjača (SECO i COROMANT) bile su sledećih kvaliteta:

- PRVI PARTIZAN: K05,K10,K20,P20 i P25 (sve neoslojene)
- SINTAL: HSV-25 i HSV-35(oslojene sa TiC)
- SECO: TP15, TP25 i TP35(oslojene sa $TiC+Al_2O_3$, TiC,odnosno Ti(C,N)
- COROMANT: GC015(oslojena sa $TiC+Al_2O_3$)

[x] Dr Milenko Jovičić,dipl.inž., vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, ul.27 marta 80.
Tomislav Danojlić,dipl.inž., Industrija mašina ILR-Železnik.

Obrada je izvodjena na strugovima sa NC-upravljanjem proizvodnje GILDEMEISTER Max Müller(modeli MDW 10,MDW 20 i MDW 30),a pločice tvrdog metala su postavljane u odgovarajuće držače (sa ili bez lomača strugotine,u zavisnosti od vrste materijala obratka i olika pločice).

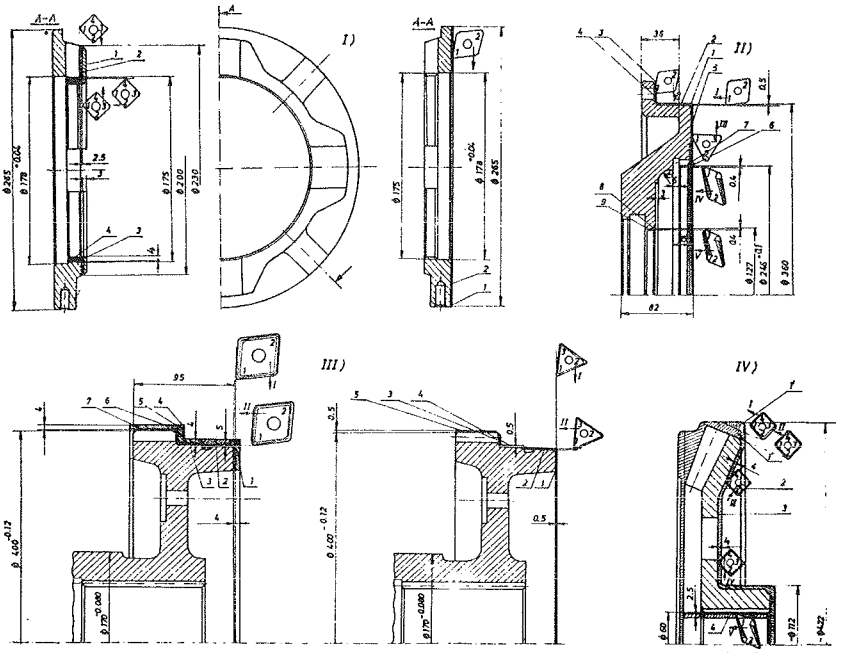
Kako je pomenuto,izvodjena je obrada obradaka od sledećih materijala:nodularnog liva NL.50, sivog liva SL.26,čeličnog liva ČL.0645 i čelika Č.1531(otkovci). Praćenje postojanosti izmenljivih pločica tvrdog metala izvodjeno je u uslovima tekuće proizvodnje po redu pristizanja pojedinih serija obradaka, tako da je dolazilo do odstupanja u karakteristikama materijala u odredjenim granicama.

Na sl.1 prikazani su neki odabrani oblici obradaka , i to: (I) od nodularnog liva,sa obradom obe strane, (II) od sivog liva pri obradi sa tri pločice po četiri površine(zahvata obrade),(III)od čeličnog liva pri gruboj i finoj obradi i (IV) od čelika pri spoljašnoj i unutrašnjoj obradi.

Na skicama obradaka su ucrtani i položaji pločica tvrdog metala i dubine rezanja u pojedinim zahvatima obrade(1,2, 3,4,....). Vidi se da je većina pločica učestvovala u obradi sa glavnim i pomoćnim sečivima.

2. Rezultati ispitivanja

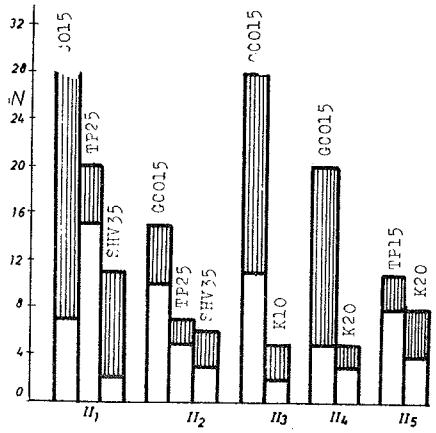
U toku ispitivanja praćena je širina pojasa habanja po ledjnoj površini pločica plosle obrade odredjenog broja delova. Pri tome se težilo,u granicama tehničkih mogućnosti da se obrada istih obradaka vrši sa pločicama istog oblika domaće i inostrane proizvodnje(radi mogućnosti uporedjivanja rezultata). Rezultati dobijeni ispitivanjima odnose se na uporedni prikaz broja obradjenih delova sa pojedinim pločicama pri obradi istih obradaka,odnosno na zavis-



Sl.1 Primeri obradaka od nodularnog liva NL.50(I),sivog liva SL.26(II),čeličnog liva ČL.0645(III) i čelika Č.1531(IV) sa položajima pločica tvrdog metala.

nosti izmedju broja obradjenih delova i širine pojasa habanja. Ovde se prikazuju neki od tih rezultata.

Na sl.2 prikazano je rasturanje broja obradjenih delova N iz II grupe obradaka (II_1-II_5) od sivog liva SL.26 pri obradi pločicama domaće i strane proizvodnje. Pri tome širina pojasa habanja



Sl.2 Broj obradjenih delova od SL.26 pločicama različitog kvaliteta

po ledjnoj površini pločica tvrdog metala nije bila ista,a u nekim slučajevima se javljalo krzanje sečiva i lom pločice tako da habanje nije bilo moguće meriti.

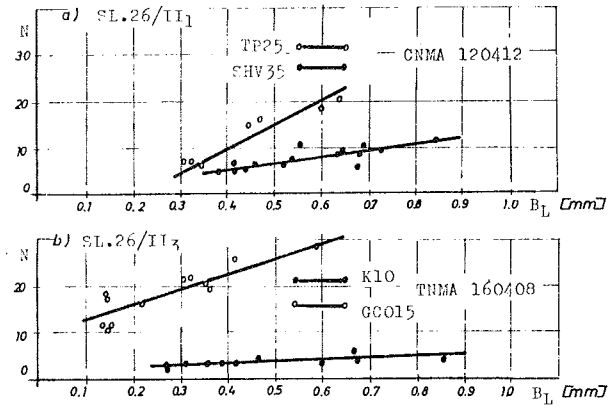
Valja naglasiti da vreme obrade pojedinih obradaka nije bilo isto,te se mogu uporedjivati rezultati dobijeni pri obradi istih obradaka.

Na sl.3 data je zavisnost izmedju broja obradjenih delova N i širine pojasa habanja po ledjnoj površini B_L,dobijena pri obradi obradaka II_1 i II_3 od SL.26 sa pločicama TP25 i SHV35(a) odnosno sa K10 i GC015(b).

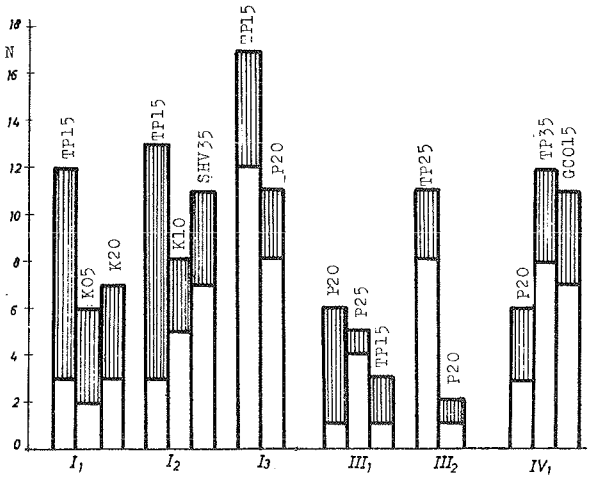
Vidi se da je kod pločica TP25 i GC015 znatno povoljniji odnos izmedju broja obradjenih delova i habanja u odnosu na pločice domaće proizvodnje,koje su bile neoslojene. Brzine rezanja su bile velike i prilagodjene oslojenim pločicama inostrane proizvodnje(maksimalne vrednosti su bile izmedju 300-350m/min).

Na sličan način, na sl.4 prikazano je rasturanje broja obradjenih delova od nodularnog liva(a),čeličnog liva(b) i čelika(c) odgovarajućim pločicama tvrdog metala domaće i inostrane proizvodnje dok su na sl.5 prikazane zavisnosti izmedju širine pojasa habanja B_L i obradjenog broja obradaka I_1 i I_2 od nodularnog liva.

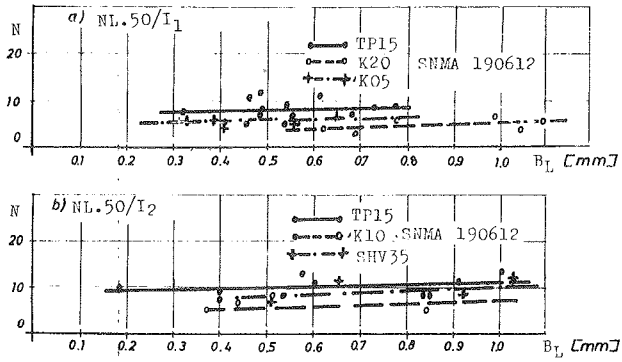
Vidi se da u svim slučajevima nije tako velika razlika u broju obradjenih delova sa pločicama domaće i inostrane proizvodnje, ali je rasturanje širine pojasa habanja bilo veliko u većini slučajeva. Svakako da je varijacija u karakteristima materijala obradaka imala veliki



Sl.3 Zavisnosti izmedju broja obradjenih komada N i širine pojasa habanja po ledjnoj površini B_L pri obradi obradaka od sivog liva SL.26



Sl.4 Broj obradjenih delova od NL.50(a), ČL.0645(b) i Č.1531(c) pločicama tvrdog metala različitog kvaliteta



Sl.5 Zavisnosti izmedju broja obradjenih delova N i širine pojasa habanja B_L pri obradi obradaka od NL.50, ČL.0645, Č.1531 pločicama različitog kvaliteta

uticaj na rasturanje postojanosti.

3. Zaključak

Uporednim ispitivanjem pločica tvrdog metala pri obradi na NC-strugovima dobijeno je da je postojanost pločica domaće izrade dosta niža, u odnosu na oslojene pločice tvrdog metala inostrane proizvodnje. Jedan od razloga je što režim obrade (brzina rezanja) nije bio prilagodjen kvalitetu pločica domaće proizvodnje, koje su u većini slučajeva bile neoslojene. Medjutim, u nekim slučajevima su dobijeni i zadovoljavajući rezultati (koji u ovom radu nisu prikazani radi ograničenog prostora).

4. Literatura

1 What's new in sintered carbides for machining." Metalwork. Prod.", 122(1978), Nr.8., 57-65

2 Jovičić M., Danojlić T., Istraživanje mogućnosti i uslova zamene pločica tvrdog metala inostrane proizvodnje pločicama domaće proizvodnje Mašinski fakultet, Beograd (1981)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Aristid Perić*

PRILOG ANALIZI EKONOMSKE BRZINE REZANJA KOD OBIČNOG REZANJA ALATOM DEFINISANE OŠTRICE

R e z i m e

U radu je data analiza ekonomske brzine reza ija kod običnog rezanja alatom definisane oštrice. Kao reprezentativno uzeto je periodično rezanje. Analiza je bazirana na jednačini za troškove obrade po komadu u funkciji od brzine rezanja i uticaja učestalosti rezanja. Odredjenim izvodom dobija se jednačina za ekonomsku brzinu rezanja kod običnog rezanja alatom definisane oštrice u funkciji od uticaja učestalosti.

CONTRIBUTION TO AN ANALISIS OF ECONOMIC CUTTING SPEED AT NORMAL CUTTING IN SINGLE-PASS MACHINING OPERATIONS

S u m m a r y

This paper contains an analysis of the economic cutting speed at normal cutting process with a tool of definite edge. As representative is taken a periodic cutting process. Analysis is based on an equation for cost per component at function of cutting speed and influence of cutting frequency. The derivated expression gives the equation for the economic cutting speed as a function of influence of cutting frequency.

1. Uvod

Analiza ekonomske brzine rezanja razmatra se na primjeru običnog rezanja sa jednim alatom definisane oštrice. Obično rezanje može da se vrši kao periodično ili kontinualno rezanje alata u toku postojanosti alata. Kod običnog rezanja kao bitan faktor pojavljuje se učestalost tj. periodičnost rezanja uslovljena uzastopnom promjenom obradka na mašini. Karakteristike takvog procesa su stepen i uticaj učestalosti rezanja [1,2]

$$I = \frac{1}{1 + \frac{t_{hl}}{t_r}} \quad , \quad U = f(I)$$

gdje je t_r - vrijeme rezanja, $t_{hl} \leq t_{hl_o}$ - vrijeme hladjenja alata, t_{hl_o} - vri-

* Dr Aristid Perić, red.prof.Mašinskog fakulteta u Sarajevu, 71000 Sarajevo, Ul. Darovalaca krvi 21.

jeme hladjenja alata do temperature okoline.

2. Izvod izraza za ekonomsku brzinu rezanja

Za izvod su korištene slijedeće medjuzavisnosti:

- zavisnost postojanosti alata od uticaja učestalosti rezanja,
- konstantan odnos izmedju vremena hladjenja alata i vremena rezanja za dati obradak,
- smanjenje neproduktivnog pomoćnog vremena sa porastom brzine rezanja.

Ove zavisnosti su utvrdjene ranijim istraživanjima temperatura rezanja i postojanosti alata [1, 2, 3,4] .

Troškovi obrade po komadu isključujući troškove materijala mogu se dati izrazom

$$C = C_M \left[t_g + t_p + \left(t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right) \frac{1}{N} \right]$$

gdje je t_g-glavno vrijeme, t_p-pomoćno vrijeme, t_{sm}-vrijeme smjene alata, C_M-rashodi eksploatacije radnog mjesta u minuti, C_A-rashodi alata po oštrici i N-broj obradaka obradjenih u toku neke postojanosti.

Pošto je

$$t_g = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = C_0 V^{-1}; \quad V = \frac{C_{VT}}{U^m T^m}$$

to je

$$\frac{1}{N} = \frac{t_g}{T} = \frac{C_0}{C_{VT}^{1/m}} U V^{\frac{1}{m}-1}$$

Tako se dobija da je

$$C = C_M C_0 \left[\frac{1}{V} + \frac{t_p}{C_0} + \left(t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right) \frac{C_0}{C_{VT}^{1/m}} U V^{\frac{1}{m}-1} \right]$$

Zamjenjujući

$$t_p = t_{hl} + t_{\check{c}} = z(U) t_g + t_{\check{c}} = z(U) C_0 V^{-1} + t_{\check{c}},$$

$$K = t_{sm} + \frac{C_A}{C_M}$$

dobija se konačno izraz za troškove obrade po komadu

$$C = C_M C_0 \left[\frac{1}{V} + \frac{z(U)}{V} + \frac{t_{\check{c}}}{C_0} + \frac{K}{C_{VT}^{1/m}} U V^{\frac{1}{m}-1} \right] = \varphi(U, V)$$

gdje je u opštem slučaju $C_0 = f(U)$ i $t_{\check{c}} = f(U)$ za $0 < U \leq 1$.

Uslovi rezanja kada su minimalni troškovi obrade po komadu su

$$\frac{\partial C}{\partial V} = 0$$

kada je

$$1 = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) K \frac{1}{1 + z(U)} \frac{U V^{\frac{1}{m}}}{C_{VT}^{1/m}}$$

Kako je $z(U) = t_{hl}/t_r$ to je konačno ekonomska brzina rezanja jednaka

$$V = \frac{C_{VT}}{\left[\left(\frac{1-m}{m} \right) K I \right]^m U^m}$$

Ekonomski period rezanja je

$$T_e = \frac{1-m}{m} K I$$

a taj izraz je izvodom dobijen u radu [5].

3. Analiza troškova obrade po komadu

Ova analiza izvedena je za različite obbradke kod operacije struganja, a bazirana je na podacima iz tablice 1 i upotrebi konačnog izraza za troškove obrade u obliku

$$C = C_M \cdot C_0 \left[\frac{1}{V} + \frac{z(U)}{V} + \frac{t_{\check{c}}}{C_0} + \right.$$

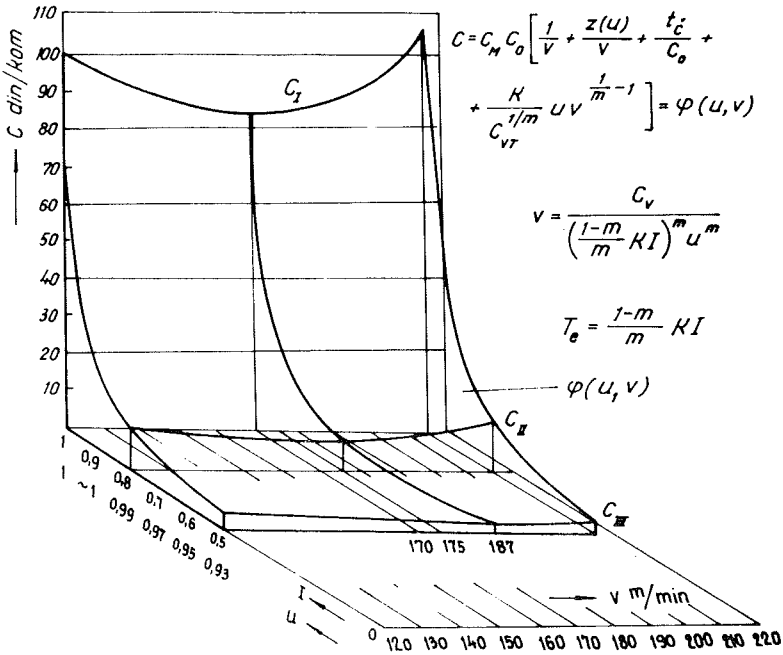
$$\left. + \left(t_{sm} + \frac{C_A}{C_M} \right) \frac{C_0}{C_{VT}^{1/m}} U V^{\frac{1}{m}-1} \right]$$

Iz grafičkog prikaza analize (sl. 1) vidi se da se samo prvi obradak obradjuje u uslovima kontinualnog rezanja alata. Obrada ostalih obradaka vrši se u uslovima odredjenog periodičnog rezanja i pri minimalnim troškovima obrade po komadu ekonomska brzina rezanja biva veća što je stepen učestalosti rezanja manji tj. što je obradjena površina manja.

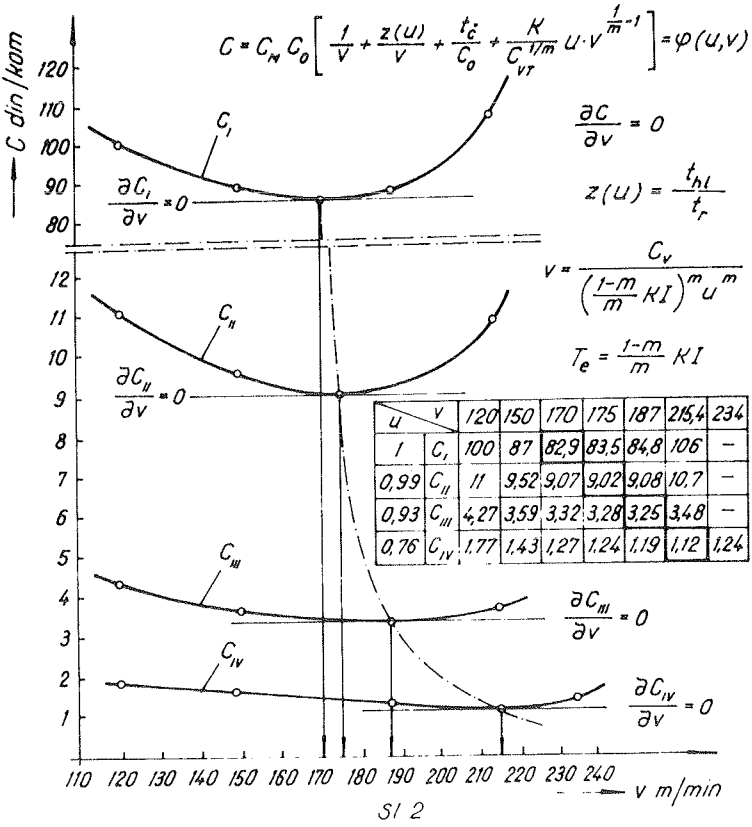
Tabela 1.

Obradak	Br.	I	II	III	IV
	Mat.	Č.0545			
	Dim. D×L mm	511.62 ×2000	100.33 ×850	106 ×214	106.6 ×40
	G N	1900	500	193	30
V_o m/min		170			
s mm/o		0.315			
δ mm		1			
$t_g = t_r$ min		60	5	1.33	0.25
t_p min		15	3.5	1.82	1
t_{hl} min		0	~1.33	~1.33	1
$t_č$ min		15	2.17	0.49	0

Strug	D×L = 520×2000 mm			
Alat	Karbid T15 K6 (P10)			
	b×h 20×20 mm			
I	1	~0.8	0.5	0.2
u	1	0.99	0.92	0.76
C_M din/min	1			
$C_o = \frac{LO_7}{1000 s}$	10200	850	226	42.5
C_{VT}	284			
$C_1 = C_o \frac{1}{C_{VT}}$	36	3	0.8	0.15
m	0.125			
t_{sm} min	2			
K min	8.57			



Sl. 1



u	v	120	150	170	175	187	215,4	234
1	C_I	100	87	82,9	83,5	84,8	106	–
0,99	C_{II}	11	9,52	9,07	9,02	9,08	10,7	–
0,93	C_{III}	4,27	3,59	3,32	3,28	3,25	3,48	–
0,76	C_{IV}	1,77	1,43	1,27	1,24	1,19	1,12	1,24

Sl 2

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodne analize može se dati slijedeći zaključak: Ekonomska brzina rezanja kod običnog rezanja sa jednim alatom definisane oštrice može se izraziti u funkciji stepena i uticaja učestalosti rezanja.

4. Literatura

1. Perić A., Uticaj različitog toplotnog režima na alatu na fizičke veličine u procesu rezanja, Zavod za alatne mašine Sarajevo, Sarajevo 1974.
2. Perić A., Prilog istraživanju temperatura pri periodičnom rezanju, Zbornik saopštenja, X savjetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.
3. Perić A., Istraživanje tehnoloških faktora u procesu rezanja u uslovima obrade podobnim proizvodnoj praksi, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1977.
4. Perić A., Periodično rezanje, temperature i postojanost alata, Zbornik saopštenja, XIII Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Banja Luka, 1979.
5. Perić A., Analysis of tool life for minimum cost per component at normal cutting in single-pass machining operations. Proc.of VI Intern.Confer.on Production Research, Novi Sad, 1981.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR 1982.god.

Mr Ranko Milović*

DISTRIBUCIJA TEMPERATURE U ALATU PRI OBRADI ČELIKA ZA AUTOMATE

R e z i m e

Rad obuhvata ispitivanje uticaja hemijskog sastava i hladnog vučenja na distribuciji temperature u alatu pri obradi nisko ugljeničnih čelika za automate. Distribucija temperature u alatima od brzoreznog čelika odredjena je na os novu strukturnih promjena brzoreznog čelika u području od 650-900°C. Dva faktora moraju biti razmatrana pri izučavanju obradljivosti ovih čelika: a) relativna plastičnost uključaka i prisutnih faza i b) plastičnog feritne faze.

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN TOOLS USED FOR CUTTING LOW CARBON FREE CUTTING STEELS

S u m m a r y

The influence of chemical composition and cold drawing on the temperture distribution in tools used for cutting low carbon free cutting steels has been investigated. Temperature gradients in high speed steel tools have been determined using method based on the structural changes in high speed steel in the range 650-900°C. Two important factors to be considered in explaining the machinability of the steels (a) The relative plasticity of the inclusions and phases present, (b) the plasticity of the ferrite phase.

1.Uvod

Zahtjevi za povećanje produktivnosti i smanjenje troškova proizvodnje na glo su povećali potražnju čelika za automate. Obrada ovoga čelika se vrši uglavnom na viševretenim automatima, gdje se često usled malog prečnika obratka radi sa relativno niskim brzinama rezanja, pa se puno koriste alati od brzoreznog čelika.

Obradljivost je vrlo teško izraziti u funkciji od hemijskog sastava, strukture, termičke obrade i sl. Ove korelacije bi bile izuzetno korisne sa stanovišta tehnologije izrade čelika, izrade reznog alata i uopšte obrade čelika rezanjem.

Mnoge fizičke i hemijske pojave u procesu rezanja zavisne su od temperature, pa je poznavanje distribucije temperature u alatu od izuzetne važnosti za izučavanja obradljivosti čelika.

U ovom radu navedeni su rezultati ispitivanja uloge ugljenika, sumpora, olova i stanja isporuke niskougljeničnih čelika za automate na disribuciji temperature u alatima od brzoreznog čelika.

2. Uslovi ispitivanja

Ispitivanja su izvedena na V.D.F. strugu sa kontinualnom promjenom broja obrtaja. Brzina rezanja V je varirala od 120 - 165m/min. Posmak s = 0,127 mm/ob. i dubina rezanja a = 1,27 mm nisu varirali u ovim ispitivanjima.

Korišćen je alat od brzoreznog čelika BM34 (British Standard BS4659:1971). Alat u obliku pločice dimenzija 20x9,5x6,5 mm mehanički je bio pričvršćen u držač alata specijalne izvedbe. Geometriski elementi reznog alata su: grudni ugao $\gamma = 10^{o}$, ledjni ugao $\alpha = 12^{o}$, ugao $\chi = 75^{o}$, ugao nagiba sječiva $\lambda = o^{o}$ i poluprečnik zaobljenja vrha noža r = 0,25 mm.

Obradjivana su četiri nisko - ugljenična čelika za automate ispo-

*Mr Ranko Milović,dipl.ing., Ph.D.student,University of Birmingham, England

ručena u toplo-valjanom odnosno hladno - vučenom stanju, prečnika šipke Ø63 mm. Hemijski sastav, tvrdoća i stanje isporuke čelika dati su u tabeli broj 1.

Tabela br.1

C%	Mn%	S%	Pb%	Si %	Al%	HV
0.06**	1.13	0.34	-	0.006	0.008	160
0.06*	1.19	0.35	-	0.002	0.005	172
0.11*	0.90	0.26	-	0.014	0.003	171
0.11*	0.90	0.26	0.24	0.015	0.005	170

** Toplo-valjani čelik
* Hladno vučeni čelik

Na osnovu promjena mikrostruktu re alata odredjena je distribucija temperature u alatu u području od 650-900°C, sa tačnošću od ± 25°C [2].

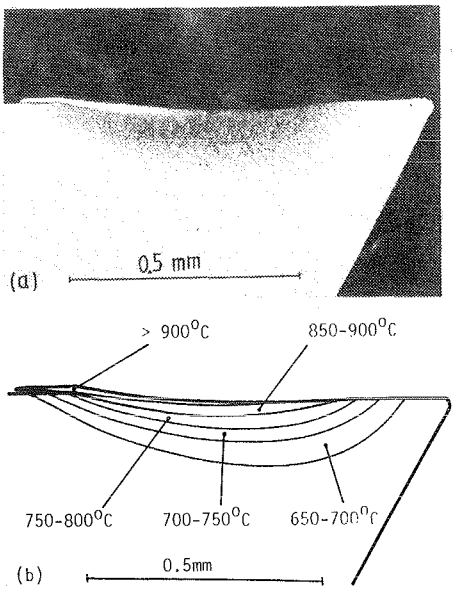
U toku ispitivanja nije primenlj ivano sredstvo za podmazivanje i hla djenje.

3. Eksperimentalni rezultati

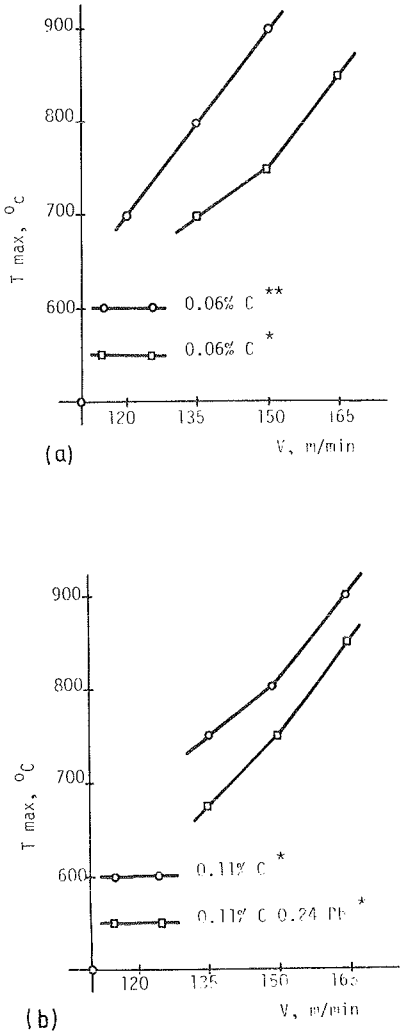
Odredjena je distribucija temperature u alatu od brzoreznog čelika u području od 650-900°C, nakon zaustavljanja procesa rezanja. Izvršen je metalografski presjek alata u ravni normalnoj na reznu oštricu a udaljenoj 1/5 dubine rezanja od pomoćne rezne oštrice alata. Slika 1(a) pokazuje metalografski presjek alata nagrižen sa 2% Nitala, 35 sek.

Tamna zona u obliku luka predstavlja područje zahvaćeno temperaturom većom od 650°C. Odredjivanjem graničnih linija, izmedju pojedinih mikrostruktura unutar ovoga područja, korišćenjem optičkog mikroskopa, došlo se do izotermi na alatu odnosno distribucije temperature, sl.1(b).

Pri obradi 0,06%C toplo-valjanog čelika ostvarene su relativno visoke temperature u alatu u poredjenju sa 0,06%C hladno-vučenimčelikom, približno istog hemijskog sastava, sl.2 (a).



Sl.1



Sl.2

Toplo-valjani čelik se više deformisao u procesu rezanja, pa je ostvarena veća dužina kontakta strugotina -alat. Relativna plastičnost izmedju uključaka i feritne faze [3] bila je niža kod toplo valjanog čelika. Potrebno je bilo izvršiti veći rad u zoni rezanja, što je imalo za posledicu povećanje temperature alata.

S druge strane, uključci u čeliku za automate uslovili su nehomogenu plastičnu deformaciju u zoni rezanja. Stvorena je mogućnost formiranja mikropukotina, zavisno od relativne plastičnosti uključaka i prisutnih faza u čeliku. Na ovaj način smanjena je dužina kontakta strugotina - alat odnosno maksimalna temperatura alata.

Pri obradi 0,11%C; 0,24%Pb čelika smanjeni su dužina kontakta strugotina alat, maksimalna temperatura alata,i područje zahvaćeno temperaturom većom od 650°C u poredjenju sa 0,11%C čelikom. Ovim je ispitan uticaj olova u čeliku na distribuciji temperature u alatu.

Pri obradi 0,11%C čelika ostvarene su relativno visoke temperature u alatu, sl.2(b), sa položajem maksimalne temperature bliže reznoj oštrici alata, u poredjenju sa 0,06%C čelikom. Veći procenat perlitne faze u ovom čeliku i niži sadržaj nemetalnih uključaka smanjili su plastičnost u zoni rezanja, što se odrazilo na distribuciju temperature.

4. Zaključci

Na osnovu navedenog ispitivanja daju se sljedeći zaključci:

1. Distribucija temperature u alatu pri obradi nisko-ugljeničnog čelika za automate zavisi od (a) relativne plastičnosti izmedju uključaka i prisutnih faza i (b) plastičnosti feritne faze.

2. Pri obradi hladno-vučenog čelika ostvaruje se niža temperatura alata u poredjenju sa toplo valjanim čelikom, približno istog hemijskog sastava.

3. Sumpor i olovo u čeliku za automate drastično smanjuje temperaturu alata u području zahvaćenom temperaturom većom od 650°C.

3. Veći sadržaj u čeliku ugljenika za automate povećava maksimalnu temperaturu alata.

5. Literatura

[1] Trent, E.M. Metal Cutting, Butterworths,London,1977

[2] Milović,R. M.Sc.Wval.Thesis, University of Birmingham,1980

[3] Milović,R. Wallbank,J. The machining of Low Carbon Free Cutting Steels with High Speed Steel Tools, ASM Int.Conf., Chicago, 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Zoran Seljak*

OBDELAVA Z VELIKIMI REZALNIMI HITROSTMI

R e z i m e

Približno dvajset let vrsta raziskovalcev skuša v Evropi, kakor tudi v ZDA, doseči veliko racionalizacijo obdelave s povečanimi rezalnimi hitrostmi. Cilji so pri tem 10 do 100 kratno povečanje hitrosti rezanja. Take vrednosti so dosegljive pri zlitinah aluminija in bakra, titana in tudi pri železu. Vsi ti poskusi kažejo, da lahko dosežemo boljše rezultate pri obdelavi z velikimi hitrostmi pri vrtanju, struženju in pri frezanju. Tak pristop potegne za seboj razvoj novih orodij, novih sklpov pri obdelovalnih strojih, kot so ležaji, pogoni, zaščita pred poškodbami in drugo.

HIGH SPEED MACHINING

S u m m a r y

For about twenty years a number of investigators from Europe and USA have been trying to achieve rationalization of machining by higher cutting speeds. The aim of these investigations is to increase cutting speed for about 10 to 100 times. Such values can be reached at alloys from alluminium, copper, titanium and also iron. All experiments show that it is possible to achieve better results of machining at high cutting speeds in the process of drilling, turning and milling. This approach to the problem of rationalization of course requires the development of new tools, new machine tool units such as bearings, drive units, new security measures and similar.

1. UVOD

Veliko raziskovalnih inštitucij iz različnih dežel, npr. Združenih držav Amerike, Nemčije ali Sovjetske zveze, posveča že vrsto let veliko pozornost in napore raziskavam odrezovalnih procesov pri velikih rezalnih hitrostih. Prva poročila kažejo, da je raziskovalno delo na tem področju že doseglo tolikšno stopnjo, da bi lahko prešlo v nekaterih primerih tudi na praktično preizkušanje. Predno si bomo pobliže ogledali sedanje stanje, moramo ugotoviti pojme in pretekli razvoj obdelave z velikimi rezalnimi hitrostmi.

* Dr.mag. Zoran Seljak, dipl.ing., izr. profesor, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Doslej smo ob razvoju učinkovitejših obdelovalnih strojev in orodij, ki jih lahko mehanično in termično bolj obremenimo, stremeli za dva- do trikratnim povečanjem rezalnih hitrosti. Sedanji napori so usmerjeni na deset- - ali celo stokratno povečanje rezalnih hitrosti. V nedavni preteklosti je vrsta raziskovalcev obravnavalo staro vprašanje: kaj se dogaja, kadar uporabljamo velike hitrosti pri običajnih obdelovalnih postopkih. Postopki frezanja, struženja in vrtanja se odvijajo pri velikih in ultra velikih hitrostih s tem, da sledi tudi podajanje in globina rezanja. Pri tem je bilo ugotovljeno, da pogostoma lahko dosežemo tudi 300 % izboljšanje učinkovitosti in teoretično tudi do polovično zmanjšanje stroškov.

Predno si bomo podrobneje ogledali stanje tehnike na tem področju, moramo definirati nekaj pojmov, da bi razjasnili razvoj obdelave z velikimi hitrostmi.

Pojem odrezovanja z velikimi hitrostmi (High Speed Cutting - HSC) se nanaša izključno na rezalno hitrost in velja po ameriških virih za rezalne hitrosti nad 500 m/min. Tako je po Icks-u /1/ postavljena naslednja razdelitev:

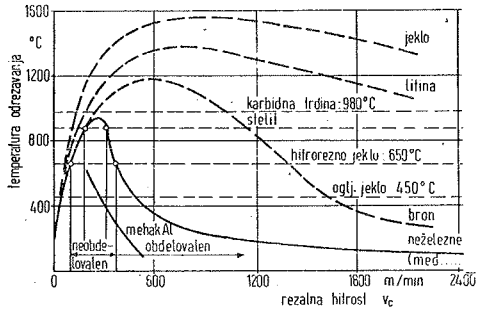
1. območje: običajne hitrosti rezanja z v_c = 500 m/min
2. območje: velike hitrosti rezanja v_c = 500 do 10.000 m/min
3. območje: ekstremno velike hitrosti rezanja nad 10.000 m/min.

Pri obravnavanju največjih rezalnih hitrosti, npr. za aluminij v_c = = 3000 m/min lahko ugotovimo, da moramo upoštevati določene razlike pojmovanj glede na obdelovani material. Za obdelavo jekla velja v_c = = 500 m/min že za veliko rezalno hitrost, medtem ko za obdelavo aluminija ne moremo smatrati enako rezalno hitrost za posebno veliko.

Tako je v dvajsetih letih Carl Salomon izvedel vrsto poskusov na jeklu s 400 m/min, bronu s hitrostjo 1600 m/min, bakru s hitrostjo 2850 m/min in aluminiju do 16500 m/min. Do takrat je veljalo prepričanje, da je po klasičnem Taylorjevem razmerju med rezalno hitrostjo in obstojnostjo orodja možno odrezovanje le do določene meje. Nato nastopi "dolina smrti", ko zaradi povečanih rezalnih temperatur odpove vsako orodje. Potek temperatur rezanja je bil pri Salomonu bistveno drugačen (slika 1). Pokazal je padec temperature rezanja pri povečanih rezalnih hitrostih. Ilustrativen je njegov poskus frezanja fosforne bronce z vijačnim frezalom s premerom 210 mm, 28 zobmi, pri podajanju v_f = 228 mm/min, globini rezanja do 7,5 mm. Pri rezalni hitrosti 45 m/min so odletavali modri odrezki in frezalo se je zažgalo v kratkem času; pri v_c = 1600 m/min in desetkratnem podajanju sta ostala obdelovanec in orodje popolnoma hladna /2/. Zato torej padajoči potek temperature pri rezalnem procesu s povečano hitrostjo rezanja.

Salomon je v tistih zgodnjih časih raziskovalnega dela na področju obdelave postavil tezo, da se prerez odrezkov ne spremeni. Iz tega izhaja možnost, da bi se glavni obdelovalni čas lahko skrajšal tudi na 1/1000 prvotnega obdelovalnega časa, ne da bi se s tem bistveno povečala poraba energije. Kasneje so tekle raziskave z različnimi obdelovalnimi materiali pri zelo velikih ali ekstremno velikih hitrostih. Obdelovanci so bili v obliki projektilov izstreljeni vzdolž rezalnega orodja. Poskusi so bili izvedeni v Ameriki, Sovjetski zvezi in Avstraliji /2, 3/. Rezalne hitrosti so bile v območju 60.000 m/min v posameznih primerih do 100.000 mm/min.

V primerjavi s temi ultra visokimi hitrostmi so bile pri običajnih poskusih struženja dosežene hitrosti struženja in frezanja jekla in Al- legur v veliko nižjem področju med 2000 in 6000 m/min (slika 2).



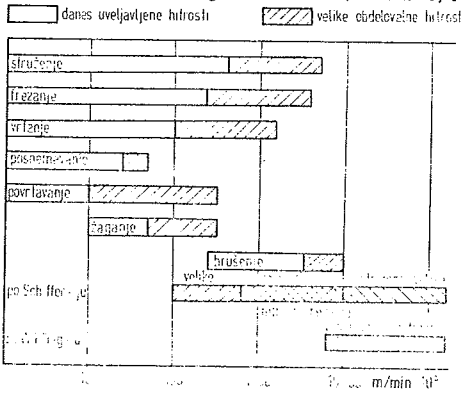
Slika 1: Vpliv rezalne hitrosti pri frezanju na temperaturo odrezovanja (po Salomon-u)

2. REZALNI PROCES PRI VELIKIH HITROSTIH

Pri odrezovanju z velikimi hitrostmi je na osnovi dosedanjih raziskav zelo težko postaviti zakonitosti rezalnega procesa. Težave nastopajo

pri določanju tečenja odrezanega materiala. Tu so hitrosti striženja za mnogokratnike večje kakor pri drugih obdelovalnih postopkih, predvsem pa so veliko večje kot hitrosti pri preizkušanju materiala, npr. pri nateznem preizkusu.

Rezalne hitrosti so v območju, kjer se material plastično deformira. Primarna deformacija poteka v strižni ravnini in predstavlja tudi merilo za nakrčenje odrezka. Sekundarna deformacija poteka med cepilno ploskvijo orodja in spodnjo stranjo odrezka. V mejni plasti nastopajo stanja, ko je neposredno na cepilni ploskvi hitrost nič in narašča do hitrosti odtekanja odrezka (slika 3).

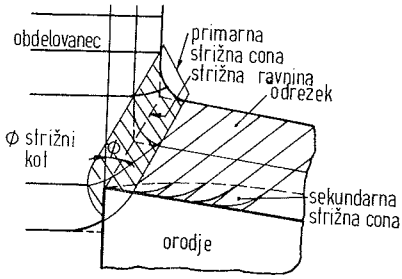


Slika 2: Območja rezalnih hitrosti za obdelovalne postopke odrezavanja /1/

Mehansko delo, ki ga dovedemo preko glavnega vretena in podajalnega pogona, se pretvori pretežno v toploto. Z naraščajočo rezalno hitrostjo se zmanjša torni odpor in nakrčenje odrezka. V območju hitrosti med 3000 in 4000 m/min imamo pri tečenju odrezka vpliv viskoplastičnosti. Torej se v vseh ozirih odmikamo od dosedanjih razmotrivanj pri nastanku odrezka.

Tako tudi pri običajnih hitrostih zanemarjeni kinetični efekti dobijo pri povečanih hitrostih vedno večji pomen. Orodje deluje na materialne delce kot trdna stena in impulzno preusmerja smer gibanja. Dinamični delež rezalne sile narašča s kvadratom rezalne hitrosti. Po podatkih iz literature /2/ se poveča strižni kot pri zelo velikih hitrostih tudi preko 60° in dinamični delež energije narase pri hitrosti rezanja 20.000 m/min na 50 % celotne specifične energije rezanja. Da bi na tem področju napravili bolj definirane sklepe, bi bile potrebne še podrobnejše raziskave.

Pri velikih rezalnih hitrostih se pojavlja vprašanje, če obdelovalni material ne zgublja svoje plastične značilnosti in postaja krhek. Ako bi bilo temu tako, lahko računamo z znatnim padcem potrebne energije pri rezanju. Na vprašanje pri kateri rezalni hitrosti se začne pojavljati krhkost materiala, ne dobimo odgovora na osnovi plastomehanike. Zato moramo globlje poseči v fiziko trdih snovi. Krhkost obdelovalnega materiala nastopi, ko je dosežena teoretična strižna trdnost kristalov. Tako lahko računamo nastop krhosti pri aluminijevih legurah v območju 1000 m/min, pri jeklu pa bi krhkost lahko pričakovali pri hitrosti 100.000 m/min. Pričujoče razlike v



Slika 3: Primarna in sekundarna strižna območja

osnovnem obnašanju dveh obdelovalnih materialov ne predstavljajo kakšne posebnosti v fiziki trdnih snovi, posledice, ki izhajajo iz teh ugotovitev pa predstavljajo praktikom brezmejne težave.

3. APLIKACIJA VELIKIH REZALNIH HITROSTI

K splošnim ugotovitvam o rezalnem procesu pri velikih hitrostih je prav, da dodamo tudi kratek pregled praktičnih posledic. Zelo interesantne so količine odrezanega materiala na časovno enoto. Tako odrežemo npr. pri globini 3 mm in podajanju 0,3 mm s hitrostjo 300 m/min približno 2,1 kg jekla. Ako povečamo pri nespremenjenem prerezu odrezka hitrost rezanja na 5000 m/min, dobimo že 35 kg odrezkov na minuto, oz. 2,1 tone na uro. Te ugotovitve kažejo, da bi stremeli za uvedbo velikih hitrosti rezanja v primerih, ko moramo odvzemati velike količine materiala.

Nadalje je npr. pri struženju zelo pomembno oblikovanje odrezkov. Tako bi neprekinjeni odrezki, ki bi leteli po delovnem prostoru, gotovo močno motili delavce pri delu. Interesantno je, da dobimo pri zelo povečanih hitrostih vedno krajše zavite odrezke. V vsakem primeru morajo biti stroji dobro zaščiteni z zasloni, da odtekajoči odrezki ne bi prosto leteli v delovni prostor.

Kvaliteta obdelane površine pri frezanju z zelo velikimi hitrostmi je navadno odlična. Npr. za rezalne hitrosti od 4800 do 5400 m/min in pri podajanju od 2000 do 4000 mm/min dobimo površine, ki se lahko enačijo z brušenimi površinami.

Zelo pomemben faktor predstavlja distribucija toplote med rezalnim procesom. Ugotovimo lahko, da se toplota koncentrira v odrezku in le minimalni delež lahko preide na orodje in obdelovanec. Ta ugotovitev je posebno pomembna pri obdelavi razsežnih obdelovancev z razmeroma tankimi stenami ob znatnem odvzemanju. Taki deli so občutljivi na spremembe temperature in s tem so povezane deformacije /4/. Z obdelavo pri velikih rezalnih hitrostih se zmanjšajo temperature in rezalne sile na obdelovancu. Tipični obdelovanci, ki bi jih naj obdelovali z velikimi hitrostmi, so različni strukturni okvirji za letala in druge naprave, kjer je zahtevana izredno velika natančnost pri veliki razsežnosti.

Prihranki na času izdelave so npr. v letalski industriji zelo zaznavni. Tako se v posameznih primerih dvigne produktivnost za 140 % - pa tudi do 250 % /5/.

4. BODOČI RAZVOJ

Z uvajanjem obdelave z velikimi hitrostmi se nam odpira vrsta izboljšav, ki jih ne smemo zanemariti v splošni borbi za večjo produktivnost in kvaliteto dela. Ob tem smo vezani na razvoj primernih orodij in strojev. Klasična orodja zamenjujejo npr. frezala iz karbidne trdine, frezalne glave z vložki iz keramike, borovega nitrida in polikristalnih diamantov. Razen odpornosti pred obrabo pri povišanih temperaturah rezanja morajo tudi drugače prenesti velike obremenitve in biti morajo zanesljiva. Saj predstavlja odkrhek takega orodja pri ekstremnih hitrostih nevaren projektil in s tem bi bila varnost delavcev zelo ogrožena.

Konstrukcija obdelovalnih strojev bo šla v več smeri, dve usmeritvi glede na obdelovance bosta gotovo predominantni:
- majhne enote z velikimi hitrostmi in ekstremnimi natančnostmi obdelave
- veliki obdelovalni stroji za velik odvzem materiala.

Glede na to, da z novim pristopom drastično zmanjšamo obdelovalni čas, lahko v določenih primerih razmišljamo o ekonomični obdelavi delov, ki so bili doslej liti ali kovani. Dostikrat zahteva razvoj tehnologije litja ali kovanja več mesecev (ali celo leta), da bi dosegli zadostne količine obdelovancev. Frezanje z velikimi hitrostmi, če je ekonomsko upravičeno, lahko bistveno skrajša časovni razpon med konstrukcijo in končno izdelavo tako, da opustimo ulitke ali izkovke.

Tankostenski deli v letalski industriji so naslednji primerki posebne pozornosti. Pri klasični obdelavi se deli na mestu obdelave segrevajo in s tem se pojavijo velike deformacije. Doseganje ozkih toleranc je v takih razmerah nemogoče in to lahko prisili konstrukterja k razvoju manj ugodnih oblik. Frezanje z velikimi hitrostmi tankostenskih delov je mogoče, ker so obremenitve zelo zmanjšane.

5. LITERATURA

/1/ G. Icks: Einfluss des Fasenwinkels beim Hochgeschwindigkeitsdrehen mit Schneidkeramik; tz f. Metallbearbeitung 1980/2; str. 33-39.

/2/ M. Kronenberg: Zwischenbericht über die Verfielfachung üblicher Schnittgeschwindigkeiten; Werkstattstechnik 1959/4, str. 181-184.

/3/ W. König: Aspekte zur Technologie der Hochgeschwindigkeitszerspanung; Ind. Anzeiger 103 (1981)/1, 2 s. 14-20.

/4/ R.I. King: High-speed machining revs up; Americah Machinist, Jan. 1981, s. 130-133.

/5/ T.A. Schroeder. I. Hazra: High - - speed Machining Analysis of Difficult-to-machine Materials.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Polde Leskovar, Dragica Noe *)

VPLIV MEHANSKIH LASTNOSTI MATERIALA NA IDENTIFIKACIJO REZALNEGA PROCESA

R e z i m e

Prispevek prinaša rezultate raziskav vpliva mehanskih lastnosti materiala na določen obdelovalni proces. Da bi lahko mehanske lastnosti kot so trdota in trdnost materiala hitro in zanesljivo določili ter da bi lahko izmerjene vrednosti uporabili za nadaljno matematično obdelavo smo razvili metodo zveznega ugotavljanja trdote ob konstantni globini razenja. Rezultati raziskav kažejo, da je postopek zveznega ugotavljanja trdote primerljiv s konvencionalnimi postopki in da lahko služi kot osnova za identifikacijo lastnosti kovinskih materialov ter s tem tudi za identifikacijo rezalnega procesa.

INFLUENCE OF MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIAL ON CUTTING PROCESS INDENTIFICATION

S u m m a r y

The paper reports on results of investigations studying the influence of mechanical properties of a certain material on a specific machining process. In order to determine the mechanical properties of a material such as hardness and strength, in a relatively fast and reliable way for further mathematical treatment of the measured values, the method of continuous hardness test has been developed at a constant depth of groove. The results of the investigation show that the method of continuous hardness test is suitable and can be compared to the convenitonal methods, serving as a basis for the identification of the properties of metal materials and also for the identification of the cutting process.

1. UVOD

Pri optimizaciji in racionalizaciji obdelovalnih procesov je potrebno spoznati parametre, ki vplivajo na njega in ga popišejo. Eden izmed najpomembnejših parametrov je prav gotovo material s svojimi fizikalnimi, mehanskimi in tehnološkimi lastnostmi.

Identifikacija procesa obdelave bo možna le na poprejšnji identifikaciji kovinskih materialov. Vsaka sprememba le-teh ima za posledico spremembo parametrov obdelovalnega procesa. Prav zaradi tega so tako močno razvite metode preskušanja ter ugotavljanje lastnosti kovinskih materialov pred vstopom v sam proces.

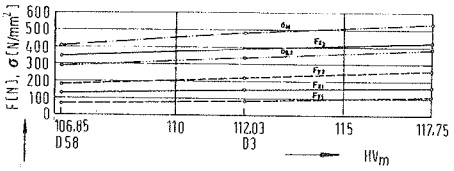
Ugotavljamo, da so mehanske lastnosti materiala - predvsem trdnost in trdota - pomembni vstopni podatek v obdelovalni proces še posebno če material obdelujemo z odrezavanjem.

---

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

Mag. Dragica Noe, dipl.ing., višji pred., Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Rezultati dosedanjih raziskav kažejo dovolj nazorno, da se n.pr. rezalne sile, ki jih zasledujemo v procesu obdelave večajo linearno v odvisnosti od mehanskih lastnosti kakor so natezna trdnost, meja plastičnosti in mikrotrdota (sl. 1) /1/.



Sl. 1: Potek rezalnih sil in natezne trdnosti v odvisnosti od mikrotrdote

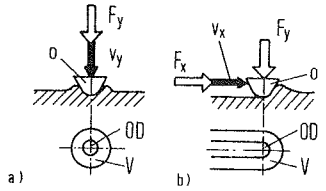
Kovinski materiali so nehomogeni, velikosti kristalnih zrn in druge nepopolnosti so porazdeljene naključno. To povzroča, da se tudi mehanske lastnosti po materialu spreminjajo naključno ter da lahko mehanske lastnosti obravnavamo kot naključni pojav. Naključno nehomogeni material povzroča tudi naključnostni značaj rezalnih sil. Dosedanje raziskave in ugotovitve nakazujejo možnost, da uporabimo lahko za popis porazdelitve mehanskih lastnosti po materialu statistično analizo.

Zaradi znanih korelacij med trdnostjo in trdoto služi lahko za popis lastnosti kovinskih materialov potek trdote po materialu. Postopek ugotavljanja poteka trdote in s tem tudi ostalih mehanskih lastnosti materiala naj bo enostaven, hiter in dovolj zanesljiv. Le tako lahko uporabimo izmerjene vrednosti za nadaljno matematično obdelavo. V ta namen smo razvili postopek zveznega ugotavljanja trdote oziroma postopek razenja.

2. POSTOPKI UGOTAVLJANJA TRDOTE

Pri identifikaciji kovinskih materialov s pomočjo trdote sta znani dve metodi: konvencionalno ugotavljanje trdote po materialu, kjer potiskamo preskusno telo pravokotno v površino preskušanca, preskusna mesta pa so usmerjena glede na zahteve preskušanja ter zvezno merjenje trdote ali razenje.

Spremembe trdote in drugih mehanskih lastnosti v materialu so dimenzijsko omejene na nekaj μm, zato so temu prilagojene tudi metode merjenja trdote. Potek mikrotrdote ali trdote izmerjene z majhnimi obremenitvami, daje osnovo za identifikacijo kovinskih materialov na osnovi impulznih procesov. Ker je merjenje mikrotrdote odvisno od spretnosti, znanja in stopnje utrujenosti delavca so nova iskanja usmerjena bolj k avtomatizaciji merilnih postopkov kakor tudi k avtomatizaciji vrednotenja meritev. Rezultat teh iskanj je tudi zvezno ugotavljanje trdote (sl. 2b).



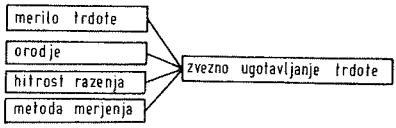
O - orodje
v_x - hitrost v smeri gibanja
F_x - sila v smeri podajanja
F_y - sila pravokotno na površino preskušanja
v_y - hitrost gibanja orodja pravokotno na površino preskušanca
V - val - izrinjen material

Sl. 3: Način vdiranja
a - pravokotno
b - vzporedno s površino preskušanja /5/

Najnovejša dognanja na tem področju kažejo zanimive rezultate preskušanja, ki jih je mogoče primerjati s konvencionalnimi postopki /4, 5, 3/. Kot merilo trdote lahko služi globina raze oziroma sledi orodja ali sprememba sile F_y v smeri, ki je pravokotna na površino preskušnaja (sl. 2b). Oba načina razenja oziroma zveznega ugotavljanja trdote je mogoče avtomatizirati tako, da se uporabijo znane eksperimentalne metode - induktivno merjenje globine ter merjenje sile s piezoelektričnim dinamometrom.
Med vtiskavanjem orodja v površino preskušanca prehajajo elastične deformacije v plastične. Efektivna napetost (σ_{ef}) v materialu, v področju plastičnih deformacij je tista napetost, s katero označimo kot preoblikovalno trdnost materialov (k_f), ki je pomembna karakteristika kovin in je osnova za določitev preoblikovalne sile ter deformacijskega dela za vse vrste preoblikovalnih postopkov.

Med trdoto in deformacijsko trdnostjo obstajajo znane povezave /6/, zaradi tega lahko služi trdota tudi za določevanje mehanskih lastnosti kovinskih materialov. Pri tem moramo poudariti možnost uporabe zveznega ugotavljanja trdote kot osnove za identifikacijo kovinskih materialov.

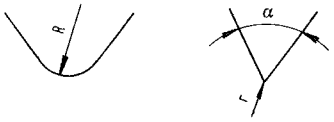
Pri snovanju in realizaciji zveznega ugotavljanja trdote pa moramo upoštevati vrsto činiteljev, ki bistveno vplivajo na izvedbo in zanesljivost oziroma ponovljivost preskusov (sl. 3).



Sl. 3: Parametri zveznega ugotavljanja trdote

S spremembo činiteljev in s pomočjo sistematične analize smo dobili uporabne rešitve ter podatke o lastnostih materialov.

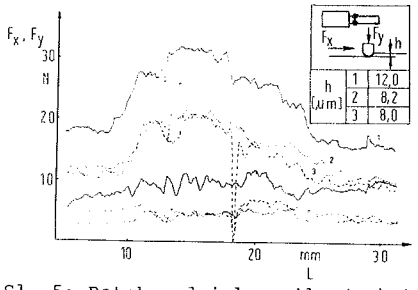
Prikazene rezultate zveznega ugotavljanja trdote smo dobili pri razenju ob konstantni globini raze. Kot merilo je služila sprememba sile F_y (sl. 2b). Orodje, ki smo ga uporabili pri merjenju ima obliko dvojnega stožca (sl. 4) s kotom konice telesa za razenje $\alpha = 92^{\circ}$ in R = 0,75 mm. Podajalna hitrost v_x (sl. 2) je bila v območju od 0,5 - 2,0 mm/s. Spremembe sile F_x in F_y smo merili z dinamometrom.



Sl. 4: Orodje pri zveznem ugotavljanju trdote

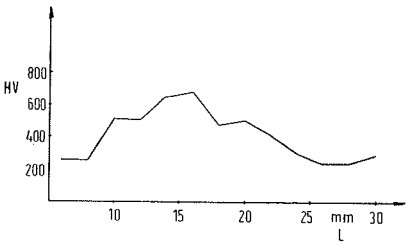
3. POTEK PODAJALNE (F_x) IN ODRIVNE SILE (F_y)

Obe sili, ki nastopata pri razenju in sta posledica upiranja materiala vdiranju tujega telesa v njegovo površino sta podani v odvisnosti od poti orodja ter globine razenja .



Sl. 5: Potek podajalne sile (F_x) in odrivne sile (F_y) za zvarjenec pri različnih globinah razenja

Iz slike 6 je razviden potek obeh sil (F_x in F_y) na posebnem preskušancu - zvarjencu iz dveh različnih jekel (Č. 4721 in Č. 4570). Pri preskušancu smo uporabili postopek varjenja z elektronskim snopom.

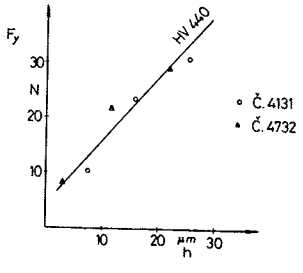


Sl. 6: Potek trdote HV za zvarjenec

4. RAZMERJE MED F_y in HV TER F_y IN h

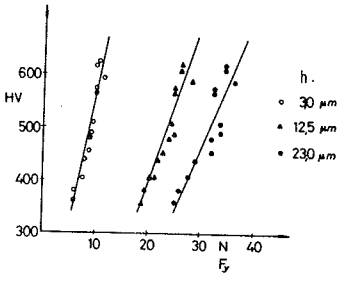
Za potrditev ustreznosti zveznega ugotavljanja poteka trdote na osnovi izbrane metode je potrebno podati tudi primerjavo med zveznim merjenjem ter konvencionalnimi postopki ugotavljanja trdote.

Pri tem lahko ugotovimo, da je odrivna sila linearno odvisna od globine razenja h, kar je lepo razvidno iz slike 7.



Sl. 7: Razmerje med globino razenja h in podajalno silo F_y

Linearno odvisnost dobimo tudi pri meritvah HV- F_y pri različnih globinah razenja (h).



Sl. 8: Odvisnost podajalne sile F_y od trdote HV (500 cN), Č.4732

5. SKLEPI

Trdoto kovinskih materialov, ki smo jo izmerili z metodo zveznega ugotavljanja trdote lahko primerjamo s konvencionalnimi postopki. Z uporabljeno metodo dobro popišemo spremembe v materialu, izhodni signal v merilni verigi pa je primeren za nadaljno matematično obdelavo. V nasprotju z drugimi avtorji /3, 4, 5/ so meritve potekale ob konstantni globini raze (h), kot merilo za lastnost materiala (potek trdote HV) pa je služila odrivna sila F_y.

Iz dosedanjih raziskav vpliva mehanskih lastnosti na identifikacijo rezalnega procesa pa lahko posnamemo naslednje:

- z ugotavljanjem poteka trdote in mikrotrdote smo dobili značilen podatek s katerim se da zanesljivo popisati lastnosti kovinskega materiala;
- s korelacijsko in spektralno analizo je mogoče zaznati spremembe v materialu;
- mehanske lastnosti materiala (natezna trdnost in trdota) vplivajo sorazmerno na rezalne sile;
- rezultati preskusov zveznega ugotavljanja trdote kažejo, da le-ti lahko služijo za statistično analizo popisa lastnosti materiala /7/;
- tudi postopek zveznega ugotavljanja trdote s konstantno globino (h) kaže, da je dovolj zanesljiv in da lahko služi kot merilo za trdoto odrivna sila F_y.

6. LITERATURA

/1/ Leskovar, P.: Analiza lastnosti materiala in njihovi vplivi na sile rezalnega procesa, Strojniški vestnik 1975/3-4, str. 49 - 54.

/2/ Murzevski, J.: Elastic-Plastic Stochastically Nonhomegeneus Bodies, Proc. 9 th Int. Congr. Appl. Mechanics, Brussels 1957, pp. 479 - 489.

/3/ Theimert, P-H.: Kontinuierliche Härteprüfung, Werkstatt und Betrieb 110 (1977) 11, S. 779 - 781.

/4/ Theimert, P.-H.: Kontinuierliche Härteprüfung, Diss.TH Darmstadt, 1976.

/5/ Stöferle, Th., P.-H.Theimert: Continuous Hardness Testing, Annals of the C.I.R.P., Vol. 24/I/, 1975, S. 371 - 374

/6/ VDI 3170.

/7/ Noe, D.: Identifikacija kovinskih materialov. Magisterij 1980.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Predrag Pejčić

ODREDJIVANJE OBRADLJIVOSTI ČELIKA Č 4732 NA STRUGU

R e z i m e

U ovom radu, eksperimentalnim putem odredjena je obradljivost čelika Č 4732 na strugu. Za eksponent x, u proširenoj funkciji Tejlora dobijena je negativna vrednost i pokušano je da se objasni ovaj rezultat. Za planiranje eksperimenta korišćen je trofakturni ortogonalni plan.

Č 4732 STEEL MACHINABILITY DETERMINATION - MACHINING BY MEANS OF LATHE

S u m m a r y

The machinability of Č 4732 steel by means of lathe has been determined experimentally and worked out in this study.For the exponent x , in Taylor's relation , a negative value was obtained. It has been tried for the result to be given an explanation. The plan of the experiment was made using a modern mathematical method.

1. Uvod

Uopšte posmatrano, obradljivost materijala pri rezanju je funkcija skupnih faktora ustvari, četiri osnovna faktora: postojanosti alata, otpora rezaja, kvaliteta obrade i vrste strugotine. Neka univerzalna funkcija za opis svih faktora ne postoji, medjutim za neki odredjeni skup svih uslova rezanja i nije neophodno s obzirom da razne vrste rezanja i zahteve pri rezanju odredjuju značaj faktora pa i funkciju koja opisuje taj proces.

U procesu proizvodnje, pri ostvarivanju optimalnih uslova rezanja utiču tri skupa faktora - sredstva za proizvodnju, radni predmet i sklop organizacijsko tehničkih mera (uključujući i ljudski rad). S obzirom na ovo za opis procesa rezanja, u nekim konkretnim uslovima mogu se koristiti neke odredjene zavisnosti.

Predrag Pejčić, dipl.inž., Odeljenje za razvoj tehnologije SOUR Mašinska industrija "Niš" - Niš.

2. Planiranje eksperimenta

Cilj ovog rada, je da se odredi zavisnost parametara rezanja na strugu za konkretni materijal i odredjene uslove. Za odredjivanje ove zavisnosti postoje više načina - ovde je uzet kriterijum postojanosti alata.

Pošlo se od poznate Tejlorove (Taylor) funkcije zavisnosti brzine rezanja, v od postojanosti alata, T koraka noža, s i dubine rezanja, t:

$$v = v\ (T,\ s,\ t)$$

Proširen ovaj obrazac po Valiksu (Wallchs) ima oblik $v = Cv/T^m\ s^y\ t^x$, koji je i korišćen u ovom radu. Pri čemu mora biti usvojena širina poja sa habanja na leđnoj površini alata h jer je ona osnovni kriterijum postojanosti.

Krajnji cilj, je odrediti brojne vrednosti koeficijenta Cv i eksponenata m, x i y. Za odredjivanje ovih vrednosti, korišćen je trofaktorni potpuni ortogonalni plan eksperimenata sa faktorom k=3 i sa prvim sistemom ponavljanja - u centralnoj tački - sa $n_o = 4$. Broj eksperimentalnih tačaka odredjuje faktor k ($N=2^k=2^3=8$).

Parametri modela se mogu izračunati na dva načina. Prvi način je "linearizovanjem" empirijskog modela - empirijski model funkcije postojanosti alata - čime dobijamo model prvog reda:

$$\ln T = \frac{1}{m}\ln Cv - \frac{1}{m}\ln v - \frac{y}{m}\ln s - \frac{x}{m}\ln t, \text{ gde je}$$

$$Y=\ln T,\ X_1=\ln v,\ X_2=\ln s,\ X_3=\ln t,$$

$$b_o = \frac{1}{m}\ln Cv,\ b_1 = -\frac{1}{m},\ b_2 = -\frac{y}{m}, b_3 = -\frac{x}{m},$$

Te "linearizovana" proširena funkcija Tejlora dobija oblik:

$$Y = b_o + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3.$$

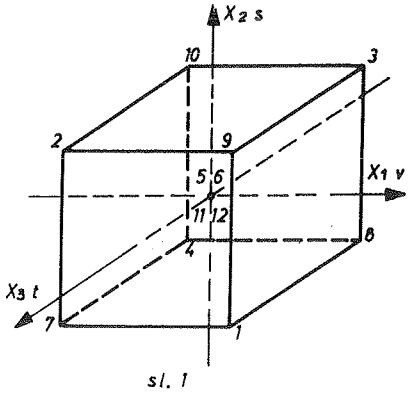
Za rešavanje jednačina odredjen je nivo faktora X_i korišćenjem jednačina transformacija:

$$X_1 = 1 + \frac{2(\ln v - \ln v_{max})}{\ln v_{max} - \ln v_{min}},$$

$$X_2 = 1 + \frac{2(\ln s - \ln s_{max})}{\ln s_{max} - \ln s_{min}},$$

$$X_3 = 1 + \frac{2(\ln t - \ln t_{max})}{\ln t_{max} - \ln t_{min}}.$$

Medjutim, za pojednostavljenje procesa kotiranja korišćen je tetraedar na sl. 1.



sl. 1

Parametri modela izračunavaju se iz obrasca:

$$b_i = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} Y_u,\ i=1,2,\ldots,$$

$$N = 2^k = 8,\ \text{i}\ b_o = \frac{1}{N+n_o}\sum_{u=1}^{N+n_o} Y_u.$$

Drugi način izračunavanja parametara modela je matričnim računom, iz poznate zavisnosti: $B=(X'X)^{-1}X'Y$.

X i Y su matrice dobijene iz tetraedra ili kodiranjem iz jednačina za X_i, prikazane u tabeli.

3. Uslovi eksperimenta

Za izvodjenje eksperimenta korišćen je strug TMP 16oA, Prvomajska sa minimalnim brojem obrtaja od 36 °/min i maksimalnim 15oo °/min, minimalnih

korakom o,o75 mm/^{o}, maksimalnim o,95 mm/^{o} i snagom od 4 KW.

Materijal za koji je tražena obradljivost je Č4732, prethodno obradjen, bez termičke obrade.

Alat, koji je vršena obrada je rezna pločica sa mehaničkim pričvršćivanjem, neoslojena tipa SNMG 12412, kvaliteta P25 i zaobljenja vrha 1,2 strane proizvodnje.

Kriterijum habanja, usvojen je h=o,6 mm. Eksperiment je izveden u uslovima malog preseka strugotine i visokih brzina.

4. Matematička obrada rezultata

Plan eksperimenta sa plan-matricom i osnovnim nivoom, maksimalnim i minimalnim vrednostima parametara rezanja i rezultatima eksperimenta, posle odredjivanja eksperimentalnih krivih habanja h=f(T) dato je u tabeli. Vrednosti parametara modela dobijaju se iz navedenih zavisnosti:

b_o=3,14; b_1=-o,484; b_2=-o,26; b_3=o,476.

Vrednosti X_i, (i=1,2,3) dobijaju se iz navedenih jednačina transformacija:

X_1=2,9olnv-15; X_2=1,ol lns+1,43;

X_3=1,24lnt+o,49.

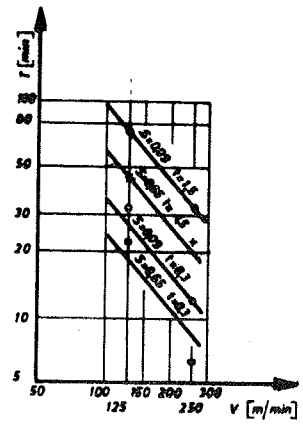
Unošenjem ovih, izračunatih vrednosti u "linearizovanu" proširenu funkciju Tejlora, dobija se

$$T = \frac{e^{1o,26}}{v^{1,4}\, s^{o,265}\, t^{-o,59}}, \text{ ili}$$

$$V = \frac{e^{7,33}}{T^{o,72}\, s^{o,19}\, t^{-o,42}}.$$

Na osnovu rezultata eksperimenta, dobijen je i dijagram T,v prikazan na slici 2.

Br. eksperimenta	KOD X_0	X_1	X_2	X_3	T [min]	ln T
1	1	1	-1	1	33,0	3,50
2	1	-1	1	1	45,8	3,82
3	1	1	1	-1	6,1	1,81
4	1	-1	-1	-1	33,6	3,52
5	1	0	0	0	27,2	3,30
6	1	0	0	0	11,6	2,45
7	1	-1	-1	1	75,0	4,32
8	1	1	-1	-1	12,0	2,49
9	1	1	1	1	20,9	3,04
10	1	-1	1	-1	21,0	3,05
11	1	0	0	0	23,6	3,16
12	1	0	0	0	24,0	3,18
.	b_o	b_1	b_2	b_3		
osnovni nivo		188	0,37	0,9		
gornji nivo		250	0,65	1,5		
donji nivo		125	0,09	0,3		



sl. 2

5. Zaključak

Posle izvršene disperzione analize, dolazi se do zaključka da rezultati eksperimenta zadovoljavaju, sa svojim brojnim vrednostima. Pri obradi na strugu u uslovima malih preseka strugotine, dobijena je druga vrednost, za eksponent u proširenom obrascu. To znači, da se povećanjem dubine rezanja povećava i postojanost rezne pločice. Daljim ispitivanjem, određena je granica ove zavisnosti. Ovo može da se objasni delovanjem "SIZ EFFECT"-a. Odnosno, prema teoriji dislokacije u manjoj zapremini postoji manji broj grešaka u rešetki materijala, usled čega je materijal u tom delu kompaktniji i jači.

Literatura

1. J. Stanić, Metod inženjerskih merenja, Mašinski fakultet Beograd, 1977.

2. Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala tvrdim domaćim alatima, Institut IMM, Beograd.

3. Režimi rezanje, Priručnik Instituta IMM.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Janez Kopač*

TEŽAVNOST OBDELAVE OBRABNO ODPORNIH AVSTENITNIH JEKEL - 12 MN

R e z i m e

Material Č.3160 je manganovo avstenitno jeklo, ki je odporno proti obrabi. Njegova odpornost se še poveča zaradi utrjevanja v hladnem kot so udarci, oziroma v primeru obdelave z odrezavanjem zaradi sil rezanja.

Pri obdelavi jekla 12 Mn z vrtanjem je porast mikrotrdote v coni rezanja izredno velik, kar vpliva na obstojnost svedrov. Izbira primernega orodja je izredno težavna, poleg tega pa so ustrezni delovni pogoji v zelo omejenem območju.

PROBLEMS AT MACHINING OF WEAR RESISTANT AUSTENITIC MANGANESE STEELS - 12 MN

S u m m a r y

Material Č.3160 is an manganese austenitic (Hadfield) wear resistant steel. Its resistance can be furhter increased by strain hardening by cold work or in consiedering cutting forces.

Machining of steel 12 Mn by drilling increases extremen the microhardness in the cutting zone affecting tool life. The right selection of tool is a difficult task, and besides this, the corresponding machining conditions are very restrained.

1. UVOD

Avstenitna Mn-jekla dobro prenašajo natezne obremenitve ter so izredno odporna proti obrabi. Odpornost proti obrabi se veča z večanjem trdote. Trdota pa se veča zaradi plastične deformacije, pri kateri se pojavlja martenzit. Mn jekla so korozijsko neodporna. Največ se uporabljajo v pogojih kjer prihaja do abrazivne obrabe in udarjanja /1/.

Jeklo je nemagnetično in ima visoko razteznost. Zaradi nateznih obremenitev prihaja do deformacijskega utrjevanja. V temperaturnem območju med 500 - 650°C se tem jeklom močno poveča obdelovalnost zaradi povečane krhkosti in zmanjša razteznost ter natezna trdnost /2/.

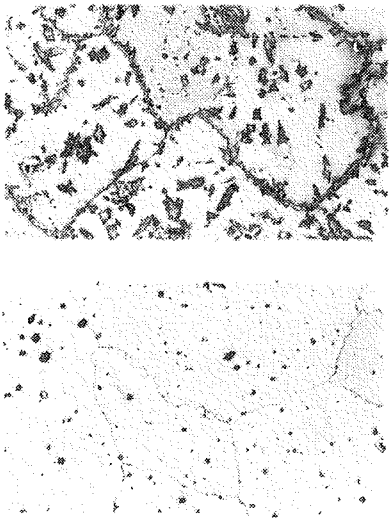
Omenjene lastnosti jekla 12 Mn nam kažejo več smernic po katerih naj se lotimo raziskav za učinkovito odrezavanje.

2. METALOGRAFSKI PODATKI O JEKLU 12 Mn

Jeklo 12 Mn ima oznako po JUS standardih Č.3160. Vsebuje 1,2 % C; 12 % Mn; 0,35 % Si; 0,09 % Cr; 0,05 % Al ostalo je Fe. Žilavost dosežemo z avstenitizacijo, ki traja toliko časa, da se razstopi ves ogljik. Postopek traja 20 - 30 min pri 1050°C, nato pa sledi gašenje v vodi /3/.

* mag. Janez Kopač, dipl.ing., Fakulteta za strojništvo, 61000 Ljubljana, Murnikova 2

V litem nedeformiranem stanju ima jeklo trdnost 415 - 480 N/mm^2, trdoto pa okoli 200 HB. Jeklo je zelo žilavoin znaša podaljšek ob zlomu 1%, Natezna trdnost jekla znaša 800 N/mm^2 in ima 30 % raztezek. Na sliki 1 je prikazana struktura negašenega in gašenega obdelovanca.



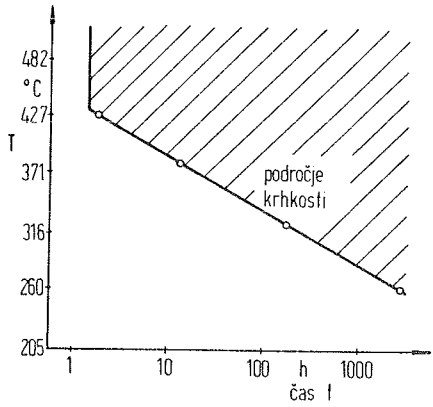
Slika 1: Struktura negašenega in gašenega jekla Č.3160

Natezna trdnost in razsteznost sta pogojeni s sestavo, toplotno obdelavo in velikostjo zrn. Bolj kot so primerki finozrnati večji sta njihova žilavost in razteznost. Razlika lahko znaša celo do 30 %. Zlitine so žilave tudi pri temperaturah pod 0°C. Področje krhkosti materiala na katerega vpliva temperatura in čas držanja pri določeni temperaturi je prikazano na sliki 2.

3. OBDELOVALNOST IN UTRJEVANJE JEKLA 12 Mn

V velikosti utrditve presežejo Mn avstenitna jekla celo avstenitna nerjavna jekla. Maksimalna izmera trdote znaša 550 HB. Da se doseže kritična utrditev, se mora vložiti delo W = 1867 MJ na površino 1 m^2.

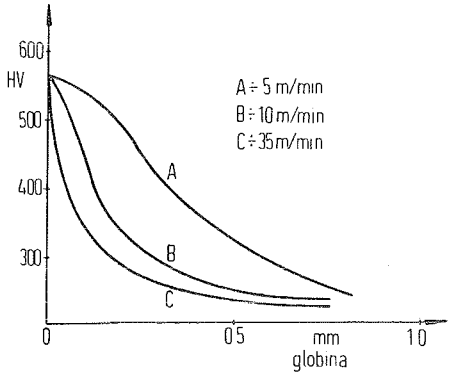
Pri raziskavah struženja manganovih jekel je P. K. Wright /2/ ugotovil, da se utrditev pojavi z nastajanjem odrezka in se nadaljuje na obdelano površino. To podpovršinsko utrjevanje je vidno zaradi deformacijskih linij, ki se formirajo na še ne obdelanih zrnih, ki pa so že podvrže-



Slika 2: Vpliv temperature na krhkost jekla Č.3160

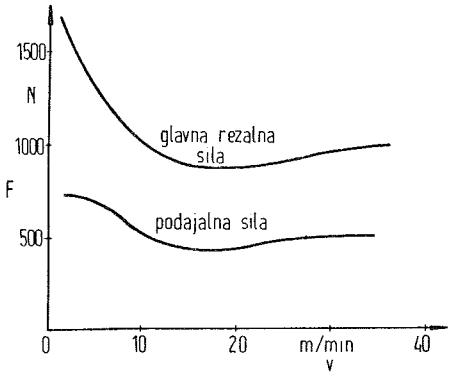
na stiskanju. Te karakteristične deformacijske linije je povzročila napaka v kubično ploskovno centrirani (FCC) rešetki.

Raziskave mikrotrdote, ki so bile narejene na preizkušancih s trenutno prekinitvijo reza so pokazale, da se pri podajanju s = 0,2 mm/vrtljaj material utrjuje podpovršinsko za 4-kratno razdaljo podajanja pred orodjem. Na sliki 3 je prikazan vpliv rezalne hitrosti na utrditev materiala. Podpovršinsko utrjevanje je mnogo večje pri majhnih rezalnih hitrostih.



Slika 3: Vpliv spremembe rezalne hitrosti na utrjevanje jekla Č.3160

Vpliv rezalne hitrosti je tudi opazen pri silah rezanja. Majhna rezalna hitrost je vzrok za velike rezalne sile, ko pa hitrost povečamo na 20 m/min sile znatno padajo. Pri večjih hitrostih sila ne narašča zaradi naraščanja temperature, ki se pojavi okoli rezalnega robu zaradi dela v primarni strižni coni in zaradi začetne stopnje deformacije v sekundarni strižni coni. Na sliki 4 je prikazan vpliv rezalne hitrosti na spremembo sile.

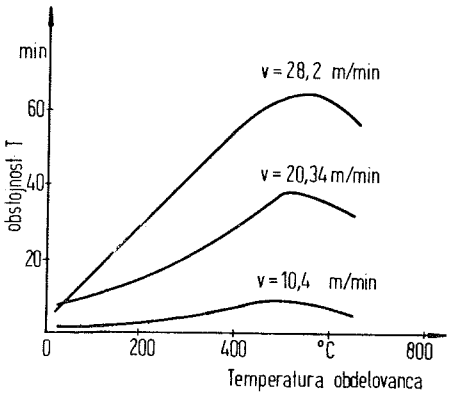


Slika 4: Vpliv rezalne hitrosti na velikost glavne in podajalne sile pri obdelavi jekla Č.3160

Na sliki 5 pa je prikazan vpliv povečane temperature na zboljšanje obdelovalnosti jekla 12 Mn oziroma obstojnosti orodja /3/. Glavna rezalna sila se zmanjša od 20 - 50 %, v primeru, da obdelovanec predgrejemo na 650°C. Vzrok temu je, da se pri tej temperaturi zmanjša žilavost in naraste trdota celo od 200 na 400 HB.

4. PRAKTIČNI IZSLEDKI PRI VRTANJU JEKLA Č.3160

Na našem tržišču imamo trenutno na voljo le dve vrsti orodij, ki sta delno primerni za vrtanje izvrtin v jeklo 12 Mn. Specialno legirano hitrorezna orodja HSS.E izdelana po naročilu so v stanju vrtati pri hitrosti 5 m/min in podajanju s = = 0,09 mm/vrt. Kot konice svedra je 135°. Vrtamo brez hlajenja, s tem dosežemo žareč odrezek in lažje prodiranje svedra v material. Vrtanje je potrebno izvesti odločno, brez predhodnega točkanja izvrtine ali ročnega podajanja. V pričetku vrtanja opazimo rahle vibracije sistema, ki pa hitro prenehajo, ker se je material segrel in je rezanje s tem olajšano. Obstojnost orodja se v tem primeru izraža s skupno prevrtano globino in znaša 100 mm oziroma 5 izvrtin globine 20 mm. Nato je potrebno orodje ponovno ostriti.



Slika 5: Vpliv povečane temperature na izboljšanje obdelovalnosti jekla Č.3160

Zato je pomembna temperaturna obstojnost orodja, ki mora biti vsekakor večja od 650°C. Preizkusi so bili izvedeni s svedri v premerih od ø 12 ÷ 25 mm. Odstopanje od navedenih pogojev dela na zagotavlja več dosegania omenjene obstojnosti orodja. Svedri trgovske kvalitete HSS.E prav tako ne zagotavljajo omenjenih uspehov. Priporoča se tudi orodja HSS.Co ki pa jih žal proizvajajo v tujini.

Ob uporabi hlajenja ne dosežemo željenih rezultatov. Pojavijo se občutne vibracije, prav tako pa se konica svedra hitro zaobli in ne reže več.

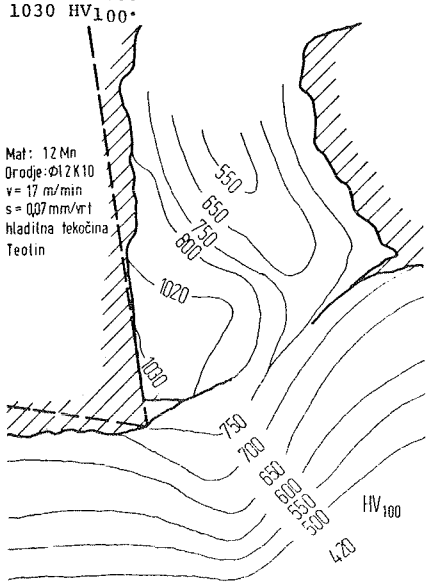
Svedri z lotano karbidno trdino kvalitete K 10 imajo ugodno obstojnost pri rezalni hitrosti: v = 17 m/min in podajanju s = 0,07 mm/vrtljaj. Orodje hladimo s sintetičnim hladilnim sredstvom Teolin, skupna prevrtana globina pa znaša L = 800 mm pred ponovnim brušenjem orodja. Pri uporabi teh svedrov lahko spreminja hitrost rezanja od 15 do 45 m/min podajanje pa od 0,04 do 0,1 mm/vrt, vendar v vseh ostalih kombinacijah dobimo slabšo obstojnost orodja /4/. Zaradi krušenja karbidne trdine je potrebno, da je izstopna površina izvrtine pravokotna na os svedra.

Ob poizkusih vrtanja s svedri z lotano karbidno trdino brez uporabe hlajenja smo večkrat naleteli na problem ko je lot popustil in se je odpadla trdina v izvrtini zdrobila. Priporoča se uporaba bakrenih lotov, ki imajo večjo temperaturno obstojnost.

Predvidevamo, da bi z uporabo karbidnih trdin kvalitete P 20 dosegli pri vrtanju še boljše rezultate, vendar tega orodja trenutno na našem tržišču ni.

5. VZROKI ZA TEŽAVE PRI VRTANJU JEKLA Č.3160

Kot je že omenjeno v prispevku se ob delovanju sile na površino obdelovanca le-ta utrdi. Zato je odrezavanje materiala znatno otežkočeno, povečajo se rezalne sile in obraba orodja. Velikost in globina utrditve materiala je odvisna od pogojev dela pri katerih vrtamo obdelovanec. Za raziskavo področja mikrotrdot v korenu odrezka imamo napravo, ki omogoča hipno prekinitev rezalnega procesa. S tem dobimo realno sliko dogajanj v coni rezanja. Vzorcu, ki ga raziskujemo izmerimo mikrotrdote in na podlagi dobljenih vrednosti izrišemo v odrezku in korenu odrezka krivulje enakih trdot. Iz slike 6 je razvidno, da je osnovna trdota materiala 420 HV_{100}, da pa se obdelovanec pri vrtanju utrdi od 700 - - 750 HV_{100} oziroma odrezek celo do 1030 HV_{100}.



Slika 6: Prikaz utrditve korena odrezka pri vrtanju jekla Č.3160

Obdelana površina se utrdi do globine 60 µm, zato je pomembno, da se izogibamo podajalnim hitrostim manjšim od 0,06 mm/vrt. S tem režemo v material, ki ni utrjen.

6. SKLEPNE UGOTOVITVE

Kot je razvidno je mogoče tudi jeklo Č.3160 z uspehom obdelovati z odrezavanjem, kljub temu, da so do sedaj veljala priporočila naj se ga le preoblikuje.

Z uporabo HSS.E in HSS.Co orodij že uspemo vrtati jeklo 12 Mn, z uporabo lotane karbidne trdine pa dosegamo boljšo časovno izkoriščenost obdelovalnega postopka. V teku so meritve temperatur ter sil in momentov, ki nam bodo osnova za še bolj strokoven pristop k iskanju najboljših postopkov obdelav z odrezavanjem.

7. LITERATURA

/1/ Ho-ward S. Avery: Austenitic manganese Steel

/2/ P.K. Wright: The Machining of Stainless Steels and Manganese Steel - University of Auckland, New Zeland

/3/ P.D. Smith: The hot machining of Austenitic Manganese Steel - - University of Auckland, New Zeland

/4/ Obdelovalnost Mn-jekel pri vrtanju; interni zapisi Fakultete za strojništvo, marec 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Mirko Soković, Zoran Seljak*

KVALITETA OBDELANE POVRŠINE PRI GLADILNEM FREZANJU KALJENIH ORODNIH JEKEL

R e z i m e

V prispevku so prikazani rezultati raziskav gladilnega frezanja kaljenih in poboljšanih plošč iz orodnih jekel, ki se uporabljajo v proizvodnji industrijskih nožev. Poseben poudarek je na kvaliteti in stanju obdelane površine ter plasti neposredno pod površino obdelovanca. Podana je tudi primerjava med brušeno in gladilno frezano površino ter ustreznimi spremembami v površinski plasti.

QUALITY OF MACHINED SURFACE AT FINISH MILLING OF HARDENED TOOL STEELS

S u m m a r y

The paper reports on the efforts and results of the investigation studying finish milling of hardened and improved plates from tool steels that are used for the production of different industrial knives. A special emphasis was laid on the quality and state of the machined surface and of the layer directly under the workpiece surface. A comparison is also given between the ground and fine milled surface and the corresponding changes in the surface layer.

1. UVOD

Posebno skupino kvalitetnih legiranih jekel tvorijo orodna jekla. Uporabljamo jih za izdelavo različnih orodij za delo v hladnem (industrijski noži, valji za hladno valjanje pločevine, štance) in za delo v toplem (utopi za utopno kovanje). V obeh primerih igra pomembno vlogo pri izdelavi orodij obdelava ter z njo dosežena kvaliteta obdelane površine. Kvaliteto površine, pri kateri je maksimalna hrapavost manjša od 8 μm, danes v normalnih pogojih dosežemo z brušenjem ali sorodnimi postopki fine obdelave.

Gladilno frezanje s keramičnimi rezalnimi ploščicami, ki so v bistvu posebej za frezanje razvita vrsta rezalne keramike (FH3), predstavlja novo tehnologijo in odpira nove možnosti uporabe. Ta tehnologija omogoča, pri podajanjih mize do 5000 mm/min, doseči s frezanjem kvaliteto površine pod R_{max} = 4 μm. Po podatkih iz literature /4/, področje

* Mirko Soković, dipl.ing., asistent, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Dr.mag. Zoran Seljak, dipl.ing., izr.profesor, Fakulteta za strojništvo, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

uporabe zajema fino frezanje sive litine, cementiranih in poboljšanih jekel, trde litine, kakor tudi kaljenih jekel. V poštev pride obdelava ohišij vretenjakov, vodil obdelovalnih strojev, delovnih miz, standardiziranih plošč tipiziranih preoblikovalnih orodij itd /1, 4/.

Namen naših raziskav je, ugotoviti v kakšni meri bi lahko pri kaljenih in poboljšanih ploščah, iz orodnih jekel, ki se uporabljajo v proizvodnji industrijskih nožev, razmeroma počasno obdelavo z brušenjem ugodno racionalizirali z gladilnim frezanjem z rezalno keramiko.

2. ZASNOVA RAZISKAV

Obsežne raziskave obdelovalnosti pri gladilnem frezanju kaljenih površin /1/, smo zasnovali tako, da lahko primerjamo razmere pri obdelavi posameznih vrst orodnih jekel, ki se razlikujejo po kemični sestavi ter nekaterih mehanskih in fizikalnih lastnostih. V raziskave so bila vključena naslednja jekla: Č.6444, Č.6445, Č.6445.9, Č.4742, Č.4757, za katera so bili podani: kemična analiza, metalografski posnetki ter osnovne fizikalne lastnosti. Vsa ta jekla se uporabljajo v proizvodnji industrijskih nožev.

Vzorci vseh izbranih orodnih jekel so bili toplotno obdelani v običajnih industrijskih pogojih. Trdota po kaljenju in popuščanju se je gibala, odvisno od izbranega režima toplotne obdelave, v območju od 50 ... 60 HRC. Tako široko področje trdot smo si zbrali zato, da bi lažje zasledovali vpliv trdote na obdelovalnost pri gladilnem frezanju kaljenih orodnih plošč.

V okviru raziskav obdelovalnosti smo zasledovali več parametrov ter njihove medsebojne vplive. Merili smo hrapavost obdelane površine, potek obrabe na prosti in cepilni ploskvi, naraščanje hrapavosti z naraščanjem obrabe orodja; merili smo tudi rezalne sile. Rezultati teh raziskav so zbrani v poročilu /1/, en del, ki se nanaša na material Č.6444 pa je bil objavljen v prispevku /2/.

Glede na ugodne rezultate začetnih raziskav obdelovalnosti, smo v nadaljevanju več pozornosti posvetili kvaliteti in stanju obdelane površine. Odločili smo se za poglobljene raziskave površine in plasti tik pod površino. V okviru teh smo zasledovali:

- hrapavost površine,
- porazdelitev mikrotrdote neposredno na sami površini ter spremembo po globini preizkušanca,
- spremembo strukture v površinski plasti pri različnih pogojih obdelave,
- zaostale napetosti v površinski plasti,
- razpoke na površini.

Poleg tega smo opazovali obdelano površino z optičnim mikroskopom, karakteristične površine pa posneli z rasterskim elektronskim mikroskopom /1, 2/.

3. REZULTATI RAZISKAV OBDELANE POVRŠINE

3.1. Hrapavost površine

Osnovna geometrična lastnost vseh površin v strojništvu je vsekakor hrapavost površine. Zato smo ji v okviru naših raziskav posvetili precejšnjo pozornost.

Na podlagi dobljenih rezultatov, meritev hrapavosti obdelane površine na celotni populaciji preizkušanih orodnih jekel, lahko ugotovimo, da z gladilnim frezanjem dosegamo zelo kvalitetne površine. Srednja aritmetična hrapavost R_a, ki jo dobimo pri obdelavi z ostrim orodjem, se giblje v mejah od 0,3 ... 0,15 μm, kar ustreza kvalitetnemu razredu N4, oziroma finem brušenju.

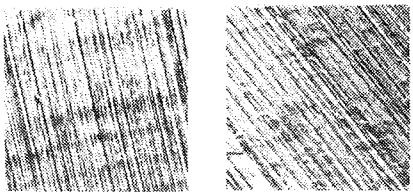
Na sliki 1 sta, za primerjavo dosežene kvalitetne obdelane površine, podana posnetka gladilno frezane (A) in brušene površine (B). V obeh primerih gre za obdelavo istega noža iz jekla Č.4850 trdote 58 HRC. Oba posnetka sta bila narejena z elektronskim rasterskim mikroskopom pri 300x povečavi.

3.2. Sprememba mikrotrdote (porazdelitev mikrotrdote)

Mikrotrdota predstavlja, poleg hrapavosti, drugo osnovno merljivo karakteristiko površine materiala. V naših poizkusih smo vzporedno raziskovali vpliv gladilnega rezanja in brušenja na porazdelitev mikrotrdote na obdelani površini preizkušanca ter na spremembo mikrotrdote v določeni plasti pod površino.
Omenili bi, da ima funkcijo normalne porazdelitve mikrotrdote v našem primeru naslednjo obliko:

$$f(HV_m) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{HV_m - \overline{HV_m}}{\sigma}\right)^2}$$

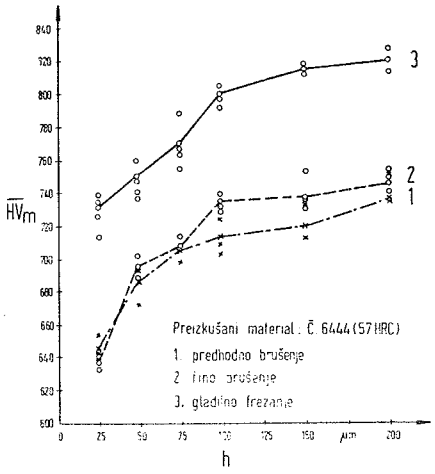
Naše raziskave se niso omejile le na obdelano površino. Raziskovali smo tudi vpliv gladilnega frezanja in brušenja na spremembo mikrotrdote po globini v določeni površinski plasti (do globine 200 μm). Preizkušance iz omenjenih jekel smo na eni strani gladilno frezali, na drugi pa brusili. Brušenje je bilo opravljeno v obratu na istih strojih in pri enakih pogojih, kot pri normalni proizvodnji nožev: najprej predhodno (grobo) brušenje in potem fino brušenje. S tem smo dosegli popolnoma realno kvaliteto površine ter stanje v površinski plasti.



A) R_a = 0,14 μm
v = 280 m/min
s_z = 0,45 mm/z
a = 0,05 mm

B) R_a = 0,12 μm
v_b = 27 m/s
s' = 25 m/min
a = 0,005 mm

Slika 1: Posnetka gladilno frezane in brušene površine jekla Č.4850 (58 HRC)



Slika 2: Primerjalni diagram poteka mikrotrdote v površinski plasti za jeklo Č.6444 (57 HRC)

Rezulatati meritev ter diagrami poteka mikrotrdote v odvisnosti od globine plasti, za različna orodna jekla ter različne postopke obdelave, so podani v literaturi /1/. Za naš prispevek smo izbrali le primerjalni diagram poteka mikrotrdote za jeklo Č.6444 (57 HRC), ki ga kaže slika 2.

Iz diagrama je razviden vpliv, ki ga ima vrsta obdelave na potek mikrotrdote v površinski plasti. Oster režim pri predhodnem (grobem) brušenju povzroča močan padec mikrotrdote v površinski plasti, s tem pa posredno vpliva na stanje in kvaliteto obdelane površine. S tega stališča je gladilno frezanje, kot predhodna obdelava, veliko bolj ugodno.

3.3. Zaostale napetosti

Zaostale napetosti v površinski plasti vzorcev smo merili z rentgensko metodo. Z rentgenskim difraktometrom določamo zaostale napetosti tako, da jih izračunamo iz izmerjenih sprememb razdalj d med zaporednimi mrežnimi ravninami kristalnih zrn. Pri tem uporabljamo enačbe elastomehanike.

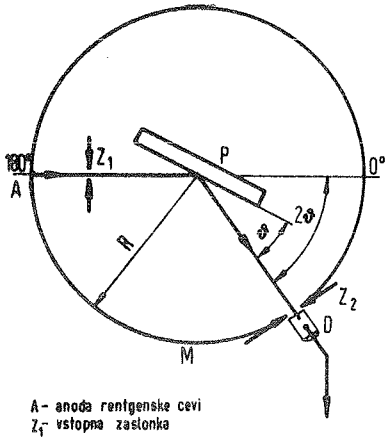
Pri notranjih napetostih reda velikosti 10 N/mm^2 se razdalje med mrežnimi ravninami spremene glede na stanje brez napetosti le za kakšno desetinko promila, zato je treba opraviti uklonske meritve pri velikih Bragg-ovih kotih 2ϑ (blizu 180°), da dobimo zadovoljivo občutljivost.

Princip merjenja je prikazan na sliki 3.

Pri meritvah zaostalih napetosti smo uporabljali rentgensko cev z anodo iz bakra v kombinaciji z grafitnim monokromatorjem. Upoštevali smo uklonsko črto α (222), ki nastopa pri Bragg-ovem kotu $2\vartheta \doteq 137°$. Globina merjenja je omejena na 15 μm.

Meritve smo izvedli na vzorcih različnih orodnih jekel. Po dve plošči posameznih orodnih jekel so bile enako toplotno obdelani. Prvo smo gladilno frezali, drugo pa brusili; na eni strani grobo na drugi fino. Na ta način smo selekcionirali vplive, ki jih imajo vrsta in režim obdelave v industrijski proizvodnji nožev, na potek in velikost zaostalih napetosti v površinski plasti.

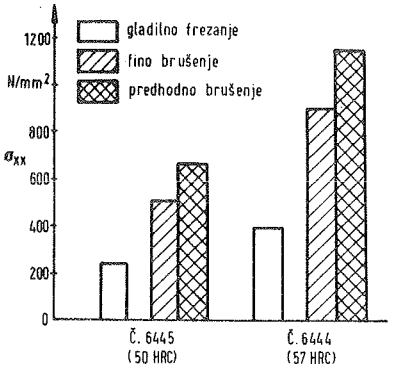
Zbrani rezultati meritev zaostalih napetosti za posamezna orodna jekla ter ustrezna analiza, bodo podani v posebnem poročilu. Na tem mestu bi samo za primerjavo podali rezultate



A - anoda rentgenske cevi
Z_1 - vstopna zaslonka
Z_2 - detektorska zaslonka
P - preizkušanec
R - polmer merilnega kroga
M - merilni krog
Φ - Braggov kot
D - detektor

Slika 3: Pot curka rentgenske svetlobe pri uklonu na polikristalnem vzorcu /3/

za jekli Č.6444 in Č.6445 (slika 4). Obe jekli spadata v skupino W-Cr-Si jekel, sta bili kaljeni in popuščani na različno trdoto, ter nato enako mehansko obdelani: gladilno frezani, grobo in fino brušeni.



Slika 4: Vpliv vrste in režima obdelave na velikost zaostalih napetosti

Iz diagrama je razvidno, da poleg mehanske obdelave tudi predhodna toplotna obdelava ima močan vpliv na velikost zaostalih napetosti v površinski plasti, s tem pa neposredno na integriteto obdelane površine.

Pri večjih dodatkih za končno obdelavo (brušenje velikih toplotno obdelanih obdelovancev), običajno večji del dodatka grobo brusimo in na koncu še fino prebrusimo. Posledica takšnega dela so precejšnje zaostale napetosti, ki imajo lahko negativne posledice pri kasnejšem obratovanju posameznih detajlov. Bistveno ugodnejšo situacijo bi dobili, če bi namesto grobega brušenja obdelovance gladilno frezali, nato pa samo fino prebrusili na zahtevano kvaliteto obdelane površine.

4. SKLEPI

Prikazani rezultati predstavljajo le del obsežnih raziskav kvalitete obdelane površine pri gladilnem frezanju kaljenih orodnih jekel, ki smo jih opravili na naši fakulteti v sodelovanju z Železarno Ravne. Rezultati raziskav kažejo na to, da je mogoče s postopkom gladilnega frezanja, z enozobo frezalno glavo /1, 4/, doseči pri obdelavi kaljenih orodnih jekel izredno kvalitetno obdelane površine. Srednje odstopanje profila obdelane površine pri kriteriju VB VB = 0,4 mm ne preseže vrednosti R_a = 0,3 μm, kar je na nivoju srednje finega brušenja.

Poleg zadovoljive hrapavosti obdelane površine, nam da gladilno frezanje bolj ugodno porazdelitev mikrotrdote, kakor tudi občutno manjše zaostale napetosti v površinski plasti. Vse to kaže na dejstvo, da s postopkom gladilnega frezanja kaljenih orodnih jekel dosegamo visok nivo stanja in kvalitete obdelane površine.

Na podlagi podanih ugotovitev sklepamo, da bi v večini primerov razmeroma počasno obdelavo z brušenjem lahko ugodno racionalizirali z gladilnim frezanjem z rezalno keramiko.

5. LITERATURA

/1/ Skupina avtorjev: Raziskave obdelovalnosti pri frezanju kaljenih površin, FS Ljubljana,int. poročilo za Železarno Ravne, 1981.

/2/ Seljak,Z.; Soković, M.: FINISH MACHINING OF IMPROVED AND HARDENED STEELS BY MILLING, VI. International Conference on Production Research, Novi Sad, 1981.

/3/ Grešovnik,F: Meritve z rentgenskim difraktometrom, int. poročilo za Železarno Ravne, 1982.

/4/ Feldmühle SPK-Werkzeuge für Feinstfräsen mit dem SPK-Einzahn Fräser, Feldmühle AG Plochingen.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Živoslav Adamović*
Miroljub Tomić
Momčilo Dragović

PRILOG IZUČAVANJU TROŠKOVA OBRADE PRI OPTIMALNIM REŽIMIMA REZANJA

R e z i m e

Cilj eksperimenta je da se na konkretnom primeru uzdužne obrade komada, prikazom modela unutrašnje optimizacije uzimajući za funkciju cilja-kriterijalnu funkciju troškove obrade, ustanovi nivo i procentualno učešće pojedinih komponentnih troškova u ukupnim troškovima obrade. Prikazani matematički model optamizacije ima široke mogućnosti aplikacije i primene, i može se razviti primenom računara.

A CONTRIBUTION TO STUDYING THE PROCESSING COSTS AT THE OPTIMAL ORDER OF CUTTING

S u m m a r y

The target of the experiment is to adopt the level and proportionate part of some component cost at the total processing costs. This target can be achieved by using the concerte example of vertical processing and, by presenting the model of internal optimisation, using the target function - criterion function of the processing costs. Matematics optimisation model that is presented, has a wide possibility of application. This model can derelop by using computer.

1. U v o d

Projektovanje i razvoj tehnoloških procesa treba da obezbedi visok nivo njihovih kvaliteta. Stoga svi obradni sistemi u procesima obrade metala rezanjem zahtevaju racionalizaciju projektovanja tehnoloških procesa uz istovremenu tehnoekonom-

* Mr.Živoslav Adamović,dipl.ing. MKS Smederevo, Smederevo
Srpskih sovjeta 2/35

Mr.Miroljub Tomić,dipl.ing. MKS Smederevo, Smederevo
Karađorđeva 39/24

Momčilo Dragović,dipl.ing. IAMA Beograd, Beograd
27 Marta 80, Beograd

sku optamizaciju. Pojava novih programiranih i adaptivno upravljanih mašina alatki ubrzali su razvoj teorije tehnoekonomske optamizacije, koja postepeno postaje sastavni deo pripreme i operativne realizacije savremenih reprodukcionih procesa u obradnim sistemima.

Optamizacija tehnoloških procesa bazira na pouzdanim zavisnostima koje definišu tok procesa u funkciji pojedinih parametara obrade kao i analizi izbora kriterijalne funkcije, pri čemu se teži obezbedjenju njenog ekstremuma.

Metodologija tehnoekonomske optimizacije obradnih procesa deli se na dve faze:

- spoljašnju ili prethodnu optimizaciju, koja je najvećim delom povezana sa projektovanjem viševarijantne tehnologije i izborom optimalne varijante tehnološkog procesa, te stoga obuhvata optimalni izbor metoda i sredstava realizacije obradnog procesa, i
- unutrašnju ili direktnu optimizaciju koja se direktno odnosi na optimizaciju vektora elemenata i parametara režima rezanja.

Model optimizacije obradnog procesa uglavnom čine četri komponente:

- funkcija stanja procesa,
- granični uslovi-granične funkcije procesa,
- kriterijumi optamizacije, i
- funkcije cilja.

Sistem matematičkih metoda tehnoekonomske optimizacije obuhvata:

- analitičke metode optimizacije,i
- metode adaptivne optimizacije.

Analitički metodi temlje se na modelu koji je poznat ili se može izvesti, jer su potpuno poznate zakonitosti pojave unutar procesa. U ovu grupu, između ostalih, spadaju metod maksimuma kao i metod matematičkog prógramiranja.

Kod grupe metoda adaptivne optimizacije nije poznat model, te se tehnoekonomski optimum posmatranog procesa ovim metodama utvrdjuje putem direktnog eksperimentalnog ispitivanja obradnog procesa u toku njegovog odvijanja.

1.1. Funkcija cilja

U teoriji tehnoekonomske optimizacije obradnih procesa kao funkcije cilja ($\emptyset_c$), prema kojima se uglavnom optimiziraju obradni procesi u obradnim sistemima, mogu se izdvojiti kao glavni kriterijumi optimizacije:

- proizvodni troškovi (Uo),
- ekonomičnost (Ez),
- proizvodnost (Pz),
- rentabilnost (Rz), i
- kvalitet obradnog procesa (Kz).

Dovođenje ovih ključnih proizvodnih tehnoloških pokazatelja u funkcionalnu vezu sa skupom ulaznih parametara dobija se matimatički model optimizacije obradnih procesa, čijim se definisanjem ekstremuma obezbedjuje optimum obradnog procesa.

1.1.1 Proizvodni troškovi kao funkcija cilja

Proces koji se odvija na proizvodnom radnom mestu posmatra se kao vrednosno-ekonomski proces. Proizvodni troškovi operacije obuhvataju tri osnovne grupe troškova:

- troškovi koji se odnose na lične dohotke radnika (R),
- troškovi amortizacije mašine (M),
- troškovi eksploatacije alata (A),

pa se funkcija cilja izražena preko proizvodnih troškova operacije može napisati u obliku:

$$Uo = R + M + A.$$

Koristeći se konačnim izrazima za pojedine troškove, isti se mogu napisati u obliku:

$$R=(1+b).K_1.(tg+tp+td+tpz) \quad (1)$$

$$M=\frac{Cm.p.tk}{F.\eta.100.60} \quad (2)$$

$$(tk=tc+tvc=tg+tp+td+ta+tpz) \quad (3)$$

$$A=\left[K_2.(1+b_2).t_1+\frac{Cp}{b_1}+\frac{Cd}{Zo}+\frac{C}{Z_1}+\frac{C_L}{Z_2}\right].\frac{tg}{T} \quad (4)$$

(za slučaj primene okretnih pločica od tvrdog metala).

Značenje pojedinih oznaka dato je u literaturi [3] i [4].

Ako u izraz (3) zamenimo izraze za glavno vreme obrade, vreme zamene i regulisanja, kao i postojanost u zavisnosti od parametara režima dobijamo izraz za ukupno vreme obrade po komadu u obliku:

$$tk=\frac{L.\delta_1.Dg}{320}\left[\frac{\delta_1}{v.s.z}+\frac{t_1}{C^{1/m}}\cdot v^{\frac{1}{m}-1}\cdot s^{\frac{y}{m}-1}\cdot\left(\frac{\delta_1}{z}\right)^{\frac{x}{m}-1}\right]+tp_1+Z.tp_2+td+tpz. \quad (5)$$

Zamenom izraza (1),(2),(4) i (5) u izraz za opšti oblik funkcije proizvodnih troškova Uo, dobija se funkcija cilja u obliku:

$$Uo=\frac{L.\delta_1.Dg}{320}\left[\frac{K_1(1+b)+M_1}{v.s(\delta_1/Z)}+\frac{A}{C^{1/m}.v^{1/m}.s^{1-y/m(\delta_1/Z)1-x/m}}\right]+B, \quad (6)$$

pri čemu se konstante M_1, A i B mogu napisati u obliku:

$$M_1=\frac{C_m\cdot p}{F.\eta.60.100}$$

$$A=K_1t_1+K_2(1+b)t_1+\frac{Cp}{b_1}+\frac{C_D}{Zo}+\frac{C_R}{Z_1}+\frac{C_L}{Z_2}$$

$$B=K_1(1+b)+M_1/(tp+tl+tpz).$$

1.2. Određivanje optimalnih režima rezanja

Optimalne vrednosti režima rezanja (δ,v,s), poznavajući matematički oblik funkcije troškova Uo kao funkcije cilja, možemo odrediti iz sistema jednačina koje se dobijaju iz uslova minimuma funkcije (6):

$$\frac{\partial Uo}{\partial v}=0,\quad \frac{\partial Uo}{\partial s}=0,\quad \frac{\partial Uo}{\partial \delta}=0. \quad (7)$$

1.3. Funkcije ograničenja

Sistem jednačina (7) najčešće predstavlja sistem proporcionalnih jednačina koje omogućavaju određivanje samo jednog parametra režima rezanja, osim kada su u jednačini postojanosti alata $T=f(v,s,\delta)$ eksponenti nad v i s jednaki što praktično nije najčešći slučaj. Zato se često uzimaju vrednosti za s i δ dobijene na osnovu funkcija ograničenja, stim što se i brzina dobijena iz uslova $\frac{\partial Uo}{\partial v}=0$ mora uklopiti takođe u oblast funkcija ograničenja.

Postoje više funkcija ograničenja, a za ovu vrstu strugarske obrade koristimo uglavnom sledeća ograničenja:

- ograničenje posmaka s obzirom na otpornost alata, dozvoljenu deformaciju radnog predmeta, dozvoljenu hrapavost i dozvoljeni obrtni moment mašine,
- ograničenje dubine rezanja s obzirom na dodatak za obradu i dužinu rezne ivice okretne ploče,
- ograničenje brzine rezanja sobzirom na raspoložive brojeve obrtaja mašine i postojanost alata,
- ograničenje raspoloživosti sangom mašine.

Ako vrednost parametara s i δ smatramo konstantnim, određene na osnovu funkcija ograničenja, onda izraz za otpimalnu brzinu rezanja ima oblik:

$$V_{opt}=\frac{C}{s^y}\left(\frac{Z}{\delta_1}\right)^x\left[\frac{K_1\cdot(1+b)+M}{A(1/m-1)}\right]^m \quad (8)$$

2. EKSPERIMENTALNI PODACI

Kao što je već rečeno, navedenim modelom optimizacije odredićemo optimalne režime rezenja za konkretni primer. Osovinica dimenzija Ø3o x 12o (mm), od materijala Č.543o obradjuje se na univerzalnom strugu POTISJE-ADA US-22 čije su karakteristike date u [6]. Poznavajući karakteristike mašine, radnog predmeta i alata (nož sa okretnom pločicom), koristeći se navedenim izrazima uz pomenuta ograničenja, optimalne vrednosti dubine rezanja i posmaka iznose: $t_1 = 4,2$(mm) i $s = o,315(^{mm}/obr.)$. Na osnovu ovih podataka izraz (8) za optimalnu brzinu rezanja dobija oblik:

$$V_{opt} = \frac{48,4}{s^y},$$

i ona u ovom slučaju iznosi: $V_{opt} = 72,52$(m/min), što odgovara broju obrtaja od 726 o/min. Sobzirom na raspoloživi broj obrtaja mašine usvaja se $n = 71o^{o}$/min, što odgovara optimalnoj brzini od 7o,9m/min.

Koristeći se dobivenim rezultatima određuje se da je učešće pojedinih troškova u ukupnim troškovima sledeća: R=84,4%, M=1o,6% i A=5%.

3. ZAKLJUČCI

Prikazani matematički model optimizacije ima široku mogućnost primene kod različitih obradnih sistema, pri čemu mu posebnu podlogu čini mogućnost primene računara. Analizom rezultata za uzdužnu strugarsku obradu utvrđuje se da treba težiti većim koracima a manjim brzinama, jer se glavna vremena dosta smanjuju a njihov uticaj na ukupne troškove je veliki.

4. LITERATURA

[1]. Stanić,J. Matematičke osnove tehnoekonomske optimizacije obradnih procesa.

[2]. Stanić,J.,Nikolić,D.,Jovanović,T., Gajović,V. Mašinska obrada.

[3]. Stanić,J. Određivanje sistema funkcija odredljivosti u pogonskim uslovima pomoću usmerenog iterativnog metoda, VI Simpozijum pravljanj proizvodnjom u industriji prerade metala.

[4]. Ivković,B. Obrada metala rezanjem.

[5]. Potisje-Ada, Univerzalni visokoproduktivni i precizni strugovi.

[6]. Carboloy, Okretne pločice za strugarske noževe.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Ranko Gluščević *)

PRILOG STUDIJI RAZVOJA METODA ZA BRZO DEFINISANJE EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA ALATA

R e z i m e

U industriji proizvodnje alata kao i u metaloprerađivačkoj industriji postoji potreba da se za kratko vrijeme definišu eksplatacione karakteristike alata. U radu se daju osnovne postavke metoda konstantne aksijalne sile kao i eksperimentalni podafi dobiveni u laboratorijskim uslovima.

ENCLOSURE TO A STUDY OF METHOD DEVELOPMENT FOR FAST DEFININE OF TOOLS EXPLOITATION PROPERTIES

In tool production industry as well as in metal industry there is a need for fast defining of tools wxploitation properties. This study contains basic assumptions concerning constant axial force method as wellas experimental data obtained in laboratory condidions.

1. Uvod

Za ispitivanje eksploatacionih karakteristika zavojnih burgija može da se koristi više različitih metoda, a primjena neke od njih zavisi najčešće od tipa zadatka i konkretnih uslova.

U ovom radu postavljene su osnove jedne nove metode pod nazivom: "Metoda konstantne aksijalne sile za ispitivanje eksploatacionih karakteristika zavojnih burgija". Detaljno je razrađeno i definisano istraživačko mjesto kako bi ova metoda i praktično bila verifikovana. Definisani su modeli za određivanje aksijalne sile rezanja za određene vrste materijala u zavisnosti od prečnika zavojne burgije.

Verifikacija metode izvršena je eksperimentalno u laboratoriji, kroz sledeća ispitivanja: zavisnost vremena prodiranja od pohabanosti reznin oštrica zavojnih burgija u procesu bušenja, zavisnost vremena prodiranja od geometrije vrha zavojnih burgija u procesu bušenja, zavisnost vremena prodiranja od vrste obrađivanog mamterijala.

*) Ranko Gluščević, direktor OOUR-a proizvodnje burgija IAT Trebinje.

2. DEFINISANJE EKSPLOATACIONIH KARAKTERISTIKA ZAVOJNIH BURGIJA METODOM KONSTANTNE AKSIJALNE SILE

Osnovni zahtjev kod zavojnih burgija u procesu upotrebe su da sa što manje energije i utrošenog rada izbuši maksimalnu dužinu materijala normalnog kvaliteta obrade, u što kraćem vremenskom periodu, a da se naknadnom regeneracijom, sa što manje rada dovede u stanje početnog kvaliteta.

U slučaju svih navedenih metoda režimi rezanja, posmak i brzina rezanja, su u toku bušenja diktirani, obično na nivou preporuka za upotrebu alata. Ovo izaziva čestu pojavu znatnog razaranja ili potpunog uništenja reznih svojstava burgije u toku ispitivanja, pa i kada to ne želimo, zbog raznih sistematskih ili još češće slučajnih faktora (uključci u materijalu, lunkeri i sl.).

Kod metode sa konstantnom silom diktira se brzina rezanja (broj obrtaja vretena) i aksijalna sila rezanja F_z koja ostaje konstantna tokom ispitivanja. Veličina aksijalne sile zavisi od prečnika burgije i obrađivanog materijala.

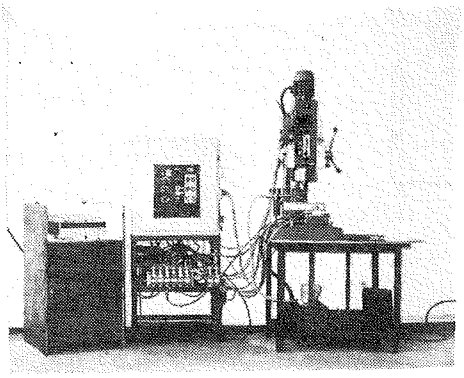
U toku bušenja dolazi do habanja reznih oštrica te pod dejstvom konstantne sile postepeno opada posmak po obrtaju a raste vrijeme potrebno za bušenje određene dubine otvora.

Za ispitivanje je upotrebljena vertikalna stona bušilica proizvodnje Dalmastroj iz Splita.

Da bi ova mašina poslužila željenom ispitivanju prethodno je adaptirana. Uravnoteženo je glavno vreteno i ugrađen uređaj za diktiranje aksijalne sile rezanja kao i graničnici za štelovanje početka i završetka bušenja to jest dubine bušenja.

Na ovako opremljenu mašinu postavljen je uređaj za stezanje obrađivanog materijala i njegovo automatsko pomjeranje u procesu ispitivanja.

Mašina kao i svi njeni pribori spojena je hidrauličnim, pneumatskim i električnim vezama sa agregatom za upravljanje i instrumentom za registrovanje dobijenih rezultata.



Sl. 1. Ispitivačko mjesto

2.1. Eksperimentalni rezultati ispitivanja

Radi ilustracije metoda ispitivanja eksploatacionih karakteristika uz primjenu konstantne aksijalne sile izvršeno je niz eksperimenata čiji su rezultati prikazani na sl.2.

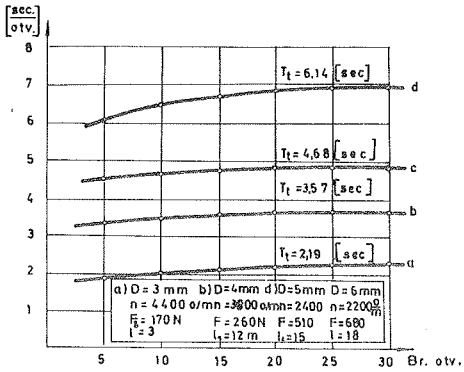
Na osnovu dobijenih rezultata da se konstatovati, da se vrijeme bušenja kod svih dimenzija kreće u okviru teoretskih granica. Sa povećanjem broja izbušenih otvora vrijeme prodiranja se blago povećava što je posljedica minimalnog habanja reznih oštrica.

Primjećuju se i minimalna odstupanja od logičnog trenda vremena bušenja što se može objasniti izvjesnom nehomogenosti obrađivanog materijala.

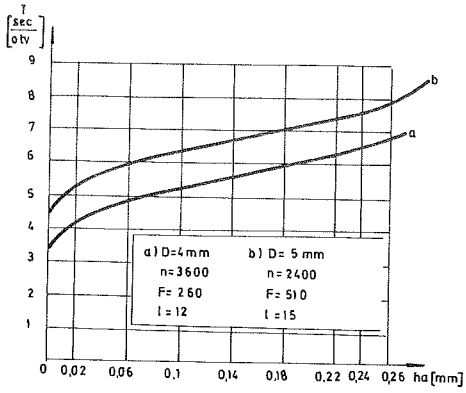
Materijali ove klase nisu idealno čisti. Imaju u sebi izvjesne uključke

koji remete kontinualno habanje reznih oštrica i izazivaju poremećaj u vremenu bušenja uzastopnih otvora.

Čvrstoća čeličnih gredica na svim mjestima također nije ista te i ovo djelimično utiče na rezultate ispitivanja.



Sl. 2. Zavisnost vremena bušenja otvora i broja izbušenih otvora



Sl. 3. Zavisnost vremena prodiranja i pohabanosti zavojne burgije

2.2. Zavisnost vremena prodiranja zavojnih burgija u procesu bušenja od geometrije vrha

Metodom konstantne aksijalne sile dosta jednostavno i brzo može se doći do zavisnosti brzine prodiranja zavojnih brugija u procesu bušenja i geometrije vrha $T=f(l,\varphi,\gamma,\omega,d)$

Na ovu zavisnost, svaki geometrijski elemenat vrha burgije znatno utiče,no posebno je izražen uticaj debljine jezgra, odnosno dužine poprečnog sječiva.

Na sl.3. dijagramski je prikazana ova zavisnost a zbog opširnosti programa ispitivanja nije ispitivan uticaj posebno svakog elementa vrha burgije.

U toku ispitivanja često se primjećuju da, suprotno očeikvanjima, prvu rupu burgija buši nešto sporije, što se posebno dešava pri ispitivanju manjih dimenzija. Ovaj fenomen najčešće je posljedica zaostale pucne na reznim oštricama koju je potrebno mehanički odstraniti ili ovu pojavu uvažiti pri bušenju.

Pucna se uglavnom odstranjuje u toku bušenja prvog otvora, a posebno ako se radi o čelicima.

Mjerenjem na mikroskopu primjećen je neznatan pojas habanja ha=0,01+ +0,02 mm , poslije izbušenih dvadeset otvora dubine l=9 mm .

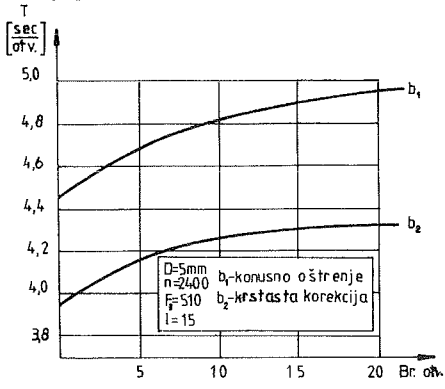
3. ORGANIZACIJSKO POSTAVLJANJE U PROCESU PROIZVODNJE

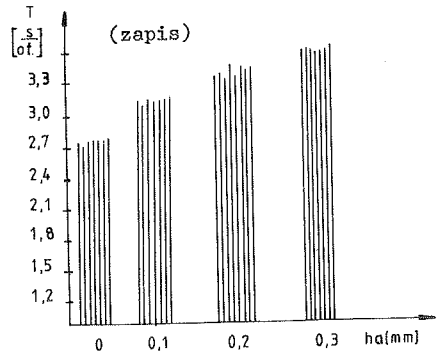
Ispitivanje eksploatacionih karakteristika proizvoda i davanje atesta o istom predstavlja završnu fazu kontrole kvaliteta. Prema tome mjesto i uloga ove faze kontrolisanja je samim tim i određena.

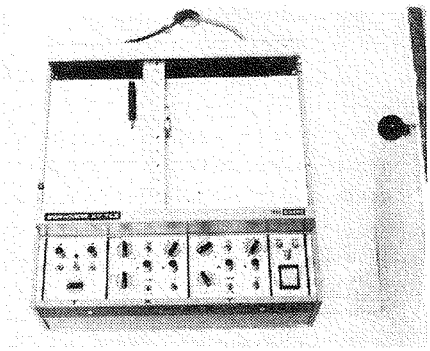
U toku procesa proizvodnje kvalitet i tok njegove ugradnje se preventivno kontroliše i obezbjeđuje. Nakon izrade sve serije proizvoda prolaze kroz završnu kontrolu kvaliteta gdje se vrši kontrolisanje svih kvalitetnih karakteristika proizvoda sa postavljenim zahtjevima i pratećom dokumentacijom.

Kada proizvod zadovolji ovu kontrolu statističkim metodama odabira se uzorak koji se podvrgava praktičnom ispitivanju. Način ispitivanja

prije svega zavisi od tipa proizvoda i njegovoj namjeni.







(instrument)

Sl.4. Uporedni dijagram vremena prodiranja burgija konusno i krstasto naoštrenih pri bušenju u čeliku Č.1731, sa zapisom i instrumentom

Kod ispitivanja burgija postoje dva osnovna slučaja:

- Ispitivanje burgija za opštu namjenu tj. za one proizvode čiji uslovi eksploatacije unaprijed nisu poznati i
- Ispitivanje burgija za namjensku to jest za one burgije čiji su uslovi eksploatacije potpuno poznati.

Za ispitivanje burgija opšte namjene koriste se konstruktivni čelici Č.1713 i Č.1530 uz pooštrene režime rezanja u odnosu na preporučene.

Za ispitivanje burgija namjenski proizvedenih kao materijal za ispitivanje koristi se po mogućnosti materijal u kome će dotična burgija biti i eksploatisana.

4. Z A K L J U Č C I

Za istraživanje obradivosti potrebno je detaljno poznavanje zakonitosti teorije rezanja jer je to osnov za sva eksperimentalna ispitivanja ovog i te kako složenog procesa.

- Posebna prednost predložene metode za ispitivanje eksploatacionih karakteristika zavojnih burgija jeste u tome što u toku ispitivanja ne postoji mogućnost uništenja burgije bilo zbog slučajnih ili sistematskih uzroka, to jest zatupljenja, krzanje, uključci u materijalu i druge nepoželjne pojave, već prestanak procesa rezanja.
- Prema postignutim rezultatima nameće se mogućnost za dalje proširenje primjene ove metode:
- optimizacija faktora kvaliteta za konkretne uslove eksploatacije;
- definisanje vijeka trajanja (postojanosti) reznih oštrica kroz definisanje kritične sile spiralnih štapova i slično.

Praktična primjena ove metode je u trenutnom stepenu razvijenosti pogodna za proizvođače ove vrste alata za ocjenu kvaliteta proizvoda i istraživanje u oblasti kvaliteta.

5. Literatura

[1] Vukelja D.:
Prilog studiji habanja alata, Goriva i maziva br. 6. Zagreb, 1973. godine.

[2] Stanić J., Andrejević N.:
Tehnološki karakter procesa nabanja i uticaj dubine bušenja i protoka na postojanost zavojnih burgija, tehnika br.10. Beograd, 1968. godine.

[3] Solaja V.:
Habanje alata, IAMA Beograd, 1971. godine.

[4] Vukelja D., Mišković A., Gluščević R.:
Tehničke informacije o eksploatacionim karakteristikama reznog alata, LATOMA, Mostar 1981. god.

[5] Režušći instrumenti:
Teorija rasčet konstruiranje i eksploatacija režušćega instrumenta. Zatočka spiralnih sverl poverhnosti giberboloida, Moskva, 1974. godine.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Anto Mišković, *)
Dušan Vukelja i
Jusuf Kevelj

NEKE NOVE MOGUĆNOSTI IZRADE PRECIZNIH OTVORA **)

R e z i m e

U savremenoj mašinogradnji postavljaju se sve veći zahtjevi u pogledu tačnosti i kvaliteta dijelova, što povoljno utiče na njihove perfomanse, a time i na izradu preciznih otvora. Za izradu preciznih otvora u mašinogradnji postoje dosta široki i opravdani razlozi, naročito u savremenoj avio i raketnoj industriji. Određene konstrukcije provlakača i uređaja omogućuju izradu preciznih otvora i na nepristupačnim mjestima.

SOME NEW POSSIBILITIES IN PRECISION MAKING OPENS

S u m m a r y

The recent machinbulding is under the even more demands concerming aceuracy and quality of the pieces conveniehtly resulting onits pe formances, at same time on precision making opers too.

There are wide and exused reasans for making precise holes, especially in modern aircraft and rocket industry. Certain desings of mondrels and eguipment enabpe marking of precise holes even on i naccessable i place.

1. Uvod

Funkcionisanje tehničkog sistema bitno zavisi od pouzdanosti rada njegovih elemenata koji međutim zavise od tačnosti i kvaliteta obrade površina tih elemenata između ostalih i otvora.

S obzirom na složenost obrade otvora u odnosu na druge površine i pomenute zahtjeve, u svijetu se sve više poklanja pažnja izradi preciznih otvora. Tako se i kod nas prišlo razvoju nove tehnologije izrade

*) dr Anto Mišković,dipl.ing.docent Mašinskog fakulteta u Mostaru
Jusuf Kevelj,dipl.ing. "SOKO" RO Vazduhoplovstvo Mostar
dr Dušan Vukelja,dipl.ing. profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu i Mostaru.

**) Rad predstavlja sastavni dio istraživačkog projekta "RAZVOJ NOVIH POSTUPAKA ZAVRŠNE OBRADE OTVORA REZANJEM" kojeg finansira RZNR SR BiH i "SOKO" RO Vazduhoplovstvo Mostar.

preciznih otvora za potrebe domaće vazduhoplovne industrije.

U radu je riječ o nekim rezultatima postignutim do sada.

2. Prethodne napomene

U savremenoj mašinogradnji i tehnologiji izrade vazduhoplovstva, kao i u drugoj industriji prisutni su zahtjevi za izradu otvora visokog kvaliteta uz istovremeni zahtjev pouzdanosti i stabilnosti njihove izrade.U novije vrijeme sve se više uvode postupci izrade otvora provlačenjem kao visokoproduktivan i tačan metod obrade.

U obradnom sistemu provlačenja posebno je interesantan alat-provlakač. Pri projektovanju i izradi provlakača posebnu pažnju u cilju optimizacije treba posvetiti određivanju geometrijskih, mehaničkih i reznih svojstava provlakača, te režimima obrade i integritetu obrađene površine.

Na osnovu većeg broja opita dati u [5] pokazano je da se obradom provlačenja dinamička svojstva radnog predmeta ne pogoršavaju, tako da se postupak može da primjenjuje i za obradu djelova za konstrukcije koje su dinamički opterećene.

Rasipanje prečnika otvora i ovdje je kao i kod drugih postupaka završne obrade.

Uprkos relativno skupe izrade provlakača, jednostavnost procesa obrade uz visoku tačnost i produktivnost ova obrada ima široke mogućnosti u primjeni.

Konstrukcija provlakača na kojima se radi, baziraju na eksperimentalnim istraživanjima procesa obrade provlačenjem sa većim brzinama rezanja uz primjenu elektronskih računskih mašina.

3. Dimenzionisanje provlakača

Sveobuhvatna praktična ispitivanja potvrdila su da se prečnik obrađivanog otvora uvijek razlikuju od prečnika provlakača kojim je taj otvor obrađen.

Ovo se događa pod uticajem niza faktora, koji se mogu podijeliti u slučajne i sistematske. Uticaj pojedinih faktora nije mogućno da se opiše zakonima mehanike procesa rezanja, a pogotovo njihovo udruženo dejstvo na veličinu varijacija obrađivanog otvora (uvećanje, odnosno umanjenje).

S obzirom na veliki broj uticajnih faktora, ovaj problem je za sada rješiv jedino putem statističkih ispitivanja.

Prečnik kalibrišućeg dijela provlakača je:

$$D_{sa} = D_s \pm \delta$$

D_s - prečnik obrađivanog otvora

δ - razlika prečnika otvora i alata (može biti pozitivna ili negativna).

Uvećanje odnosno umanjenje otvora pri obradi dobiveno je pod uticajem niza faktora koji se mogu podijeliti na sistematske i slučajne.

Sistematski su:

- vrsta materijala koji se obrađuje
- vrsta materijala od kojeg je izrađen alat
- režimi obrade
- načini hlađenja i vrsta SHP
- habanje alata
- geometrija alata
- način vođenja alata.

Slučajni su:

- varijacija mehaničkih svojstava materijala
- varijacija dodatka za obradu
- nejednakost sile rezanja

- naljepljivanje čestica metala na zube alata i odljepljivanje naliježpljenog metala sa zuba.

Udruženo dejstvo slučajnih i sistematskih faktora izaziva rasturanje prečnika obrađivanog otvora koji se ponaša po nekom od zakona razdiobe:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{1}{\delta}-1}^{\frac{1}{\delta}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

(Normalna razdioba)

$$P = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{\beta-\alpha} d\delta = \begin{matrix} \delta<\alpha \\ \frac{\delta-\alpha}{\delta-\alpha} \\ \delta>\beta \end{matrix} \qquad \alpha < \delta < \beta$$

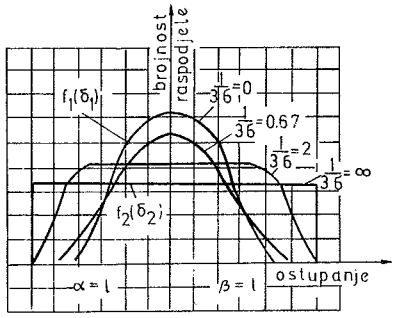
(Simpsonov zakon razdiobe)

$$f(\delta) = C \qquad \alpha < \delta < \beta$$

$$f(\delta) = 0 \qquad \delta < \alpha \quad \delta < \beta$$

(Uniformna razdioba)

Na osnovu rezultata ispitivanja, uglavnom su bile prisutne distribucije rasipanja prečnika koje su odgovarale normalnom zakonu, a u nekim slučajevima kompoziciji uniformnog i normalnog zakona razdiobe.



Sl.1. Kompozicija normalne i uniformne razdiobe

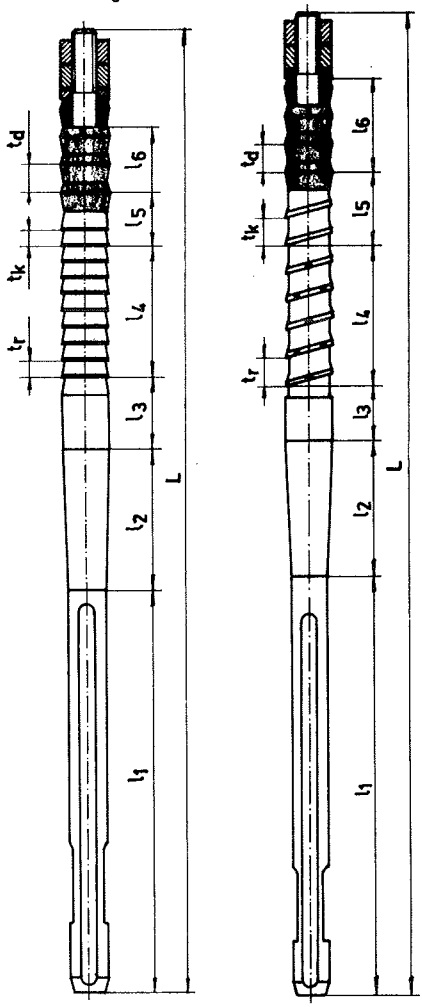
U zavisnosti od zakona distribucije rasipanja prečnika, prečnik provlakača (kalibrišućeg dijela) bio bi:

$$D_{max} = D_o + T - k.t\sigma_\delta - \bar{\delta}$$

$$D_{min} = D_o - \delta + k.t\sigma_\delta$$

pri čemu je:

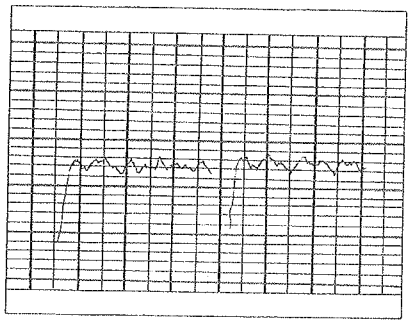
D_o - nazivni prečnik
T - tolerancijsko polje
k - faktor relativne razdiobe
σ_δ - standardna devijacija
$\bar{\delta}$ - aritmetička sredina ostupanja.



Sl.2. Konstrukcija rezno-deformišućeg provlakača

a) sa prstenastim reznim zubima
b) sa navojnim reznim dijelom.

Ispitivanja sa ovim postupkom su u toku. Već sada se može pokazati izgled tako obrađivanih površina.



Sl.3. Profil obrađene površine.

4. Zaključak

Na osnovu iznijetog mogu se dati slijedeći zaključci:

1. Obrada otvora je složenija u odnosu na obradu spoljnih prečnika.

2. Obradom otvora provlačenjem postiže se bolji kvalitet. Pri tome se ne pogoršavaju dinamička svojstva, a vrijeme izrade u odnosu na vrijeme izrade u odnosu na druge postupke je znatno kraće.

5. Literatura

[1] D. Vukelja
Konstrukcija alata za obradu rezanjem, IRO "Građevinska knjiga", Beograd, 1982. godine.

[2] D. Vukelja
Određivanje dimenzija reznom alatu za obradu otvora pomoću statističke metode, Mašinstvo 13, 1984. god.

[3] D. Vukelja
Uticaj sistema faktora na veličinu uvećanja prečnika pri razvrtanju, Mašinstvo 15. 1986. god.

[4] A.V. Sćegoljev
Konstruirovanje protjažek, Lenjingrad 1960.

[5] M Rozenberg
Rasčot i projektirovanie tujordosplavnih deformirujušćih protjažek i procesa protjagivanija, Kijev 1978.

[6] Grup avtorov
Jenničeskij progres v samoljetostroenii, Moskva 1975. god.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

*) Radoš Pantić, Petar Ivanović

NOV POSTUPAK ZA OBRADU DUBOKIH OTVORA

R e z i m e

U ovom radu se daje nov postupak obrade dubokih otvora-ce vi za hidrauličke cilindre, primenom novih vrsta reznih al ata. Analiza i matematičko modeliranje obradnog procesa se daje primenom metode višefaktornog planiranja eksperimenata (metod BOX-WILSON)

NEW OPERATION FOR MACHINING DEEP HOLES

S u m m a r y

In this paper is gave new operation machining deep holes-tu bes for hydraulic cilinders, by applying new cutting tools. Analisis and mathematical models of machining proces are ga- ve by applying of technique of multi-factoral planning expe riments (BOX-WILSON'S method)

1. Uvod

Obrada dubokih otvora je specifič na tehnološka operacija široko pri menjena u opštoj mašinogradnji i njenim specijalnim granama. U ovu vrstu obrade svrstavaju se proizvo dne operacije kod kojih je odnos dužine i prečnika l/d>5. Bez obzi ra na primenjeni sistem ove opera cije izvodi se na specijalnim obra dnim sistemima.
Cilj ovoga rada je da upozna struč nu javnost o rezultatima istraživa nja obavljenim u IHP "Prva Petolet ka", Trstenik, RO "Hidraulika",

2. Obrada dubokih otvora

Zahtevane tehnološke karakteristike pri obradi hidrauličkih cilindara (IT7,R_t=1,3-2,5μm), prečnika d=40-280mm, dužina l=280-4000mm, obezbedj uju se izvodjenjem posebno operacija proširivanjem, razvrtanjem i rolova njem, primenom reznih alata (bušnih kruna) i alata za plastičnu deformaci ju kao završnu obradu. Rezni alati su konvencionalnog kvaliteta sa zat vorenim sistemom odvoda strugotine, izradjeni u obliku zalemnjenih ploči ca od tvrdog metala, koje se posle pohabanosti preoštravaju.

*) Radoš Pantić, Mr.dip.ing,šef Biroa za ispitivanja i probe alata, RO "Hid raulika", Trstenik, Moša Pijade 20/26

*) Petar Ivanović, dip.ing, upravnik Centralne alatne pripreme, RO "Hidrau lika", Trstenik, V.Ribnikara 2/8

Primenom savremenih reznih alata i bušnih kruna sa podešljivim vodjicama za operaciju proširivanja (gruba uzdužna obrada) i bušnih kruna za istovremenu obradu (kombinovani sistem) razvrtanjem i rolovanjem, vršena su ispitivanja pri obradi hidrauličkih cilindara prečnika Ø125H7, duži na l_1=1000mm i l_2=2370mm.

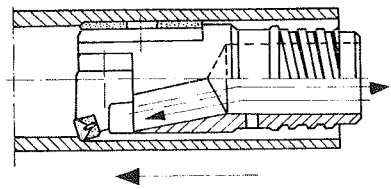
2.1 Obrada proširivanjem

Ispitivanja obrade na operaciji proširivanjem vršena su u proizvodnim uslovima serijske proizvodnje, prema T-1, na mašini "Gildemeister" sa karakteristikama: snaga mašine P_m=30 kw, snaga hidrauličkog agregata P_{shp}=55kw i protokom reznog ulja Q_c=180-700 l/min.

T-1

obradak	Č 1212 (J55)	(115-130) II B
tehn. karakt	IT 8	R_t =10-20μm

Rezni alat: bušna kruna R430.23-20 24-16 (Sl.1), sa izmenljivim kasetama i reznim pločicama TPMX160312R22 GC135 (jednostruka prevlaka titan karbida, TiC), proizvodjač S "Coromant".



SL.1. Alat u radnom položaju.

Merna tehnika: uredjaj za merenje hrapavosti, alatni mikroskop, merilo za kontrolu ovalnosti i koničnosti dubokih otvora, tip "Subito".

2.2 Eksperimentalni rezultati i matematička obrada

Kao izlaz iz sistema za definisanje funkcija obradivosti merena je postojanost reznog alata (T), istovremenim praćenjem promene parametra habanja po ledjnoj površini h_{ks} u granicama tehnoloških ogranićenja obrade. Radna plan matrica sa rezultatima merenja prikazana je u T-2.

Redosled izvodjenja eksperimenata odredjen je randomizacijom /1/,/2/, pri čemu su nivoi ulaza, gornji i donji odredjeni preliminarnim eksperimentima u prostoru primenljivih i mogućih režima obrade.

T-2

Red. br.	Ulaz			Plan matrica							Izlaz
	V (m/min)	S (mm/o)	δ (mm)	X_0	X_1	X_2	X_3	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	T (min)
1	105,6	0,35	4	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	184,3
2	188,5	0,35	4	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	70,4
3	188,5	0,35	2,5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	88,4
4	[illegible]	[illegible]	4,5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	236,1
5	[illegible]	[illegible]	4,5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1[illegible],3
6	188,5	0,35	4,5	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	64,3
7	14[illegible]	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1[illegible]8,8
8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	166,8
9	188,5	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	5[illegible]
10	[illegible]	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	[illegible],8
11	[illegible]	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	[illegible],6
12	14[illegible]	[illegible]	[illegible]	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	[illegible]

Kodiranje ulaznih veličina izvršeno je na osnovu jednačina krivolinijske transformacije:

$$x_i = 1 + 2\frac{\ln X_i - \ln X_{i\,max}}{\ln X_{i\,max} - \ln X_{i\,min}} \quad \ldots(1)$$

Stepen uticaja koordinata vektora ulaznog hiper prostora i njihovih združenih dejstava na izlaz sistema je odredjen postupkom disperzione analize uz korišćenje medijane (L_e) kao parametra za reprezentovanje rasturanja rezultata merenja. Primenom metodologije /1/,/2/, za odredjivanje koeficijenata regresije po konceptu višefaktornog planiranja eksperimenta odredjena je u kodiranim koordinata

ma funkcionalna zavisnost $y = y(x_i, x_j)$ izlaza u obliku polinoma:

$$y = 4{,}70878 - 0{,}49595x_1 - 0{,}15435x_2 - 0{,}07397x_3 - 0{,}0448x_1x_3 - 0{,}04487x_2x_3 - 0{,}04984x_1x_2x_3 \quad \cdots(2)$$

Ocena adekvatnosti modela (2) izvedena je primenom statistike Fišera (F). Kako je računska vrednost statistike F_r za usvojeni nivo značajnosti $\alpha=0{,}05$ i stepene slobode $k_1(f_{LF})$ i $k_2(f_e)$ znatno manja od teoretske $F_r=0{,}094 \ll F_t=9{,}01$, zaključuje se da je model adekvatan. Primenom "t" kriterijuma Studenta izvršena je analiza efekata dejstava B_i, B_{ij} modela, kao osnove za definisanje izraza (2). Prelaskom na prirodne koordinate (1) matematički model (2) može se napisati u obliku funkcije:

$$T = \frac{1{,}138 \cdot 10^3 \cdot (v)^{2{,}118} \cdot (s)^{3{,}7293(\ln v - 5{,}3933)}}{(\delta)^{-3{,}2392[\ln s(5{,}21 - \ln v) - 1{,}027 \ln v + 5{,}20]}} \quad \cdots(3)$$

Primenom matematičke statistike, postupkom disperzione analize odredjene su granice tačnosti modela (2), tj (3), za usvojeni 95%-ni interval pouzdanosti:

Za opite (1-6) i (8-9)

$$y \pm t_{fp}\sqrt{\sigma^2(y)} = y \pm 0{,}0883$$

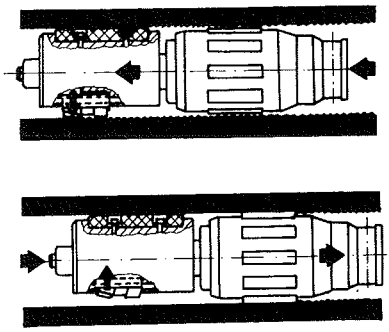
Za opite 7 i (10-12)

$$y \pm t_{fp}\sqrt{\sigma^2(y)} = y \pm 0{,}03765$$

,gde je t_{fp}-tablična vrednost Studentove statistike za $f=f_r$ stepeni slobode i željeni nivo verovatnoće P.

3. Završna obrada razvrtanjem i rolovanjem

Ispitivanja obradivosti na operacijama razvrtanjem i rolovanjem primenom kombinovanog sistema alata vršena su na hidrauličkim cilindrima na kojima je izvršena prethodna obrada proširivanjem (T-1). Za izlaz iz sistema merena je postojanost alata T u oblasti dopuštene vrednosti za tačnost i kvalitet pri završnoj obradi rolovanjem (IT7, R_t=1,3-2,55μm). Obrada je izvedena na istoj mašini korišćenjem iste merne tehnike (2.1). Za razliku od klasičnih alata za posebno izvodjenje operacija razvrtanja i rolovanja, ispitivanim alatom-bušnom krunom 420-37,(S1.2), ove operacije izvode se u radnom i povratnom hodu, (proizvodjač S"Coromant")



SL.2. Kombinovani alat u radnoj poziciji

U toku obrade istovremeno su u zahvatu dve rezne izmenljive pločice koje su izradjene od tvrdog metala, kvaliteta S2(P20), što omogućuje primenu oštrih režima (v,s).

3.1 Eksperimentalni rezultati i matematička obrada

Po izloženoj metodologiji (2.2), na osnovu preporuka proizvodjača i preliminarnih ispitivanja obavljen je eksperiment za definisanje funkcija obradivosti merenjem postojanosti alata T kao izlaznog vektora u prostoru tehnoloških ograničenja. Randomizirana radna plan matrica i rezultati merenja dati su u T-3, primenom dvofaktornog plana eksperimenta, tipa 2^k+n_o, jer se vrednost dubine rezanja

kao trećeg faktora nalazi u granica ma δ=0,1-0,15mm može uzeti kao const. Kodiranje ulaznih veličina izvršeno je na osnovu (1), jednačina transfor macija. Štepen uticaja dejstva x_1, x_2 x_1x_2 odredjen je po izloženom postup ku, kao i odredjivanje koeficijenata regresije matematičkog modela: T-3.

Red.	Ulazi		Plan matrica				Izlaz
br.	V[m min]	S[mm/o]	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	T[min]
1	144	1,65	+1	0	0	0	41
2	165	1,505	+1	+1	-1	-1	34
3	144	1,65	+1	0	0	0	44
4	144	1,65	+1	0	0	0	38
5	126	1,8	+1	-1	+1	-1	48
6	126	1,505	+1	-1	-1	+1	62,5
7	165	1,8	+1	+1	+1	+1	24

$$y = 3,6858 - 0,3255X_1 - 0,11307X_2 - 0,0232X_1X_2 \quad \ldots(4)$$

Po izvršenoj proveri adekvatnost mo dela (4), (F_r=3,238<F_t=19,0), za us vojeni nivo značajnosti α=0,05, kao i primeni "t" kriterijuma, izraz (4) se može napisati u obliku funkcije:

$$T = \frac{103,995 \cdot 10^{-3} \cdot (V)^{-1,45576}}{(S)^{1,9228(\ln V - 4,3141)}} \quad \ldots(5)$$

4. Podloge za optimizaciju obradnog procesa

Optimizacija obradnog procesa obuhva ta: definisanje optimizacionog mode la i izbor metoda optimizacije. Za formiranje matematičkog modela opti mizacije neophodno je dobijenom mate matičkom modelu (3), (5), uz funkci je ograničenja pridružiti kriterijum optimizacije. Ovim se dobijaju okvi ri matematičkog modela optimizacije, da bi se, zatim, definitivna formule cija modela okončala postavljanjem konkretno oblika funkcije cilja: $\phi_c=\phi_c(x,z,y)$: gde su: $\vec{x}$,$\vec{z}$-ulazni vek tori, $\vec{y}$-izlazni vektor procesa. U pr aksi optimizacija se najčešće izvodi preko kriterijuma maksimalne ekonomi čnosti (E), odnosno minimalnih troš kova, što se i u ovom radu koristi. Polazeći od iznetih postavki, funkci ja ϕ_c, nakon sredjivanja i transfor macija ima oblik nelinearnog matemati čkog modela u kojoj su varijable para metri obrade, $\phi_c=\phi_c(v,s,\delta)$. Iz ovog matematičkog modela dobijanje optimu ma je dosta otežano i zahteva primenu odgovarajućih metoda nelinearnog pro gramiranja uz upotrebu računara. U ovom radu je, medjutim, optimizaciju moguće sprovesti jednostavnije postu pkom direktne matematičke analize op timizacionog modela (ϕ_c), na sledeći način:

Pošto postojanost (T), ima dominantan uticaj na funkciju (ϕ_c), merodavno je analizirati funkciju T=T(v,s,δ). U ovom slučaju na postojanost (T), dal eko najveći uticaj ima brzina rezanja (v), a znatno manji posmak (s) i dub ina (δ), pa je optimum funkcije (ϕ_c) lociran u području (s_{max},v_{min}), pri δ=const. Iz funkcije ograničenja uz imaju se vrednosti ($s=s_{max}$) , ($\delta=\delta$max i optimira (v), pri čemu se konačno za operaciju proširivanja dobija: min$\phi_c(v,s,\delta)=\phi_c(v_o$=176m/min, s_o=0,6 mm/o, δ_o=7mm).

5. ZAKLJUČCI:

-Uvodjenjem novog sistema uspešno se prevazilaze i rešavaju glavni nedost atci postojećih alata, uz znatno pove ćanje tehnoekonomskih efekata;
-Ispitivanje obradivosti treba nasta viti primenom najnovijih kvaliteta (nekonvencionalnih) reznih alata;
-Izloženi sistem obrade je pouzdan.

Literatura:

/1/ J.Stanić: Metod inženjerskog me renja, MF Beograd, 1981.god.

/2/ S.Hadživuković, Privredni Preg leg, Beograd, 1977g.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GOD.

Z. Nikić, S. Radonjić *

IDENTIFIKACIJA PROCESA PROSIRIVANJA PROLAZNIH OTVORA

R e z i m e

Na osnovu sistematskih istraživanja došlo se do podataka, kojih je veoma malo u literaturi, o obliku i zakonitostima razvoja triboloških procesa na reznim elementima cilindričnih proširivača.

Posebno je obraćena pažnja na relaciju pomenutih procesa i elemenata režima obrade (brzina, korak).

THE IDENTIFICATION OF THE COUNTERSINKING PROCESS OF CYLINDRICAL HOLES

S u m m a r y

One's own researching results of the subject-matter treatment process are given in this work. A particular attention is paid to the identification and the development of the tribological processes of the countersinking.

1. Uvod

Proces proširivanja je veoma malo proučen i touda je mali broj podataka u literaturi.

Radeći na problemu proučavanja alata za obradu otvora u okviru naučno istraživačkih projekata finansiranih od OZNR Kraljevo i FRA Čačak, posebna pažnja je posvećena istraživanjima procesa proširivanja. Ova istraživanja imaju dvojaku namenu: da se na osnovu eksperimentalnih podataka identifikuje proces proširivanja (tribologija, mehanika i termodinamika proširivanja) i da se na osnovu dobijenih rezultata, koristeći podatke iz drugih vrsta obrade rupe, dodje, eventualno, do novih karakteristika ovog procesa obrade.

U ovom radu se prezentira samo deo istraživanja (s obzirom na predvidjeni prostor za izlaganje) koji se

* Dr Zoran Nikić, dipl.ing., vanredni profesor Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, Cara Dušana 34

Snežana Radonjić, dipl.ing., predavač v.š. Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, Cara Dušana 34

odnose na identifikaciju triboloških procesa proširivanja prolaznih otvora.

2. Tribološki procesi u obradi proširivanjem

2.1. Metodologija i uslovi ispitivanja

Ispitivanje razvoja triboloških procesa su izvodjena u radioničkim uslovima, pri čemu su korišćeni alati iz redovne serijske proizvodnje FRA Čačak, a koji su bili podvrgnuti redovnom postupku kontrole.
Prvi deo ispitivanja je izveden sa namerom da se definiše slika habanja na reznim elementima proširivača i odabere parametar habanja.
Drugi deo ispitivanja je izveden sa namerom definisanja zakonitosti promene habanja u funkciji koraka i brzine rezanja.
Deo rezultata ispitivanja mehanike procesa proširivanja je referisan u radu [1].
Ispitivanja uticaja velikih brzina rezanja na proces proširivanja su izvodjena po istom principu, i s obzirom da su u tesnoj vezi sa geometrijom alata, zahtevaju za izlaganje posebno mesto. U sve dijagrame unete su srednje vrednosti većeg broja ponovljenih eksperimenata.
Za ispitivanje je korišćen konstrukcioni čelik Č. 1431 u poboljšanom stanju, zatezne čvrstoće 75 kN/cm^2.
Alat: standardni cilindrični proširivači prečnika Ø 10; 11,5; 13; 14,5 i 18,3 mm. Proizvodjač: FRA - Čačak. Materijal alata: Č. 7680.
Tvrdoća reznog dela alata: 63-65 HRC. Geometrija alata: ugao ulaznog konusa φ = 118 °, ledjni ugao α = 8 ° (± 2°) i ugao uspona spirale ω = 20 °.
Obrada je vršena na radijalnoj bušilici M55 - SSSR, uz korišćenje sredstava za hladjenje i podmazivanje (emulzija 1:10), protok Q = 6 lit/min.

2.2. Rezultati eksperimenata

Klasičan oblik habanja reznih elemenata zuba proširivača (ledjne i grudne površine) dat je na slici 2.1.1. i 2.1.2.

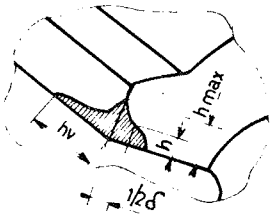


Sl. 2.1.1. Slika habanja ledjne površine zuba



Sl. 2.1.2. Slika habanja grudne površine zuba

Na osnovu većeg broja snimaka došlo se do slike habanja sl. 2.1.3.

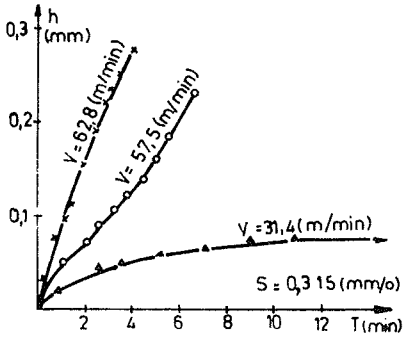


Sl. 2.1.3. Habanje površine zuba proširivača sa parametrima

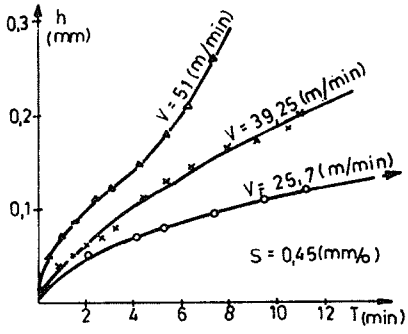
Kao parametar habanja je usvojena širina pojasa habanja (h) na rastojanju polovine dubine rezanja od vrha reznog klina.

Koristeći uobičajene vrednosti za korak i uzimajući dubinu rezanja δ = 1,5 mm (po prečniku otvora), a varirajući brzine rezanja sledećim redosledom: V = 25,7; 31,4; 36,2; 39,25; 51; 57,5 i 62,8 m/min dobijene su krive habanja.

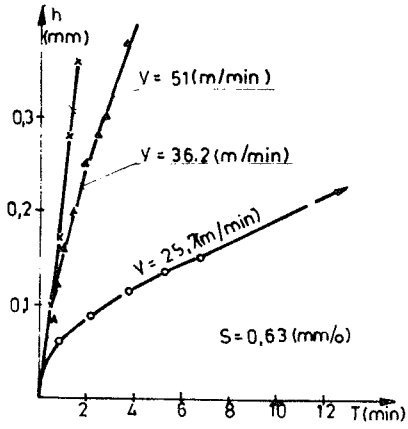
Na slici 2.1.4., 2.1.5. i 2.1.6. dat je razvoj procesa habanja u funkciji od brzine rezanja za tri različita koraka.



Sl. 2.1.4. Krive habanja za korak S = 0,315 mm/o

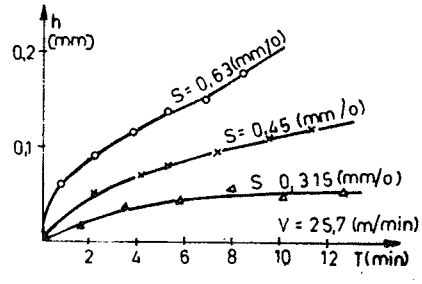


Sl. 2.1.5. Krive habanja za korak S = 0,45 mm/o



Sl. 2.1.6. Krive habanja za korak S = 0,63 mm/o

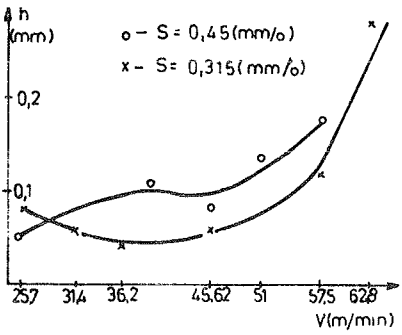
Na slici 2.1.7. dat je razvoj procesa habanja u funkciji od koraka.



Sl. 2.1.7. Krive habanja u funkciji koraka

Ispitijući uticaj brzine rezanja na razvoj procesa habanja pri raz-

ličitim koracima dobijena je h-V zakonitost za T = 4 min, sl. 2.1.8.



Sl. 2.1.8. Zakonitost promene h=f (v)

Triboloski procesi na reznim elementima proširivača se manifestuju habanjem po grudnoj i ledjnoj površini u obliku pojasa habanja.
Za parametre habanja je najpogodnije uzeti veličinu širine pojasa habanja (h), kako je to objašnjeno u tekstu.
Na razvoj procesa habanja u velikoj meri utiče korak, sa njegovim povećanjem raste i intezitet habanja.
Habanje u opštem slučaju nije monotona funkcija brzine rezanja.
Važna determinanta pri definisanju ove zavisnosti je korak.
Dalja istraživanja treba da daju potpuniji odgovor na vezu izmedju brzine rezanja i habanja pri odgovarajućoj geometriji proširivača.

4. Literatura

[1] Nikić Z., Miloševi R., Deformacione zone pri završnoj obradi otvora, Zbornik XIV savetovanja proizvodnog mašinstva, Čačak, 1980.
[2] Nikić Z., Identifikacija triboloških procesa pri urezivanju navoja, Doktorska teza, Kragujevac, 1979.
[3] Grupa autora, Razvoj proizvodnje reznog alata i savremenih tehnoloških postupaka u obradi metala rezanjem, Naučno istraživački projekat, Čačak, 1979-82.
[4] Krist T., werkstatt-tabellen, Für die metall i industrie fachbuchverlag Leipzig, 1958.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR 1982.GOD.

Koviljka Premović *

JEDAN PRIMER PRIMENE ANALITIČKIH KORELACIJA ZA IDENTIFIKACIJU NAPONSKIH STANJA U ALATIMA ZA UREZIVANJE NAVOJA

R e z i m e

U radu se izlaže deo rezultata istraživanja procesa urezivanja navoja sa stanovišta pojave naponskih stanja u preseku na ulaznom delu ureznika u procesu rada.Savremenim računskim metodama dobijaju se veličine komponenata tenzora napona,nastalih od komponenata otpora rezanja i momenta uvijanja Mt.

ONE EXAMPLE OF ANALYCAL CORRELATION APPLICATION FOR THE IDENTIFICATION OF THE STATE OF STRESS AT TOOLS FOR TAPING THREADS

S u m m a r y

In this work some researching results of the process of tapping threads are presented from the stress appearance standpoint at the cross section incoming part of the taps during the operation.Tensor stress component magnitudes are obtained by modern computing methods,they are produced by the components of the resistance to the cutting and the torsion momentum Mt.

1.Uvod

U današnje vreme moćne kompjuterske tehnike,numeričke metode za rešavanje problema primenjene mehanike neprekidnih sredina nalaze sve više svoje mesto u savremenim tehničkim problemima.

Pogodnost ovih metoda je naročito izražena u problemima gde složenost matematičkog aparata onemogućava primenu analitičkih metoda.

Zahvaljujući brzini računanja kompjutera mogu se ostvariti u relativno kratkom vremenu veliki broj računskih operacija, pa ovakav prilaz omogućava rešavanje vrlo složenih inžinjerskih problema,što je do skora bilo nedostižno.

Današnja prisutnost intezivnog uvođenja automatizacije pri obradi metala u proizvodnji postavlja i nove zahteve u vezi sa alatima za urezivanje navoja.Pooštreni režimi rada zahtevaju i visoku pouzdanost alata.

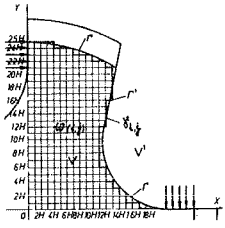
Dr Koviljka Premović,dipl.ing.profesor,Pedagoško tehnički fakultet,Čačak

2.Uticaj opterećenja na naponska stanja ureznika

Ureznik kao složeni alat sa više ravni rezanja,pretstavlja nezamenljivi alat,čiji oblik treba još uvek usavršavati.

U toku ovih istraživanja, analiza opterećenja ureznika vršena je u dva pravca: opterećenje na uvijanje koje je izazvano momentom Mt i opterećenje na savijanje koje stvaraju komponente otpora rezanja(sila F delimično raspoređena po grudnoj površini alata).

Obzirom da je do sada proučen problem naponskih stanja na alatima,koje stvaraju momenti uvijanja,to je ovo istraživanje išlo u pravcu iznalaženja naponskih stanja koje stvaraju pomenute sile.Pošlo se od toga da se odrede komponente tenzora napona nastalih od sila F, pod pretpostavkom da su vrednosti ovih sila ravnomerno raspoređene na jednom delu grudne površine alata.Sl.1



Sl.Presek alata na kome je izveden proračun

Da bi se došlo do traženih veličina komponenata tenzora napona usled savijanja ($\sigma x, \sigma y, \tau xy$),neophodno je naći rešenje Poisson-ove jednačine $\Delta \varphi = C$ u oblasti V sa graničnim uslovima $\varphi_{/\Gamma} = 0$ (φ naponska funkcija) i naći rešenje Biharmonijske jednačine $\Delta^2 \phi = 0$,takođe u oblasti V sa određenim graničnim uslovima.

Za rešavanje pomenutih jednačina korišćena je metoda varijacija razlika,gde je za dobijanje minimuma date funkcije,uz korišćenje određenih graničnih uslova,tkzv. minimiziranje funkcionala,uzeta u rad Ritzova i Bubnov-Galerkin-ova variaciona metoda.

Funkcija φ aproksimirana je funkcionalom: $I(\varphi) = \frac{1}{2}\int_V (grad\,\varphi)\,dV - C\int_V \varphi\, dV$ koji se preko kvadratnih formi može dalje aproksimirati,pa se u krajnjem dobijaju vrednosti funkcije φ u pojedinim tačkama mreže.

Rešenje Biharmonijske jednačine $\Delta^2 \phi = 0$ u oblasti V ,može se potražiti preko pomeranja: u , v , w , koje treba birati imajući u vidu složeno kretanje ureznika(obrtanje i aksijalno pomeranje).

Tenzori deformacije moraju biti izraženi preko pomeranja u,v,w,u vidu jednačina:

$$\sigma_{xx} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{zz}$$

$$\sigma_{yy} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{yy} + \lambda\varepsilon_{xx} + \lambda\varepsilon_{zz}$$

$$\tau_{xy} = 2\mu\varepsilon_{xy} \qquad \tau_{yz} = 2\mu\varepsilon_{yz}$$

$$\tau_{xz} = 2\mu\varepsilon_{xz}$$

Na ovaj način se umesto rešavanja biharmonijske jednačine(čije se brojne vrednosti vrlo teško realizuju na računaru)rešava Lameova jednačina,koja aproksimira biharmonijsku jednačinu.Lameove jednačine za ovakav slučaj opterećenja i način kretanja imaju sledeći oblik:

$$(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\mu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+(\lambda+\mu)\frac{\partial^2 v}{\partial x\partial y}+\frac{\partial \varphi}{\partial x}=0$$

$$(\lambda+2\mu)\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\mu\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+(\lambda+\mu)\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial y}-\frac{\partial \varphi}{\partial x}=0$$

Granični uslovi imaju oblik:

$$\sigma_x(u,v)l+\tau_{xy}(u,v)m=\overline{X}$$

$$\sigma_y(u,v)m+\tau_{xy}(u,v)l=\overline{Y}$$

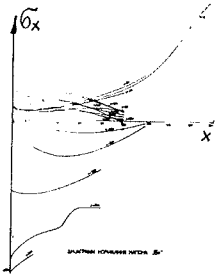
Koristeći metodu razlike varijacija mogu se naći rešenja Lameovih jednačina,pošto se prethodno izvrši minimiziranje funkcionala:

$$J(\vec{U})=\frac{1}{2}\int_V \sigma_{ij}(\vec{U})\varepsilon_{ij}(\vec{U})dV$$

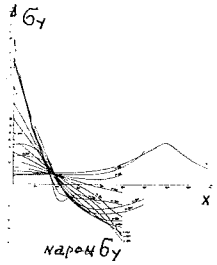
Realizujući program na računaru, dobijaju se komponente napona σ_x, σ_y, τ_{xy},čije su vrednosti pretstavljene na dijagramima Sl.2,Sl.3, Sl.4,na kojima se uočava raspored napona po poprečnom preseku alata kao i kritična mesta sa stanovišta maksimalnih napona nastalih od pomenutih opterećenja.

U detaljnim izučavanjima ove problematike,može se uzeti da je učešće ovih napona u ukupnoj naponskoj slici procentualno izraženo do 20%. Koncetracija naponskih linija na preseku alata ukazuje na potrebu konstruktivnih izmena žljeba ureznika što bi bio posao multidisciplinarnih izučavanja.

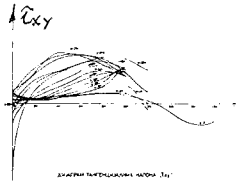
U svakom slučaju otvoren je vrlo interesantan put za kompleksna izučavanja naponskih stanja na alatima o čemu danas postoji vrlo malo radova.



Sl.2dijagram normalnih naponaσ_x



Sl.3 dijagram normalnih naponaσ_y



Sl.4 dijagram tangencijalnih napona τ_{xy}

3. Zaključci

Izvedeni račun ukazuje na neophodnost kompleksnog sagledavanja problema naponskih stanja na alatima za urezivanje navoja.Dobijena rešenja mogu se uporediti sa rešenjima dobijenim nekom od savremenih meto-

da ,npr.foto elastičnosti,termovizi je,holografskom,ili nekom drugom.

4.Literatura

[1.] Premović K. Uticaj bočnih opterećenja na naponska stanja alata oblika mašinskog urezni ka. Doktorska teza, Čačak 1981.

[2.] Timošenko S. Gudijer N. Teorija elasti- čnosti

[3.] Samarski A. Teoria raznost nih shem. Moskva 1977

[4.] Grupa autora. Razvoj proizvo- dnje reznog ala ta i savremenih tehnoloških po stupaka u obradi metala rezanjem "Naučno istraži vački projekat, Čačak 1979-1982

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GODINE

B. Popović, N. Validžija, B. Kamberović*)

REGRESIONA ANALIZA OBRADE T ŽLJEBA

R e z i m e

Pri glodanju T žljeba malog profila, u radnoj organizaciji "Meba" Zagreb, javljali su se problemi loše obradivosti, krzanja zubaca i lomova glodala. Izvodeći eksperimentalna ispitivanja provedena je regresiona analiza koja je omogućila znatno poboljšanje procesa obrade. Dobijeni rezultati ukazali su na potrebu reorganizacije izlazne kontrole što je omogućilo pouzdaniji kvalitet reznog alata.

REGRESSION ANALYSIS OF T-GROOVE CUTTING

S u m m a r y

While milling T-grooves of small cross section in "MEBA" - Zagreb association - problems emerged because of bad metal cutting, of cutter wear tooth and of milling cutters cracking. During experimental investigations, regression analysis was used, which led to considerable improvements in the cutting process. The results obtained pointed to the need for reorganization of quality control at the tool factory to give more reliable quality of cutting tools.

1. Uvodna razmatranja

Radna organizacija "Jugoalat" iz Novog Sada proizvodi danas oko 25% domaćeg reznog alata. Godišnje se ovde obradi oko 650 t brzoreznog čelika u različite alate i pribore: 52% glodala, 14% strugarskih noževa, 9% specijalnih alata, 7% steznih čaura, 7% razvrtača, 4% provlakača, 3% trnova, 3% glodačkih glava i 1% šiljaka i držača. Veliki deo proizvodnje se izvozi i beleži se stalni napredak.

Uočavajući važnost kvaliteta proizvoda u "Jugoalatu" se ulažu napori za poboljšanje dostignutog nivoa. U saradnji sa Institutom za industrijske sisteme reorganizovana je Tennička kontrola sa novim sistemom upravljanja kvalitetom |4|.

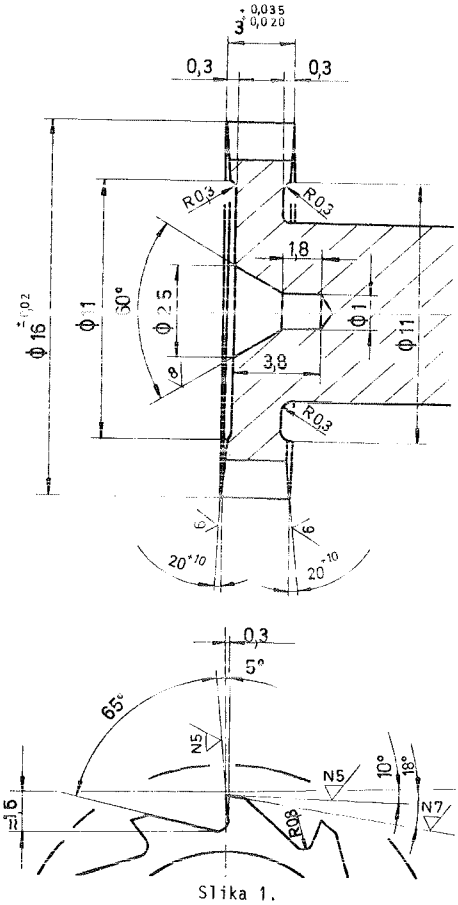
U ovom saopštenju daje se prikaz primenjene regresione analize kod obrade T žljeba sa glodalom koje nije imalo potreban kvalitet. Posle provodjenja eksperimentalnih ispitivanja i obrade podataka dobijeni su rezultati koji su omogućili donošenje potrebnih zaključaka |2|.

2. Problemi obrade T žljebova

U radnoj organizaciji "Meba" - Zagreb obradjuju se T žljebovi 16x3 mm u materijalu Č.4770 Izabran je najpovoljniji režim obrade n = 560 o/min. s = 50 mm/min i koristi se pogodno sredstvo za hladjenje i podmazivanje.

*)Dr Branko Popović, dipl.ing., vanredni profesor i Bato Kamberović, dipl.ing. asistent Univerziteta u Novom Sadu i Nikola Validžija, dipl.ing., direktor RZ Istraživanje i razvoj RO "Jugoalat" - Novi Sad.

Konstruisano je posebno glodalo koje je posle usavršavanja dobilo konačni oblik prema slici 1.



Slika 1.

Glodalo ima 12 zubaca sa uglovima rezanja $\gamma = 5^0$ i $\alpha = 18^0$ dok površinska hrapavost grudne i ledjne površine iznosi $R_{a\gamma}$=0,4 μm i $R_{a\alpha}$=0,8 μm. Centričnost obezbedjuje Morse-kanus a vezivanje navoj M8. Glodalo se izradjuje od kobaltnog brzoreznog čelika i treba da ima tvrdoću HRC = 68...70.

U proizvodnji se javljaju sledeći problemi sa ovim glodalom: 1. česti lomovi sa većom potrošnjom glodala, 2. mala postojanost jednog broja glodala, 3. nestabilnost procesa obrade koja zahteva intenzivni nadzor, 4. krzanje zubaca glodala i 5. brzo zatupljenje sečiva. Kvalitet ovog proizvoda nije, dakle, stalan iako je zadovoljio u Tehničkoj kontroli pa se moraju da pronadju potrebna rešenja.

3. Eksperimentalna ispitivanja

Uočavajući karakteristike ovog problema izdvojen je u "Jugoalatu" uzorak od 60 glodala izradjenih od istog materijala i u istom proizvodnom procesu. Na svakom glodalu su izmerene sledeće veličine:

1. $\Delta\alpha$ max (μm) odstupanje maksimalnog spoljnjeg prečnika,
2. $\Delta\alpha$ min (μm) odstupanje minimalnog spoljnjeg prečnika,
3. ΔB max (μm) odstupanje maksimalne širine,
4. ΔB min (μm) odstupanje minimalne širine,
5. $\Delta\varepsilon_u$ (μm) odstupanje unutrašnje bočne površine,
6. $\Delta\varepsilon_s$ (μm) odstupanje spoljnje bočne površine,
7. A_r (μm) radijalna izbočenost drške,
8. $\bar{\gamma}$ (^{o}) prosek grudnih uglova zubaca,
9. $\bar{\alpha}$ (^{o}) prosek ledjnih uglova zubaca,
10. γ_{min} (^{o}) minimalni grudni ugao,
11. γ_{max} (^{o}) maksimalni grudni ugao
12. α_{min} (^{o}) minimalni ledjni ugao,
13. α_{max} (^{o}) maksimalni ledjni ugao,
14. A_r (μm) radijalno izbočenje zubaca
15. A_{as} (μm) spoljnje aksijalno izbočenje,
16. A_{au} (μm) unutrašnje aksijalno izbočenje
17. $R_{a\gamma}$ (μm) hrapavost grudne površine,
18. $R_{a\alpha}$ (μm) hrapavost ledjne površine,
19. HV_{max} maksimalna tvrdoća, i
20. HV_{min} minimalna tvrdoća.

Posle isporuke usledili su eksperimenti u obradi pri čemu su obezbedjeni idealni uslovi ispitivanja. Utvrdjena je postojanost svakog glodala, pa je dobijena i nova veličina: T (kom) postojanost glodala.

Empirijski raspored postojanosti glodala prikazan je histogramom na slici 2. gde su upisani i redni brojevi pojedinih glodala.

4. Obrada podataka

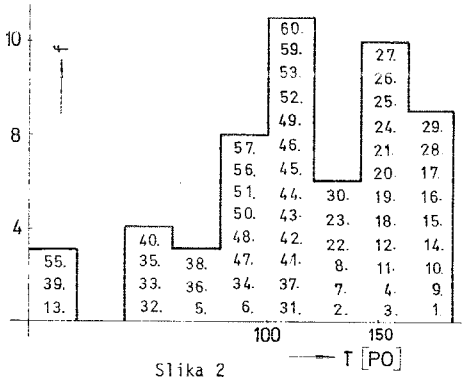
Obrada dobijenih podataka iz eksperimenata obuhvatila je proveru rasporeda izračunavanje višestruke linearne regresije i korelacije |1|. Dobijeni su sledeći parametri centralne tendencije, momenti i koeficijenti:

$\bar{T}$ = 114,827 m_4 = 9100199,098

m_2 = 1797,384 β_1 = 0,65442 (1)

m_3 = - 49867,727 β_2 = 2,93553 i

$s_T = \sqrt{m_2} = 42,395$ (2)



Slika 2

Kako je $\beta_1 \sim 0$ i $\beta_2 \sim 3$ može se pokušati provera sa normalnim rasporedom. Zato se prvo izračunavaju kumulativne verovatnoće $P(a_\nu - \bar{T}/s_T)$ prema tablici na slici 3, a zatim i teorijske frekvencije f_ν^t kao i izraz χ^2 prema tablici na slici 4.

Broj stepeni slobode iznosi: v=r-s-1= =6-2-1=3 gde su: r=6, broj frekvencija većih od 5 i s=2 broj nepoznatih parametara osnovnog skupa ocenjenih na osnovu uzorka. Postavljajući hipotezu H_0 za koju je:

$$P\{\chi^2 > \chi^2_{0,025;v}\} = 0,025 \qquad (3)$$

iz tablica dobija se prag značajnosti $\chi^2_{0,025;3}$=9,348. Dakle, postavljena hipoteza H_0: $N(M,\sigma)$ se prihvata zbog 8,303<9,348.

a_ν	$a_\nu-\bar{T}$	$\frac{a_\nu-T}{s_T}$	$P(\frac{a_\nu-T}{s_T})$
0	$-\infty$	$-\infty$	0,0
20	-94,827	-2,236	0,012
40	-74,827	-1,764	0,038
60	-54,827	-1,293	0,098
80	-34,827	-0,821	0,205
100	-14,827	-0,349	0,363
120	5,173	0,122	0,548
140	25,173	0,593	0,723
160	45,173	1,065	0,856
180	$+\infty$	$+\infty$	1,0

Slika 3.

Verovatnoća za postojanost glodala u blizini proseka iznosi:

ν	p_ν^t	$n.p_\nu^t$	f_ν	$f_\nu-f_\nu^t$	$\frac{(f_\nu-f_\nu^t)^2}{f_\nu^t}$
1	0,012-0 =0,012	0,696	3		0,300
2	0,038-0,012=0,026	1,508	0		
3	0,098-0,038=0,060	3,480	4	-1,89	0,300
4	0,205-0,098=0,107	6,206	3		
5	0,363-0,205=0,158	9,164	8	-1,164	0,147
6.	0,548-0,363=0,185	10,73	15	4,27	1,699
7.	0,723-0,548=0,175	10,15	4	-6,15	3,726
8.	0,856-0,723=0,133	7,714	12	4,286	2,381
9.	1 -0,856=0,144	8,352	9	0,648	0,050
					χ^2 = 8,303

Slika 4.

$$(u_1) = \frac{100-114,827}{42,395} = -0,34973 \qquad (4)$$

$$(u_2) = \frac{130-114,827}{42,395} = 0,35789 \qquad (5)$$

$$P(u_1) = 0,36327 \qquad (6)$$

$$P(u_2) = 0,63978 - 0,5 = 0,13978 \qquad (7)$$

$$P(100<T \leq 130)=P(u_1)+P(u_2) = 0,50305 \qquad (8)$$

Dobijen je koeficijent višestruke korelacije $R_{T,\Delta d_{max},\Delta d_{min},\ldots,HV_{min}}$=0,846 što omogućava valjanost zaključaka u jakoj medjusobnoj zavisnosti.

Dobijena je višestruka regresivna funkcija o obliku:

$$\begin{aligned} T = 126,829 &-0,436\,\Delta d_{max} +1,049\,\Delta d_{min} + \\ &+1,816\,\Delta B_{max} +0,493\,\Delta B_{min} + \\ &+3,022\,\Delta\varepsilon_u -0,619\,\Delta\varepsilon_s - \\ &-1,266\,A_r +10,346\,\bar{\gamma} - \\ &-3,959\,\bar{\alpha} +0,361\,\gamma_{min} - \\ &-14,105\,\gamma_{max} -4,456\,\alpha_{min} - \\ &-1,454\,\alpha_{max} -1,763\,A_r + \\ &+3,080\,A_{as} +1,783\,A_{au} + \\ &+0,001\,R_{a\gamma} -10,597\,R_{a\alpha} - \\ &-1,564\,HV_{max} +1,921\,HV_{min} \end{aligned} \qquad (9)$$

koji omogućava prognozu postojanosti novih glodala, samo na osnovu merenja karakterističnih veličina:

Pored ove višestruke korelacije dobijeni su i sledeći značajniji koeficijenti jednostrukih korelacija:

$$r_{T,\bar{\alpha}} = -0,710 \qquad (10)$$

$$r_{T,\alpha_{min}} = -0,690 \quad (11)$$

$$r_{T,\Delta B_{max}} = 0,677 \quad (12)$$

$$r_{T,\Delta\varepsilon_u} = 0,644 \quad (13)$$

$$r_{T,\Delta B_{min}} = 0,632 \quad (14)$$

$$r_{T,\alpha_{max}} = -0,606 \quad (15)$$

5. Analiza dobijenih rezultata

Dobijeni rezultati omogućavaju analiziranje procesa glodanja. Višestruka regresiona funkcija omogućava provodjenje periodične kontrole kvaliteta glodala u Izlaznoj kontroli preko merenja karakterističnih veličina. Uvrštavajući izmerene vrednosti u ovu funkciju dobija se vrednost ukupnog kvaliteta glodala u odredjenim vremenskim razmacima.

Jednostruke korelacije omogućavaju uočavanje regresivnog uticaja ledjnog ugla ($\bar{\alpha}$, α_{min}, α_{max}) na postojanost što ukazuje na potrebu strože kontrole ovog ugla kao i smanjenja gornje granice njegovog odstupanja. Uočava se takodje i progresivni uticaj širine glodala (ΔB_{max}, ΔB_{min}) na postojanost što ukazuje na potrebu stroge kontrole ove širine.

Analiza upućuje i na potrebu sagledavanja problema kontrole kvaliteta alata |3||5||6|.

6. Zaključak

Razmatrajući probleme eksploatacije glodala primenjena je regresiona i korelaciona analiza sa eksperimentalnim ispitivanjem. Obradjen je reprezentativni uzorak kod koga je utvrdjeno da se njegov raspored može poistovetiti sa normalnim rasporedom. Izračunati su jednostruki i višestruki koeficijenti korelacije i dobijena je višestruka regresiona funkcija. Koristeći dobijene rezultate nadjene su greške u proizvodnji i propisan je postupak njihovog izbegavanja.

Uočavajući probleme kontrole kvaliteta alata i mogućnosti regresione analize razmatran je i sistem upravljanja kvalitetom. Predloženi sistem ima propisane akcije svake organizacione jedinice čime se obezbedjuje i primenljivost u praksi.

LITERATURA

|1| B.Popović, M.Janković: The Function og Multiple Correlation in Quality Control, Proceedings of 6th ISIP, FCIP, Bled (1970) F4,4, 1-8.

|2| B.Popović, S. Grujin: Istraživanje sistema upravljanja kvalitetom, Zbornik radova PPS'77, Novi Sad (1977) 221-234.

|3| B.Popović, B. Kamberović: Kompleksna kontrola kvaliteta reznog alata, Zbornik radova XIV Jugoslovenskog savetovanja o kvalitetu, Priština (1980) 1-11.

|4| B.Popović, B.Kamberović i drugi: Unapredjenje metoda za merenje i upravljanje kvalitetom proizvoda, Elaborat Instituta za industrijske sisteme, Novi Sad (1980) I,II,III.

|5| B. Popović, S. Vlahović, B. Kamberović: Karakteristike kvaliteta reznog alata, Zbornik radova XIV Savetovanje proizvodnog mašinstva, Čačak (1980) II, 336-347.

|6| B.Popović, N.Validžija,M.Pavlović: Pristup projektovanju sistema za kontrolu kvaliteta u proizvodnji reznog alata, Zbornik radova PPS'80, FTN, Novi Sad (1980) 553-565.

SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Vlado Prusina *)

PRILOG ANALIZI UTICAJA REŽIMA OBRADE NA VELIČINE SA KOJIMA SE IDENTIFIKUJE TAČNOST IZRADE ZUPČANIKA

R e z i m e

Sve veća racionalizacija postupka obrade zupčanika odvalnim glodanjem nameće potrebu proučavanja 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.

CONTRIBUTION À L'ANALYSE DE L'INFLUENCE DES RÉGIMES DE L'USINAGE SUR LES VALEURS AVEC LESQUELLES ON FAIT INDENTIFICATION DE LA PRECISION DE L'USINAGE DES ROUES DENTÉES

R é s u m é

La rationálisation de plus en plus grande du procédé de l'usinage des roues dentées par le fraisage hélicoidal impose la nécessité de l'étude de l'influence comme aussi du rapport du régime de l'usinage avec les indicateurs de la précision de l'exéecution d'une roue dentée.
Dans le présent rapport on a démontré l'interdépendance des régimes de l'usinage et de certains indicateurs de la précision de l'exécution d'une roue dentée, et cette interdépendance est obtenue au moyen d'un traitement mathématique de données expérimentales et elle est interprétée sur les diagrammes.

1. Uvod

Glavni zadatak glodanja zupčanika je izučavanje izvora grešaka, koje nastaju pri izradi zupčanika i potpunog odstranjivanja ili djelimičnog dejstva izvora grešaka do dopuštenih vrijednosti. To nameće potrebu izučavanja dejstva svih mogućih izvora grešaka. Greške izrade je neophodno izučiti sa komplektnim pokazateljima tačnosti izrade zupčanika.

U mnoštvu drugih izvora 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, kakva se zahtjeva u savremenoj serijskoj proizvodnji. Ovom zahtjevu bi se u znatnoj mjeri udovoljilo primjenom optimalnih režima obrade.

Pri projektovanju režima obrade pred tehnologom stoji veoma važan zadatak da poštujući uslove i ograničenja koja su specifična za svako radno mjesto ili grupu radnih mjesta, pronađe optimalna rješenja koja će omogućiti

*) Mr Vlado Prusina, dipl.ing. asistent Mašinskog fakulteta u Mostaru, Predraga Vasića 3, 79 000 Mostar

proizvodnju uz minimalne troškove.

Da bi ovaj zadatak tehnolog mogao ispuniti, što uspješnije, mora da ima sve potrebne podatke o uslovima obrade. Mora da ima, između ostalog, i matematske modele pomoću kojih je data ovisnost režima obrade i tačnosti izrade.

U ovom radu daju se matematske ovisnosti režima obrade i pokazatelja: mjere preko zubi i radijalnog bacanja.

2. Metodologija i uslovi izvođenja eksperimenta

Cilj eksperimenta je definisanje matematskih modela za veličinu mjere preko zubi i radijalnog bacanja kod zupčanika. Modeli od kojih sam pošao su:

za mjeru preko zubi

$$W = C_w v^{x_w} s^{y_w} \quad [mm] ,$$

za radijalno bacanje

$$A_r = C_r v^{x_r} s^{y_r} \quad [\mu m]$$

2.1. Metod ispitivanja

Za definisanje izraza za mjeru preko zubi i radijalnog bacanja sa kojima se identifikuje tačnost izrade zupčanika korišten je eksperimentalno-analitički metod utvrđivanja matematskih modela, koji bazira na višefaktornom planu eksperimenta tipa

$$N = 2^k + n_o$$

k = 2 - broj promjenjivih u matematskom modelu, v i s ; n_o = 4 - broj ponovljenih eksperimenata; N = 8 u - kupan broj eksperimenata.

Podaci dobiveni eksperimentom dati su u tabelama T-1 i T-2.

Matematska obrada podataka eksperimenta izvedena je pomoću metode najmanjih kvadrata.

Nakon kodiranja određeni su koeficijenti regresije pomoću jednačina:

$$b_i = \frac{\sum_{q=1}^{N} X_{iq} y_{iq}}{N}$$

gdje su:

b_i - koeficijenti regresije; N - broj eksperimenata, X_{iq} - kodirane vrijednosti promjenjivih, y_{iq} - izlazne veličine dobivene eksperimentom.

Efekat značajnosti provjeren je primjenom jednačine

$$S^2(b) = \frac{S^2(y)}{f}$$

f - broj stepeni slobode

Neophodno je da bude zadovoljen slijedeći uslov

$$|b| > t\, S(b)$$

t - tablična vrijednost parametra distribucije Studenta za dati broj stepeni slobode t_t = f - 1 i stepen pouzdanosti P = 1 - .

Adekvatnost modela provjerena je primjenom kriterija Fisher-a:

$$F = \frac{S^2_{ad}}{S^2(y)}$$

pri čemu se S_{ad} računa prema obrascu

Tabela T-1

Br. eks.	Plan eksperimenta					Rezultati mjerenja				
	v	s	Kodovi			W [mm]				
	[m/min]	[mm/o]	X_o	X_1	X_2	y1= W1	y2=W2	y3=W3	$\bar{y} = \bar{W}$	$\ln \bar{W} = y_n$
1	31,45	2,5	+1	+1	+1	50,846	50,840	50,840	50,842	3,92872
2	25,132	1,7	+1	0	0	50,810	50,822	50,805	50,812	3,92814
3	31,415	1,0	+1	+1	-1	50,805	50,805	50,800	50,803	3,92796
4	25,132	1,7	+1	0	0	50,810	50,815	50,815	50,813	3,92816
5	25,132	1,7	+1	0	0	50,815	50,832	50,820	50,822	3,92834
6	20,106	2,5	+1	-1	+1	50,840	50,860	50,860	50,853	3,92895
7	20,106	1,0	+1	-1	-1	50,854	50,854	50,846	50,851	3,92891
8	25,132	1,7	+1	0	0	50,825	50,826	50,825	50,825	3,92830

Tabela T-2

Br. eks.	Plan eksperimenta					Rezultati mjerenja				
	v	s	Kodovi			Ar [μm]				
	[m/min]	[mm/o]	X_o	X_1	X_2	$y_1=Ar_1$	$y_2=Ar_2$	$y_3=Ar_3$	$\bar{y}=\bar{Ar}$	ln Ar = yn
1	31,415	2,5	+1	+1	+1	120	110	115	115	4,74493
2	25,132	1,7	+1	0	0	60	55	65	60	4,09434
3	31,415	1,0	+1	+1	-1	55	60	72	62,33	4,13250
4	25,132	1,7	+1	0	0	65	58	55	59,33	4,08317
5	25,132	1,7	+1	0	0	82	55	74	70,33	4,25325
6	20,106	2,5	+1	-1	+1	62	62	78	67,33	4,20966
7	20,106	1,0	+1	-1	-1	26	28	28	27,33	3,30811
8	25,132	1,7	+1	0	0	65	72	78	71,67	4,27203

$$S^2_{ad} = \frac{\sum_{q=1}^{N} (y_q - y_{qp})}{f_1}$$

f_1 = N - k - broj stepeni slobode,
y_q - veličine dobivene opitom,
y_{qp} - veličine izračunate po obrascu.

$$S^2(y) = \frac{\sum_{q=1}^{N} (y_i - \bar{y}_i)}{f_2}$$

gdje su:
y_i - vrijednosti dobivene eksperimentalno pri i-tom mjerenju m puta, $\bar{y}_i$ - srednja vrijednost, $f_2 = m - 1$ broj stepeni slobode za $S^2(y)$.
Pri tome model će biti adekvatan ako je ispunjen uslov $F < F_t$, gdje je F_t - tablična vrijednost koja odgovara stepenu pouzdanosti P = 0,95 i α stepenima slobode f_1 i f_2.

Tehnika izvođenja eksperimenta zasniva se na obradi zupčanika sa odgovarajućim režimima, a potom mjerenja posmatrane veličine.

2.2. Uslovi obrade

- Predmet obrade

Materijal predmeta obrade je Č.1530. Pripremak - otkovak odgovarajuće pripremljen za ozubljenje.

- Alat

Korišteno je odvalno glodalo: modul m = 3 mm, vanjski prečnik D = 80 mm, broj početaka g = 1, grudni ugao $\gamma = 0^o$, materijal - brzorezni čelik, proizvođač "Jugoalat" 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 EP proizvodnje INA Zagreb.

3. Prikaz dobivenih rezultata

Uz korištenje navedene matematske obrade podataka eksperimenta došlo se do izraza za mjeru preko zubi

$$W = 51,035\ v^{-0,00132}\ s^{0,00044}\ [mm]$$

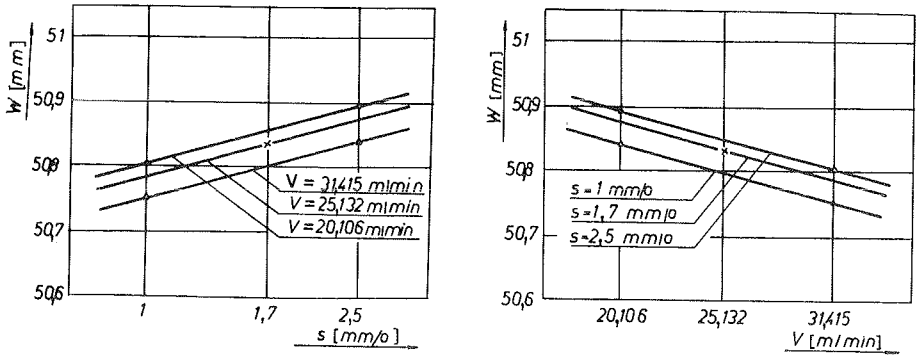
i do izraza za radijalno bacanje

$$A_r = 0,30822\ v^{1,51255}\ s^{0,82092}\ [\mu m]$$

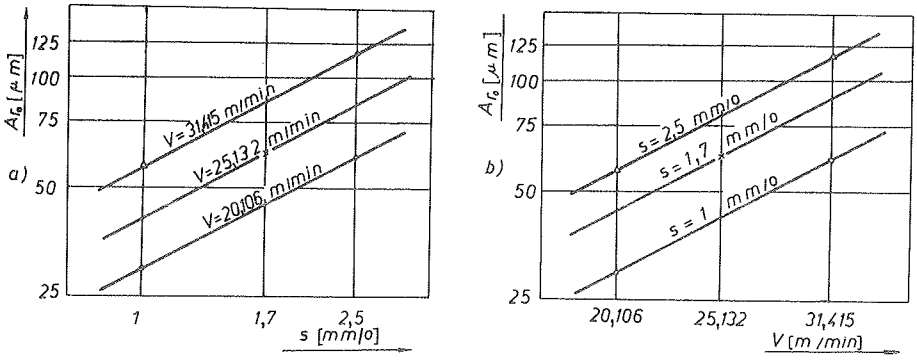
Na osnovu gore navedenih izraza sačinjeni su dijagrami zavisnosti mjere preko zubi i radijalnog bacanja od režima obrade slika 1. i slika 2.

4. Zaključak

Na osnovu ispitivanja prikazanih u radu moguće je zaključiti da režimi obrade imaju uticaja na pokazatelje tačnosti pri izradi zupčanika odvalnim glodanjem.



Sl. 1. Dijagram zavisnosti mjere preko zubi od:
a) pomaka
b) brzine rezanja



Sl. 2. Dijagram zavisnosti radijalnog bacanja od:
a) pomaka
b) brzine rezanja

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] E.N.Gulida: Tehnologija otdeločnih operacij zuboobrabotki cilindričeskih koljes. Lj - vov, 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.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Šime Šavar, Redžep Jelačić*

OPTIMIZACIJA PARAMETARA REŽIMA BRUŠENJA METODOM "STRMOG PENJANJA"

R e z i m e

Da bi se ustanovila obradivost materijala kod ravnog brušenja, od primarnog značaja je kvaliteta površine koja se dobije nakon obrade. Kvaliteta površine definirana je preko srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od srednje linije (Ra) i procenta nošenja profila (p_n). Iznadjene su zavisnosti srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od srednje linije i procenta nošenja profila od parametara režima rezanja kod ravnog brušenja. Na osnovu definiranih konkretnih oblika empirijskih zakona $Ra = f_1 (v_r, t, s_b)$ i $p_n = f_2 (v_r, t, s_b)$, izvršena je optimizacija parametara režima brušenja.

OPTIMISATION OF PARAMETERS OF GRINDING REGIMES

S u m m a r y

In order to estabilish workability of a material at plain grinding, quality of the finished surface obtained is of primary importance. Quality of the surface is defined through the mean height of the profile with regard to the refference line (Ra) and percentage of carrying capacity of the profile (p_n).
Dependence, between the meau height of the profile with regard to the refference line and carrying percontaee of the profile against the parameters of cutting regime, had been fouud for plain grinding.
On the basis of defined couevete shapes of empiric zaws $Ra = f_1 (v_r, t, s_b)$ and $p = f_2 (v_r, t, s_b)$, an optimisation of parameters of grinding regime was carried out.

1. Uvod

Na osnovu apriornih podataka o karakteru zavisnosti srednjeg odstupanja profila i procenta nošenja profila od elemenata režima obrade kod brušenja, dat je njen slijedeći oblik:

*Prof. dr. Šime Šavar - Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb
Dr. Redžep Jelačić - SOUR "Jelšingrad" RZ Stručne službe Banja Luka

TABELA T2 PROCENAT NOŠENJA PROFILA p_{n5} Č.1730

REDNI BROJ	POSTUPAK OPERACIJE OPTIMIZACIJE METODOM „STRMOG PENJANJA"				ISPITIVANI FAKTORI: Brzina stola v_r [m/min]	Dubina brušenja t [mm/h]	Posmak s_b [mm/h]	Procenat nošenja profila p_{n5} %
1	OSNOVNI NIVO, $\tilde{X}_{i0}$				12,5	0,0125	2,5	
2	INTERVAL VARIJACIJE, $\Delta \tilde{X}_i$				7,5	0,0075	1,5	
3	GORNJI NIVO				20	0,02	4	
4	DONJI NIVO				5	0,005	1	
5	KODNE OZNAKE PARAMETARA				X_1	X_2	X_3	
6	EKSPERIMENT	v_r	t	s_b				
	1	5	0,005	1	—	—	—	98
	2	20	0,005	1	+	—	—	79
	3	5	0,005	4	—	—	+	47,8
	4	20	0,005	4	+	—	+	70,2
	5	20	0,02	1	+	+	—	64,2
	6	5	0,02	1	—	+	—	81
	7	5	0,02	4	—	+	+	61,4
	8	20	0,02	4	+	+	+	28,8
7	b_i				−0,1035	−0,1327	−0,2444	
8	$b_i \cdot \Delta \tilde{X}$				−0,7763	−0,001	−0,3666	
9	$\lambda_i = \frac{\mu}{\lvert b_b \rvert} = \frac{0,1}{0,1035}$				0,9662			
10	KORAK $\lambda_1 \cdot b_i \cdot \Delta \tilde{X}_i$				−0,75	−0,00096	−0,3542	
	ZAOKRUŽENE VRIJEDNOSTI				−0,75	−0,001	−0,35	
11	EKSPERIMENTI NA LINIJI PENJANJA							
	№ 1				11,75	0,0115	2,15	57,04
	№ 2				11,0	0,0105	1,8	62,84
	№ 3				10,25	0,0095	1,45	70,04
	№ 4				9,5	0,0085	1,1	79,66
	№ 5				8,75	0,0075	10,75	85,42
	№ 6				8	0,0065	1	88,91
	№ 7				7,25	0,0055	1	93,07

mizacije vršen je u još tri koraka, zadržavajući pri tom vrijednost poprečnog posmaka s_b = 1 mm/h, koji je moguće tačno ostvariti na brusilici.

Optimalni režim i sa stanovišta srednjeg odstupanja profila i sa stanovišta procenta nošenja profila, postiže se u sedmom koraku sa režimom: v_r = 7,25 m/min; t = 0,0055 mm/h i s_b = 1 mm/h (Ra = 0,95 m i p_{n5} = 93,07%.

Može se uočiti da su nešto bolje vrijednosti za Ra i p_{n5} postignute kod izvodjenja eksperimentalnih ispitivanja, ali sa manjom brzinom radnog stola.

Za dobijanje tražene jednačine koristimo se punim faktornim eksperimentom tipa 2^3. U tabeli T 1 su date vrijednosti ispitivanih faktora.

TABELA T1

NIVOI FAKTORA	REŽIMI BRUŠENJA		
	V_r m/min	t mm/h	S_b mm/h
GORNJI (+)	20	0,02	4
DONJI (−)	5	0,005	1

Sva ispitivanja su vršena na materijalu Č.1730 na uzorcima prizmatičnog oblika dimenzija 100 x 20 x 20 mm. Ispitivanja su vršena na preciznoj brusilici za ravno brušenje "Blohm" model HFS 6 V sa tocilom od bijelog elektrokorunda 2B 60 L 7V dimenzija 350 x 40 x 127 mm proizvod Swaty - Maribor.

U svim eksperimentima, režimi poravnjavanja i hladjenja su bili konstantni. Prije svakog eksperimenta tocilo je poravnavano jednozrnim dijamantskim poravnjivačem sa korakom poravnavanja s_d=0,05 mm/h 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 - 12 l/min.

Za svaki režim je brušeno po 5 uzoraka i na svakom uzorku su vršena mjerenja na pet mjernih mjesta. Aritmetička sredina izmjerenih vrijednosti za svaki uzorak je unošena u tabele. Mjerenja procenta nošenja profila vršena su na dubini 5 μm ispod najviše tačke efektivnog profila.

Za sve režime rezanja i na svim uzorcima, brušenje je vršeno u deset punih prolaza sa odabranom dubinom brušenja da bi se izbjegli utjecaji prethodnih obrada.

2. Rezultati ispitivanja

Statističkom obradom rezultata ispitivanja došlo se do matematskog modela zavisnosti srednjeg aritmetičkog odstojanja profila od srednje linije i procenta nošenja profila na dubini 5 μm ispod najviše tačke efektivnog profila od parametara režima brušenja:

$$\hat{R}_a = e^{2,7452} \cdot \frac{t^{0,6257-0,8177 \ln s_b}}{V_r^{0,6521+0,1694 \ln t - 1,528 \ln s_b - 0,3318 \ln t \ln s_b} \cdot S_b^{3,4705}}$$

$$\hat{R}_{ns} = e^{3,9525} \cdot \frac{S_b^{4,1878}}{V_r^{0,2+0,011 \ln t + 1,9719 \ln s_b + 0,4282 \ln t \ln s_b} \cdot t^{0,166 - 0,9866 \ln s_b}}$$

gdje je:

- v_r m/min - brzina stola
- t mm/h - dubina brušenja
- s_b mm/h - poprečni posmak

3. Optimizacija parametara režima brušenja

Za dobivene matematske modele zavisnosti srednjeg odstupanja profila i procenta nošenja profila od elemenata režima brušenja, izvršena je optimizacija utjecajnih faktora: brzine stola v_r, dubine brušenja t i poprečnog posmaka s_b. Kao kriterijum optimizacije služi najmanja vrijednost srednjeg odstupanja profila i najveća vrijednost procenta nošenja na dubini 5 μm ispod najviše tačke efektivnog profila.

Za optimizaciju parametara režima brušenja koristi se model "strmog penjanja" [1], a postupak ovog metoda optimizacije predstavljen je u tabelama T 2 i T 3.

4. Zaključak

Iz tabela se vidi da se, na osnovu izračunatog koraka, normalno odredjuju koordinate tačaka "strmog penjanja" do petog koraka. Nakon toga nije moguće ići na dalje smanjenje poprečnog posmaka s_b iz razloga što ga je vrlo teško ostvariti na brusilici, na kojoj su vršena ispitivanja. Dalji postupak opti-

TABELA T 3 SREDNJE ODSTUPANJE PROFILA R_a Č.1730

REDNI BROJ	POSTUPAK OPERACIJA OPTIMIZACIJE METODOM „STRMOG PENJANJA"				ISPITIVANI FAKTORI			Srednje odstupanje profila R_a [μm]
					Brzina stola v_r [m/min]	Dubina brušenja t [mm/h]	Posmak s_b [mm/h]	
1	OSNOVNI NIVO, $\widetilde{X}_{i0}$				12,5	0,0125	2,5	
2	INTERVAL VARIJACIJE, $\Delta \widetilde{X}_i$				7,5	0,0075	1,5	
3	GORNJI NIVO				20	0,02	4	
4	DONJI NIVO				5	0,005	1	
5	KODNE OZNAKE PARAMETARA				X_1	X_2	X_3	
6	EKSPERIMENT	v_r	t	s_b				
	1	5	0,005	1	−	−	−	0,84
	2	20	0,005	1	+	−	−	1,18
	3	5	0,005	4	−	−	+	1,66
	4	20	0,005	4	+	−	+	1,50
	5	20	0,02	1	+	+	−	1,39
	6	5	0,02	1	−	+	−	1,37
	7	5	0,02	4	−	+	+	1,57
	8	20	0,02	4	+	+	+	2,48
7	b_i				0,0888	0,1375	0,2046	
8	$b_i \cdot \Delta \widetilde{X}_i$				0,666	0,001	0,3069	
9	$\lambda_1 = \frac{\mu}{\lvert b_b \rvert} = \frac{0,1}{0,0888}$				1,1261			
10	KORAK $\lambda_1 \cdot b_i \cdot \Delta \widetilde{X}_i$				0,75	0,0011	0,3456	
	ZAOKRUŽENE VRIJEDNOSTI				0,75	0,001	0,35	
11	EKSPERIMENTI NA LINIJI PENJANJA							
	№ 1				11,75	0,0115	2,15	1,54
	№ 2				11,0	0,0105	1,8	1,43
	№ 3				10,25	0,0095	1,45	1,30
	№ 4				9,5	0,0085	1,1	1,21
	№ 5				8,75	0,0075	1	1,07
	№ 6				8	0,0065	1	1,01
	№ 7				7,25	0,0055	1	0,95

iteratura:

1] P.G.Kacev - Statistčeskie metody issledovanija režušćevo instrumenta, Izd.2-e, pererab. i dop. M., "Mašinostroenie", 1974.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Nedjo Bajić*

O ADAPTIVNOM UPRAVLJANJU KOD PROCESA OBRADE BRUŠENJEM

R e z i m e

U radu se, na osnovu literaturnih izvora, daje prikaz stanja u domenu adaptivnog upravljanja procesom obrade brušenjem. Poseban osvrt učinjen je na suštinu matematskihmodela nekih realizovanih AC sistema iz ove oblasti.

SUR LE CONTRÔLE ADAPTIF DANS LE PROCESSUS DU TRAITEMENT LORS DE L'ABRASION

R é s u m é

Dans le présent rapport, à la base des sources littéraires, on a présenté l'état actuel dans le domaine du contrôle adaptif avec le processus du traitement lors de l'abrasion. On a fait un abord particulier sur l'essentiel des modèles mathématiques de certains CA systèmes réalisés dans ce domaine.

1. Uvod

U nastojanjima da se savremena alatna mašina učini "osjetljivom" i da joj se omogući maksimalno iskorištenje radnih karakteristika, danas se čine značajni istraživački napori u pravcu uvodjenja adaptiv - nog - AC upravljanja kao elementa dalje nadgradnje postojeće tehnologije. Iako stručni timovi ulažu ogromne napore i ne mala sredstva da bi razvoj u pravcu AC upravljanja išao još brže, ipak mali broj jedinica AC mašina vrši svoju funkciju u uslovima proizvodne prakse.

Dakle, rad na ovim sistemima još je uglavnom laboratorijskog karakte ra, uz nagovještavanje primamljivih rezultata. Ctuda je potreba da se šira stručna javnost i kod nas upozna sa stanjem i tendencijama raz - voja u ovoj problematici, posebno pri obradi brušenjem, a ovaj rad je skroman doprinos tim nastojanjima.

*Mr Nedjo Bajić,dipl.maš.inž.,docent Mašinskog fakulteta u Mostaru

2. AC sistemi i tačnost

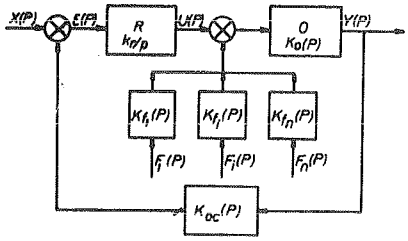
Na sl.1. [5] prikazana je opšta strukturna šema AC objekta "O" sa povratnom vezom koja obezbjedjuje povi šene zahtjeve za tačnošću, kakvi se obično postavljaju u operacijama brušenja. Na sistem djeluje regulator "R", koji predaje potrebnu vrijednost dimenzije X(p) radnog predmeta i poremećaji $F_i(p)$ koji dovode do promjene izlaznog parametra, dimenzije Y(p). Korištenjem zakonitosti teorije sistema, zatim $k=k_r k_o k_{oc}$ i pretpostavke

$$\left|\frac{dx}{dt}\right|_{max} \leq V_1 \; ; \quad \left|\frac{df_i}{d\tau}\right|_{max} \leq V_2 \; ,$$

izraz za grešku izlaznog parametra može se napisati u obliku:

$$\left|\Delta y(t)\right|_{max} = \frac{1}{k}(V_1 + k_f k_o V_2)(1-e^{-kt}) \; ,$$

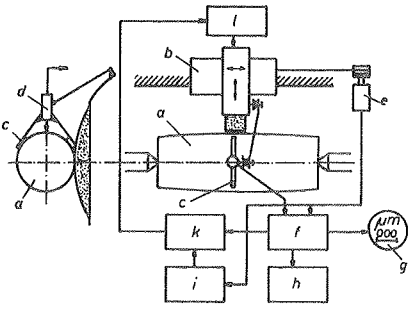
odakle je uočljivo da greška obrade



Sl.1.

teži nuli i pri laganom i pri jakom uticaju k. Ovo pokazuje da su AC sistemi vrlo pogodni za ostvarivanje visokih tačnosti.

Kao primjer regulisanja prema izlaznom parametru razmatran je sistem upravljanja uzdužnim profilom predmeta obrade za vrijeme brušenja koji je prikazan na sl.2. [5].



Sl.2., a-predmet obrade; b-tocilo; c-mjerni uredjaj; d-induktivni davač; e-davač puta; f-pretvarač signala; g-dio za brojeve; h-štampač; i-uredjaj za programiranje; k-uporedjivač; l-uredjaj za radijalno kretanje tocila.

3. Neki izvedeni AC sistemi

Na osnovu analiziranih više literaturnih izvora [1], [7], [8], [9] i [10] u tabeli br.1. dat je pregled poznatijih izvedenih AC sistema pri obradi brušenjem.

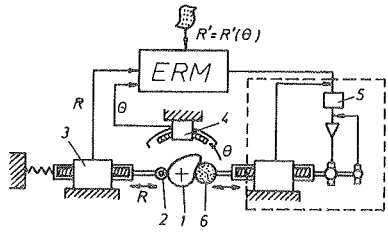
Iz tabele se vidi da su češće razvijani ACC sistemi zbog relativno lakše izvedbe, a primjenjivani su za različite vidove brušenja, kako na konvencionalnim tako i na mašinama sa NC upravljanjem.

Razvoj ACO sistema pri brušenju u tijesnoj je vezi sa zahtjevima moderne obrade podataka dobivenih neposredno mjerenjem u toku procesa obrade ili posrednim izračunavanjem preko odgovarajućih matematskih modela. S toga je u osnovu ACO sistema neophodno uključiti ERM.

3.1. Prikaz matematskih modela izvedenih AC sistema pri brušenju

Ovdje se interpretira suština matematskih modela nekih izvedenih AC sistema pri obradi brušenjem.

Firma Crenfield (Engleska) izradila je AC brusilicu sl.3. [3] za brušenje bregastih ploča, koncipiranu na principima korekcije programa.



Sl.3.

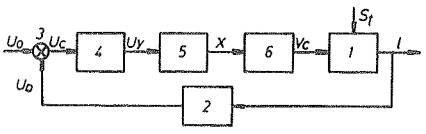
Mjerni pribor 2 i tocilo 6 postavljeni su sa suprotnih strana bregaste ploče 1. Pred početak procesa brušenja u ERM se uvodi informacija R'=R'(Θ); Θ ugao okretanja bregaste ploče. Pri prvom prolazu radni organ mašine (pogon 5) vrši kretanje po tom programu. U momentu kada brušeni dio brijega dostiže poziciju mjerenja dobiva se informacija o stvarnoj vrijednosti R=R(Θ) preko davača 3 i 4 i uvodi u ERM. Na drugim i ostalim prolascima brijeg se brusi po korigovanom programu. Na ovaj način greška profila iznosi $\pm$ 2μm, a korekcija se izvodi od prolaska do prolaska. Mjerenje zaostaje za obradom za polovinu prolaska, čime koeficijenat tehnološkog iskorištenja mašine ne zavisi

Tabela br.1.

Sistem	Mjerena veličina	Podešavajuća veličina	Cilj	ACC ACO
Carnegie - Mellon Univers. USA	zatupljenje tocila	brzina pomoć. kretanja	minimalni troškovi	ACO
Nach R. Hahn USA	snaga motora	brzina pomoć. kretanja	poboljšanje radne tačnosti	ACC
Naxos Union BRD	snaga motora	dubina rezanja	maksimalna snaga	ACC
Toyoda Machine Works Japan	sila rezanja	brzina pomoć. kretanja	maksimalna snaga	ACC
Univers. Delft Niederlande	zatupljenje tocila	brzina pomoć. kretanja	minimalni troškovi	ACO
Churchill Machine Tool Comp Großbritanien	snaga motora	brzina pomoć. kretanja	konstantna snaga	ACC
Churchill Machine Japan	struja motora	dubina rezanja	konstantna struja	ACC
ENIMS SSSR	sila, hrapavost i dime.	brzina skidanja strugoti.	tehnološka optimizacija	ACO
Odeskoe SKB SS SSSR	snaga	pomak	konstantna snaga	ACC

od procedure adaptacije.

U radu [6] vršena je analiza i sinteza sistema upravljanja kod brušenja žljebova sa upotrebom analogne računske mašine. Blok šema sistema prikazana je na sl.4., a matematski model opisan jednačinama koje opisuju ponašanje u prelaznom režimu narednih elemenata sistema: 1-objekat regulacije, 2-povratna veza, 3-sabirač, 4-pojačavač, 5-elektromehaničkog pretvarača i 6-hidrauličnog pogona aksijalnog kretanja stola u funkciji struje motora pogona tocila(regulisani parametar) i brzine kretanja stola (regulišuće kretanje).



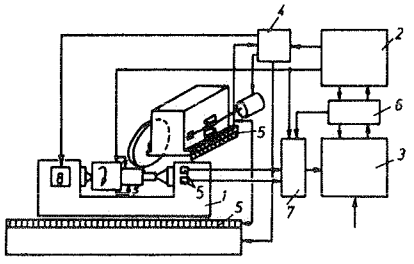
Sl.4.

Po nadjenim vrijednostima sinteza je vršena metodom logaritamsko - freventnih karakteristika, a provjerena je stabilnost u cijelom dijapazonu tehnoloških mogućnosti mašine.

U radu [9] predlaže se AC sistem za okruglo brušenje sa ciljem stabilizacije normalne komponente otpora rezanja odredjenog iz uslova zadate hrapavosti i maksimalne proizvodnosti. Obilje koeficijenata koji ulaze u pomenute zavisnosti, kao i zahtjeva za odredjivanjem velikog broja eksperimenata, otežavaju širu primjenu sličnih sistema.

Da bi se otklonili pomenuti nedostaci u radu [7] razradjen je AC sistem za kružno brušenje urezivanjem na mašini sa numeričkim programskim upravljanjem, koji ovaj problem rješava uz primjenu davača hrapavosti, čija se informacija zbog sadržanog uvijek slučajnog karaktera statistički obradjuje na maloj ERM koja čini osnovu AC sistema. Blok šema ovakvog sistema prikazana je na sl5.

Osnovna ograničenja pri ovome su otpori rezanja i temperatura. Stabilizacija normalne komponente otpora rezanja analizira se u funkciji krutosti predmeta obrade i režuće sposobnosti tocila, gdje se iz uslova ograničenja brzine zatupljenja tocila odredjuje specifična normalna sila rezanja. Temperatura se uzima u obzir kroz otsustvo spalje-



Sl.5., 1-mašina; 2-sistem numeričkog programskog upravljenja (NPU); 3-pribor AC upravljanja na osnovu male ERM; 4- veza mašine i sistema NPU; 5-davači te kućih informacija; 6-veza izmedju NPU i AC; 7-analogno cifarski pro brazivač; 8-pogon predmeta.

nih mjesta na predmetu obrade pri brušenju, a odatle se ograničava tangencijalna komponenta otpora rezanja.

Pri završnom brušenju posmatranja su usmjerena na tačnost geometrijske forme i hrapavosti obradjene površine. Prečnik se kontroliše pri borom aktivne kontrole. Zahtijevani kvalitet površine ostvaruje se analizom veze izmedju hrapavosti i brzine skidanja strugotine.

Algoritam AC upravljanja sačinjen na osnovu prikazanih zavisnosti realizuje se na ERM radne memrije 1 K u vremenu od 0,1 - 0,4 s, što je srazmjerno vremenu odvijanja procesa obrade.

Zbog odsustva tehnoloških informacija, u algoritmima upravljanja procesom brušenja često se primjenjuju principi samoadaptacije i prognoziranja [1]. Za realizaciju algoritma upravljanja na osnovu zadate tačnosti pri maksimalnoj proizvodnosti na pomenutim principima svrsishodno je analizirati vremensku konstantu procesa brušenja.

Prelazni režim procesa brušenja pri urezivanju prema [1] može se opisati jednačinom

$$\frac{ds}{dt} = \left(\frac{ds}{dt}\right)_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_p}}\right),$$

gdje je ds/dt - brzina skidanja strugotine, $(ds/dt)_y$ - brzina skidanja strugotine u ustaljenom režimu rezanja i jednaka je brzini pomjeranja nosača tocila v_{nt}, t - tekuće vrijeme.

Za ovakav vid brušenja koeficijenat režuće sposobnosti tocila može se izraziti u obliku

$$K_{rež} = \frac{ds}{dt}\frac{1}{F_r}$$, gdje je F_r - radijalna sila rezanja.

Ako se zanemare linearne zavisnosti izmedju radijalne sile i krutosti sistema mašina-alat-predmet onda vremensku konstantu procesa brušenja možemo prikazati obrnutom proporcionalnošću koeficijenta $K_{rež}$ i krutosti j_{pr}

$$T_p = \frac{1}{K_{rež} j_{pr}}.$$

Veličina elastičnih deformacija je $S_d = F_r/j_{pr}$, odakle je s obzirom na ranije izvedene izraze $S_d = v_{nt} T_p$.

Najprostiji metod ocjene vremenske konstante je proračun na osnovu mjerenja dodatka S_{vr} skinutog za vr vrijeme prelaznog procesa rezanja brzinom v_{nt}. Prelazni proces praktično je završen za $3T_p$. Za to vrijeme tocilo predje rastojanje

$$X_{vr} = 3\, T_p\, v_{nt}.$$

Zbog elastičnih deformacija u sistemu postoji neusaglašenost koju izražavamo jednačinom

$$S_{vr} = X_{vr} - S_d = 2\, v_{nt}\, T_p,$$ odakle je $T_p = S_{vr}/2v_{nt}$.

Tačnost odredjivanja vremenske konstante T_p zavisi od tačnosti odredjivanja momenta prestajanja prelaznog procesa pri urezivanju. Momenat završetka prelaznog procesa može biti odredjen na osnovu informacija dobivenih kako od pribora aktivne kontrole, tako i od davača sile ili snage. U prvom slučaju momenat završetka fiksira se pri ispunjavanju uslova

$(\frac{ds}{dt})_i \geq K\ (\frac{ds}{dt})_{i+1}$, gdje su $(ds/dt)_i$ i $(ds/dt)_{i+1}$ brzine skidanja strugotine u dvjema susjednim tačkama, K = 0,95 - koeficijenat koji karakteriše završetak prelaznog procesa. Analogan uslov može se postaviti i za slučaj korištenja informacija o snazi

$$P_i - P_{xx} \geq K\ (P_{i+1} - P_{xx}) .$$

Ovdje su P_i i P_{i+1} vrijednosti snage u susjednim tačkama, a P_{xx} snaga praznog hoda mjerena neposredno prije početka rezanja. Ovako utvrdjenom vremenu potrebno je dodati vrijeme anketiranja (vrijeme potrebno za obradu podataka).

4. Umjesto zaključka

U osnovi AC sistema upravljanja ugradjen je princip korekcije izlaznih parametara na osnovu informacija dobivenih u toku procesa obrade. Ovim se vrši i "isključivanje" sistematskih grešaka nastalih tokom vremena, čime se postiže važno svojstvo AC sistema - povećanje tačnosti bez povećanja zahtjeva za većom tačnosti opreme.

AC sisteme svrsishodno je iskoristiti na završnim obradama, gdje u pravilu, dominantan uticaj na tačnost obrade vrše sistematski faktori koji se mijenjaju tokom vremena (sopstvene geometrijske greške mašine, toplotne deformacije obradnog sistema, habanje alata i drugo). U onim slučajevima kada na tačnost obrade osnovni uticaj vrše slučajni faktori, potrebno je realizovati takve modele AC upravljanja koji stabiliziraju ili uklanjaju te faktore.

Analiza sistema upravljanja pri brušenju, koji postoje u sadašnje vrijeme, pokazuje da su za njihov pravilan izbor neophodne opšte principjelne osnove gradjenja algoritma upravljanja. Tako u matematskom modelu procesa brušenja mora da bude odražen uticaj osnovnih tehnoloških faktora na karakter procesa rezanja i na stanje obradnog sistema.

Kod brušenja u današnje vrijeme AC sistemi razvijaju se u dva pravca: u pravcu širenja oblasti primjene (različiti vidovi brušenja) i u pravcu nivoa automatizacije procedure adaptacije, sve do automatizacije na bazi ERM kompletnog procesa adaptacije.

5. Literatura

[1] Čubukov A.S., Konjšin A.S., Adaptivnoe upravlenije kruglošlifovaljnjim stankami s pomošju maloi EVM, Stanki i instrument, Nr.9.1978.

[2] Dodin L.S. i drugi, Operativnaja korekcija pogrešnosti obrabotki na zubošlifovaljnih stankah, Stanki i instrument, Nr.3. 1973.

[3] Focusing on quality affered by computer numerical control, Engineer, N 6214. 1975.

[4] Kobrinski A.E., Serkov N.A., Adaptivnije sistemi upravlenija stankami s korekcie program, Stanki i instrument, Nr.7. 1979.

[5] Kondaschewski WW., Fedotow A.W., Vergleichsanalyse verschiedener Systeme der adaptiven Steuerung, Werckstatt und Betrieb, Nr.3. 1972.

[6] Levin A.I., Voskresenski L.A., Analiz isintez adaptivnoi sistemi upravlenija šlicešlifovaljnjim stankom s ispoljzovaniem analogovoi vičisliteljnoi mašini Stanki i instrument, Nr.5. 1975.

[7] Ratmirov V.A. i drugi, Adaptivnoe upravlenie kruglošlifovaljnjim stankom s CPU, Stanki i instrument, Nr.8. 1977.

[8] Raškovič M.P. i drugi, Adaptivnoja sistema upravlenija procesom šlifovanija, Stanki i instrument, Nr.2. 1979.

[9] Ryvji V., Application ofAdaptive Control to Cylindrical Grinding Machine, Toyoda Machine Works, Ltd., Kariya, Japan.

[10] Stute G., Augusten G., Eine Adaptive Control - Einrichtung für Drechmaschinen, Wt-Z. ind Fertig Nr.9. 1972.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GODINE

Dr Bogoljub Kršljak *, dipl.ing.

ODREDJIVANJE OPTIMALNIH REZIMA BRUSENJA PRI RAVNOM BRUSENJU ALATNOG ČELIKA TOCILIMA OD KUBNOG NITRIDA BORA

R e z i m e

U radu je obuhvaćeni ispitivanje procesa ravnog brušenja alatnog čelika tocilima od kubnog nitrida bora pri promeni elemenata režima brušenja i dobijanje funkcija izlaznih parametara procesa brušenja u zavisnosti od elemenata režima brušenja i učinka brušenja. Na osnovu ovih funkcija, a uz obezbedjenje zahtevane hrapavosti obradjene površine, odredjeni su optimalni režimi brušenja pri kojima su troškovi brušenja minimalni.

FESTLEGEN DER OPTIMALEN SCHLEIFPARAMETER BEIM FLACHSCHLEIFEN VOM WERKZEUGSTAHL MIT SCHLEIFSCHEIBEN AUS BORNITRID

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Arbeit umfasst Prüfung des Flachschleifens vom Werkzeugstahl mit Schleifscheiben aus dem kubischen Bornitrid bei der Aenderung der Schleifparameter (Vorschub, Schleiftiefe und Tischgeschwindigkeit) und Ermittlung der Funktionen von Ausgangsparametern des Schleifverfahrens und der Schleifleistung. Auf Grund dieser Funktionen und bei der Sicherung der geforderten Rauhigkeit der bearbeiteten Oberflöshe sind die optimalen Schleifparameter festgolegt, wobei die Schleifkosten minimal sind.

1. Uvod

Jedno od pitanja vezanih za ekonomiku procesa brušenja tocilima od kubnog nitrida bora je odredjivanje optimalnih režima brušenja, koji odgovaraju njihovim specifičnim osobinama i uslovima rada.
Optimalni režimi mogu se odredjivati postupkom minimiziranja troškova obrade nalazeći matematičku vezu izmedju ulaznih veličina procesa i izlaznih parametara koristeći pri tome ograničenje veličine pojedinih parametara prema funkciji cilja procesa brušenja.

2. Metodologija i uslovi izvodjenja eksperimenata

* Dr. Bogoljub Kršljak, dipl.ing. Viši stručni saradnik PTF-a, Čačak

Eksperimenti su izvodjeni na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim stolom tip 3G71 koja je proizvedena u SSSR 1975.godine. Brušenje je izvodjeno tocilima na bazi kubnog nitrida bora proizvodnje zavoda "Ilič" Lenjingrad E125/100 i "Geomašina" Zemun E100/80 dimenzija 200x76x10 mm.

U toku ispitivanja odredjivana je zapremina trošenja tocila po komadu i merena hrapavost brušene površine [2].

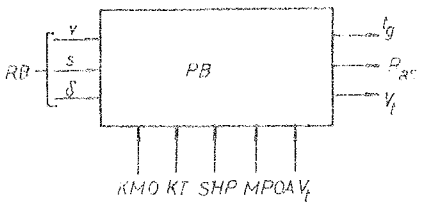
Probni uzorak sa kojima je vršeno ispitivanje su bili od alatnog čelika č. 4750 (1,65% C; 12,0 Cr; 0,5% W; 0,6% Mo; 0,1% V) prizmatičnog oblika dimenzija 100x40x20 mm, termički obradjeni na tvrdoću 60±3C i iz iste su šipke.

Kod svih eksperimenata korišćeno je kao rashladno sredstvo mineralno ulje za kladjenje "Castrol Hlogrind 483". Količina rashladnog sredstva u jedinici vremena je regulisana održavanjem konstantnog pritiska pomoću manometra [2].

3. Model za optimizaciju procesa brušenja promenom elemenata režima brušenja

Ulazni parametri obradnog sistema su:

- režimi brušenja (brzina obratka - v, poprečni pomak - s, dubina brušenja - δ) (RB).



Sl.1. Šema procesa brušenja za optimizaciju procesa promenom elemenata režima brušenja

Parametri stalni za posmatrani sistem su:

- karakteristike obratka (KMO),
- karakteristike tocila (KT),
- sredstvo za hladjenje i podmazivanje (SHP),
- dinamičko stanje obradnog sistema (mašina - M, pribora - P, obratka O, alata - A) (MPOA),
- obimna brzina tocila (brzina rezanja) (v_t)

Izlazni parametri su:

- glavno vreme brušenja po komadu (t_g),
- srednja aritmetička hrapavost (R_{as}) i
- zapremina trošenja tocila po komadu (V_t).

Zavisnost izlaznih parametara od ulaznih može se izraziti u obliku stepenih funkcija:

$$t_g = B_1 v^{\beta_1} s^{\beta_2} \delta^{\beta_3} \quad (1)$$

$$R_{as} = B_2 v^{\gamma_1} s^{\gamma_2} \delta^{\gamma_3} \quad (2)$$

$$V_t = B_3 v^{\varepsilon_1} s^{\varepsilon_2} \delta^{\varepsilon_3} \quad (3)$$

Navedene zavisnosti (1), (2) i (3) mogu se transformisati na linearne oblike (prvog reda).

$$\hat{Y} = b_1 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 \quad (1.1)$$

$$\hat{Y} = b_2 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 \quad (2.1)$$

$$\hat{Y} = b_3 + r_1 x_1 + r_2 x_2 + r_3 x_3 \quad (3.1)$$

Plan matrice koincidencije $N = 2^{k-1} + n_0 = 2^{3-1} + 2 = 6$ za vreme brušenja po komadu dat je u tabeli 1, za hrapavost u tabeli 2 i za trošenje tocila u tabeli 3.

Polazeći od osnovnih oblika funkcija (1), (2) i (3) i linearizovanih oblika (1.1), (2.1) i (3.1), i nakon odredjivanja koeficijenata (poznatim postupkom [4]) a prema izmerenim vrednostima dobijaju se funkcije izlaznih parametara procesa brušenja tocilom E 125/100 u obliku:

$$t_g = 0{,}04308\, v^{-1{,}1777} s^{-1{,}1777} \delta^{-1{,}4073} \quad (4)$$

$$R_{as} = 0{,}18478\, v^{0{,}0936} s^{0{,}2748} \delta^{0{,}0176} \quad (5)$$

Tabela 1

Red. br. eks-per.	Vred.faktora x_1(v) m/min	x_2(s) mm/h	x_3( ) mm	Plan matrice x_o	x_1	x_2	x_3
1	4	0.8	0,005	+1	+1	+1	-1
2	1	0.2	0,005	+1	-1	-1	-1
3	4	0.2	0.02	+1	+1	-1	+1
4	1	0.8	0,02	+1	-1	+1	+1
5	2	0.4	0,01	+1	0	0	0
6	2	0,4	0,01	+1	0	0	0

Izmerene vrednosti

E 100/80		E 125/100	
tg /min/	ln tg	tg /min/	ln tg
18.7561	2,9315	18,7561	2.9315
518.3504	6,2506	491,0688	6,1966
13.6408	2,6131	13,6408	2.6131
13.6408	2.6131	13,6408	2,6131
34.1020	3.5293	34,1020	3,5293
40.9224	3,7117	40.9224	3,7117

Tabela 2

Red. br. eks-per.	Vred.faktora x_1(v) m/min	x_2(s) mm/h	x_3( ) mm	Plan matrice x_o	x_1	x_2	x_3
1	4	0.8	0,005	+1	+1	+1	-1
2	1	0.2	0.005	+1	-1	-1	-1
3	4	0,2	0.02	+1	+1	-1	+1
4	1	0.8	0,02	+1	-1	+1	+1
5	2	0 4	0,01	+1	0	0	0
6	2	0.4	0,01	+1	0	0	0

Izmerene vreanosti

E 100/30		E 125/100	
R_{as}/ /um/	ln R_{as}	R_{as}/ /um/	ln R_{as}
0.22	-1 5141	0.20	-1 6094
0 12	-2,1203	0.12	-2,1203
0,15	-1.8971	0.14	-1,9661
0 18	-1,7148	0,18	-1.7148
0,17	-1,7719	0.12	-2.1203
0 16	-1,8326	0.11	-2,2073

Tabela 3

Red br. eks-per.	Vred.faktora x_1(v) m/min	x_2(s) mm/h	x_3( ) mm	Plan matrice x_o	x_1	x_2	x_3
1	4	0.8	0.005	+1	+1	+1	-1
2	1	0.2	0,005	+1	-1	-1	-1
3	4	0,2	0,02	+1	+1	-1	-1
4	1	0.8	0,02	+1	-1	+1	+1
5	2	0,4	0.01	+1	0	0	0
6	2	0 4	0,01	+1	0	0	0

Izmerene vrednosti

E 100/80		E 125/100	
V_t/mm^3/	ln V_t	V_t/mm^3/	ln V_t
3,7524	1,3224	3,6257	1,2880
2,5265	0.9268	2,4164	0,8823
3,5671	1,2717	3.4952	1,2514
3,4631	1,2422	3,3667	1.2139
3,1085	1,1341	2,7836	1.0237
2 5919	0,9524	2,3264	0,8443

$$V_t = 4{,}8754\, v^{0{,}1598}\, s^{0{,}1327}\, \delta^{0{,}1063} \qquad (6)$$

a pri brušenju tocilom E100/80 u obliku:

$$t_g = 0{,}03956\, v^{-1{,}1971}\, s^{-1{,}1971}\, \delta^{-1{,}4268} \qquad (7)$$

$$R_{as} = 0{,}19852\, v^{0{,}1529}\, s^{0{,}2843}\, \delta^{0{,}0081} \qquad (8)$$

$$V_t = 4{,}9332\, v^{0{,}1533}\, s^{0{,}132}\, \delta^{0{,}0955} \qquad (9)$$

Da bi se jednostavnije mogli odrediti optimalni režimi brušenja potrebno je izlazne funkcije izraziti u zavisnosti jednog parametra, tj. učinka brušenja kao združene promenljive elemente režima brušenja v'_M = v.s. $\delta \frac{1000}{60}$ mm^3/sec.

funkcije vremena brušenja, hrapavosti i trošenja tocila izražene u zavisnosti učinka brušenja imaju oblik[6]:

$$t_g = \frac{C}{V'^{m_1}_M};\quad R_{as} = C_r V'^{m_2}_M;\quad V_t = C_1 V'^{m}_M \qquad (10)$$

Da bi se prešlo sa oblika funkcija (1), (2) i (3) na oblik (10) korišćena je metoda najmanjih kvadrata 9 i dobijene su vrednosti:

Za rad tocila E 125/100

$$t_g = 2{,}9048\ V'^{-1{,}2578}_M \qquad (11)$$

$$R_{as} = 0{,}1832\ V'^{0{,}1289}_M \qquad (12)$$

$$V_t = 3{,}8658\ V'^{0{,}1333}_M \qquad (13)$$

i za rad tocilom E 100/80

$$t_g = 2{,}82\ V'^{-1{,}277}_M \qquad (14)$$

$$R_{as} = 0{,}2211\ V'^{0{,}1489}_M \qquad (15)$$

$$V_t = 4{,}0507\ V'^{0{,}1273}_M \qquad (16)$$

4. Izbor optimalnih režima brušenja

Tocila od kubnog nitrida bora rade u oblasti samooštrenja pa matematički model troškova ima oblik dat jednačinom (17). $T_R=(C_M+C_p)\frac{C}{V'^{m_1}_M}+ C_tC_1V'^{m}_M$. Minimalni troškovi u ovom slučaju nalaze se u preseku troškova mašine i ličnih dohodaka radnika i troškova tocila[1]. Koristeći funkcije glavnog vremena brušenja, hrapavosti i trošenja tocila (4), (5), (6), (7), (8), (9), (11), (12), (13), (14), (15) i (16) izražene u zavisnosti od elemenata režima brušenja i učinka brušenja, i za cenu norma minuta C_M=0,1 din/min, i cenu jedinice zapremine tocila od C_t= 1 din/mm^3 dolazi se do troškova zavisnosti od učinka brušenja prikazanih u tabelama 4 i 5. Tabela 4 odnosi se na brušenje tocila E125/100, a tabela 5 na brušenje tocilom E 100/80.

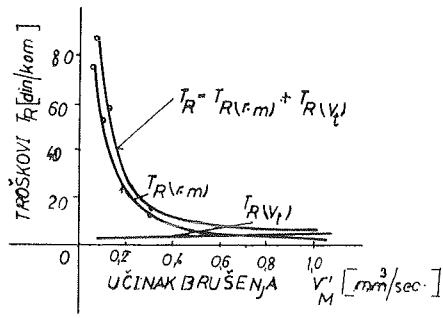
Tabela 4

Učin.bruš. V'_M /mm^3/s/		0.08	0,1	0.2	0,3	0.5	0,7	0,9	1,060
Tr.bruš. din/kom/	T_R(r.m)	69,66	52,62	21.99	13,21	6,94	4,55	3,32	2,68
	$T_R(V_t)$	2,76	2,84	3,12	3,29	3,52	3,69	3,81	3.90
	T_R	72,42	55,46	25,11	16,50	10,46	8,24	7,13	6,58

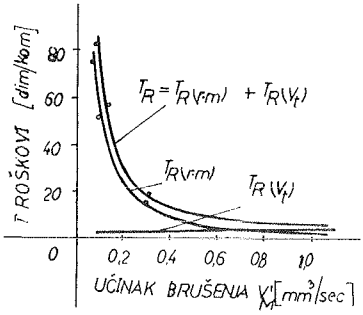
Tabela 5

Učin.bruš. V'_M /mm^3/s/		0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,066
Tr. bruš. /din/kom/	T_R(r.m)	71,03	53,41	22,01	13,12	6,83	4,45	3,23	2,60
	$T_R(V_t)$	2,94	3,02	3,30	3,47	3,71	3,87	3,99	4,08
	T_R	73,97	56 43	25,31	16,59	10,54	8,32	7,22	6,68

Dijagrami troškova prema tabelama 4 i 5 dati su na Sl. 2-3.



Sl. 2. Promena veličina T_R, $T_{R(r.m)}$ i $T_{R(V_t)}$ u zavisnosti od učinka brušenja V'_M pri brušenju C.4750 tocilom E 125/100



Sl. 3. Promena troškova T_R, $T_{R(r.m)}$ i $T_{R(V_t)}$ u zavisnosti od učinka brušenja V'_M pri brušenju C. 4750 tocilom E100/80

Kako se vidi sa sl. 2 i 3 za odgo-

varajuće vrednosti učinka brušenja, krive $T_R(V_t)$ imaju presečnu tačku kojoj odgovara minimum troškova brušenja T_R min.

Odredjivanje optimalnih elemenata režima brušenja može se izvršiti na osnovu učinka brušenja koji odgovara minimumu troškova brušenja uz korišćenje ograničenja zahtevane veličine srednje aritmetičke hrapavosti brušene površine. Iz funkcije srednje aritmetičke hrapavosti koje su definisane jednačinom (5) i (8) vidi se koji je najuticajniji element režima brušenja na veličinu hrapavosti. Usvajanjem veličina ostala dva elementa iz intervala varijacije koji obezbedjuju učinak pri minimumu troškova pri završnoj veličini hrapavosti R_{as} može se računski odrediti veličina najuticajnijeg iz funkcije hrapavosti i tako odrediti optimalne veličine elemenata režima brušenja sa kojima se obezbedjuje maksimalni učinak pri najmanjim troškovima brušenja. Za rad tocilom E125/100 dobija se optimalni poprečni pomak:

$$s = \sqrt{\frac{0,2748}{0,18478} \cdot \frac{R_{as}}{v^{0,0936} \delta^{0,0176}}} \qquad (18)$$

a za rad tocilom E 100/80 optimalni poprečni pomak je:

$$s = \sqrt{\frac{0,2843}{0,19853} \cdot \frac{R_{as}}{v^{0,1529} \delta^{0,0081}}} \qquad (19)$$

5. ZAKLJUČAK

Pri brušenju alatnog čelika usvojenim tocilima od KNB najveći uticaj na glavno vreme brušenja ima dubina brušenja, na veličinu hrapavosti poprečni pomak, na trošenje tocila brzina radnog stola (uzdužni pomak).

2. Funkcije izlaznih parametara procesa brušenja izražene u zavisnosti učinka brušenja omogućuju jednostavniju analizu troškova i odredjivanje optimalnih veličina elemenata režima brušenja.

6. Literatura

[1] Busch M.D., Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Kostendarstellung beim Schleifen mit Diamant-und Diazon-Schleifscheiben Maschine, 1977, N°9, 54-56.

[2] Kršljak B., Optimizacija procesa ravnog uticaja karakteristika tocila i uslova obrade. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Beograd, 1981.g.

[3] Solonin I.S., Matematičeskaja statistika v tehnologii mašinostroenija, Mašgiz, Sverdlovsk 1960.

[4] Stanić J., Metod inženjerskih merenja uvod u matematičku teoriju eksperimenata, Boks-Vilsonov metod. Mašinski fakultet Beograd, 1975

[5] Saljè E., Forschungsergebnisse beim Aussenrundschleifen. Werkstattstechnik und Maschinenbau 43, 1953; Nr. 3.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982

Mr. Radomir Vukasojević* Dr. D.Brough*

PRAĆENJE PONAŠANJA OBRADNE SPOSOBNOSTI TOCILA TOKOM PROCESA

R e z i m e

Dva parametra: Rastojanje izmedju dva aktivna zrna i njihova visinska razlika uzeti su za prepoznavanje uticaja površine tocila na parametre procesa brušenja. Frekvencije ova dva nezavisna parametra aproksimirane su Puasovovom raspodjelom čiji parametri su iskorišćeni za analizu uticaja topografije tocila, uslova poravnjavanja i uslova brušenja na izlazne parametre procesa.

ANALYSES OF THE CUTTING QUALITY OF GRINDING WHEELS DURING THE GRINDING PROCESS

S u m m a r y

The cutting quality of a grinding wheel is repres ented by two parameters. These specify the frequen frequen cy distribution of the positional relationships of the adjacent active cutting edges which approximates to two independent Pposson distributions. Variation of these parameters with dressing and grinding conditions is discussed. The parameters could be a useful anallytical basic for predictin optimum machining conditions.

1. Uvod

Analize procesa brušenja su uglavnom zasnovane na uspostavljanju zavisnosti izmedju pojedinih parametara procesa (otpora rezanja, temperature, specifične energije kvaliteta obradjene površine) i parametara idealne srednje veličine i obli strugotine. Najčešće predlagani parametri za opis ovakve strugotine su Srednja debljina strugotine i njena srednja dužina. Oba ova parametra istraživački daju u funkciji brzine tocila,

* Mr. Radomir Vukasojević,predavač, Mašinski fakultet Titograd

* Dr. D.Brough?, predavač, Department of Mechanical, Marine and Production Engineering, Liverpool, Engleska

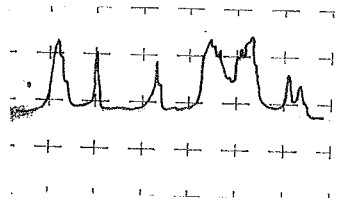
brzine radnog predmeta, dubine rezanja, ekvivalentnog prečnika tocila, broja zrna po jedinici površine itd.

Analize procesa brušenja (1,2) i eksperimentalna istraživanja (3) pokazuju, da za odredjene slučajeve predložene jednačine postaju neprihvatljive, specijalno ako se radi o velikim učincima brušenja. Jedan od osnovnih razloga jeste, da formule sadrže parametre koji nisu pravi odraz stanja koje se odigrava u toku procesa.

Formule ne uzimaju u obzir činjenicu da svako zrno po površini tocila u toku procesa nije aktivno i da distribucija aktivnih zrna zavisi od uslova brušenja. Koristeći kritički osvrt na do sada predložene metode odredjivanja broja aktivnih zrna po površini tocila za date uslove pokušalo se da se razvije nova metoda po-moću koje će se mjeriti distribucija aktivnih zrna za bilo koje stanje u toku procesa uz uslov da distribucija bude opisana preko relativno malog broja parametara.

2. Eksperimentalna tehnika

Eksperimentalna tehnika razvijena je za brušenje bez šiljaka na mašini osposobljenoj za velike učinke brušenja. Da bi se dobila kopija površine tocila, projektovan je replikator. Replikator je sredstvo koje omogućava da tanka olovna pločica bude utisnuta u površinu tocila poznatom silom čime se dobija otisak površine na olovnu pločicu. Otisak dobijen na ovakav način prekriva površinu od 50mm x 10mm. Preko uredjaja za očitavanje hrapavosti Talysurf model 5 korišćenjem pisaljke radijusa sa 2 μm na odgovarajućem papiru dobijaju se trase koje pokazuju izgled otiska. Tipičan izgled jedne takve trase dat je na sl.1.



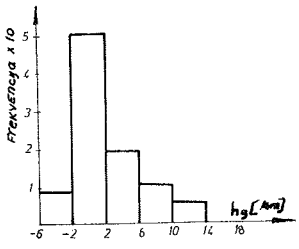
Sl.1

2. Analiza trasa

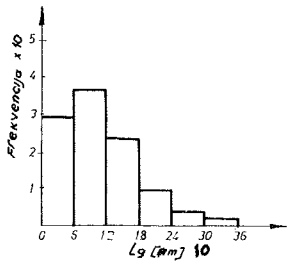
Dobijene trase se izokrenu radi dalje analize tako da udoline postaju vrhovi i obrnuto. Ovaj korak u metodi se pokazao pogodnim jer svi vrhovi koji svojom geometrijom nebi bili u mogućnosti da učestvuju u obradi su izbjegnuti. Analiza trasa korišćenje dva parametra l_g rastojanje izmedju dva aktivna zrna i h_g – visinsko rastojanje izmedju dva takva zrna izvedena je preko programa razvijenog za mikro računar Commodore Pet koji je povezan sa Hewlett Packard digitalnim ploterom na koji se postavljaju dobijene trase za odredjene uslove. Program direktno učitava kordinate vrhova zrna tocila sa trasa, vrši korekciju zbog radijusa zaobljenja tocila i daje frekventu distribuciju parametara l_g i h_g. Program koristi jednačine putanje aktivnog zrna kroz radni predmet za prepoznavanje aktivnih zrna na tocilu.

3. Prezentacija podataka aktivnih zrna

Za različite uslove brušenja pokazalo se da ne postoji korelacija izmedju parametara l_g i h_g što je omogućilo posmatranje distribucije l_g i h_g nezavisno. Tipična vrednost l_g kreću se od 0 - 3600μm dok je raspon za h_g - 6 - 12μm. Negativna vrednost znači da položaj vrha može biti iznad ili ispod prethodnog aktivnog zrna. Tipični histogrami su pokazani na sl. 2 i sl.3

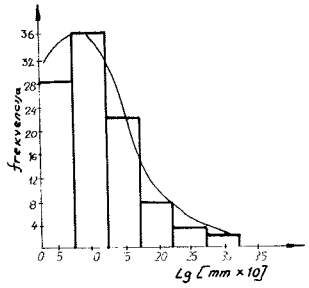


Sl.2



Sl.3

Pokazalo se da ovi histogrami odgovaraju Puasonovoj distribuciji. Na sl.4 pokazano je poklapanje teoriske Puasonove raspodjele sa eksperimentalnim rezultatima. Prednost ove raspodjele je što koristi samo jedan parametar za njeno definisanje.

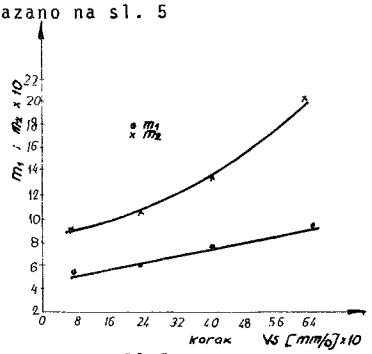


Sl.4

Frekvencije se dobijaju preko serije vrednosti apcisa dobijene preko izraza e^{+m} e^{-m}. Tako se došlo do odgovarajućih vrednosti m_1 obradnosti tocila za parametar l_g i m_2 za h_g.

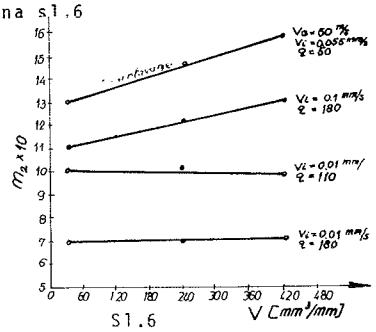
4. Rezultati

Ovaj metod moguće je primeniti za bilo koje stanje proc. brišenja zaustavljajući proces i uzimanjem otisaka sa različitih mjesta po površini tocila. Ovi otisci predloženom metodom se analiziraju i obradni parametri tocila m_1 i m_2 se mogu naći. Parametri statičkih zrna (topografija tocila posle obrade poravnjavanjem) dobijeni za pojedine uslove poravnjavanja tocila RA60K5V70H variraju i promjena je primjetna za male promjene uslova poravnjavanja što je pokazano na sl. 5



Sl.5

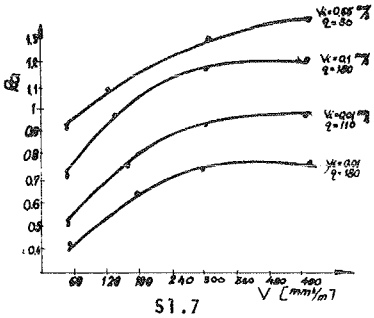
Efekat uslova brušenja na obradne parametre tocila m_1 i m_2 pokazani su na sl.6



Sl.6

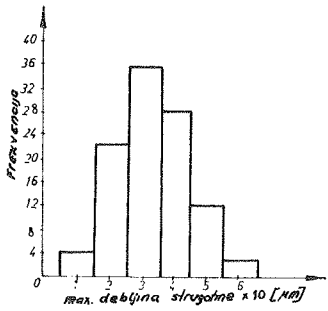
Sl.6 pokazuje da za ekstremne uslove kada se pojavljuje podrhtavanje parametar m_1 ima trend brzog porasta što se objašnjava znatno pojačanim procesom samoštrenja. Pokazalo se da promjene m_1 i m_2 u toku brušenja se može sasvim dobro analizirati sa promjenama drugih parametara procesa brušenja. Na sl.7 za iste uslove brušenja

date na sl.6 date su promjene kvalit eta obradjene površine



Sl.7

Uvrštavanjem parametara distribucije u razvijeni program dobija se distribucija debljine strugotine koja se pokorava normalnoj raspodjeli sl.8



Sl.8

5. Zaključak

Poznavanje obradnih parametara predložene metodom omogućava predvidjanje optimalnih uslova brušenja za date uslove. Dobijeni rezultati su veoma pouzdani jer su nastali kao rez ultat sveobuhvatne analize uticajnih ulaznih parametara na parametre procesa obrade. Poznavanje uticaja topografije tocila je posebno značajno ako se radi o brušenju sa velikim učincima brušenja.

7. Literatura

1. Brough,D. and Rowe,W.B Aspects of High Speed Centreless Grinding First Joint Symoosium on Manufacturing Engineering. Leicester.(1977)

2. Bell.W.F, Brough, D. Calcuation of Undeformed chip parameters for High Grinding Rates Third Joint Polvtechnics Symposium on Manufacturing Engineering. Wolverhamnton, May 1982.

3. Brough.D. Achieving and Monitoring High Rate Centreless Grinding Twetyfirst M.T.D.R. Conference Swansea University, september (1980)

4. Kaliszer.H. and Trmal,G the Role of Cutting Edges in a Grinding Wheel Nineteenth M.T.D.R. Conference (1978) pp. 473-481

5. Konig. W, and Lortz, Properties of Cutting Edges related no Chin Formation in Grinding Annals of the C.I.R.P. vol. 24,1 (1973)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982 GODINE

Ljubo Zirojević*

PROGNOZE I GRANICE PRIMJENE VISOKOUČINSKOG BRUŠENJA REZNOG ALATA

R e z i m e

Tehnologijom visokoučinskog brušenja se danas izradjuju svi moderni rezni alati napravljeni iz brzoreznog čelika.

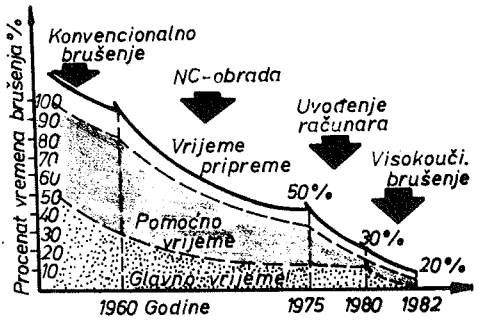
U radu se daju karakteristike ove tehnologije prognoze za njenu primjenu u budućnosti i ograničavajući faktori u primjeni.

PROGNOSIS AND LIMITS OF APOLICATION OF HIGH PRODUCTIVE CUTTING TOOL GRINDING METHÓD

S u m m a r y

All modern cutting tools made of high speed steel are made by high productive grinding technology novodays. All characteristics of this technology, the prognosis for its application in future and limiting factors in application are given in work.

Razvoj obrade brušenjem je od 1960 godine do danas prolazio kroz nekoliko stadijuma. U svakom razvojnom koraku su se bitno smanjivala vremena pripreme, pomoćna vremena izrade i glavno vrijeme izrade. Visokoučinsko brušenje se primjenjuje više od 2o godina, ali tek od 198o se bitno uticalo na vrijeme izrade i dobilo je najznačajnije mjesto kao nova tehnologija, slika 1.



Slika 1.

Dijagram razvojnih koraka obrade brušenjem

*Mr Ljubo Zirojević, dipl.ing.maš.
Glavni inž.za realiz.projekata
Industrija alata "Trebinje"

Tehnologijom visokoučinskog brušenja vrijeme obrade je smanjeno do 80% uz dobar kvalitet obradjene površine, kao i visoku stabilnost geometrijskih veličina.

Pravilnom primjenom SHIP* uticalo se na smanjenje toplotnih naprezanja i smanjenje strukturnih transformacija u materijalu obrade.

U izradi alata za obradu rezanjem, posebno reznih alata iz brzoreznog čelika, ova je tehnologija napravila pravu revoluciju.

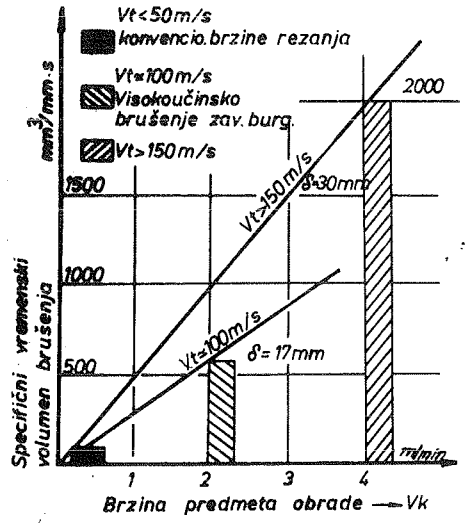
U pogledu primjene u izradi zavojnih burgija brušenjem, slika 2, ukazuje se na budućnost razvoja i predvidjaju dubine brušenja do 30 mm, uz primjenu brzine rezanja iznad 150 m/s.

Pri poredjenju konvencionalnog i visokoučinskog brušenja može se poći od različitih uporedjenja ali u osnovi su razlike u primijenjenim brzinama rezanja gdje su one iznad 50 m/s brzine visokoučinskog brušenja.

Veće brzine rezanja omogućuju veće učinke brušenja, bolji kvalitet obradjene površine, manje sile rezanja i duži vijek trajanja tocila, slika 3.

Porastom brzine rezanja čisto vrijeme brušenja se smanjuje.
Porastom brzine rezanja obim obrušenog materijala raste, ali je porast manji što je materijal obrade tvrdji.
Porastom brzine rezanja smanjuje se debljina strugotine i sile rezanja.
Porastom dubine rezanja temperatura rezanja raste.

* SHIP - sredstvo za hladjenje, ispiranje i podmazivanje pri brušenju



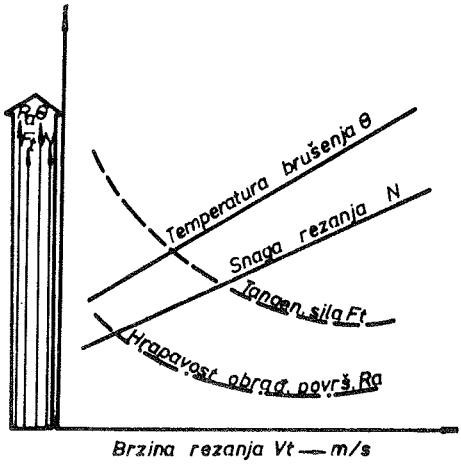
Slika 2.

Prognoze primjene visokoučinskog brušenja zavojnih burgija

Porastom brzine predmeta obrade opada temperatura rezanja uz stalnu brzinu rezanja.
Porastom brzine predmeta obrade dubina progrijavanja graničnog sloja je manja uz iste ostale uslove brušenja.

Na procese visokoučinskog brušenja alata od termički obradjenog brzoreznog čelika utiču mnogi parametri koji po svom porijeklu mogu biti povezani sa visokoučinskom brusilicom, prirodom materijala alata i režimom prethodne termičke obrade, kvalitetom i vrstom tocila, primijenjenim režimima brušenja, željenim kvalitetom obrade, primijenjenim SHIP i načinom njegove eksploatacije itd.

Svaki od navedenih izvora sadrži čitav niz uticajnih faktora na proces visokoučinskog brušenja. Brzorezni čelik je složena legura i njegov toplotni kapacitet je vezan za sastavne mikrokomponente



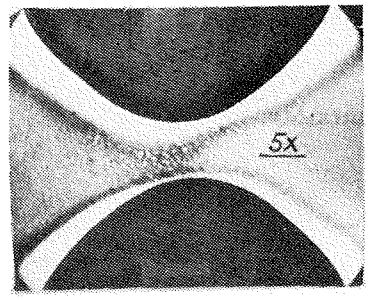
Slika 3.

Uticaj brzine rezanja na ostale parametre režima rezanja

koje će se pod uticajem generisane toplotne energije transformisati u graničnom sloju alata.

Toplotne procese u graničnom sloju predmeta obrade karakteriše velika brzina mikrorezanja i trenutna temperatura zagrijavanja, a primjenom SHIP i velika brzina hladjenja.
Zakonima generisane toplotne energije je moguće objasniti pojave vezane za habanje brusnih zrna, kvalitet obradjene površine, vijek trajanja SHIP, vijek trajanja alata u eksploataciji itd.

Jedan od ograničavajućih faktora u primjeni ove tehnologije su baš toplotni procesi u graničnom sloju predmeta obrade. Nepravilnim izborom režima rezanja, režima hladjenja ili eksploatacije i dovodjenja SHIP, stvaraju se u graničnom sloju predmeta obrade "opaljene zone".
Teoretski nismo u stanju predvidjeti zbivanja u složenoj leguri



Slika 4.

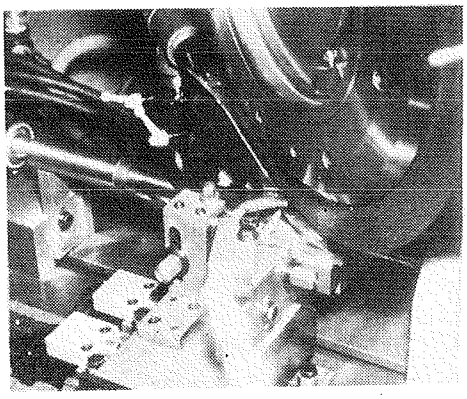
"Opaljene zone" zavojne burgije pri brušenju žljeba

brzoreznog čelika ali praktično na njih možemo uticati.

Za ocjenu strukturnih promjena u graničnom sloju kod visokoučinskog brušenja može da posluži visina kontaktne temperature.
Ako je visina kontaktne temperature ispod temperature otpuštanja (550°C) brzoreznog čelika tada su strukturne promjene u graničnom sloju minimalne, a kvalitet alata u eksploataciji optimalan.

Ako je visina kontaktne temperature veća od 870°C (AC_3) dolazi do ponovne austenitizacije i do kaljenja graničnog sloja, a usljed snažnog otpuštanja alata stvaraju se sekundarni karbidi usljed raspada martenzita i udaljavanja iz njega legirajućih elemenata.

Smanjenjem legirajućih elemenata raste sadržaj zaostalog austenita čiji je koeficijent provodjenja toplote vrlo nizak i to pogoduje snažnom zagrijavanju graničnog sloja i pojavi zaostalih napona. Sve ovo pogoršava kvalitet alata u eksploataciji.
Osnovni pravac razvoja brzoreznih čelika ide kroz porast sadržaja



Slika 5.

Visokoučinska brusilica alata

vanadijuma, molibdena i kobalta uz smanjenje volframa, jer volframovo prisustvo u martenzitu čim je veće koeficijent provodjenja toplote je niži.
Porast postojanosti tocila se obezbjedjuje hladjenjem i ispiranjem tocila dovodeći SHIP na prednju i zadnju površinu zrna. Pritisak ispiranja mora da obezbijedi odstranjivanje nalijepljene strugotine sa zrna i da istrošena zrna i strugotinu odnosi sa sobom.

Ako pritisak ispiranja nije dovoljan tada obrušeni metal iz pora tocila i sa zrna stvara dodatno trenje čelika po čeliku, te se generiše toplota sa temperaturama iznad AC_3 i do promjene u strukturi alata sigurno dolazi.
Pritisak ispiranja se kreće do 3o bara, a iznad te vrijednosti se ne postižu bolji rezultati ispiranja i postojanosti tocila.
Količina strugotine i otpadaka od tocila stvorenih u procesu rezanja ne smije da prelazi granicu od 2 g/l SHIP da bi efekti ispiranja bili optimalni, a proizvodnost procesa rezanja veća.
Na slici 5. vidi se način dovodjenja SHIP u proces visokoučinskog brušenja.
Održavanje kvaliteta SHIP je od presudnog značaja za kvalitet visokoučinskog brušenja.
Gdje je god moguće treba primjenjivati tocila od kubnogbornitrida zbog velikih učinaka brušenja i manjih troškova izrade po jedinici proizvoda.

Zaključci:

Rad je pisan u obliku zaključaka stvorenih na osnovu dugogodišnjeg iskustva iz projektovanja centralnih sistema hladjenja i ispiranja za visokoučinske brusilice u Industriji alata "Trebinje".

Literatura:

1. Vukelja D., Obrada rezanjem, Mašinski fakultet - Mostar, Mostar, 1973.

2. Zirojević Lj., An Apendix to the study of projecting the central coolant systems for products during the high productive grinding method, VI International Conference on production Research, Novi Sad, Avgust 1981.

3. Zirojević Lj., Umweltfreundlicher Kühlschmiermittelkreislauf Verfahren und Berechnung der Kosten von Nebeneinrichtungen, Technisches Zentralblatt für praktische Metallbearbeitung, tz, Nr. 1o., 75 Jahr, Okt. 1981, D.R.D.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

F. Roethel, M. Dobovšek*

IZHODIŠČA ZA PRIPRAVO POSTOPKA ELEKTROEROZIJSKE OBDELAVE

R e z i m e

Pri obdelavi obdelovancev z elektroerozijsko obdelavo je izredno pomembna pravilna priprava tehnologije. Od nje je odvisen čas obdelave in tudi kakovost izdelanih obdelovancev. Najprimernejše elektroerozijske naprave in obdelave lahko izberemo v več fazah po pripravljenem postopku. Za pripravo tehnologije moramo zbrati vse potrebne informacije in jih organizirati v informacijski sistem. Celoten informacijski sistem mora biti zgrajen tako, da omogoča uporabo podatkov za različne naprave.

BASIC PRINCIPLES FOR THE PREPARATION OF ELECTRO DISCHARGE MACHINING

S u m m a r y

At machining of workpieces by EDM the right preparation of technology is important. It conditions the machining time as well as the quality of the machined workpieces. The selection of the most suitable electro discharge machines and machining procedures can be done in several phases according to the already prepared system. In the process of technology preparation we have to gather all the necessary information and organize these data into an information system. The entire information system has to be built in the way to enable the application of data for various purposes.

1. UVOD

Pri obdelavi izdelkov zahtevnih oblik iz težko obdelovalnih materialov vedno pogosteje uporabljamo elektroerozijsko obdelavo. Z njo lahko obdelujemo električno prevodne materiale ne glede na njihovo trdoto in druge mehanske lastnosti.

Elektroerozijska obdelava je tehnološki postopek s sorazmerno majhnim odvzemom materiala na enoto časa. Zato je delež stroškov in časa elektroerozijske obdelave v proizvodnji velik. Zmanjševanje stroškov izdelave je v veliki meri odvisno od pravilnega predpisa tehnologije.

Pogoj za dobro načrtovanje postopka je dobro poznavanje elektroerozijske obdelave ter dovolj obsežna datoteka tehnoloških podatkov. Raziskave na tem področju potekajo na Fakulteti za strojništvo že vrsto let /1, 2, 3, 4/.

Datoteke tehnoloških podatkov zbiramo s standardiziranimi preskusi, kjer so pogoji za potek elektroerozijske obdelave idealni. Pri izdelavi izdelkov se hočemo tem pogojem čimbolj približati. Pri zahtevnih oblikah izdelkov in slabih pogojih izpiranja to ni vedno mogoče. Med

---

* Franc Roethel, dr.mag.ing., prof., Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2

Marjan Dobovšek, dipl.ing., asistent, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2

obdelavo prihaja do naključnih motenj, ki podaljšujejo čas obdelave, povečujejo obrabo elektrod ter povzročajo poškodbe na obdelovancih in elektrodah. V praksi se je pokazalo, da reakcije operaterja in običajnega servosistema za odpravo teh motenj niso dovolj hitre. Zato je potrebno izdelati sisteme za avtomatsko odpravo motenj /5, 6/.

Namen članka je prikazati postopek načrtovanja proizvajalnega procesa, v katerega je vključena tudi elektroerozijska obdelava. Načrtovanje slednje smo tudi podrobneje obdelali.

2. IZBIRA OBDELOVALNEGA PROCESA

Elektroerozijska obdelava je v večinoma le ena od operacij izdelave izdelka. Obdelovance predto obdelavo obdelamo z odrezovanjem in toplotno obdelavo. Končno obliko dobi obdelovanec z elektroerozijsko obdelavo. Le v nekaterih primerih obdelujemo v zadnji delovni fazi še z brušenjem, poliranjem ali lepanjem. S tem izboljšamo kvaliteto obdelanih površin.

Začetni podatki za načrtovanje delovnega procesa so podatki o izdelku. Vsebovati morajo vse za izdelavo potrebne parametre. Na osnovi teh podatkov poteka izbira in načrtovanje najprimernejših postopkov. Za načrtovanje potrebujemo obsežen informacijski sistem s podatki o vseh uporabljivih postopkih obdelave. Načrtovanje procesa poteka ročno ali s pomočjo računalnika. Uporaba računalnika omogoča hitrejše in natančnejše načrtovanje procesa. Taka priprava da poleg izpisa poteka procesa še luknjan trak za krmiljenje numerično krmiljenih strojev (sl. 1).

3. NAČRTOVANJE ELEKTROEROZIJSKE OBDELAVE

V prvi fazi načrtovanja delovnega postopka moramo izmed razpoložljivih naprav izbrati ustrezno elektroerozijsko napravo. Izbira je odvisna od teže in dimenzij obdelovanca ter z elektroerozijsko obdelavo obdelane oblike. Glede na obliko odločamo ali bomo obdelovance obdelali na numerično krmiljeni napravi za elektroerozijsko rezanje z žico, ali na napravi za elektroerozijsko grezenje. Naprava za rezanje z žico omogoča sicer hitrejšo izdelavo, vendar je omejena na izdelavo lukenj skozi obdelovance in pestičev z omejeno koničnostjo. Naprava za elektroerozijsko grezenje omogoča izdelavo lukenj in zaprtih trodimenzionalnih oblik. V kolikor na razpoložljivih napravah ne moremo izdelati izdelka, moramo poiskati druge možnosti obdelave, ali poiskati storitve drugod.

Pri načrtovanju postopka obdelave na numerično krmiljenih napravah za elektroerozijsko rezanje z žico najprej izbremo parametre elektroerozijske obdelave. Potrebni podatki so zbrani v datoteki tehnoloških postopkov in datoteki parametrov obdelav. Nato programiramo krmiljenje stroja. Pri tem uporabljamo datoteko programov, ki so jo izdelovalci strojev pripravili tudi za posamezne oblike obdelovancev n.pr. zobnikov.

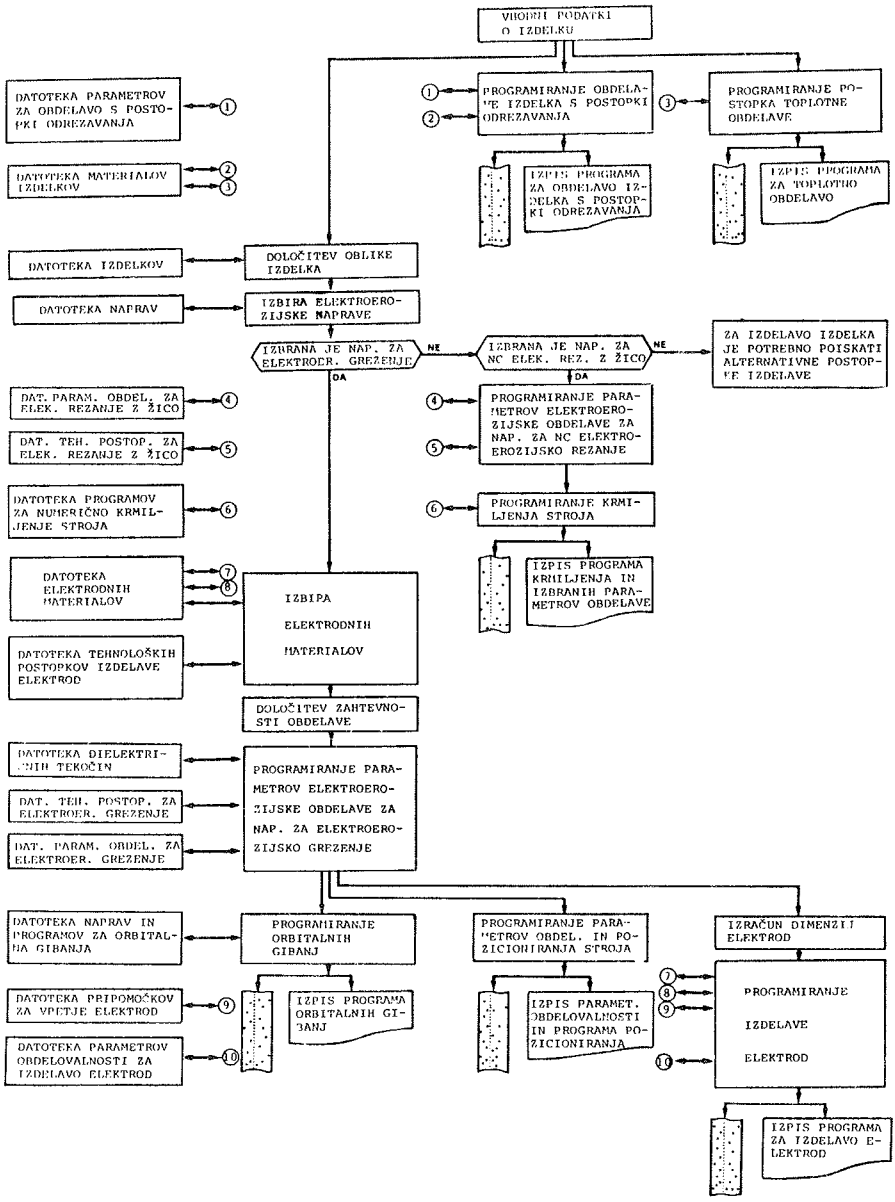
Načrtovanje postopka obdelave je na napravi za elektroerozijsko grezenje obširnejše. Najpreje izberemo materiale elektrod za posamezne stopnje obdelave. Izbira je odvisna od velikosti elektrod, kvalitete obdelave in seveda razpoložljivih materialov. Zahtevnost obdelave je odvisna od oblike izdelka, zahtevanih toleranc, hrapavosti, pogojev izpiranja itd. Z večanjem zahtevnosti obdelave se povečuje tudi čas izdelave.

Najobsežnejši del načrtovanj pri obdelavi je izbira parametrov elektroerozijske obdelave za posamezne stopnje obdelave. Za uspešno načrtovanje so potrebne datoteke dielektričnih tekočin, tehnoloških postopkov za elektroerozijsko grezenje in datoteke parametrov elektroerozijske obdelave. Za snovanje datotek moramo dobro poznati tehnološko problematiko in zbrati potrebne podatke s preskusi.

Uporaba orbitalnih gibanj elektrode omogoča velike prihranke predvsem pri obdelavi z dragimi elektrodami. Posebne programe moramo pripraviti še pri uporabi naprav z računalniško krmiljenimi orbitalnimi gibanji /7/.

Na sodobnih elektroerozijskih napravah je možno programiranje pozicioniranja elektrod na stroju, avtomatsko menjavanje elektrod in avtomatska izbira predhodno izbranih nastavnih in krmilnih parametrov za posamezne faze obdelave.

Točnost izdelave je pri elektroerozijskem grezenju odvisna od točnosti elektrode. Pred izdelavo elektrode moramo zato izračunati dimenzije elektrod glede na izbrane parametre obdelave. Izračunu dimenzij elektrod sledi izbira postopka obdelave s katerim bomo dovolj natančno izdelovali elektrode.



Slika 1: Diagram poteka priprave postopka elektroerozijske obdelave

4. SKLEP

V tem kratkem sestavku smo želeli opisati osnovno problematiko pri pripravi postopka elektroerozijske obdelave. Upamo, da bo naše delo pripomoglo k reševanju problemov te tehnologije in spodbudilo skupne napore za optimizacijo procesa.

Večjo izkoriščenost elektroerozijskih naprav bomo dosegli z izdelavo obsežnega informacijskega sistema, potrebnega za načrtovanje postopka in avtomatskim optimiranjem obdelave. Poskrbeti moramo, da bomo pri nas izdelovali potrebne elektrodne materiale - predvsem grafit. Začeti moramo s proizvodnjo domačih adaptivno krmiljenih elektroerozijskih naprav, ki bo osnovana na dovolj široki bazi zbranih tehnoloških podatkov. Obenem bo tako omogočena boljša priprava tehnologije, ki bo temeljila na fizikalnih parametrih elektroerozijske obdelave.

5. LITERATURA

/1/ Dobovšek, M.; Roethel, F.: Prispevek k raziskavam obdelovalnosti po postopku EDM; 11. jugoslovensko savetuvanje za proizvodstveno mašinstvo, 2, Ohrid 1977, str. 179 - 188

/2/ Roethel, F.: Domače raziskave EDM procesa; Zbornik na trudovi, 11. jugoslovensko savetovanje za proizvodstveno mašinstvo, knjiga 2, Ohrid, 1977, str. 170 - 178.

/3/ Roethel, F.; Dobovšek, M.; Garbajs, V.: Primerjava lastnosti domačega in tujega materiala za utope pri obdelavi z elektroerozijo; zbornik objav - I, XII. jugoslovanskega posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor 1978, str. 12.1 do 12.10.

/4/ Roethel, F.; Dobovšek, M.: Izbira sistemov za elektroerozijsko obdelavo orodij za preoblikovanje; Zbornik radova - I, XIV. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Čačak, 1980, str. 139 - 147.

/5/ Garbajs, V.;Mikac, S.; Roethel F.: Meritve EDM parametrov; Zbornik na trudovi, 11. jugoslovensko savetuvanje za proizvodstveno mašinstvo, 2, Ohrid, 1977, str. 156 - 166.

/6/ Garbajs, V.: Možnosti izboljšave storilnosti EDM naprave; Seminar 7, druga knjiga, Razvoj orodij in postopkov izdelave, Celje, 1981, str. 349 - 358.

/7/ Dobovšek, M.: Nove možnosti pri uporabi elektroerozivne obdelave; Seminar 7, druga knjiga, Razvoj orodij in postopkov izdelave, Celje, 1981, str. 335 - 347.

OBRADA DEFORMISANJA

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR,1982.GOD.

Predrag Popović*

STANJE I PRAVCI ISTRAŽIVANJA U OBLASTI OBRADE MATERIJALA DEFORMISANJEM U NAS

R e z i m e

Polazeći od opšteg posljeratnog bujnog industrijskog razvoja u našoj zemlji, u radu je dat kratak uvid u pravce i stanje razvoja naučne i naučno-istraživačke djelatnosti u oblasti obrade materijala deformisanjem u Jugoslaviji, sa kratkim osvrtom na neke ostvarene rezultate.

SITUATION AND DIREKCTIONS OF RESERCH IN THE FIELD OF DEFORMATION WORKING OG MATERIALS WITH US

S u m a r y

Starting from the rapid general industrial development in our country after the war, the paper presents a short insight into the directions and state of development of the scientific and research activities in the field of Deformation Working of Materials in Yugoslavia, with a short reference to some of the results achieved in that area.

1. UVOD

Celokupni, u XX veku eksplozivni industrijski razvoj, odnosno celokupni razvoj,uopšte,tehnike i tehnologije u svetu i u nas - slobodno se može reći - bazira na ostvarenim značajnim naučnim rezultatima u tom periodu.

Sagledavano u svetlu sveobuhvatnog razvoja tehnike i industrijske provodnje,ozbiljniji istraživački zahvati i razvoj sa osvajanjem i primenom savremenih i pouzdanijih metoda projektovanja i proračuna-zasnovanih na rezultatima naučnih i naučno-istraživačkih zahvata-tehnoloških procesa i sredstava rada za obradu materijala deformisanjem u industrijama, dešavaju se - i u svetu i u nas - u periodu posle drugog svetskog rata.

Uključujući se u celokupni proces savremenog razvoja sredstava i metoda obrade materijala deformisanjem, razvijeni su i u nas - izraženo u zadnje dve decenije-programi istraživačko-razvojne i naučne delatnosti u ovom veoma interesantnom, i za privredu naše zemlje, značajnom području, na čijoj realizaciji momentano rade stotine istraživača širokog spektra profila. Naime, od pojedinačnih istraživača, sa nikakvom ili više nego skromnom--bolje rečeno simboličnom-laboratorijskom opremom pre dve decenije, stvorena je do danas solidna laboratorijska baza u mnogim centrima širom zemlje, i razvijeni su čitavi istraživački timovi i grupacije, koje rade na realizaciji programi-

*Dr Predrag Popović,dipl.ing.maš.redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

ranih i planiranih naučnih i naučno--istraživačkih zahvata u oblasti obrade materijala deformisanjem u mašinstvu.

Analizirajući do sada ostvarene rezultate, kao i programe i planove istraživanja u ovoj oblasti,sagledavaju se pravci daljeg razvoja obrade materijala deformisanjem u nas.

2. MATERIJAL

Polazeći od činioca koji učestvuju u procesima proizvodnje:
- materijala koji se oblikuje i
- sredstava rada kojima se isti oblikuje;

te uslova - zavisno od vrste procesa izrade predmeta obrade - da materijal ima odredjena svojstva,tj.svojstva koja odgovaraju izabranoj tehnologiji,odnosno odgovaraju načinu obrade, dolazi se do toga da je-primenjeno na obradu materijala deformisanjem, i to specijalno na metode obrade plastičnim deformisanjem-neophodno:
- za postojeće materijale raspolagati pouzdanim pokazateljima njihovih plastičnih svojstava i
- obezbediti osvajanje novih materijala,materijala unapred definisanih karakteristika,

a sa ciljem obezbedjenja optimalnih uslova proizvodnje deformisanjem,kako u pogledu kvaliteta proizvoda,tako i u pogledu produktivnosti i ekonomske rentabilnosti.

Sagledavajući svu ozbiljnost problema materijala, kao meritornog činioca u industrijskoj proizvodnji, u našoj zemlji je mašinskim materijalima,koji se primenjuju u tehnologijama obrade deformisanjem,posvećena posebna pažnja postavljanjem programa i planova naučnih i naučno-istraživačkih zahvata, na čijoj realizaciji rade brojni istraživači i čitavi timovi već više od jedne decenije.

Pravci tih istraživanja su:
- razvoj i osvajanje teorijsko-eksperimentalnih - u najširem smislu te reči - metoda istraživanja i ispitivanja pokazatelja obradivosti materijala deformisanjem,te sveobuhvatnog i programirano-sistematizovanog rada na dobijanju tih pokazatelja,a koji treba da omoguće primenu savremenih i pouzdanijih inženjerskih metoda projektovanja i proračuna tehnologije obrade deformisanjem i
- razvoj i osvajanje sa primenom metoda dobijanja novih materijala unapred definisanih karakteristika.

2.1. Obradivost materijala deformisanjem

Procesima obrade materijala deformisanjem u mašinstvu se dobijaju - danas-elementi širokog spektra oblika i dimenzija,pri čemu se za to koriste razni materijali(metali, plstične mase i dr.) najrazličitijeg oblika (lim, profil, itd.).

Da bi se unapred uspješno definisao tehnološki postupak dobijanja željenog elementa,neophodno je primeniti pouzdan metod inženjerskog proračuna pri njegovom kreiranju. Medjutim,da bi se mogao razviti i primeniti savremen i pouzdan inženjerski metod proračuna, neophodno je pre svega dobro poznavati svojstva materijala od koga se taj deo izradjuje, odnosno neophodno je poznavati skup pokazatelja koji definišu njegovu obradivost odredjenim tehnološkim postupkom.

Zbog toga su, u brojnim našim centrima,postavljeni i razvijeni--dobrim delom medjusobno sinhronizovani-istraživačko-razvojni

programi i planovi istraživanja i ispitivanja obradivosti materijala deformisanjem, sa posebnim akcentom na ispitivanje obradivosti domaćih materijala.

Uvidom u ostvarene rezultate,proistekle iz realizacije ovih programa, kao i uvidom u dobar deo današnje delatnosti u nas u ovom području , može se reći da su istraživanja - vezana za proble obradivosti materijala deformisanjem-bila usmerena u dva pravca, i to:

- značajnije u domenu razrešavanja problema obradivosti lima i
- skromnije u domenu zapreminskog oblikovanja.

2.1.1. Lim

Problematika obradivosti lima je veoma složena i nimalo jednostavna, jer ima svoje mnogobrojne aspekte,kao što su: fundamentalno-teorijske,aplikativno-tehnološke,ekonomske.itd. Kao takve, a obzirom da se lim koristi u fundamentalnim mašinskim industrijama, kao što su:automobilska, vazduhoplovna i industrija robe široke potrošnje, ona je u današnjem vremenskom trenutku predmet najšireg i svestranog proučavanja u svetu,a naročito u industrijski razvijenim zemljama.

U našoj zemlji,pak,ona ima nesumnjivo poseban značaj, i to iz sledećih razloga:

- što se visokokvalitetni limovi u našoj zemlji još uvek ne proizvode;
- što se naše željezare nalaze u fazi osvajanja proizvodnje limova visokog kvaliteta i
- što još postoji nesklad u našim industrijama izmedju brzine osvajanja proizvodnje i mogućnosti stručnog kadra.

Prvi razlog ima za posledicu uvoz velikih količina lima visokog kvaliteta, pri čemu dolazi do izraženih,opštepoznatih tekoća,što se drastično odražava u industrijama-korisnicima ovog materijala. Sva ozbiljnost problema se jasno sagledava ako se pomenu samo neke posledice, kao što su:zastoji ili prekidi u proizvodnji,prinudne neadekvatne zamene kvalitetnog lima nekvalitetnim,sa svim nepovoljnim posledicama(povećan procenat neispravnih elemenata,opšti pad kvaliteta proizvoda,itd.) i dr.

Drugi razlog,pak, zahteva razrečavanje, ne baš jednostavnih problema na relaciji korisnik-proizvodjač,tj.problema definisanja kvaliteta lima od strane korisnika i njihovog ostvarenja od strane njegovog proizvodjača. Na osnovi bogatog inostranog iskustva, i nekih već stečenih vlastitih iskustava,ovaj problem prevazilazi uobičajeni rutinski tretman definisanjem i standardizovanjem kvaliteta.

Najzad treći razlog se ogleda u našim specifičnim okolnostima industrijskog razvoja,za koji je karakteristično uobičajeno brzo osvajanje - najčešće zahvaljujući licencama-proizvodnje mnogih proizvoda sa: manje-više neiskusnim.nedovoljno obućenim i nedovoljno stručnim kadrom sa jedne strane, a sa druge svestrano angažovanim,tim istim kadrom, na rešavanju dnevnih, najčešće rutinskih ili pak vanstručnih zadataka,što je neminovno vodilo ka relativnom zapostavljanju organizovanijih dubljih studija i analiza sa ciljem razrešenja najznačajnijih problema iz ovog kompleksa problema.

Sagledavajući svu ozbiljnost sažeto iznetih problema vezanih za problem industrijske obradivosti lima, i to sa aspekta meritornog ograničavajućeg faktora u tehnološkom smislu, vršeni su značajni napori-na žalost često nedovoljno shvaćeni i nedovoljno podržani-koji su doveli do:

- razvoja i osvajanja (MF-Kragujevac, MF-Niš, MF-Skopje, idr.) brojnih postupaka i metoda idpistivanja plastičnih svojstava lima, i njihovog permenentnog korišćenja u programiranim i planiranim ispitivanjima sa ciljem dobijanja verodostojnih vrednosti parametara i pokazatelja obradivosti lima deformisanjem;
- do sveobuhvatne i sistematizovane obrade parametara obradivosti lima, odnosno obrade dobijenih rezultata ispitivanja sa ciljem njihovog prezentiranja u obliku prikladnom i prihvatljivom za praktičnu upotrebu i primenu i
- do istraživanja sa ciljem iznalaženja novih pokazatelja i novih metoda ispitivanja obradivosti lima deformisanjem.

U želji omogućenja uspješnog sprovodjenja komparativne analize brojnih postupaka i metoda ispitivanja plastičnih svojstava lima, pa i šire sveobuhvatne analize karakteristika mašinskih materijala koji se primenjuju u tehnologijama obrade deformisanjem, a polazeći od tri osnovne grupe metoda ispitivanja obradivosti: eksploatacionih, tehnološko-laboratorijskih i teorijsko-laboratorijskih metoda, posvećena je posebna pažnja razrešavanju ključnih problema industrijskog oblikovanja elemenata od lima.

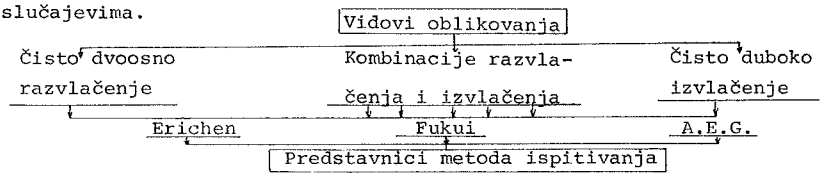
Naime, poznato je da je u industrijskoj proizvodnji cilj obezbedjenje svih neophodnih uslova za uspešno oblikovanje predmeta obrade, uz istovremeno ispunjenje osnovnih zahteva u pogledu: kvaliteta proizvoda i racionalnosti, odnosno ekonomičnosti proizvodnje.

Nesumnjivo je da mogućnost uspešnog rešavanja ovog problema zavisi u najvećoj meri od sposobnosti materijala da se deformiše, tj. zavisi od njegove deformabilnosti. Medjutim, poznato je da maksimalni-granični-iznos deformabilnosti nije funkcija samo svojstava materijala, već je funkcija i naponsko-deformacionog stanja, a koje je funkcija veoma velikog broja činilaca u procesu oblikovanja lima, kao što su: model spoljašnjeg opterećenja, oblik i dimenzije predmeta obrade, uslovi kontaktnog kretanja lima po radnim površinama alata, kvalitet alata u najširem smislu te reči, uslovi koje obezbjedjuju pomoćna sredstva, itd.

Složenost problema se tim više uvećava, ako se uzmu u obzir još specifični i često veoma kolebljivi proizvodni uslovi.

Sa druge strane, u praktičnoj primeni se koriste brojne metode laboratorijskih ispitivanja tehnoloških kvaliteta lima. Tu spadaju, kako različite simulativne metode za tehnološka ispitivanja, tako i metode zasnovane na ispitivanjima fundamentalnih mehaničkih ili drugih-hemijskih, strukturalnih i dr.-karakteristika materijala. Medjutim, pri svemu ovome treba imati u vidu čitav niz njihovih nedostataka.

Tako napr. simulativne metode su, rigurozno posmatrane, samo u izvjesnoj meri simulativne, jer se stvarni deformacioni procesi i odnosi pri industrijskoj obradi i pri ispitivanjima medjusobno razlikuju. Ta razlika je najveća u pogledu medjusobnog udela elementarnih vidova oblikovanja: razvlačenje, čisto duboko izvlačenje, savijanje, itd. Oni su - u opštem slučaju-tako medjusobno kombinovani, da čine beskonačnu široku lepezu kombinacija, što nije moguće ostvariti u laboratorijskim uslovima, bez obzira na relativnu brojnost i raznolikost metoda ispitivanja, što je shematski prikazano na slici 1., koja predstavlja moguće kombinacije elementarnih vidova oblikovanja kompleksnih delova od lima, sa naznakakom predstavnika poznatih postupaka ispitivanja, a koji najbolje odgovaraju pojedinim slučajevima.



Slika 1.

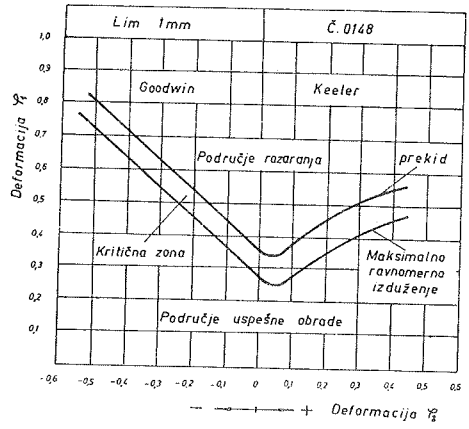
S toga se pojam obradivosti i njeni kvantitativni pokazatelji moraju obazrivo tumačiti,respektujući pri tome neizbežnu uslovnost svake donete odluke.

Medjutim, bez obzira na izneto,rezultati eksperimentalnih ispitivanja, u današnjem trenutku, neosporno predstavljaju neophodne indikatore stvarne obradivosti lima, bez kojih je nemoguće primena inženjerskih metoda projektovanja i proračuna tehnoloških procesa u proizvodnim uslovima.

S toga se, na kraju, žele istaći neki značajniji ostvareni rezultati na ovom polju u nas:

1. Osvojene su, u mnogim našim centrima, relativno brojne savrememene metode dobijanja krivih ojačivanja materijala, i obavlja se programirano i planirano iznalaženje ovih zakona promene specifičnog deformacionog otpora u funkciji stepena deformacije.
2. Osvojena je metoda ispitivanja granične deformabilnosti razvlačenjem, i rezultati ispitivanja se sistematizovano obradjuju, analiziraju i pripremaju u obliku priladnom za praktičnu primenu. Primera radi, na slici 2. je dat Keeler-Goodwin-ov dijagram granične deformabilnosti za Č.o148,debljine lima 1 mm.
3. Ostvareni su značajni teorijsko-eksperimentalni istraživački zahvati na rešavanju problema anizotropije plastičnosti limova i fenomena koji su njena posledica(MF-Kragujevac, MF-Skopje), odnosno,slobodno se može reći, da su već stvorene solidne osnove za dalja izučavanja ovog problema u pravcima:

- fundamentalnijeg sagledavanja prirode plastičnog deformisanja ma-



Slika 2.

terijala i

- u pravcu dobijanja pouzdanijih inženjerskih metoda projektovanja i proračuna tehnologija obrade lima.

4. Uočavajući, već utvrdjen znatan uticaj strukturnih karakteristika materijala na njegova mehanička svojstva, poklonjena je, zadnjih godina, posebna pažnja istraživanjima uticaja strukturnih karakteristika na obradivost lima (MF-Niš, MF-Kragujevac, MF- Skopje). Iako su ova istraživanja u nas tek od nedavna organizovana, dobijeni rezultati su veoma interesantni i ukazuju da ovom pitanju treba posvetiti daleko više pažnje.

5. Postavljeni su i razvijeni originalni pokazatelji obradivosti, odnosno razvijene originalne metode odredjivanja pokazatelja obradivosti, kao napr:

- kompleksni pokazatelji obradivosti karoserijskog lima/o3/; koji za presovanje grupe tipičnih karoserijskih delova putničkih automobila u uslovima Fabrike automobila "Crvena zastava" u Kragujevcu ima oblik:

$$P=77,5.K-282.n+o,88.\sigma_T-11,3.\Delta E-o,12.\delta_M+o,84.HRB-21,8.r-8 \quad (1)$$

gde su: P - kompleksni pokazatelj obradivosti;
K - koeficijent korelacije;
n - stepen deformacionog ojačavanja materijala;
σ_T - granica razvlačenja;
E - razlika izmedju dubine i minimalne nominalne dubine po Erichen-u;
δ_M - procentualno izduženje epruvete pri kidanju;
HRB - tvrdoća;
r - koeficijent normalne anizotropije i
8 - originalna metoda odredjivanja krivih ojačavanja etapnim istezanjem/o4/, itd.

2.1.2. Zapreminsko oblikovanje

U oblasti zapreminskog oblikovanja, odnosno troosnog prostornog stanja, obzirom na opšti trend razvoja procesa obrade deformisanjem u hladnom stanju, i istraživanja

obradivosti materijala su u nas-uglavnom-usmerena u pravcu istraživanja i ispitivanja pokazatelja obradivosti za metode obrade deformisanjem u hladnom stanju materijala, i to: utiskivanjem,istiskivanjem,vušenjem,idr.

Problematika materijala za zapreminsko oblikovanje je slična ili identična problematici lima, o čemu je bilo govora u prethodnom poglavlju.

Medjutim,sva dosadašnja istraživanja u nas, u ovoj oblasti,kretala su se u ispitivanjima,manje-više,jedne vrste materijala, čime je- o nekoj generalizaciji problema na osnovi dobijenih rezultata-još rano govoriti.

Obzirom,pak, na trend industrijskog razvoja,odnosno obzirom na sve veći prodor tehnologija zapreminskog oblikovanja elemenata deformisanjem u hladnom stanju u svetu i kod nas, ovom problemu se ubuduće mora posvetiti više pažnje.

2.2. Novi materijali

U ovom domenu se istraživanja kreću u dva pravca, i to:

- ispitivanja postojećih domaćih materijala u cilju davanja pouzdanih vrednosti parametara obradivosti domaćim proizvodjačima radi njihovih intervencija u smislu povećavanja kvaliteta ovih materijala sa aspekta obrade deformisanjem i
- istraživanja i ispitivanja postupaka dobijanja materijala unapred definisanih karakteristika.

U prvom slučaju značajna su ispitivanja u oblasti lima(MF-Kragujevac, MF-Skopje) i manjeg obima ispitivanja materijala za zapreminsko oblikovanje(FTN-Novi Sad, MF-Niš,MF-Banja Luka, i dr.),vezana za proizvodjače ovih materijala.

U drugom slučaju radi se o zahvatima preduzetim zad-njih godina, a čija se potreba javila razvojem nekih metoda izrade alata deformisanjem, kao što je izrada kalupa utiskivanjem u hladnom stanju i dobijanje elemenata obradom materijala u hladnom stanju, tj.izradom elemenata od materijala unapred odredjenih plastičnih svojstava, a u koje spadaju:metalurgija praha,disperzno ojačavanje materijala i dr.

3. TEHNOLOGIJA

Od istraživanja u domenu tehnologije obrade materijala deformisanjem,vredni su pažnje programi i rezultati istraživačko-razvojne delatnosti u nas, i to:

- u domenu daljeg izučavanja poznatih tehnologija obrade deformisanjem sa ciljem daljih usavršavanja i
- u domenu razvoja i osvajanja novih tehnologija.

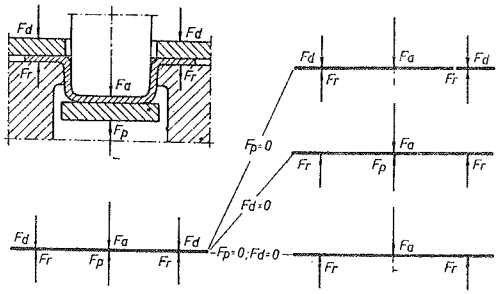
3.1. Modeli opterećenja

Uočavajući značaj neposredne povezanosti toka plastičnog deformisanja materijala od stvorenog naponsko-deformacionog stanja u njemu, i povezanosti naponsko-deformacionog stanja od načina i vrste spoljašnjeg opterećenja,posvećena je posebna pažnja razvoju modela opterećenja tehnoloških procesa obrade deformisanjem, kao jednom od fundamentalnih postavki u izučavanju ove tehnologije, a što je rezultiralo u formiranju mnogih modela opterećenja, kao napr:

3.1.1. Model opterećenja dubokog izvlačenja

Analizom procesa izrade elemenata metodom dubokog izvlačenja,

dolazi se do modela opterećenja, prikazanog na slici 3., pri čemu opterećenja (F_a),(F_r),(F_d)i(F_p) mogu dejstvovati: u tačci, po liniji:



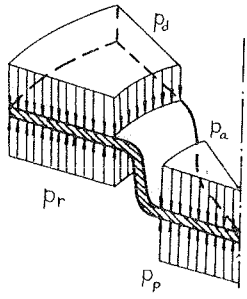
Slika 3.

$$q = \frac{F}{L} \quad Nmm^{-1} \qquad (2)$$

i po površini:

$$p = \frac{F}{A} \quad Nmm^{-2} \qquad (3)$$

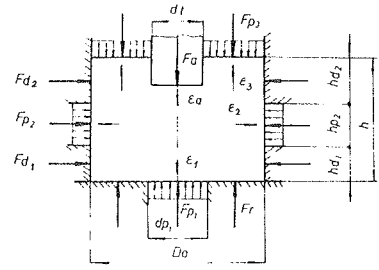
kako je prikazano na slici 4.



Slika 4.

3.1.2. Kompleksni model utiskivanja

Sveobuhvatnom analizom i sintezom svih mogućih varijanti spoljašnjih opterećenja i deformisanja pri izradi elemenata utiskivanjem,došlo se do kompleksnog modela prikaznog na slici 5., gde su: F_a-aktivna sila tiskača, F_r-reaktivna sila oslonca,F_{di}-sila držanja,koja sprečava tečenje materijala, F_{pj} - sila pridržavanja,koja sprečava teženje materijala i $_k$ - relativna deformacija materijala.



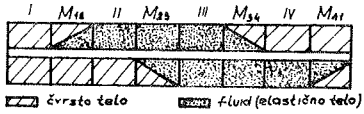
Slika 5.

Razvoj modela mogućih opterećenja obratka, čija su dva primera data u ovom poglavlju,omogućuju:

- dalje razvijanje podmodela u zavisnosti od oblika predmeta obrade, od oblika i karakteristika alata itd.;
- sistematizovanije i generalnije izučavanje pojedinih varijanti odredjenih procesa,sličnih po osnovnim karakteristikama u pogledu spoljašnjih opterećenja,pa time i u pogledu naponsko-deformacionog stanja i
- razvoj pravaca istraživanja, obuhvatajući pri tome i nove tehnologije u ovoj oblasti.

3.2. Obrada radnim telom

Polazeći od podele procesa izrade elemenata po načinu dejstva sredstava rada na mterijal koji se obradjuje, prikazane na slikama 3.i4., i podele po vrsti radnog tela pod čijim se neposrednim dejstvom oblikuje predmet rada,prikazane na slici 6.,razvijeni su programi istraživanja u domenu obrade nestišljivim fluidom i elastičnim radnim telom.



Slika 6.

U tom pravcu se kreću i teorijsko-eksperimentalna istraživanja, i to u domenu dubokog izvlačenja nestišljivim fluidom i u domenu savijanja elastičnim radnim telom, a do sada dobijeni rezultati su od šireg značaja.

Naime, dosadašnji doprinos u ovom području-pored već izloženih modela opterećenja-se ogleda u dobijanju cilindričnih i koničnih elemenata dubokim izvlačenjem po II klasi postupaka zradi kompenzacionih cevi nestišljivim fluidom(o5, o6) i savijenim elementima elastičnim radnim telom/o7/, te postavljanju inženjerskih metoda proračuna ovih tehnologija.

Rezultati ovih istraživanja ukazuju da:

- izrada elemenata iznetim postupcima može da nadje širu industrijsku primenu, jer se ovim metodama može ostvariti proizvodnost na nivou postupaka I klase,uz dobijanje elemenata daleko boljih kvaliteta sa znatno manjim brojem uzastopnih operacija i
- da je moguće istovremeno kombinovanje više različitih tehnoloških operacija,koje se obavljaju u samo jednom radnom ciklusu,kao napr.:duboko izvlačenje sa prosecanjem i probijanjem, ili duboko izvlačenje sa savijanjem i prosecanjem,itd.

3.3. Zapreminsko oblikovanje

Metode obrade materijala zasnovane na principu prostornog plastičnog deformisanja predstavljaju savremene i veoma progresivne metode obrade materijala,jer omogućuju, i to:

- dobijanje delova složenih oblika sa relativno malim brojem operacija;
- dobijanje delova visokog kvaliteta površina(klasa 6 i 7) i izradnih tolerancija(IT8 i IT7) i
- korišćenje-pri obradi u hladnom stanju - relativno jeftinih i nekvalitetnih materijala-obzirom na mehanička svojstva - za dobijanje elemenata povišene čvrstoće i tvrdoće .

Medjutim,primenjivost ovih metoda je još relativno ograničena,jer su dobrim delom zasnovane na iskustvu, što govori o nesavršenosti inženjerskih metoda proračuna u ovoj oblasti.

Da bi se postigla usaglašenost izmedju procesa obrade i sredstava rada, a u cilju dobijanja izradaka željenog kvaliteta, od bitnog je uticaja,izmedju ostalog,poznavanje zakona otpora materijala deformisanju u svim fazama njegovog oblikovanja.

Analiza svih dosadašnjih teorijskih i eksperimentalnih metoda odredjivanja zakona promene otpora ukazuje da su one nedovoljno pouzdane i tačne.Razlozi netačnosti teorijskih metoda su uglavnom sledeći:

- deformaciono ojačavanje materijala se ili ne uzima u obzir pri proračunima, ili se računa sa srednjim naponom tečenja u zoni plastičnog deformisanja;
- proračuni ne tretiraju"nestacionarno"stanje tečenja;

- koeficijenti trenja se procenjuju i
- zanemaruju se nravnomernosti napona i deformacija.

Eksperimentalne metode,pak,imaju opšti nedostatak što se obično uzima ili manji broj uticajnih faktora,ili se njihov uticaj ispituje tzv."jednofaktornim" metodama, čime se isključuje mogućnost odredjivanja njihovog medjudejstva.

Sagledavanjem napred navedenih teškoća i nedostataka poznatih teorijskih i eksperimentalnih prilaza u ovoj oblasti,razvijeni su, u zadnje vreme,programi istraživanja zasnovani na metodama višefaktornog planiranja eksperimenta.

U tom smislu su sprovedena u nas, već, mnoga istraživanja u oblasti: sabijanja, istiskivanja,utiskivanja i dr. procesa korišćenjem višefaktornih matematičkih modela, koji su podvrgavani proveri njihove adekvatnosti, uz proveru i predpostavljenog nivoa značajnosti izabranih činilaca.

Iz iznetog proizilazi da se u ovoj oblasti sve više, i u nas, razvijaju i osvajaju savremene metode proračuna tehnoloških procesa,tj. metoda koja koriste savremene matematičke metode i računar, a koje su daleko pouzdanije i tačnije u odnosu na klasične inženjerske metode proračuna.

Ilustracije radi, navode se dva primera teorijsko-eksperimentalnih istraživanja i ispitivanja u ovoj oblasti u kojima su korišćene savremene matematičke i savremene eksperimentalne metode, što je rezultiralo u dobijanju izraza za proračun radnog pritiska pri utiskivanju,odnosno izraza za proračun apsolutnog širenja pri valjanju uske trake visoke tačmosti.

3.3.1. Radni pritisak pri utiskivanju

Na osnovi sprovedenih istraživanja /o8/ u oblasti izrade elemenata utiskivanjem u hladnom stanju, dobijen je izraz za izračunavanje radnog pritiska,čiji je opšti oblik(za bilo koji materijal):

$$p=C_1 \cdot HB \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^n \cdot \alpha^{C_2 + C_3 \cdot \ln\left(\frac{t}{d}\right)} \quad (4)$$

odnosno za Č.1221,tvrdoće 115 HB:

$$p=2,22 \cdot HB \cdot \left(\frac{t}{d}\right)^{o,27} \cdot \alpha^{o,o98 + o,o56 \cdot \ln\left(\frac{t}{d}\right)} \quad (5)$$

gde su: n, C_1, C_2 i C_3 - parametri zavisni od materijala;
t - dubina utiskivanja;
d - prečnik tiskača;
α - ugao nagiba tiskača i
HB - tvrdoća po Brinelu,
a do koga se došlo teorijsko-eksperimentalnim putem korišćenjem savremenih matematičkih i savremenih eksperimentalnih metoda,čime je ostvarena tačnost od cca 2%.

3.3.2. Apsolutna širina pri valjanju

Koristeći u istraživanjima/o9/računar,matematički model rasmatranog problema :

$$b = d \cdot \left[\frac{\pi}{4 \cdot (1-\varepsilon)} - \varepsilon^{o,o75}\right] \cdot \varepsilon^{x_1} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^{x_2} \left(\frac{d\,\dot{\varepsilon}_s}{1ooo \cdot v_1}\right)^{x_3} \cdot \mu^{x_4} \quad (6)$$

zatim algoritam Fletcher-Reevers-a i eksperimentalno dobijene vrednosti apsolutnog širenja,proračunati su eksponenti funkcije širenja koji zadovoljavaju prvi postavljeni

kriterijum, pa je jednačina širenja pri valjanju uske trake dobila oblik:

$$b = d.\left[\frac{\sigma}{4.(1-\varepsilon)} - \varepsilon^{0,075}\right].\varepsilon^{4,0116}.$$

$$.\left(\frac{D}{d}\right)^{-1,9196}.\left(\frac{d.\dot{\varepsilon}_s}{1000.v_1}\right)^{-4,3899}.\mu^{-0,0394} \quad .....(7)$$

gde su: ε - relativni stepen deformacije;

$\dot{\varepsilon}_s$ - srednja brzina deformacije;

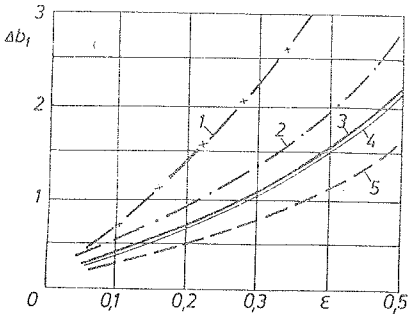
d - prečnik osnosimetričnog materijala;

D - prečnik radnog valjka;

v_1 - brzina valjanja

μ - koeficijent kontaktnog trenja.

Tačnost iznete metode proračuna po obrascu (7) u poredjenju



Slika 7.

sa: 1-A.Pomp-om, 2.-M.Zlotnikov-om, 3-eksperimentalnim vrednostima i 5-M.Kobayaski-jem date su na slici 7.

4. SREDSTVA RADA

Od istraživanja u domenu sredstava rada vredni su pažnje programi i rezultati istraživačko-razvojne delatnosti u nas, i to:

- u domenu mašina i
- u domenu alata,

dok su u domenu pomoćnih sredstava manje-više neznatna.

4.1. Mašine

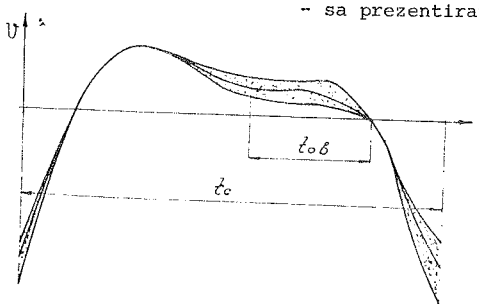
Uvidom u razvijene programe istraživanja, kao i ostvarene rezultate do sada,može se slobodno reći da su najveća ostvarenja postignuta u domenu razvoja savremenih metoda proračuna noseće strukture. Naime u ovoj oblasti su se do skoro, i u svetu i u nas, primenjivali klasični metodi proračuna noseće strukture, i to bazirani na statičkim opterećenjima. Slobodno se može reći da je prvi put-baš u nas pre jedne decenije(MF-Niš),rasmatrana noseća struktura mašina za obradu deformisanjem sa dinamičkog aspekta, i da su tada postavljene prve metode dinamičkih proračuna noseće strukture, čime su objašnjeni i rešeni fenomeni za koje se nisu znali uzročnici. Od tada do danas su u tom području dati značajni prilozi i razvijene savrememene metode proračuna noseće strukture mašina za obradu deformisanjem, koje omogućuju iznalaženje optimalnih njenih oblika i konfiguracija masa, a u cilju smanjenja težina uz povećanje krutosti.

Dalje u domenu mašina je vredna pažnje istraživačko-razvojna delatnost u području pogonskog mehanizma, i to u svim njegovim elementima: energetskom(MF-Niš,FSB-Zagreb, i dr.),veznom i kinematičkom(MF-Mostar i dr.).

Ilustracije radi, u želji ostvarenja optimalnog zakona promene brzine deformacije pri izradi cilindričnih elemenata sa neravnomerno redukovanom debljinom zida omotača, osvojena je mehanička presa sa kinematičkim delom pogonskog mehanizma u vidu zglobnog četverougaonika sa dodatnom dijadom/1o,11/, koji je omogućio promenu zakona

brzine deformisanja za vreme obrade, kako je prikazano na slici 8. Ovo je dovelo do:

- dobijanja elemenata poboljšanog kvaliteta uz povećanje produktivnosti novog rešenja prese u odnosu na postojeće od cca 2oo%;
- do poboljšanja kvaliteta izratka, što se ogleda u ravnomernijoj promeni površinske tvrdoće uzduž elementa, a što ukazuje na ravnomerniji stepen deformisanja materijala, odnosno poboljšano tečenje materijala u procesu njegovog preoblikovanja i
- do povoljnijeg toka prenosa opterećenja na pogonski mehanizam i mašinu u celini.



Slika 8.

4.2. Alati

Šitanje postojanosti i veka alata za obradu deformisanjem se odražava direktno na ekonimičnost i rentabilnost proizvodnje elemenata koji se dobijaju ovom tehnologijom, i ovom problemu se, obzirom na svakodnevno proširenje domena i obima korišćenja metoda obrade deformisanjem,sve više poklanja posebna pažnja.

Sva dosadašnja istraživanja ukazuju da je vrlo veliki broj činilaca koji utiču na postojanost, a time i na vek alata, pa problem nije ni malo lak i jednostavan.

Organizovana i programirana istraživanja u ovoj oblasti su preduzete iz sva osnovna razloga, i to:

1. Što ovaj problem postaje sve aktuniji, obzirom da se pitanje rentabilnosti proizvodnje svakim danom sve oštrije nameće.
2. Što su prezentirani rezultati dosadašnjih vrlo obimnih istraživanja i ispitivanja u svetu i u nas - u većini slučajeva statističkog i faktografskog karaktera, i to:

- bez dubljeg ulaženja u objašnjavanja i teorijska razjašnjavanja pojedinih fenomena;
- bez formiranja inženjerskih metoda proračuna postojanosti i veka alata za date uslove, pa i
- sa prezentiranjem rezultata ispitivanja na način koji je neprihvatljiv.

Respektujući izneto,značajni su nepori koji se čine u nas u pravcu postavljanja teorijskih modela,definisanja sa osvajanjem laboratorijsko-eksperimentalnih metoda ispitivanja i iznalaženja najpovoljnjijih koncepcijskih rešenja,počevši od izbora materijala do metoda obrade.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći generalni zaključci, i to:

1. Razvijeni su značajni programi i planovi istraživanja u nas, i ostvareni rezultati od izuzetnog interesa u oblasti obrade deformisanjem u mašinstvu, medjutim, i oni i celokupni rad na njihovoj realizaciji su plod više entuzijazma naučnog i stručnog kadra nego osmišljenog,strateški programiranog i sinhronizovanog, pa time i planski finansiranog zahvata u ovoj značajnoj oblasti.

2. Razbijene su zablude da je primena metoda obrade deformisanjem u proizvodnji determinisana karakteristikama materijala, odnosno uslovljena njegovim deformabilnim mogućnostima, jer programi i rezultati istraživanja ukazuju da se problemi obrade deformisanjem sve više u nas veoma kompleksno izučavaju u sklopu sveobuhvatnog tretmana predmeta obrade-obradni sistem.

3. Da su istraživanja u domenu automatizacije i programskog upravljanja sredstvima rada i procesom obrade u celini više nego skromna, i da je na tom planu veoma malo uradjeno, te se ovom problemu u narednom periodu mora posvetiti daleko više pažnje.

6. LITERATURA

(o1/ P.STANKOVIĆ: Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina, II deo,Naučna knjiga,Beograd, 1961.

/o2/ P.POPOVIĆ: Razvoj obrade deformisanjem i njen uticaj na trend razvoja mašina za obradu deformisanjem,Seminar BIAM'82,Zagreb, 1982.

/o3/ B.DEVEDŽIĆ: Obradivost domaćih materijala,Elaborat, I i II deo, Naučno-istraživački projekat: "Istraživanje i razvoj metoda projektovanja i proračuna savremenih sredstava i metoda obrade materijala deformisanjem sa istraživanjem obradivosti domaćih materijala sa verifikacijom u praksi",1981.

/o4/ V.STOILJKOVIĆ: Eksperimentalno odredjivanje krivih očvršćavanja etapnim istezanjem.Tehnika (Mašinstvo),Beograd,5.1981.

/o5/ V.STOILJKOVIĆ: Naponsko i deformaciono stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom sa pridrživačem i identifikacija uticajnih faktora sa uspostavljanjem njihovih korelacionih odnosa. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet,Niš,1977.

/o6/ D.NIKOLIĆ: Naponsko i deformaciono stanje pri izradi kompenzacionih cevi nestišljivim fluidom i odredjivanje uticajnih faktora sa uspostavljanjem njihovih medjusobnih odnosa.Magistarska teza,Mašinski fakultet, Niš, 1981.

/o7/ V.BOLJANO.:Istraživanje uticajnih faktora i njihovih korelacionih veza u procesu izrade vazduhoplovnih elemenata od Al-legura metodom savijanja u zavisnosti od primjenjivanih sredstava rada.Magistarska teza, Mašinski fakultet Mostar,1982.

/o8/ LJ.JANKOVIĆ: Izrada alata za obradu plastičnih masa utiskivanjem u hladnom stanju sa identifikacijom uticajnih faktora i uspostavljanjem korelacionih odnosa medju njima.Doktorska disertacija,Mašinski fakultet,Niš, 1981.

/o9/ M.JURKOVIĆ: Geometrija presjeka uske trake u funkciji termomehaničkih faktora i naponskog stanja procesa hladnog deformisanja.Doktorska disertacija,

Mašinski fakultet,Banja Luka,1981.

/1o/ P.POPOVIĆ,T.PANTELIĆ: Jedan primer ostvarenja usaglašenosti potreba tehnološkog procesa i mogućnosti sredstava rada.Zbornik radova III jugoslovenskog simpozijuma:"Mašine i mehanizmi,univerzitetska istraživanja i primena u industriji",Mostar, 198o.

/11/ I.BADŽAK,T.PANTELIĆ: Primena zglobnog četverougaonika proširenog dodatnom dijadom kod presa za duboko izvlačenje,Zbornik radova III jugoslovenskog simpozijuma"Mašine i mehanizmi, univerzitetska istraživanja i primena u industriji",Mostar, 198o.

/12/ P.POPOVIĆ.LJ.JANKOVIĆ:Prilog rasmatranju problema veka alata za prosecanje i probijanje. Obrada deformisanjem u mašinstvu,Novi Sad,2,1976.

/13/ B.REBEC: Prilog analizi uticajnih faktora i njihovih interakcija pri istrošenju reznih oštrica alata štance u cilju povećanja trajnosti sljedbenog reza u pogonskim uvjetima.Doktorska disertacija,Fakultet strojarstva i brodogradnje,Zagreb, 1976.

/14/ P.POPOVIĆ,LJ.JANKOVIĆ:Prilog rasmatranju problema kompleksnog modela i klasifikacija metoda izrade elemenata utiskivanjem,SIMOD,Niš,III,2,1977.

/15/ P.POPOVIĆ: Stanje i perspektive razvoja obrade materijala deformicanjem,SIMOD,Niš,II,2,1976.

/16/ V.STREZOV: Prilog kon proučavanjeto na promenite na parametrite na plastičnata anizotropija na tenkite limovi bo tekot na plastičnoto deformiranje.Doktorska disertacija,Mašinski fakultet,Skopje, 1981.

/17/ V.VUJOVIĆ: Prilog analizi ponašanja materijala u obradnom sistemu za neke procese sa raznosmernim mehaničkim šemama glavnih napona. Obrada deformisanjem u mašinstvu,Novi Sad,7,1981.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE MOSTAR 1982 GOD.

Binko Musafia *)

OBLIK ZONE DEFORMACIJE KAO ELEMENT OPTIMIZACIJE PROCESA

R e z i m e

Optimizacija procesa plastične redukcije metala implicira postizanje graničnih mogućnosti preoblikovanja, pri minimalnim radnim naponima procesa. U radu se analizira uticaj centralnog ugla alata, kao jednog od mjerodavnih parametara procesa.

GESTALT DER UMFORMZONE BEIM OPTIMALVERFAHREN

Z u s a m m e n f a s s u g

Ein Prozessoptimum bei der plastischen Reduktion von Metallen wird derzeit durch Ermittelung die Grenzen der Verformbarkeit unter Bedingung minimaler Prozessarbeitspannung erreicht. In der vorstehenden Ausführungen wird der Einfluss der Zentralarbeitswinkels, als einem der massgebenden Prozessparameters analysiert.

1. U v o d

Optimalna tehnološka alternativa procesa plastične redukcije metala pretpostavlja rad u najkraćem proizvodnom ciklusu, pri minimalnom energetskom bilansu. Pri istim naponsko-deformacionim odnosima, optimalni parametri tehnologije izvlačenja i presovanja zavise isključivo od kvaliteta kontaktnih uslova i dimenzionalno-konfigurativne korelacije zone deformacije[1].

2. M i n i m i z a c i j a

Složeni naponsko-deformacioni odnosi u zoni deformacije procesa dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida, rezultiraju naponskom funkcijom [2]:

$$\sigma_1 = A\,\frac{Q}{Q-T}\left(1-\frac{1}{\lambda^{Q-T}}\right)-$$

$$-\frac{1}{\lambda^{Q-T}}\left[B\,\frac{Q}{2\cdot(Q-T)}\,\frac{1}{\lambda^2}+C\,\frac{Q}{3\cdot(Q-T)}\,\frac{1}{\lambda^3}+\right.$$

$$\left.+D\,\frac{Q}{4\cdot(Q-T)}\,\frac{1}{\lambda^4}\right] \qquad (1)$$

*) Dr Binko Musafia, dipl.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu, 71000 Sarajevo, Omladinsko šetalište bb.

pri čemu A, B, C i D predstavljaju parametre mehaničkih svojstava materijala, dok T i ξ zavise od dimenzionalnih odnosa radne zone alata. Funkcija kvaliteta uključuje i tribologiju kontakta [3]:

$$Q = \frac{tg\alpha - \xi\, tg\beta + c_U(1-\xi)}{(tg\alpha - tg\beta)(1 - c_U\, tg\alpha)} \qquad (2)$$

Minimizacija napona izvlačenja (1) svodi se na ekstrem funkcije (2):

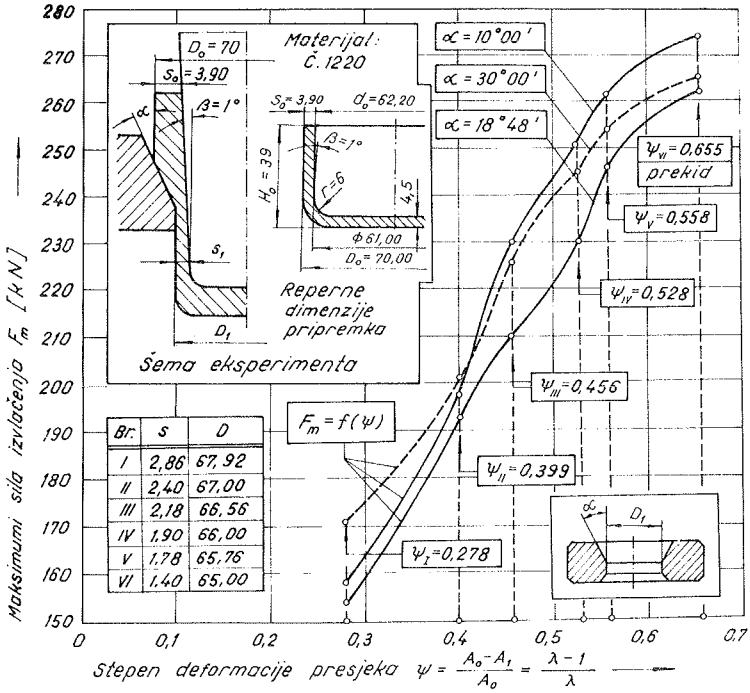
$$\frac{\partial Q}{\partial \alpha} = 0;\ c_U = 0{,}08\ ;\ \xi = 0{,}90837\ ;\ \beta = 1^\circ$$

Po ovim podacima dobivaju se optimalni parametri procesa:

$$\alpha_{opt} = 18^\circ 48'\ ;\quad Q_{min} = 1{,}05591 \qquad (3)$$

3. Eksperimenti izvlačenja

Opiti su vršeni sa žarenim, hemijski dezoksidiranim i fosfatiranim pripremcima od čelika Č.12 20, repernih dimenzija prema sl. 1. Sa šest garnitura alata, od kojih se svaka sastojala od tri prstena za izvlačenje (sa podoptimalnim $\alpha = 10^\circ$, optimalnim $\alpha_{opt} = 18^\circ 48'$ i nadoptimalnim $\alpha = 30^\circ$ centralnim uglom), vršeno je postupno povećanje stepena deformacije do razaranja proizvoda. Teorijska vrijednost graničnog stepena deformacije ($\psi_q = 0{,}558$) usaglašena je sa granicom narušavanja stabilnosti procesa, koja leži u području izmedju pete



Sl. 1 Promjene eksperimentalnih maksimuma sila izvlačenja u zavisnosti od stepena deformac. pri varijaciji centralnog ugla izvlačenja

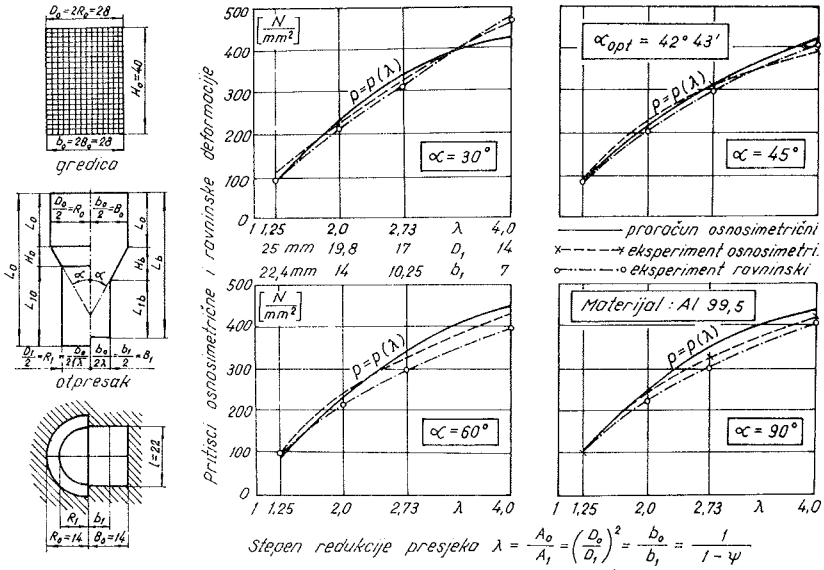
($\psi_5 = 0{,}558$) i šeste ($\psi_6 = 0{,}655$) probe. Po snimljenim indikatorskim dijagramima svakog procesa, i paralelno registrovanih maksimuma probnih sila na mjernoj skali mašine (sl. 1), zaključuje se, da se minimizacija energetskog bilansa postiže pri optimalnom uglu izvlačenja.

početka plastičnog tečenja i intenzivnosti očvršćavanja) i parametara procesa:

$$p = F(\lambda, \bar{k}_0, i_m, Q) \qquad (5)$$

Može se dokazati da pri optimalnom uglu presovanja:

$$\alpha_{opt} = arc\,tg\left(-\mu + \sqrt{1+\mu^2}\right) \qquad (6)$$



Sl. 2 Proračunske i eksperimentalne vrijednosti radnih pritisaka procesa presovanja metodom istosmjernog istiskivanja

4. Funkcija kvaliteta

U radu [1] je prikazano da funkcija kvaliteta procesa presovanja metodom istosmjernog istiskivanja ima oblik:

$$Q = Q(\mu, \alpha) = \frac{\mu + \mu tg^2\alpha}{tg\alpha - \mu tg^2\alpha} \qquad (4)$$

Radni pritisak presovanja je funkcija stepena redukcije λ, parametara materijala $\bar{k}_o$, i i_m (ekstrapoliranog napona funkcije (4) i (5) imaju minimalnu vrijednost.

5. Eksperimenti presovanja

Sa rasječenim gredicama od aluminijuma Al 99,5 (sl. 2) sprovedene su dvije serije eksperimenata i to u uslovima: osnosimetričnog i ravninskog deformacionog stanja.

Rezimirajući rezultati istraživanja pokazuju da je radni pritisak monotono rastuća

funkcija stepena redukcije λ, sa tendencijom slabljenja intenziteta priraštaja u području većih stepena redukcije [5].

Eksperimenti su vršeni za četiri vrijednosti stepena redukcije:

$$\lambda = A_o/A_1 = 1{,}25 \div 2{,}00 \div 2{,}73 \div 4{,}00$$

Dvodjelni osnosimetrični kalupi za presovanje izradjeni su sa izlaznim prečnicima:

$$D_1 = D_0/\sqrt{\lambda} = 25{,}0 \div 19{,}8 \div 17{,}0 \div 14{,}0 \text{ mm}$$

Adekvatne vrijednosti izlaznih širina komplementarnih dvodjelnih kalupa ravninskog deformacionog stanja [6]:

$$b_1 = b_0/\lambda = 22{,}40 \div 14{,}00 \div 10{,}25 \div 7{,}00 \text{mm}$$

Kontaktni uslovi kod oba procesa (osnosimetričnog i ravninskog) moraju biti isti. Radne površine svih alata brušene su i polirane u istom kvalitetu. Podmazivanje je vršeno mazivom sačinjenim na bazi molibden disulfita.

Svaka garnitura alata izvedena je sa četiri vrijednosti centralnog ugla presovanja. Slabi minimum radnog pritiska je kod većine eksperimenata izražen u području ugla $\alpha = 45^{\circ}$ (proračunski optimum iznosi $\alpha_{opt} = 42^{\circ}\ 43'$), pa tribološka konstalacija procesa predstavlja uticajni faktor minimizacije [7].

6. Zaključci

Optimizacija procesa plastične redukcije metala pretpostavlja korektno profiliranje radne zone alata, brižljivu izvedbu kontaktnih površina i adekvatan tribološki tretman.

Najpovoljniji obilk zone deformacije kod procesa presovanja i izvlačenja slijedi iz konfiguralivnih pokazatelja minimuma funkcije kvaliteta dotičnog procesa plastične redukcije.

Literatura

[1] O. Kienzle. Mechanische Umformtechnik, Springer Verlag, Berlin, 1968.

[2] B. Musafia. Metodski pristupi u istraživanjima nekih procesa plastične deformacije, Zbornik radova XIII Jugoslovenskog kongresa racionalne mehanike, Sarajevo - Beograd, 1976.

[3] B. Musafia. Granični stepen deformacije procesa obrade sa pozitivnim radnim naponom, Strojniški Vestnik, SV-XIII-P, Ljubljana, 1967.

[4] B. Musafia. Presovanje aluminijuma metodom istosmjernog istiskivanja, Zbornik radova Naučno-stručnog skupa obrada deformisanjem, Banja Luka, 1977.

[5] W. Johnson, P.B. Mellor. Engineering Plasticity, Van Nostrand Reinhold, London, 1975.

[6] B. Musafia. Modelska analogija procesa ravninskog deformacionog stanja, Obrada deformisanjem u mašinstvu, br. 3, Niš, 1977.

[7] B. Musafia. Rezultati istraživanja procesa presovanja, Zbornik radova seminara tehnologije u savremenim proizvodnim uslovima, Sarajevo, 1980.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Stevan Živanović, Milan Jurković

UTICAJ ZRAČNOSTI I BRZINE DEFORMISANJA NA TRAJNOST ORUDJA ZA PROSJECANJE I PROBIJANJE

R e z i m e

U radu je prikazan uticaj relativne zračnosti i brzine deformisanja na maksimalnu silu prosjecanja za tri vrste materijala. Obzirom da trajnost orudja zavisi od maksimalne sile prosjecanja, to se ovim radom ukazuje, uz korištenje posredne metode, na karakter zavisnosti trajnosti orudja od veličine zračnosti i brzine razdvajanja. Za razmatrana tri materijala u istraživanom području brzina ova zavisnost posjeduje paraboličan karakter.

INFLUENCE OF CLEARANCE AND CUTTING SPEED ON DURABILITY OF BLANKING AND PIERCING TOOLS

S u m m a r y

The paper treats the influence of realative clearance and cutting speed on the greatest cutting force for three kind of material. Durability of tools depends on the greatest cutting force then this paper points, by means of indirect method at character of dependence of durability of tools on size of clearance and cutting speed. For three considered materials in investigated interval of speed, this dependence has parabolic graph.

1. U v o d

Zračnost i brzina deformisanja utiču na trajnost orudja preko maksimalne sile deformacionog razdvajanja. A to znači da se smjer uticaja zračnosti i brzine na trajnost orudja za deformaciono razdvajanje može istraživati kroz praćenje promjene veličine maksimalne sile koja se pojavljuje u toku procesa /4, /5/. Pri čemu veća maksimalna sila razdvajanja izaziva intenzivnije trošenje orudja. U cilju odredjivanja faktora odnosa porasta maksimalne sile i intenziteta trošenja reznih elemenata orudja vršeno je neposredno praćenje trošenja reznih oštrica orudja u proizvodnim uslovima. Uporedjenje rezultata potvrdjuje u

Dr Stevan Živanović, dipl.ing., redovni profesor,
Dr Milan Jurković, dipl.ing., docent, Mašinski fakultet Banjaluka

potpunosti opravdanost primjene posredne metode. Posredna metoda ne zahtjeva dugotrajna istraživanja, te samim tim u veoma kratkom vremenskom intervalu može se dobiti veliki broj podataka /6/, a vrijeme istraživanja skraćuje za preko hiljadu puta. Ova metoda je i omogućila otkrivanje "dvojnog optimuma" /4/ i "antioptimalne brzine" /7/, /8/ u procesu deformacionog razdvajanja.

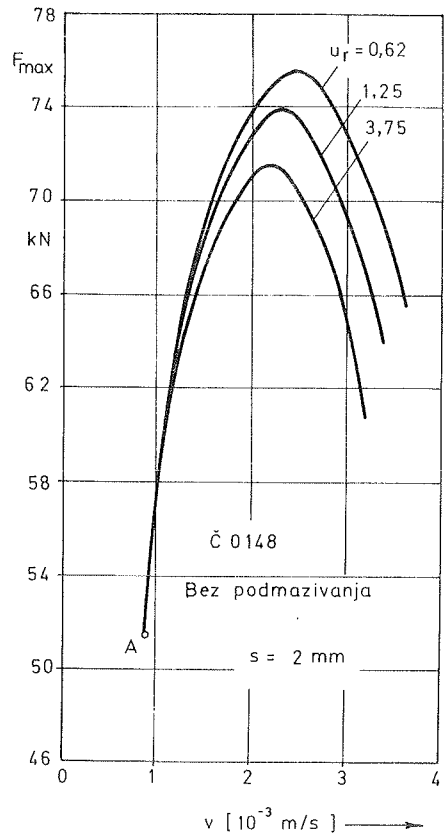
Istraživanje medjuzavisnosti uticaja zračnosti i brzine deformisanja na trajnost reznih oštrica oruđja za deformaciono razdvajanje sačinjava suštinu ovog rada. Istraživanje se odnosi na deformaciono razdvajanje bez podmazivanja.

2. Rezultati istraživanja i matematizacija korelacija

Posmatrajući grafički prikaz rezultata istraživanja zavisnosti maksimalne sile prosjecanja od zračnosti i brzine deformisanja za Č 0148, lako je uočiti da njihovu aproksimaciju predstavljaju linije drugog reda, koje obrazuju familiju parabola /6/, koja može biti definisana obrascem

$$F_{max} = av^2 + bv + c \qquad (1)$$

Pri čemu se konstanta "c" odredjuje iz graničnog uslova, koji se odnosi na tačku "A" (sl.1.,2. i 3.). Iz praktičnih razloga, u procesu ove matematske analize biće povećane brzine "v" množenjem ih sa 10^3, što znači da će biti prikazane u povećanoj razmjeri, te prilikom korišćenja matematiziranih funkcija koje slijede treba brzinama deformisanja vratiti prvobitne vrijednosti.



Sl.1. Korelacija brzine prosjecanja i relativne zračnosti za Č 0148

Za Č 0148 je v_A = 0,1 a F_{max} = 51,5 te je

$$c = -0{,}81\ a - 0{,}9\ b + 51{,}5 \qquad (2)$$

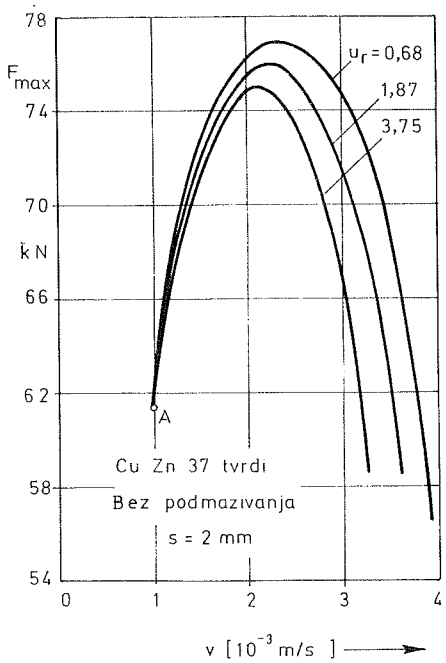
Za Cu Zn 37 tvrdi je v_A = 1 a F_{max} = 61,4 te je

$$c = -\ a\ -b\ + 61{,}4 \qquad (3)$$

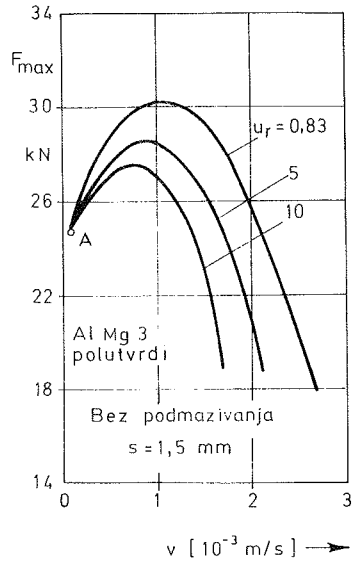
Za Al Mg 3 polutvrdi je v_A = 0,1 a F_{max} =24,6 te je

$$c = -0{,}01\ a\ -0{,}1\ b + 24{,}6 \qquad (4)$$

Unoseći vrijednosti konstante "c" iz jednačina (2),(3) i (4) u jednačinu (1) dobija se familija



Sl.2. Korelacija brzine prosjecanja i relativne zračnosti za Cu Zn 37



Sl.3. Korelacija brzine prosjecanja i relativne zračnosti za Al Mg 3

ilije razmatranih parabola, i to za Č 0148 F_{max} =

$$(v^2-0,81)a + (v-0,9)b + 51,5 \quad (5)$$

Za Al Mg 3 polutvrdi je

$$F_{max} = (v^2-0,01)a + (v-0,1) + 0,24,6 \quad (6)$$

Za Cu Zn 37 tvrdi je

$$F_{max} = (v^2-1)a + (v-1)b + 61,4 \quad (7)$$

Jednačine (5),(6) i (7) mogu biti prikazane u uopštenom obliku

$$F_{max} = (v^2-v_A^2)a + (v-v_A)b + F_{max,A} \quad (8)$$

Koeficijenti "a" i "b" u jednačini (8) mogu biti prikazani u funkciji od relativne zračnosti

$$a = u_r^{k_1} \qquad b = u_r^{k_2}$$

tako da jednačina (8) dobija oblik

$$F_{max} = (v^2-v_A^2)\, u_r^{k_1} + (v-v_A)\, u_r^{k_2} + F_{max,A} \quad (9)$$

gdje je

$u_r = \frac{u}{s}\,100$ relativna zračnost

k_1 i k_2 - koeficijenti koji zavise od zračnosti

k_1 - nalazimo iz zavisnosti

$$k_1 = \frac{\ln a}{\ln u_r} \quad (10)$$

gdje je

$$a = \frac{F_{max,A} - F_{max,T}}{(v_A - v_T)^2} \quad (11)$$

$F_{max,A}$ - maksimalna sila razdvajanja za tačku "A" (sl.1.,2. i 3.)

$F_{max,T}$ - maksimalna sila razdvajanja za antioptimalnu brzinu (ordinata temena razmatrane parabole)

v_T - antioptimalna brzina razdvajanja (apscisa temena razmatrane parabole)

k_2 - nalazimo iz jednačine

$$k_2 = \frac{\ln b}{\ln u_r} \qquad (12)$$

gdje je

$$b = -2 a v_T \qquad (13)$$

3. ZAKLJUČCI

a) Brzina razdvajanja u razmatranom području brzina utiče veoma jako na trošenje reznih oštrica orudja.

b) Zračnost takodje utiče na trošenje orudja, ali slabije nego brzina razdvajanja.

c) Postoji medjuzavisnost uticaja zračnosti i brzine razdvajanja na trošenje reznih oštrica orudja.

d) Zavisnost maksimalne sile razdvajanja, a samim tim i trajnost orudja, od zračnosti i brzine razdvajanja posjeduje paraboličan karakter.

e) Uticaj zračnosti na trošenje reznih oštrica orudja je pri manjim brzinama, u području istraživanih brzina, manji nego pri većim brzinama.

f) Za sve tri vrste istraživanih materijala postoji takozvani "zazorno-brzinski čvor" (tačka "A" na sl.1., 2. i 3.). Položaj tog čvora zavisi od vrste materijala.

g) Veličina antioptimalne brzine zavisi od vrste materijala i zračnosti. Antioptimalne brzine treba izbjegavati obzirom da je trošenje reznih oštrica orudja najintenzivnije pri tim brzinama razdvajanja (deformisanja).

4. L i t e r a t u r a

/1/ Lange K., Lehrbuch der Umformtechnik, Band 3.Blechumformung. Berlin, 1975.

/2/ Dallas D., Tool and Manifacturing Engineers Handbook, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1976.

/3/ Mihalenko P.F., Stojkost razdelitelnyh štampov. Moskva, 1979.

/4/ Živanović S., Usavršavanje procesa prosjecanja i probijanja kroz primjenu teorije dvojnog optimuma. Zbornik radova XIV Savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, knjiga 2, s.448-459. Čačak, 1980.

/5/ Živanović S., Korelacija dvojnog optimuma i podmazivanja u procesu prosjecanja. Časopis "Obrada deformisanjem u mašinstvu" br.6., s.49-56. Novi Sad, 1980.

/6/ Živanović S., Jurković M., Einflüsse auf den Vorschleiss von Stanzwerkzeugen. Bänder Bleche Rohre, 10-81, S.267-270. Würzburg (Savezna Republika Njemačka), 1981.

/7/ Živanović S., Jurković M., Uporedjenje uticaja materijala obradka i tehnoloških parametara na trajnost alata za deformaciono razdvajanje. Časopis "Obrada deformisanjem u mašinstvu" br.7., s.33-47. Novi Sad, 1981.

/8/ Živanović S., Povećanje obstojnosti rezalnih orodij na osnovi optimizacije procesa. Časopis "Strojniški vestnik" 1-2/1982. s.22-25. Ljubljana, 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Aleksandar Povrzanović *)

UTJECAJ PODMAZIVANJA NA PROVLAČENJE ALUMINIJA

R e z i m e

Razmatraju se poteškoće koje nastaju kad koristimo analitičke izraze za izračunavanje deformacione sile. Istraživanja pokazuju da je nedovoljno poznat koeficijent kontaktnog trenja pri tom značajan utjecajni faktor. Poznate poteškoće kod određivanja veličine ovoga navode na eksperiment kao jedini pouzdani način određivanja sile. Izvršena su stoga provlačenja aluminijske žice s različitim mazivima (mineralno ulje SAE 90, smjesa ulja i MoS_2, cinkov stearat). Epruvete su bile površinski tretirane anodnom oksidacijom i fosfatiranjem. Načinjena je usporedba s rezultatima koji su dobiveni pod jednakim uvjetima podmazivanja epruvete s površinom kakva je bila u dostavnom stanju. Analiza ukupnog specifičnog deformacionog rada omogućava određivanje rada izgubljenog na trenje i savladavanje smičnog naprezanja u deformacionoj zoni. Ovaj je uzet kao kriterij za prosudbu pogodnosti maziva korištenih u pokusima.

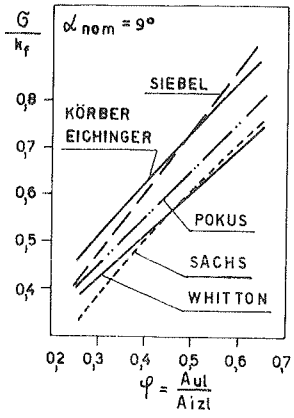
The Lubrication Effect on Aluminium Drawing

S u m m a r y

This paper considers difficulties in applying analytical expressions used in practice when the drawing force is to be defined. The coefficient of friction is found to be one of very influential factors. Well known difficulties in determination of μ justifies the experiment as the way for determination of the drawing force. Such experiments on the aluminium wire are made the surface being anodic oxidized and phosphated usig as lubricant EP mineral oil SAE 90 and MoS_2. The comparison of results obtained by drawing the wire in the condition of surface as delivered is made. An analyse of total specific work gives the opportunity to define redundant work used for friction and shear. This is a criterion for the relativ judgement of the favourable lubrication used in experiments.

*) Dr Aleksandar Povrzanović, izv. profesor, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Đure Salaja 1, 41000 Zagreb

Nesuglasnot rezultata izračunavanja veličine deformacione sile provlačenja kroz matricu okruglog presjeka s rezultatima mjerenja posebno je izražena kod provlačenja aluminija i aluminijskih legura. U praksi korišteni analitički izrazi za izračunavanje naprezanja i sile po Siebelu, Sachsu, Körberu i Eichingeru te Whittonu daju znatna odstupanja od izmjerenih veličina /1/ što je za jedan slučaj prikazano na slici 1. Pokazuje se da je pokus jedini pouzdan način određivanja za tehnološku praksu bitnih parametara. Ako je ove sistematskim pokusima moguće obuhvatiti, obradom rezultata mjerenja dobivaju se odgovarajuće analitičke funkcionalne veze. Rezultati izračunavanja sila i naprezanja pomoću takovih funkcija daju onda pouzdane rezultate za uvjete pod kojima su ove dobivene. Korist za praksu je to veća što su uvjeti pokusa sličniji onima koji su bili u tehnološkom postupku.



Sl. 1

Koeficijent kontaktnog trenja između površine deformacione zone i stijenke matrice je uz materijal provlake, redukciju i kut matrice osnovni utjecajni faktor na veli - činu deformacione sile. Izvršeni su sistematski laboratorijski pokusi provlačenja uz variranje redukcije, kuta matrice, vrste maziva i nosioca maziva, uvijek na istovranom materijalu. Na temelju analize varijance rezultata pokusa izvedenih po određenim planovima pokusa dobiveni su ponderi utjecajnosti variranih faktora i njihove interakcije. Potvrđen je značaj koeficijenta kontaktnog trenja u svim slučajevima ovog deformacionog procesa.

Prikazat će se jedan karakteristični dio izvršenih pokusa provlačenja žice E.Al 99,95 s matricom $\alpha = 9^{\circ}$ (nominalno) koje su omogućile pokuse s različitim redukcijama. Ostvareni su logaritamski stupnjevi deformacije $\varphi = 0{,}106 - 0{,}259 - 0{,}433 - 0{,}573$. Mjerena je pri tom sila potrebna za pro - vlačenje koje je obavljeno s tri vrste maziva: hipoidnim uljem SAE 90, smjesom MoS_2 i ulja te s cinkovim stearatom naprašenim na površinu epruvete. Također su ispitana tri stanja površine: dostavno stanje, anodno oksidirana površina (eloksirano) i fosfatirana površina. Za ostvarivanje posljednja dva stanja izvršena je prethodna priprema površine: prvo, čišćenje od oksidnog sloja u 10 % natrijevoj lužini (NaOH) a zatim čišćenje od eventualno prisutnih drugih metala pomoću 30 % dušične kiseline (HNO_3). Anodna oksidacija izvršena je u elektrolitu 20 % H_2SO_4 uz napon od 2 V i gustoću struje 0,015 A/m^2 u trajanju od 30 minuta. Postignuta je prosječna debljina sloja od 14,4 μm . Za fosfatiranje je dostajalo 2 lit kupke sa 76,5 ml H_3PO_4, 20 gr CrO_3 i 10 gr $NaHF_2$. Epruvete su bile uronjene 2 minute u ovu kupku zagrijanu na 50° C.

Prethodnim pokusima je za E.Al 99,95 određena krivulja očvršćenja standardnim metodama. Rezultati su omogućili prilagodbu funkciji $k_f = 130{,}473 \cdot \varphi^{0{,}255272}$ (N/mm^2) uz vrlo visok indeks determinacije. Integracijom ove funkcije određen je specifični deformacioni rad "čiste deformacije" a_φ. U ovom slučaju to je

$a_\varphi = 104{,}182 \cdot \varphi^{1{,}26312}$ (mJ/mm^3).

Izmjerena sila provlačenja omogućava određivanje ukupnog specifičnog deformacionog rada a_{uk} utrošenog za provlačenje. Dobiveni podaci obrađeni su na elektroničkom računalu radi prilagodbe odgovarajućoj funkciji metodom najmanjih kvadratnih odstupanja. Za svaki ispitivani slučaj određena je funkcija prikazana u tablici 1.

su provlačene epruvete s dostavnim stanjem površine. Pri tom upotrebljena različita maziva nisu pokazala značajne relativne razlike rezultata. Elokširana površina pokazuje najslabije rezultate što je i očekivano s obzirom na fizikalna svojstva tog sloja. Na temelju rezultata slijedi da fosfatiranje aluminijske žice prije provla -

Tablica 1

Stanje površine	Mazivo	a_{uk}= .....(mJ/mm^3)	Indeks determinacije
Dostavno	SAE 90	$139{,}012 \cdot \varphi^{0{,}91946}$	0,998275
	MoS_2	$140{,}379 \cdot \varphi + 3{,}66452$	0,996748
	cink.stear.	$136{,}745 \cdot \varphi + 3{,}03332$	0,997148
Eloksirano	SAE 90	$152{,}859 \cdot \varphi^{0{,}79693}$	0,998791
	MoS_2	$152{,}443 \cdot \varphi + 7{,}60987$	0,999747
Fosfatirano	SAE 90	$\varphi/(0{,}0028295\,\varphi + 0{,}00450512)$	0,997399
	MoS_2	$141{,}650 \cdot \varphi^{0{,}82823}$	0,999603

Vrednovanje rezultata pokusa načinjeno je na temelju bilanse ukupnog specifičnog deformacionog rada:

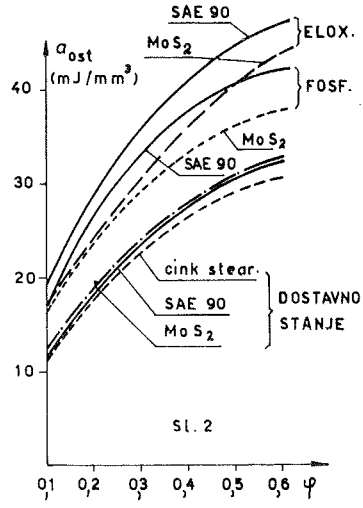
$$a_{uk} = a_{\varphi} + a_{ost}$$

Na temelju poznatih veličina a_{uk} i a_{φ} određen je za svaku seriju pokusa a_{ost}. Ovaj "ostatak" specifičnog deformacionog rada utrošen je na savladavanje kontaktnog trenja i smičnih naprezanja u deformacionoj zoni. I prvo i drugo predstavlja utrošak deformacionog rada koji ništa ne doprinosi provlačenju. No ako su pokusi provlačenja izvršeni uvijek s istim kutem matrica, veličina a_{ost} će biti mjera kojom se ilustrira uz postojeća smična naprezanja i relativni utjecaj maziva, odnosno djelujući koeficijent kontaktnog trenja a onda i dobrota maziva i stanja površine.

Rezultati određivanja "ostatka" specifičnog deformacionog rada prikazani su za istraživano područje logaritamskog stupnja deformacije na slici 2. Podaci na kojima se temelji slika 2 prikazani su u tablici 2.

Na temelju prikazanih rezultata slijedi da su gubici deformacionog rada najmanji kada

čenja ne daje nikakove prednosti s obzirom na gubitke deformacionog rada. Zaključci su u skladu s relativnim rezultatima istraživanja veličine koeficijenta trenja /2/ za istovrsne površine aluminija i ova maziva.



Sl. 2

Tablica 2

φ	Stanje površine	Mazivo	a_{uk} (mJ/mm^3)	a_{ost} (mJ/mm^3)
0,106	dostavno	SAE 90	17,654	11,764
		MoS_2	18,544	12,654
		cink.stear.	17,528	11,638
	eloksirano	SAE 90	25,557	19,667
		MoS_2	23,768	17,878
	fosfatirano	SAE 90	22,060	16,170
		MoS_2	22,076	16,186
0,259	dostavno	SAE 90	40,142	21,419
		MoS_2	40,022	21,299
		cink.stear.	38,450	19,727
	eloksirano	SAE 90	52,087	33,708
		MoS_2	47,092	28,369
	fosfatirano	SAE 90	49,446	30,723
		MoS_2	46,269	27,546
0,433	dostavno	SAE 90	64,390	28,445
		MoS_2	64,448	28,503
		cink.stear.	62,243	26,298
	eloksirano	SAE 90	78,450	42,505
		MoS_2	73,617	37,672
	fosfatirano	SAE 90	75,563	39,618
		MoS_2	70,817	34,872
0,573	dostavno	SAE 90	83,307	32,112
		MoS_2	84,101	32,906
		cink.stear.	81,388	30,193
	eloksirano	SAE 90	98,074	46,879
		MoS_2	94,959	43,764
	fosfatirano	SAE 90	93,529	42,334
		cink.stear.	89,312	38,117

Literatura:

/1/ Povrzanović,A., Plastomehanika u tehnološkoj primjeni, II. Jug. simp. teorije plastičnosti, Plitvice, 1982.

/2/ Ćosić,P., Utjecaj stanja površine na trenje pri deformiranju aluminija, XVI Savj. proizvodnog mašinstva, Mostar, 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Andrija Mulc *

O NEKIM KARAKTERISTIKAMA SPOJNICA I KOČNICA MEHANIČKIH PREŠA **

R e z i m e

Pet vrsta mehaničkih preša sa stalno rotirajućim zamašnjakom razmatrano je u pogledu gradje pokretnih dijelova, kinetičke energije ciklički pokretljivih dijelova i temeljnih karakteristika spojnice i kočnice. Rezultati usporednog prikaza namijenjeni su boljoj orijentaciji u izboru tipske spojnice i kočnice pri pregradnji starijih izvedbi preša.

ON SOME CLUTCH AND BRAKE CHARACTERISTICS OF MECHANICAL PRESSES

S u m m a r y

Five types of mechanical presses wiht continualy rotating flywheel have been analized concerning its design, inertia characteristics of movement elements and bacic parameters of clutch and brake. The comparation of results was made for the purpose of better orientation in application of standardized clutches and brakes to older presses.

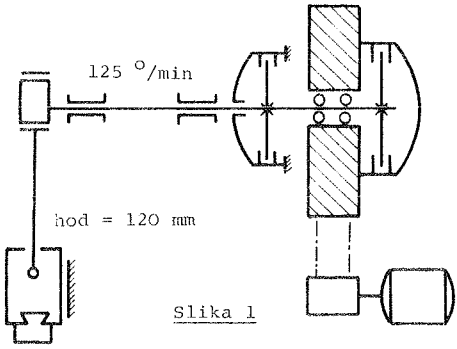
1. Uvod

Kod modernizacije starijih izvedbi mehaničkih preša najčešće se prvo rekonstruiraju uredjaji za uključivanje i isključivanje gibanja malja. U suvremenoj izvedbi ti uredjaji su spojnica, kočnica i sigurnosna kočnica. Mogu biti s mehaničkim,pneumatskim i hidrauličkim upravljanjem, suhe i vlažne. Najprošireniје,a i najjednostavnije su suhe s pneumatskim upravljanjem. Za nas su posebno zanimljive jer se već kao tipske proizvode i u našoj zemlji (vidi /8/ i /9/ u popisu literature).Ugradnji tipske spojnice i kočnice prethodi proračun, kakav se nalazi u /3/i/4/. On obuhvaća proračun momenta, opterećenje tarnih ploha, rad uključivanja i kočenja, kuteve uključivanja i kočenja te trajnost izraženu brojem uključivanja.

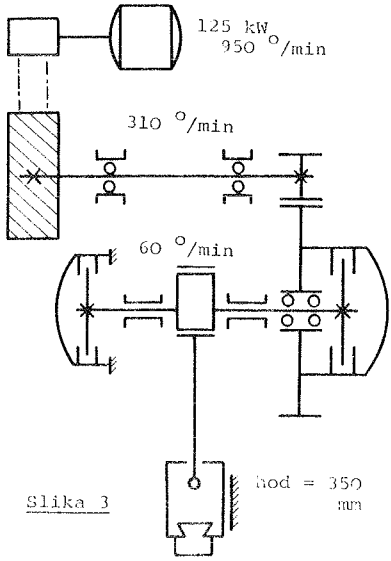
Kako proračun dozvoljava izbor para-

* Dr Andrija Mulc, izvanredni profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Djure Salaja 5

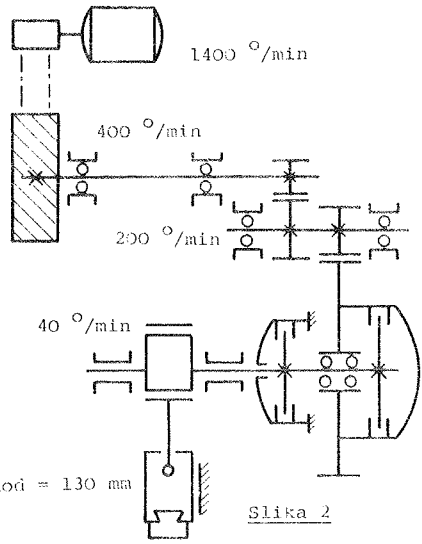
** Dio rezultata istraživanja provedenih u okviru znanstvenog zadatka "Istraživanje karakteristiku strojeva za oblikovanje deformiranjem s obzirom na proizvodnu namjenu



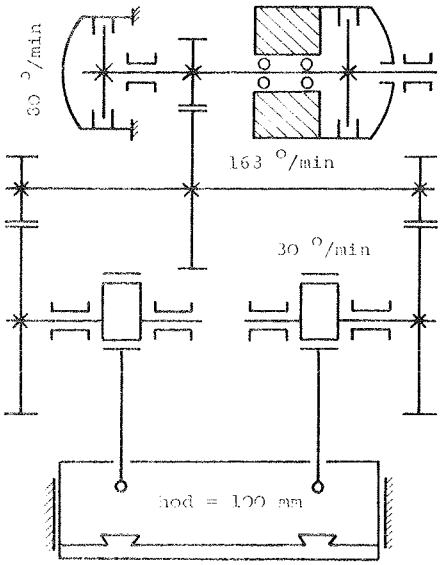
Slika 1



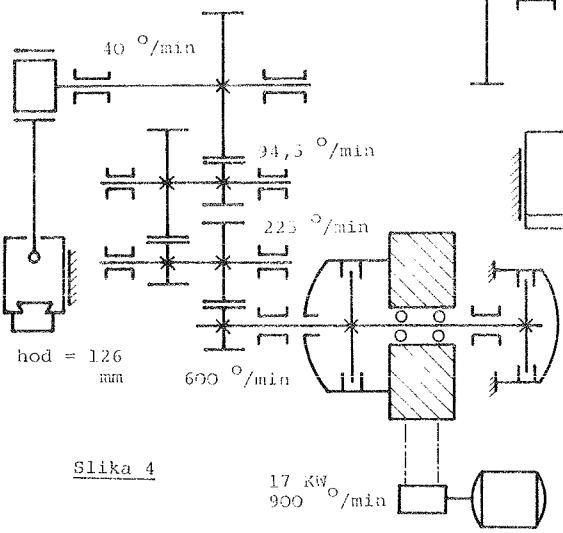
Slika 3



Slika 2



Slika 5



Slika 4

TABLICA 1 Osnovne karakteristike spojnice

	stroj sa slike / nazivna sila kN				
	1 1 000	2 2 500	3 25 000	4 2 500	5 1 250
Nazivni moment spojnice kNm	30,0	81,25	759,7	5,25	0,852
Prenosni omjer mehanizma malja	1	1	1	15	29,33
Broj tarnih ploha	2	6	4	2	2
Površina tarne plohe m^2	0,335	0,249	0,827	0,087	0,105
Srednji radius tarne plohe m	0,413	0,335	0,927	0,191	0,215
Max obodna brzina na sr.radiusu m/s	5,41	1,40	5,82	12,03	19,58
Normalna sila na tarnu plohu kN	99,12	110,4	559,3	34,5	5,48
Srednji spec. prit. na tarne plohe MPa	0,296	0,443	0,642	0,431	0,052

TABLICA 2 Osnovne karakteristike kočnice

	stroj sa slike / nazivna sila kN				
	1 1 000	2 2 500	3 25 000	4 2 500	5 1 250
Rad kočenja kJ	3,043	1,258	45,411	5,636	3,290
Broj tarnih ploha	2	2	2	2	2
Površina tarne plohe m^2	0,122	0,14	0,377	0,092	0,051
Srednji radius tarne plohe m	0,283	0,300	0,547	0,194	0,169
Max obodna brzina na sr. radiusu m/s	3,16	1,25	3,43	12,22	15,57
Normalna sila na tarnu plohu kN	60,07	21,33	433,36	10,08	3,47
Srednji spec. prit. na tarne plohe MPa	0,192	0,156	1,150	0,109	0,067
Specifični rad kočenja kJ/m^2	12,10	4,49	60,23	30,63	31,94

metara spojnice i kočnice u širem opsegu, posebno su za orijentaciju pri izboru zanimljive već postojeće izvedbe i to na prešama koje se ističu dobrom kvalitetom i velikom trajnošću.

U daljnjem tekstu se u tu svrhu analiziraju karakteristike spojnica i kočnica na pet preša s različitom nazivnom silom, gradjom pokretnih dijelova, položajem spojnice i kočnice i njihovim izvedbama. Preše su porijeklom iz četiri evropske zemlje, a izradjene su u vremenskom razdoblju od zadnjih dvadeset godina.Prva je univerzalna ekscentar preša suvremene izrade a shematski je prikazana na slici 1. Druga preša služi za teže operacije razdvajanja materijala i obrezivanje izradaka. Proizvedena je sredinom sedamdesetih godina. Slika 2 prikazuje njezinu strukturnu shemu. Treća preša, prema slici 3, kovačka je maxi preša. Gradjena je ranih šezdesetih godina. Četvrta je namijenjena za teže operacije štancanja, a gradjena je kasnih šezdesetih godina. Na slici 5 prikazana je struktura pokretnih dijelova preše za kutno savijanje proizvedene sredinom šezdesetih godina ovog stoljeća.

Do osnovnih podataka o prikazanim strojevima došlo se je identifikacijom njihove konstrukcije i to uz pomoć podataka iz knjiga (kao na primjer /2/) i kataloga. Neki podaci provjereni su i mjerenjem na dostupnim strojevima. Rezultati dobiveni proračunima na osnovi takve identifikacije smatraju se radi toga procjenom. To je razlog da se ovdje ne navode nazivi proizvodjača razmatranih strojeva.

Tablica 1 i tablica 2 sadrže temeljne podatke o spojnicama i kočnicama analiziranih strojeva.

2. Zaključno razmatranje

Rezultati u tablicama 1 i 2 pokazuju da se srednji specifični pritisak na tarne plohe spojnice kreće u granicama od 0,052 do 0,642 MPa, a kod kočnice od 0,067 do 1,15 MPa. Niži pritisci primijenjeni su za više obodne brzine tarnih ploha. Specifični rad kočenja kreće se u širokim granicama od 4,49 do 60,23 kJ/m^2 i to neovisno o obodnoj brzini tarnih ploha.

Površine tarnih ploha spojnice i do pet puta su veće od površina tarnih ploha kočnice na istoj preši.

3. Literatura

/1/ O. KIENZLE,"Die Kenngrössen an Pressen und Hämmern,Werkstattstechnik und Maschinenbau,H.1, 1953., 1-5.

/2/ A.A.IGNATOV,T.A.IGNATOVA,Krivošipnie gorjačeštampovočnie pressi, Mašinostroenie,Moskva 1974.

/3/ E.N.LANSKOJ,A.N.BANKETOV,"Elementi raščeta detalej i uzlov krivošipnih pressov",Mašinostroenie, Moskva 1966.

/4/ V.I.VLASOV,"Sistemi vključenija krivošipnih pressov",Mašinostroenie, Moskva 1969.

/5/ H.PÜSCHMANN,"Auslegung der Schwungradantriebes umformender und schneidender Werkzeugmaschinen mit Schubkurbelantriebe",Maschinenbautechnik 13,H. 5, 1964., S. 228 - 235.

/6/ A.MULC,"Utjecaj izvedbe mehanizma malja na karakteristike preše sa stalno rotirajućim zamašnjakom", Zbornik radova III Jugoslavenskog simpozija Mašine i mehanizmi, univerzitetska istraživanja i primena u industriji,Mostar 1980,C - 11,S. 293 - 300.

/7/ E.UNGARO,Ž.KULENOVIĆ,D.CAPARIN, I.ŠIMATOVIĆ,D.BUDIN,N.CVIJIĆ, Diplomski radovi,Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 1978 - 1979.

/8/ "Pneumatske spojnice",katalog tvornice Pobeda,Novi Sad 1981.

/9/ "Pneumatske spojnice-kočnice", katalog tvornice Ivo Lola Ribar, Beograd 1981.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.

M.Drezgić*

PROBLEMI KOMPLEKSNOG RAZMATRANJA METODA ISPITIVANJA MEHANIČKIH PRESA SA GLEDIŠTA SIGURNOG I BEZBEDNOG RADA

R e z i m e

U radu se daje model sistematizacije mehaničkih presa,kojim se ukazuje šta na presama treba ispitivati,kako bi rad sa njima bio siguran i bezbedan. Na modelu je dat prikaz ekscentar i kolenaste prese sa oznakama i simbolima vitalnih delova presa, značajnih za siguran i bezbedan rad. Model obuhvata 44 moguće varijante ugradnje pojedinih vitalnih elemenata ekscentar i kolenastih presa sa jednim kolenom, ali se njime ne isključuje mogućnost obuhvatanja kolenastih presa sa dva i više kolena.

PROBLEMS OF COMPLEX CONSIDERATION OF METHODS OF TESTING POWER PRESSES FROM THE ASPECT OF RELIABILITY AND SAFETY

S u m m a r y

In the work is given sistematization of power presses, in which is pointed out what is to be corrected on power presses from the aspect of reliability and safety. On the model is given review of eccentric and toggle presses with marks and symbols of vital parts of the presses wihch are important for reliable and safe work. The model comprises 44 possible variants of inbuilding of particular vital elements of eccentric and toggle presses with one toggle, but it is not excluded possibility of comprising the toggle presses with two or more toggles.

1. UVOD

Prema podacima Saveznog komiteta za rad,zdravstvo i socijalnu politiku koji prati i povredjivanja na radu,može se zaključiti da su ona znatna,te da pored materijalnih gubitaka predstavljaju stalan izvor povećanja invalida rada. Medjutim,materijalni gubici koji nastaju kao posledica povredjivanja a koji su neposredni i posredni,stoje u odnosu 1:4(3). Tome treba dodati i socijalne i druge probleme koji su teško merivi apsolutnim vrednostima. Analize povredjivanja u metalopreradjivačkoj industriji gde su u pretežnoj meri zastupljene mašine za obradu materijala,ukazuju,da su prese znatan uzročnik nastajanja povreda. Takva se konstatacija može izreći na osnovu podataka koji potiču i iz industrijski razvijenih zemalja zapada.

**)Dr Miroslav N.Drezgić,dipl.maš.ing.vanredni profesor Fakulteta zaštite na radu Univerziteta u Nišu,Branka Radičevića b.b.*

Sužavajući uzroke povredjivanja na presama, nameće se zaključak da su oni najčešći kod ekscentar i srodnih presa. Posledica su pre svega zbog otkazivanja komandi,nedovoljne zaštite ruku,rad sa "otvorenim" alatom. Imajući sve ovo u vidu,postavlja se pitanje potrebe pooštravanje zahteva u pogledu sigurnog i bezbednog rada. U nekim industrijski razvijenim zemljama su u tom smislu i doneseni odgovarajući propisi.

Nezavisno od toga, da li tih propisa ima ili ne,nameće se kao nužnost preventivno delovanje,kako bi se povredjivanje pri radu eliminisalo,odnosno svelo na najmanju moguću meru.

2. MODEL SISTEMATIZACIJE MEHANIČKIH PRESA SA GLEDIŠTA SIGURNOG I BEZBEDNOG RADA

Mehaničkih presa ima veoma mnogo i one se medju sobom razlikuju,kako po konstrukciji tako i po načinu dejstva (2).

Da bi se mogli da razmotre uzroci neželjenih posledica,treba videti koji su to ključni elementi presa koji, u većoj ili manjoj meri mogu da utiču na odstupanje od normalnog režima rada.

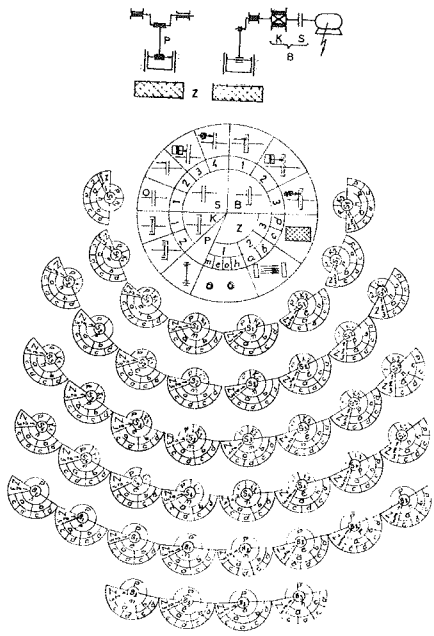
Svaka presa konstruktivno ima pogonski,prenosni i izvršni mehanizam. Svaki od njih može da ima, medjutim, veoma različita konstruktivna rešanja koja, sa gledišta sigurnog i bezbednog rada mora da ispune odredjene zahteve. Svakako da se ti zahtevi donekle razlikuju za prese za obradu limova, u odnosu na prese koje služe za kovanje.

U ovom radu pažnja je usmerena ka presama za obradu limova i to posebno na ekscentar prese. Ovo zbog toga što se na osnovu raspoloživih podataka,najveći broj povreda dešava na njima.

3. SISTEMI MOGUĆIH REŠENJA UGRADNJE RAZNIH KONSTRUKTIVNIH,VITALNIH ELEMENATA PRESA SA ELEMENTIMA ZAŠTITE

Osnovni elementi jedne prese,predloženim modelom sistematizacije,dati su na slici 1. Na modelu su pojedinim simbolima i oznakama prikazani njeni osnovni delovi.

Simboli su uvedeni vodeći računa o opštim smernicama i osnovnim oznakama za simbolične oznake na mašinama alatkama i drugim proizvodnim mašinama(JUS M.GO.066 i M.GO.067). Za lakše razumevanje predloženog modela,uvedene su sledeće oznake:



Slika 1.

Za spojnicu ..... S

Imajući u vidu da se u presa primenjuju razne vrste spojnica, one će posebnim indeksima biti označene na sledeći način:

- mehaničke spojnice sa osovinicom ili klinovima .... S_1
- mehaničke frikcione spojnice sa:
  - a)mehaničkom pobudom ..... S_2
  - b)pneumatskom pobudom ..... S_3
  - c)elektromagnetnom pobudom ..... S_4
- Za kočnicu ..... K

Kočnice koje se primenjuju u ekscentar presa mogu da budu sa:

- papučicom ..... K_1
- trakom ..... K_2

kojatim,sve su češće konstrukcije kod kojih spojnica i kočnica predstavljaju

jednu celinu,tako da su na prikazanoj šemi naznačene kao:

Frikciona spojnica-kočnica ..... B

Ovakva veza prenosa snage preko spojnice sa kočnicom može da se ostvari sa:

- mehaničkom pobudom ..... B_1
- pneumatskom pobudom ..... B_2
- elektromagnetnom pobudom ..... B_3

Dalji važan elemenat u prenosu snage radi izvršavanja rada na presi je pritiskivač, na čijem se donjem delu nalazi gornji alat.

Na prikazanom modelu pritiskivač nosi oznaku ..... P

Za eliminisanje povreda na radu potrebno je zaštititi radnu zonu, a to se čini na razne načine.

Zaštita radne zone nosi oznaku ..... Z
Neposredna opasnost u radnoj zoni može da se eliminiše upotrebom :

- dvoručnih komandi 1
- dvoručne komande se mogu aktivirati:

- mehanički ..... m
- električnom energijom ..... e
- fluidom pod pritiskom ..... h

Nematerijalnih prepreka 2
koje se izvode kao:

- svetlosne zavese ..... a
- svetlosni snopovi ..... b

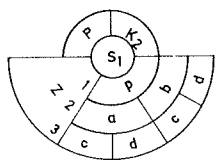
Zaštitnih rešetki 3
koje mogu biti:

- pokretne c
- nepokretne ..... d

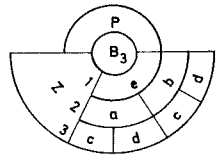
Na osnovu ovako predloženih oznaka i simbola vitalnih delova prese,koji su od značaja za siguran i bezbedan rad,mogu se predstaviti sva moguća konstruktivna rešenja presa.

4. PRIMER IZVODJENJA PRESA KAO DEO PREDLOŽENOG MODELA-SISTEMATIZACIJE

Dve kombinacije od mogućih izvodjenja ekscentar presa predstavljene su na slikama 2a i 2 b.



Slika 2a



Slika 2b.

Treba napomenuti da se ovaj način predstavljanja može da odnosi i na kolenaste prese. Pri tome treba imati u vidu da se kod njih upotrebljavaju,u prvom redu,konstrukcija or enosa snage preko spojnice i kočnice,koje predstavljaju celinu. Dakle, bio bi manji broj mogućih kombinacija konstruktivnih elemenata prese.

Na slikama 2a i 2b. prikazane su dve od 44 varijante koje sadrže još izvestan broj kombinacija u pogledu mogućnosti primene nekog od sistema zaštite. Tako je, prema slici 2a, na ekscentar presi primenjen sledeći sistem prenosa snage:

- spojnica sa osovinicim ili klinovima..S_1
- kočnica sa trakom .....K_2
- pritiskivač - klipnjača ..... P

U pogledu zaštite neposredne radne zone primenjene su,kao moguća rešenja:

- dvoručne komande koje se aktiviraju vazduhom pod pritiskom 1p
- nematerijalna prepreka u vidu svetlosne zavese 2a

Sa ove slike se može izvući zaključak da su u ostvarivanju zaštite neposredne radne zone moguće i druge kombinacije sistema zaštite na primer i sa pokretnim, odnosno nepokretnim zaštitnicima. Ito tako moguće je korišćenje :

- dvoručnih komandi koje se aktiviraju električnom energijom 1e
- nematerijalne prepreke sa svetlosnim snopom 2b
- zaštitnih pokretnih rešetki 3c

Na sličan način može se objasniti i kombinacija prenosa snage i sistema zaštite sa

slike 2b, kod koje se koriste sledeći elementi prenosa snage:

- spojnica u kombinaciji sa kočnicom sa elektromagnetnom pobudom ..... B_3
- pritiskivač - klipnjača ..... P

Zaštitą neposredne radne zone moguća je:

- dvoručnim komandama korišćenjem električne energije .....le
- na primer,pokretnom rešetkom..... 3c

Ovo, medjutim, ne znači da se ne mogu koristiti u isto vreme i nematerijalne prepravke u vidu svetlosnih zavesa ili svetlosnih snopova.

Ako bi se želelo da kompleksno analiziraju uslovi za bezbedan i siguran rad kod kombinacije prenosa snage i sistema zaštite neposredne radne zone mora se svaki od prisutnih elemenata posebno rasmotriti.

5. ZAKLJUČAK

Jedan od načina smanjenja povredjivanja pri radu sa mehaničkim presama,kako bi se sprečili ekonomski gubici i gomilanje socijalnih i drugih problema, je preventivno delovanje konstrukcijom i ispitivanjem vitalnih elemenata prese.

Ugradnją elemenata prese kao što su spojnica,kočnica,sistem zaštite neposredne radne zone može da bude sa raznim konstruktivnim rešenjima.
Svi ti elementi mora da budu pouzdani,te da samim tim predstavljaju i sigurnu tehničku zaštitu.

Sistemi tehničkih rešenja datih u ovom radu,predstavljaju razne mogućnosti ugradnje konstruktivnih elemenata ekscentar i srodnih mehaničkih presa sa elementima zaštite. Svaka od datih varijanti,kao što se iz predložene sistematizacije vidi, pokazuje da je posebna pažnja obraćena zaštiti neposredne radne zone, u kojoj se najčešće i dogą - djaju povrede.

6. LITERATURA

/1/ 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.

/2/ Zlotnikov S.L.: Kazakovič P.I. Mihajlova V.L.: Tehnika bezopasnosti i promišlenaja saniterija v kuznečno presovyh cehah "Mašinostroenie",Moskva , 1974.

/3/ Štambuk D.:Društveno ekonomski značaj izostanaka sa posla usled profesionalnih povreda i obolenja."Tehnika",6.Beograd 1964.

/4/ *** Godišnji izveštaji Saveznog komiteta za rad, zdravstvo i socijalnu politiku SFRJ.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

Dr Dragan S. Domazet *

ANALIZA EFEKTA PREDNAPREZANJA JEDNODELNIH ZATVORENIH NOSEĆIH STRUKTURA PRESA PRIMENOM METODA KONAČNIH ELEMENATA

R e z i m e

Primenom metoda konačnih elemenata, kao i eksperimentalnim ispitivanjem na realnom modelu, izvršena je analiza prednaprezanja jednodelnih zatvorenih nosećih struktura presa. Rezultati ukazuju da se prednaprezanjem može znatno da poboljša naponsko-deformaciono stanje stubova strukture što, izmedju ostalog, obezbedjuje preciznije vodjenje pritiskivača prese.

THE ANALYSIS OF PRESTRESS EFFECTS ON O-FORM PRESS STRUCTURES BY THE FINITE ELEMENTS METHOD

S u m m a r y

By using the finite elements method, as well as by experimental research on the real model, the analysis of prestress effects on O-form press structures has been made. The results show improvement of stress and deformation state of the structure's columns which, among other things, provides more precise ram guiding.

1. UVOD

Noseće strukture presa zatvaraju tok sila koje se javljaju u procesu obrade i obezbedjuju vodjenje pritiskivača prese. Zbog ovoga one moraju da budu vrlo krute. Medjutim, analiza naponsko-deformacionog stanja nominalno opterećenih nosećih struktura pokazuje vrlo neravnomernu raspodelu deformacija i napona u konstrukciji. Kako se najčešće iz tehnoloških razloga (zavarivanje limova) ne može odgovarajućom promenom geometrije konstrukcije da bitnije izvrši ravnomernija raspodela napona i deformacija, odn. potencijalne energije elastično deformisane strukture, to je jedan (najčešće veći) deo konstrukcije predimenzionisan.

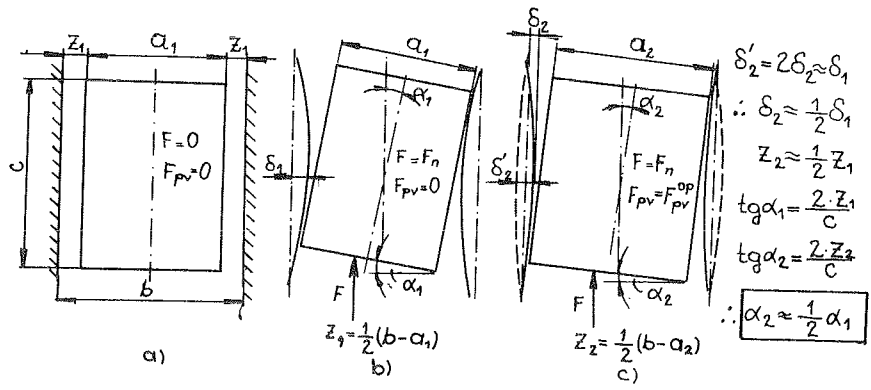
Prednaprezanje zatvorenih nosećih struktura presa obično se vrši u cilju spajanja višedelnih nosećih struktura ili u cilju smanjenja nivoa najvećih napona istezanja u nosećim strukturama izradjenih od sivog liva |1|. *Medjutim, u ovom radu biće izloženi neki rezultati istraživanja* |2| *koja su imala za cilj da utvrde da li se primenom odgovarajućeg prednaprezanja i kod jednodelnih, zatvorenih nosećih struktura može da ravnomernije raspodeli potencijalna energija deformisane noseće strukture, tj. da se dobije ravnomernije naponsko-deformaciono stanje i obezbedi preciznije vodjenje pritiskivača.*

2. KRITERIJUM OPTIMALNOG PREDNAPREZANJA

Način prednaprezanja je uslovljen tipom noseće strukture i ciljem koji se prenaprezanjem želi da postigne. Tako, naprimer, u radu |3| *definisani su kriterijumi optimalnog prednaprezanja jednodelnih otvorenih nosećih struktura presa.*

Osnovni cilj prednaprezanja jednodelnih zatvorenih nosećih struktura je povećanje preciznosti vodjenja pritiskivača presa. Ovo vodjenje je preciznije ukoliko su vodjice

* Dr Dragan S. Domazet, dipl.ing.maš., docent, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14, 18000 Niš



Slika 1

pritiskivača duže i ukoliko je zazor u vodjicama manji jer je onda i nagib pritiskivača pri neželjenom, ali u praksi često prisutnom, ekscentričnom opterećenju prese manji (sl.1b). Veličina zazora u vodjicama uslovljena je, izmedju ostalog, i veličinom ugiba stubova noseće strukture. Ukoliko su ovi ugibi manji, to je i potreban zazor manji.

Ako se ostvari takvo stanje prednaprezanja u kome su ugibi vodjica na nosećoj strukturi istog intenziteta a suprotnog znaka kao u stanju nominalnog opterećenja prednapregnute noseće strukture (sl.1c), tj. da je:

$$\delta_2 = \frac{1}{2}\delta_2' \approx \frac{1}{2}\delta_1 \qquad (1)$$

onda se može raditi sa dva puta manjim zazorom u vodjicama (z_2=0,5z_1) noseće strukture sa prednapregnutim elementima, a kada je ona u neprednapregnutom (neutralnom) stanju (u fazi montaže, pre prednaprezanja). Kao što je pokazano na slici 1c, ovo prouzrokuje dva puta manje zakošenje pritiskivača pri njegovom ekscentričnom opterećenju. Prema ovome, može da se postavi sledeći kriterijum optimalnog prednaprezanja:

** Optimalno prednaprezanje jednodelnih zatvorenih nosećih struktura presa je ono koje izaziva horizontalno ugibanje sredina nepokretnih vodjica u stanju prednaprezanja (δ_x^{Fpv}) istog intenziteta, a suprotnog smera, kao i pri nominalnom opterećenju prednapregnutih nosećih struktura (δ_x^{F+Fv}).*

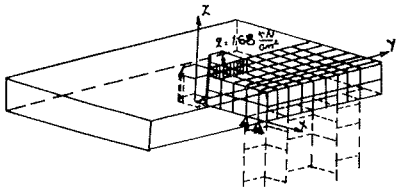
Ovo se može izraziti jednačinom:

$$\delta_x^{Fpv} + \delta_x^{F+Fv} = 0 \qquad (2)$$

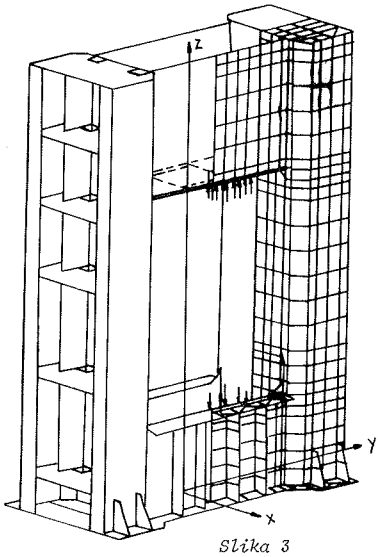
3. PRIMENJENI METODI I MODELI

Odredjivanje optimalne sile prednaprezanja i naponsko-deformacionog stanja noseće strukture uovom radu je izvršena i računskim i eksperimentalnim putem. Identifikacija naponsko-deformacionog stanja računskim putem izvršena je metodom konačnih elemenata, a eksperimentalnim putem primenom tenzometrijskog metoda merenja napona i korišćenjem induktivnih davača za merenje ugiba. Za objekt proračuna, odnosno merenja, upotrebljena je u tu svrhu konstruisana noseća struktura hidrauličke prese za izvlačenje silama do 1000 kN.

U cilju dobijanja rasporeda opterećenja postolja noseće strukture, najpre je izvršen proračun sila oslanjanja stola prese (koji je vijcima pričvršćen za postolje) pri nominalnom opterećenju. Na slici 2 prikazan je model stola sa finom mrežom konačnih elemenata (u obliku zapreminskog izoparametarskog konačnog elementa sa osam čvorova) koji ima 583 stepeni slobode. Vijci za pritezanje aproksimirani su oprugama odgovarajuće krutosti. I ovde, kao i kasnije u slučaju noseće strukture, model obuhvata samo jednu četvrtinu stola zbog njegove simetričnosti u dve ose, i zbog usvojenog simetričnog, kontinualnog opterećenja. Radi ocene tačnosti modela, izvršen je i proračun sa grubom mrežom konačnih elemenata. U oba slučaja dobijene vrednosti sila oslanjanja stola neznatno su se razlikovale. Proračuni su izvršeni korišćenjem programa SAP IV u RO ERC EI-Niš.



Slika 2



Slika 3

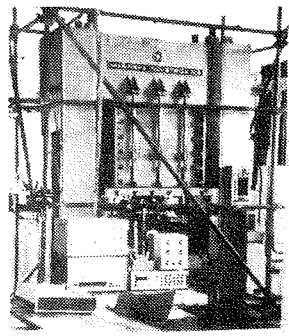
Optimalna sila prednaprezanja odredjuje se izrazom:

$$F_{pv} = \frac{\delta_x^{F+Fv}}{\delta_x^{Fpvo}} F_{pvo} \qquad (3)$$

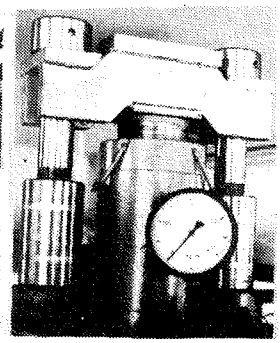
gde je:

δ_x^{F+Fv} - *horizontalni ugib sredine vodjice pri nominalnom opterećenju prednspregnute noseće strukture,*

δ_x^{Fpvo} - *horizontalni ugib sredine vodjice pri prednaprezanju nekom silom* F_{pvo}.



Slika 4



Slika 5

Pri analizi noseće strukture, takodje je korišćeno dva modela. Model sa grubom mrežom konačnih elemenata imao je 1848 stepeni slobode, a sa finom - 3522. Na slici 3 prikazan je model noseće strukture sa finom mrežom konačnih elemenata (u obliku tanke ljuske sa po šest stepeni u čvoru). Vici za prednaprezanje u stubovima (po dva u stubu) aproksimirani su oprugana odgovarajuće krutosti.

Analiza naponsko-deformacionog stanja modela izvršena je za tri slučaja opterećenja, i to:

1. pri dejstvu nominalne sile (F) na model bez vijaka za prednaprezanje,

2. pri dejstvu nominalne sile (F) na model sa neprednapregnutim vijcima za prednaprezanje ($F_{pv}=0$),

3. pri dejstvu samo sila prednaprezanja u vijcima (F_{pv}).

Sabiranjem naponsko-deformaciong stanja pri zadnja dva slučaja opterećenja dobija se naponsko-deformaciono stanje nominalno opterećene prednapregnute noseće strukture ($F+F_v$).

Pri eksperimentalnom ispitivanju opterećenje realnog modela (sl.4) vršeno je hidrauličnim uredjajem kao i prednaprezanje vijaka za prednaprezanje (sl.5).

Merenje ugiba vršeno je induktivnim davačima na 36 mesta sa tačnošću od 0,001mm. Na ovim mestima izvršeno je i snimanje histerezis dijagrama sila-ugib [2]. Pri merenju napona korišćeno je 52 merne trake.

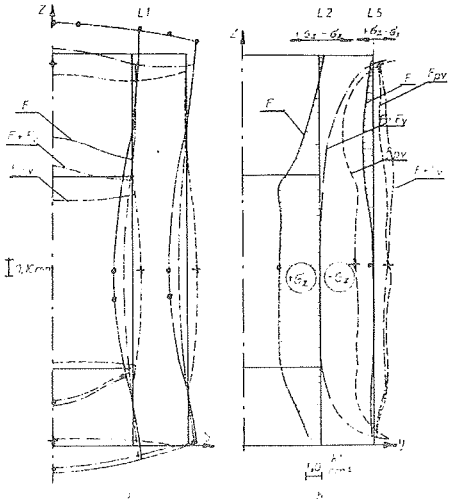
4. ANALIZA REZULTATA

4.1. Deformaciono stanje

Na slici 6a uporedno su prikazana pomeranja u uzdužnom preseku noseće strukture dobijena računskim i eksperimentalnim putem za sva tri ranije opisana slučaja opterećenja. I proračunom, i eksperimentalno, dobijena je ista vrednost optimalne sile prednaprezanja od po 250kN po vijku, što je dva puta manja vrednost nego dobijena metodom grede [4,5]. Uočljivo je dobro slaganje eksperimentalnih i proračunatih rezultata, kako u fazi prednaprezanja (+), tako i ufazi nominalnog opterećenja (.). Prednaprezanjem je smanjen najveći ugib sredina stubova za dva puta, tj. umesto 0,138mm, ugib je iznosio 0,070mm.

——— SAP IV pri F=1000 kN, a eksperim. (.)

– – – – SAP IV pri F_{pv}=500 kN, a eksperim. (+)



Slika 6

4.2. Naponsko stanje

Na slici 6b prikazani su dijagrami promene napona u vertikalnom, z-pravcu, sa unutrašnje i spoljne strane stuba za sva tri razmatrana slučaja opterećenja. Može se uočiti sledeće:

1. U stanju prednaprezanja (F_{pv}) izraženi su naponi pritiska u stubu.

2. U stanju nominalnog opterećenja prednapregnute noseće strukture ($F+F_v$) naponi su praktično jednaki nuli na mestima gde su bili najveći naponi istezanja u slučaju nominalnog opterećenja a bez prisustva vijaka za prednaprezanje (F).

3. U uglovnim zonama noseće strukture, gde se obično javljaju najveće vrednosti napona istezanja, javljaju se naponi pritiska.

U slučaju traverze i postolja slaganje napona je dobro samo u slučaju stanja prednaprezanja. Zbog savijanja vertikalnih limova traverze i postolja slaganje izmerenih i proračunatih napona pri nominalnom opterećenju nije dobro, naročito u sredini traverze, blizu mesta dejstva sile opterećenja.

Detaljniji pregled svih dobijenih rezultata dat je u radu |2|.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize može se zaključiti sledeće:

1. Modelom sa finom mrežom konačnih elemenata vrlo se tačno odredjuje optimalna sila prednaprezanja, prema definisanom kriterijumu optimalnosti, i odredjuje naponsko-deformaciono stanje stubova noseće strukture.

2. Optimalnim prednaprezanjem se dobija vrlo povoljno naponsko-deformaciono stanje u stubovima noseće strukture. U odnosu na neutralno stanje ($F=F_{pv}=0$), dobijeni su dva puta manji ugibi vodjica stubova, što omogućuje dvostruko smanjenje potrebnog zazora u vodjicama , te i dvostruko smanjenje naginjanja pritiskivača prese pri dejstvu ekscentričnog opterećenja. Dobijeno je ravnomernije rasporedjeno naponsko stanje u kome dominiraju naponi pritiska.

3. Uticaj prednaprezanja ima zanemarljiv uticaj na naponsko-deformaciono stanje traverze i postolja |2|.

4. Uz uslov zadržavanja iste preciznosti vodjenja pritiskivača i održavanja najvećih napona blizu dozvoljene vrednosti, primenom odgovarajuće prednapregnutih vijaka za prednaprezanje, može se noseća struktura ispitivane hidrauličke prese primeniti za nominalne sile u intervalu od 1000 do 2500kN. Ovakvom unifikaciom može se znatno povećati ekonomičnost proizvodnje nosećih struktura jedne familije.

6. LITERATURA

1. D.S. Domazet, Prednapregnute noseće strukture presa, Zbornik BIAM, JUREMA Zagreb, 1978.

2. D.S. Domazet, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Nišu, 1981. god.

3. P.V. Popović, Prednapregnuti vijci mehaničkih presa otvorene konstrukcije i njihov proračun, IV Savetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1965. god.

4. D.S. Domazet, Proračun prednapregnutih jednodelnih zatvorenih nosećih struktura presa, SIMOD, br. 1-2, god IV (1978.), Mašinski fakultet u Nišu

5. D.S. Domazet, Program SINZNS za proračun jednodelnih prednapregnutih zatvorenih nosećih struktura presa, SIMOD, br. 1-2, god. IV (1978), Mašinski fakultet u Nišu

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Milan Jurković, Stevan Živanović

ISTRAŽIVANJE TRIBOLOŠKOG FENOMENA U PROCESU HLADNOG VALJANJA METODOM NORMALNOG PRITISKA I SILE TRENJA

R e z i m e

Pomoću specijalno izradjene mjerne aparature izvršeno je eksperimentalno istraživanje mehaničkog opterećenja kontaktne površine kod procesa hladnog valjanja. Parametri utvrdjeni eksperimentalnim putem i postavljene matematske zavisnosti omogućili su odredjivanje koeficijenta trenja, koji je veoma bitan za istraživanje i izbor optimalnog tehnološkog maziva.

RESEARCH OF TRIBOLOGICAL PHENOMENON IN PROCESS OF COLD ROLLING BY MEANS THE METHOD OF NORMAL PRESURE AND FRICTIONAL FORCE

S u m m a r y

By means of special measuring instrument was realized experimental research mechanical load on contact surfice in process of cold rolling. The parametra defined by experimental way and proposed mathematical dependences enable detemining a coefficient of friction, which is very important for research and choice a optimum of technological lubricant.

1. U v o d

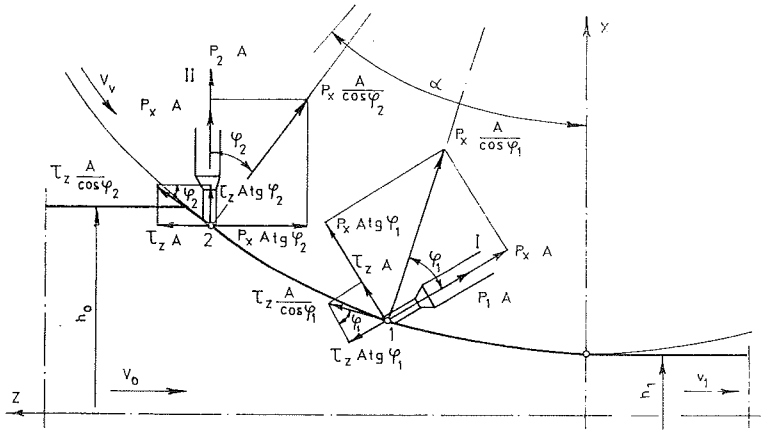
Poznavanje sile kontaktnog trenja veoma je značajno kod istraživanja tehnološkog kvaliteta maziva i izbora sredstva za podmazivanje. Tehnološki kvalitet primijenjenog sredstva za podmazivanje sve više treba verifikovati preko odredjivanja sile i koeficijenta trenja, pri čemu je optimalno sredstvo za podmazivanje ono koje za dati deformacioni postupak ostvaruje najmanju silu trenja, odnosno najmanje zagrijavanje alata, čime se produžava vijek trajanja alata i smanjuju zastoji mašine usled zamjene pohabanog alata, dakle, podiže se efikasnost tehnološkog procesa deformacione obrade.

Takodje, poznavanjem sile trenja za svaki razmatrani deformacioni postupak moguće je izvršiti izbor optimalne metode obrade kao i optimalne konstrukcije izvršnog organa deformacione mašine.

2. Teoretsko istraživanje

S obzirom da je potrebno kontaktne normalne pritiske i kontaktne tangencijalne napone odrediti na površini dodira obradka i alata primijenjena je tzv. direktna metoda | 1 |, | 2 | što znači da je mjerni uredjaj u procesu deformacione obrade direktno u dodiru sa obradkom. Tenzometrijski pretvarači ugradjeni u obrtni valjak

Dr Milan Jurković, dipl.ing., docent
Dr Stevan Živanović, dipl.ing., redovni profesor, Mašinski fakultet Banjaluka



Sl. 1. Šema djelovanja kontaktnih sila na mjerne pretvarače I i II

postavljeni su prema osi valjka pod uglom φ_x, što omogućuje formiranje paralelograma sila u zoni zaostajanja i preticanja (sl.1).

Na sl. 1 prikazan je paralelogram sila za podzonu zaostajanja

$$p_1 = p_x - \tau_z \operatorname{tg}\varphi_1$$

$$p_2 = p_x + \tau_z \operatorname{tg}\varphi_2$$

odnosno za $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$

$$\tau_z = \frac{p_2 - p_1}{2 \operatorname{tg}\varphi}, \quad p_x = \frac{p_2 + p_1}{2} \qquad (1)$$

Analogno navedenom za podzonu preticanja mijenja se smijer specifičnih sila trenja pa je

$$p_1 = p_x + \tau_z \operatorname{tg}\varphi_1$$

$$p_2 = p_x - \tau_z \operatorname{tg}\varphi_2, \quad \text{odnosno}$$

$$\tau_z = \frac{p_1 - p_2}{2 \operatorname{tg}\varphi}, \quad p_x = \frac{p_1 + p_2}{2} \qquad (2)$$

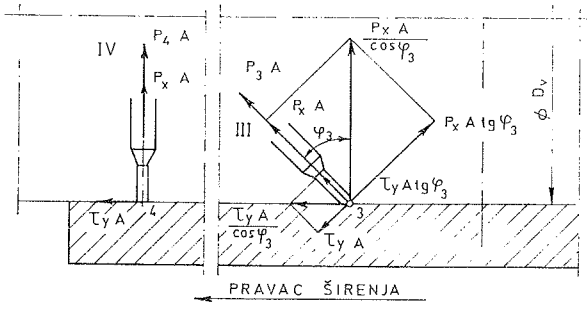
gdje su p_1 i p_2 specifične sile pritiska u pravcu osa pretvarača I i II.

Šema djelovanja specifičnih sila τ_y i p_x na mjernim pretvaračima III i IV prikazana je na sl. 2. gdje je

$p_3 = p_x + \tau_y \operatorname{tg}\varphi_3$, $p_4 = p_x$, otkuda je

$$\tau_y = \frac{p_3 - p_4}{\operatorname{tg}\varphi} \qquad (3)$$

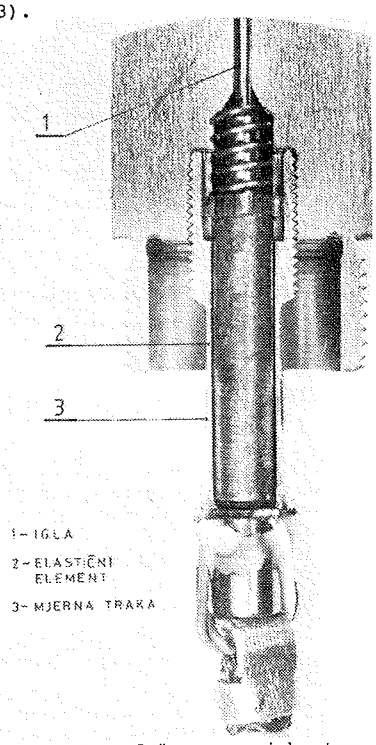
Iz navedenog se uočava da se mjerenjem specifičnih sila p_1, p_2, p_3 i p_4 mogu odrediti kontaktne specifične sile p_x, τ_y i τ_z, a što je dovoljno da se na bazi normalne sile i sila trenja odredi koeficijent trenja kao osnovni parametar tehnološkog kvaliteta maziva.



Sl.2. Šema djelovanja kontaktnih sila na mjernim pretvaračima III i IV

3. Eksperimentalno istraživanje

Da bi se obavilo eksperimentalno istraživanje izgradjen je mjerni uredjaj - valjak koji služi i kao alat sa ugradjena četiri tenzometrijska pretvarača, od kojih se prikazuje snimak |1| samo jednog pretvarača (sl.3).



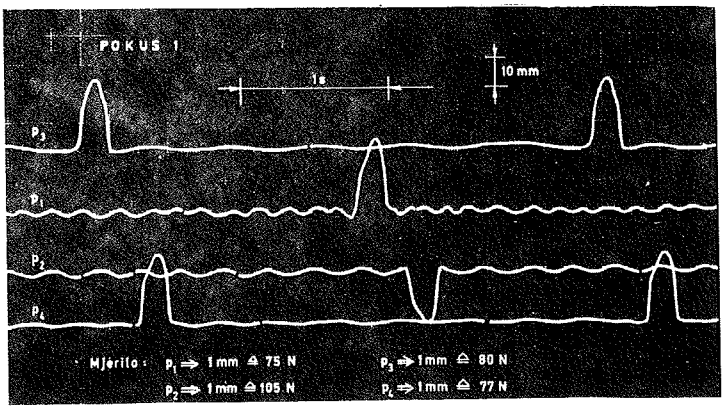
Sl.3. Snimak uzdužnog presjeka tenzometrijskog pretvarača

Ugradnjom kliznih prstenova na čeonoj strani valjka omogućeno je prenošenje električnih impulsa preko pojačivača na pisač, gdje su dobiveni grafovi pritiska (sl. 4). Koristeći podatke (sl.4) dobijen je grafički prikaz specifičnih pritisaka na tenzometrijske pretvarače (sl. 5a) iz čega se vidi kontinuirana promjena svih mjerenih pritiska, a posebno normalnog pritiska metala na alat ($p_x = p_4$). Poznavanjem pritiska $p_x = p_4$ i pritisaka p_1, p_2 i p_3 računskim putem se pomoću jednakosti (1), (2) i (3) odrede specifične sile trenja na kontaktnoj površini (sl. 5b).

U procesu valjanja sa slobodnim širenjem pored kontaktnog tangencijalnog napona τ_z koji djeluje u smijeru valjanja postoji i tangencijalni napon τ_y u pravcu širenja, tako jedan broj istraživača |3|, |4| prihvaća da je

$$\tau_y \approx \tau_z = \mu p_x$$

Medjutim, izgradjena mjerna aparatura i izvršeno eksperimentalno istraživanje za proces hladnog valjanja materijala Č 0345 i uz primjenu rashladnog sredstva tipa emulzije sastavljene iz vode i ulja (antolin B) u težinskom odnosu 4:1 (viskozitet na 50°C je 3,5°E ili 26 cSt) pokazuje da je



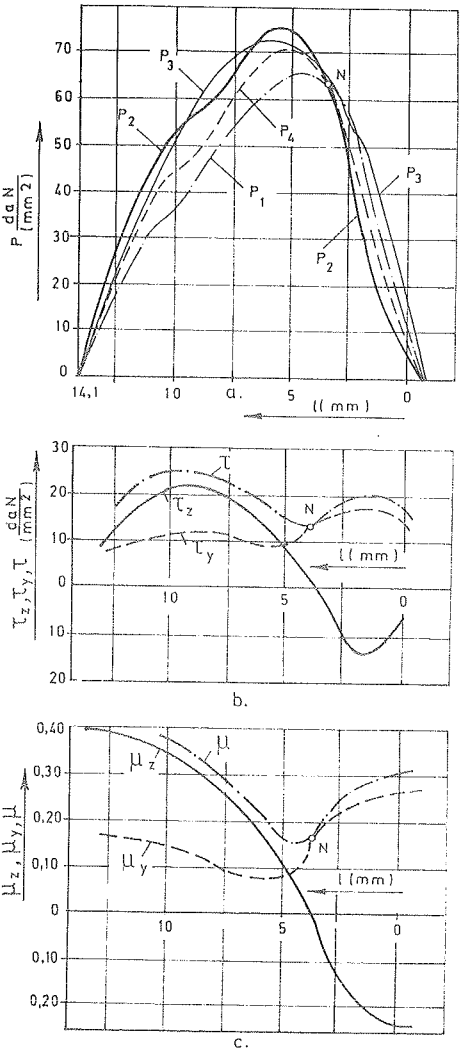
Sl.4. Snimak pritiska metala na tenzometrijske pretvarače I, II, III i IV

$$\mu_z = \frac{\tau_z}{p_x} \neq \frac{\tau_y}{p_x} = \mu_y \qquad (4)$$

i

$$\mu = \sqrt{\mu_y^2 + \mu_z^2} \qquad (5)$$

što se vidi iz prikaza sl. 5c.



Sl.5. Kontaktni normalni pritisak (a), tangencijalni naponi - sile trenja (b) i koeficijenti trenja (c) za $\varepsilon = 0{,}20$.

4. Zaključak

Prema tome po prikazanoj metodi može se odrediti koeficijent kontaktnog trenja za bilo koje drugo primijenjeno mazivo, što znači da se datom eksperimentalnom aparaturom može egzaktnije ući u problem istraživanja tehnološkog kvaliteta maziva u realnim uslovima prakse.

Naredna istraživanja nesumnjivo će dati nove podatke o tehnološkim kvalitetima maziva primijenjenih u deformacionoj obradi, što će biti od koristi kako proizvodjačima tako i korisnicima maziva u cilju izbora optimalnog maziva, a u smislu efikasnijeg korištenja utrošene energije deformacione mašine.

5. Literatura

[1] Jurković M., Živanović S., i dr., Izbor optimalne metode kod proizvodnje uske čelične trake, SIZ nauke BiH, s.102-112, Sarajevo, 1981.

[2] Jurković M., Analiza mogućnosti eksperimentalnog odredjivanja parametara koji determinišu opterećenje alata u procesu obrade metala deformisanjem, Zbornik radova BIAM'80, s.41-60, Zagreb, 1980.

[3] Celikov A., Nikitin G., Rokotjan S., Teorija prodolnoi prokatki, Metallurgija, Moskva, 1980.

[4] Griškov A., Nekotorye voprosy teorii uširenija pri prokatke v gladkih valkah, Prokatnye stany, Sb. CNIITMAŠ, Mašgiz, 1955.

Prikazani rad radjen je u okviru projekta "Istraživanje, razvoj i konstrukcija deformacione mašine za izradu osnosimetričnih profila" u čijem finansiranju učestvuje SIZ nauke BiH - Sarajevo i RMK Zenica - RO "Krajinametal" Bihać.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR,1982.GOD.

Predrag Popović*
Himzo Djukić**

FUNKCIONALNA OGRANIČENJA KAO FAKTOR UTICAJA NA IZBOR OPTIMALNE TEHNOLOGIJE IZVLAČENJA SA REDUKCIJOM ZIDA OMOTAČA***

R e z i m e

U radu je izvršena analiza uticaja tehnoloških i funkcionalnih ograničenja na izbor optimalne tehnologije izvlačenja sa redukcijom zida omotača.

LES RESTRICTIONS FONCTIONNELLES COMME FACTUER D'INFLUENCE SUR LE CHOIX DE LA TECHNOLOGIE OPTIMALE DU TIRAGE AVEC LA REDUCTION DU PAROI DE L' ENVELOPPE

R é s u m é

Nous avons donné ici l'analyse de l'influence des restrictions technologques et fonctionnelles sur le choix des tehnologies optimales du tirage avec la réduction du paroi de l'enveloppe.

1. UVOD

Optimizacija pojedinih procesa obrade metala deformisanjem je najčešće usmjerena ka iznalaženju optimalnih uticajnih parametara koji će omogućiti realizaciju datog procesa sa minimalnom energijom. Jedan od bitnih faktora koji se mora uzimati u obzir pri planiranju i izvodjenju eksperimentalnih istraživanja je uticaj funkcionalnih i tehnoloških ograničenja na proces oblikovanja materijala istraživanog načina obrade deformisanjem. Analizirajući rezultate pojedinih eksperimentalnih istraživanja vezane za tehnologiju izrade elemenata sa redukcijom debljine zida omotača izvlačenjem,/1/ , /2/, /3/, /4/ i /5/, može se zaključiti da se jedan dio tih rezultata ne može primjenuti u proizvodnim uslovima zbog toga što se nije vodilo računa o funkcionalnim ili tehnološkim ograničenjima. Funkcionalna ograničenja su vezana za specijalne

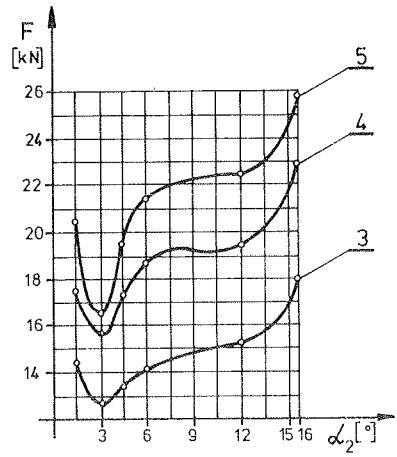
---

* Dr.Predrag Popović,dipl.inž.Red.profesor Mašinskog fakulteta u Nišu.

** Mr. Himzo Djukić, dipl.inž. Docent Mašinskog fakulteta u Mostaru.

*** Ovaj rad predstavlja dio naučno istraživačkog projekta:"ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ METODA PROJEKTOVANJA I PRORAČUNA TEHNOLOGIJE IZRADE CILINDRIČNIH ELEMENATA METODOM DUBOKOG IZVLAČENJA SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA OMOTAČA PO VISINI," u čijem finansiranju učestvuju Republička zajednica nauke Bosne i Hercegovine i RO "Igman" iz Konjica.

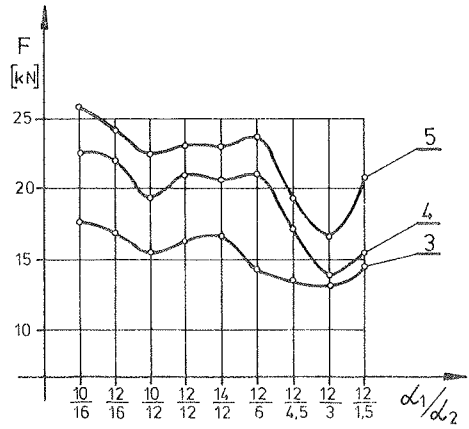
zahtjeve koji se traže od izratka. Za pomenuti vid obrade, funkcionalna ograničenja su veoma bitna te mogu znatno uticati na izbor optimalnih parametara. Tehnološka ograničenja su vezana za ograničene mogućnosti postojeće opreme, što može negativno uticati na izbor optimalne tehnološke varijante. U ovom radu se na osnovi eksperimentalnih istraživanja optimalnih tehnoloških parametara izrade elemenata sa redukcijom debljine zida omotača izvlačenjem ukazuje na ograničenja njihove primjene zbog uticaja funkcionalnih ili tehnoloških ograničenja.



Slika 1.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

U cilju iznalaženja optimalnih parametara, koji će omogućiti izradu cilindričnih elemenata sa redukcijom debljine zida omotača izvlačenjem u uslovima minimalnog energetskog bilnasa sa maksimalno mogućim stepenom deformacije, izvršen je veliki broj eksperimenata u proizvodnim i laboratorijskim uslovima. Svi eksperimenti su izvedeni sa cilindričnim elementima izradjenim od mesinga CuZn28 na dvostepenim alatima Prstenovi za izvlačenje su izradjeni od tvrdog metala, konusnog oblika. Istražívajući optimalne uglove prstenova za izvlačenje, kod izvlačenja na dvostepenim alatima, došlo se do različitih optimalnih vrijednosti uglova za različite vrijednosti izvršenog stepena deformacije. Jedan karakterističan dijagram uticaja ugla zadnjeg prstena za izvlačenje na deformacionu silu izvlačenja je prikazan na slici 1 , a istovremeni uticaj prednjeg i zadnjeg prstena na deformacionu silu izvlačenja na slici 2. Sa 3,4 i 5 na slikama 1 i 2 su označene karakteristične tačke stabilnog dijela dijagrama sila-put izvlačenja.

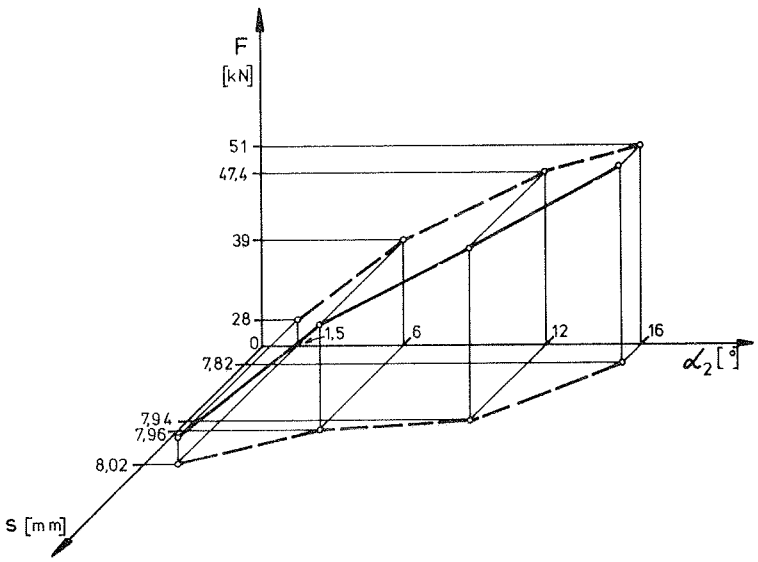


Slika 2.

Sa prikazanih dijagrama (slika 1 i 2) može se uočiti da se minimalna sila izvlačenja postiže sa kombinacijom uglova $\alpha_1/\alpha_2 = 12^o/3^o$. Dobijena kombinacija uglova eksperimentalnim putem u laboratorijskim uslovima ne može se primjeniti u proizvodnim uslovima zbog tehnološkog ograničenja opreme, koje se ogleda u ograničenom prostoru za smještaj alata. Znog toga se vrijednost ugla zadnjeg prstena mora povećati za odredjenu vrijednost kako bi se zadovoljilo tehnološ-

ko ograničenje, iako prema slici 2 to neće biti optimalna kombinacija uglova prednjeg i zadnjeg prstena. Pri izradi cilindričnih elemenata izvlačenjem sa redukcijom debljine zida omotača odredjene namjene, jedno funkcionalno ograničenje je vezano za veoma usku toleranciju izrade debljine dna. Istražujući uticaj odredjenih parametara na debljinu dna izratka ustanovljeno je izmedju ostalog da ugao prstena za izvlačenje bitno utiče na debljinu dna izradka.

Na osnovi izvršenih ekesperimenata dobijen je dijagram zavisnosti izmedju deformacione sile izvlačenja - ugla zadnjeg prstena i debljine dna izradka, prikazan na slici 3. Sa dijagrama na slici 3 se uočava da sa povećanjem vrijednosti ugla zadnjeg prstena za izvlačenje dolazi do smanjenja debljine dna izradka. Zbog ovog funkcionalnog ograničenja vrijednost ugla zadnjeg prstena mora biti ispod 12°, iako optimalna vrijednost ugla za odredjeni stepen



Slika 3.

deformacije može biti veća od 12°. Eksperimentalno je uočen uticaj preraspodjele ukupnog stepena deformacije na debljinu dna izradka te pri projektovanju tehnološkog postupka i o tome treba povesti računa /6/ i /7/.

Ukoliko se preraspodjela ukupnog stepena deformacije izvrši na taj način da se znatan dio ukupnog stepena deformacije izvrši na prednjem prstenu za izvlačenje dolazi do znatnog smanjenja debljine dna izradka.

Jedan od bitnih funkcionalnih ograničenja je i propisana tvrdoća izradka po visini omotača. Zbog ovog ograničenja, ne rijetko se dešava da se i pored toga što se radni predmet može izraditi bez medjuopera cijskog žarenja on prije izvlačenja obradjuje jer se na taj način dobija željena površinska tvrdoća omotača. Rezultati eksperimentalnih istraživanja vezani za iznalaženje zakona promjene površinske tvrdoće zbog svoje obimnosti nisu prikazani u ovom radu.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovi izvršenih eksperimentalnih istraživanja, može se zaključiti da je veoma često neophodno izvršiti odstupanja od optimalne tehnološke varijante zbog funkcionalnih i tehnoloških ograničenja za odredjenu vrstu proizvoda, što je osnovni razlog da se jedan dio eksperimentalnih istraživanja ne može primijeniti u proizvodnim uslovima. Pored toga jedan dio eksperimentalnih istraživanja izveden u laboratorijskim uslovima /1/, /2/ i /3/ je tako koncipiran da je primjena dobijenih rezultata praktično nemoguća zbog toga što autori nisu vodili računa o funkcionalnim i tehnološkim ograničenjima koji se neminovno javljaju u proizvodnji.

4. LITERATURA

/1/ Khademy-Zadeh,H i dr: Deep-drawing and ironing of steel sheet. Mem.sci.Rev.met.3,198o.

/2/ Renne,I.P. i dr. Neravnomernosti deformacii i mehaničeski svoistav po tolcine stenki pri vnjitjažke s utoneniom. Kuznečno štampovočnoe proizvodstvo,2, 1969.

/3/ Valiev,S.A.: Kombinovannaja globokaja vnjitjažka listovnjih materialov.Mašinostroenie,Moskva, 1973.

/4/ Ščfman,L.A. Teorija i rasčeti processov holodnoj štampovki.Mašinostroenie,Moskva,1964.

/5/ Shawki,S.A.: Optimum desing of ironing dies. Sheet metal industries,september, 197o.

/6/ Popović P. i H.Djukić: Odredjivanje prečnika prstenova kod izvlačenja na višestepenim alatima BIAM'82,Zagreb, 1982.

/7/ Djukić, H.i P.Popović.: Neki rezultati istraživanja uticaja preraspodjele ukupnog stepena deformacije na deformacionu silu izvlačenja. BIAM'82. Zagreb, 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR 1982.GOD.

Vuko Domazetović*

ANALIZA ZAVISNOSTI PARAMETARA I POUZDANOSTI IZRADE CILINDRIČNIH ELEMENATA ROTIZANJEM

R e z i m e

Korak alata, brzina deformisanja i zazor izmedju alata i formera bitno utiču na potrošnju energije, dimenzije izradka i njegove mehaničke osobine. Rasipanje vrijednosti parametara se uspješno opisuje Vejbulovom raspodjelom. Uticaj koraka, brzine i zazora na snagu, dijametar i tvrdoću se izražava stepenom zavisnosti.

ANALYSES OF DEPENDENCE PARAMETERS AND RELIABILITY OF MANUFACTURED CUPS BY SPINNING

S u m m a r y

Au investigation is described of the effects of feed, speed and clearance between a roller and a former on the spinning energy, dimensions of the cup and its mechanical properties, it has been found that scattering these parameters corespond quite closely with Veibull distributions. The eftects of speed, feed and clearance on the power, diameter of the cup and hardness are related to the dependance degree.

1. Uvod

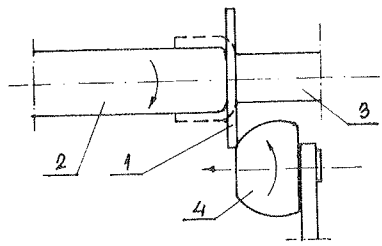
Rotaciono izvlačenje (rotizanje) kao postupak obrade elemenata deformacijom se u poslednje vrijeme sve više sreće pri izradi osnosimetričnih čančića. Posebno je prisutno pri izradi odredjenih levkastih elemenata specijalne namjene. Osnovne teorijske postavke procesa su prihvaćene. Proces se ostvaruje okretanjem obrdka koji se pod dejstvom alata rotaciono izvlači.Elementi različitog oblika i dimenzija se dobijaju plastičnom deformacijom u lokalnoj zoni kontakta obradka i alata. Početni kontakt

* Dr. Vuko Domazetović,vanr.prof.Mašinskog fakulteta u Titogradu

alata i platine se ostvaruje po obodu, tako da se zona lokalne deformacije pomjera duž radijusa platine i ose elementa. Završna obrada se izvodi od prelaza dna u cilindrični deo do ruba elementa.

Ovaj rad se odnosi na izradu čašica osnosimetričnog oblika. Rotizanje se ostvaruje na univerzalnom alatnom strugu. Rondela 1 se postavlja i centrira izmedju formera 2 i pritiskivača 3, dok se obrada izvodi alatom 4 koji je svernog oblika i konstruisan tako da je njegova osa rotacije pararelna osi obrtanja obrdka. Obrdak je specijalno pripreman. Čisti elektrolitni beskiseonički bakar je topljen u indukcionim pećima sa zaštitnom atmosverom i izliven u ingote. Oni su poslije hladjenja čišćeni a potom zagrijavani i valjani. Obrada valjanjem je izvodjena i poprečno u odnosu na predhodni pra vas obrade, tako da je anizotropija mehaničkih osobina ublažena. Iz tako dobijenih tabli bakarnog lima su prosječene rondele Ø 90x 2,2 mm koje su potom ožarene u zaštitnoj atmo sveri.

Ovako dobijeni pripremci su kori šteni za odredjivanje funkcija pouzdanosti i uticaja koraka s, brzine deformisanja v i zazora z na snagu mašine P, dijametar čašice D i tvrdoću izradka HV. Proces rotizanja je izveden sa korakom s=o,23; o,295 i o,36 mm/o i zazorom izmedju formera i alata z=2,3; 2,8 i 3,3 mm, uz obodnu brzinu čančeta v=o,131; 0,171 i 0,211 m/s. Eksperiment je izveden prema trofaktornom planu na dva nivoa sa ponavljanjem. Broj eksperimenata je bio 9, tako da prvih 8 odgovaraju položaju rogljeva kuba u geometrijskoj interpretaciji punog faktornog eksperimenta 2^3, dok deveti odgovara centru. Variranje parametara s,v i z je izvedeno na dva nivoa, Predhodno date vrijednosti se odnose na minimalne (-), srednje (o) i maksimalne



Sl.1 Obrada rotizanjem

(+) nivoe faktora. Svaki eksperiment je ponovljen tri puta. Vrijednosti snage mašine su mjerene tokom procesa, a prečnik i tvrdoća neposredno poslije rotizanja. Dobijeni podaci su unošeni u tabele koje su poslužile odredjivanju funkcija rasipanja i pouzdanosti ostvarenja procesa. Nakon analize došlo se do zaključka da se rasturanje vrijednosti može uspješno interpretirati Vejbulovom raspodjelom. Matematičko očekivanje i srednje kvadratno odstupanje je korišteno pri nalaženju uticaja koraka, v i zazora. Ispitivanjem matematičkih modela kojima bi se mogla interpretirati takva zavisnost došlo se do zaključka da je najprikladnija stepena funkcija.

2. Zavisnost snage od koraka, brzine zazora

Tokom svakog eksperimenta je vršeno mjerenje trenutne snage elektromotora. Očitavane vrijednosti sa skala dva vatmetra su sabirane i množene sa konstantom vatmetra, a potom unošene u tabele. Očitavanje je vršeno svakih 3 mm hoda nosača alata. U datim radnim uslovima se ne javlja u toku jednog eksperimenta izrazitije variranje vrijednosti, tako da je moguće naći funkciju rasipanja. Ustanovljeno je da se rasipanje snage tokom procesa može uspješno interpretirati Vejbulovom raspodjelom. Funkcija pouzdanosti promjene snage tokom rotizanja je nalažena preko tabela br. 1

koja je ovdje data u skraćenom obliku.

Tabela br.1

inter.	1	2	3	4	5
f_e	3	7	14	22	30
lnP	o,182	o,205	o,226	o,248	o,268
(F_e^*)	-2,25	-1,33	-o,464	o,279	1,1o

U prvoj vrsti su dati intervali rasipanja vrijednosti snage, a u drugoj sumarne frekvrencje. U trećoj je unesena logaritamska vrijednost donje granice intervala, a u četvrtu dvostruki logaritam recipročne vrijednosti funkcije pouzdanosti snage $(F_e^*)=\ln\ln\left[1/(1-F_e)\right]$. Iz poslednje dvije vrste se nalazi jednačina prave $\ln\ln\left[1/(1-F_e)\right]=38,58\ln P-9,24$ ...(1) (1) u logaritamskoj i duploj logaritamskoj skali [2]. Koeficijent korelacije iznosi r=o,999 što pokazuje da se postavka o mogućoj prisutnosti Vejbulove raspodjele ne protivi eksperimentu. Funkcija pouzdanosti variranja snage je data zavisnošću (2).

$$R(P) = e^{-\left(\frac{P}{1,271}\right)^{38,58}} \quad .... (2)$$

Parametri raspodjele se kreću u odgovarajućim intervalima. Vrijednost centra grupisanja tokom svih eksperimenata iznosi η=1,27 ÷ 1,36,a pokazatelja homogenosti β=26 ÷ 118,dok je koeficijent očekivanja D=20÷ 114. Koeficijent korelacije se kretao u intervalu r=o,98 ÷ o,999. Nalaženjem zavisnosti (1) i (2) moguće je naći matematička očekivanja i srednja kvadratna odstupanja svakog eksperimenta, koji služe da se preko plan matrice koja je data u skraćenom obliku u tabeli br. 2 odrede koeficijenti funkcije modela.

Na osnovu predhodnih istraživanja došlo se do saznanja da se može uspješno koristiti stepena funkcija (3).

$$P = e^{a_o} s^{a_1} v^{a_2} z^{a_3} \quad ..... (3)$$

Zavisnost (3) se poslije logaritmovanja i uzimanja u obzir medjuzavisnosti nezavisno promenljivih može napisati u obliku (4). Za nalaženje koeficijenta b_i se koristi tabela br.2. Da bi se prešlo sa kodiranih vrijednosti (4) na logaritamske vrijednosti iz zavisnosti (3) koristi se obrazac (5), gdje se maksimalne i minima

$$y=b_o+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{12}x_{12}+b_{13}x_{13}+ +b_{23}x_{23}+b_{123}x_{123} \quad ..... (4)$$

$$x_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_{imax})}{\ln x_{imax} - \ln x_{imin}} + 1 \quad ..... (5)$$

lne vrijednosti odnose na gornji i donji nivo nezavisno promenljivih.

Tabela br.2

N	x_o	x_1	x_2	x_3	lnP
1	+	-	-	-	o,270
2	+	+	-	-	o,293
3	+	-	+	-	o,275
4	+	+	+	-	o,298
5	+	-	-	+	o,254
6	+	+	-	+	o,286
7	+	-	+	+	o,259
8	+	+	+	+	o,286
9	+	o	o	o	o,278

Množenjem vrijednosti lnP sa predznacima uz x_i nalaze se srednje vrijednosti kolona, što daje koeficijente b_i, iz čega proizilazi i zavisnost(6).

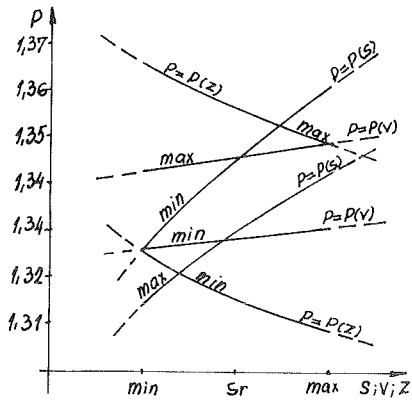
$$y=o,2777+o,o131x_1+o,oo19x_2-o,oo64x_3 \quad ... (6)$$

Korištenjem relacije (5) i (3) dobija se funkcionalna zavisnost snage mašine od koraka brzine i zazora (7).

$$P = e^{o,4136} \frac{s^{o,o5885} v^{o,oo8}}{z^{o,o355}} \quad ...(7)$$

Snaga je izražena u kw, a koeficijent srazmjere u KN. Odavde se vidi da snaga raste sa porastom koraka i brzine a opada sa porastom zazora jer se sa porastom zazora smanjuje deformaciona sila. Pri ovoj analizi treba imati u vidu da eksponenti koraka brzine i zazora mogu biti izraženi kao funkcije koraka, brzine i zazora, već u zavisnosti od toga da li postoje mje-

šoviti članovi. Ukoliko je b_0 vrlo blisko lnP za srednje vrijednosti s, v i z mješoviti članovi se mogu odbaciti [3]. Na sl.2 je data zavisnost snage od zavisno pomenljivih



Sl.2 Zavisnost snage od koraka brzine i zazora.

faktora u oblasti ispitivanja. Na istoj slici su date zavisnosti za mini malne, srednje i maksimalne vrijedno sti promjenljivih. Oznake na krivima min ili max ukazuju da su druge dvije promjenljive uzete kao minimalne odnosno maksimalne, što će reći da su to vrijednosti donjeg i gornjeg nivoa.

3. Zavisnost dijametra od koraka brzine i zazora.

Sa završetkom rotizanja prišlo se mjerenju prečnika dobijene čašice. Mjerenje je izvodjeno još dok je izradak bio na strugu, tako da su mjerne cirkularne ravni bile normalne na osu rotacije. Vrijednosti su očitavane na mjernom satu, a mjerne ravni su počev od dna čašice bile medjusobno udaljene po 5 mm. Vrijednosti su uzimane za više meridijalnih presjeka, unošene u odgovarajuće tabele i tražena njihova funkcija rasipanja. Došlo se do zaključka da se njihovo ponašanje može opisati Vejbulovom raspodjelom. Tako se preko tabela tipa br. 1 i jednačine prave tipa (1) došlo do funkcije pouzdanosti izrade čašice, kroz obradu njenog spoljnog dijametra (8). Parametri raspodjele

$$R(D)=e^{-\left(\frac{D}{53,3\div56,2}\right)^{45,3\div93,4}} \quad \ldots (8)$$

se kreću u granicama koje su uslovljene eksperimentom. Koeficijent korelacije pri nalaženju pravih tipa (1) ne pada ispod o,98, što ukazuje da se predpostavka o tipu raspodjele ne protivi eksperimentu. Nalaženjem matematičkog očekivanja i srednjeg kvadratnog odstupanja se formira plan matrica, slično tabeli br. 2, sa tim da se u šestoj koloni unesu logaritamske vrijednosti matematičkog očekivanja prečnika. Prihvatajući da se tražena zavisnost može predstaviti modelom (3) moguće je po sličnom postupku kao i u predhodnom slučaju doći do zavisnosti tipa (6), što se u ovom slučaju izražava jednačinom(9).

$$y=3,99+o,oo26x_1+o,ooo63x_2+o,o181x_3 \quad (9)$$

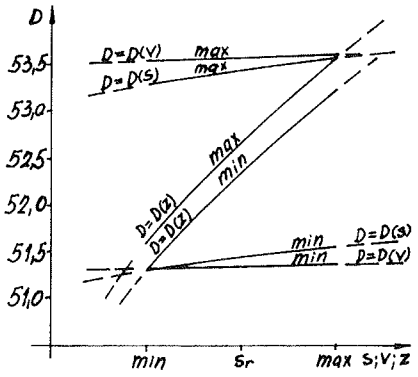
Uvodjenjem osnovnih vrijednosti promjenljivih uz korištenje relacije (5) se dolazi do funkcionalne zavisnosti (10) koja izražava uticaj koraka,brzine i zazora na spolji dijametar gotovog proizvoda.Kako se vidi iz(10)

$$D=e^{3,874}s^{o,o116}v^{o,oo26}z^{o,103} \quad \ldots (10)$$

sa povećavanjem nezavisno promjenljivih povećava se i dijametar, kako se to vidi na sl.3. Primjećuje se da najveći tucaj na vrijednost dijametra ima zazor, dok su ostali uticaji znatno manji.

4. Zavisnost tvrdoće od koraka, brzine i zazora

Poslije mjerenja prečnika odsijecaju se pestenovi po istim cirkularnim ravnima u kojima su mjereni dijametri. Dobijeni prstenovi se potom poliraju i pripremaju za mjerenje tvrdoće po Vikersu. U svakoj ravni je mjereno više od 30 vrijednosti ko je su upisivane u tabele koje služe



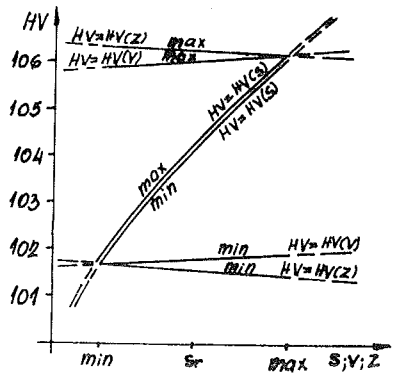
Sl.3 Zavisnost dijametra od koraka, brzine i zazora

da se na osnovu njih traži rasipanje tvrdoće u cirkularnim ravnima. Kao i u predhodna dva slučaja formirane su tabele tipa br.1 i na osnovu njih dobijene zavisnosti tipa (1) sa visokim koeficijentom korelacije, koji se kreće iznad o,98. Time se potvrdjuje da se rasipanje može interpretirati Vejbulovom raspodjelom (11), čiji se parametri kreću u odgovarajućim intervalima. Funkcija pouzdanosti ostvarenja tvrdoće (11) ukazuje na zadovoljavajući stepen homogenosti vrijednosti

$$R(HV)=e^{-\left(\frac{HV}{98,8\div 110,9}\right)^{18,1\div 63,2}} \quad \ldots\ (11)$$

u uočenim poprečnim presjecima. Koristeći se parametrima funkcije pouzdanosti nalaze se matematičko očekivanje i srednje kvadratno odstupanje koja se koriste za formiranje tabela tipa 2. U kolonu 6 se unose logaritami srednjih vrijednosti tvrdoće. Na sličan način odredjuje se zavisnost tipa (6), koja služi kao osnov da se odredi zavisnost tvrdoće od koraka, brzine i zazora (12). Grafička interpretacija je data na sl.4. Kao i u predhodnim razmatranjima moguće je očekivati da eksponenti budu funkcije nezavisno promjenljivih. Ovo se javlja kada su u jednačini tipa (6) prisutni mješoviti članovi. Kako je u posmatranim slučajevima b bilo vrlo blisko vrijednostima funkcije odziva koji se dobijaju kada se eksperiment izvodi sa srednjim vrijednostima pro-

$$HV=e^{4,7776}\ \frac{s^{0,0955}v^{0,0055}}{z^{0,0061}} \quad \ldots\ (12)$$



Sl.4 Zavisnost tvrdoće od koraka brzine i zazora

mjenljivih faktora to se mješoviti članovi mogu zanemariti.

5. Zaključci

Pri analizi medjusobnih uticaja parametara neophodno je predhodno odrediti tip raspodjele, odnosno funkciju pouzdanosti ponašanja eksperimentalnih vrijednosti, a potom naći matematičko očekivanje i srednje kvadratno odstupanje koja se koriste za odredjivanje medjuzavisnosti. U procesu rotizanja cilindričnih čašica moguće je očekivati da se variranje snage, dijametra i tvrdoće može opisivati Vejbulovom raspodjelom,dok se uticaj koraka brzine i zazora na njih može opisati stepenom funkcijom.

6. Literatura

1. Tomsen E,Jang C,Kobajasi S.: Mehanika plastičeskih deformacij pri obrabotke metalov, Moskva,1979,

2. Šor J B: Statističke metode analize kontrole kvaliteta i pouzdanosti, Beograd, 1975,

3. Kacev P G: Statističeskie metodi i sledovania režušćevo instrumenta, Moskva, 1974.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 1982 GOD.

Peter Leš *

PROMJENE MEHANIČKIH SVOJSTAVA SINTEROVANOG MATERIJALA KOD HLADNOG PREOBLIKOVANJA

R e z i m e

U radu se prikazuje utjecaj promjene gustoće, deformacione napregnutosti i Brinellove tvrdoće kod jednoosnog sabijanja sinterovanih uzoraka. U drugom djelu rada prikazane su osobine kompresibilnih metala poslije hladnog istosmjernog istiskivanja. U diagramima prikazane su promejene tvrdoće, čvrstoče, razteznosti, specifični udarni rad kao i tok krivulja plastičnosti s pripadajučim parametrima.

VARIATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF SINTERIZED MATERIALS AT COLD EXTRUSION PROCESS

S u m m a r y

The aim of this paper is to demonstrate the influence of density, yield stress and Brinell hardness at unidirectional compacting of sintered samples. Properties of compressible cold extruded materials. Diagrams attached present hardness, strength, elongation, Charpy work and plastic deformation curve with corresponding parameters.

1. Uvod

Pomoću kovinske prašne tehnologije i prašne materiale s visokim talištima možemo prerađivati u proizvode s određenim geometrijskim oblicima i osobinama, pa zato možemo prašnu tehnologiju podijeliti u meku i tvrdu. U meku tehnologiju spada naročito prerada čeličnih i obojenih kovina, koje nakon izrade možemo i dalje mehanički obradivati, dok u tvrdu tehnologiju spadaju proizvodi pomoću kojih mehanički obradujemo druge materiale, a to je takozvani tvrdi metal. Do nedavna su se strojni elementi izradivali pomoću prašne tehnologije naročito zbog svoje poroznosti, koja omogućuje upijanje masnoće (klizni ležajevi). Povečanje čvrstoće sinterovanih proizvoda moguće je postiči s hladnim preoblikovanjem i time povečanjem gustoće.

* Dr. Peter LEŠ, mag.,dipl.ing., vanredni profesor Visoke tehničke škole u Mariboru, 62000 Maribor, Smetanova 17

Meke sinterovane materiale moguće je hladno preoblikovati samo tlačnim silama i vrlo malim vlačnim silama a to naročito zbog zareznog djelovanja pora u materialu.

U novije vrijeme možemo baš zbog mogućnosti naknadne obrade toplim i hladnim preoblikovanjem sinterovanih materijala postiči velike gustoće, čvrstoće i tvrdoće, koje u većini slučajeva mogu dostiči mehanička svojstva nekompresibilnih kovinskih materijala.

2. Površinska priprema

sinterovanih poluproizvoda za hladno preoblikovanje razlikuje je od "klasičnog fosfatiranja". Zbog poroznosti materiala ne smijemo upotrebljavati "mokro mazanje" jer bi se sinterovani materiali kod umakanja omočili i u u nutrašnjosti, što bi kod preoblikovanja sprječavalo međusobno spajanje čistih materialnih djelova. Upravo zbog toga moramo upotrebiti površinsko suho mazanje na bazi spreja iz molikota (MOS_2) i teflonskog suvog maziva, koji se na zraku vrlo brzo osuši. Takav sprej moguče je nabaviti u trgovačkoj mreži sa nazivom Molykote 321 R (Dow Corming GmbH, München).

3. Jednoosno sabijanje uzoraka

3.1. Promjene gustoće kod jednoosnog sabijanja u ovisnosti od logaritamske deformacije $\bar{\varphi}_{rel} = \int(\varphi_v)$ za sinterovano željezo s oznakom RZ 150 (proizvod firme Demag Meer Pulfermetall) i sinterovani aluminij s oznakom 6061AB (proizvod firme ALCOA) prikazuje sl. 2. Iz slike također vidimo, da se za različite početne relativne gustoće $\varrho_{o\ rel}$ krivulje pokoravaju istom zakonu komprimiranja i to povečanom deformacijom povečuje se i gustoća sinterovanih materija.

3.2. Krivulje plastičnosti dobivene sa jednosnim sabijanjem sinterovanih uzoraka u usporedbi sa sličnim nekompresibilnim materialom (tabela 1.) pokazuju kako se promjenjuje deformaciona napregnutost k_f, koja se kod jednoosnog tlačnog pokusa izračunava iz jednadbe $k_f = P_i / A_j$, kod čega je sila stiskanja P_i na trenutni kružni presek valjkastog uzorka A_j. Slike 3 in 4 prikazuju deformacionu napregnutost k_f u ovisnosti od logaritamske deformacije po visini uzorka. Zbog usporedbe unesene su i krivulje plastičnosti za meki nekompresibilni usporedbeni material Č.1121, i AlMgSiCu. Kao što je vidljivo iz obe slike krivulje plastičnosti za veče relativne gustoće približuje se krivulji za nekompresibilni usporedbeni materijal. Zanimljivo je ipak da krivulje plastičnosti za sinterovani materijal sa velikom početnom relativnom gustoćom ($\varrho_{rel\ o}=0,9$) imaju kod večih deformacija veču deformacionu napregnutost k_f nego usporedbeni nekompresibilni materijal (x).

Funkcijski propis po kojemu se pokoravaju krivulje plastičnosti za sinterovano željezo sa relativnom gustoćom $\varrho_{o\ rel} = 0,7$ i $\varrho_{o\ rel} = 0,9$ i usporedbeni čelik Č.1121 po sl. 3 je:

za $\varrho_{o\ rel}=0,7$ je $k_f=521.\varphi_h^{0,561}$

za $\varrho_{o\ rel}=0,9$ je $k_f=633.\varphi_h^{0,348}$

za $\varrho_{o\ rel}=1$ je $k_f=619.\varphi_h^{0,21}$

Funkcijski propis po kojem se pokoravaju krivulje plastičnosti za sinterovani aluminij može se zapisati

za $\varrho_{o\ rel}=0,7$ je $k_f=209.\varphi_h^{0,46}$

za $\varrho_{o\ rel}=0,9$ je $k_f=314.\varphi_h^{0,297}$

3.3. Tok Brinellove tvrdoće kod jednoosnog sabijanja uzoraka pokazuju slike 5 i 6. Interesantno bi bilo kada bi se mogla dokazati veza između Brinellove tvrdoće HB i deformacione napregnutosti k_f. Kod nekompresibilnih materija je bilo to već dokazano. Usporedbom slika 3 i 5 pa i 4 i 6 primjetimo, da takva veza postoji i za sinterovane materijale. Za praktičnu upotrebu je to velikog značaja, jer je mjerenje Brinellove tvrdoće bitno jednostavnije nego odredivanje deformacione napregnutosti. Na taj način možemo iz izmjerene Brinellove tvrdoće prognozirati vrijednost deformacione napregnutosti kod jednoosnog stiskanja kompresibilnih materija.

4. Osobine kompresibilnih metala poslije hladnog istosmjernog istiskivanja

4.1. Jako povećanje gustoće kompresibilnih materija prije počctka kvazistacionarne plastične deformacije i kod toga povećanog očvršćenja prouzrokuje i povećanje Brinellove tvrdoće po presjeku izratka kod jednosmjernog istiskivanja. Na sliki 7 vidimo tok Brinellove tvrdoće po preseku izratka iz sinterovanog aluminija. Tvrdoća naraste kod sinterovanog aluminija od početne u sinterovanem sirovcu 20 HB na 40 HB u deformacioni zoni i na 79 HB u dijelu stabla, što pretstavlja 395 % povećanje tvrdoće s obzirom na početnu vrijednost tvrdoće sinterovanog sirovca. Vrlo interesantno i značajno je da je Brinellova tvrdoća sinterovanih materijala poslije hladnog istiskivanja mnogo veća nego tvrdoća nekompresibilnog materijala poslije jednakog hladnog istiskivanja što i prikazuje slika 8.

4.2. Slika 9 prikazuje deformacionu napregnutost k_f t.j. krivulje plastičnosti za ukupno područje preoblikovanja sa početnim relativnim gustoćama sinterovanog aluminija $\varrho_{o\ rel} = 0,8$ i 0,9 te sa usporedbom toka krivulje plastičnosti za AlMgSiCu poslije hladnog preoblikovanja istosmjernim istiskivanjem. Mjerni uzorci uzeti su iz glave (1) kao i iz stabla (2) istiskivanog izratka sa različitim kutevima istiskivanja ($2\alpha = 30^o$, 60°, 90°, 120°).

Kao što vidimo iz slike 9 krivulje plastičnosti za sinterovani aluminij sa $\varrho_{o\ rel} = 0,9$ leže iznad krivulje plastičnosti za nekompresibilni usporedbeni aluminij. Deformaciona naprezanja k_f približuju se vrijednosti $k_f = 410\ N/mm^2$ kod logaritamske deformacije $\varphi_h = 1,4$. Funkcijski zapis toka krivulja plastičnosti je

za $\varrho_{o\ rel}=0,7$ je $k_f=333.\varphi_h^{0,42}$

za $\varrho_{o\ rel}=0,9$ je $k_f=383.\varphi_h^{0,247}$

Približno isti tok krivulja plastičnosti dobiju se i za sinterovano željezo sl.10 s razlikom da krivulje leže bitno više nego kod sinterovanog aluminija i one se približavaju vrijednosti k_f = 920 N/mm^2 kod logaritamske deformacije $_h$ = 1,4. Pa i za te krivulje možemo zapisati funkcijski zapis u slijedečem obliku:

$\varrho_{o\ rel}=0,7$ je $k_f=706.\varphi_h^{0,405}$

$\varrho_{o\ rel}=0,9$ je $k_f=808.\varphi_h^{0,269}$

Ako međusobno povežemo koeficiente i eksponente iz dobivenih funkcijskih zapisa dobijemo slike 11 i 12 iz kojih možemo odčitati bilo koju vrijednost koeficienta C i eksponenata n za različite relativne gustoće sinterovanog aluminija kao i sinterovanog željeza; te na taj način odrediti krivulje plastičnosti po sljedečem zapisu $k_f = C \cdot \varphi^n$.

4.3. Usporedba rezultata ispitivanja i drugih osobina kompresibilnog sinterovanog materiala može se prikazati pomoću grafikona na sl.13, koji prikazuje usporedbu nekih mehaničkih vrijednosti (σ_m, $\sigma_{0,2}$, δ_5, ψ, δ_e, HB, a_K) sa usporedbenim nekompresibilnim aluminijem (○). Drugi dio grafikona (△) prikazuje vrijednosti sinterovanog aluminija po hladnoj deformaciji (φ_h = 1,4). Treći dio grafikona (◇) prikazuje vrijednosti sint.aluminija, koji je bio hladno preoblikovan i dodatno obraden toplinskom obradom (30 min na 520°C - gašeno u vodi i 30 dana starano na temperaturi 20°C).

Ova faza toplinske obrade prikazuje na osnovi teoretskih zakonitosti jako povečanje duktilnosti uzorca na osnovi povečanog istezanja i kontrakcije. Žilavost (a_k) kao kombinacija čvrstoće i duktilnosti prikazuje odredeno povečanje. U četvrtom dijelu grafikona (□), koji prikazuje usporedbene vrijednosti hladno preoblikovanog sinterovanog aluminija i aluminija sa dodatnom toplinskom obradom i staranjem 18^h na temperaturi 180°C vidimo očitne efekte izlučilnog očvršćenja kod čega mehanička svojstva (tvrdoća i čvrstoća) i dalje rastu, dok duktilnost pada. Izrazito je povečanje žilavosti materijala poslije staranja. Iz usporedbe sa mehaničkim svojstvima nekompresibilnog materiala, sinterovani material prikazuje praktično jednaka svojstava uz nešto nižu duktilnost i žilavost. Isto tako je očitno, da ima hladno preoblikovani sinterovani materijal daleko bolja mehanička svojstva nego nekompresibilni aluminij bez hladnog preoblikovanja. Vrlo sličan grafikon važi i za sinterovano željezo sa drugim stvarnim vrijednostim.

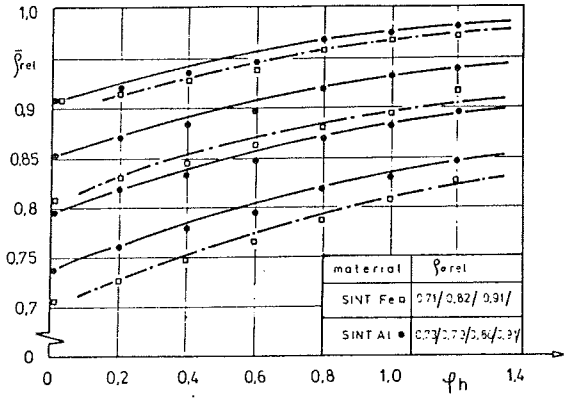
L I T E R A T U R A

1. Jurca, S. Tehnologija sintranja in materiali, Metalurški institut - Ljubljana 1972
2. Theia, Ch. Warmumformen und verdichten von Porösen Körpern aus Sintereisen und Sinterstahl, TH - Hannover - Dissertation 1972
3. Leš, P. Hladno preoblikovanje sintranih materialov, XI.Souetuvanje za proizvodstveno mašinstvo Ohrid juni 1977
4. Schacher,H.D. Kaltumformen von Sintereisen, IFU, Stuttgart,

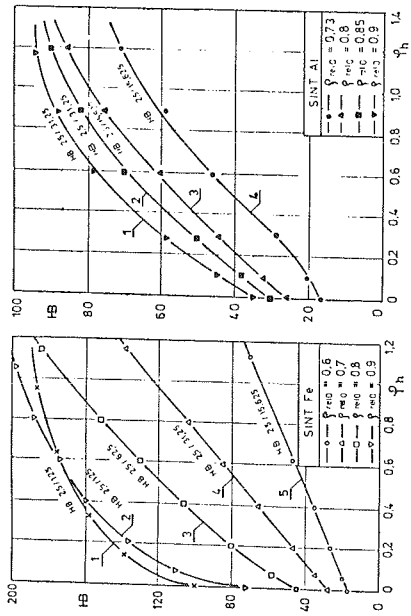
Bericht 47, Dec. 1978
5. Downey, L.C. Powder preform forging - an analytical and experimental appropach to proces design.
Dr. diss. 1973, Drexel University, Pennsylvania
6. Shabaik, Aly, H. Theoretical methods for analysis of metal deformation problems and a investigation of the aplication of visioplasticity methods of analysis to metal deformation processing
University of California, Berkeley, 1966
7. Lange, K. Neuere möglichkeiten der Werkstückherstellung durch Massivumformen
Ind. Anz. 102/98/1976 - str. 1817 - 1824
8. Wilhelm, H. Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Vickershärte und Vergleichsformänderungen bei Kaltumformvorgängen.
IFU, Stuttgart, Bericht Nr.9, Dec. 1969
9. Leš P., Zakonitosti plastičnog tečenja za kompresibilne materije.
Obrada deformisanjem u mašinstvu br. 6, Novi Sad 1980

	C	Si	Mn	P	S	O	Al	Cu	Mg	Fe	Mazivo
Rz 150	0,08	0,1	0,25	0,035	0,2	0,65				ost.	$0,83(Zn\text{-}st)_2$
Č.1121	0,1	0,07	0,35	0,014	0,014		0,036	0,06		ost.	
601 AB		0,15				0,14	ost.	0,25	1,0	0,24	1,5 vosak
AlMg1SiCu		0,4	0,1					0,27	1,0	0,7	

Tabela 1

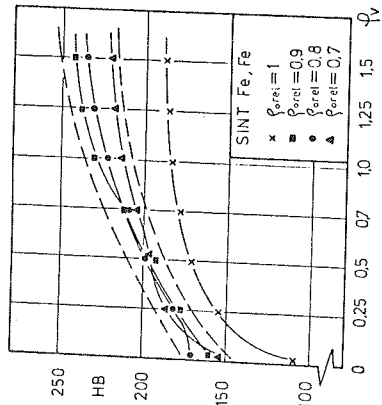


Sl. 2

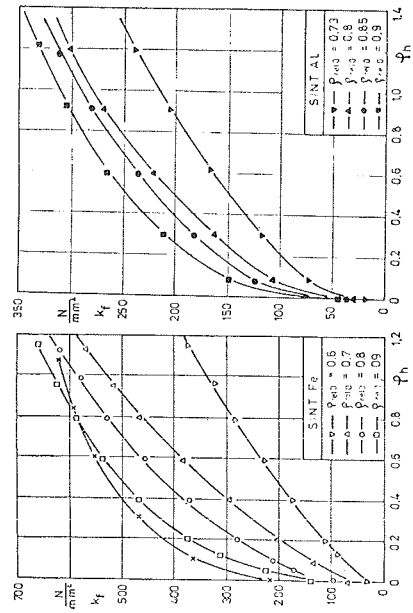


Sl. 6

Sl. 5

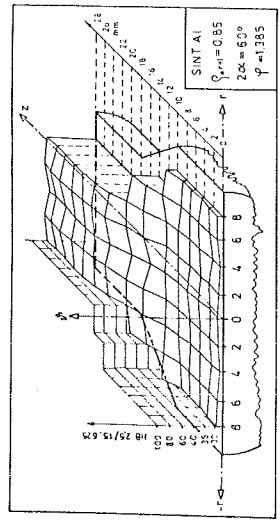


Sl. 8

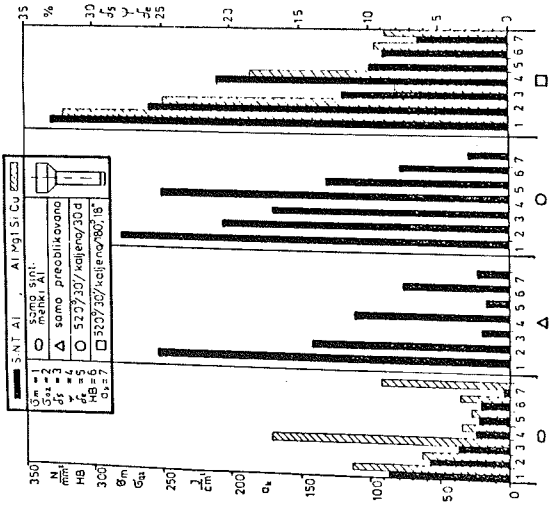


Sl. 4

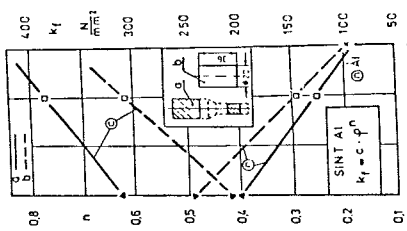
Sl. 3



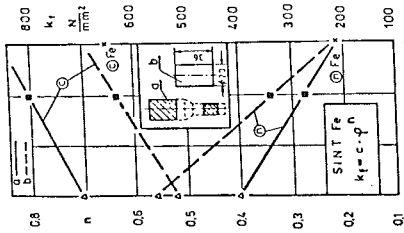
Sl. 7



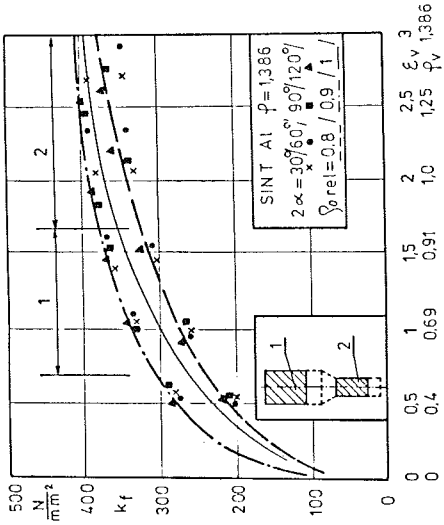
Sl. 13



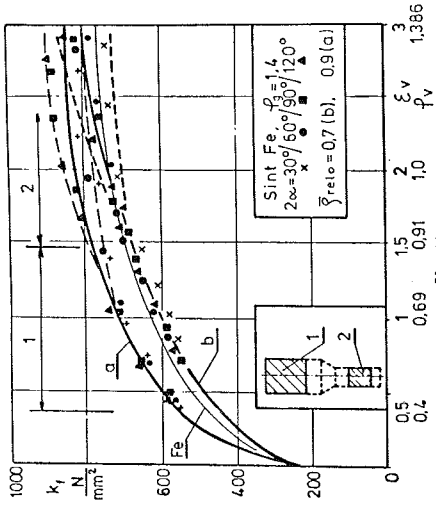
Sl. 11



Sl. 12



Sl. 9



Sl. 10

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR,1982.GOD.

Himzo Djukić*

EKSPERIMENTALNO ODREDJIVANJE ZAKONA PROMJENE SILE PRI IZVLAČENJU SA REDUKCIJOM ZIDA OMOTAČA**

R e z i m e

U radu su postavljeni modeli za proračun deformacione sile izvlačenja dobijeni na osnovi faktornog plana eksperimenta.

LA DETERMINATION EXPERIMENTALE DE LA LOI DE SHANGEMENT DE LA FORCE LORS DU TIRAGE AVEC L AMINCICEMENT DE L ENVERLOPPE

R é s u m é

Nous avons donné ici les modeles de la force déformationnelle du tirage, obtenus a la base de facteur du plan de l experiment.

1. UVOD

Poznavanje zakona promjene deformacione sile izvlačenja je prvi preduslov potreban za pravilno usklađivanje potrebe procesa i mogućnosti sredstava rada, Tačno odredjivanje vrijednosti deformacione sile izvlačenja omogućava i racionalnu konstrukciju alata.

U literaturi postoji nekoliko načina odredjivanja vrijednosti deformacione sile izvlačenja, zasnovanih na razradjenim teoriskim metodama kao što su: metoda deformacionog rada, metoda integracije približnih diferencijalnih jednačina ravnoteže i plastičnosti, metoda gornje procjene i metoda linija klizanja.

Osnovni nedostatak svih teoretskih metoda je da sadrže veliki broj uproščenja što neminovno vodi ka greškama koje su veoma često znaćajne. Sa druge strane eksperimentalno dobijeni dijagrami zavisnosti i napona sile izvlačenja,koji se mogu naći u literaturi nemaju širi značaj jer se odnose na izabrane uslove izvlačenja. U ovom radu je postavljen model za proračun deformacione sile izvlačenja zasnovan na metodi faktornog plana eksperimenta.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Za funkciju odziva je usvojen nepotpuni polinom višeg reda. Da bi se odredio stepen polinoma izvršena je selekcija svih uticajnih parametara na silu izvlačenja,te su izabrani slijedeći parametri:

---

* Mr Himzo Djukić,dipl.ing.docent Mašinskog fakulteta u Mostaru.

** Ovaj rad predstavlja dio naučno istraživačkog projekta: "ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ METODA PROJEKTOVANJA I PRORAČUNA TEHNOLOGIJE IZRADE CILINDRIČNIH ELEMENATA METODOM DUBOKOG IZVLAČENJA SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA OMOTAČA PO VISINI", u čijem finansiranju učestvuju Republička zajednica nauke Bosne i Hercegovine i RO "Igman" iz Konjica.

φ - logaritamski stepen deformacije;
d_1/d_2 - odnos prečnika prednjeg i zadnjeg prstena za izvlačenje;
HV - stanje materijala izraženo kroz povrpinsku tvrdoću i
v - brzina deformisanja

Intervali varijacije izabranih uticajnih parametara su tako odredje - ni da prekrivaju što veće područje primjenljivo u praksi. Vrijednosti usvojenih faktora na gornjem,donjem i osnovnom nivou su date u tabeli 1.

	$x_1=\varphi$	$x_2=d_1/d_2$	$x_3=$ HV	$x_4=v$
Gornji	o,92	1,o5	19o	o,4
Donji	o,18	1,o2	58	o,oo24
Osnovni	o,55	1,o35	124	o,2o12
Int.var	o,37	o,o15	66	o,1988

Tabela 1.

Materijal za eksperimentalna istraživanja je CuZn28 sa krivom očvršćavanja $k=71,96 \cdot \varphi^{o,496}$.

Eksperimenti su izvedeni sa cilindričnim elementima dimenzija Ø25mm x 4o mm u proizvodnim i laboratorijskim uslovima,

Dijagrami zavisnosti sila - put izvlačenja u proizvodnim uslovima su dobijeni preko mjernog lanca:mjerne trake-pojačivać-svjetlosni pisać,a u laboratorijskim uslovima direktnim snimanjem preko pisaća hidraulične kidalice. Za izrani broj uticajnih parametara izvedeno je ukupno $n=2^k=2^4=16$ eksperimenata. Svaki eksperiment je ponavljan tri puta. Polazni matematski model ima oblik:

$$F = b_o+b_1 \cdot x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_4x_4+b_{12}x_1x_2+ +b_{13}x_1x_3+b_{14}x_1x_4+b_{23}x_2x_3+b_{24}x_2x_4 +b_{34}x_3x_4+b_{123}x_1x_2x_3+b_{124}x_1x_2x_4 + +b_{234}x_2x_3x_4+b_{134}x_1x_3x_4+ +b_{1234}x_1x_2x_3x_4 \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Za realizaciju ovog modela je prema /6/ usvojen drugi sistem ponavljanja eksperimenata, sa odgovarajućim disperzionim i regresionim jednačinama. Dimenzije alata i vrijednosti tvrdoće i brzine deformisanja za svih 16 eksperimenata su date u tabeli 2.

Oznaka eksp.	Prečnici prstenova		Tvrdoća	Brzina
E	d_1	d_2	HV	v
	mm	mm	daN/mm^2	m/s
E_1	23,15	22,o6	19o	o,4
E_2	24,6	23,38	19o	o,4
E_3	22,6	22,o6	19o	o,4
E_4	23,8	23,38	19o	o,4
E_5	23,15	22,o6	58	o,4
E_6	24,6	23,38	58	o,4
E_7	22,6	22,o6	58	o,4
E_8	23,8	23,38	58	o,4
E_9	23,15	22,o6	19o	o,oo24
E_{1o}	24,6	23,38	19o	o,oo24
E_{11}	22,6	22,o6	19o	o,oo24
E_{12}	23,8	23,38	19o	o,oo24
E_{13}	23,15	22,o6	58	o,oo24
E_{14}	24,6	23,38	58	o,oo24
E_{15}	22,6	22,o6	58	o,oo24
E_{16}	23,8	23,38	58	o,oo24

Tabela 2.

Da bi se mogla izraditi ortogonalna plan-matrica eksperimenata izvršeno je kodiranje usvojenih faktora preko jednačina transformacije /6/.
Na osnovi izvršenih eksperimenata sračunate su srednje vrijednosti deformacione sile izvlačenja i date

u tabeli 3.

Eks.	F_1	F_2	F_3	F_{sr}	$(F_i-F_{sr})^2$	F_r	$(F_{sr}-F_r)^2$
	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$	$(y_i-\bar{y})^2$	$\hat{y}$	$(\bar{y}_i-\hat{y})^2$
1	49,54	48,85	49,54	49,27	o,3222	49,18	o,oo81
2	18,58	17,89	18,23	18,23	o,2381	18,1o	o,o169
3	45,41	46,1o	46,1o	45,87	o,3174	45,96	o,oo81
4	2o,64	19,95	21,33	2o,64	o,9522	2o,76	o,o144
5	29,24	3o,27	29,59	29,7o	o,2237	3o,o4	o,1156
6	6,88	6,88	7,22	6,99	o,o794	6,88	o,o121
7	31,3o	32,34	34,4o	32,68	4,978	32,34	o,1156
8	8,26	7,57	7,91	7,91	o,2381	8,o2	o,11oo
9	96,oo	97,2o	96,oo	96,4o	o,68oo	96,48	o,oo64
10	26,4o	25,2o	25,2o	25,6o	o,96oo	25,76	o,o256
11	94,2o	94,2o	94,8o	94,4o	o,24oo	94,3o	o,oloo
12	3o,oo	29,4o	29,4o	29,6o	o,24oo	29,46	o,o196
13	5o,7o	51,oo	5o,4o	5o,7o	o,18oo	5o,38	o,1o24
14	1o,2o	9,6o	9,3o	9,7o	o,42oo	9,82	o,o144
15	52,8o	52,8o	54,6o	53,4o	2,16oo	53,72	o,1o24
16	11,7o	11,4o	13,2o	12,1o	1,86oo	12,oo	o,oloo
				36,45	14,o981		o,6916

Tabela 3.

Koristeći plan-matricu i podatke iz tabele 3. dobijene su slijedeće vrijednosti koeficijenata regresije: b_o=36,449; b_1=2o,o98; b_2= -o,625; b_3=11,o5o; b_4=-1o,o38; b_{12}=o,59o; b_{13}=3,879; b_{14}=-7,134; b_{23}=o,497; b_{24}=o,261; b_{34}=-3,959; b_{123}=o,885; b_{124}=-o,121; b_{134}=-2,781; b_{234}=o,111; i b_{1234}= o,o98.

Provjeravajući stabilnost opita pomoću kriterijuma Kohrena dobijena je računska vrijednost G_r=o,218 a tablična vrijednost za G(5%, 16; 2) =o,32178 te je zadovoljena nejednakost pa se prihvata hipoteza o stabilnosti opita. Provjera značajnosti koeficijenata regresije je izvršena prema t-kriterijumu:

$$|b_i| \geqslant \Delta b_i = t(\alpha ; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{N}} \quad \ldots.(2)$$

Nejednačinu (2) ne ispunjavaju koeficijenti b_{124}, b_{234} i b_{1234} te se mogu isključiti iz modela, ne korigujući pri tome vrijednosti ostalih parametara.

Provjera adekvatnosti modela je izvršena pomoću Fišerovog kriterija:

$F_r = S^2_{LF} / S^2_E \leqslant F_t(\alpha, f_{LF}, f_E)$...(3)

Na osnovi dobijenih podataka (tabela 3) i tabličnih vrijednosti dobijeno je

$F_r = o,6o9 < F_t(o,o5; 11; 32) = 2,o$ te se može konstatovati da matematički model na adekvatan način opisuje dati proces.

Koristeći jednačinu trasnformacije i prirodne vrijednosti usvojenih parametara konačan oblik modela za proračun deformacione sile izvlačenja glasi:

$F = 238,135\varphi - 2o,12\, d_1/d_2 + o,922\, HV - 89v - 191,58\varphi\, d_1/d_2 - 2,21\varphi HV - 25,93\varphi v - o,816\, d_1/d_2\, HV + 87,19\, d_1/d_2\, v + o,o131\, HV\, v + 2,4\varphi\, d_1/d_2\, HV - o,583\varphi HV\, v + 13,1$ [KN] .....(4)

Koristeći eksperimente E_3, E_4, E_7 i E_8 (abela 3) i jednačine transformacije /6/ može se dobiti model za proračun deformacione sile izvlačenja u obliku

$F = 12,38 \cdot \varphi^{2,172 - o,32\, \ln HV} \cdot HV^{o,258}$ [KN]

koji uzima u obzir samo dva uticajna parametra.

Na osnovi izvršenih eksperimenata i dobijednih modela za proračun deformacione izvlačenja može se zaključiti da su izabrani uticajni parametri veoma uticajni na vrijednost deformacione sile izvlačenja . Dobijeni izraz (4) iako izražen u linearnom obliku je veoma složen što potvrdjuje kompleksnost uticaja izabranih parametara na deformacionu silu izvlačenja. Dobijeni obrasci za proračun deformacione sile izvlačenja vrijede za izvlačenje izradaka od mesinga CuZn28 na dvostepenim alatima za usvojeno područje uticajnih parametara. Područje primjene obrasca (4) je daleko šire od područja primjene obrasca datog u eksponencijalnom obliku. Razlike izmedju eksperimentalnih rezultata i vrijednosti dobijenih u izrazu (4) je manja od 3%.

LITERATURA

/1/ Šofman,L.A.: O raščete naprjaženij i deformacij u processah obrabotki metallov davleniem, Kuznečno štampovočnoe proizvodstvo,6,1969.

/2/ Kuznjecev,P.: O glubokoj vnljažke čerez dve matricy izdeliy iz lolstoilistovog materiala.Kuznečno štampovočnoe proizvodstvo,3,1968.

/3/ Musafija,B.: Primjenja teorija plastičnosti I i II dio Univerzitet u Sarajevu, 1974.

/4/ Deverdžić,B.: Osnovi teorije plastičnog deformisanja metala Mašinski fakultet Kragujevac,1975.

/5/ Čičenev,N.A. i dr.: Metodi issledovanija procesov obrabotki metallov davleniem Metallurgija, Moskva,1977.

/6/ Stanić J.: Metod inženjerskih merenja Mašinski fakultet Beograd 1975.

/7/ Vukadinović V.: Teorija vjerovatnoće i matematička statistika Beograd,1973.

/8/ Gelei,Š.: Raščet usilii i energi pri plastičeskoi deformacii metallov. Metallurgizdat,Moskva,1958.

/9/ Popov E.A.: Osnovi teoriji listovoj štampovki,Mašinostroenie, Moskva, 1968.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE MOSTAR 1982. GOD.

Vladimir Mitković *)

ODREDJIVANJE PARAMETRA TRENJA U PROCESU SABIJANJA

R e z i m e

U ovom radu se eksperimentalnim putem vrši odredjivanje parametra trenja (koeficijenta trenja) za proces sabijanja.

Uzorci cilindričnog oblika se podvrgavaju različitim stepenima deformacije i uporedbom sa teoretskom krivom se odredjuje numerička vrijednost traženog parametra.

THE DETERMINATION OF FRICTION PARAMETERS IN THE COMPRESSING PROCESS

S u m m a r y

This paper deals with an experimental analysis of the determination of a friction parameter (the coefficient of friction) for the compression process.

Cylindrical shaped samples are exposed to various degrees of deformation and, by comparing them with a theoretical curve, the numerical value of the parameter in question is determined.

Rešavanjem problema sabijanja bavili su se mnogi autori i to L. Prandtl, Siebel i Unksov [1]. [2]. [3]. Isti zadatak rješavan je kasnije i dat u [4]. Rješenje ovog zadatka je izvršeno metodom tankih presjeka pri čemu su uzete u obzir samo zona klizanja i zona lijepljenja. Zanemarivanje središnje zone sa padom tangencijalnih napona, vodi u grešku koja po Unksovu [5] u najnepovoljnijim uslovima ne prelazi 7,5%.

Ako na kontaktnoj površini postoji samo klizanje bez lijepljenja, za vrijednost srednjeg napona prema naponu tečenja ili efektivnom naponu imamo da je [4]

$$\frac{p_{sr}}{\bar{\sigma}} = 2\left(\frac{1}{\mu\frac{d}{h}}\right)^2\left[e^{\mu\left(\frac{d}{h}\right)} - \mu\left(\frac{d}{h}\right) - 1\right] \qquad (1)$$

*) Mr. Vladimir Mitković, dipl.ing. docent Mašinskog fakulteta u Sarajevu

dok je zakonitost promjene normalnog napona na kontaktu

$$\sigma_z = \sigma \exp\left[\frac{2\mu}{h}\left(r_f - r\right)\right] \qquad (2)$$

Porast tangencijalnog napona na kontaktnoj površini ne može biti neograničen. U zavisnosti od dimenzije kontaktne površine kao i koeficijenta trenja, tangencijalni napon će u jednoj tački dostići svoju maksimalnu vrijednost pri čemu će se uzorak zalijepiti za kontaktnu površinu, a u njemu će se javiti podslojno tečenje. Zakonitost promjene normalnih napona u zoni lijepljenja je:

$$\frac{\sigma_z}{\sigma} = \frac{2}{h\sqrt{3}}\left(r_f - r\right) + 1 \qquad (3)$$

Odnos srednjeg specifičnog pritiska prema efektivnom naponu dobija se integracijom na kontaktnoj površini normalnih napona odakle je:

$$\frac{p_{sr}}{\sigma} = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{\mu\frac{d}{h}}\right)^2\left[\left(2\mu\frac{r_0}{h}+1\right)\frac{1}{\mu\sqrt{3}} - \mu\left(\frac{d}{h}\right) - 1\right] + \left(\frac{r_0}{r_f}\right)^2\left[\frac{1}{\mu\sqrt{3}} + \frac{2\sqrt{3}}{9}\left(\frac{r_0}{h}\right)\right] \qquad (4)$$

U obrascima 1 i 4 dat je odnos srednjeg specifičnog pritiska prema efektivnom naponu za slučaj čistog klizanja na kontaktnoj površini (obrazac 1) i mješoviti slučaj kada pored zone čistog klizanja postoji i zona lijepljenja (obrazac 4). Ovaj odnos u datim obrascima zavisi od koeficijenta kontaktnog trenja μ i odnosa prečnika prema visini uzorka d/h i može se lako grafički predstaviti u dijagramu $\frac{p_{sr}}{\sigma} = f(d/h, \mu)$ što je i učinjeno na slici 1.

Teoretski dijagram na slici 1 prikazan je za vrijednosti (d/h) od o,5 do 7 sa parametrom trenja od o,o5 do o,577. Pošto se naponske krive u dijagramu, za odnose d/h < 2, zgušnjavaju tako da je preglednost otežana u dijapazonu $o,5 \leq d/h < 2$ dijagram je nacrtan u povećanoj razmjeri.

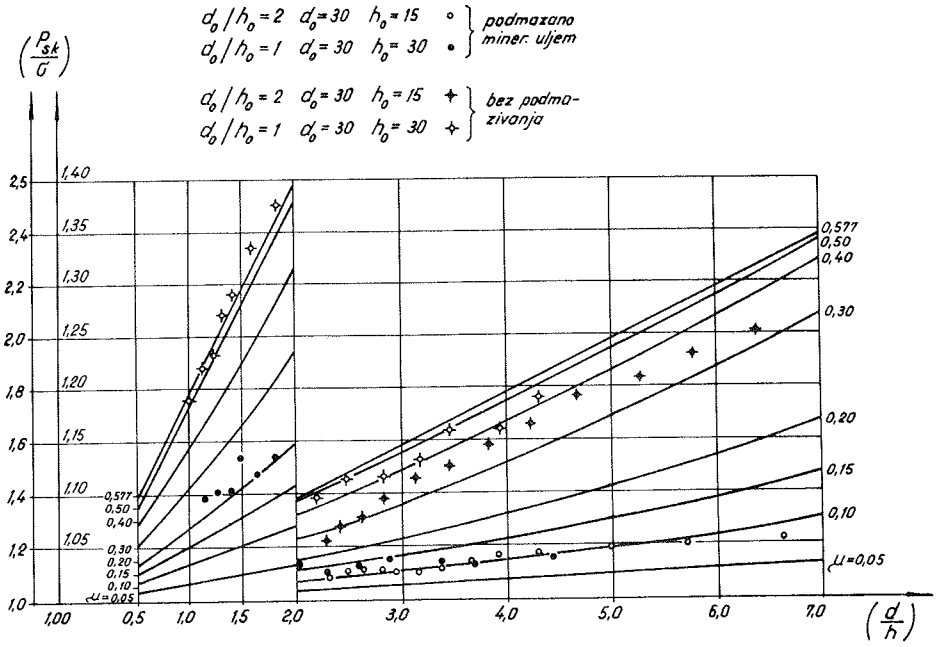
Da bi utvrdili stvarne vrijednosti parametra trenja u procesu sabijanja možemo se poslužiti uporedbom eksperimentalno dobijenih vrijednosti sa teoretskim vrijednostima datim u dijagramu na slici 1.

U slučaju da teoretski dijagram vjerno održava stvarno stanje dobijeno iz eksperimenta, za odredjene uslove na kontaktnoj površini (vrsta maziva) pod nepromijenjenim uslovima (hrapavost, brzina deformacije, i td.), eksperimentalni podaci moraju se poklapati sa tokom jedne od parametarskih krivih definisanih jednim parametrom trenja μ. Na taj način možemo doći do numeričkih vrijednosti ovoga parametra što nam omogućava kasniju praktičnu primjenu predloženih teoretskih obrazaca.

U eksperimentalnom dijelu rada odabran je za izradu uzoraka tehnički čisti aluminijum, meko žaren. Početni materijal za izradu uzoraka je bila šipka prečnika Ø 5o mm dobijena istosmjernim istiskivanjem.

Iz šipke su izradjeni uzorci za odredjivanje krive efektivnih napona (krive očvršćavanja) kao i uzroci za ispitivanje sabijanjem.

Kriva efektivnih napona dobijena je ispitivanjem sabijanjem na uzorcima dimenzije Ø 25 x 25. Eliminacija trenja na kontaktnoj površini izvršena je pomoću cilindričnog upusta na čeonoj površini [6] [7] koji je bio ispunjen pastom M_oS_2.



Sl. 1

Rezultati ovog ispitivanja uneseni su u dijagram na slici 2.

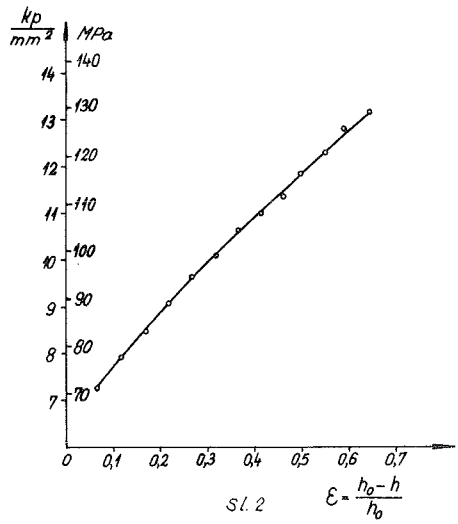
Uzorci za ispitivanje sabijanjem su izradjeni sa prečnikom Ø 3o i odnosom prečnika prema visini $d_o/h_o = 1$ i $d_o/h_o = 2$. Snimanje na pomenutim uzorcima je predvidjeno sa kontaktnim uslovima koji se medjusobno dosta razlikuju i to sa suhim odmašćenim površinama alata i uzorka i podmazanim površinama pri čemu je kao sredstvo za podmazivanje korišćeno ulje.

Dobijene eksperimentalne vrijednosti $p_{sr}/\bar{\sigma}$ i d/h unesene su za sva četiri opita u dijagram na sl. 1 gdje je dobijen niz tačaka za svaki eksperiment posebno u zavisnosti od početnih geometrijskih parametara uzorka i vrste primjenjenog maziva.

Iz položaja eksperimentalnih tačaka u dijagramu na sl. 1 vidimo slijedeće:

U opitu sa podmazivanjem uzorka sa početnim odnosom $d_o/h_o = 1$ položaj eksperimentalnih tačaka nalazi se na početnom dijelu iznad linije sa $\mu = 0,2$ a zatim sa porastom odnosa d/h iste se približavaju parametarskoj liniji sa $\mu = 0.1$. Eksperimentalne vrijednosti uzorka sa početnim odnosom $d_o/h_o = 2$ leže u čitavom dijapazonu na krivoj sa parametrom $\mu = 0.1$.

Kod uzoraka istih početnih geometrijskih odnosa ispitivanih u odsustvu sredstva za podmazivanje situacija je donekle slična. Naime, uzorak sa početnim vrijednostima $d_o/h_o = 1$ u dijapazonu $0.5 \leq d/h \leq 2$ kreće se u blizini linije $\mu = 0.577$ pa čak iznad nje da bi pri $d/h > 2$ zašao



Sl. 2

izmedju linija sa μ = o.4 i o.5 sa tendencijom približavanja liniji μ = o.4. Uzorak sa d_o/h_o = 2 takodje ima tendenciju približavanja liniji μ = o.4 ali se njoj približava od manjih vrijednosti čak od μ = o.2. Pošto se eksperimentalne vrijednosti prilično poklapaju sa teoretskim u području o.5 < d/h < 2 kao i u području d/h > 2, samo na drugim parametarskim krivim linijama, ostaje da se utvrdi koja je realna parametarska kriva odnosno parametar μ sa kojim možemo računati. Opit sa d_o/h_o = 1, bez podmazivanja, daje eksperimentalne tačke koje se nalaze iznad linije sa μ = o,577 pa se ova vrijednost parametra može odbaciti. Medjutim, opit sa podmazivanjem (d_o/h_o = 1) nalazi se unutar normalnih granica pa nemamo jasnog razloga za njegovo odbacivanje te se moramo obratiti eksperimentima vršenim u [1] gdje su za razne početne vrijednosti d_o/h_o date eksperimentalne vrijednosti rasporeda kontaktnih napona.

Za manje odnose d_o/h_o vidimo da je dijagram normalnih napona, "puniji" tj. da su razlike izmedju napona na osi simetrije i napona u blizini ivice manje. Sa porastom stepena deformacije kao i početnih odnosa d_o/h_o kriva normalnih napona dobija zvonoliki oblik koji se znatno bolje slaže sa teoretskom krivom koja je takodje zvonolika.

Drugi razlog koji govori u prilog tome da je mjerodavna vrijednost dobijenog parametra μ ona koja se dobija poklapanjem eksperimenta sa krivom u oblasti $d_o/h_o > 2$, je poklapanje eksperimentalnih vrijednosti sa teoretskim dva uzorka sa različitim početnim odnosom d_o/h_o.

Ostaje da se objasni tok eksperimentalnih tačaka u opitu bez podmazivanja koje se pri-približavaju jedne drugima od viših ka nižim vrijednostima i od nižih ka višim vrijednostima parametra. Opit sa vrijednošću d_o/h_o=2 vršen je prvo i za to vrijeme kontaktne površine koje su bile čiste dobile su jednu skramu koja je uticala na povećanje tangencijalnih napona na kontaktu.

Vrijednosti opita sa d_o/h_o=1 su u zoni poklapanja sa prethodnim opitom nešto više.

Literatura

[1] M. Vater, G. Nebe. Uber die Spannungs und Formauderungsverteilung beim Stauchen. VDI - Verlag GmbH. Dusseldorf 1965.

[2] B. Musafia. Primjenjena teorija plastičnosti I dio. Univerzitet u Sarajevu 1973.

[3] Unksov E.P., Inženernaja teorija plastičnosti. Mašgiz - Moskva 1959.

[4] Tomsen E., Jaug Č., Kobajaši Š. Mehanika plastičeskih deformacij pri

obrabotke metallov. Mašinostroenije - Moskva 1969.

[5] Storoževv M.V., Popov E.A. Teorija obrabotki metallov davljenjiem. Mašinostroenie - Moskva 1971.

[6] Mitković V. Eksperimentalni metodi dobijanja krivih očvršćavanja. Zbornik radova IV Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1968.

[7] Kroha V.A., Krivie upročnjenjija metallov pri holodnoj deformacii. Mašinostroenije - Moskva 1968 g.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

Vinko Volčanšek+

PRILOG ISPITIVANJIMA UTICAJA GEOMETRIJE ALATA NA OTPORE ISTICANJA PRI ISTOSMERNOM ISTISKIVANJU

R e z i m e

U radu su dati rezultati istraživanja faktora geometrije alata, temperature i brzine posmaka tiskača prese na otpore isticanja legure AlMgSi-o,5 pri istosmernom istiskivanja.

Rezultati istraživanja provereni su na izvedenim alatima za istiskivanje složenih oblika profila i različite otvore recipijenata.

BEITRAG DER ÜBERPRÜFUNG DES EINFLUSSES DER WERKZEUGGEOMETRIE AUF DER AUSFLUSSWIDERSTAND BEIM DIREKTPRESSEN

Z u s a m m e f a s s u n g

In der Arbeit wird über die Prüferzeugnisse des Faktores der Werkzeuggeometrie, Temperatur und Vorschubgeschwindigkeit des Presskolbens auf den Ausflusswidestand der Legierung AlMgSi-o,5 beim Direktpressen berichtet.

Die Prüferzeugnisse wurdwn auf den hergestellen Presswerkzeugen der komlizierten Profilformen und vrtschiedenen Blochaufnehmeröffnung überprüft.

1. Uvod

Osnovni uslov pri projektovanju alata i tehnologije za istiskivanje složenih oblika aluminiskih profila jesu, da alat daje dimenziski i geometriski tačan profil i da brzina isticanja po poprečnom preseku profila bude ista.

Na otpore isticanja složenih oblika profila utiču veći broj faktora. U ovome radu biće izneti rezultati ispitivanja uticaja geometrije alata, temperature i brzina posmaka tiskača na brzinu isticanja profila iz alata.

+ Dr Vinko Volčanšek, dipl.ing., rukovodioc RJ tehnološke pripreme OOURa metalurgije, Fabrika "Djuro Salaj" Niš,
Stan: Branka Krsmanovića 21/9, 18000 Niš.

2. Definisanje faktora ispitivanja

Geometrija alata je odredjena sledećim faktorima: ulazni ugao alata α, ugao radne površine α_A, veličina otvora i visina radne površine H. Na otpore isticanja utiču i temperatura istiskivanja T, brzina tiskača v_o i stepen redukcije Λ.

Pri istiskivanju složenih preseka profila ulazni ugao na alatu je $\alpha = 90^o$ a stepen redukcije za odredjeni profil i presu je isti Λ=const. Radi toga pri ispitivanju faktor α i Λ možemo izostaviti.

Funkcija brzine isticanja imala bi sledeći oblik:

$$v_g = f(T, v_o, H, d, \alpha_A) \quad /1/$$

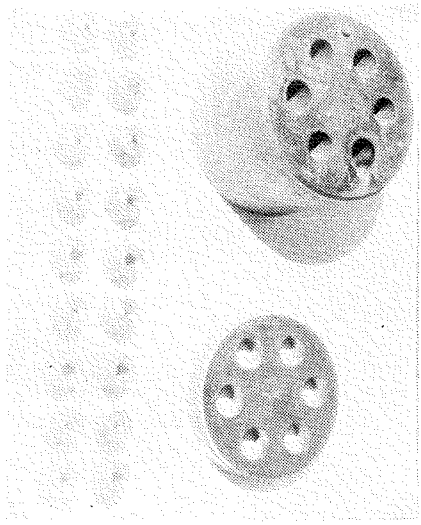
Za faktore iz funkcije /1/ granice variranja izabrane su za realne uslove istiskivanja aluminiskih legura.

3. Metodologija ispitivanja

Za ispitivanje je izabran kružni presek profila. Pošto imamo veći broj faktora, a troškovi ispitivanja u proizvodnim uslovima su visoki, to je izabran model alata sa šest koncentrično rasporedjenih otvora oko ose alata. Na alatu imamo po dve suprotne pozicije istih veličina, tako da sa jednom probom imamo tri puta po dva rezultata. Na slici 1 data je fotografija alata sa kojima su vršene probe.

Izabrana je metoda matematičkog planiranja proba, koja daje pored usvojenog modela alata, najveći broj rezultata pri najmanjem broju proba.

Pošto je brzina tiskača konstantna za jednu probu usvajamo da izlazni parametar bude dužina istisnutih pozicija profila. Sa ovim smo pojednostavili merenje brzine isticanja. U tabeli I data je matrica planiranih proba sa podacima područja i nivoa faktora.



Sl. 1. Alati sa kojima su vršene probe

4. Rezultati ispitivanja

Probe su radjene na hidrauličnoj presi nazivne sile od 8000 kN i otvora recipijenta od Ø 130 mm. Korišćeni su pripremci dimenzija Ø 125 x 600 mm od legure AlMgSi-0,5, zagrevani su u tunelskoj indukcionoj peći. Na slici 2 data je fotografija probnog uzorka i alata.

Svi tehnološki parametri i rezultati proba su vodjeni u protokolu proba. Posle izvršenih proba izračunate su : srednja vrednost rezultata $\bar{y}_i$, disperzija rezultata $\bar{s}_i^2$, regresija $\hat{y}_i$ i kvadrat adekvatnosti modela $(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$. Svi rezultati su dati u tabeli II.

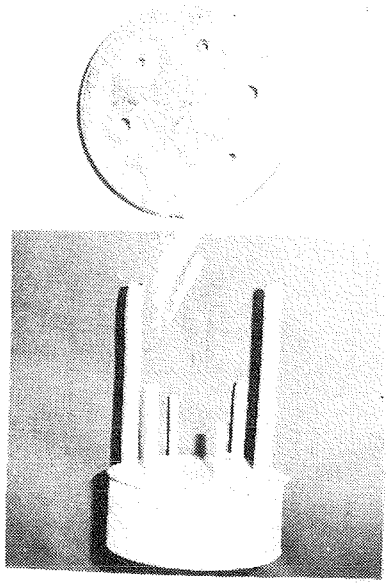
Tabela I. Matrica planiranih proba za faktore geometrije alata

		x_1 = d	x_2=H	$x_3=\alpha_A$	x_4=T	$x_5=v_o$
		[mm]	[mm]	[°]	[°C]	[mm/s]
Interval variranja		3,1	3	7	5o	4
Nivo gornji	+1	13	9	9o	45o	1o
Nivo osnovni	o	9,9	6	83	4oo	6
Nivo donji	-1	6,8	3	76	35o	2

Br.pro.N	Redo.proba	x_o	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_3	x_1x_4
1	4 , 2	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
2	4 , 2	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1
3	2 , 1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1
4	3 , 3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	-1
5	3 , 3	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	+1
6	1 , 4	+1	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1
7	1 , 4	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1
8	2 , 1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	+1
Uslovi:	x_{ji} = o		o	o	o	o	o	o	o
	x_{ji}^2 = N		8	8	8	8	8	8	8
	$x_{ji}\,x_{ni}$ = o		o	o	o	o	o	o	

Tabela II. Rezultati proba faktora geometrije alata

Br.	y_1	y_2	y_3	y_4	$\bar{y}_i$	$\bar{s}_i^2$	$\hat{y}_i$	$(\bar{y}_i-\hat{y}_i)^2$
1	175o	1572	16o4	17o6	1658	7o16	1655	9
2	18oo	178o	1912	2o24	1879	12718	1881	4
3	1634	1734	169o	1762	17o5	3118	17o6	1
4	2217	2138	2285	23oo	2235	5435	2257	484
5	1o74	962	915	841	913	1o6o9	89o	529
6	229o	212o	2o65	2161	2159	9173	2135	576
7	634	786	692	852	741	9793	764	529
8	2o42	193o	1895	1817	1935	1o1o5	1933	4
					$\bar{y}_o$ =1653	$\sum$ 67623		$\sum$2136



Sl. 2. Probni uzorak sa alatom

Pošto imamo veći broj faktora i njihovu medjuzavisnost za matematički model izabrali smo nepotpuni polinom višeg reda.

Na osnovu matematičke provere: disperzije rezultata, signifikantnosti i adekvatnosti modela i prelaskom na prirodne koordinate modela, došli smo do konačnog oblika modela procesa koji glasi:

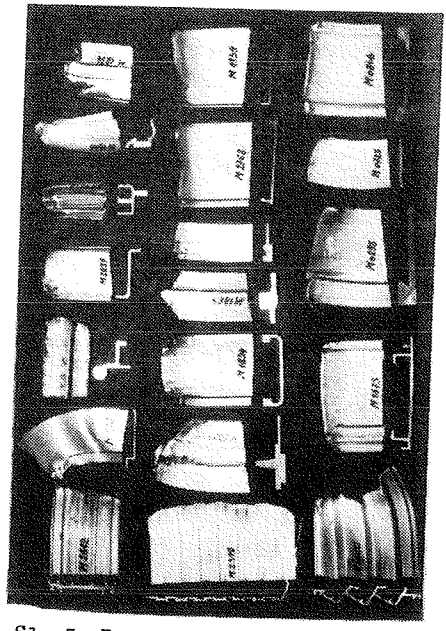
$$v_g = 64o + 129\ d - 95\ H + 6{,}3\ \alpha_A - 32\ v_o \qquad /2/$$

Matematički model /2/ je proveren na srednjem nivou faktora i greška se kreče od 1 do 4,6 %, što je prihvatljivo za ove vrste proba.

5. Provera rezultata za razudjene preseke profila

Rezultati proba i matematički model /2/ su dobiveni na osnovu proba za okrugli presek profila.

Provera primenljivosti obrazca /2/ za razudjene preseke profila je izvršena na većem broju primera i potvrdjena je primenljivost i za razudjene preseke profila. Na slici 3 dati su primeri preseka i početaka proba.



Sl. 3. Probni uzorci početaka i preseka profila

6. Zaključak

Rezultati ispitivanja daju vrednosti o veličini uticaja pojedinih faktora alata na veličinu otpora isticanja.

Rezultati se mogu koristiti pri projektovanju novih alata ili pri korekciji postojećih a za leguru i tehnološke uslove koji su korišćeni pri ispitivanju.

Literatura

[1] L.F.Mondolfo; A test for extrudability Leight Metal, 1979/?, SAD.

[?] V.Volšanšek; Istraživanje uticajnih faktora na otpore isticanja pri presovanju AlMgSi0,5 legure. Disertacija, 1921, MF-Niš.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.G.

Dušanka Vukićević [x]
Predrag Popović

POSTUPAK DISPERZNOG OJAČAVANJA KAO METODA DOBIJANJA MATERIJALA POBOLJŠANIH PLASTIČNIH SVOJSTAVA

R e z i m e

U radu su definisani uslovi koje moraju da ispunjavaju materijali koji se primenjuju u tehnologijama obrade deformisanjem u mašinstvu, a zatim je dat kratak osvrt na metode disperznog ojačavanja materijala i izneti neki rezultati primene ovog metoda na bakru i sistemu Fe--Cr12-Mo4,8 sa dodatkom Al_2O_3.

DAS VERFAHREN DER DISPERSIONSVERSTÄRKUNG ALS METHODE ZUR GEWINNUNG DER WERKSTOFFE MIT DEN VERBESSERTEN PLASTISCHEN EIGENSCHAFTEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit sind die Bedingungen definiert worden, die die in der Technologie der Verformungsbearbeitung im Maschinenbau zu verwendenden Werstoffe erfüllen müssen, und danach ist eine kurze Rücksicht auf die Methode der Dispersionsverdtärkung von Werstoffen gegeben und sind auch einige Ergebnisse der Verwendung dieser Methode am Kupfer im System Fe-Cr12-Mo4,8 mit der Al_2O_3 - Zugabe aufgeführt.

1. Uvod

Polazeći od osnovnih uslova za ostvarenje preoblikovanja materijala jednom od metoda obrade deformisanjem, a koji su:

- da materijal ima odredjena svojstva i
- da se obezbedi unošenje - na odgovarajući način - neophodne količine energije u njega;

i polazeći od toga da se mašinska obrada - u najširem smislu te reči - pa i obrada materijala deformisanjem u mašinstvu, kao jedan njen deo, koristi u proizvodnji:

- alata i
- elemenata mašina i uredjaja;

mogu se postaviti - generalno - dve vrste zahteva za svostva materijala koji se primenjuju u tehnologijama obrade deformisanjem, i to:

---

x Mr Dušanka Vukićević, dipl.ing.met., profesor više škole Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.
Dr Predrag Popović, dipl.ing.maš., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.

- da mu se sa povećanjem stepena deformacije pri obradi povećavaju temperatura rekristalizacije i tvrdoća i
- da njegov zakon promene specifičnog deformacionog otpora u funkciji stepena deformacije:

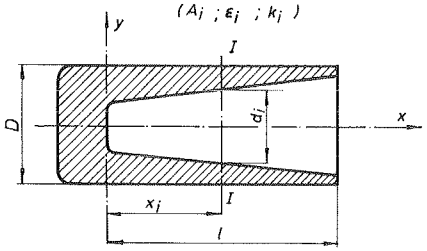
$$k = k(\varepsilon) \qquad (1)$$

gde su: k - specifični deformacioni otpor i
ε - relativni stepen deformacije;

imaju unapred odredjeni oblik.

Ilustracije radi, prvi zahtev bi odgovarao, napr. materijalima od kojih se izradjuju radni delovi alata za obradu deformisanjem u vrućem stanju metodama plastičnog deformisanja.

Drugi, pak, zahtev bi odgovarao materijalima od kojih se izradjuju, napr. elementi oblika prikazanog na slici 1., a u kojih se postavlja uslov da čvrstoća po visini elementa bude identična, tj. da se promena dozvoljenog napona po presecima menja po zakonu:



Slika 1.

$$(\sigma_{doz})_i = \frac{F}{A_i} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (D^2 - d_i^2)} \qquad (2)$$

gde su: $(\sigma_{doz})_i$ - dozvoljeni napon u i-tom preseku;
A_i - površina i-tog poprečnog preseka;
F - istežuća sila;
D - spoljašnji prečnik i
d_i - unutrašnji prečnik u i-tom preseku, a koji je funkcija koordinate x_i;

što znači da bi funkcija (1) odgovarala zakonu promene dozvoljenog napona, definisanog izrazom (2), odnosno:

$$(\sigma_{doz})_i = f_s \cdot k_i \qquad (3)$$

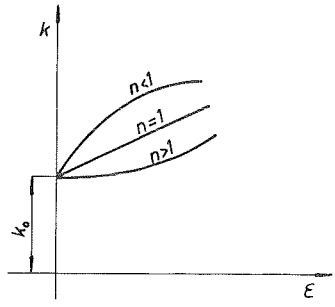
gde je: f_s - koeficijent sigurnosti.

Nadalje, poznato je da je zakon promene (1) za stvarne mašinske materijale /1/ definisan izrazom:

$$k = k_o + C \cdot \varepsilon^n \qquad (4)$$

gde su: k_o - napon na početku tečenja materijala i
C i n - konstante zavisne od vrste i stanja materijala.

Zavisno od vrednosti parametara (C) i (n), ovi zakoni mogu biti:
- eksponencijalni sa padom intenziteta ojačavanja materijala pri porastu stepena deformacije, tj. tipa $n < 1$ i $C > 0$, kako je prikazano na slici 2.;



Slika 2.

- eksponencijalni sa porastom intenziteta ojačavanja materijala pri porastu stepena deformacije, tj. tipa: $n > 1$ i $C > 0$;
- linearni, tj. tipa: $n = 1$ i $C \geq 0$ i
- kombinovani, tj. za $\varepsilon < \varepsilon_A$ po jednom od navedenih zakona, a za $\varepsilon > \varepsilon_A$

po drugom zakonu.

Obzirom da se - uglavnom - unapred zna kakva optimalna svojstva treba da ima materijal od koga će se izrdjivati elementi alata ili elementi mašina i uredjaja metodama deformisanja, to je od izuzetnog značaja osvajanje metoda dobijanja materijala zahtevanih svojstava, pa se u tom smislu, u ovom radu, iznosi metoda disperznog ojačavanja materijala kao interesantna metoda za dobijanja materijala željenih karakteristika, kao i neki rezultati istraživanja u ovom domenu na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu.

2. Disperzno ojačavanje

Proces dobijanja materijala putem mešanja prahova osnovnog materijala sa jedinjenjima teškotopivih metala (oksidi, karbidi, nitriti), pri čemu se dobijaju materijali sa visokim svojstvima - i na sobnoj i na povišenim temperaturama - nazvan je proces disperznog ojačavanja.
Nakon sabijanja i sinterovanja smeše prahova osnovnog i teškotopivih metala, te obrade deformisanjem (najčešće putem istiskivanja kroz profilisan alat za istiskivanje), dobija se homogeni materijal, koji se sastoji iz metalne osnove - matrice - po kojoj su fino disperzovane čestice odgovarajuće faze. Ovakvi materijali, obzirom da je metal osnova, najčešće zadržavaju dobra plastična svojstva, pa ih je moguće obradjivati plastičnim deformisanjem, a zahvaljujući svojstvima odgovarajuće disperzovane faze, zadržavaju stabilnu strukturu na povišenim temperaturama. Naime, ovako dobijeni materijali imaju dobra plastična svojstva sa aspekta obrade deformisanjem, i povišenu temperaturu rekristalizacije, što znači da zadržavju dobra mehanička svojstva i na relativno visokim temperaturama, što je veoma važno za materijale od kojih se izradjuju radni delovi alata za obradu u vrućem stanju.
Teorijsko pitanje disperznog ojačavanja je rasmatrano u dislokacionoj teoriji /2/, na osnovi koje je teorijski izračunata granica tečenja. Naime, polazeći od toga da bi došlo do makro deformacija-a koje odgovaraju granici tečenja materijala-koncentracija naprezanja na smicanje, uslovljeno ravnima nakupina dislokacija oko čestica, moraju dovesti do razaranja disperznih čestica. Razaranje ili plastična deformacija dovodi do smanjenja obratnog naprezanja, a koje dejstvuje na izvor dislokacija, i dovodi do povećanja naprezanja na glavnim dislokacijama nakupina. Kao rezultat toga, dolazi, sa jedne strane, do generisanja novih dislokacija, a sa druge do mogućnosti kretanja postojećih dislokacija po ravnima klizanja, čija su rastojanja znatno veća od rastojanja izmedju čestica. Iz ovog proizlazi da granica tečenja disperzno ojačanog materijala zavisi od naprezanja koje dovodi do razaranja disperznih čestica, pri čemu je:

$$\tau = \frac{G_{\mu}^{*}}{c} \qquad (5)$$

gde su: τ - napon smicanja;
G_{μ}^{*} - modul smicanja materijala čestice i
c - konstanta (c = 30).

Uzimajući to u obzir, dobija se izraz za izračunavanje granice tečenja disperzno ojačanog materijala:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{G_{\mu} \cdot b \cdot G_{\mu}^{*}}{2 \cdot \lambda \cdot c}} \qquad (6)$$

gde su: G_{μ} - modul smicanja materijala matrice;
b - Burgesov vektor i
λ - rastojanje izmedju če-

stica.

Sračunate vrednosti po izrazu (6) neznatno odstupaju od eksperimentalno dobijenih vrednosti, tj. praktično im odgovaraju.

3. Ostvareni rezultati

Postupak povećanja čvrstoće putem disperznog ojačavanja iskorišćen je prviput u legura tipa SAP-a, koje su su dobijene ubacivanjem Al_2O_3 kao ojačavajuće faze u metalnu matricu od čistog Al. Tom prilikom je utvrdjeno: da sa porastom sadržaja disperzne faze (Al_2O_3) raste čvrstoća, a opada plastičnost ovih legura. Eksperimentalna istraživanja na legurama SAP-a, pri čemu je varirao sadržaj Al_2O_3 od 1% do 14%, pokazala su niz karakteristika koje su specifične za ovu vrstu materijala, kao napr.:

- pri valjanju, i u hladnom i u toplom staju, ne povećavaju se karakteristike legure SAP-a;
- legure sa sadržajem Al_2O_3 većim od 7% se ne rekristališu /3/ i
- legure sa sadržajem Al_2O_3 od 7% do 14% pokazuju, još, dobru čvrstoću i na temperaturama koje daleko prevazilaze temperaturu topljenja čistog aluminijuma /4/.

Dobra svojstva, koja su pokazale legure SAP-a, podstakla su u svetu istraživanja sa ciljem ojačavanja drugih materijala od značaja za razvoj savremene tehnike, a naročito za razvoj avionske i raketne industrije.

Tako je Vlasov /5/, ispitujući ojačavanje bakra uključcima teškotopivih metala (Al, Mg, Si, karbida i diborida titana) utvrdio, da pri dodavanju različitih vrsta ojačavajuće faze bakru, smanjuje mu se gustina, a sa porastom do 10% dodatka u obliku oksida ojačavajuće faze, smanjuje mu se veličina zrna. Zbog velikog značaja koji u elektrotehnici ima bakar, veći broj istraživača se bavio ojačavanjem bakra sa ciljem poboljšavanja odredjenih njegovih svojstava u zavisnosti od potreba korišćenja istog. Tako su pri tome ostvareni sledeći rezultati, i to:

- povećane su mu mikrotvrdoća /6/ i čvrstoća ojačavanjem dodatkom Al_2O_3 u procentualnim iznosima od 1% do 5%;
- ostvaren je manji koeficijent linearnog širenja ojačanog u odnosu na čist bakar /7/;
- modul elastičnosti se neznatno uvećao dodavanjem oksida;
- tvrdoća mu je ojačavanjem povećana za 2÷3 puta u odnosu na čist Cu i
- temperatura rekristalizacije može da mu se poveća do 1373 K, iako je ova temperatura u čistog Cu 448 K.

U istraživanjima sprovedenim na Mašinskom fakultetu u Nišu, pri ojačavanju bakra dodacima Al_2O_3 u procentualnim odnosima od 1%÷20%, rasmatran je, pored ostalog, i uticaj dodatka Al_2O_3 na zakon ojačavanja bakra u toku procesa deformisanja. Pri tome je utvrdjeno, na osnovi eksperimentalnih rezultata, da dodatak od 1% do 5% Al_2O_3 bakru dovodi do izmene zakona ojačavanja materijala. Te promene zakona ojačavanja su takvem da je moguće ostvariti zakone tri prva tipa, izneta u poglavlju 1., što omogućuje izbor odredjene i najpovoljnije obrade ovako ojačanog materijala sa unapred odredjenim mehaničkim karakteristikama.

Zbog mogućnosti da se disperznim ojačavanjem - variranjem vrste i procentualnog učešća ojačavajuće faze - poboljšaju karakteristike osnovnog materijala matrice prema potrebama, odnosno nameni, vršena su ispitivanja na većem broju metala (Fe, Ag, Ni, Co, Cr, W, Mo, i dr.), a koji su mogli da se ojačavaju nekom od disperznih faza.

Za razliku od jednokomponentnih metalnih sistema, višekomponentni sistemi su tek u najskorije vreme počeli da se istražuju. To se može i shvatiti ako se uzme u obzir složenost strukture takvih sistema. Prva istraživanja su vezana za ojačavanje čelika na bazi hroma/8, 9/, i pokazala su dobre rezultate.

Zbog velike potrebe za kvalitetnim alatnim materijalima, vršena su istraživanja na legurama sistema Fe-Cr 12-Mo, pri čemu je ojačavana legura Fe-Cr12-Mo4,8 sa 5% Al_2O_3. Na osnovi rezultata sprovedenih eksperimentalnih istraživanja, konstatovalo se da se dodatkom od 5% Al_2O_3 dobija legura povećane čvrstoće i poboljšanih plastičnih svojstava, koja žarenjem na temparaturama od 573 K i 1073 K ne rekristališe.

Dobijene karakteristike pomenute legure ukazuju da je dobijen materijal pogodan za izradu alata za obradu u vrućem stanju (visoka temperatura rekristalizacije), metodama deformisanja, kao što su: utiskivanje, istiskivanje i sl. (dobra plastična svojstva).

4. Zaključak

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Rezultati eksperimentalnih istraživanja sa bakrom i sistemom Fe-Cr12-Mo ukazuju da se mogu dobiti ojačani materijali:
   - dobrih plastičnih svojtava i
   - povišenih temperatura rekristalizacije.
2. Izneta metoda disperznog ojačavanja materijala može se uspešno primeniti i u slučajevima dobijanja materijala pogodnih za primenu tehnologije obrade deformisanjem.

5. Literatura

/1/ P.POPOVIĆ: Prilog razmatranju svojstava materijala primenjivih u obradi deformisanjem, SIMOD, god. V, br. 1, Niš, 1982.

/2/ ANSELL G.S.,LENEL P.V.: Creteria for yielding of dispersion-strengthened alloys.-Acta met, 1960, 8, N9, p 612-616.

/3/ HANSEN N.,ELVIND A.: Riso, Rept, 1961, 25.

/4/ MOYERS C.L., SHYNE J., SHERBY O. D.: J. Austral Inst. Metals, 1963,8.

/5/ I.P.KUŠTALOVA: Rekristalizacija i disperznoe upročnenie metalov i splavov, "Naukova dumka", Kiev, 1969.

/6/ D.VUKIĆEVIĆ: Disperzno ojačanje bakra, Magistarska teza, Elektronski fakultet, Niš, 1977.

/7/ JACKON K.: Brit.pat. 917005.

/8/ MORI T., MURA T.: Slip morphology in dispersion hardened materials, Mater. Sci and Eng, 1976, 26, N°1.

/9/ RAMASWAMY V., SWAMU P.R., WEST D.F.: Mater. Sci.and Eng., 1977, 24, N°3.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Milentije Stefanović*

NEKI ASPEKTI UTICAJA KONTAKTNOG TRENJA PRI IZVLAČENJU TANKIH LIMOVA

R e z i m e

Izvlačenje složenih delova od lima, najčešće u uslovima kompleksnih naponsko-deformacionih shema, zahteva i posebne postupke izučavanja uticaja kontaktnog trenja.U radu se izlažu osnovne zakonitosti trenja i daju rezultati eksperimentalnih i proizvodnih ispitivanja, pri čemu su pokazatelji ispitivanih uticaja homogenost deformisanja, sile deformisanja i sile trenja, granični odnosi pri izvlačenju i sl.

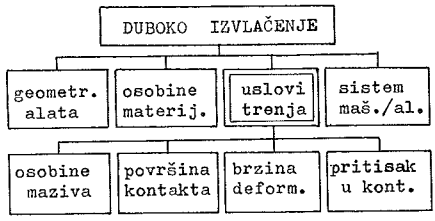
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА ГЛУБОКУЮ ВЫТЯЖКУ ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Р е з ю м е

В случае глубокой вытяжки листовых металлов в условиях сложных напряженно-деформированных схемах, нужны и специальные методы изучения влияния контактного трения. В докладе рассматривается основный закон трения и экспериментальные результати; параметри изученого влияния были: гомогеность деформирования, сили деформирования и трения, предельные отношения при вытяжке и т.п.

1. Uvod

Obrada limova dubokim izvlačenjem spada, svakako, u složenije postupke prerade metala plastičnim deformisanjem. Izučavanje izvlačenja, posebno kada se radi o delovima nepravilne geometrije, koji se oblikuju u uslovima nemonotonog deformisanja pri kompleksnim naponsko-deformacionim shemama, zahteva upoznavanje i razjašnjenje uticaja svih relevantnih činilaca procesa obrade, prema sl.1. U radu se detaljnije govori o uticaju spoljašnjeg trenja na karakteristične parametre procesa izvlačenja.



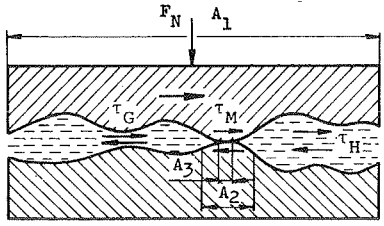
Sl.1. Faktori koji utiču na duboko izvlačenje

2. Osnovni model trenja

Izučavanje mehanizma kontaktnog trenja pri plastičnom deformisanju otežano je, pre svega, zbog deformisanja osnovne mase metala radnog komada, koji je redovno manje trvrdoće od alata. Ne ulazeći detaljnije u različite teorije trenja, na osnovu dosadašnjih saznanja u ovoj oblasti, može se konstatovati da pri izvlačenju limova mogu postojati različiti režimi trenja u istoj makro-oblasti kontaktne površine /1/- tzv. mešovito trenje, sl.2. Ukupna sila trenja jednaka je zbiru sila neophodnih za smicanje

* Milentije Stefanović, mr, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu, S.Janjić 6.

u zoni čistog dodira metala po metalu (τ_M), u graničnom sloju maziva (monomolekularni sloj, τ_G) i u zoni hidrodinamičkog sloja (polimolekularni sloj, τ_H).



Sl.2. Opšti model trenja

Uvodeći oznake: $\alpha = A_3/A_2$ i $\beta = A_2/A_1$, gde je:

A_1 - nominalna površina kontakta,

A_2 - stvarna površina koja nosi opterećenje,

A_3 - površina kontakta metal/metal,

i poštujući oznake prema sl.2. može se napisati:

$$\tau = \beta\{\alpha\tau_M + (1-\alpha)\tau_G + [(1/\beta)-1]\tau_H\}$$

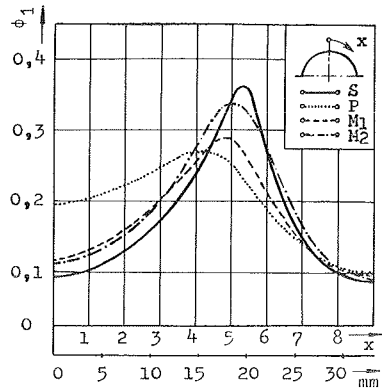
Pri porastu normalnog pritiska dolazi do povećanja koeficijenta β, pri čemu je njegova granična vrednost vezana za pojavu potpunog izravnjanja neravnina u kontaktu i klizanje podsloja. Pri izvlačenju limova je $\beta \ll 1$ (u uslovima prosečnih vrednosti normalnog pritiska), pa se može koristiti poznati Coulomb-ov zakon proprcionalnosti sile trenja i normalne sile.

3. Eksperimentalna ispitivanja

Tipična shema složenog oblikovanja, koja sadrži elementarni pregled naponsko-deformacionih odnosa pri izvlačenju delova nepravilne geometrije, data je u radu /2/. Za modele, poznate iz oblasti izučavanja obradivosti materijala za duboko izvlačenje, kao što su: čisto duboko izvlačenje, razvlačenje, provlačenje traka izmedju ravnih i složenih površina držača, u ovom radu su istraživani karakteristični pokazatelji uticaja trenja. Sintezom ovako dobijenih rezultata može se doći do saznanja o značaju uticaja trenja pri složenom izvlačenju.

U svim eksperimentima je korišćen grafometrijski postupak odredjivanja deformacija na izvučenim komadima /3/. Ispitivani materijal je čelični lim Č.0148, debljine 0,8 mm, namenjen za izradu karoserijskih otpresaka putničkih automobila. Eksperimenti su izvodjeni u Laboratoriji za obradu metala deformisanjem Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Karakterističan prikaz uticaja kontaktnog trenja pri dvostranom zatezanju-razvlačenju, dat je na sl.3. Komadi su izvlačeni do iste dubine, uz korišćenje različitih maziva (M_1,M_2), folije polietilena (P) i pri suvim kontaktnim površinama (S).



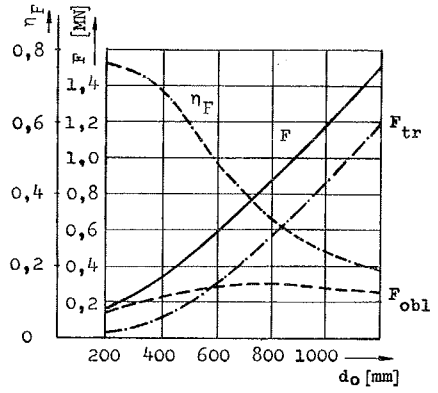
Sl.3. Distribucija deformacija pri korišćenju različitih maziva

Boljem podmazivanju odgovara homogenije deformisanje i ostvarivanje nižih stepena deformacije. Za kvantitativno ocenjivanje distribucije deformacija, uveden je pojam koeficijenta ravnomernosti raspodele /4/, koji se uspešno može koristiti kod selekcije maziva za duboko izvlačenje.

Manjem trenju pri razvlačenju odgovara veći stepen deformacije pri razaranju, što je u tesnoj vezi sa izučavanjem uticaja trenja na graničnu deformabilnost /5/.

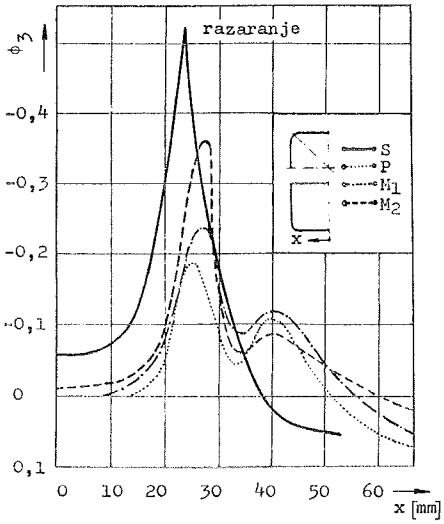
Model čistog dubokog izvlačenja je zbog svoje složenosti, veoma često korišćen pri analizi trenja, pri čemu su najčešći pokazatelji sila i granični stepen izvlačenja. Pri izvlačenju delova relativno velikih dimenzija, zbog uvećane

površine i povećanog specifičnog pritiska držača na obodu, dobijaju se odnosi koji se značajno razlikuju od onih pri izvlačenju modela /6/,/7/. Deo sile koji se troši na savladavanje sile trenja (F_{tr}) postaje znatno veći od sile neophodne za čisto oblikovanje (F_{obl}). Istovremeno, opada koeficijent efikasnosti procesa izvlačenja η_F (odnos sile neophodne za sabijanje na obodu i ukupne sile izvlačenja - F), sl.4.



Sl.4. Komponente sile izvlačenja

Uticaj trenja na ravnomernost deformisanja se, kao i u slučaju razvlačenja, može sagledati iz prikaza distribucije

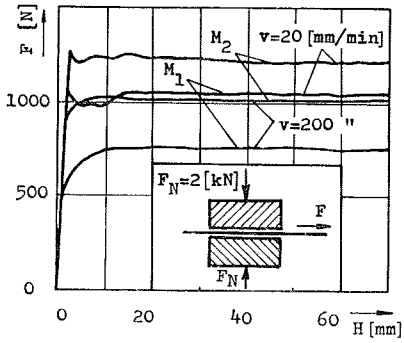


Sl.5. Promena deformacije po debljini lima pri korišćenju različitih maziva

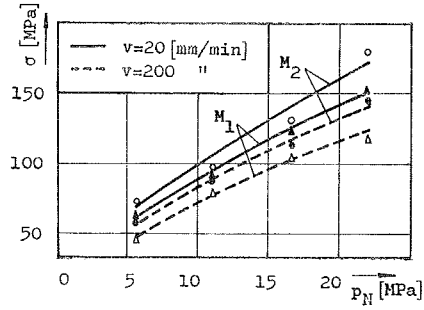
glavne deformacije (u ovom slučaju u pravcu debljine lima) komada kvadratnog preseka, dimenzija 40x40 mm, izvučenog uz korišćenje različitih maziva, sl.5.

Relativno jednostavnija ispitivanja, kojima se simuliraju odredjena stanja na obodu komada koji se izvlači, su provlačenja traka izmedju ravnih ili profilisanih držača. Ovakva ispitivanja se uspešno mogu koristiti kod brze selekcije maziva, ispitivanja trenja i habanja i sl.

Na sl.6. data je zavisnost sile provlačenja (koja je jednaka dvostrukoj sili trenja) od hoda trake, pri provlačenju izmedju ravnih površina držača, a na sl.7. zavisnost normalnog napona u epruveti od pritiska držača za dve vrste maziva i dve brzine deformisanja. Širina trake iznosi 20 mm.



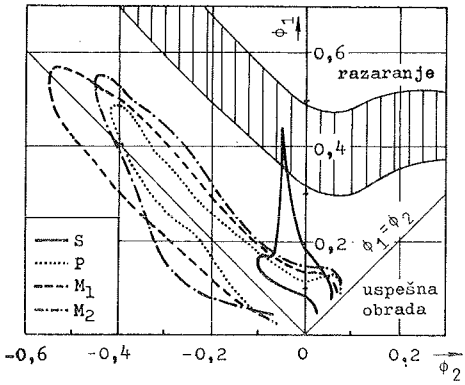
Sl.6. Zavisnost sile provlačenja od maziva i brzine



Sl.7. Uticaj maziva i normalnog pritiska na napon u epruveti

Na kraju se navodi, kao ilustracija izuzetnog značaja trenja pri proizvodnom oblikovanju, primer izvlačenja karoserijskog otpreska nalivnog grla vozila "Z101".

Detalji, vezani za izvlačenje ovog komada, izloženi su u radu /8/. Otpresak je kutijastog oblika, pri čemu je kritična zona locirana u području sabijanja (ugao komada). Raspored deformacija za različite uslove na obodu pri izvlačenju u dijagramu granične deformabilnosti (DGD), dat je na sl.8.



Sl.8. Raspored deformacija u DGD

Pri izvlačenju bez podmazivanja (puna linija na sl.8.) redovno je dolazilo do razaranja, koje je posledica ometanog uvlačenja oboda komada u otvor matrice. Kvalitetnim podmazivanjem, odnosno smanjenjem trenja, omogućava se izvlačenje pri znatnoj sili držača, koja je neophodna zbog eliminisanja nabora na obodu. Pri korišćenju maziva M_2 ostvarene deformacije su bliže kritičnim vrednostima u DGD, čime su potvrdjeni laboratorijski rezultati simulativnih ispitivanja.

3. Zaključak

Trenje igra veoma važnu ulogu pri izvlačenju, pri čemu u nekim slučajevima nadmašuje uticaj parametra materijala i alata. Najpotpunija ocena uticaja trenja može se doneti na osnovu stepena homogenosti deformacionog polja izvučenog komada.

Značaj trenja postaje dominantan kod otpresaka većih dimenzija. Pri tome, stabilnost sistema mašina-alat igra važnu ulogu.

Sve nabrojane metode ispitivanja mogu efikasno poslužiti za selekciju maziva. Načelno posmatrano, u dobijenim rezultatima ne mora postojati potpuna saglasnost, zbog razlika u realizovanim naponsko-deformacionim shemama.

4. Literatura

/1/ N.Kasik, J.Reissner, Reibungsverhältnisse im Flansch beim Tiefziehen rotationssymmetrisher Teile, Blech,Rohre, Profile, 27,1980/5, 303-308.

/2/ B.Devedžić, M.Stefanović, On the Influence of the Lubrication in Sheet Metal Forming on the Variation in the "Plasticity Reserve", Proc. 21st Int. Mach. Tool Des. and Res. Conf., Swansea, 1980,p.397-403.

/3/ A.D.Tomljenov, Teorija plastičeskogo deformirovanija, Metalurgija, Moskva, 1972.

/4/ B.Devedžić, Strain Distributions Caused by Different Lubricants in Sheet Metal Forming and their Evaluation, 3 rd Intern. Colloq. Lubric. in Metal Working, Esslingen 1982, 21.1-21.9.

/5/ M.Stefanović, Geometrija alata i kontaktno trenje kao uticajni parametri na graničnu deformabilnost tankih limova pri razvlačenju, BIAM'82, Zagreb, 1982 (u štampi).

/6/ E.Doege, Wichtige Einflussgrossen beim Tiefziehen, WT.Z. ind.Fertig. 66(1976), 615-619.

/7/ B.Devedžić, M.Stefanović, Sila i stepen izvlačenja kao parametri uticaja trenja pri dubokom izvlačenju, Obrada metala deformisanjem, Novi Sad, 1981, 4-17.

/8/ B.Devedžić, M.Stefanović, Primer teorijsko-eksperimentalne analize deformacionog stanja i stepena tehnološke kritičnosti dela koji se izvlači, XIII Savetovanje proizvodnog maš., Banja Luka, 1979, I-1 do I-13.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Dragan Nikolić, Vojislav Stoiljković*

ODREDJIVANJE PRITISKA I AKSIJALNE SILE SABIJANJA CEVI PRI GRUPNOM OBLIKOVANJU KOMPENZACIONIH CEVI

R e z i m e

Pri izradi kompenzacionih cevi pomoću nestišljivog fluida grupnom metodom potrebno je ostvariti odredjeni pritisak fluida u cevi. Ako pored unutrašnjeg pritiska na cev deluje i aksijalna sila sabijanja, dobija se povoljnija šema glavnih napona i omogućuje postizanje većeg stepena deformacije. U ovom radu dat je postupak i krajnji izrazi za odredjivanje unutrašnjeg pritiska i aksijalne sile sabijanja cevi, što predstavlja osnovu za proračun delova alata, kao i za izbor prese.

BESTIMMUNG DES DRUCKS UND DIE AXIALKRAFT DER ROHRPRESSUNG BEI DER GRUPPENFORMUNG DER KOMPENSATIONSROHREN

R e s ü m e e

Bei Kompensationsrohrensführung mit Hilfe des unbesonftigen Fluidums der Gruppenmethode ist benötigt einen Bestimmten Druck des Fluidums in Rohr zu erreichen. Als neben Innendruck auf die Rohr eine Axialkraft der Pressung wirkt, bekommt man ein günstiges Hauptspannungsschema und das ermöglicht die Erhaltung einer hoheren Deformationsstufe. In dieser Arbeit sind das Verfahren und endliche Vorschrifte für Bestimmung des Innendrucks und Axialkraft der Rohrpressung gegeben, und das vorstellt den Grund für den Werkzeugsteilüberschlag und fur die Pressewahl.

1. Uvod

Najvažniji zadatak u analizi procesa oblikovanja kompenzacionih cevi grupnom metodom pomoću nestišljivog fluida u alatu sa sekcionim kalupom predstavlja pravilno odredjivanje potrebnog pritiska fluida u cevi i aksijalne sile sabijanja cevi,što je predmet rasmatranja u ovom radu. Na bazi dobijenih vrednosti pritiska fluida u cevi proračunavaju se najvažniji konstruktivni delovi alata i vrši se izbor materijala za pojedine delove alata. Aksijalna sila sabijanja predstavlja osnovu za izbor prese na kojoj se oblikovanje možc vršiti.

*Mr Dragan Nikolić, profesor MOC "V.Vlahović" -Niš, V.Putnika 50/6, Niš.
Dr Vojislav Stoiljković, doc.Maš.fak. u Nišu, Niš, Beogradska 14.

Da bi se mogao odrediti potreban pritisak i aksijalna sila sabijanja cevi, potrebno je prvo odrediti glavne normalne napone: u meridijanskom pravcu σ_φ, u tangencijalnom pravcu σ_θ, u normalnom pravcu σ_n.

Analiza naponskog stanja data je u radu /1/. Kada su poznati izrazi za glavne normalne napone, potreban pritisak se odredjuje iz LAPLACE-ove jednačine po bezmomentnoj teoriji, s obzirom da se radi o malim debljinama zida. Aksijalna sila sabijanja se posle toga može odrediti u zavisnosti od pritiska i geometrijskih parametara cevi.

2. Odredjivanje potrebnog pritiska

Na sl.1 data je šema grupnog oblikovanja rebara kompenzacionih cevi u sekcionom kalupu pomoću nestišljivog fluida.

k - specifični deformacioni otpor,

A - čeona površina cevi.

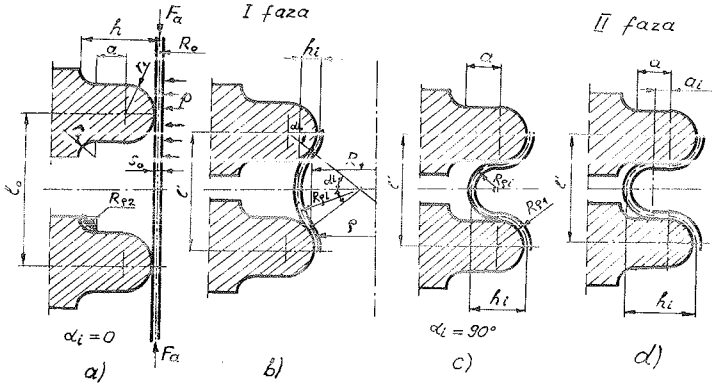
Potreban pritisak fluida u cevi može se odrediti iz LAPLACE-ove jednačine:

$$\frac{\sigma_\varphi}{R_\varphi} + \frac{\sigma_\theta}{R_\theta} = \frac{p}{s} \qquad (2)$$

Ako se unesu izrazi (1) u jednačinu (2), dobija se opšti izraz za odredjivanje potrebnog pritiska:

$$p = \frac{s\beta k\left(\frac{1-R_0/\rho}{R_\varphi} + \frac{1}{R_\theta}\right) - \frac{s}{R_\varphi}\frac{R_0}{\rho}\frac{F_a}{A}}{1 + \frac{s}{R_\varphi}\left(1+\frac{R_0}{\rho}\right) + \frac{s}{R_\theta}} \qquad (3)$$

Opšti izraz (3) pokazuje da je potreban pritisak veći ukoliko je debljina zida veća, a prečnik cevi manji. Povećanjem aksijalne sile potreban pritisak se smanjuje. Pri porastu koordinate ρ, tj. visine rebara, raste i potreban pritisak.



Sl. 1

Glavni normalni naponi odredjeni su sledećim izrazima /1/:

$$\sigma_\rho = (\beta k - p)\left(1 - \frac{R_0}{\rho}\right) - \frac{R_0}{\rho}\frac{F_a}{A}\,,$$
$$\sigma_\theta = \beta k - p, \quad \sigma_n = -p\,, \qquad (1)$$

pri čemu su upotrebljene sledeće oznake: p - pritisak fluida u cevi, F_a - aksijalna sila sabijanja u cevi,

Na osnovi iznetog sledi da je pritisak u cevi promenljiva veličina i da se menja tokom procesa oblikovanja. Medjutim, mnogo je jednostavnije da se oblikovanje vrši sa konstantnim pritiskom. U tom slučaju promenljiva je aksijalna sila sabijanja. Vrednost potrebnog pritiska odredjuje se iz uslova da je pritisak isti u sva-

kom trenutku procesa oblikovanja, pa i na početku. Ako se početni uslovi: $\rho = R_0$, $R_\rho = \infty$, $R_\varepsilon = \rho/\cos 0^\circ = R_0$, $k = k_0$, zamene u izraz (3), dobija se uprošćeni izraz za odredjivanje potrebnog pritiska:

$$p = \frac{s/\beta\, k_0}{R_0 + s} \qquad (4)$$

koji pokazuje da pritisak zavisi samo od prečnika i debljine zida cevi, kao i vrste materijala. Pritisak je u toliko veći, ukoliko je debljina zida veća, a prečnik manji.

Pritisak odredjen izrazom (4) dovoljan je za oblikovanje samo ako se zanemari očvršćavanje materijala cevi. Medjutim, s obzirom da se radi o obradi na hladno, očvršćavanje dolazi do izražaja i treba izvršiti korekciju u izrazu (4) tako što se k_0 zamenjuje stvarnim specifičnim deformacionim otporom. Konačni oblik izraza za odredjivanje pritiska glasi:

$$p = \frac{s/\beta\, k}{R_0 + s} \qquad (5)$$

3. Odredjivanje aksijalne sile sabijanja cevi

Pri grupnom oblikovanju u alatu sa pokretnim segmentima kalupa aksijalna sila se javlja kao jedina neupravljana veličina. Ona dobija vrednosti u zavisnosti od drugih, upravljanih veličina, kao što su pritisak fluida u cevi, hod alata, stepen deformacije i dr. Medjutim, zavisnost aksijalne sile od raznih uticajnih faktora može se odrediti u analitičkom obliku.

U opštem slučaju aksijalna sila sabijanja cevi može se predstaviti kao zbir sledećih komponenti:

F_{a1} - sila potrebna za savladjivanje otpora plastičnoj deformaciji;

F_{a2} - sila potrebna za savladjivanje otpora trenja koje se javlja između cevi i kalupa;

F_{a3} - sila potrebna za savladjivanje pritiska fluida koji deluje na čeonu površinu tiskača.

Komponenta F_{a2} jednaka je nuli, jer nema pomeranja cevi u odnosu na kalup.

Komponenta F_{a1} može se odrediti kao integral napona u meridijanskom pravcu po čeonoj površini cevi koja prima aksijalnu silu:

$$F_{a1} = \int_{d_u/2}^{d/2} \sigma_\rho \cdot 2\pi\, d\rho \qquad (7)$$

Iz uslova ravanskog deformacionog stanja, pri kome je:

$$\sigma_\rho = \frac{\sigma_\theta + \sigma_n}{2}$$

zamenom vrednosti za σ_θ i σ_n koje su odredjene u radu /1/, dobija se napon σ_ρ u obliku:

$$\sigma_\rho = \frac{\beta k}{2} - p \,. \qquad (8)$$

Rešavanjem integrala (7), pri čemu je σ_ρ dato izrazom (8), dobija se F_{a1} u obliku:

$$F_{a1} = A \left(\frac{\beta k}{2} - p\right) . \qquad (9)$$

Izraz (9) pokazuje da je aksijalna sila veća za cevi većeg prečnika i debljine zida. Sa porastom pritiska fluida u cevi, aksijalna sila se smanjuje. Ako se radi sa konstantnim pritiskom, aksijalna sila raste u toku procesa usled efekta očvršćavanja i porasta specifičnog deformacionog otpora k.

Komponenta F_{a3} odredjuje se prema izrazu:

$$F_{a3} = p \cdot A \,. \qquad (10)$$

Ova komponenta aksijalne sile raste srazmerno povećanju unutrašnjeg prečnika cevi i pritiska u cevi.

Ukupna aksijalna sila iznosi:

$$F_a = F_{a1} + F_{a3} \,. \qquad (11)$$

Pri konstantnom pritisku aksijalna sila sabijanja monotono raste tokom procesa oblikovanja usled očvršćavanja, tj. porasta vrednosti k.

4. Zaključak

Na osnovi izvedene analize može se zaključiti sledeće:

- potreban pritisak pri grupnom oblikovanju kompenzatora srazmeran je debljini zida cevi, a obrnuto srazmeran prečniku cevi;
- aksijalna sila sabijanja ima dve komponente, od kojih je jedna srazmerna pritisku u cevi, a druga obrnuto srazmerna;
- aksijalna sila je srazmerna prečniku i debljini zida cevi;
- potreban pritisak se odredjuje prema maksimalnoj deformaciji,tj. najvećoj visini rebra kompenzatora;
- vrednost aksijalne sile u procesu oblikovanja monotono raste bez obzira na vrednost pritiska;
- za pravilno odredjivanje pritiska i aksijalne sile potrebno je raspolagati snimljenim krivama očvršćavanja za dati materijal cevi.

5. Literatura

/1/ V.STOILJKOVIĆ, D.NIKOLIĆ, Naponsko i deformaciono stanje pri grupnom oblikovanju kompenzacionih cevi, Mašinski fakultet Niš, 1980.

/2/ B. MUSAFIJA, Primenjena teorija plastičnosti, I deo, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 1973.

/3/ K.N. BOGOJAVLENSKII, E.I.SERJAKOV, A.N. KOBIŠEV, N.F.VORONINA, Izgotovlenie složnih polih detalei, Mašinostroenie, Leningrad, 1979.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. g.

Mr Vukota Boljanović, dipl.maš.inž.*

Prof. dr Predrag V. Popović, dipl.maš.inž.**

UTICAJ UGLA SAVIJANJA NA VELIČINU UGLA OTVARANJA PREDMETA OBRADE

R e z i m e

Ovaj rad ima za cilj upoznavanje sa metodom odredjivanja ugla otvaranja pri izradi vezduhoplovnih elemenata metodom savijanja, kada su poznati parametri ugla (γ) i unutrašnji radijus savijanja (R)

INFLUENCE OF BENDING ANGLE TO SIZE OF MACHINING WORK OPENING

S u m a r y

The purpose of this action is to become familiar with method for specifying angle of opening in process of aircraft production applying method of bending when angle parameters (γ) and inner bending radius (R)

1. U V O D

Poznato je da pri izradi elemenata metodom savijanja u hladnom stanju, zbog stvaranja pri tome elastično-plastičnog naponskog stanja u materijalu, dolazi do delimičnog otvaranja predmeta obrade po prestanku dejstva spoljašnjih opterećenja izazvanih dejstvom alata na obradak u procesu njegovog preoblikovanja, što je prikazano na slici 1.

Zbog toga, pri izradi elemenata savijanja u hladnom stanju, alat mora da ima manji ugao, tj.:

$$\alpha_a = \alpha_p - \beta \qquad (1)$$

gde su: α_a - ugao alata

α_p - ugao izratka i

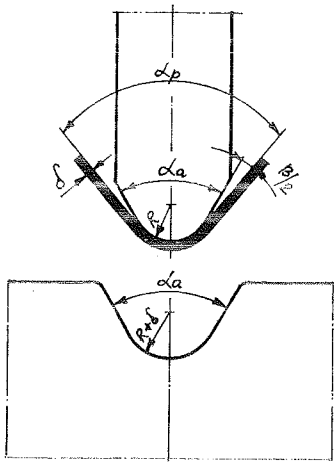
β - ugao otvaranja,

kako bi se konpenziralo elastično ispravljanje materijala.

---

* Vazduhoplovna industrija SOKO - Mostar

** Mašinski fakultet - Niš



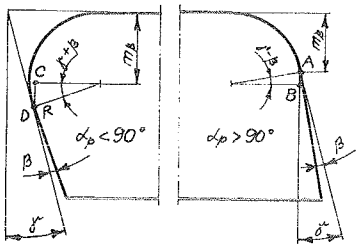
Slika 1

Iznalaženje ugla otvaranja (β) na elementima izradjenim savijanjem od AL-legura je bio predmet istra - živanja i ispitivanja, čiji se re - zultati prezentiraju u ovom radu.

2. UGAO OTVARANJA

Sva dosadašnja istraživanja ukazuju da na ugao otvaranja (β) najvećeg uticaja ima vrsta materijala i njegovo stanje, zatim radijus savijanja (R) i veličina ugla savi - janja (α_p).

Zbog toga je izradjen alat, prikazan na slici 2., koji je služio u eksperimentalnim ispitivanjima.



Slika 2

Kako pri izradi alata za savijanje predstavlja poteškoću odredjivanje linije koja predstavlja početak ugla otvaranja, tj. odredjivanje veličine (m_β), prikazane na Sl.2.,to je ovom problemu posvećena posebna pažnja.

Istraživanjima je ustanovljeno da se za izračunavanje veličine (m_β) može koristiti izraz:

$$m_\beta = C.R. \qquad (2)$$

gde su: R - unutrašnji radijus savijanja predmeta i obrade;
C - koeficijent ispravljanja.

Na osnovu experimentalnih istraživanja, ustanovljeno je da koeficijent ispravljanja (C) zavisi od: vrste materijala i od ugla savijanja, te da se može izraziti za AL-legure i za tup ugao, odnosno za:

$$\alpha_p = 90^\circ + \gamma^\circ \text{ sa:}$$

$$C = A + B.\gamma^\circ \qquad (3)$$

odnosno za oštar ugao:

$$\alpha_p = 90^\circ - \gamma^\circ \text{ sa:}$$

$$C = A - B.\gamma^\circ \qquad (4)$$

gde su (A) i (B) parametri čije vrednosti u ovom slučaju iznose:

A = 1,03 i B = 0,0166, pa izraz (2) poprima, posle unošenja vrednosti za (C) u njega, sledeći oblik:

$$m_\beta = R.(1{,}03 \pm 0{,}0166.\gamma^\circ) \qquad (5)$$

zavisnost $C = C(\gamma^\circ)$ data je grafički na slici 3.

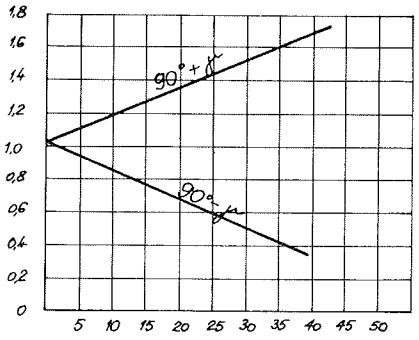
Konačno, na osnovu Sl. 2, dobija se za: $\alpha_p > 90^\circ$, da je:

$$m_\beta = R - AB = R - R.\sin(\gamma^\circ - \beta) \qquad (6)$$

a rešavanjem ove jednačine:

$$\beta = \gamma^\circ - \text{arc sin}\left(1 - \frac{m_\beta}{R}\right) \qquad (7)$$

odnosno za: $\alpha_p < 90^\circ$, je:



Slika 3

$$m_{\beta} = R+CD = R+R.\sin(\gamma+\beta) \qquad (8)$$

te rešavanjem jednačine (7), dobija se:

$$\beta = \arcsin\left(\frac{m}{R}-1\right) - \gamma \qquad (9)$$

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Iznetim postupkom, za elemente koji se izradjuju savijanjem od AL-legura, obezbedjeno je veoma jednostavno i pouzdano odredjivanje ugla otvaranja (β) kori - šćenjem poznatim parametara: ugla (γ) i unutrašnjeg poluprečnika savijanja elemenata (R).

2. Izneti metod bi se mogao generalisati, ako bi se parametri (A) i (B) izrazili u funkciji nekog parametra ili nekih parametara koji definišu mehanička svojstva materijala, što smatramo da ne bi bilo teško ostvariti nakon eksperimentalnih ispitivanja sa različitim materijalima.

4. LITERATURA:

1. C.C.Lenkov, S.T. Orla
-Šabloni i obemnaja osnastka u samoletostroenii, Moskva 1963.

2. V. Boljanović
-Istraživanje uticajnih faktora i njihovih korelacionih veza u procesu izrade vazduhoplovnih elemenata od AL-legura, metodom savi - janja u zavisnosti od primijenjenih sredstava rada, magistarski rad, Univerzitet Džemal Bijedić u Mostaru.

3. -LN standardi.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.G.

K. Kuzman, B. Čergič*

ANALIZA SOODVISNOSTI PREOBLIKOVALNIH IN MEHANSKIH LASTNOSTI JEKEL ZA HLADNO MASIVNO PREOBLIKOVANJE

R e z i m e

Pri raziskavah preoblikovalnih lastnosti domačih jekel za hladno masivno preoblikovanje, ki jih že dalj časa opravljamo za proizvajalce in potrošnike teh materialov, smo določili že veliko krivulj plastičnosti, istočasno pa smo ugotavljali tudi njihove mehanske lastnosti. Med podatki smo opazili zelo dobro soodvisnost, zato obstaja možnost, da s pomočjo standardnih mehanskih preizkusov dokaj zanesljivo ocenimo krivuljo plastičnosti. Pri delu smo nadalje ugotovili, da se krivulje plastičnosti domačih materialov ujemajo s tujimi, če imajo podobno kemično sestavo in toplotno obdelavo.

UNTERSUCHUNGEN DER GEGENSEITIGEN ABHÄNGIGKEIT DER UMFORMBARKEIT UND DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON STÄHLEN FÜR DIE KALTMASSIVUMFORMUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Bei den Untersuchungen der Umformeigenschaften einheimischer Stähle für die Kaltmassivumformung, die wir bereits längere Zeit für die Hersteller und Verbraucher dieser Werkstoffe durchführen, wurden bisher zahlreiche Fliesskurven sowie Kennwerte ihrer mechanischen Eigenschaften ermittelt. Die Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang. Es besteht also die Möglichkeit, an Hand von gebräuchlichen Prüfverfahren die Fliesskurve ziemlich sicher aus den mechanischen Eigenschaften abzuschätzen. Dabei wurde festgestellt, dass die Fliesskurven einheimischer und ausländischer Werkstoffe übereinstimmen, insofern sie ähnliche Werkstoffzusammensetzung und thermische Behandlung aufweisen.

1. UVOD

Za dimenzioniranje procesov hladnega preoblikovanja (račun obremenitev orodij, izbira stiskalnice, ocenjevanje dopustnih deformacij) je osnovni podatek krivulja plastičnosti, ki predstavlja funkcijsko odvisnost primerjalne napetosti tečenja (k_f) od ekvivalentne trajne (logaritmične) deformacije φ_e:

$$k_f = k_f\ (\varphi_e) \qquad (1)$$

Splošno znano je, pa tudi pri našem delu /1/, /8/, /9/, smo potrdili, da lahko za jekla to odvisnost podamo v obliki potenčne funkcije

$$k_f = C \cdot \varphi_e^{\,n},\ /N/mm^2/ \qquad (2)$$

kjer predstavljata konstanta C /N/mm^2/ in eksponent n posebni karakteristiki preoblikovanega materiala.

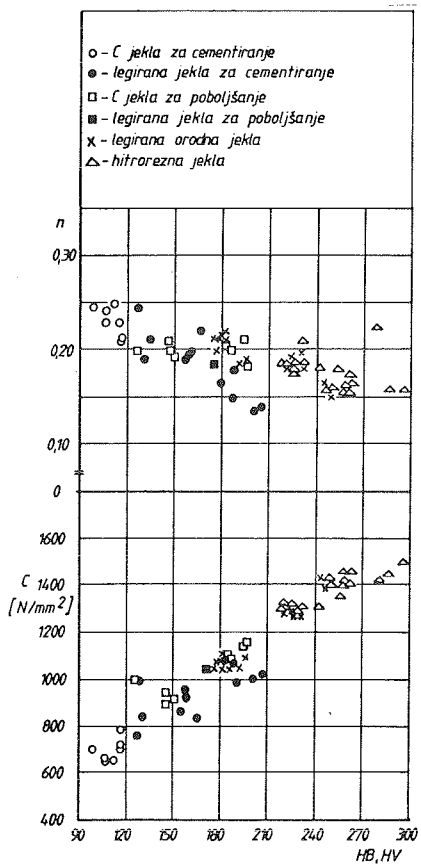
---

* mag. Karl Kuzman, dipl.ing., višji predavatelj, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

Branislav Čergič, ing.str., tehnični sodelavec, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

Krivulje plastičnosti smo pri naših raziskavah določali s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa /11/. Kot mazalno sredstvo smo pretežno uporabljali teflonske folije, ali pa smo nakrčevali fosfatirane in namiljene obdelovance, za katera je znano /12/, da imajo zelo nizke koeficiente trenja, kar je pogoj za doseganje homogenega deformacijskega in napetostnega stanja.

Vsi preizkušanci, za katere smo določali krivulje plastičnosti, so bili v mehko žarjenem stanju. V tem stanju smo jim izmerili tudi trdoto ter opravili natezni preizkus ter tako dobili osnovne mehanske lastnosti (σ_M, σ_T, δ_5, ψ). Prav tako je bila zanje znana kemična sestava.



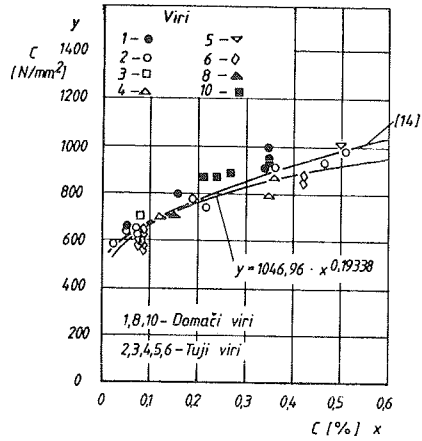
Slika 1: Konstante krivulje plastičnosti v odvisnosti od trdote za različna jekla. (Podatki za orodna jekla so bili dobljeni pri raziskavi hladnega vtiskovanja /13/).

2. EKSPONENT UTRJEVANJA

Iz slike 1 je vidno, da eksponenti utrjevanja ležijo v intervalu od 0,1 do 0,3; ter da padajo z naraščajočo trdoto oz. trdnostjo. Ako jekla razvrstimo v skupine z ozirom na njihov namen, ugotovimo (tabela 1), da eksponent utrjevanja za skupino lahko smatramo kot konstanten.

Nadalje je poznano, da je eksponent utrjevanja n enak logaritmični deformaciji, ko pri enoosnem nateznem preizkusu napetost doseže maksimalno vrednost. Zato bi lahko sklepali da obstaja soodvisnost med eksponentom utrjevanja in razteznostjo δ oziroma kontrakcijo ψ. Prav tako je znano, da pri nateznem preizkusu dosežemo večje deformacije (in s tem večji n), čim večje je razmerje med zrušilno trdnostjo in mejo tečenja. Iz slike 1 se nadalje ugotovi, da eksponent utrjevanja pada z naraščanjem vsebnosti legirnih elementov, pa tudi ogljika.

Ko smo naše podatke statistično obdelovali in ugotavljali regresijske odvisnosti, pa navedene predpostavke niso bile dovolj zanesljivo potrjene (tabela 2). Tako nismo mogli dokazati pomembne vplive kemične sestave in mehanskih lastnosti na koeficient utrjevanja. Nezanesljivost regresijskih odvisnosti je bila večja pri legiranih jeklih v primerjavi z orodnimi.



Slika 2: Odvisnost konstante krivulje plastičnosti C od vsebnosti ogljika in primerjava s podatki po Sieblu /14/.

Tabela 1: Povprečne vrednosti eksponentov utrjevanja "n" različnih vrst jekel

vrsta jekla	št.podat.	n	σ_{n-1}
ogljik.jekla			
-za cementir.	52	0,218	0,0284
-za poboljš.	18	0,174	0,0335
legirana jek.			
-za cementir.	28	0,160	0,0515
-za poboljš.	12	0,125	0,0427
hitrorezna j.	19	0,178	0,0181

3. KONSTANTA KRIVULJE PLASTIČNOSTI

Ob ugotovitvi, da je naklon krivulje plastičnosti v dvojno logaritmičnem diagramu za posamezne vrste jekel več ali manj konstanten (tabela 1), pa je lega te krivulje odvisna od konstante C.

Pri naših statističnih analizah (tabela 2) smo za konstanto C spoznali, da je le-ta v močni korelaciji s celo vrsto parametrov.

Za ogljikova jekla smo ugotovili, da je konstanta C tem večja, čim večja je vsebnost posameznih elementov. Največji vpliv imajo žveplo, nato pa si sledijo fosfor, silicij, ogljik, mangan, krom (statistično manj zanesljiv).

Ob predpostavki, da se pri ogljikovih jeklih spreminja le vsebnost ogljika, ostali elementi pa so v več ali manj enakem razmerju, lahko ocenimo odvisnost konstante materiala le od vsebnosti ogljika (slika 2).

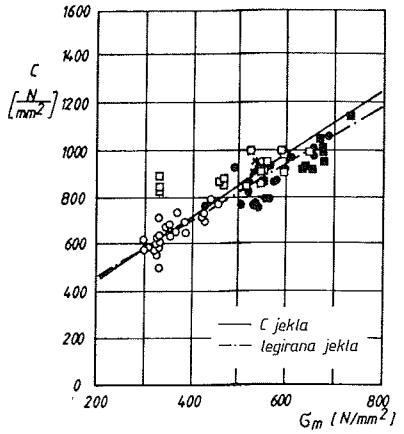
Pri legiranih jeklih nismo imeli dovolj različnih podatkov, da bi lahko popolnoma zanesljivo ugotovili vpliv kemične sestave na konstanto materiala. Z več podatki pa so Jonck, Just in Wicke /15/ to dokazali.

Podobno kot konstanta C, je tudi zrušilna trdnost odvisna od kemične sestave jekla. Zato ni presenetljivo, da je konstanta C odvisna od σ_M (slika 3), ali od vpliva σ_M in σ_T (tabela 2).

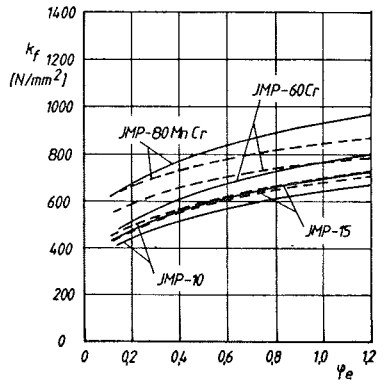
Povezava zrušilne trdnosti in krivulje plastičnosti je znana iz nateznega preizkusa, saj je

$$\sigma_M = C \left(\frac{n}{e}\right)^n . \qquad (3)$$

Ker je n enak največji (še homogeni) deformaciji pri nateznem preizkusu, lahko pričakujemo, da je eksponent utrjevanja v dobri korelaciji z raztezkom in kontrakcijo, torej



Slika 3: Odvisnost konstante krivulje plastičnosti C od zrušilne trdnosti (oznake podatkov so enake kot v sliki 2).



Slika 4: Primerjava dejanskih krivulj plastičnosti z njihovo oceno na podlagi nateznega preizkusa.

$$n = n\ (\delta_5, \Psi)\ . \qquad (4)$$

Ako združimo izraza 3 in 4 dobimo, da je konstanta krivulje plastičnosti C odvisna od parametrov nateznega preizkusa

$$C = C\ (\sigma_M, \delta_5, \Psi)\ . \qquad (5)$$

Pri naših statističnih analizah je bila ta predpostavka potrjena z veliko zanesljivostjo. (Podobno odvisnost uporablja tudi Leykamm /16/ pri ocenjevanju parametrov krivulje plastičnosti na podlagi nateznega preizkusa in kemične analize).

Tabela 2: Multiregresijske odvisnosti med kemično sestavo, mehanskimi lastnostmi in parametri krivulje plastičnosti.

SKUPINA JEKEL	x_1		x_2		x_3		x_4		x_5		x_6		a_0	Y	100-α
	a_1	100-α	a_2	100-α	a_3	100-α	a_4	100-α	a_5	100-α	a_6	100-α			
LIN.ODVISNOST	C (%)		Si (%)		Mn (%)		P (%)		S (%)		Cr (%)				
ogljikova	274,50	99,9	575,14	99,9	120	99	1083,75	80	1382,88	95	71,49	60	496,417	C	99,5
legirana	570,89	99,9	-195,52	> 50	73,71	60	-5528,4	95	760,24	60	56,99	80	820,935	(N mm^{-2})	90
ogljikova	162,12	99,9	565,91	99,9	72,73	80	567,94	> 50	2071,23	99	-116,02	80	233,476	σ_m	99
legirana	478,25	99,9	-251,13	60	29,02	60	-2395,71	80	413,73	60	28,95	80	526,380	(N mm^{-2})	97,5
ogljikova	-0,031	60	-0,263	99	-0,043	60	0,22	> 50	-0,131	> 50	0,061	60	0,261	n	99
legirana	-0,173	95	0,007	> 50	-0,009	> 50	-0,872	> 50	0,463	60	-0,027	80	0,221		> 75
	δ_5 (%)		ψ (%)												
ogljikova	-8,638	97,5	-4,038	90									1026,559	σ_m	99,5
legirana	-12,257	99,9	-3,183	80									1147,721	(N mm^{-2})	90
ogljikova	-7,829	97,5	-9,193	99,9									1689,427	C	99,5
legirana	-18,395	99,9	-5,486	90									1815,037	(N mm^{-2})	99
ogljikova	0,00411	80	0,00008	> 50									0,047	n	90
legirana	0,00195	50	-0,0026	60									0,267		75
	σ_m (N mm^{-2})		σ_T (N mm^{-2})												
ogljikova	0,656	99,9	1,038	99,5									201,996	C	99,5
legirana	1,239	99,9	-0,086	> 50									234,419	(N mm^{-2})	90
ogljikova	-0,00013	60	-0,00019	60									0,311	n	90
legirana	-0,00021	80	0,00004	> 50									0,248		> 75
	σ_m (N mm^{-2})		δ_5 (%)		ψ (%)										
ogljikova	0,495	99,9	-3,556	60	-7,196	99,9							1181,635	C	99,5
legirana	0,719	99,9	-9,589	97,5	-3,199	60							990,358	(N mm^{-2})	97,5
	σ_m (N mm^{-2})														
ogljikova	1,356	99,5											171,281	C	< 75
legirana	1,225	99,9											209,169	(N mm^{-2})	< 75
LOG.ODVISNOST	C (%)		Si (%)		Mn (%)		P (%)		S (%)		Cr (%)				
ogljikova	0,103	99,9	0,052	99	0,006	> 50	0,026	60	0,031	80	0,030	99	7,246	C	99,5
legirana	0,196	99,9	-0,057	> 50	0,047	60	-0,117	95	0,001	> 50	0,020	80	6,603	(N mm^{-2})	90
ogljikova	0,111	99,9	0,139	99,9	0,009	> 50	0,046	60	0,157	99,9	-0,025	60	7,296	σ_m	99,5
legirana	0,248	99,9	-0,110	60	0,026	> 50	-0,060	60	-0,013	> 50	0,010	50	6,318	(N mm^{-2})	97,5
ogljikova	-0,042	> 50	-0,170	90	-0,027	> 50	0,033	> 50	-0,040	> 50	-0,004	> 50	-2,135	n	90
legirana	-0,228	60	0,167	> 50	0,041	> 50	-0,189	60	0,119	60	-0,008	> 50	-2,434		> 75
	δ_5 (%)		ψ (%)												
ogljikova	-0,786	99,9	-0,506	80									10,989	σ_m	99,5
legirana	-0,551	99,9	-0,380	60									9,603	(N mm^{-2})	90
ogljikova	-0,427	99	-0,746	99,9									11,305	C	99,5
legirana	-0,518	99,9	-0,436	90									10,386	(N mm^{-2})	90
ogljikova	0,431	50	0,553	50									-5,521	n	90
legirana	0,182	> 50	-1,322	60									2,953		> 75
	σ_m (N mm^{-2})		σ_T (N mm^{-2})												
ogljikova	0,373	99,9	0,356	99,9									2,393	C	99,5
legirana	0,766	99,9	-0,037	> 50									2,169	(N mm^{-2})	90
ogljikova	-0,406	80	-0,218	60									2,026	n	90
legirana	-0,949	60	0,247	> 50									2,510		> 75
	σ_m (N mm^{-2})		δ_5 (%)		ψ (%)										
ogljikova	0,290	99,9	0,199	80	-0,599	99,9							8,119	C	99,5
legirana	0,453	99,9	-0,268	97,5	-0,264	80							5,941	(N mm^{-2})	97,5
	σ_m (N mm^{-2})														
ogljikova	0,792	99,9											1,957	C	< 75
legirana	0,742	99,9											2,193	(N mm^{-2})	< 75

Praktično uporabo odvisnosti (5), katerih konkretni podatki so dani v tabelah 1 (za n) in v tabeli 2 (za C) lahko vidimo iz slike 4. Tu so prikazane krivulje štirih jekel za hladno masivno preoblikovanje /8/, ter približne vrednosti, dobljene na podlagi nateznega preizkusa.

4. SKLEP

Poleg tega, da smo statistično analizirali povezave mehanskih in preoblikovalnih lastnosti v odvisnosti od kemične sestave, smo opravili še primerjavo dobljenih podatkov s tujimi. Iz dobre skladnosti med podatki lahko zato ugotovimo naslednje:

- naša jekla imajo podobne preoblikovalne in mehanske lastnosti kot tuja,
- metoda ugotavljanja krivulje plastičnosti s pomočjo diskontinuirnega tlačnega preizkusa je kljub svoji enostavnosti dovolj natančna,
- zaradi boljše primerljivosti bi bilo dobro, če bi se raziskovalne organizacije v SFRJ, ki se ukvarjajo s preoblikovanjem, dogovorile za tipizirani preizkus. Neizenačeni pogoji, različni načini mazanja lahko namreč povzročajo velika odstopanja od rezultatov (primer /6/),
- za približno oceno krivulje plastičnosti je mogoče konstanto materiala C določiti iz podatkov nateznega preizkusa, eksponent n pa lahko smatramo za konstanten za določeno skupino jekel.

5. LITERATURA

/1/ Kuzman, K.: Ugotavljanje tehnoloških karakteristik domačih jekel, primernih za hladno masivno preoblikovanje. Poročilo Fakultete za strojništvo, Ljubljana 1975

/2/ Fliesskurven metallischer Werkstoffe. VDI 5-3200, 5-3201. Düsseldorf 1954-1957

/3/ Geiger, R.: Der Stofffluss beim kombinierten Napffliesspressen. Berichte aus dem IfU No. 36, Stuttgart 1976

/4/ Domalski, H.-H., Schücker, H.: Das Umformvermögen von Edelstählen in verschiedenen Behandlungszuständen. Stahl u. Eisen 1970, 20

/5/ Meyer-Nolkemper, H.: Halbwarmfliesspressen: Werkstoffe, Fliesskurven, Werkstoffverhalten. Neuere Entwicklungen im Bereich der Massivumformung. TU Stuttgart 1977

/6/ Strassburger, Ch., Robiller, G.: Aufnahme der Fliesskurve unlegierter Stähle im Kaltstauchversuch. Stahl u. Eisen 1973,24

/7/ Kosec, L., Razinger, A.: Zveza med vključki in preoblikovalnostjo jekel. Poročilo Met.inst. št.644, Ljubljana 1978

/8/ Kuzman, K., Razinger, A.: Posebnosti domačih jekel za hladno masivno preoblikovanje. Železarski zbornik 1977, 3

/9/ Kuzman, K.: Vpliv preoblikovalnega materiala na snovanje procesov masivnega preoblikovanja jekel. Železarski zbornik 1976, 2

/10/ Žvokelj, J., Razinger, A.: Bor v jeklih za masivno preoblikovanje v hladnem. Poročilo Met. inst., Ljubljana 1976

/11/ Kuzman, K.: Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaterih preoblikovalnih lastnosti jekel. VII. savet.proizvodnog mašinstva, Novi Sad 1971

/12/ Kuzman, K., Arzenšek, B.: Maziva in koeficienti kontaktnega trenja pri masivnem preoblikovanju jekla v hladnem stanju. Zbornik radova BIAM 80,Zagreb

/13/ Kosec, L., Kuzman, K., Vojnovič, N.: Raziskava orodnih jekel. Tema 2: Raziskave sposobnosti orodnih jekel za vtiskovanje v hladnem. Poročila metalurškega instituta v Ljubljani, št. 743 - 1979

/14/ Sieber, K.: Cold extruding in Europe. Metal Progress 1971, 1

/15/ Jonck,R., Just, E., Wicke.: Einfluss der Legirungselemente auf das Kaltumformverhalten. Z w F 1974, 9

/16/ Leykamm, H.: Berechnung der Fliesskurve für Fliesspressstähle sowie der Festigkeit, Bruchdehnung und Brucheinschnürung kaltumgeformter Werkstücke aus der Werkstoffanalyse nach Wagenbach. Draht 1978, 11.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Miljenko Math

TEORIJA SLIČNOSTI I METODA MODELIRANJA U POSTUPCIMA SLOBODNOG SABIJANJA I SLOBODNOG SAVIJANJA U HLADNOM STANJU

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 i slobodnog savijanja u hladnom stanju te put pronalaženja empiričkih izraza koji mogu biti od praktičnog značaja.

THE THEORY OF SIMILARITY AND THE METHOD OF MODELLING IN THE PROCESSES OF COLD UPSETTING AND FREE COLD BENDING

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 processes of cold upsetting and free cold bending, and a way to obtain the empirical formulas that can be of practical importance.

1. Uvod

Teoretske osnove teorije sličnosti i modelnog ispitivanja leže u dimenzionalnoj analizi. To je matematička metode koja omogućava dobivanje informacija o obliku zavisnosti među veličinama u fizičkim sistemima i uvjetima fizičke sličnosti među zbivanjima, pa time i ustanovljavanje zakona sličnosti i modeliranja tj. prenašanja rezultata dobivenih pokusima sa modelima na mjerilo tehničke izvedbe redovno većih dimenzija. Odnosi između dimenzionalnih veličina izražavaju se kao funkcije bezdimenzionalnih parametara ili tzv. kriterija sličnosti, koji moraju biti isti i za modelni proces i onaj stvarni. 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 razmatrane u smislu primjene teorije sličnosti i metoda modeliranja.

2. Dimenzionalna analiza slobodnog sabijanja između ravnih ploha u hladnom stanju

U vlastitim pokusima za modelni izradak izabran je valjak iz aluminija Al 99,5 %, dimenzija Ø 9,o i visine 13,5 mm, a za izratke tehničke izvedbe izabrani su slijedeći odnosi dužina λ kao osnovnog parametra geometrijske sličnosti 1:2; 1:3; 1:4; 1:5. Izvršeno je šest stupnjeva redukcije koji odgovaraju logaritamskim stupnjevima deformacija $\varphi = \ln h_o/h_1$, gdje je h_o početna a h_1 reducirana visina i oni su iznosili: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6. U cilju ujednačenja uvjeta trenja izvršeno je poliranje kontaktnih površina alata i izradaka, a pokusi su izvođeni podmazivanjem sa molycot pastom MoS_2. Postupak sabijanja obavljen je na gravitacionom batu, tako da se mogla direktno ustanoviti raspoloživa energija za deformaciju. Treba li odrediti oblik jednadžbe koja povezuje rad /energiju/ slobodnog sabijanja punog cilindričnog tijela sa mjerodavnim varijablama to se odgovarajući problem može napisati u obliku dimenzionalno homogene jednadžbe:

$$f/k_f, \sigma_m, G, E, d, h, \mu, \varphi, W/ = 0 \qquad /1/$$

Ovdje je sa k_f označeno naprezanje plastičnog oblikovanja, σ_m vlačna čvrstoća, G modul smicanja, E modul elastičnosti, μ koeficijent kontaktnog trenja i W rad deformacije. Iz ovoga slijedi kriterijska jednadžba definirana kriterijima sličnosti $K_i/i = 1 - 7/$:

$$f\left(\frac{W}{k_f d^2 h}, \frac{k_f}{\sigma_m}, \frac{G}{\sigma_m}, \frac{E}{\sigma_m}, \frac{h}{d}, \mu, \varphi\right) = 0 \qquad /2/$$

Stavi li se u kriterij sličnosti K_1 umjesto izraza d^2h volumen V kriterij sličnosti poprima oblik $K_1 = W/k_f V$. Ovo predstavlja bezdimenzionalnu veličinu za plastostatičku sličnost. U slučaju istog materijala modela i mjerila tehničke izvedbe tj. kada je $k_f = \bar{k}_f$ slijedi da su odgovarajući specifični radovi deformacija isti tj. $a = \bar{a}$ odnosno:

$$W = \bar{W} \lambda^3 \qquad /3/$$

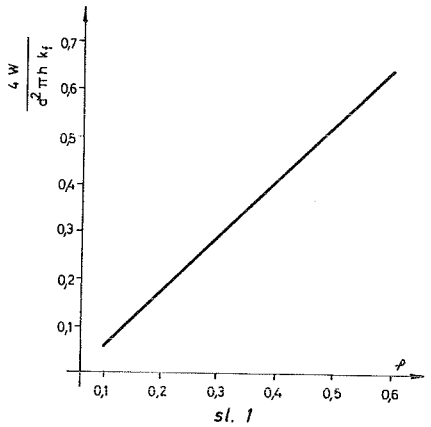
gdje se veličine sa povlakom odnose na model, a one bez povlake na mjerilo tehničke izvedbe u prirodnim uvjetima. Uz pretpostavku da je ispunjen uvjet sličnosti trenja tj. $\mu = \bar{\mu}$ i uzimajući u obzir da su svi izratci bili iz istog materijala te da je u potpunosti bio ispunjen uvjet geometrijske sličnosti, to su bezdimenzionalne veličine K_{2-5} konstatne. Imajući na umu da je iz teorijskih razloga rad proporcionalan sa volumenom može se pisati:

$$\frac{4W}{k_f d^2 h \pi} = f'(\varphi) \qquad /4/$$

Regresiona analiza izraza /4/ pokazala je da se ovaj izraz može aproksimirati polinomom prvog stupnja i predstaviti u obliku:

$$\frac{4W}{k_f d^2 h \pi} = a_o + a_1 \varphi \qquad /5/$$

Grafički prikaz ovog izraza može se vidjeti na sl. 1



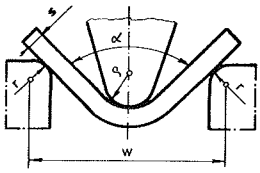
sl. 1

3. Dimenzionalna analiza slobodnog savijanja u hladnom stanju

U pokusima je izvršeno savijanje traka lima iz čelika Č.0361, materijala koji je izdržavao i relativno oštra plastična

savijanja. Za modelni izradak izabran je lim debljine s = 3,o mm i širine b = 15 mm. Za izratke tehničke izvedbe izabrani su limovi debljine 5,7,7,11,15 mm /λ = 1:1,67; 1:2,33;1:3,67;1:4,44;1:5/.

Trake su savijane pod kutovima od 150°,120°, 90° i 60°. Radijus zaobljenja tiskača ϱ



sl. 2

uvijek je bio jednak debljini lima s, a isto se odnosi na radijus zaobljenja uporišra r koji su bili uležišteni u samoudesivim kugličnim ležajevima. U svim pokusima razmak uporišta bio je w = 10 s /sl. 2/. Postupak savijanja obavljen je na hidrauličkoj preši radne brzine 83 mm/s. Sila slobodnog savijanja ovisi od pored navedenih geometrijskih parametara i od čvrstoće na savijanje koja se može u prvom približenju zamijeniti vlačnom čvrstoćom σ_m, naprezanja plastičnog oblikovanja k_f te trenja u ležajevima uporišta. Za promatranje u smislu dimenzionalne analize može se odgovarajući problem napisati u obliku:

$$f/k_f, \sigma_m, r, \varrho, s, b.w, \alpha, \mu, E, G, F/=0 \qquad /6/$$

Analognim postupkom kao u prvom slučaju dobiva se kriterijska jednadžba:

$$f\left(\frac{F}{\sigma_m s^2}, \frac{k_f}{\sigma_m}, \frac{r}{s}, \frac{\varrho}{s}, \frac{b}{s}, \frac{w}{s}, \alpha, \mu, \frac{G}{\sigma_m}, \frac{E}{\sigma_m}\right) = 0 \qquad /7/$$

Ukoliko se umjesto vlačne čvrstoće σ_m u kriterij sličnosti K_1 uvrsti naprezanje plastičnog oblikovanja k_f, a umjesto izraza s^2 površina A kriterij sličnosti poprima oblik $K_1 = F/k_f A$, što je na drugi način pomoću sile definiran kriterij plastostatičke sličnosti. U slučaju istih materijala modela i mjerila tehničke izvedbe tj. kada je $k_f = \overline{k}_f$ slijedi da su odgovarajući specifični pritisci jednaki tj. $p = \overline{p}$. Ovime je definiran odnos sila:

$$F = F \lambda^2 \qquad /8/$$

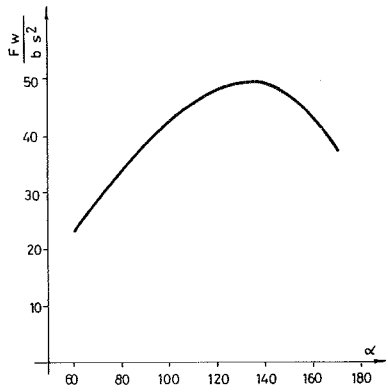
Poznato je da je iz teorijskih razloga sila proporcionalna sa odnosom b/s, a obrnuto proporcionalna sa odnosom w/s. Budući da su sve trake lima bile od istog materijala i da je u potpunosti bio ispunjen uvjet geometrijske sličnosti to se pod pretpostavkom ispunjavanja sličnosti trenja jednadžba /7/ definirana za silu može pisati u obliku:

$$\frac{F w}{b s^2} = f'(\alpha) \qquad /9/$$

Regresiona analiza izraza /9/ je pokazala da se ovaj izraz može aproksimirati polinomom trećeg stupnja i predstaviti u obliku kubne parole:

$$\frac{F w}{b s^2} = b_o + b_1 \alpha^2 + b_2 \alpha^3 \qquad /10/$$

Grafički prikaz ovog izraza prezentiran je na sl. 3



sl. 3

4. Zaključak

Dimenzionalna analiza ne zahtijeva poznavanje jednadžbi koje se odnose na promatrani problem. već je dovoljno poznavati veličine koje su od važnosti za razmatrani proces. Za određivanje oblika zavisnosti bezdimenzionalnih grupa zahtijeva se rješavanje sistema linearnih algebarskih

jednadžbi. Kako se dimenzionalnom analizom kriteriji sličnosti mogu odrediti i bez poznavanja zavisnosti među dimenzionalnim varijablama, eksperimentalno je određivanje te zavisnosti u velikom mjeri olakšano, ako se eksperimentom određuje zavisnost bezdimenzionalnih varijabli kriterijske jednadžbe, jer je broj bezdimenzionalnih varijabli manji.

Izvršena ispitivanja odnose se na postupke oblikovanja u hladnom stanju. Na taj način eksperimenti su ograničeni na slučajeve kada su sa teoretskog stanovišta kriteriji sličnosti bili ispunjeni. Odstupanja eksperimentalno dobivenih vrijednosti sila i rada od onih veličina potrebnih prema izrazima /3/ i /8/ koje karakteriziraju sličnost plastičnih deformacija bila su u granicama manje od 11 % što se može smatrati dozvoljenim u dobroj aproksimaciji. Postupkom regresione analize ova su odstupanja svedena u granice prosječno manje od 2 % za oba postupka. Visoka vrijednost koeficijenata determinacije ($> 0{,}998$) kao i mala odstupanja regresionih koeficijenata (< 1 %) omogućavaju da se eksperimentalno dobivene ovisnosti koriste pri praktičnim zahtijevima određivanja sila i rada i kada izradak nije onakovih dimenzija kakav je bio za istraživane materijale i uvjete pokusa. Pri tome geometrijski odnos $\lambda = 1:5$ nije i granična mogućnost primjene metode modeliranja za ovakova procese preoblikovanja.

L i t e r a t u r a

1. Hill R., The mathematical theory of plasticity Oxford University, 195o.
2. Bridgman P.W., Dimensional analysis, Yale U., London, 1978.
3. Pawlowski J., Die Ahnlichkeitstheorie in der physikalisch-technischen Forschung, Springer Verlag, Berlin,1971.
4. Venikov V.A., Teorija sličnosti i modeliranja, Viša škola, Moskva, 1976.
5. Math M., Prilog primjeni teorije sličnosti u oblikovanju metala deformiranjem, magistarski rad, FSB, Zagreb , 1981.
6. Math M., Prilog razmatranju teorije sličnosti u procesima plastičnog oblikovanja, Obrada deformisanjem u mašinstvu, Novi Sad, 1982.
7. Math M., Teorija sličnosti i neke mogućnosti njene primjene u oblikovanju metala deformiranje, Zbornik radova FSB, Zagreb, 1982.

Mr Miljenko Math, dipl.inž.
asistent na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Zavod za tehnologiju
Znanstveno područje - Oblikovanje metala deformiranjem,D.Salaja 1

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GOD.

Miodrag Stojiljković*

INTERPRETACIJA NOT - STOP USLOVA NA PRIMERU OBRADE DEFORMISANJEM

R e z i m e

Sa porastom automatizacije NOT-STOP uslovi usložnjavaju i poskupljuju upravljačke planove. Na osnovu dugogodišnje prakse u radu su prikazani najčešći uslovi, ilustrovani na pneumatiziranom primeru kretanja izvršnih organa u jednom procesu obrade deformisanjem.

INTERPRETATION NOT-STOP BEDIENGUNGEN AUF DEM BEISPIEL DER BEARBEITUNG DURCH UMFORMEN

R e s u m e

Mit Automationzuwachs werden Steuerungspläne durch Not-Stop Bedie-gungen zusammengesetzter und teuerer. Auf dem Grund der langjährigen Praxis sind in der Arbeit die öferste Bediengungen gezeigt, die auf einem pneumatschen Bewegungsbeispiel der ausführlichen Organen in einem Bearbeitungprozess durch Umformen ilustriert sind.

1. Uvod

Na osnovu prirode procesa, može se očekivati da u radu sistema neki od potrebnih zahteva ne bude ostvaren, što potvrdjuje neophodnost prisustva NOT-STOP uslova.

Da bi se nekako simplificirala postavljena problematika, utvrdjena klasifikacija NOT-STOP uslova biće ilustrovana na konkretnom primeru, koji se odnosi na proces obrade deformisanjem.

2. Klasifikacija NOT-STOP uslova

Dugogodišnja praksa je pokazala da se najčešće korišćeni NOT-STOP uslovi mogu klasificirati prema sledećem redosledu:

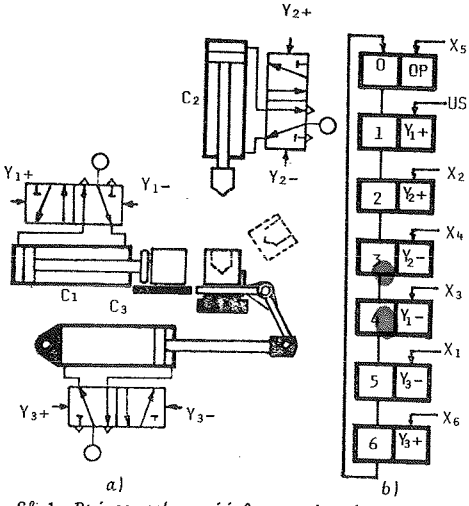
a) Opšti uslovi
   1 - STOP na kraju ciklusa
   2 - STOP na kraju koraka
   3 - Brzi NOT-STOP.

b) Specijalni uslovi
   1 - Brzo zaustavljanje (blokiranje započetog hoda
   2 - Brzo vraćanje svih pokrenutih cilindara u početni položaj
   3 - Programirano postavljanje cilindara u odredjeni položaj
   4 - Istovremeno zajedničko vraćanje.

*mr Miodrag Stojiljković, dipl.ing., asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14.

3. Interpretacija varijantnih rešenja na konkretnom primeru

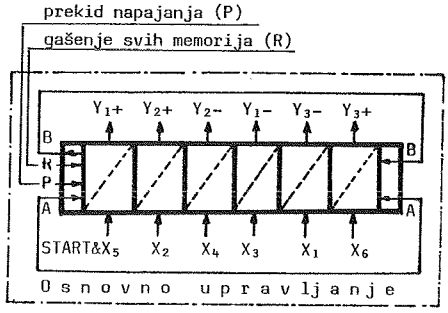
Mogućnost traženja solucije izmedju sredjenih primera klasificiranih u okviru opštih i specijalnih NOT-STOP uslova, biće zasnovana na usvojenom primeru sekvencijalnog automata za utiskivanje, prikazanog na sl.1.



Sl.1. Primer sekvencijalnog automata $C_1+\ C_2+\ C_2-\ C_1-\ C_3-\ C_3+$ za utiskivanje
a) uprošćen prikaz izvršnih organa: za pomeranje i stezanje predmeta (C_1), utiskivanje gravure (C_2) i izbacivanje predmeta (C_3);
b) gruba struktura funkcionalnog plana

Imajući u vidu teorijske osnove za različite inženjerske metode projektovanja, analiza će se izvršiti na uradjenim i usvojenim primerima po metodi "korak po korak", zbog jednostavnog prikazivanja upravljačkog plana, (što omogućava bolju preglednost navedenih strukturnih zahteva u pogledu ostvarivanja NOT-STOP uslova), pri čemu se ne isključuje mogućnost sinteze po bilo kojoj od poznatih inženjerskih metoda |1|.

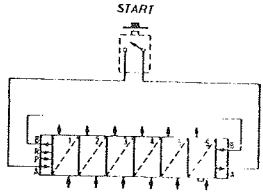
Prinudno zaustavljanje može da inicira ili sam radnik koji opslužuje mašinu, ili signal koji dolazi automatski od mašine. U konkretnom slučaju, osnovne mogućnosti ostvarivanja ovog uslova jesu prekidanje magistralnog voda za napajanje (P), ili korišćenjem signala za gašenje svih memorija sekvencijalnog sistema (sl.2).



Sl.2. Osnovne mogućnosti ostvarivanja NOT-STOP uslova ilustrovane na utvrdjenom primeru automata za utiskivanje, realizovanom takt-modulima (metodom "korak po korak")

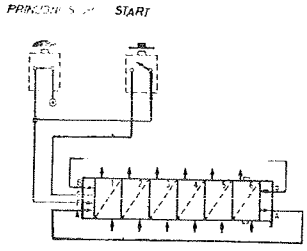
U daljem postupku, analiza varijantnih rešenja NOT-STOP uslova prema utvrdjenoj klasifikaciji, prikazana je na sledećim primerima:

1° STOP na kraju ciklusa (sl.3).

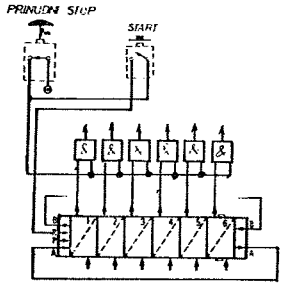


Sl.3. Aktiviranjem ručnog tastera, ostvareno je odvijanje radnog ciklusa prema utvrdjenom redosledu. Aktiviranje ima smisla samo po završetku ciklusa radi obnavljanja signala, pošto je poslednji signal u ciklusu bio prekinut u ručnom prekidaču

2° STOP na kraju koraka (sl.4,a;b)

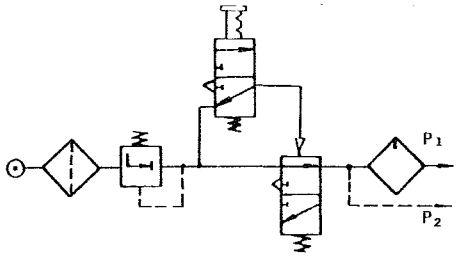


Sl.4,a. Aktiviranje prekidača NOT-STOP, isključuje napajanje takt-modula, zadržavajući položaj koraka u trenutku intervencije



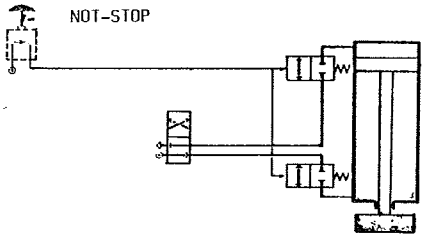
Sl.4,b. Aktiviranje prekidača NOT-STOP prekida izlazne signale takt-modula, koji su preko "I"-elemenata povezani sa prethodnom komandom

3° Brzi NOT-STOP (sl.5).

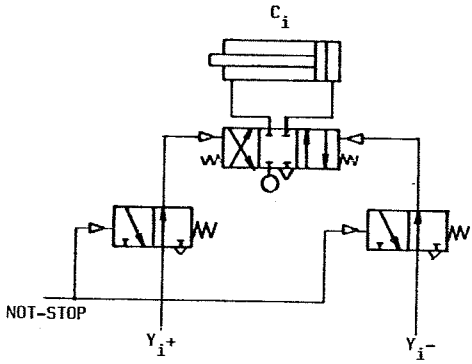


Sl. 5. Brzi NOT-STOP izvodi se ili isključivanjem radnog pritiska (P_1), ili mnogo češće isključivanjem upravljačkog (P_2) i radnog pritiska, što zavisi od strukture upravljanja

4° Brzo zaustavljanje (blokiranje započetog hoda) izvršnog organa (sl.6,a;b).

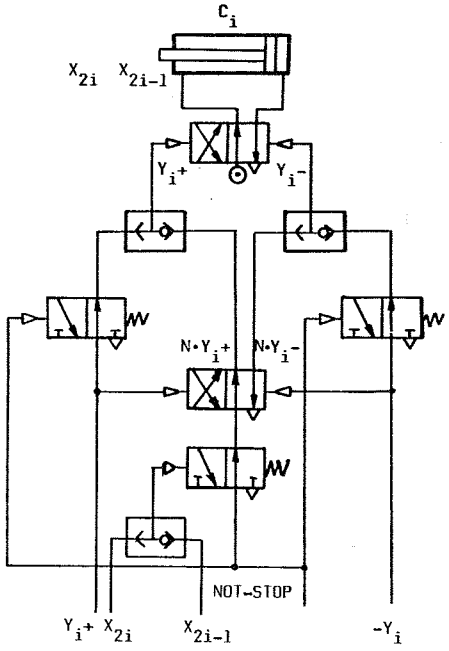


Sl.6,a. Blokiranje pomoću razvodnika 2/2 ugrađenih na priključcima cilindra. Aktiviranjem komande NOT-STOP, prekida se napajanje i provetravanje cilindra, što izaziva zaustavljanje (blokiranje) započetog hoda



Sl.6,b. Blokiranje pomoću razvodnika 4/3. U trenutku komande NOT-STOP, posredstvom razvodnika 3/2 provetravaju se oba upravljačka voda razvodnika 4/3 i on zauzima srednji položaj

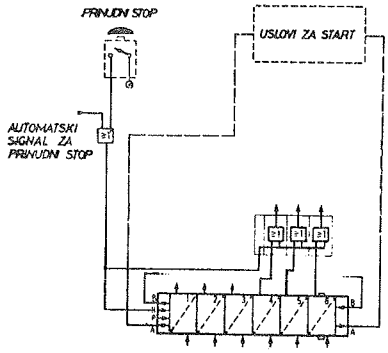
5° Brzo vraćanje svih pokrenutih cilindara u početni položaj (sl.7).



Sl.7. NOT-STOP modifikacija za brzo vraćanje svih cilindara koji su u pokretu, zasnovana je na sledećem principu: za usvojeno kretanje "C_i+" položaj potreban je signal Y_i+, koji u isto vreme dejstvuje kao komanda $N \cdot Y_i$+ na odgovarajući razvodnik 4/2; ukoliko se da komanda NOT-STOP, istom se prekida započeto kretanje C_i+, pošto je upravljački razvodnik 4/2, preko razvodnika 3/2 rasterećen sa obe strane, pa signal N aktivira suprotno kretanje "C_i-", zbog slobodnog proticaja do Y_i-,

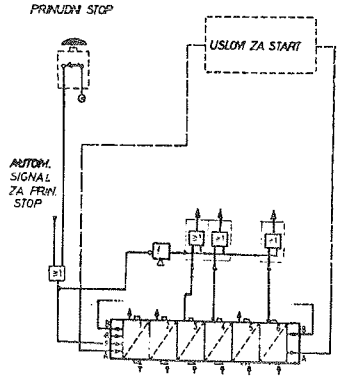
ostvarenog prethodno pomoću N•V¿+. Napomena: Pošto je ovaj model veoma skup, potrebno je da se pažljivo odmeri uslov upotrebe za odgovarajući cilindar; N = NOT-STOP, podrazumeva komandu za brzo vraćanje pokrenutog pneumatskog cilindra u početni položaj.

6° Programirano postavljanje cilindara u odredjeni položaj (sl.8)



Sl.8. Realizacija zahteva zasnovana je na brisanju svih memorija, zbog čega izvršni organi zauzimaju odredjenu polaznu poziciju. Na primer, za dati ciklus prema tablici, signal od tastera NOT-STOP gasi sve memorijske elemente uz istovremenu komandu preko tri "ili"-elemenata za izlazne signale, koji iniciraju tražena kretanja cilindara.

7° Istovremeno zajedničko vraćanje klipa cilindara (sl.9).



Sl.9. Signali koji se odnose na vraćanje klipa cilindara u početni položaj, mogu se dati i pomoću komande NOT-STOP. Princip se sastoji u aktiviranju NOT-STOP tastera, pri čemu se oslobadja razvodnik 3/2, čiji signal preko "ili" elemenata, istovremeno aktivira izlaze za zajedničko vraćanje pneumatskih cilindara.

4. Zaključne napomene

Usvojena forma analize opisanih rešenja, uz korišćenje metode "korak po korak", navodi na zaključak mogućeg uopštavanja u pogledu sveobuhvatnosti primene i kod ostalih inženjerskih metoda, pri čemu je potrebno voditi računa o funkcionalnosti i tehno-ekonomskoj opravdanosti.

Prema tome, navedeni principi mogu biti zastupljeni kod svih osnovnih upravljanja zasnovanih na različitim inženjerskim metodama, uz napomenu da posle isključivanja vazduha za napajanje izvršni organi ostaju u položaju zavisno od upravljačkih razvodnika prema sledećem:

- *Multistabilni elementi* zadržavaju svoj položaj ukoliko nisu opterećeni;
- *Bistabilni elementi* ostaju u položaju koji su imali ili završavaju već uvedeni postupak uključivanja, i
- *Monostabilni elementi* zauzimaju svoj stabilni položaj.

Iz tog razloga, preporučuje se upotreba bistabilnih i multistabilnih razvodnih elemenata izvršnih organa, da bi se kod isključenja energije za napajanje ograničili opasni pokreti.

Konačno, može se zaključiti, da sprovedena analiza potvrdjuje praktičnost primene utvrdjenih zahteva NOT-STOP komandi u okviru osnovnog upravljanja, čiji se prinicipi mogu uspešno primenjivati i u procesima obrade deformisanjem.

5. LITERATURA

|1| M.STOJILJKOVIĆ, Prilog analizi inženjerskih metoda za sintezu sekvencijalnog automata na bazi pneumatike, Magistarski rad, 1981.

|2| Technisches hand.buch Steuerungspneumatik, 116 Seiten, Best-Nr: 42866, Telemecanique-Pneumatik.

|3| P.ROHNER, Fluid Power Logic Circuit Design, MacMilan Press, London, 1979.

XVI - SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR 1982.

*Dragan S.Domazet,Dragan I.Temeljkovski**

KRITIČKA ANALIZA KONCEPCIJSKIH REŠENJA POGONSKOG MEHANIZMA PRESA ZA IZRADU GUMA ZA MOTORNA VOZILA**

R e z i m e

U radu su prikazana različita koncepcijska rešenja pogonskog mehanizma presa za izradu guma za motorna vozila.Izvršena je kritička analiza tih rešenja i istaknuta su njihova dobra i loša svojstva. Na osnovu ove analize,predloženo je jedno novo rešenje višepozicione mašine za vulkanizaciju unutrašnjih guma i ukazano je na prednosti tog rešenja u odnosu na dosadašnja.

THE CRITICAL ANALYSIS OF DIFFERENT PRESS DRIVING MECHANISM CONCEPTIONAL SOLUTIONS IN PRODUCTION OF MOTOR VEHICLE TYRES

S u m m a r y

In this paper different press driving mechanism conceptional solutions are shown in production of motor vehicle tyres. This analysis pointed out their good and weak characteristics. Based on this analysis a new solution of multiposition machine for internal tures vulcainization is suggested and same its advantages are pointed out.

1. UVOD

Za razliku od presa koje se koriste za obradu materijala deformisanjem,prese za izradu guma za motorna vozila imaju zadatak da svojim paralelnim pritisnim pločama pritiskuju alat odredjenom silom koja ne dozvoljava njegovo otvaranje usled dejstva pritiska vazduha u gumi za vreme procesa vulkanizacije koji traje do 15 minuta , zavisno od veličine gume.

Ostvarivanje ravnomernog pritiska pritisnih ploča, paralelnosti i osne kolinearnosti u periodu pritiskivanja alata vrši se na više načina u zavisnosti da li sekoristi jednopoziciona ili višepoziciona presa.

*) Dr Dragan S.Domazet,dipl.ing. docent Mašinskog fakulteta u Nišu,Beogradska br. 14.
Dragan I.Temeljkovski, dipl.ing.maš. asistent-pripravnik Mašinskog fakulteta Niš

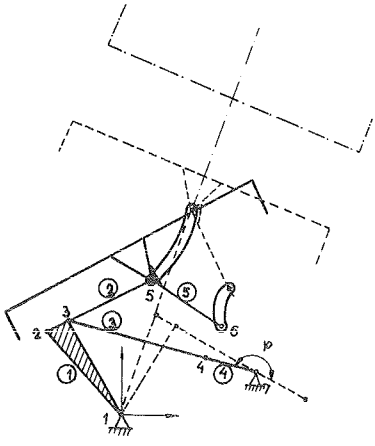
**)Rad predstavlja deo naučno-istraživačkog projekta:"ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ PRESA ZA IZRADU PNEUMATIKE" potprojekta u okviru strateškog projekta "RAZVOJ PROIZVODA I TEHNOLOGIJE PROIZVODNJE U INDUSTRIJI PRERADE METALA" koga finansiraju Republička zajednica nauke Srbije i Radna organizacija "SARLAH" Pirot.

2. JEDNOPOZICIONE PRESE

Glavna karakteristika jednopozicionih presa je da je za svaki alat potrebna jedna mašina kao i , zbog dimenzija guma, relativno veliki manipulativni prostor za punjenje i pražnjenje alata , te pogonski mehanizam mora da obezbedi znatno udaljenje pokretne i nepokretne ploče.

2.1. Jednopozicione prese sa mehanizmom za pritiskivanje odozdo

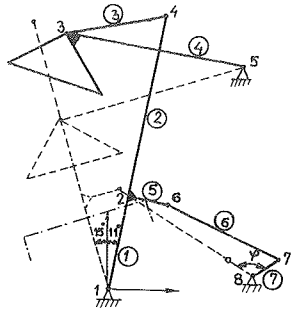
Na slici 1. šematski je prikazana presa sa mehanizmom za pritiskivanje odozdo. Za okretanje krivaje 4. za ugao φ vrši se pomoću pužnog reduktora i izaziva kretanje poluge 3. koja je zglobno vezana za viljušku 1. Za viljušku 1 zglobno je vezana i polugą 2 koja je drugim krajem zglobno vezana za donju pritisnu ploču. Za donju ploču čvrsto je vezana polugą 5 čiji se drugi kraj kreće po žljebu. Zglob 5 takodje se kreće po žljebu. Na taj način ostvaruje se zatvaranje alata (isprekidana linija), a obrtanje krivaje 4 u suprotnom smeru izaziva se udaljavanjem donje ploče i otvaranje alata(puna linija). Presa sa ovakvim mehanizmom imą velike gabarite , težinu a preciznog vodjenja je uslovljeno preciznošću vodjica. Ove prese moraju da se ukopavaju u pod da bi se moglo omogućiti opsluživanje prese.



Slika 1.

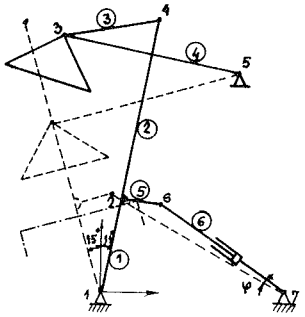
2.2. Jednopozicone prese sa mehanizmom za pritiskivanje odozgo

Na slici 2. šematski je prikazana presa sa mehanizmom za pritiskivanje odozgo sa mehaničkim pogonom. Za okretanjemk krivaje 7 za ugao φ pomoću pužnog reduktora ostvaruje se oscilatorno zaokretanje poluga 1 i 2 te se na taj način ostvaruje pritiskivanje alata (isprekidana linija). Obrtanjem krivaje 7 u suprotnom smeru izaziva se udaljavanje gornje ploče i otvaranje alata(punalinija). Dejstvom poluge 4 i pravovremenim isključenjem elektromotora obezbedjuje se paralelnost gornje i donje pritisne ploče u radnom položaju. U odnosu na prethodno opisan mehanizam , presa sa ovakvim mehanizmom ne mora da se ukopava u pod jer je donja ploča nepokretna i omogućeno je lakše opsluživanje prese. Takodje, ukupne gabaritne dimenzije su manje a presa je lakša.

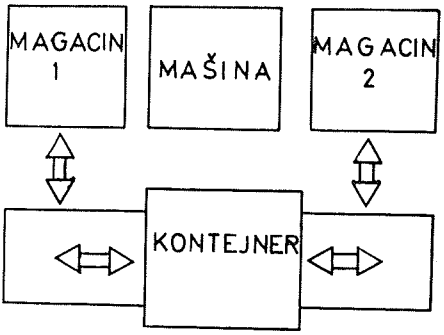


Slika 2.

Na slici 3. šematski je prikazana presa sa pritiskivanjem odozgo sa hidrauličnim pogonom.
Umesto krivaje 7 i poluge 6. ovde se koristi hidraulični cilindar 6. koji je povezan sa hidrauličnom instalacijom. Prednost ovakvog pogona je da ne može doći do preopterećenja a nedostatak je da je paralelnost ploča uslovljena pravovremenim isključenjem kretanja klipa kao i visoka cena hidraulične instalacije.



Slika 3.



Slika 4.

Za jednopozicione prese razvijen je program za kinematičku i kinetostatičku analizu mehanizma na računaru što je detaljno prikazano u radu /1/.

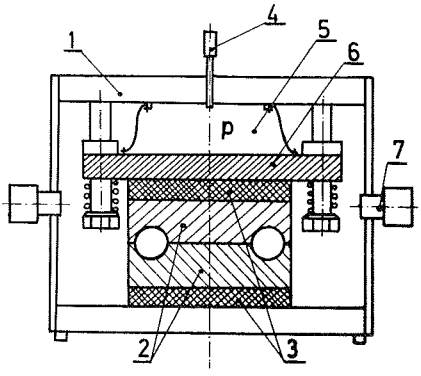
Analizirajući jednopozicione prese, mogu se uočiti sledeći nedostaci:

1. Vremensko iskorišćenje mašine je vrlo malo, jer ona služi uglavnom da drži alat pod pritiskom a mehanizam otvaranja i zatvanja realtivno se retko koristi.
2. Za svaki alat koristi se jedna mašina , što je veće ulaganje po jedinici proizvoda.
3. Potreban je veći prostor za smeštaj većeg broja mašina.
4. Potrebno je pažljivo podešavanje mašine, što može da utiče na različitost kvaliteta proizvoda kod raznih mašina a i do javljanja preopterećenja mašine, ako se izvrši prevremeno zatvaranje alata /1/.
5. Moguće je slabo iskorišćenje poslužioca u slučaju slabe sinhronizacije rada svih mašina u liniji.

3. VIŠEPOZICIONE PRESE

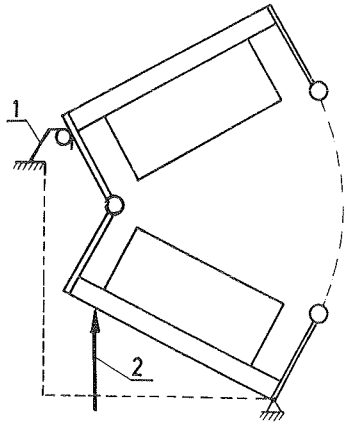
Nedostaci koji su uočeni kod jednopozicionih presa mogu se eliminisati uvodjenjem više pozicionih presa. Na slici 4. šematski je dat prikaz rada višepozicione prese koja se ovde predlaže. U Mašinu se dovodi kontejner sa alatom i vrši zatvaranje i otvaranje alata. Kontejner sa alatom ide u magacin 1. ili 2. koji primaju više pozicija (po 4 ili više) gde se vrši zagrevanje tj. vulkanizacija.

Na slici 5. šematski je dat izgled kontejnera sa alatom . Kroz nepovratni ventil 4. dovodi se vazduh pod pritiskom koji u vazdušnom dušeku 5. ostvaruje odredjen pritisak p koji preko pritisne ploče 6 ostvaruje odredjenu silu pritiska u alatu 2. koji se oslanja na grejače 3. Po ostvarenju potrebnog pritiska, odvaja se dovod vazduha od nepovratnog ventila 4. i kontejner sa alatom je spreman da ide u magacin 1. ili 2. gde se vrši proces vulkanizacije.



Slika 5.

Po isteku vremena vulkanizacije uzima se kontejner sa alatom iz magacina i uvodi u mašinu gde se vrši ispuštanje vazduha iz vazdušnog dušeka 5. i otvaranje kontejnera što je šematski prikazano na slici 6. Gornji deo kontejnera zakači se kukom 1. i dejstvom klipnjače cilindra 2. odozdo, dolazi do otvaranja kontejnera pošto se pre toga otkoči elektromagnetna brava. Sada se vadi vulkanizovana guma i stavlja nova spremna za vulkanizaciju. Spuštanjem klipnjače 2. vrši se zatvaranje kontejnera.Aktiviranjem elektromagnetne brave 7. (na sl. br.5), kontejner je pripremljen za ponovno punjenje vazdušnog dušeka 5(na slici 5).



Slika 6.

4. ZAKLJUČAK

Uporedjujući karakteristike prikazanih presa mogu se uočiti sledeće prednosti višepozicionih presa:

1. Sa jednom mašinom se poslužuje više alata te je njen vremenski stepen iskorišćenja znatno veći.
2. Na manjem prostoru je koncentrisana veća proizvodnja.
3. Postiže se veća produktivnost uz manje ulaganje po jedinici proizvoda.
4. Ostvaruje se kvalitetno naleganje oba dela alata.
5. Potreban je manji broj opslužioca.

5. LITERATURA

/1/ D.Domazet: Analiza pogonskog mehanizma presa za izradu unutrašnjih guma vozila pomoću računara, BIAM 1982,Zagreb.

/2/ Grupa autora - : Projektovanje i ispitivanje prototipa prese za vulkanizaciju unutrašnjih guma P-4, Institut Mašinskog fakulteta u Nišu , 1982.god.

/3/ Prospektni materijal raznih proizvodjača presa za vulkanizaciju.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GODINE

Bojan Rančić*

ANALIZA UTICAJNIH FAKTORA NA STEPEN PUNOĆE DIJAGRAMA IZVLAČENJA

R e z i m e

U radu je data analiza uticaja debljine lima i prečnika pripremka na stepen punoće dijagrama sila - hod za prvu operaciju izvlačenja bez stanjenja debljine zida omotača. Ostvaren je i eksperiment za konkretan materijal-ČO147. Planiranjem eksperimenta, primenom faktornog planiranja, dobijeni su izrazi za odredjivanje uticaja posmatranih faktora na stepen punoće dijagrama.

ANYLYSIS OF FACTORS WHICH INFLUENCE THE DEGREE OF PRESS DIAGRAM ABUNDANCE

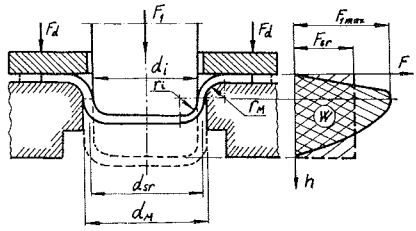
S u m m a r y

The article analyses the influence of sheet thickness and starting diameter on the degree of force-step diagram abundance for the first press operation without sheet thinning. An experiment has been made with JUS. ČO147. Equations for determing influence of observed factors have been provided by planing experiment.

1. U V O D

Da bi se dobio izraz za deformacioni rad za prvu operaciju izvlačenja (integraljenje analitičkog izraza za silu izvlačenja u funkciji hoda izvlakača) potrebno je da se uvedu neka fizička uprošćenja/1/:zanemaruje se uticaj očvršćavanja materijala,izvlačenje se vrši sa konstantnim pritiskom držača lima-slučaj idealnog izvlačenja, i radijus zaobljenja prstena za izvlačenje mora da bude znatno manji od dimenzija izvučenog elementa ($r_M/R_{sr} < 0,1$; sl.1, levo).

Zbog toga dobijeni rezultati znatno odstupaju od stvarnih vrednosti deformacionog rada. Suština uvodjenja stepena punoće dijagrama x ogleda se u tome da se dijagram sila-hod pri izvlačenju svede na pravu liniju paralelnu h-osi (F_{sr}=const ; sl. 1, desno).



Sl. 1.

*Bojan Rančić,dipl.inž. - asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, ul. Beogradska broj 14.

Kako je deformacioni rad isti u oba slučaja(površina ispod krive ostala je ista)njegova vrednost odredjuje se po izrazu:

$$W_l = \int_o^{h_l} Fdh = F_{sr}h_l = xF_lh_l \qquad (1)$$

gde su:

$x=F_{sr}/F_l$-stepen punoće dijagrama

F_l- maksimalna sila izvlačenja,

h_l- visina izvučenog elementa

Snimanje dijagrama sila-hod omogućuje da se jednostavnim planimetrisanjem odredi stvarna vrednost deformacionog rada i stepena punoće x. Poznavanjem vrednosti stepena punoće dijagrama za odredjene vrednosti koeficijenta izvlačenja($m_l=d_{sr}/D_o$) i smenom računski dobijenih vrednosti sile izvlačenja i visine izvučenog elementa,po izrazima datim u literaturi/1,2 i 5) sa zadovoljavajućom tačnošću dobijaju se vrednosti deformacionog rada.

2. PLANIRANJE,SPROVODJENJE I OBRADA REZULTATA EKSPERIMENTA

Analizom izraza za stepen punoće dijagrama kao merodavni faktori usvojeni su:debljina lima s, odnosno srednji prečnik $d_{sr}(d_{sr}=d_i+s, d_i=19,6$ mm=const),početni prečnik D_o i radijus zaobljenja prstena za izvlačenje r_M. Sva tri faktora(k=3) menjana su na dva nivoa(q=2).Primenjen je puni faktorni eksperiment,sa ciljem da se dobije regresiona jednačina tipa:

$$x = a_o + \sum_{i=1}^{k} a_iX_i + \sum_{i<j} a_{ij}X_iX_j + a_{123} \qquad (2)$$

gde su:

a_o - srednja vrednost u svim opitima;

a_i - koeficijenti regresije koji odražavaju uticaj pojedinih faktora ($i=1-s$; $i=2-D_o$ i $i=3-r_M$);

a_{ij} - koeficijenti koji obuhvataju efekte medjusobnog dejstva posmatranih faktora;

a_{123}- koeficijent koji obuhvata dejstvo sva 3 faktora istovremeno

x_i - kodirane vrednosti promenljivih.

Planiranje,sprovodjenje i obrada rezultata punog faktornog eksperimenta sastoji se iz sledećih etapa:kodiranje faktora ,sastavljanje plan-matrice eksperimenta,randomizacija opita,realizacija plana eksperimenta, provera ponovljivosti opita,ocena značajnosti koeficijenata regresije i provera adekvatnosti modela.

Kodiranje faktora vrši se jednačinom

$$X_i = \frac{x_i - x_{io}}{\delta_i}, \quad (i=1,2,3) \qquad (3)$$

gde su:

X_i- kodirana vrednost faktora na odgovarajućem nivou (gornji nivo +1,nulti 0 i donji nivo -1);

x_i- prirodna vrednost faktora na odgovarajućem nivou;

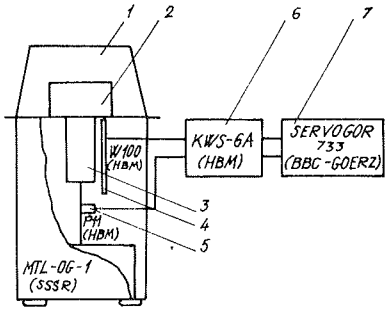
x_{io}-prirodna vrednost faktora na nultom,odnosno srednjem nivou;

δ_i- interval promene i-tog faktora.

Za konkretan slučaj,prirodne vrednosti promenljivih faktora su za:s u /mm/1 i 0,6; D_o u/mm/ 38 i 32 i r_M u /mm/ 3,5 i 2,5. Prirodne vrednosti na nultom nivou su, redom: 0,8; 35 i 3,0; dok su intervali promene : 0,2; 3 i 0,5 u/mm/ .

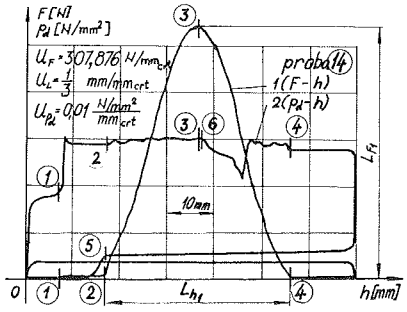
Plan matrice eksperimenta sastavlja se tako, da se dobiju sve kombinacije posmatranih faktora, a zatim se , po tablici slučajnih veličina vrši randomizacija, da bi se dobio slučajan redosled realizacije opita.

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na aparatu za simuliranje procesa izvlačenja. Na slici 2. data je kompletna blok shema mernog mesta. U radni prostor (poz.2) aparata(poz.1) postavljaju se pripremci od lima kvaliteta ČO147. Uključivanjem aparata vrši se izvlačenje cilindričnih elemenata. Nije korišćeno sredstvo za podmazivanje, pa je koeficijent kontaktnog trenja bio (μ =0,1/5/. Induktivni snimač puta (poz.4) priključuje se na izvlakač , a snimač pritiska (poz. 5) na cev za dovod ulja u glavni cilindar(poz. 3) . Izlazi iz snimača bili su priključeni na šestokanalni merni pojačivač (poz.6) a ovaj dalje na koordinatni pisač(poz.7). Snimač pritiska bio je postavljen i na cev za dovod ulja u cilindar držača lima.



Sl.2.

Pritisak držača lima bio je konstantan za sve probe, p_d=o,3 N/mm^2 . Na ovaj način snimljeni su dijagrami sila-hod(sl.3,kriva 1) i pritisak držača lima-hod(sl.3 ,kriva 2). Analizom dijagrama, omogućeno je da se tačno odredi vrednost hoda izvlačenja(deo 2-4 - proces izvlačenja pri konstantnom pritisku držača lima,pad pritiska držača u delu 3-4 uslovljen je gubljenjem površine dodira, sl.3 i sl.1), jer je ukupni radni hod veći od visine izvučenih delova.



Sl.3.

Kada je snimljen dijagram sila -hod sa poznatim razmerama za silu U_F kao i hod U_L,stepen punoće dijagrama odredjuje se po izrazu:

$$x = \frac{F_{sr}}{F_1} = \frac{W_1/h_1}{F_1} = \frac{A}{L_{F_1} L_{h_1}}, \qquad (4)$$

gde su:

A/mm^2/ - površina izmedju krive i h-ose;

L_{F_1}/mm/-dužina koja odgovara maksimumusile,

L_{h_1}/mm/ -dužina koja odgovara visini izvučenog dela.

Na osnovu eksperimentalno dobijenih podataka,po kriterijumu Kohrena,za α =o,o5, potvrdjena je hipoteza o jednorodnosti disperzija,što znači da bi se slični rezultati dobili i pri narednim ponavljanjima opita.

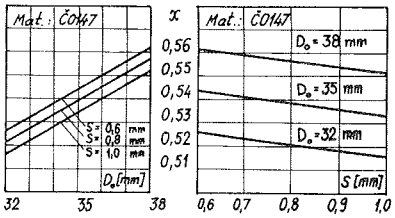
Po kriterijumu Studenta, sa α=o,o5,koeficijenti a_o=O,539; a_1=-O,OO5 i a_2=O,O18 predstavljaju statističke veličine (veći su po apsolutnoj vrednosti od Δa_i=O,OO27), dok svi ostali moraju da se zanemare. Regresionajednačinadobija oblik:

$$x=O,539-O,OO5X_1+O,O18X_2, \qquad (5)$$

ili prelaskom naprirodne vrednosti

$$x=O,349-O,O25s+O,OO6D_o \qquad (6)$$

Hipotezaо adekvatnosti modela potvrdjena je po kriterijumu Fišera pri α=O,O5.Detaljniji podaci o planiranju eksperimenta mogu da senadju u literaturi/3 i 4).Na osnovu jednačine(6) nacrtani su dijagrami na sl.4.



Sl.4.

Dijagrami na sl. 4. daju zavisnost stepena punoće dijagrama odD_o i s, a u literaturi se daju u zavisnosti od m_1.Zbog toga je plan eksperimenta 2^3 razbijen na dva plana 2^2. Regresone jednačine dobijaju se na istovetan način, kao i u prethodnom slučaju

za s=o,6 mm(s_r=1,5-1,9%)

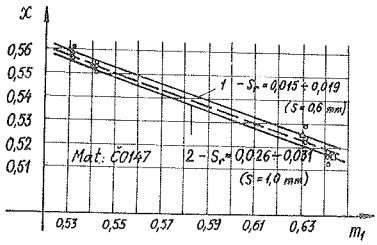
$$x = o,74 - o,34\ m_1; \qquad (7)$$

i

za s=1 mm(s_r=2,6-3,1%)

$$x=o,756-O,392\ m_1. \qquad (8)$$

Na sl.5. punom linijom nacrtani su dijagrami prema jednačinama(7 i 8) a isprekidanom linijom prema podacima prema kojima je dobijena jednačina(6).



Sl.5.

3. ZAKLJUČCI

Sa porastom debljine lima(srednjeg prečnika pri d_i=const, sl.1) opada,dok sa porastom početnog prečnika raste veličina stepena punoće dijagrama(sl.4 i jednačine(5 i 6)). Uticaj radijusa zaobljenja prstena za izvlačenje zanemaruje se u ovom slučaju, ali predznak-ispred koeficijenta regresije koji uzima u obzir ovaj uticaj(a_3=-0,0016) ukazuje da stepen punoće opada sa porastom radijusa r_M. Očigledno da je izabran mali interval promene ovog radijusa,jer je u radu(6) primenom takozvanog"prosejanog" eksperimenta utvrdjeno da uticaj radijusa r_M, ipak ne sme da se zanemari.

Sa porastom koeficijenta izvlačenja opada stepen punoće(sl.5 i jednačine(7 i 8)),što se slaže sa podacima datim u literaturi/5/. Eksperimentalno dobijene vrednosti stepena punoće niže su nego u /5/,što može da se objasni time da u /5/ nisu uzeti u obzir relativna debljina lima i vrsta materijala. Iako je eksperiment ostvaren za odnose $r_M/R_{sr} > 0,1$, trenutak dostizanja maksimuma sile(tačka 3 na sl. 3) podudara se sa teorijski odredjenom vrednošću nastajanja maksimuma sile (tačka 6. na sl.3-potpun obuhvat zaobljenih ivica prstena za izvlačenje i izvlakača).
Eksperimentalno dobijene vrednosti stepena punoće dijagrama i sile izvlačenja niže su od teorijski sračunatih. Zbog toga,dalja istraživanja u ovoj oblasti treba usmeriti u pravcu oblasti $r_M/R_{sr} < 0,1$, jer su za ove odnose i odredjeni teorijski dobijeni izrazi za silu i hod izvlačenja.

4. LITERATURA

/1/ STOROŽEV .M.,POPOV E.A., Teorija obrabotki metallov davleniem"Mašinostroenie" Moskva,1977.

/2/ STOILJKOVIĆ V., Teorijske osnove procesa oblikovanja lima deformisanjem,skripte,Mašinski fakultet, Niš,1980.

/3/ VINARSKIJ M.S.,LURE M.V.,Planirovanie eksperimentov tehnologičeskih issledovaniah,Kiev,1975.

/4/ STOILJKOVIĆ V., Laboratorijski praktikum sa teorijskim osnovama iz obrade plastičnom deformacijom,Niš,1980.

/5/ MUSAFIJA B., Obrada metala plastičnom deformacijom,Sarajevo,1972.

/6/ RANČIĆ B., Odredjivanje stepena punoće dijagrama izvlačenja, Seminar Katedre za precizno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu, Niš, 1981.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR,1982.

Bogdanov Ljubomir, dipl.maš.ing.*

PRILOG ANALIZI OPRAVDANOSTI PRIMENE KOVAČKIH VALJAKA

R e z i m e

Rad prikazuje jednu analizu opravdanosti koripćenja kovačkih valjaka u jednom delu pripreme materijala za završno oblikovanje kovanjem u kalupima. Ova analiza je izvršena na osnovu jedne analize tehnološkog procesa izrade delova kovanjem,klasifikacije tih delova, i nekih koncepcijskih rešenja alata.

S u m m a r y

A CONTRIBUTION TO AN ANALYSIS OF THE JUSTIFIABILITY OF USING FORGING ROLIS

The paper presents an analysis of the justifiability of using forging rolls in a part of the material preparation for the final shaping by closed die forging. The analysis has been made on the basis of an analysis of the technological process of manufacture of parts by forging, the classification of the part,and some conceptual solutions of the tools.

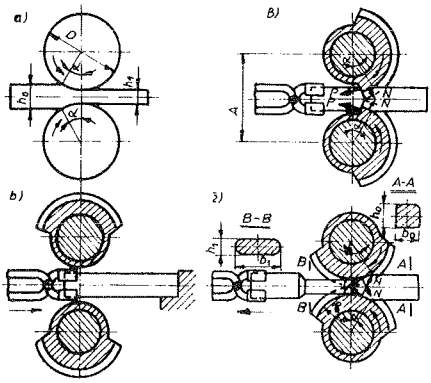
1. U V O D

Primena kovačkih alata za pripremno kovanje je sve više zastupljena u kovačnicama sa pr ogramom otkovaka tipa poluga i sličnih gde je potreban veći broj pripremnih gravura za matricirano kovanje. Kovački valjci su proste i visokoproduktivne mašine. Njihovom primenom smanjuje se broj pripremnih gravura na kalupu za kovanje na čekiću; omogućavaju primenu mehanizacije i automatizacije procesa i povećavaju produktivnost rada . Sve više se ubacuju uz kovačke agregate u svim zemljama sveta.

2. PROCES VALJANJA

Proces izrade pripremnih otkovakana kovačkim valjcima sličan je procesu valjanja .Ov de je periodično valjanje gde se mestimično menja poprečni presek a povećava dužina.Pop rečni preseci mogu biti različiti. Gravure alata su rasporedjeni po površini valjka a segmenti su složeni navratilu u paketu.Svako obrtanje valjaka sa jednim segmentom je jedna operacija.Mogu biti u nizu nekoliko segmenata. Princip rada prikazan jena slici 1.

**) BOGDANOV LJUBOMIR,dipl.maš.ing. šef razvojne laboratorije SOUR MIN i asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu.*



Sl.1.

3. KLASIFIKACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESA VALJANJA

Valjanje može biti sa ciljem profilisanja pripremka sa mestimičnim ubadanjima;i izrada otkovaka. Za sve vrste valjanja alat može biti sa jednom gravurom i sa više gravura. Valjanjem se mogu dobiti veoma tanki preseci što na čekiću nije moguće ili je veoma otežano. Mogu se otkovci kovati na čekiću ili HKM a izrada tankih preseka stabla obaviti na kovačkom valjku.

4. OPRAVDANOST PRIMENE KOVAČKIH VALJAKA PRI KOVANJU NA ČEKIĆIMA I PRESAMA

Program otkovaka poluga i sličnih sa promenljivim presecima do skora i još uvek kuju se na čekićima gde se za preraspodelu materijala prema definitivnom obliku koriste pripremne gravure za sabijanje , iskivanje i pripremno kovanje. Oni odnose 6o-8o% vremena izrade otkovka. Ubacivanjem u proces kovačkog valjka produktivnost se povećava za nekoliko puta. Napr:

- kovanje mašinskog ključa 32x36 na čekiću moguće je uraditi 555 u smeni.Sa primenom kovačkih valjaka učinak je 246o komada u smeni.
- Mašinski ključ 41x46, učinak je 2o6 komada /smena a sa valjanjem 116o komada po smeni.

Iz ovoga se vidi da je produktivnost povećana za oko četiri puta.

Valjanje pripremnih otkovaka odlikuje se tačnošću izrade,tako da može se i utrošak materijala smanjiti za 5-2o% što zavisi od oblika otkovaka. Naprimer:

- Kovanje poluge amortizera za vozila na čekiću radi seiz uložne mase 3,744 kgr (ø 45x3oo), a sa primenom kovačkih valjaka uložna masa je 3,246 kgr(ø 45x28o); ušteda jeo,498 kgr. odnosno 19,3%

U poslednje vreme orijentacija je kovanje otkovaka na Maxi presama primenom kovačkih valjaka za pripremno kovanje. Sve nove investicije isključuju primenu kovanja polužastih otkovaka na čekiću.Produktivnost kovačkih valjaka prema masi otkovaka,je:

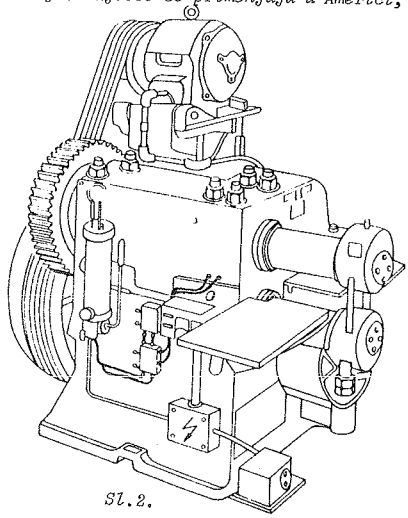
Masa otkovaka (kg)	1	2	3	4	5	6	7
Produktivnost kom/h	9oo	6oo	45o	25o	2oo	18o	

Prema jačini prese za kovanje sila kovačkog valjka je:

Sila prese (KN)	1oooo-16ooo	2oooo-25ooo
	315oo-4oooo	5oooo-63ooo

Sila kovač. valjka(KN)	25o-4oo	4oo-6oo	6oo-8oo
	8oo-1ooo		

Sve više su u primeni kovački valjci i to u kombinaciji sa kovačkim presama. Primenom kovačkog valjkaza kovanje radilice motora na Maxi presi produktivnost je za oko tri puta veća u odnosu na mehaniziranu liniju kovanja istih radilica na čekiću. Kovački valjci najviše se primenjuju u Americi,



Sl.2.

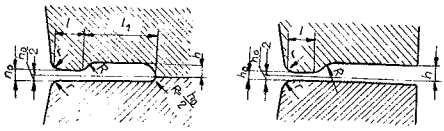
Kanadi, Čehoslovačkoj, Engleskoj, Japanu i drugim zemljama. Izgled kovačkog valjka dat je na slici 2.

5. METODOLOGIJA PRORAČUNA I PRISTUPI ZA KONSTRUKCIJU ALATA ZA KOVANJE NA KOVAČKOM VALJKU

U principu crtež otkovka je baza za proračun svih parametara. Poprečni presek uložnog materijala računa se prema obrascu:

$F_u = F_p + F_o$ *gde je:*

F_u	mm^2	*presek uložnog materijala*
F_p	mm^2	*presek "pripremnog" otkovka na proizvoljnom mestu*
F_o	mm^2	*presek magacina viška materijala (sl.3).*



a) za čekić *b) za Maxi presu*

Sl.3.

Na bazi gornjeg stava konstruiše se "reducirani" otkovak(sl.[illegible]) i iz dijagrama Rebeljskog odredi se oblast komplikovanosti otkovka odnosno vrste pripremnih gravura.

Postupak je sledeći:

- *Na odredjenim mestima izračuna se površina poprečnog preseka otkovka.*
- *Površina poprečnog preseka uveća se za magacin viška materijala(popunjen ?o%)*
- *Crtanje dijagrama preseka.*
- *Proračun prečnika reduciranog otkovka iz dijagrama preseka.*
- *Crtanje reduciranog otkovka koji je ujedno i pripremni otkovak za konstrukciju alata na kovačkim valjcima uz male modifikacije.*

6. PRORAČUN PREČNIKA ULOŽNOG MATERIJALA

Računa se prema maksimalnom preseku uz dodatak za obgorevanje

$F_{max} = \delta F_{max}$ *ot*

δ = *1,o13-1,o16 za zagrevanje materijala gasa*

δ = *1,o16-1,o2 za zagrevanje materijala mazutom*

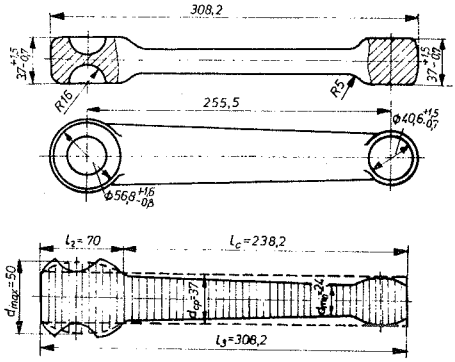
δ = *1,oo6 za indukciono zagrevanje*

Iz gornjeg uslova je:

$d_u = 1{,}13 \sqrt{F_{max}}$ *u* ..... *(2)*

7. ODREDJIVANJE BROJA PROLAZA

Pri valjanju naprimer pravouglog poprečnog preseka sa početnom visinom h_o širinom b_o i dužinom l_o posle valjanja imaće smanjenje visine do h_1 a povećanje širine na b_1 i dužine na l_1. Iz uslova jednakih zapremina dobijamo:



Sl.3a

$$\frac{V_1}{V_o} = \frac{h_1 b_1 l_1}{h_o b_o l_o} \quad \text{..... (3)}$$

Odnos dužine otkovka pre i posle valjanja zove se koeficijent izvlačenja(izduženje) i definiše se kao:

$$\lambda = \frac{l_1}{l_o} = \frac{l_o b_o}{l_1 b_1} = \frac{F_o}{F_1} \quad \text{..... (4)}$$

Maksimalni koeficijent izvlačenja(izduženja) je:

$$\lambda_{max} = \frac{F_u}{F_{min}} \quad \text{..... (5)}$$

Gde je: $F_u / mm^2 /$ *presek uložnog materijala*

$F_{min} / mm /$ *najmanji presek valjanja*

Valjanje se izvodi iz nekoliko prolaza pa je:

$\lambda_{max} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \ldots \lambda_n$ ..... *(6)*

Gde je:

$\lambda_1 = \frac{F_u}{F_1}$ $\lambda_2 = \frac{F_1}{F_2}$ $\lambda_3 = \frac{F_2}{F_3}$ .....

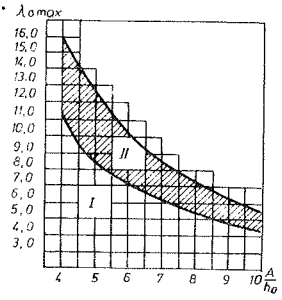
(Koeficijenti prvog, drugog, trećeg i n-tog izvlačenja). Ako su koeficijenti izvlačenja jednaki onda se izraz šest može napisati u obliku: $\lambda_{max} = \lambda_{sr}^{n}$ ..... *(7)*

Rešenjem jednačine(7 po n)dobijamo:

$$n = \frac{\log \lambda_{max}}{\log \lambda_{sr}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

Gde je: $_{sr}$ srednji koeficijent izvlačenja za jedan prolaz i preporučuje se vrednost 1,2-1,3 za jedan prolaz pri valjanju.

Broj prolaza valjanja može se odrediti iz grafika(sl.4).



Sl.4.

gde je: Λ-rastojanje izmedju ose valjaka
h_o-maksimalna visina ulož.mater.

8. IZBOR SISTEMA GRAVURA

Kod izbora sistema gravura pored parametra A/h_o treba još voditi računa o uglu zahvatanja α . Mora biti ispunjen uslov.

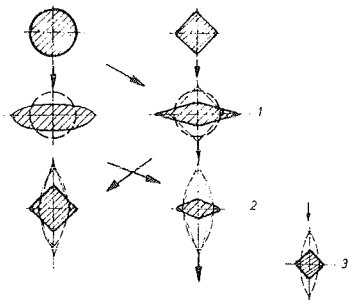
$$\alpha = 2\ \mu$$

μ-koeficijent trenja.Za ovalne gravure pri temperaturi kovanja od 1200-1150°C iznosi 0,25 a pri kovanju sa kvadratnim gravurama 0,30.
Veza izmedju ugla zahvatanja i apsolutne vrednosti sabijanja je:

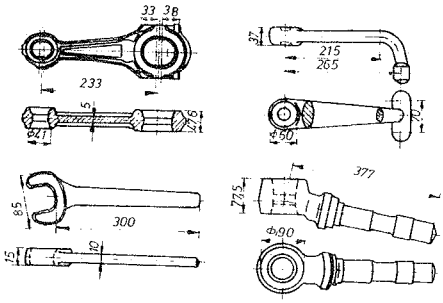
$h = h_o - h_1 = D_p(1-\cos\ )$.

D_p - prečnik alata

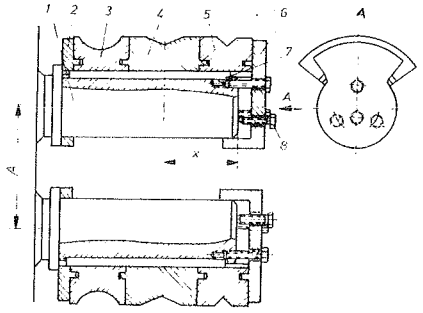
Promena oblika po fazama valjanja je prikazan na slici 5.



Sl.5.



Sl.6.



Sl.7.

Pogodni oblici za kovanje na valjcima prikazani su na slici 6. , a montažaalata na slici br. 7.

9. Z A K LJ U Č A K

KOvanje matriciranih otkovaka sa pripremom na kovačkim valjcima je savremen postupak. Izuzetno povećava produktivnost rada i uštede materijala. Složenaje konstrukcija i izrada alata, ali je vek alata veoma dug u odnosu na klasične alate. Zahteva se veliko iskustvo za konstrukciju alata. Izrada alata je komplikovana jer je kotiranje u lučnim merama. Rad na mašini je jednostavan cikličan i zamoran. Kvalitet otkovka u pogledu tačnosti je veći u odnosu na klasičan način izrade. Sve više ovakvi agregati su u primeni.

10. L I T E R A T U R A

/1/ MUSAFIJA B.Obrada metala plastičnom deformacijom,Sarajevo, 1979.

/2/ A.P.ATROŠENKO-Tehnologija gorjačei Valcovki,Lenjingrad,1969.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Mr Dragiša Vilotić,dipl.ing., asistent
Mr Miroslav Plančak, dipl.ing., asistent
Fakultet tehničkih nauka, OOUR Naučno-obrazovni
institut za proizvodno mašinstvo, 21000 NOVI SAD
Vladimira Perića-Valtera 2.

ISTRAŽIVANJE PARAMETARA PROCESA PRI SLOBODNOM SABIJANJU PARALELOPIPEDA PRIZMATIČNIM ALATOM

R e z i m e

Poznavanje parametara procesa pri hladnom zapreminskom deformisanju je od velikog značaja za izbor opreme pri projektovanju tehnološkog procesa izrade datog proizvoda. U ovom radu je dat prikaz odredjivanja deformacione sile kod slobodnog sabijanja paralelopipeda prizmatičnim alatom primenom metoda preseka i gornje granice uz eksperimentalnu proveru rezultata.

INVESTIGATION OF PARAMETER IN COMPRESSION PROCESS OF PARALLELOPIPED WITH PRISMATIC TOOLING

S u m m a r y

It is of the great interest to obtain the parameters in metal deformation processes. Those parameters are essential in choosing the tooling and machines for the process. In this paper the calculation of the main force in the compression process of parallelopiped with prismatic tooling is given. Two theoretical solutions are shown: slab method and upper bound method. Theoretical solutions are confirmed by means of experimental investigation.

1. Uvod

Istraživanje parametara procesa pri hladnom zapreminskom oblikovanju, jedan je od osnovnih zadataka primenjene teorije plastičnosti. Potreba za poznavanjem osnovnih parametara procesa (deformaciona sila i deformacioni rad) nastaje pri projektovanju tehnološkog procesa izrade zadatog obratka, kada je neophodno definisati i odgovarajuću opremu na kojoj se proces deformisanja izvodi.

Slobodno sabijanje paralelopipeda neograničene dužine prizmatičnim alatom, jedan je od vidova deformisanja profilisanim alatom. Odredjivanje deformacione sile za ovaj model deformacije u principu je moguće primenom različitih metoda teorije plastičnosti. U ovom radu ovaj problem je rešen primenom sledećih metoda:

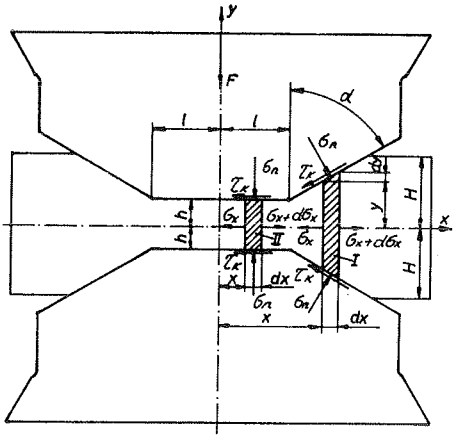
- rešavanjem približnih diferencijalnih jednačina ravnoteže (metoda preseka)
- metodom gornje granice i
- eksperimentalnim putem.

U nastavku je dat kratak sadržaj navedenih metoda sa opštim rešenjima, dok su sumarni rezultati za konkretne uslove deformisanja dati u tački 5.

2. Odredjivanje deformacione sile metodom rešavanja približnih deformacionih jednačina ravnoteže

Za odredjivanje deformacione sile pri slobodnom sabijanju paralelopipeda prizmatičnim alatom (sl.1) ovom metodom, bilo je neophodno najpre doći do komponenata napona u zoni deformisanja. Problem je rešen uz sledeće pretpostavke:

1. Pretpostavlja se ravansko deformaciono stanje u zoni deformisanja, tj. sma-



Sl.1-Slobodno sabijanje paralelopipeda prizmatičnim alatom

tra se da je $\varepsilon_z=0$.

2. Pretpostavlja se promenljivi tangencijalni napon na kontaktnoj površini alata i obratka, tj. $\tau_k=\mu\cdot\sigma_n$.

3. Pretpostavlja se konstantna vrednost deformacionog otpora u zoni deformisanja, tj. $k=\sigma_e=\text{const}$.

Uz ove pretpostavke, postavljanjem diferencijalnih jednačina ravnoteže za izdvojene elemente I i II (sl.1), uz korišćenje jednačine plastičnosti u obliku:

$$\sigma_n-\sigma_x=\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_e$$

dolazi se do rešenja za komponente napona u sledećem obliku [1]:

$$\sigma_{nI}=\frac{1,15\sigma_e}{\mu tg\,\alpha}\left[1-(1-\mu\cdot tg\alpha)\left(\frac{H}{y}\right)^{\mu tg\alpha}\right] \quad (1)$$

$$\sigma_{nII}=\frac{1,15\sigma_e}{\mu tg\alpha}\left[1-(1-\mu tg\alpha)\left(\frac{H}{h}\right)^{\mu tg\alpha}\right]\cdot e^{\frac{\mu}{h}(\ell-x)} \quad (2)$$

Integracijom normalnih napona po površini kontakta dobijaju se komponente deformacione sile:

$$F_I=\int_A\sigma_{nI}\cos\alpha dA=\frac{2,3\cdot Bh}{\mu}\sigma_e\left[\left(\frac{H}{h}\right)^{\mu tg\alpha}-1\right] \quad (3)$$

$$F_{II}=\int\sigma_{nII}dA=\frac{2,3\cdot Bh}{\mu^2 tg\alpha}\sigma_e\left[1-(1-\mu tg\alpha)\cdot\left(\frac{H}{h}\right)^{\mu tg\alpha}\right]\left(e^{\frac{\mu\ell}{h}}-1\right) \quad (4)$$

$$F=F_I+F_{II} \quad (5)$$

U prethodnim izrazima μ je koeficijent trenja, σ_e-efektivni napon koji je brojno jednak specifičnom deformacionom otporu k. Ostale oznake su prema sl.1.

Primenom jednačina (3),(4) i (5) moguće je odrediti deformacionu silu za bilo koji trenutak procesa deformisanja prizmatičnim alatom.

3. Metoda gornje granice

Za potrebe odredjivanja deformacione sile preko metode gornje granice pretpostavljeno je kinematsko polje koje se sastoji iz trouglastih blokova ABD, BCE i BDE (sl.2). (Zbog simetričnosti procesa prikazana je samo jedna njegova polovina). Unutar blokova ne postoji razlika u brzinama, tj. smatra se da nema deformisanja. Kruti blokovi klize jedan u odnosu na drugi, a granice izmedju pojedinih blokova predstavljaju linije (površine - ako se uzme u obzir i treća dimenzija) diskontinuiteta. Na linijama diskontinuiteta pojavljuju se tangencijalni naponi na granici smicanja, dok se na linijama AB i BC javljaju tangencijalni naponi usled kontaktnog trenja.

Osnovna jednačina gornje granice glasi [4]:

$$F\cdot v_A=\sum_{s=1}^{n}\tau_s v_s P_s \quad (6)$$

gde su:

F-sila deformisanja

v_A-brzina kretanja radnog organa mašine

τ_s-napon smicanja koji ima vrednost:

$\tau_s=\frac{\sigma_e}{\sqrt{3}}$, na diskontinuitetima brzina

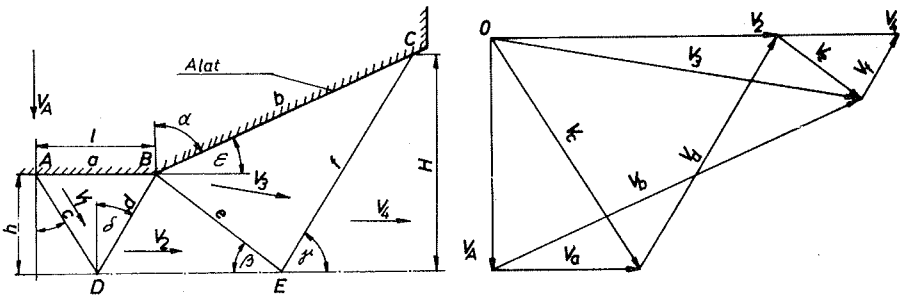
$\tau_s=m\frac{\sigma_e}{\sqrt{3}}$, na kontaktnim površinama

v_s-brzina na površinama diskontinuiteta

P_s-veličina površina diskontinuiteta

Primenom jednačine (6) na konkretan slučaj (sl.2) dobija se izraz za deformacionu silu u obliku:

$$F=\frac{1}{v_A}\frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}}\left[v_c P_c+v_d P_d+v_e P_e+v_f P_f+mv_a P_a+mv_b P_b\right] \quad (7)$$



Sl.2-a) Kinematika procesa; b) hodograf brzina

gde je:

σ_e-efektivni napon

$v_a, v_b, \ldots, v_f$-brzine na diskontinuitetima a,b...f

$P_a, P_b, \ldots, P_f$-površine odgovarajućih diskontinuiteta

$m=\mu\cdot\sqrt{3}$-faktor trenja

Sa prikazanog hodografa mogu se definisati analitički izrazi za pojedine brzine:

$$
\begin{aligned}
v_a &= V_A \operatorname{tg}\theta \\
v_e &= v_d = \frac{V_A}{\cos\theta} \\
v_2 &= 2V_c \sin\theta \\
v_b &= \frac{v_2 + V_A \operatorname{tg}(90-\beta)}{|\sin(180-\beta-\varepsilon)|}\sin\beta \\
v_e &= V_A\sqrt{1+\operatorname{tg}^2(90-\beta)} - \\
&\quad - \frac{v_2 + V_A \operatorname{tg}(90-\beta)}{|\sin(180-\beta-\varepsilon)|}\sin\varepsilon
\end{aligned}
\qquad (8)
$$

$$
v_f = V_e \frac{\sin\beta}{\sin\gamma}
$$

Površine diskontinuiteta

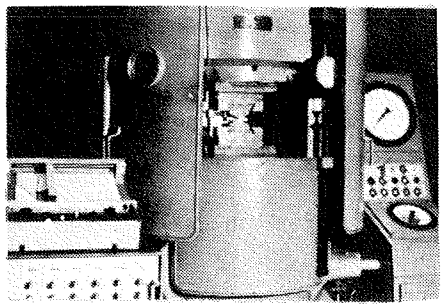
$$
\begin{aligned}
P_a &= \ell \cdot B \\
P_c &= P_d = \frac{h}{\cos\theta} B \\
P_e &= \frac{h}{\sin\beta} B \qquad (9) \\
P_f &= \frac{H}{\sin\beta} B \\
P_b &= \frac{H-h}{\sin\varepsilon} B
\end{aligned}
$$

U gornjim izrazima, veličina B predstavlja širinu uzorka. Efektivni napon u jednačini (7) u funkciji je efektivne deformacije, a ova zavisnost je eksperimentalno odredjena.

Zamenom izraza (8) i (9) u jednačinu (7) dobija se konačan izraz za deformacionu silu u zavisnosti od trenutne visine zone deformacije h odnosno hoda žiga s.

4. Eksperimentalna istraživanja

U laboratoriji za obradu deformisanjem Naučno-obrazovnog instituta za proizvodno mašinstvo, vršena su i eksperimentalna istraživanja deformacione sile pri slobodnom sabijanju paralelopipeda prizmatičnim alatom, pri čemu je korišćena oprema prikazana na sl.3.



Sl.3-Oprema za eksperimentalna istraživanja

Pločasti uzorci sabijani su pomoću prizmatičnih alata sa sledećim geometrijskim karakteristikama: $\alpha=65^0$, $\ell=4{,}5$ mm i $B_0=107$ mm. U toku procesa deformisanja kontinualno je registrovana zavisnost deformacione sile F od hoda alata s pomoću x-y pisača. Eksperimenje izveden na pločastim uzorcima od materijala Č1221 sa polaznom visinom u dva nivoa: $H_1=13$ mm i $H_2=18{,}5$ mm, i sa širinom tako-

dje u dva nivoa: B_1=30 mm, B_2=60 mm. Svaka eksperimentalna jedinica je ponavljana u randomiziranom redosledu 3 puta pod istim uslovima, tako da je ukupan broj uzoraka 12. Površine uzoraka su prethodno brušene, a podmazivanje tokom eksperimenta vršeno je mašinskim uljem.

Osim glavnog eksperimenta, izvedena su još dva dodatna eksperimenta pomoću kojih su odredjeni koeficijent trenja μ i kriva efektivnih napona (kriva tečenja) za dati materijal. Koeficijent trenja je odredjen metodom slobodnog sabijanja prstena [2] i ustanovljeno je da za date uslove iznosi μ=0,13.

Kriva tečenja odredjena je po metodi Rastegajeva [3], slobodnim sabijanjem cilindra sa udubljenjima na čeonim površinama. Dobijeni rezultati su aproksimirani eksperimentalnom zavisnošću efektivnog napona od efektivne deformacije $\sigma_e=86,74\cdot\phi_e^{0,19095}$ [daN/mm^2].

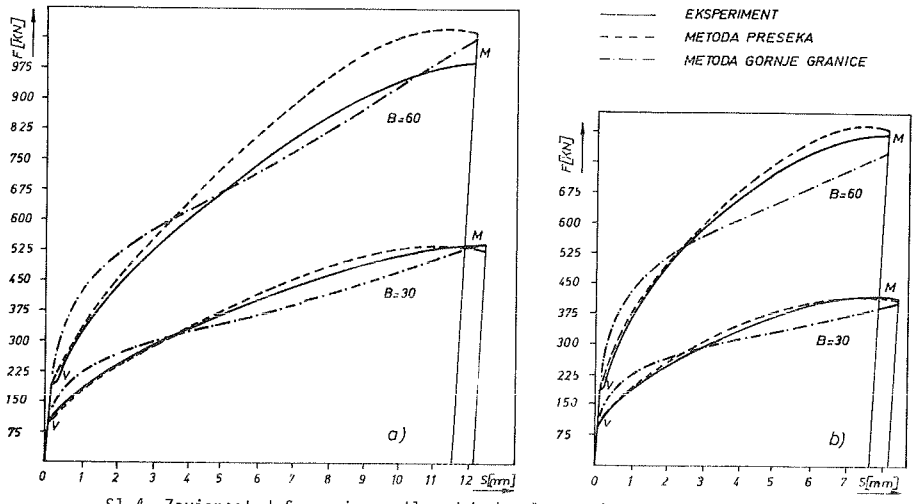
5. Rezultati istraživanja

Primenom izraza (5) za deformacionu silu,po metodi preseka,odn.primenom izraza(7) po metodi gornje granice,na uzorke iz tačke 4, odredjene su zavisnosti deformacione sile od hoda alata za konkretne slučajeve deformisanja paralelopipeda prizmatičnim alatom. Rezultati su radi preglednosti prikazani grafički na dijagramima (sl.4).

Na eksperimentalno dobijenim krivima jasno se uočavaju dve tačke: V-koja predstavlja početak plastičnog deformisanja i tačka M u kojoj je izmerena maksimalna vrednost deformacione sile i praktično predstavlja kraj procesa deformisanja, jer je u njoj dolazilo do razaranja uzoraka.

Poredjenjem rezultata dobijenih metodom rešavanja približnih diferencijalnih jednačina ravnoteže sa eksperimentalnim rezultatima, može se konstatovati zadovoljavajuće poklapanje, iako teorijski postupak kod svih uzoraka daje nešto više vrednosti deformacione sile. Razlika je uočljivija kod uzoraka veće polazne visine (sl.4a), dok je kod uzoraka početne vidine 2H=13 mm (sl.4b) ova razlika minimalna. Više vrednosti teorijski odredjene deformacione sile od izmerenih rezultata, verovatno su izazvane aproksimacijom stvarnih vrednosti deformacionog otpora u zoni deformisanja sa njegovom maksimalnom vrednošću.

Dobro poklapanje rezultata je ostvareno i kod uzoraka sa polaznom širinom B=30mm (sl.4), pa se može konstatovati da pretpostavka o ravanskom deformacionom stanju važi i u tom slučaju, što je potvrdjeno i merenjem geometrijskih parametara uzoraka.



Sl.4. Zavisnost deformacione sile od hoda alata: a) Uzorci polazne visine 2H=18,5 mm;b) Uzorci polazne visine 2H=13 mm.

Rezultati dobijeni metodom gornje granice takodje pokazuju relativno dobro poklapanje sa eksperimentalno dobijenim vrednostima. U početnom stadijumu deformisanja gornja granica daje nešto više vrednosti deformacione sile od izmerenih, a zatim se taj odnos menja da bi na kraju procesa maksimalna vrednost deformacione sile odredjena metodom gornje granice kod uzoraka sa polaznom visinom 2H=18,5 mm, bila veća od izmerene veličine, odnosno približno ista kod uzoraka manje početne visine (2H=13 mm).

Poboljšanje rešenja po metodi gornje granice pretpostavlja dalji rad na definisanju kinematskog polja u zoni deformisanja. U tom smislu od velike koristi bila bi eksperimentalna istraživanja kinematike procesa.

6. Zaključak

Prikazani teorijski postupci odredjivanja deformacione sile (metoda preseka i metoda gornje granice) pri slobodnom sabijanju paralelopipeda prizmatičnim alatom, pokazuju relativno dobro poklapanje sa eksperimentalnim vrednostima. Odstupanja su manja kod uzoraka manje polazne visine,što je i logično ako se ima u vidu da su obe metode primenjene uz pretpostavku ravanskog deformacionog stanja u zoni deformisanja. Odredjena poboljšanja su moguća i kod jedne i kod druge metode, što je svakako predmet daljih istraživanja.

Utvrdjene zavisnosti deformacione sile od hoda alata omogućuju odredjivanje deformacionog rada - drugog veoma značajnog parametra procesa, što u ovom slučaju nije prikazano zbog obimnosti rada.

L i t e r a t u r a

1. Vilotić,D.: Zavisnost pokazatelja naponskog stanja od stepena deformacije u kritičnoj tački obratka pri slobodnom sabijanju paralelopipeda prizmatičnim alatom, Obrada deformisanjem u mašinstvu br.7, N.Sad,1981.
2. Shey,J.: Metal Deformation Processes: Friction and Lubrication,M.Decker, Inc., New York, 1972.
3. Kroha,V.A.: Krivye upročnjenija metalov pri holodnoj deformacii, Mašinostroenije, Moskva, 1968.
4. Musafija,B.: Primjenjena teorija plastičnosti", II deo, Sarajevo, 1974.
5. Johnson,W.: Engineering Plasticity - Van Nostrand-London 1980
6. Rowe,G.W.: Principles of Industrial Metalworking Processes, Edward Arnold, London, 1977
7. Plančak,M.: Različite varijante primene metode gornje granice , Obrada deformisanjem u mašinstvu br.7, Novi Sad, 1981.
8. Stahlberg,U.: A Theoretical Study of Forging with Conical Dies, J. of Mech. Working Technology 4(1980)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Predrag Ćosić *)

UTJECAJ STANJA POVRŠINE NA TRENJE PRI DEFORMIRANJU ALUMINIJA

R e z i m e

U radu je ukazano na utjecajne i moguće utjecajne faktore pri različitim kombinacijama nivoa maziva, stupnjeva redukcije i nosioca maziva koji doprinose smanjenju koeficijenta trenja μ. Koeficijent trenja μ određivan je primjenom metode zaprešavanja prstenova (A.T.Male, M.G.Cockroft, M.Burgdorf).

THE INFLUENCE OF THE SURFACE'S CONDITION ON THE COEFFICIENT OF FRICTION OF ALUMINIUM UNDER CONDITIONS OF PLASTIC DEFORMATION

S u m m a r y

Realised by the ring-compression test (A.T.Male, M.G.Cockroft and M. Burgdorf), this work shows controled, possible sontroled factors and their interactions which decrease the coefficient of friction. It's done on the some different level's combination of lubricant, degree of reduction and condition of the surface.

1. Uvod

Različiti načini obrade metala deformiranjem uvijek su popraćeni i pojavom trenja na kontaktnoj površini alata i obrađivanog materijala. Na trenje utječe više utjecajnih faktora svojstvenih pojedinim tehnološkim procesima:

- mazivo (viskoznost i kem. sastav)
- površinska hrapavost
- pritisak
- temperatura
- brzina deformacije ($\dot{\varphi}$).

Neki od pomenutih faktora odabrani su i u navedenim ispitivanjima, kako zbog ograničenja nametnutih postojećom laboratorijskom

*) Predrag Ćosić, dipl.inž. strojarstva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Đure Salaja 1, 41000 Zagreb

opremom, tako i mogućnošću lakše primjene u proizvodnji.

2. Definiranje načina istraživanja

Saznanja dobivena tokom dosadašnjih ispitivanja koeficijenta trenja μ (1) te iskustva ostalih autora, dovela su do ideje ispitivanja utjecaja površinskih nemetalnih prevlaka (fosfati, oksalati) na metalnom izradku te maziva i stupnja redukcije na veličinu koeficijenta trenja. Materijal (99,9 % Al - deformiran pri sobnoj temperaturi), alat i stroj (industrijska hidraulička preša 40 t) odabrani su, kako zbog jednostavnosti izvođenja pokusa, tako i zbog moguće usporedbe s prijašnjim istraživanjima obavljanim na FSB. Odabrana je kvaliteta površine dobivene tokarenjem (R_a = 1,5 μm ; R_{max} = 7,6 μm) što predstavlja očekivanu, približnu, kvalitetu površine i u proizvodnim uvjetima. Odabrano stanje površine diktirat će, vjerojatno, mehanizam trenja najviše zasnovan na adhezijsko-deformacionoj teoriji. Dakle, realno je za očekivati pojavu lokalnih zavara, a time i većih smičnih naprezanja tj. veće sile trenja.

Da bi se smanjio koeficijent trenja odabrane su dvije nemetalne prevlake na površini izradka - oksidna i fosfatna. Dosadašnja iskustva su pokazala da te prevlake -"nosioci maziva" povećavaju površinsku hrapavost radi bolje kontaminacije mazivom te time smanjuju i opasnost kontakta metal - metal. Na taj način smanjuje se i mogućnost stvaranja zavarenih spojeva vrhova neravnina.

Koeficijent trenja μ određivan je Burgdorfovom metodom slobodnog kovanja metalnih prstenova, zasnovanoj na istraživanjima A. T.Male, M.G.Cockroft te M.Kunogia. Metoda je odabrana, kako radi jednostavne primjene, tako i moguće usporedbe s prijašnjim istraživanjima.

Kao matematički model odabrani su faktorski plan pokusa sa združivanjem faktora nejednakih nivoa te čisti faktorski plan.

Kao utjecajni faktori odabrani su:

- nosilac maziva (stanje površine)
- stupanj redukcije
- mazivo.

Način predobrade uzoraka kao i sam način eloksiranja i fosfatiranja, opisan je u (4). Stupanj redukcije određivan je graničnim prestenovima.

Odmašćivanje uzoraka i alata prije prešanja, obavljano je trikloretilenom. Zbog izrazite neravnomjernosti deformacije na unutraš - njoj površini prstena, mjerenje je obavljeno pomičnom mjerkom, prilagođenoj za primjenu ove metode. Mjereno je 6 vanjskih (rubnih) promjera otvora prstena i 3 unu - trašnja promjera te računana aritmetička sredina.

Prvi plan pokusa je 3x3x2 s 2 ponavljanja (žareni uzorci):

A "nosilac maziva"

- A_1 - dostavno stanje površine
- A_2 - eloksiran
- A_3 - fosfatiran

B "mazivo"

- B_1 ulje SAE 90
- B_2 MoS_2
- B_3 cink.stearat

C "stupanj redukcije"

- C_1 h_1 = 5,6 mm
- C_2 h_1 = 3,9 mm

Budući da se htjelo potvrditi konstatacije pokusa 3x3x2 s 2 ponavljanja, koncipiran je novi pokus 3x3 s 3 ponavljanja za nežareno stanje uzoraka, pri stupnju redukcije h_1=3,9 kako slijedi:

A "nosilac maziva"

- A_1 - dostavno stanje površine
- A_2 - eloksiran
- A_3 - fosfatiran

B "mazivo"

- B_1 ulje SAE 90
- B_2 MoS_2
- B_3 cink.stearat

Treći plan pokusa je 2x3 s 2 ponavljanja (nežareni uzorci):

A "stupanj redukcije"

A_1 h_1 = 5,6 mm

A_2 h_1 = 3,9 mm

B "mazivo

B_1 ulje SAE 90

B_2 cink. stearat

B_3 88,56 % SAE 90
11,44 % cink.stearat.

Dobivene vrijednosti za μ u sva tri pokusa (Tablica 1, Tablica 2, Tablica 3) podvrgnute su analizi varijance i F- testu.

3. Analiza rezultata

	A_1			A_2			A_3			
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	
C_1	0,105	0,105	0,150	0,241	0,150	0,155	0,110	0,112	0,150	2,684
	0,100	0,131	0,145	0,242	0,283	0,183	0,08	0,092	0,150	
C_2	0,073	0,098	0,147	0,793	0,244	0,165	0,160	0,158	0,158	2,818
	0,069	0,098	0,158	0,250	0,259	0,171	0,098	0,094	0,145	
	0,347	0,432	0,600	1,006	0,936	0,674	0,448	0,456	0,603	5,502

Tablica 1

a Pokus 3x3x2 s 2 ponavljanja (Tablica 1) ukazuje na značajnost faktora "nosilac maziva" pri vjerojatnosti od 95 % odnosno 99 % te interacije "nosilac maziva - mazivo" pri 95 % vjerojatnosti. Indeks determinacije procijenjen je na 80,7 %.
Konstatiran je slijedeći poredak nosioca maziva (max-min):

1. dostavno stanje
2. fosfatiran
3. eloksiran

Interakcije "nosilac maziva - mazivo" dala je najbolji rezultat pri nivoima faktora "dostavno stanje"-SAE 90 (A_1B_1). Utjecaj brzine deformacije na μ nije moguće iz dobivenih podataka jasno razlučiti, te je, stoga, sadržan u grešci eksperimenta.
Pokus 3^2 s 3 ponavljanja ukazuje na izrazitu značajnost djelovanja faktora "nosilac maziva" i značajnost interakcije "nosilac maziva - mazivo" pri vjerojatnosti od 95 % odnosno 99 % te faktora "mazivo" pri vjerojatnosti od 95 %.

Koeficjent determinacije je procijenjen sa 92,66 %. Utjecaj maziva (Tablica 2) na μ rangiran je na slijedeći način (max-min):

1. cink.stearat
2. ulje SAE 90
3. MoS_2

Cink stearat je daleko najbolji kod eloksirane površine dok se SAE 90 najbolje pokazalo kako kod nivoa "dostavno stanje" tako i kod fosfatirane površine. Poredak utjecajnosti SAE 90 i MoS_2 donekle odstupa od konstatacija iznijetih u (1) tj. MoS_2 se bolje pokazao od SAE 90 pri velikoj redukciji na smanjivanju μ što vjerojatno treba pripisati mehanizmu djelovanja zaštitne prevlake (nosioca maziva).

	B_1	B_2	B_3	
A_1	0,113	0,123	0,139	1,057
	0,083	0,091	0,138	
	0,096	0,128	0,146	
A_2	0,283	0,244	0,141	1,862
	0,236	0,264	0,131	
	0,194	0,241	0,128	
A_3	0,113	0,118	0,141	1,093
	0,114	0,127	0,127	
	0,107	0,117	0,129	
	1,339	1,453	1,22	4,012

Tablica 2

Utjecaj maziva na μ rangiran je kako slijedi (max-min):

1. dostavno stanje

2. fosfatiran
3. eloksiran

Konstatacije pod a) i b), što se tiče no - sioca maziva, identične su te bi bilo uputno provesti daljnja istraživanja u cilju boljeg razumijevanja funkcije "nosioca maziva". Interakcija "mazivo - nosilac maziva" najniža je pri nivoima faktora "dostavno stanje" - SAE 90 (A_1B_1). Ovaj zaključak se podudara sa zaključkom pod a) te je odlučeno da se kao novi nivo, za treći plan pokusa, uvede kombinacija nivoa cink.stearat + SAE90.

c)

	B_1	B_2	B_3	
A_1	0,105 0,100	0,150 0,145	0,058 0,056	0,614
A_2	0,073 0,069	0,147 0,158	0,064 0,058	0,569
	0,347	0,600	0,236	1,183

Tablica 3

Pokus 2x3 s 2 ponavljanja upozorava na veoma izraženu značajnost faktora "mazivo" pri vjerojatnosti 95 % i 99 %, značajnost faktora "stupanj redukcije" pri vjerojatnosti 95% te značajnosti interakcije "mazivo-stupanj redukcije" pri vjerojatnosti 95 % tj. 99 %. Zanimljivo je pogledati rangiranje "maziva" u ovisnosti od stupnja redukcije (max-min):

h_1=5,6 mm
1. cink.stearat + SAE 90
2. SAE 90
3. cink.stearat

h_2= 3,9 mm
1. cink.stearat + SAE 90
2. SAE 90
3. cink.stearat

Ovakav poredak vrijedi i za opći slučaj. Koeficijent determinacije procijenjen je na 99,39 %.

3. Zaključak

Na osnovu predočenih rezultata istraživanja može se zaključiti slijedeće:

- u pokusu 3x3x2 s 2 ponavljanja postoji značajno djelovanje faktora "nosilac maziva" i interakcije "nosilac maziva - mazivo"
- u pokusu 3x3 s 3 ponavljanja uočljivo je veoma značajno djelovanje faktora "nosilac maziva" te značajno djelovanje faktora "mazivo" i interakcije "mazivo - nosilac maziva"
- u pokusu 2x3 s 2 ponavljanja zapaženo je veoma značajno djelovanje faktora "mazivo" te značajno djelovanje faktora "stupanj redukcije" i interakcije "mazivo - stupanj redukcije".

Daljnja istraživanja mogla bi se usredotičiti na:

1. pouzdanije određivanje utjecaja "nosioca maziva"
2. uvođenje novog faktora u razmatranja "prosječna brzina deformacije"
3. uvođenje faktora "vrijeme kemijske reakcije" (mazivo i nosilac maziva)
4. daljnja istraživanja radi dobivanja regresione funkcije za različite % cink. stearata u SAE 90 u cilju nalaženja njezinog optimuma pri minimalnom - koeficijentu trenja .

Literatura:

1. Povrzanović A.: Separat neobljavljenog rada
2. Hadživuković S.: Planiranje eksperimenata, Privredni pregled, Beograd, 1977.
3. Ćosić P.: Analiza utjecajnih faktora radi dobivanja jednoosno napregnutog stanja kod određivanja naprezanja plastičnog oblikovanja k_f, referat za II. Jug. simpozij o teoriji plastičnosti, Plitvice, 1982.
4. Povrzanović A.: Utjecaj podmazivanja na provlačenje aluminija, referat za XVI Savj • proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1982.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Ilija Trbojević*

ODREDJIVANJE FUNKCIJE STEPENA DEFORMACIJE U PROCESU OBRADE VUČENJEM

R e z i m e

U radu se daje izvodjenje funkcije stepena deformacije u procesu obrade metala hladnim vučenjem. Kao osnova za izvodjenje poslužio je izraz za napon vučenja po Avitzur-u. Napon tečenja izražen je u funkcionalnom obliku $k=C\phi^n$, a svi uticajni parametri, radi uopštenosti, dati su u relativnom obliku.

BESTIMMUNG DER FUNKTION DES UMFORMGRADES IN ZIEHPROZESSEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

In dieser Arbeit ist die Ausarbeitung der Funktion des Umformgrades in Kaltziehprozessen dargestellt. Basis für diese Analyse war der Ausdruck für Ziehspannung von Avitzur. Dabei ist Fließspannung mit dem Ausdruck $k=C\phi^n$ definiert. Alle Einflußparametern sind als bezogene Größe gegeben.

1. UVOD

Pri projektovanju tehnološkog procesa obrade vučenjem koji se, s obzirom na zatežući karakter deformacione sile izvodi sa relativno malim stepenom deformacije u jednoj operaciji, od posebnog je značaja pravilno odredjivanje veličine stepena deformacije na pojedinim stupnjevima obrade. Da bi se mogao ostvariti što manji broj operacija obrade neophodno je bliže poznavanje karaktera zavisnosti stepena deformacije od svih uticajnih faktora.

Veličina stepena deformacije koja se može ostvariti pri zadatim uslovima odvijanja procesa predstavlja meru deformabilnosti materijala za date uslove. Deformabilnost pri obradi vučenjem zavisi od faktora materijala i faktora naponskog stanja. Uticaj temperature i brzine deformacije pri hladnom vučenju sa uobičajenim brzinama može se zanemariti.

Kao osnova za odredjivanje funkcije stepena deformacije može da posluži izraz za napon vučenja u kom figurišu, pored ostalih parametara naponskog stanja,i parametri materijala (preko napona tečenja). Napon tečenja je pri tom potrebno izraziti u odgovarajućem funkcionalnom obliku, s obzirom na njegovu zavisnost od stepena deformacije.

2. FUNKCIJA STEPENA DEFORMACIJE

Da bi se došlo do funkcije stepena deforma-

* Mr Ilija Trbojević, dipl.maš.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka, OOUR NO Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

cije pošlo se od poznatog i proverenog izraza za napon vučenja prema Avitzur-u [1], koji glasi:

$$\sigma_a = \frac{k_{sr}}{(1+2\mu\frac{L}{R_a})}\left(\frac{\sigma_b}{k_{sr}} + 2f_1(\alpha)\ell n\left(\frac{D_b}{D_a}\right)+\frac{2}{\sqrt{3}}f_2(\alpha)+\right.$$

$$\left.+2\mu\left\langle ctg\alpha\left|1-\frac{\sigma_b}{k_{sr}}\right. -\ell n\left(\frac{D_b}{D_a}\right)\right|\ell n\left(\frac{D_b}{D_a}\right)+\frac{2L}{D_a}\right\rangle \quad (1)$$

gde su:

$$f_1(\alpha)=\frac{1}{\sin^2\alpha}\left|1-(\cos\alpha)\sqrt{1-\frac{11}{12}\sin^2\alpha}+\frac{1}{\sqrt{11\cdot 12}}\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\ell n\frac{1+\sqrt{\frac{11}{12}}}{\sqrt{\frac{11}{12}}\cos\alpha+\sqrt{1-\frac{11}{12}\sin^2\alpha}}\right| \quad (2)$$

$$f_2(\alpha)=\frac{\alpha}{\sin^2\alpha}-ctg\alpha,$$

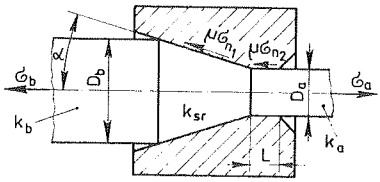
k_{sr}-srednja vrednost napona tečenja u zoni deformacije,

σ_b-napon protivzatezanja,

μ - koeficijent trenja,

α - ugao nagiba konture konusno-konvergentnog kanala alata,

D_b, D_a-ulazni i izlazni prečnik vučenog materijala.



Sl. 1

Ako se uvede analitički izraz za krivu deformacionog ojačavanja u obliku:

$$k = C\phi^n,$$

može se napisati da je srednja vrednost napona tečenja:

$$k_{sri}=\frac{\int_{\phi_{pi}}^{\phi_{pi}+\phi_i} k\,d\phi}{\phi_i}=\frac{C\left|(\phi_{pi}+\phi_i)^{1+n}-\phi_{pi}^{1+n}\right|}{(1+n)\phi_i}=$$

$$=\frac{k_{ai}(\phi_{pi}+\phi_i)-k_{bi}\phi_{pi}}{(1+n)\phi_i} \quad (3)$$

gde je:

ϕ_i-veličina logaritamskog stepena deformacije u i-toj operaciji višestepenog procesa,

ϕ_{pi}-stepen prethodne deformacije (jednak zbiru deformacija na prethodnim stupnjevima),

C,n-konstantni parametri krive tečenja, kao karakteristike materijala.

Uvodeći aproksimaciju:

$$k_{sri} \cong \frac{k_{bi}+k_{ai}}{2} \quad (4)$$

dobija se:

$$k_{bi} = k_{ai}\frac{2\phi_{pi}+(1-n)\phi_i}{2\phi_{pi}+(1+n)\phi_i} \quad (5)$$

odnosno:

$$k_{sri}=\frac{1}{2}(k_{bi}+k_{ai})=k_{ai}\frac{2\phi_{pi}+\phi_i}{2\phi_{pi}+(1+n)\phi_i} \quad (6)$$

Dalje se, radi uopštavanja, mogu uvesti smene:

$\frac{\sigma_b}{k_{sr}} = \xi$-kao relativni napon protivzatezanja,

$\frac{L}{D_a} = m$ - relativna dužina kalibrirajuće zone kanala alata,

$2\ell n\frac{D_b}{D_a} = \phi_i$-logaritamski stepen deformacije u i-toj operaciji.

Stavljajući usvojene smene u izraz (1) i uvodeći relativni napon vučenja:

$$\nu = \frac{\sigma_{ai}}{k_{ai}}, \quad (7)$$

čija recipročna vrednost približno odgovara stepenu sigurnosti protiv kidanja

$\left(\frac{1}{\nu}=\frac{k_a}{\sigma_a}\cong\frac{\sigma_{Ma}}{\sigma_a}\right)$, biće:

$$\nu = \frac{2\phi_{pi}+\phi_i}{\left|2\phi_{pi}+(1+n)\phi_i\right|(1+4\mu m)}\{\xi+f(\alpha)\phi_i+$$

$$+\frac{2}{\sqrt{3}}f_2(\alpha)+2\mu\left\langle ctg\alpha\left|1-\xi-\frac{1}{2}\phi_i\right|\frac{1}{2}\phi_i+2m\right\rangle\} \quad (8)$$

Daljim sredjivanjem ove jednačine dobija se funkcija stepena deformacije u obliku polinoma trećeg stepena:

$$a\phi_i^3 + b\phi_i^2 + c\phi_i + d = 0 \quad (9)$$

gde su koeficijenti dati izrazima:

$a = \mu ctg\alpha$,

$b = 2\left|a(\phi_{pi}+\xi-1)-f_1(\alpha)\right|$,

$$c = 2\{(1+n)(1+4\mu m)\nu-\xi-\frac{2}{\sqrt{3}}f_2(\alpha) - 4\mu m -$$

$$- 2\phi_{pi}|f_1(\alpha)+a(1-\xi)|\},$$

$$d = 4\phi_{pi}|(1+4\mu m)\nu-\xi-\frac{2}{\sqrt{3}}f_2(\alpha)-4\mu m|.$$

S obzirom na glomaznost jednačine i na veliki broj parametara koje pri proračunu treba varirati, njeno rešavanje i analizu uticaja pojedinih parametara teško je obaviti bez pomoći računara.

3. RAČUNSKA PROVERA

Pre izrade programa može se izvršiti provera dobijene funkcije sa izvesnim uprošćenjem. Ako se uzme u razmatranje samo prva operacija, biće $\phi_{p1}=0$ (odnosno d=0), pa se dobija kvadratna funkcija u obliku:

$$a'\phi_i^2 + b'\phi_1 + c' = 0 \qquad (10)$$

gde je:

$a' = a = \mu ctg\alpha,$

$b' = 2|a(\xi-1)-f_1(\alpha)|,$

$$c' = 2|(1+n)(1+4\mu m)\nu-\xi-\frac{2}{\sqrt{3}}f_2(\alpha)|.$$

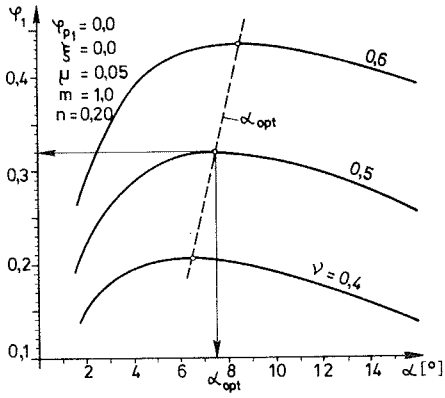
Funkcija (11) ima jedno pozitivno rešenje:

$$\phi_1 = -\frac{b'}{2a}+\sqrt{(\frac{b'}{2a})^2-\frac{c'}{a}} \qquad (11)$$

Ako se za proračun usvoje tri vrednosti relativnog napona vučenja iz područja realne primene i to: ν=0,4; 0,5; 0,6, a za ostale parametre vrednosti: ξ=0,0; μ=0,05; m=1,0; n=0,20, (što sve približno može da odgovara vučenju niskougljeničnog čelika), a ugao konusa alata se pri tom varira u intervalu: α=2 - 16 $|^o|$, dobijaju se rezultati koji su predstavljeni grafički na sl.2.

Kao što se vidi na slici, funkcija stepena deformacije ima maksimum pri odredjenom (optimalnom) uglu α_{opt}, što je i očekivano na osnovu oblika funkcije napona vučenja, koja pri optimalnom uglu ima minimum.

S druge strane, dobijene maksimalne vrednosti stepena deformacije su realne u poredjenju sa vrednostima koje se primenjuju pri vučenju žice iz niskougljeničnog čelika, a isto važi i za vrednosti optimalnog ugla.



Sl. 2

Veličina dozvoljenog (moglo bi se raći i optimalnog) relativnog napona vučenja, sa kojim se može raditi sa dovoljno pouzdanosti, zavisi od faktora materijala kao i od konkretnih uslova odvijanja procesa obrade i obično se kreće u granicama ν=0,4-0,7.

4. ZAKLJUČAK

Prikazana funkcija stepena deformacije, koja se može nazvati i funkcijom pokazatelja deformabilnosti, obuhvata veći broj uticajnih parametara koji definišu stanje materijala, uslove trenja, geometrijske karakteristike alata kao i intenzitet zatežućih napona, što implicitno može da se napiše kao:

$$\phi_i = \phi_i(n,\phi_p,\nu,\mu,\alpha,m,\xi)$$

Za kompleksnu i brzu analizu uticaja pojedinih parametara neophodno je izvršiti proračun pomoću računara, sa variranjem svih parametara u odredjenom broju nivoa.

Bezdimenzioni oblik parametara omogućuje izvesnu uopštenost i širu primenu proračunom dobijenih rezultata.

5. LITERATURA

|1| Avitzur,B.: Metal Forming-Processes and Analysis, New York, 1968

|2| Zünkler,B.: Berechnung der Kräfte und der Formänderungen..., Draht, 11/1969

|3| Trbojević,I.: Prilog istraživanju optimalnih geometrijskih parametara konusno-konvergentnog alata za obradu metala vučenjem, Mag. rad, Novi Sad, 1981.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GODINA

Lazarević Dragoljub*

UTICAJ TEMPERATURE NA ZATEZNU ČVRSTOĆU I IZDUŽENJE NEKIH LEGURA ALUMINIJUMA

R e z i m e

U radu je, korišćenjem pasivnog eksperimenta jednoosnog istezanja, dat uticaj temperature na zateznu čvrstoću σ_m i relativno prekidno izduženje ε_{10} nekih legura aluminijuma. Dobiveni rezultati se odnose na konkretne legure, i ne mogu se kao takvi naći u literaturi, što ukazuje na značaj ovih eksperimentalnih rezultata za neposredne prerađivače ovih legura.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON TENSILE STRENGTH AND ELONGATION OF SOME ALUMINIUM ALLOYS

S u m m a r y

The paper presents - by the use of the passive experiment of monoaxial tension - the influence of temperature on the tensile strengtg σ_m and the relative elongation at break ε_{10} of some aluminium alloys. The results obtained apply to concrete alloys, and cannot, as such, be found in literature, which indicates the importance of these experimental results for direct processors of these alloys.

1. Uvod

Uopšte posmatrano, mehaničke karakteristike kao što su: specifični deformacioni otpor (K), pokazatelj plastičnosti (λ_p), zatezna čvrstoća (σ_m), maksimalno ravnomerno izduženje (ε_m) i prekidno izduženje (ε_{10}) zavise od: svojstva materijala, stanja strukture, brzine, temperature i stepena deformacije. Što znači, podatak o veličini K, λ_p, σ_m, ε_m i ε_{10} za odredjeni materijal važi samo za odredjenu konkretnu temperaturu i brzinu deformacije, kao i za odredjeno stanje strukture, dok se za neke druge vrednosti navedenih uticajnih faktora (druge uslove deformisanja) mora izvršiti ponovni eksperiment ili pak odgovajuća korekcija.

Eksperimentalna istraživanja imaju za cilj postavljanje empirijskih izraza, nomograma ili dijagrama za odredjivanje mehaničkih svojstava, koji nemaju uopšteni karakter, jer se odnose na konkretno izabrane uslove deformisanja.

Istraživanje uticaja temperature, brzine i stepena deformacije na mehanička svojstva metala je veoma složen problem. Stoga je uobičajeno da se uticaj brzine deformacije razmatra posebno za neku odredjenu temperaturu, a takodje i uticaj temperature pri odredjenoj brzini deformacije.

*Lazarević Dragoljub, dipl.maš.ing. asistent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14.

Temperatura koja utiče neposredno na promenu pokretljivosti atoma, kao i složeni fizičko-hemijski procesi, koji se odigravaju sa različitim brzinama deformacije u deformisanom metalu, daju različit konačan efekat očvršćavanja i razočvršćavanja.

Pri korišćenju pasivnog eksperimenta, uticaj brzine deformacije razmatra se posebno za neku odredjenu temperaturu, a takodje i uticaj temperature pri odredjenoj brzini deformacije. Što znači, iznalaze se dijagrami nominalnih napona u zavisnosti od izduženja pri konstantnoj brzini deformacije i promenljivoj temperaturi, ili pri konstantnoj temperaturi, a promenljivoj brzini deformacije.

U ovom radu je korišćenjem pasivnog eksperimenta jednoosnog istezanja, razmatran uticaj temperature na zateznu čvrstoću (σ_m) i relativno prekidno izduženje (ε_{10}) nekih aluminijumskih legura.

2. Sprovodjenje eksperimenta

Za snimanje uticaja temperature na mehaničke karakteristike aluminijumskih legura korišćen je eksperiment jednoosnog istezanja. Za ovaj eksperiment korišćeno je 8 aluminijumskih legura koje su dobijene u RO "Djuro Salaj" u Nišu. Epruvete za ovaj eksperiment su standardnog oblika početke dužine l_o = = 100 mm i prečnika d_o = 10 mm, na čijim glavama su narezani navoji.

Ispitivanja su vršena na klasičnoj "AMSLER" kidalici, na kojoj je bila instalirana "AMSLER"-električna peć za eksperiment istezanja pri povišenim temperaturama.

Za legure aluminijuma D-1, D-2, D-4 i D-5 snimani su dijagrami nominalnih napona na temperaturama: 20°C, 340°C, 360°C, 400°C i 420°C.

Za legure aluminijuma K-2, S_i-0,5, S_i-0,8 i AlMg-3 snimani su dijagrami nominalnih napona na temperaturama: 20°C, 420°C, 440°C, 460°C, 480°C i 500°C.

Da bi se postigla veća tačnost eksperimenta svaki opit je ponavljan dva puta.

3. Prikaz i analiza rezultata

Korišćenjem eksperimenta jednoosnog istezanja na povišenim temperaturama dobijeni su dijagrami nominalnih napona u zavisnosti od deformacije za ispitivane legure (D-1, D-2, D-4, D-5, K-2, S_i-0,5, S_i-0,8 i AlMg-3). Nominalni naponi nisu dati u ovom radu.

Na osnovu rezultata u ovom eksperimentu na slikama od 1-8 nacrtani su dijagrami zavisnosti zatezne čvrstoće (σ_m) i relativnog prekidnog izduženja (ε_{10}) od temperature, za svaku leguru ponaosob.

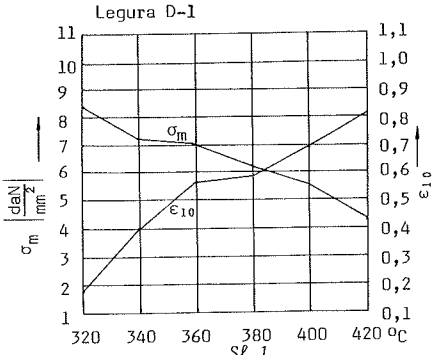
Iz dijagrama nominalnog napona na povišenim temperaturama može se uočiti da proces tečenja počinje pri manjim naponima (smanjuje se vrednost granice razvlačenja) i završava se za kraće vreme, pri čemu se granica razvlačenja sve teže opaža na dijagramu. Takodje se sa dijagrama nominalnih napona uočava da sa povećanjem temperature opada vrednost zatezne čvrstoće legura a raste izduženje.

Sa dijagrama (sl.1-8) jasno se mogu uočiti kako se menjaju zatezne čvrstoće legure (σ_m) i relativnog prekidnog izduženja (ε_{10}) u pojedinim temperaturnim intervalima. Na sl.9 dat je izgled epruveta posle kidanja za aluminijumsku leguru D-1.

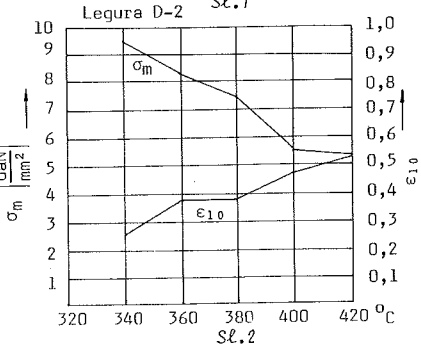
U tabeli 1 date su vrednosti zatezne čvrstoće (σ_m) i relativnog prekidnog izduženja (ε_{10}) za ispitivane legure na temperaturi T = 20°C.

TABELA 1

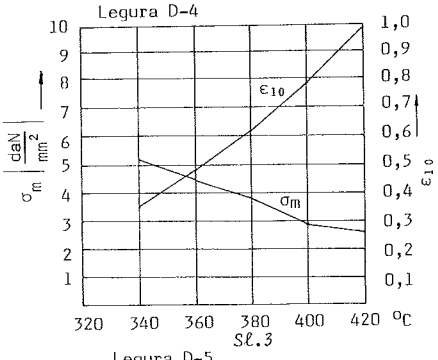
LEGURA	T°C	$\sigma_m \left\lvert\frac{daN}{mm^2}\right\rvert$	ε_{10}
D-1	20	36,3	0,13
D-2	20	35,7	0,13
D-4	20	23,3	0,22
D-5	20	35,7	0,13
K-2	20	20,4	0,17
S_i-0,5	20	15,3	0,21
S_i-0,8	20	15,3	0,21
AlMg-3	20	21,4	0,17



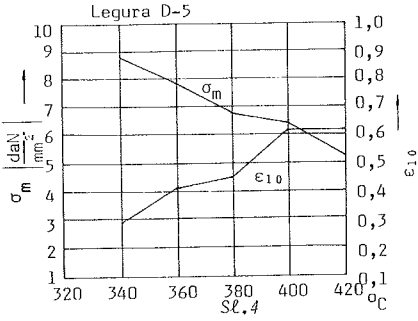
Sl.1



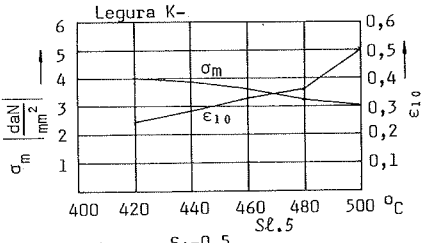
Sl.2



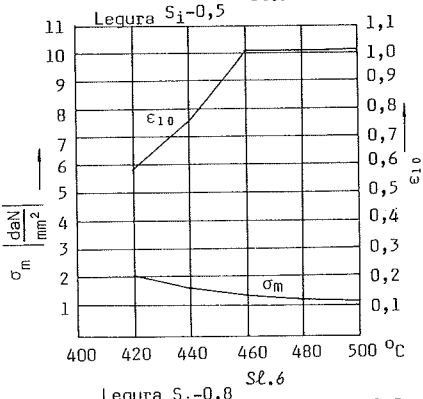
Sl.3



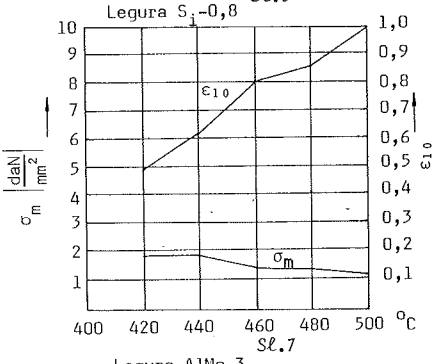
Sl.4



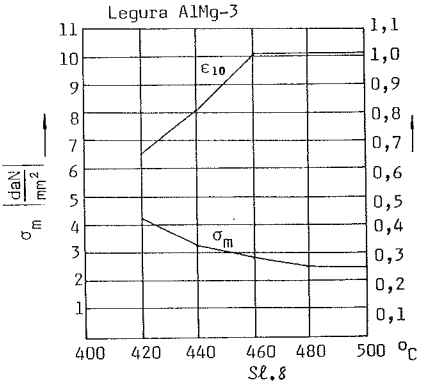
Sl.5



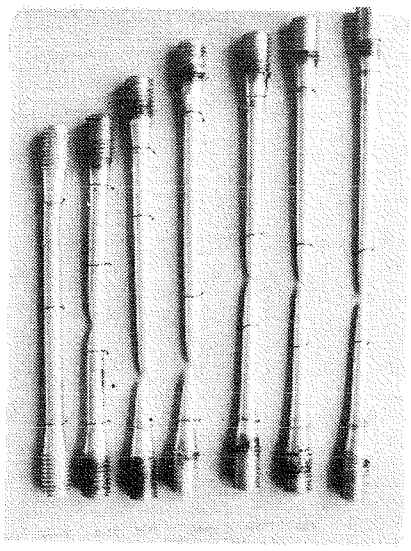
Sl.6



Sl.7



Sl.8



Slika 9.

4. Zaključak

Rezultati, koji su dobijeni i dati u ovom radu, ukazuju na poznate zaključke iz literatura, da sa porastom temperature dolazi do smanjenja zatezne čvrstoće, a porasta plastičnih svojstava ispitivanih legura.
S obzirom da ispitivanja mehaničkih svojstava metala i legura nemaju uopšteni karakter, već se odnose samo na konkretne izabrabe uslove deformisanja, to dobijeni rezultati pri pasivnom eksperimentu, na različitim temperaturama, mogu izuzetno da koriste za neposredno definisanje procesa deformisanja u praksi.
Treba istaći da su rezultati vrlo pregledno dati i da se odnose na konkretne legure, te kao takvi se ne mogu naći u literaturi, što ukazuje na značaj ovih eksperimentalnih rezultata za neposredne preradjivače ovih aluminijumskih legura.

5. Literatura

1 B.MUSAFIJA, Obrada metala plastičnom deformacijom, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 1972.

2 B.DEVEDŽIĆ, Osnovi teorije plastičnog deformisanja metala, Mašinski fakultet Kragujevac, Kragujevac, 1975.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Zorko Orehovec *

RAZVOJ DOMAĆE LINIJE ZA KONFEKCIONIRANJE LIMA

R e z i m e

Prikazana su postrojenja za adjustažu lima i komparativno je obradjena linija za konfekcioniranje lima - postrojenje za obradu lima II klase, realizirano s jednom domaćom željezarom prema vlastitim projektima.

ENTWICKLUNG EINHEIMISCHER QUERZERTEILANLAGE

S u m m a r y

Es sind Qerzerteil-und Länszerteilanlagen dargestellt. Als Vergleich wurde die Querzerteilanlage für Blechbearbeitung der II Klasse beschrieben, die zusammen mit einem einheimischem Eisenhüttenwerk ausgeführt wurde.

Toplo i hladno valjana širokopojasna traka u namotima (coil,rulon) obradjuje se dalje u postrojenjima za luženje, uzdužno i poprečno rezanje. Postrojenja za poprečno rezanje uobičajenih izvedbi (slika 1) sastoje se iz grupa za odmatanje,rezanje,ravnanje i slaganje ploča u pakete. Osnovne grupe medjusobno su povezane kotrljačama ili transporterima. /1,2/

Oprema grupe za odmatanje sastoji se od šaržirnog uredjaja, jedinice za odvajanje početka trake, odmatalice, škara za obrezivanje početka trake i grube ravnalice. Najčešće zastupljena konstrukcija odmatalice je ona sa trnom koja ne oštećuje traku, ali prihvaća namote uskog dijapazona unutarnjeg promjera i širine.

* Zorko Orehovec,dipl.ing. samostalni projektant,
Mašinoprojekt, 41000 Zagreb, Ulica Braće Domany 8

Grupa za rezanje odvojena je od ostale opreme petljama ili nagibnim stolovima. Obrezivanje se obično izvodi dvostrukim disk škarama a rezanje u ploče, takodjer u kontinuiranom prolazu, rotacionim, oscilirajućim ili letećim škarama. Osnovni zahtjev-rezanje na točnu dužinu, postiže se ugradnjom ravnalice ispred škara ili korištenjem posebnog mjernog valjka.

Zbog sve viših zahtjeva na izravnanost lima kod novijih se postrojenja posebna pažnja poklanja grupi za ravnanje. Ona se sastoji iz jedne do dvije ravnalice: za tanke limove ravnalice sa 17-23 valjaka, a za srednje i debele limove s 11-13 valjaka.

Pred ulazak u grupu za slaganje ploče prolaze vizuelnu kontrolu kvalitete površine i razvrstavanje na I i II kvalitetu. U novije vrijeme koriste se i uredjaji za ultrazvučnu probu i röntgensko mjerenje debljine ploče.

Izravnanost (Planheit) postiže se ravnanjem lima u zoni trake i u zoni ploča. U zoni trake (gruba ravnalica-Vorrichtmaschine, Flattener) samo se smanjuje i ujednačuje početna zakrivljenost nakon odmatanja te otklanja valovitost (nemirnost) nastala u procesu valjanja. Prednost ravnanja trake je u kontinuiranom ravnanju, bez čestih udara izazvanih ulazom i izlazom lima iz zahvata valjaka a izbjegnute su i neravnine na krajevima ploča koje nastaju pogotovo kod većih pritisaka ravnanja (Anstichwellen). Konstrukcija ovih ravnalica je masivnija, sa 5-9 valjaka većeg promjera, regulacija zračnosti je izvedena paralelnim ili odvojenim pomicanjem sloga valjaka

Ravnanje u zoni ploča je finalno ravnanje. Ploče prolaze kroz ravnalicu samo jednom, pa završne ravnalice (fine ravnalice-Leveler) moraju omogućiti ravnanje lokalnih, jačih neravnina (rubni nabori i središnje neravnine), složenije su izvedbe i omogućavaju regulaciju zračnosti po širini valjaka.

U postrojenjima za uzdužno rezanje (slika 2) koja se sastoje iz grupe za odmatanje, rezanje i ponovno namatanje, ravnalice se primjenjuju tek u novije vrijeme. Postavljaju se u grupi za rezanje ispred škara jer je ravnanje razrezanih traka otežano.

Suvremena visokoproduktivna oprema ovih postrojenja, namjenjena obradi lima prve kvalitete, postavlja stroge zahtjeve na ulazni materijal - namote. Procjenjuje se, da zbog grešaka u tehnološkom procesu 5-8% godišnje proizvodnje nije moguće obraditi u tim postrojenjima, pa je opravdano da se daljnjom obradom na adekvatnoj opremi postignu bolji ekonomski efekti proizvodnjom lima druge klase.

U cilju efikasne obrade toplo valjane trake druge klase realizirana je u suradnji s jednom domaćom željezarom linija za konfekcioniranje lima kao postrojenje širih proizvodnih mogućnosti (slika 3). Linija je prilagodjena za prihvat namota različitih proizvodjača (veliki raspon dimenzija i različita mehanička svojstva) i spada u postrojenja za poprečno rezanje lima u kojima se namot odmata, traka se ravna, obrezuje i razrezuje u ploče koje se slažu u pakete. /3/

Tehnološke karakteristike projektirane i izvedene linije :

- ulazni proizvod

  težina namota 8 - 28 t

širina trake	1000-1500 mm
debljina trake	2 - 10 mm
vlačna čvrstoća	do 600 N/mm^2
- finalni proizvod:	
duljina ploče	2000 - 6000 mm
širina ploče	800 - 1500 mm
težina paketa	3000 - 10 000 kg
- radna brzina	0,25 - 0,5 m/s
- nazivni proizvodni kapacitet	20,7 t/h(100 000 t/god)

Osnovni zahtjev, da se rješenje nadje primjenom domaće opreme, uvjetovao je taktni slijed operacija po stop principu. Naime, rezanje trake ne vrši se kontinuirano jer se koriste hidrauličke škare radioničke namjene. I ovdje se dadu uočiti karakteristične grupe za odmatanje, ravnanje, rezanje i slaganje kojih je redosljed takodjer uvjetovan izabranom opremom. Osnovne grupe povezane su kotrljačama pogonjenim hidromotorima zbog lake sinhronizacije.

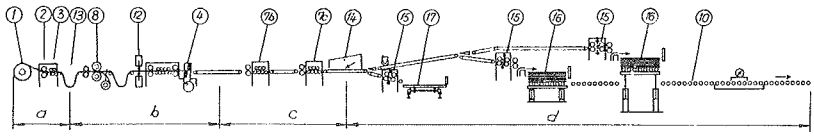
Namoti se dovode grupi za odmatanje gravitaciono i prihvaćaju se odmatalicom s dvije konusne čeljusti. Ovo rješenje omogućuje prihvat namota velikog raspona dimenzija, a kako se radi o limu II kvalitete, mogu se tolerirati oštećenja trake koja nastaju ovakovim prihvatom (savijanje rubova, nabori, lokalno gnječenje i ogrebotine površine nastale klizanjem). Nastajanje ovih oštećenja smanjeno je ugradnjom pritisnog valjka kojim se traka pridržava i savija u suprotnu stranju nakon odmatanja. Prihvat početka trake, transport i predravnanje postiže se povlakačem i grubom ravnalicom pogonjenim hidromotorima i izvedenim rekonstrukcijom postojećeg dresir stana. Gruba ravnalica, smještena u području trake, prema mogućnostima upotrebljenog okvira dresier stana izvedena je 2+1 valjak Ø 300 mm, što je neuobičajena izvedba. Ispunjava osnovni zadatak poništavanja početne zakrivljenosti, ali kvalitet jako varira u zavisnosti o razmaku valjaka, pa traži iskusnog rukovaoca i stalan nadzor. U ovu grupu uključene I poprečne škare odrezuju ploče max.dužine do 6 metara (dužina rezanja uzdužnih škara) koje zatim prolaze sve faze obrade.

Grupu za ravnanje čine povlakač i fina ravnalica. Pouzdan ulaz u finu ravnalicu osigurava povlakač posebne konstrukcije pogonjen hidromotorom. Fina ravnalica sa 7+ 6 valjaka Ø 140 mm predvidjena je za ravnanje lokalnih neravnina. Ravna lim od 4-10 mm do granice razvlačenja σ_R= 280 N/mm^2. Ugradnjom sloga 8 + 7 valjaka Ø 100 ravna lim od 2 - 5 mm σ_R = 600 N/mm^2. Radioničke je izvedbe i najsloženiji je stroj linije. Zahtjeva stalan nadzor i pouzdano održavanje.

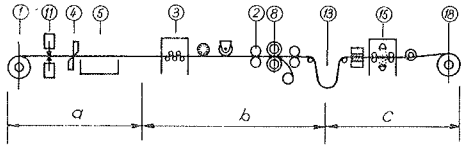
Grupa za rezanje sastoji se od naizmjenično postavljenih uzdužnih škara i II poprečnih škara. Podešavanjem razmaka uzdužnih škara ili poprečnim transportom ploča na odredjenu širinu na II uzdužnim škarama dobiva se konačna širina ploča. Poprečnim se škarama ploča razrezuje u manje dimenzije, kojih je dužina odredjena položajem pokretnog graničnika. Višekratnim razrezivanjem u ploče manjih dužina smanjuje se broj neravnina na krajevima uslijed ravnanja i povećava se protočnost kroz liniju.

Grupa za slaganje sastoji se iz paralelno postavljenih kotrljača u dva nivoa, povezanih prevlačnikom koji gravitaciono prebacuje ploče poprečno na os linije. Ploče se slažu u pakete koji se kranom otpremaju u skladište. I ova se grupa sastoji iz postojeće i konstru-

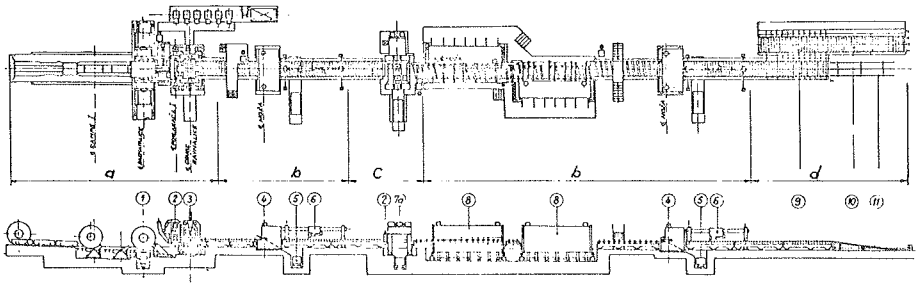
irane opreme. Napajanje svih elemenata hidraulike riješeno je centralnom tlačnom stanicom instalirane snage 6x30 kW. Ukupna instalirana snaga je 360 kW. Ukupna težina strojarske opreme je 320 t.



Slika 1. Postrojenje za poprečno rezanje tankog lima (shematski) /2/



Slika 2. Postrojenje za uzdužno rezanje uskih traka (shematski) /2/



Slika 3. Linija za konfekcioniranje lima /3/

1. Odmatalica
2. Povlakač
3. Gruba ravnalica
4. Poprečne škare
5. Sanduk za otpad
6. Pokretni graničnik
7a. Fina ravnalica, 13 valjaka
7b. Fina ravnalica, 17 valjaka
7c. Fina ravnalica, 21 valjak
8. Uzdužne škare
9. Prevlačnik, paketiranje
10. Odvodna kotrljača
11. Lege, odlaganje otpada
12. Uredjaj za mjerenje debljine
13. Formator petlje
14. Sortiranje
15. Nauljivanje površine
16. Ia paketiranje zračnim jastukom
17. IIa paketiranje
18. Namatanje

a) grupa za odmatanje
b) grupa za rezanje
c) grupa za ravnanje
d) grupa za paketiranje
e) grupa za namatanje

Rješavanje tehnoloških postrojenja vlastitim snagama složen je i odgovoran zadatak. Uspješan rad i postizanje zadovoljavajućih rezultata i nakon puštanja u probni rad u velikoj mjeri zavisi o spremnosti rukovaoca da usvoje projektiranu tehnologiju. Koncepcija postrojenja ispunjava osnovne tehnološke zahtjeve i u sebi sadrži mogućnost za uvodjenje inovacija sa ciljem povećanja kvalitete i kapaciteta.

Literatura:

1. VEREIN DEUTSCHER EISENHUTTENLEUTE, "Herstellung von Halbzeug und warmgewalztem Flacherzeugnissen" STAHLEISEN, DUSSELDORF 1972.
2. VEREIN DEUTSCHER EISENHUTTENLEUTE, "Herstellung von kaltgewalzten Band", Teil 2, STAHLEISEN, DUSSELDORF 1970.
3. Z. OREHOVEC, "Linija za konfekcioniranje lima "Tehnološki projekt, MAŠINOPROJEKT ZAGREB, 1980.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Dragiša Mandić*

NEKI UPOREDNI REZULTATI ISPITIVANJA ČVRSTOĆE PODNOŽJA ZUBACA REZANIH I VALJANIH ZUPČANIKA

R e z i m e

U radu se prikazuju uporedni rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje u podnožju zupca zupčanika izradjenih rezanjem i metodom valjanja u toplom stanju. Ispitivanja su vršena pri statičkom i pri dinamičkom jednosmernom promenljivom opterećenju do loma zupca, a rezultati su pozitivni u korist valjanih zupčanika.

НЕКОТОРЫЕ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ В ПАДИНЕ ЗУБЦА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗГОТОВЛЕННЫХ РЕЗАНИЕМ И НАКАТЫВАНИЕМ

С о д е р ж а н и е

В работе показываются сравнительные результаты исследования прочности на изгиб в падине зубьев зубчатых колес, изготовленных методом резания и методом горячего накатывания. Исследования проводились при статических и динамических переменных нагрусках до излома зубьев. Результаты показали, что накатанние зубчатие колеса более прочные, чем резанные.

1. Uvod

Postupci izrade ozubljenih profila metodom plastične deformacije relativnim kotrljanjem (valjanjem) u toplom stanju intenzivno su se razvijali posle Drugog svetskog rata u industrijski razvijenim zamljama [1]. U našoj zemlji je takodje dosta radjeno na razvoju ove tehnologije i postignuti su izvesni rezultati [2, 3, 4].

Čvrstoća podnožja zubaca predstavlja veoma važnu karakteristiku zupčanika. Za njeno odredjivanje koriste se analitički postupci koji se baziraju na geometrijskim merama zupčanika ili eksperimentalne metode. Razvoj savremenih elektronskih instrumenata i merne tehnike omogućuje danas eksperimentalno utvrdjivanje širokog spektra karakteristika zupčanika.

U ovom radu prikazuju se neki rezultati uporednih ispitivanja čvrstoće podnožja zubaca rezanih i valjanih zupčanika pri statičkom i pri dinamičkom jednosmernom promenljivom opterećenju.

*) Dr Dragiša Mandić, dipl.maš.inž., asistent Mašinskog fakulteta, Beograd, 27. marta 80

2. Priprema uzoraka

Ispitivanja su vršena sa uzorcima od dva kvaliteta materijala: od čelika za cementaciju, Č.4721 i čelika za poboljašnje, Č.4131. Osnovni podaci pripreme uzoraka prikazani su u tabl. 1.

Tabl. 1. Postupci obrade ispitivanih zupčanika

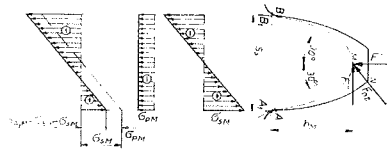
Uzorak br.	Materijal	Pripremak	Prethodno nazubljenje venca
61r 62r	Č.4721	Otkovak normalizovan	Rezanjem iz dva prolaza
11v 16v		Otkovak normalizovan	Valjanjem u toplom stanju sa jednim prolazom alata
40cv 42cv		Otkovak normalizovan i naugljeničen	
28r	Č.4131	Odrezak od okrugle valjane šipke	Rezanjem iz dva prolaza alata
10v 11v			Valjanjem u toplom stanju

Radi postizanja ujednačene geometrijske tatačnosti, posle nazubljivanja rezanjem, odnosno valjanjem, izvršeno je brušenje unutrašnjeg otvora, čeonih površina venca i bokova zubaca. Zatim su uzorci 61r, 62r, 11v i 16v podvrgnuti termohemijskoj obradi: cementaciji, kaljenju i otpuštanju, dok su uzorci 40cv i 42cv pre valjanja bili cementirani, pa su sada samo kaljeni i otpušteni. Uzorci od Č.4131 su poboljšani. Površinska tvrdoća na čeonoj površini venca i zubaca uzoraka od Č.4721 bila je HRC 64 - 66 daN/mm^2, a uzoraka od Č.4131 HB 249 - 272 daN/mm^2.

Pored ovih uzoraka, koji su pripremljeni u laboratorijskim uslovima, uporedjenja radi ispitivan je i uzorak Xr koji je uzet iz industrijske proizvodnje, a njegova površinska tvrdoća bila je HRC 56 - 57 daN/mm^2. Ispitivani uzorci imali su modul 2 mm, prečnik podeonog kruga 128 mm i širinu venca 16 mm.

3. Analiza napona u podnožju zupca

Spregnuti zupci zupčastog para mogu se posmatrati kao ukliještene grede-konzole simetričnog oblika, opterećene kosim silama. Za eksperimentalno odredjivanje napona najpogodniji je postupak razlaganja normalne sile F_{nz} na komponente F` i F`` u tački M na osi zupca (slika 1.).



Sl. 1. Razlaganje normalne sile F_{nz} na komponente u tački M na osi zupca i dijagrami napona

U kritičnom preseku komponenti naponi se mogu izraziti relacijama:

- od savijanja $\sigma_s = \frac{6 \cdot F_{nz} \cdot h_M \cdot \cos \alpha_k}{b \cdot S^2}$

- od pritiska $\sigma_p = \frac{F_{nz} \cdot \sin \alpha_k}{b \cdot S}$

- od smicanja $\tau_s = \frac{F_{nz} \cdot \cos \alpha_k}{b \cdot S}$

gde su: b /mm/ - dužina zupca, S /mm/ - širina položaja kritičnog preseka od tačke M i α_k - ugao koga zaklapa pravac sile F_{nz} sa normalom na osu zupca.

Napon smicanja ima minimum u krajnim vlaknima kritičnog preseka gde su naponi od savijanja maksimalni, pa se on neće razmatrati. Pošto lom zupca nastaje kada naponi na istegnutoj strani predju granicu čvrstoće materijala, to se rezultujući napon može napisati u obliku:

$$\sigma_{A_1 M} = \sigma_s - \sigma_p = \frac{F_{nz}}{b} \left[\frac{6 \cdot h_M \cos \alpha_k}{S^2} - \frac{\sin \alpha_k}{S} \right]$$

4. Uredjaji za ispitivanje i razultati

Ispitivanja su sprovedena na dva tipa uredjaja: (i) - na elektrohidrauličnom pulza-

toru tip ŠENK/SCHENK/ i (ii) - na uredjaju domaće konstrukcije.

Uredjaj ŠENK imao je osnovne karakteristike: maksimalna sila opterećenja $F_{max} = 200$ kN (20 Mp), i maksimalnu frekvenciju pulzacije $f_{max} = 60$ Hz.

Pri statičkom opterećenju vršena su merenja: maksimalna sila pri kojoj nastupa lom zupca (F_{max}), i vreme t(s) za koje se postiže maksimalna sila F_{max}. Pri dinamičkom jednosmernom opterećenju vršena su merenja: - broja promena opterećenja (N) do trenutka loma zupca, i - vreme (t) trajanja rada pulzatora pod opterećenjem do trenutka loma zupca. Opterećenja su bila: - predopterećenje $F_{sr} = 10$ /kN/, - minimalno opterećenje $F_{min} = 0$ /kN/, - maksimalno opterećenje $F_{max} = 20$ /kN/ i - frekvencija pulzatora f = 20 Hz.

Na uredjaju domaće konstrukcije vršena su ispitivanja samo na uzorcima od Č.4721 pri statičkom opterećenju . Izazivanje sile opterećenja vršeno je pomoću hidrauličnog cilindra sa klipom, a merenje sile pomoću dinamometra sa mernim trakama, pri čemu su sila i vreme zapisivani oscilografom u vidu dijagrama.

Kontura zupca snimana je pre i posle ispitivanja na profil projektoru sa uvećanjem 50x, pa su geometrijske veličine na mestu preloma: - debljina zupca S, - rastojanje napadne tačke sile F_{nz}, i dr., odredjivane sa konture uvećanog zupca.

5. Analiza rezultata

Po napred navedenim obrascima izračunate su vrednosti napona za svaki zubac i za sve vidove opterećenja. Ovde se, zbog ograničenog prostora, daju srednje vrednosti komponentnih napona: - od savijanja (σ_s), - od pritiska (σ_p), i - rezultujućeg napona na istegnutoj strani boka zupca (σ_{A_1M}) i uporedjenja ovih napona.

Tabl. 2. Srednje vrednosti napona pri statičkom opterećenju na uredjaju ŠENK

Uzorak	Materijal	σ_{sM}	σ_{pM}	σ_{A_1M}
		daN/mm^2		
Xr	Č.4721	281,2	26,4	255,1
62r		209,1	24,7	184,4
11v		223,7	22,4	201,3
16v		241,9	20,1	221,8
42cv		241,2	21,2	220,0
28r	Č.4131	164,4	26,6	137,4
11v		199,0	28,7	170,2
Uporedjenje srednjih vrednosti napona				
62r	Č.4721	209,1	24,7	184,4
$\frac{11v+16v}{2}$		232,8	21,3	215,5
$\frac{(\sigma_i)v}{(\sigma_j)r}$		1,113	0,86	1,147
28r	Č.4131	164,4	26,6	137,4
11v		199,0	28,7	170,3
$\frac{(\sigma_i)v}{(\sigma_j)r}$		1,213	1,079	1,238

Tabl. 3. Srednje vrednosti naponą pri statičkom opterećenju na domaćem uredjaju

Xr	Č.4721	175,9	19,7	156,1
61r		108,7	20,7	88,0
62r		121,9	19,0	102,9
11v		178,7	22,4	156,3
16v		170,1	17,8	152,3
42cv		189,5	19,6	170,0
Uporedjenje srednjih vrednosti napona				
$\frac{11v+16v}{2}$		174,4	20,1	154,3
$\frac{61r+62r}{2}$		115,3	19,9	95,5
$\frac{(\sigma_i)v}{(\sigma_j)r}$		1,512	1,01	1,616

Tabl. 4. Srednje vrednosti amplitudnih napona pri dinamičkom ispitivanju na ŠENK uredjaju

Uzorak	Mate-rijal	σ_{max} daN/mm^2	σ_{sr} daN/mm^2	Broj prom. opterećenje N
Xr		107,1	53,55	4690
61r		99,8	49,9	4208
62r		99,8	49,9	1845
11v		140,7	70,35	2383
16v		194,4	97,2	583
42cv		170,0	85,0	2210
28r		143,5	71,75	6450
11v		145,0	72,5	6860
Uporedjenje srednjih vrednosti napona				
$\frac{61r+62r}{2}$		99,8	49,9	
$\frac{11v+16v}{2}$		167,55	83,77	
$\frac{(\sigma_i)v}{(\sigma_j)r}$		1,01	1,01	
28r		143,5	71,75	
11v		145,0	72,5	
$\frac{(\sigma_i)v}{(\sigma_j)r}$		1,01	1,01	

6. Zaključak

Na osnovu sprovedenih ispitivanja, dobivenih rezultata i sprovedenih analiza daju se sledeći zaključci:

6.1. Ovde korišćeni uredjaji za ispitivanje zupčanika odgovaraju savremenim instalacijama za ispitivanja pa se može smatrati da su izmereni rezultati visoke tačnosti.

6.2. Rezultati čvrstoće zubaca dobiveni ispitivanjem na oba uredjaja pokazali su da valjani zupčanici, od obe vrste materijala, podnose veće napone na istegnutoj strani nego rezani. Pri statičkom opterećenju na uredjaju ŠENK povećanje iznosi 14,7% a na domaćem uredjaju oko 61,6%. Pri dinamičkom ispitivanju na uredjaju ŠENK valjani zupci su izdržali napone veće za 68% nego rezani, ali im je pritom broj promena opterećenja bio skoro dva puta niži nego kod rezanih.

7. Literatura

[1] Barbarič, M. V., Horuženko, M. V., Nakativanie cilindričeskih zubčatih koles, Maš-stroenie, Moskva (1970)

[2] Stanković, P., Deformacioni otpor pri izradi zupčanika plastičnom deformacijom uz relativno kotrljanje, Doktorska disertacija, Zbornik Maš. inst. SAN, 30 (1953)

[3] Mandić, D., Obrada venca cilindričnih zupčanika metodom plastične deformacije relativnim kotrljanjem, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd (1977)

[4] Mandić, D., Prilog odredjivanju karakteristika cilindričnih zupčanika izradjenih plastičnom deformacijom relativnim kotrljanjem, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1981)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Branko Grizelj

ELASTIČNO VRAĆANJE ČELIČNIH DVOSTRUKO ZAKRIVLJENIH PLOČA NAKON IZRADE HLADNOM PLASTIČNOM DEFORMACIJOM

R e z i m e

U radu se obradjuje teoretska razmatranja i utjecajni faktori na elastično vraćanje kod dvostruko zakrivljenih oblikovanih ploča u hladno. Kao utjecajni faktori razmotreni su: Sila oblikovanja, vrijeme oblikovanja, materijal ploče, polumjer kalupa, debljina ploče i širina ploče, odnosno dubina prodiranja kalupa u ploču. Na temelju eksperimenata, odredjen je izraz koji omogućava precizno odredjivanje elastičnog vraćanja dvostruko zakrivljenih ploča.

RESEARCH INTO THE INFLUENCING FACTORS OF ELASTIC AFTER-EFFECT ON SPHERICALLY COLD BENT PLATES

S u m m a r y

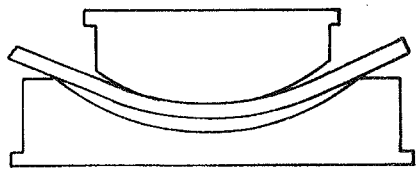
In the study theoretical considerations were treated as well as the factors of elastic after-effect on spherically cold bent plates. The following factors of influence were considered: Force of forming, time required for forming, plate material, radius of template, plate thickeness, plate width or depth of the mould penetrating the plate, respectively.
Based on the results of the experiment, the mathematical formula has been determined by means of which a precize calculation of the elastic after-effect on spherically cold bent plates in possible.

1. Problem izrade dvostruko zakrivljenih ploča.

Izrada dvostruko zakrivljenih ploča spada u područje oblikovanja limova. Obavlja se u jednom ili više radnih hodova na hidrauličnim prešama. Radi se o oblikovanju koje se nalazi izmedju dubokog vučenja i savijanja sa istovremenim istezanjem.

Postupak oblikovanja se sastoji u tome da se limena ploča stavlja u kalup i oblikuje pod pritiskom preše u odredjeni oblik sl. 1.

U uvjetima stojarske tehnologije oblikovanja savijanjem najveći je problem konstrukcije kalupa zbog elastičnih naprezanja koja zaostaju zbog procesa koji se vodi u hladnom stanju.

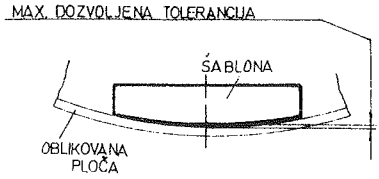


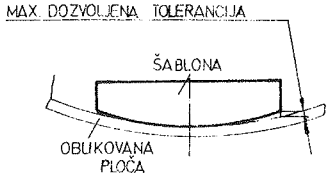
sl. 1

Mr Branko Grizelj, dipl.ing.
šef PKB-alata "Đuro Đaković" i
asistent Fakulteta strojarstva
Slav. Brod

Nakon oblikovanja ploča u kalupu oblikovane ploče dvostruke zakrivljenosti se kontrolišu pomoću šablona sl. 2 i moraju nakon oblikovanja da se nalaze u dozvoljenim tolerancijama.

Eksperimentalnim probama ustanovi se polumjer kalupa za oblikovanje ploča nakon čega se počne sa serijskom proizvodnjom. Neke ploče oblikuju se u kalupu bez problema i nalaze se u dozvoljenim tolerancijama dok druge oblikovane ploče





sl. 2

su van dozvoljenih tolerancija. Loše oblikovane ploče treba ponovo u kalupu dotjerivati dok se ne dobiju dimenzije, koje se nalaze u dozvoljenim tolerancijama. Za dotjerivanje loše oblikovanih ploča potrebno je nekoliko puta više vremena nego kod prvog oblikovanja u kalupu.

Nakon što se oblikovane ploče dotjeruju u dozvoljene tolerancije vrši se obilježavanje oblikovanih ploča na zahtjevanu mjeru. Zatim se oblikovane ploče autogeno režu pomoću vodeće pruge koja ima oblik obilježene oblikovane ploče. Što je odstupanje oblikovane ploče od teoretskih dimenzija veće to je autogeno rezanje teže i sporije jer radnik koji autogeno reže, mora postepeno da podešava glavu plamenika. Prilikom toga postoji mogućnost da dodje do upaljenih mjesta koja ako su do dubine 2 mm brušenjem se čisto izbrusi sa blagim prelazima a upaljena mjesta preko 2 mm se navaruju i brušenjem obradjuju.

Radi navedenih problema nametnula se je potreba da se ispitaju utjecajni faktori na elastično vraćanje prilikom oblikovanja u hladno.

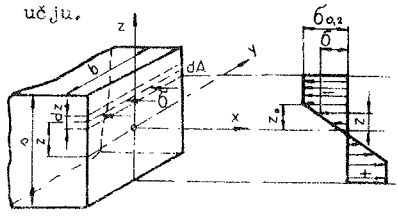
Oblikovane ploče koriste se kod većeg broja proizvoda kao na primjer:

1. kuglaste rezervoare promjera od 5000 do 30000 mm,
2. zaštitne plašteve kod atomskih centrala,
3. podnice (danaca) velikih promjera (preko 4000 mm),
4. dijelove brodova itd.

2. Elastično vraćanje

Zavisno od vrste i veličine naprezanja koja se javljaju pri oblikovanju ploča problem oblikovanja se tretira na tri načina i to:

a) Oblikovanje u elastično-plastičnom području sl.3,
b) Oblikovanje u elastičnom području,
c) Oblikovanje u plastičnom području.



sl. 3

Naprijed navedeni proizvodi oblikuju se u elastično-plastičnom području. Ako se zahtjeva da se postigne unutarnji polumjer oblikovane ploče Rp tada se gornji dio kalupa mora izvesti sa Rk sl. 4.

Na osnovu teoretskih razmatranja [1] dolazi se do izraza koji

daje vezu izmedju Rp i Rk:

$$Rp = \left[1 + \frac{2}{3}\,\frac{1}{\left(2\,\frac{s}{Rk}\,\frac{\sigma_{0,2}}{E}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(2\,\frac{s}{Rk}\,\frac{\sigma_{0,2}}{E}\right)}\,\frac{C_1}{C_2}\right] Rk$$

gdje je:

Rp - polumjer oblikovane ploče

Rk - polumjer kalupa

s - debljina ploče

$\sigma_{0,2}$ - naprezanja na granici razvlačenja

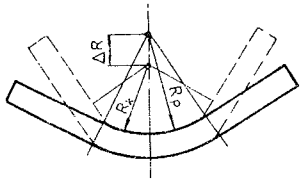
E - modul elastičnosti

C_1 i C_2 - koeficijenti koji pretežno zavise od širine b, dužine L i polumjera oblikovane ploče Rp.

Izraz u zagradi označili se sa K^{II} dobiva se

$$Rp = \frac{Rk}{K^{II}} \qquad (2)$$

Analizirajući izraz (1) i (2) vidi se da je nemoguće teoretskim putem precizno odrediti željeni polumjer oblikovane ploče ako je poznat samo polumjer kalupa i obrnuto.



sl. 4

Da bi se ovaj mogao odrediti potrebno je eksperimentalnim putem odrediti faktor elastičnog vraćanja dvostruke zakrivljenosti K^{II} u odredjenim proizvodnim uvjetima.

3. Odredjivanje utjecajnih faktora elastičnog vraćanja.

Faktori koji na osnovu vlastitih proizvodnih iskustava imaju najveći utjecaj na veličinu elastičnog vraćanja su:

1) sila oblikovanja,
2) vrijeme oblikovanja,
3) materijal ploče,
4) polumjer kalupa,
5) debljina ploče,
6) širina ploče, odnosno, dubina prodiranja kalupa u ploču.

Da bi se ispitao utjecaj polumjera kalupa Rk, debljine s i širine oblikovane ploče b, s obzirom na tehnološke i pogonske uslove korišten je faktorski plan pokusa. Provedeni su industrijski pokusi mjerilo dimenzija 1:1. Pokusi su izvedeni po slučajnom rasporedu da bi se izbjegle sistematske greške.

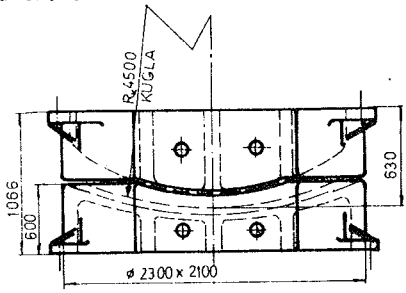
Faktori promatrani u pokusu su:

1) polumjer kalupa 4500 i 4925 mm,
2) debljina ploča 16 i 29 mm,
3) širina ploča 1800 i 2000 mm.

Nezavisni faktori koji se prate u pokusu su:

1) materijal oblikovane ploče NIOVAL 47,
2) sila oblikovanja,
3) sila kalibriranja (radi postiravanja željenog polumjera),
4) vrijeme oblikovanja,
5) vrijeme kalibriranja,
6) dužina oblikovane ploče.

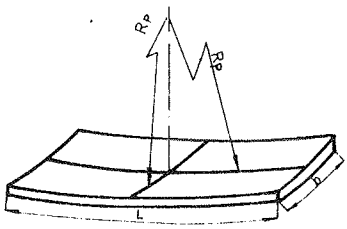
Pokusi su vršeni na hidrauličnoj preši 25 MN. Jedan od kalupa vlastite konstrukcije prikazan je na sl.5 na kojem je oblikovana ploča sl.6.



sl. 5

U pokusima se mjeri veličina elastičnog vraćanja hladno oblikovane ploče, što predstavlja razliku udubljenja oblikovane ploče i udubljenja kalupa.

Kao indikator je poslužila veličina polumjera elastičnog vraćanja ΔR nakon hladnog oblikovanja.

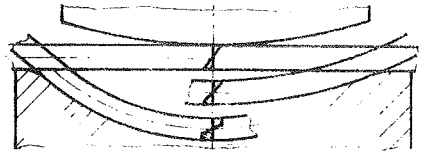


sl. 6

Polumjer je odredjen proračunom na osnovu razlike udubljenja oblikovane ploče i kalupa na odredjenoj tetivi.

4. Analiza rezultata

Najveći utjecaj na elastično vraćanje ima polumjer kalupa. Što je polumjer kalupa manji to je oblikovanje ploče više u plastičnom a manje u elastičnom području te naprezanje na neutralnoj liniji nije samo u elastičnom nego i u plastičnom području. Ostatno naprezanje ne dozvoljava da se oblikovana ploča vrati u polazni položaj nego zauzima trajnu deformaciju. Šematski se to može prikazati sl.7.



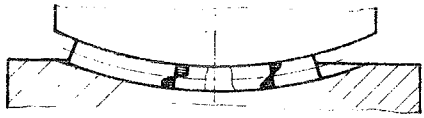
sl. 7

Drugi po veličini utjecajni faktor na elastično vraćanje je širina poloče b, što je širina ploče veća to je oblikovanje više u plastičnom području pa ostatno naprezanje na neutralnoj liniji smanjuje elastično vraćanje. Ploča zauzima neku trajnu deformaciju. Šematski se to može prikazati sl. 8.

Debljina ploče djeluje na elastično vraćanje slično kao i širina ploče.

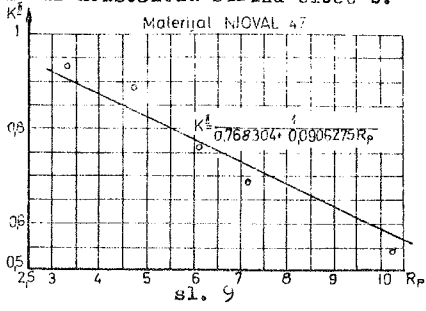
5. Primjena rezultata istraživanja

Koristeći naprijed navedena razmatranja, možemo sada na temelju



sl. 8

istraživanja odrediti zakonitost za koeficijent elastičnog vraćanja K_b^{II} uz konstantnu širinu ploče b.



sl. 9

Primjerice ako je širina ploče 2000 mm i materijal NIOVAL 47, odredjene su eksperimentalno točke ovisnosti koeficijenta elastičnog vraćanja i polumjera oblikovane ploče sl. 9.

Rezultati su prilagodjeni metodom najmanjih kvadrata odstupanja odgovarajućoj krivulji koja je dana funkcionalnom vezom,

$$K_b^{II} = \frac{1}{0,768304 + 0,0906275 \cdot R_p} \qquad (3)$$

Za tehnološku praksu predlaže se računsko odredjivanje na temelju (3) pa je na primjer za širinu oblikovane ploče 2000 mm, njenu dužinu 2100 mm, promjer oblikovane ploče 7 m i materijal ploče NIOVAL 47

$$K_b^{II} = \frac{1}{0,768304 + 0,0906275 \cdot 7} = 0,71$$

Suglasnost dobivenog rezultata sa pokusom je potpuna.

LITERARURA

[1.] B. Grizelj: Istraživanje parametara elastičnog vraćanja, magistarski rad, FSB, Zagreb 1982.

[2.] A. Geleji: Bildsame Formung der Mettale in Rechnung und Versuch, Akademi Verlag, Berlin 1961.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Nada Tomić *
Ljubivoje Petrović
Miroljub Tomić
Živoslav Adamović

PRILOG IZUČAVANJU UTICAJA NEKIH PARAMETARA NA OBRADIVOST LIMA DUBOKIM IZVLAČENJEM

R e z i m e

Obradivost lima dubokim izvlačenjem zavisi pre svega od njegove sposobnosti da se deformiše u dovoljnoj meri, tj. od njegove deformabilnosti. Za ocenu ove sposobnosti postoji više pokazatelja. Poznavanjem mehaničkih karakteristika može se vrlo uspešno definisati sposobnost lima za izvlačenje.
Starenje utiče na mehaničke karakteristike a time i na obradivost lima. Stoga je, pored odredjivanja pokazatelja obradivosti lima, izvršena analiza uticaja starenja na osnovu rezultata dobivenih ispitivanjem lima Č.0148 koji je proizveden u Hladnoj valjaonici MK Smederevo.

A CONTRIBUTION TO STUDYING THE INFLUENCE OF SOME PARAMETERS ON PLATE PROCESSING BY DEEP DRAWINE

S u m m a r y

Plate processing by deep drawing depends on its ability to deform enough, thatis, of its deformity. There are many indicators to estimate those abilities. Ability of drawing plates can be define successfully by studiying its mechanical characteristics.
Getting old has some influence on mechanical characteristics and plate processing. Because of that, and besides the plate processing indicator defining, the analysis of getting old influence is done. That analiysis is based on results given by plate testing Č.0148, produced in Cold Mill Complex MK Smederevo.

---

*Nada Tomić, maš.ing. Služba priprema održavanja,
MKS Smederevo
Ljubivoje Petrović, met.ing. Pogon Kontrola kvaliteta,
MKS Smederevo
Mr Miroljub Tomić, dipl.maš.ing. Pogon Energetika,
MKS Smederevo
Mr Živoslav Adamović, dipl.maš.ing. Služba priprema održavanja,
MKS Smederevo

1. Uvod

Izrada elemenata dubokim izvlačenjem danas zauzima vidno mesto u odnosu na ostale postupke obrade materijala. Na to je pre svega uticao nagli razvoj automobilske industrije, gde se ovim postupkom izradjuju vrlo komplikovani delovi karoserija automobila. Pored autoindustrije, ovaj postupak se široko primenjuje i u drugim industrijama široke potrošnje, zahvaljujući njegovim dobrim stranama, kao što su poboljšanje mehaničkih svojstava materijala u toku obrade, širok interval dimenzionih karakteristika materijala, izrada elemenata je vrlo brza te je pogodna u visokoserijskoj i masovnoj proizvodnji, mali procenat otpadnog materijala i drugo.

U procesu izrade elemenata metodom dubokog izvlačenja javlja se veliki broj uticajnih faktora i njihov uticaj je različit, pa se zato istraživanja usmeravaju kako u pravcu njihove identifikacije, tako i identifikacije stepena, intezieta i smera njihovog uticaja na proces obrade.

Sva ispitivanja u cilju identifikacije parametara obradivosti lima mogu se uglavnom svrstati u tri osnovne grupe:

- ispitivanja u stvarnim pogonskim uslovima na radnom komadu,
- simulativna-laboratorijska ispitivanja na probnim epruvetama,
- ispitivanja zasnovana na laboratorijskom odredjivanju fundamentalnih karakteristika materijala, pre svega mehaničkih svojstava, a potom i hemijskih i metalografskih pokazatelja.

Iznalaženje pokazatelja obradivosti lima omogućuje, s jedne strane, da se za obradu odabere materijal optimalnog kvaliteta, a sa druge, da se njoj prilagode različite pojedinosti tehnološkog procesa.

Kako starenje materijala utiče na promenu mehaničkih karakteristika a time i na obradivost, pored identifikacije nekih parametara obradivosti izvršena je analiza uticaja starenja na mehaničke karakteristike, tj. obradivost materijala.

2. Procena obradivosti lima na osnovu mehaničkih karakteristika

Mehaničke karakteristike predstavljaju parametre na osnovu kojih se može odrediti sposobnost lima za duboko izvlačenje. Iako su uslovi ispitivanja nešto drugojačiji u odnosu na proizvodne uslove, moguće je na osnovu dobijenih podataka suditi o sposobnosti lima za duboko izvlačenje. Ova ispitivanja se izvode jednoosnim linijskim istezanjem probne epruvete pri čemu se identifikuju zatezna čvrstoča, granica razvlačenja, izduženje, kontrakcija itd. Jedan od najpouzdanijih pokazatelja, dobijen probom na istezanje, je odnos napona na granici razvlačenja σ_v i zatezne čvrstoće, i on se kod limova ove namene kreće u granicama $\sigma_v/\sigma_m = 0,55-0,75$.

Pored ovog pokazatelja za ocenu obradivosti lima služe nam vrlo uspešno veličina prekidnog izduženja, kao i veličina eksponenta deformacionog očvršćavanja "n" i koeficijenat normalne anizotropije "R". Vrednosti eksponenta "n" kod limova za duboko izvlačenje su u granicama 0,20-0,28, a kvalitetniji limovi imaju vrednost $R>1$.

3. Eksperimentalni deo

Cilj eksperimenta je da se izvrši analiza uticaja veštačkog starenja na mehaničke karakteristike lima i na osnovu utvrdjenih pokazatelja ispita sposobnost limova za duboko izvlačenje.

Ispitivanje je obavljeno na hladnovaljanom limu debljine 0,8 mm, kvaliteta Č.0148 čiji je hemijski sastav dat u tabeli 1.

Tabela 1.

Naziv elementa	Sadržaj elemenata						
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu
%	0,050	0,020	0,290	0,015	0,005	0,016	0,062

Hladno valjani lim je dobiven iz toplo valjane trake polazne debljine 2,5 mm pri čemu se hladnim valjanjem sa pet provlaka dobila debljina 0,8 mm.

Žarenje je vršeno na temperaturi od 640°C u atmosferi zaštitnog gasa u trajanju od 23 h, sa postepenim hladjenjem u trajanju od 38 h, nakon čega je lim dresiran sa stepenom redukcije od 1%. Pre veštačkog starenja uzete su probe za ispitivanje mehaničkih karakteristika, i to u pravcu valjanja lima, pod uglom od 45° i pod uglom od 90° u odnosu na pravac valjanja.

Veštačko starenje izvršeno je zagrevanjem lima na temperaturi od 250°C sa progrevanjem od 0,5 h.

Za ispitivanje je upotrebljeno po 30 epruveta pre i posle starenja, čije su srednje vrednosti zatezne čvrstoće, granice razvlačenja i ostalih karakteristika date u tabeli 2.

Uticaj starenja materijala na oblik Hukovog dijagrama vidi se sa grafičkog prikaza snimljenog za epruvete br. 18 pre i posle starenja (Sl. 1).

Sva ova ispitivanja vršena su u laboratoriji za mehanička ispitivanja na Erichsen-ovom uredjaju tipa 180/D koji automatski odredjuje vrednosti "n" i "R" faktora na probi istezanja, a istovremeno je moguće registrovanje dijagrama: naprezanje-izduženje, pomoću jednog X-Y pisača.

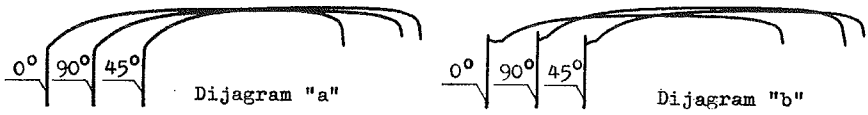
4. Zaključci

Na osnovu dobivenih rezulta-

Tabela 2.

Pravac isecanja epruvete	REZULTATI ISPITIVANJA											
	Pre veštačkog starenja						Posle veštačkog starenja					
	σ_v N/mm²	σ_m N/mm²	ε %	$\frac{\sigma_v}{\sigma_m}$	R	n	σ_v N/mm²	σ_m N/mm²	ε %	$\frac{\sigma_v}{\sigma_m}$	R	n
0°	184	299	39,6	0,62	2,05	0,218	250	308	38,7	0,81	2,11	0,199
90°	193	317	41,2	0,61	2,58	0,216	261	312	36,8	0,84	2,64	0,199
45°	202	329	37,0	0,61	1,70	0,210	264	319	35,3	0,83	1,69	0,191
Rsr					2,00						2,03	
nsr						0,213						0,195

ta ispitivanja može se zaključiti da se ispitivani lim sa posedovanim karakteristikama pre veštačkog starenja može vrlo uspešno koristiti za obradu dubokim izvlačenjem, dok je starenjem tu sposobnost izgubio. Proces starenja najviše utiče na veličinu σ_v tako što ona dosta raste. Kako se zatezna čvrstoća manje menja, a ima tendenciju opadanja, to odnos σ_v/σ_m raste preko dozvoljenih granica za lim namenjen dubokom izvlačenju. Uticaj starenja na koeficijente "n" i "R" manje je izražen. Sagledavajući sveukupni uticaj starenja može se zaključiti da ono pogoršava sposobnost lima za duboko izvlačenje.



Sl. 1. Hukov dijagram istezanja
"a" - pre veštačkog starenja
"b" - posle veštačkog starenja

5. Literatura

[1] B.Devedžić, Obradivost materijala dubokim izvlačenjem, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1972.

[2] B.Musafija, Obrada metala plastičnom deformacijom, "Svetlost", Sarajevo, 1976.

[3] SIMOD, Publikacija katedre za proizvodno mašinstvo, br. 2/I, 2/II, Mašinski fakultet, Niš, 1975, 1976.

[4] Obrada deformisanjem u mašinstvu, br. 5, Mašinski fakultet, Niš, 1978.

NUMERIČKO UPRAVLJANJE ALATNIM MAŠINAMA I NC TEHNOLOGIJA

I S P R A V K E
u uvodnom referatu
R.Gatalo: NUMERIČKO UPRAVLJANJE MAŠINAMA ALATKAMA I NU TEHNOLOGIJA - STANJE I TENDENCIJE RAZVOJA (strane 293 do 326)

R. br.	strana, red	stoji	treba
1.	296 desno; naziv slike 6	Nivo	Nivoi
2.	299 levo; 13.red odozgo	prisutne	prisutni
3.	300 levo; 31.red odozgo	su	-
4.	303 levo; 13.red odozgo	i o	,o
5.	304 levo; 12.red odozgo	zadržava	zadržavamo
6.	310 desno; 8.red odozdo	koja će biti ugradjena	koje će biti ugradjene
7.	312 desno; 25.red odozgo	prikljućila	priključila i
8.	312 desno; 31.red odozgo	najšireg	širokog
9.	313 desno; 16.red odozgo	tehndencijama	tendencijama
10.	313 desno; 11.red odozdo	stručnog	ručnog
11.	313 desno; 8.red odozdo	šta	što
12.	314 desno; podnaslov 3.2.2.	Automatsko	Automatizovano
13.	315 desno; 43.red odozgo	dodat je	dodat
14.	316 desno; 15.red odozgo	CAD/DAP/CAM	CAD/CAP/CAM
15.	316 desno; 13.red odozdo	izvodnog	izvornog
16.	317 desno; 13.red odozdo	prikazan je	prikazani
17.	319 levo; 9.red odozgo	30%	35%
18.	319 desno; 26.red odozgo	INFORS	INFOS
19.	319 desno; 41.i 42.red odozgo	inženjera za 20% (primenom kompjutera čak do 400%) |72|	inženjera svega za 20% |72|. Medjutim primenom kompjutera moguće je ovu poslednju povećati čak za 400%.
20.	321 desno; 4.red odozgo	i uveden u ostale	biće uveden u ostale
21.	325 levo; 9.red odozgo	TomC	TOMC

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Ratko Gatalo*

NUMERIČKO UPRAVLJANJE MAŠINAMA ALATKAMA I NU TEHNOLOGIJA - STANJE I TENDENCIJE RAZVOJA**

R e z i m e:

Rad predstavlja uvodni referat za XVI Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije za područje numeričkog upravljanja mašina alatki i NU tehnologije. U radu se razmatraju dva ključna pitanja stanja i tendencija u razvoju, i to:
- numeričkog upravljanja mašina alatki i numeričkih sistema, i
- metoda, postupaka i programskih sistema za efikasnu eksploataciju NU mašina i NU sistema.

U oba slučaja polazi se od odredjenih koncepcionih osnova posmatranih sa aspekta nivoa kompleksnosti i nivoa automatizacije. Navode se najnoviji podaci o primeni pojedinih sistema u svetskoj i domaćoj industriji, i ukazuje na tendencije daljeg razvoja NU mašina i NU sistema, kao i programskih sistema za automatizovano projektovanje za NU mašine i NU sisteme.
Kroz posebne osvrte daje se grubi presek nekih od domaćih istraživačkih i proizvodnih napora na planu razvoja sopstvenih rešenja numeričkog upravljanja, NU mašina alatki i programskih sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za NU mašine.

NUMERICAL CONTROL OF MACHINE TOOLS AND NC TECHNOLOGY - PRESENT STATE AND TRENDS OF DEVELOPMENT

S u m m a r y

This paper is the leading paper for XVI Yugoslavien Conference on Production Engineering for the section on NC technology. Two basic questions connected with the present state and trends of development are considered:
- numerical control of machine tools and numerical systems, and
- methods, procedures and programming systems for efficient use of NC machines and NC systems.

In both cases the starting points are certain conceptional bases which are considered from the aspects of the complexity level and the level of automatisation. There are presented some recent data on the use of particular systems in the world as well as domestic industries and, the data on development trends of NC machines and systems and programming systems for automatised design of NC machines and systems.
Also a review of some domestic investigations is given, as well as production efforts on the development of domestic solutions of numerical control, NC machine tools and programming systems for automatised design of technological processes and control information for NC machines.

"Medju svim pronalascima čovečanstva, od njegovog postanka, mikroprocesor je najjedinstveniji. On će ući u sva područja života, bez izuzetka. Ući će da poveća naše sposobnosti, olakša ili smanji zadatke, zamjeni fizički napor, poveća mogućnosti i područja duhovne delatnosti i načini od svakog čoveka stvaraoca čija će se svaka ideja moći primijeniti, ostvariti, rasčlaniti, prenijeti, razmijeniti".
(Referat Mitsubichi-
- J.J.Servan Schreiber: Svetski izazov, Globus, Zagreb, 1981.)

1.0. UVOD

Intenzivan razvoj elektronike, posebno mikroelektronike, poslednjih 30 godina doprineo je razvoju numeričkog upravljanja - NU (NC) čiji počeci primene na mašinama alatkama datiraju pedesetih godina. Stalan razvoj, praćen primenom u proizvodnim po-

*) Gatalo dr Ratko, dipl.ing., vanredni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu. Novi Sad, Veljka Vlahovića 3.

**) Uvodni referat za tematsku oblast "Numeričko upravljanje mašinama alatkama i NU (NC) tehnologija", na XVI Savetovanju proizvodnog mašinstva Jugoslavije u Mostaru 1982. godine.

gonima, NU mašina alatki i NU tehnoloških sistema, naročito je intenzivan u zadnje vreme. Time su stvorene vrlo značajne pretpostavke za uvodjenje automatizacije i u uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje, čije je prisustvo u metalopreradjivačkoj industriji dominirajuće, te na taj način podizanje ukupnih efekata u njima.

Od same pojave NU mašina alatki prisutna je i težnja ka što efikasnijoj primeni, a njihovo uvodjenje u proizvodne pogone nametnulo je nove brojne prilaze, metode i tehnike u vezi sa eksploatacijom takvih mašina, za šta je sve prisutniji naziv "NU tehnologija".

Tematika "numeričkog upravljanja mašinama alatkama i NU tehnologije" je naročito kroz odredjeni broj uvodnih referata, i do sada bila prisutna na Savetovanjima proizvodnog mašinstva.

Ne zadržavajući se na pojedinačnim radovima, ovde se želi posebno ukazati na uvodne referate i referate sličnog karakttera sa Savetovanja proizvodnog mašinstva (SPM), koji su na izvestan način doprineli razvoju misli, razvoju shvatanja i posebno informisanja u području numeričkog upravljanja mašinama alatkama i NU tehnologije u domaćim uslovima.

⊛ 1968.god.: referat prof.B.Bendelje | 1| i referat prof.R.Zdenkovića | 2| na IV SPM (Sarajevo) po prvi put šire osvetljavaju problematiku numeričkog upravljanja i automatskog programiranja NU mašina alatki.

⊛ 1971.god.:uvodni referat prof.J.Peklenika | 3| na VII SPM (Novi Sad) razmatra problematiku elektronskih računara u automatizaciji tehnoloških procesa.

⊛1973.god.:uvodni referat ing.B.Milčića| 4| na VIII SPM (Ljubljana) razmatra problematiku NU mašina alatki i njihove primene, a referat prof.J.Peklenika| 5| tehnologiju mašinske obrade posebno u svetlu novih tehnika i tehnologija.

⊛1975.god.:uvodni referat prof.R.Zdenkovića sa grupom autora (A.Hrabrić;K.Varljen;A. Mulc;A.Perić;A.Lovasić;B.Milčić;Z.Jurišić) | 6| na X SPM (Beograd) razmatra problematiku mašina alatki i savremenih procesa na njima. U okviru celog referata posebno je od strane ing.B.Milčića obradjena problematika NU mašina alatki.
Posebni uvodni referat prof.J.Peklenika| 7| u okviru tematike primene elektronskih računara, obradjuje problematiku proizvodne kibernetike i njenog uticaja na tehnički i tehnološki razvoj i produktivnost.

⊛1977.god.:uvodni referat ing.B.Milčića| 8| na XI SPM (Ohrid) razmatra problematiku stanja i tendenciju razvoja NU mašina alatki u datom trenutku.

⊛1978.god.:uvodni referat prof.J.Peklenika | 9| na XII SPM (Maribor) razmatra problematiku NU i računarsko upravljačke tehnike u industrijskoj proizvodnji dok uvodni referat prof.V.Milačića |10| razmatra teoriju i primenu elektronskih računara u konstrukciji, pripremi proizvodnje i proizvodnji.

⊛1980.god.:uvodni referat prof.S.Uroševića i prof V.Milačića |11| na XIV SPM (Čačak) razmatra uticaj tehničko tehnološkog razvoja na tehnologiju i projektovanje tehnoloških procesa u industriji za preradu metala.

Samo letimični pogled na problematiku uvodnih referata (bez obzira što su pojedini referati samo periferno doticali problematiku numeričkog upravljanja i NU tehnologije) i njima odgovarajućih tematskih oblasti na pomenutim Savetovanjima proizvodnog mašinstva, ukazuje da je problematika numeričkog upravljanja mašina alatki i problematika njihove eksploatacije kontinuirano prisutna na ovim, za istraživače i stručnjake iz proizvodnje u području prerade metala, najznačajnijim naučno-stručnim skupovima u Jugoslaviji.
Kontinualno saopštavanje pojedinačnih rezultata istraživača iz naučnoistraživačkih institucija i proizvodnje kako na dosadašnjim Savetovanjima tako i na drugim brojnim naučno-stručnim skupovima, te izlaganje dostignuća domaćih proizvodjača na specijalizovanim izložbama, svedoče da su u području numeričkog upravljanja mašinama alatkama i NU tehnologija, i u domaćim uslovima učinjeni značajni napori i postignuti ne mali rezultati.

U svetlu prethodnih saznanja, autor ovog referata prihvatio se nimalo jednostavnog zadatka da, uz maksimalno izbegavanje ponavljanja iz uvodnih referata iz prethodnog perioda i izbegavanje faktografskih prikaza pojedinačnih dostignuća, oblikuje referat u najprikladnijem obliku za sadašnji trenutak svetskih i posebno domaćih dostignuća sa jedne strane, i vidjenja tendencija daljeg razvoja u području numeričkog upravljanja mašinama alatkama i NU tehnologije.

Svestan da se u ovom trenutku već radi o izuzetno širokom području razmatranja, te da su bili mogući i drugi brojni prilazi u razmatranjima problematike NU mašina alatki i NU tehnologije, autor se, nakon proučavanja preko 300 svetskih i domaćih informacija, publikovanih u poslednjih dve godine, isključivo sa stanovišta bolje preglednosti prikaza, opredelio za posmatranje celokupne problematike kroz dva područja i to:

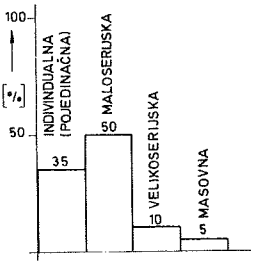
- numeričko upravljanje mašina alatki, kao područje koncepcije gradnje, razvoja i primene obradnih i tehnoloških sistema na bazi numeričkog i kompjuterskog upravljanja,
- NU tehnologija, kao skup aktivnosti, metoda i postupaka usmerenih za efikasnu eksploataciju NU sistema.

Ceo prikaz zasniva se na dostignućima NU tehnike i tehnologije u području procesa obrade skidanjem strugotine, u kojem je njihova primena najizrazitija i najzastupljenija, uz pokušaj da se u grubim crtama, u granicama koje dopušta obim referata ukaže na dosadašnje rezultate u razvoju NU mašina alatki u području obrade bez skidanja strugotine.

2.0. NUMERIČKO UPRAVLJANJE MAŠINAMA ALATKAMA

2.1. Uvodna razmatranja

Zahvaljujući automatizaciji, produktivnost je u uslovima velikoserijske i masovne proizvodnje dostigla u prošlosti vrlo visok nivo. Medjutim maloserijska i pojedinačna proizvodnja i pored toga što dominiraju u ukupnoj strukturi mašinske industrije (slika 1.), u tom pogledu su značajno zapostavljene.

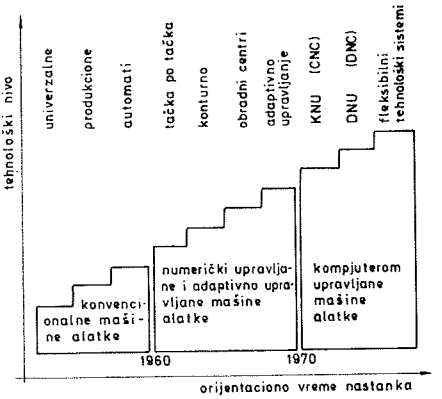


Sl.1. Učestanost proizvodnje po tipovima u mašinskoj industriji | 9 |

Tek poslednjih dvadesetak godina ulažu se značajni napori na planu automatizacije pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Razvojem novih tehnologija (tehnologije numeričkog i kompjuterskog upravljanja, tehnologije kompjuterske obrade informacija za upravljanje tehnološkim procesom i sl.) stvoreni su uslovi za tzv. fleksibilnu automatizaciju, odnosno automatizaciju proizvodnje delova male učestanosti ponavljanja u proizvodnom pogonu. Poslednjih godina, intenzivni razvoj visoko integrisanih poluprovodničkih kola* i mikroprocesora još više su doprineli daljem razvoju NU obradnih sistema, u smislu povećanja njihove fleksibilnosti uz snižene troškova upravljačkih komponenti.

Pri tome je postupni razvoj numeričkog upravljanja mašinama alatkama doveo do obradnih sistema višeg tehnološkog nivoa (slika 2.).

*) SSI (small scale integration) - integrisana kola malog stupnja integracije - sadrže nekoliko integrisanih elemenata;
MSI (middle scale integration) - integrisana kola srednjeg stupnja integracije - sadrže nekoliko stotina integrisanih elemenata;
LSI (large scale integration) - integrisana kola velikog stupnja integracije - sadrže nekoliko hiljada integrisanih elemenata;
VLSI (very large integration) - integrisana kola vrlo velikog stupnja integracije - sadrže nekoliko desetina hiljada integrisanih elemenata;
SLSI (super large integration) - integrisana kola super velikog stupnja integracije - sadrže do sto hiljada integrisanih elemenata. |12|



Sl.2. Tehnološki nivoi obradnih sistema tokom vremena |13|

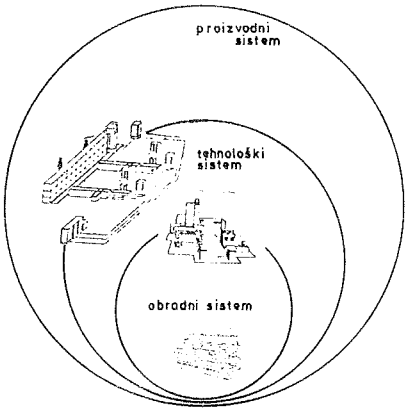
Nakon prve generacije NU (NC) mašina alatki različitih mogućnosti(od najjednostavnijih do obradnih centara) i mašina sa adaptivnim numeričkim upravljanjem, dolazi do razvoja mašina alatki sa kompjuterskim numeričkim upravljanjem - KNU (CNC*). Sledeća faza je razvoj tzv. direktno numerički upravljanih - DNU (DNC**) sistema, koji podrazumevaju centralno kompjutersko upravljanje više NU mašina. Poslednji nivo, odnosno fazu razvoja, čine tzv. fleksibilni tehnološki (ili proizvodni) sistemi koji pored centralizovanog kompjuterskog upravljanja više obradnih sistema uključuju centralizovano upravljanje i merno kontrolnim, manipulacionim i skladišnim sistemima.

Ovakav razvoj automatizovanih mašina alatki na bazi numeričkog i kompjuterskog upravljanja usmeren na sisteme višeg tehnološkog nivoa, sve više teži potpunom integrisanju procesa projektovanja tehnološkog procesa i upravljačkih informacija i ON-LINE upravljanja celim tehnološkim sistemom, odnosno razvoju kompletnih tzv. "fabrika bez ljudi".
U tom smislu na slici 3. dat je jedan pokušaj prikaza (po uzoru na |14| |15|) sistema sa numeričkim upravljanjem u okruženjima obradnog, tehnološkog i proizvodnog sistema.

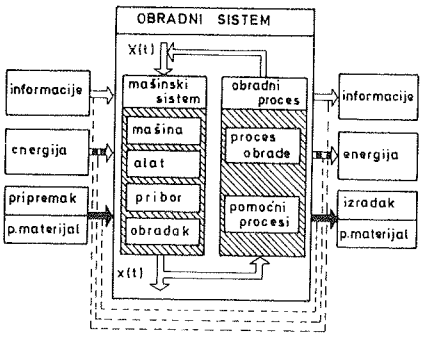
Prethodno ukazuje da i obradni sistem, čiji je model prikazan na slici 4., zbog mnogih interakcija i uticaja, sve više mora da se posmatra daleko šire kao element odredjenog automatizovanog tehnološkog pa čak i automatizovanog proizvodnog sistema.

Najzad, čini se značajnim ukazati, da razvoj savremenih mašina alatki na bazi numeričkog upravljanja neminovno nameće i sasvim novi pristup u gradaciji nivoa automatizovanosti mašina alatki.

*) CNC - Computer Numerical Control
**) DNC - Direct Numerical Control



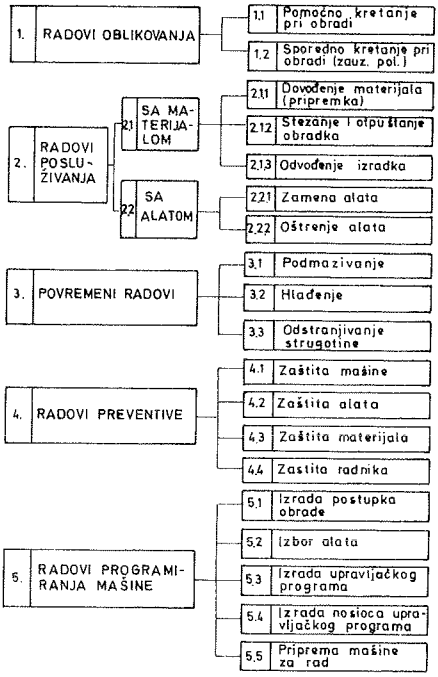
Sl.3. Mesto pojedinih sistem mašina alatki sa numeričkim upravljanjem u okruženju sistema u proizvodnom mašinstvu



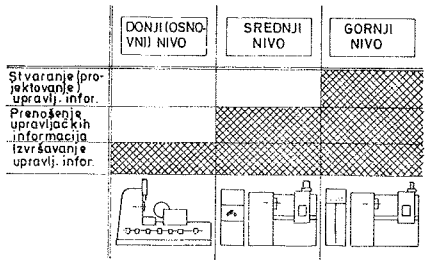
Sl.4. Osnovni model obradnog sistema |15|

Dok je pre dve decenije mehanički automat (npr. jednovreteni mehanički automatski strug) ubrajan u mašine alatke na najvišem nivou automatizacije, iako od funkcija - područja upravljanja, automatizacijom (slika 5.) obuhvata praktično samo minimum početnih funkcija (npr. 1,3,4 i bar 2.1), danas takvo posmatranje nije prihvatljivo.

Razvoj obradnih sistema na bazi numeričkog i kompjuterskog upravljanja i težnja ka kompleksnoj integraciji proizvodnog procesa kroz izgradnju potpuno automatizovanih fabrika, doprineli su izgradnji shavatanja po kojima se automatizovani obradni sistemi posmatraju po nivoima: (i) nivo izvršavanja upravljačkih informacija, kojem npr. odgovaraju dosadašnji klasični automati, (ii) nivo prenošenja i izvršavanja upravljačkih informacija, kojem npr. odgovaraju numerički upravljane (NU) mašine alatke i (iii) nivo stvaranja (projektovanja), prenošenja i izvršavanja upravljačkih informacija, kojem npr. odgovaraju kompjuterom upravljani pojedinačni i vezani obradni sistemi (slika 6.).



Sl.5. Područja upravljanja na mašinama alatkama |16|



Sl.6. Nivo automatizacije obradnih sistema |17|

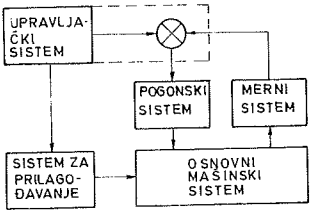
2.2. Numerički upravljane mašine alatke i numerički upravljani sistemi*

Nadovezujući se na prethodna uvodna razmatranja u nastavku se bez upuštanja u detalje - za šta se upućuje na uvodne referate iz ranijeg perioda| 6 | |9 |, ukratko ukazuje na tipična rešenja mašina i sistema sa numeričkim upravljanjem.

*) Pod pojmom numeričkog upravljanja podrazumeva se kako numeričko tako i kompjutersko upravljanje

2.2.1. Konvencionalne numerički upravljane - NU (NC) mašine alatke

Prva generacija NU mašina alatki bazira na upravljačkim jedinicama sa fiksnom logikom odnosno hardverski realizovanom logikom obrade upravljačkih informacija. Gruba funkcionalna struktura ovakvih mašina alatki, prikazana na slici 7., sadrži:

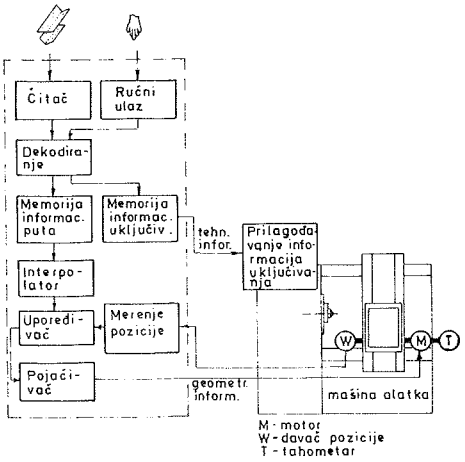


Sl.7. Struktura NU mašine alatke |18|

upravljački sistem; sistem za prilagodjavanje upravljačkih informacija (INTERFACE); pogonski sistem; merni sistem; i osnovni mašinski sistem (osnovnu mašinu alatku).

Upravljačke informacije kod ovakvih rešenja NU mašina alatki se po pravilu unose putem perforirane trake kao nosioca informacija.

Informacioni tok kod NU (NC) upravljanja mašinama alatkama prikazan je na slici 8.

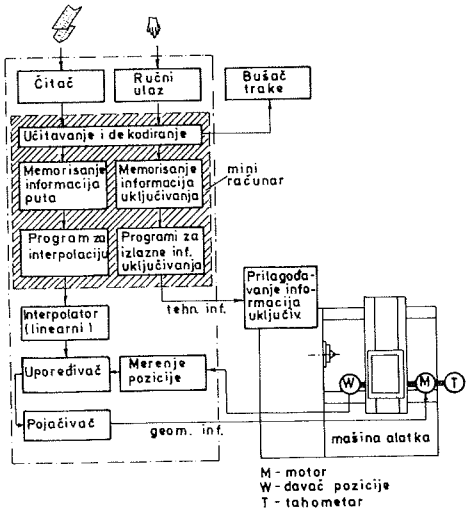


Sl.8. Informacioni tok kod NU (NC) upravljanja mašinama alatkama |19|

2.2.2. Kompjutersko numeričko upravljanje - KNU (CNC)

Klasična numerička upravljačka tehnika poslednjih godina biva skoro potpuno prevazidjena i zamenjena sa tzv. slobodno programirajućim numeričkim upravljanjem odnosno kompjuterskim numeričkim upravljanjem - KNU.

Upravljačka jedinica kod ovog upravljanja sadrži kao centralni element procesni mini računar (slika 9.).



Sl.9. Informacioni tok kod KNU (CNC) upravljanja mašinama alatkama |19|

Kompjutersko numeričko upravljanje za razliku od konvencionalnog numeričkog upravljanja pored niže nabavne cene zahvaljujući softverskoj obradi upravljačkih informacija u okviru mini računarske jedinice, pruža daleko veću fleksibilnost za primenu. Pri tome posebno treba istaći: mogućnost direktnog programiranja na mašini, mogućnost korekcija programa kroz komuniciranje (editiranje), memorisanje više programa, daleko šire mogućnosti u pogledu automatskog definisanja upravljačkih informacija za karakteristične cikluse obrade, dijagnostiku i sl.

Primena kompjuterskog numeričkog upravljanja ne zadržava se samo na mašinama namenjenim za jednu vrstu obrade već se na isti način primenjuje i na NU mašinama koje izvode više vrsta obrade - obradnim centrima.

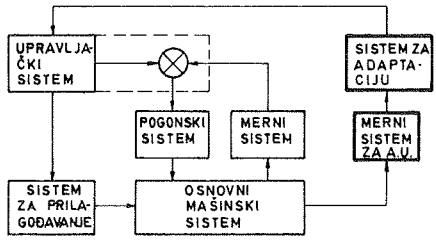
2.2.3. Adaptivno upravljanje na bazi numeričkog upravljanja

Za razliku od numerički upravljanih mašina alatki, adaptivno upravljani AU-(AC*) obradni sistemi u svojoj strukturi sadrže i sistem za adaptaciju, kao i merni sistem adaptivnog upravljanja (slika 10.) odnosno sistem za identifikaciju.

Osnovno kolo numeričkog upravljanja obezbedjuje funkcionisanje sistema, dok adaptivno kolo obezbedjuje prilagodjavanje odredjenih parametara stvarnoj situaciji prema postavljenoj strategiji.

Za ostvarenje adaptivnog upravljanja u opštem slučaju potrebno je obezbediti osnovne aktivnosti u vidu identifikacije procesa, odlučivanja i modifikacije parametara.

*) AC - Adaptive Control



Sl.10. Struktura NU obradnog sistema sa adaptivnim upravljanjem

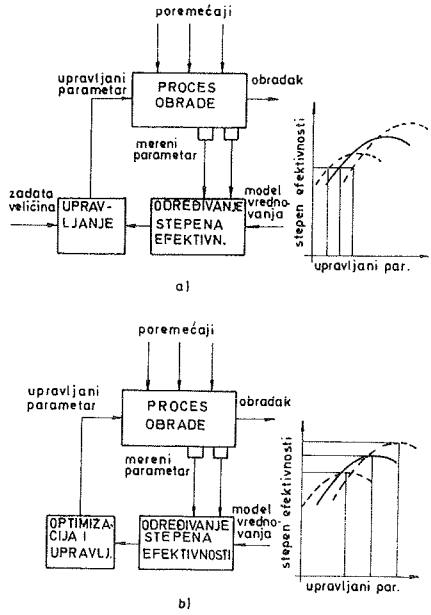
Identifikacija procesa odnosi se na praćenje jednog ili više parametara koji nastaju u procesu obrade i karakterišu ga. Funkcija odlučivanja predstavlja aktivnost u kojoj se prema odredjenim kriterijumima donosi sud o potrebi modifikacije ulaza u proces na osnovu identifikovanih izlaznih parametara procesa. Funkcija modifikacije predstavlja oblikovanje informacija pogodnog oblika (na osnovu identifikovanog signala i donete odluke), za intervenciju u smislu promene nekog parametra.
Jedan od pristupa klasifikaciji adaptivnog upravljanja na bazi parametara procesa rezanja, prikazan na slici 11. |20| bazira na karakteru parametara identifikacije. U navedenoj klasifikaciji polazi se od toga

parametar identifikacije	parametar modifikacije	princip upravljanja
T	T	tehnološko adaptivno upravljanje
T	G	
G_M	T	geometrijsko adaptivno upravljanje
G_M	G	
G_0	T	
G_0	G	dimenziono adaptivno upravljanje

Sl.11. Klasifikacija adaptivnog upravljanja prema karakteru parametara identifikacije |20|

da parametri identifikacije mogu biti geometrijskog (G) ili tehnološkog (T) karaktera. Ako su u pitanju prvi reč je o geometrijskom adaptivnom upravljanju. Pri tome je merenje geometrijskih veličina moguće vršiti na samoj mašini (npr. veličina pomeranja alata, promena dimenzija alata) - G_M , ili na obratku (npr. prečnik) - G_O, a upravljati procesom - modifikacijom tehnoloških ili geometrijskih parametara.

Kao ocena toka i rezultata procesa obrade na mašini alatki primenjuju se obično kriterijumi troškova obrade, proizvodnosti i kvaliteta obrade. Ekstremi ovih kriterijuma: minimalni troškovi, maksimalna proizvodnost i kvalitet ne mogu se postići istovremeno,jer su suprotnih tendencija. Zato se za konkretnu situaciju pribegava kompromisima uobličenim u vidu modela vrednovanja. Takav model praktično opisuje funkciju "stepena efektivnosti" procesa u zavisnosti od parametara procesa. Zavisno od toga kako se obezbedjuje "stepen efektivnosti" razlikuju se: adaptivno upravljanje sa ograničenjem - ACC i adaptivno upravljanje sa optimizacijom - ACO* (slika 12.)|20|



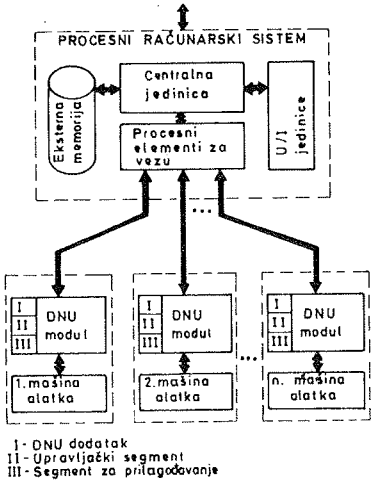
Sl.12. Princip ACC (a) i ACO (b) adaptivnog upravljanja

Kod ACC adaptivnog upravljanja radi se o održavanju stalnog nivoa (granice) stepena efektivnosti (sl.12a) na bazi upravljanja parametrima rezanja. Kod ACO adaptivnog upravljanja umesto trenutne veličine stepena efektivnosti poznata je i sama funkcija promene, pa se upravljanje na bazi modifikacije ulaznih parametara izvodi da funkcija stepena efektivnosti ima uvek maksimum (slika 12b).
Dosadašnji razvoj sistema sa adaptivnim upravljanjem u svetu pretežno je bio usmeren na sisteme pri obradama struganja, glodanja i brušenja, medjutim od velikog broja razvijenih sistema vrlo mali broj do sada se koristi u proizvodnim pogonima.

2.2.4. Direktno numeričko upravljanje - DNU (DNC)

Direktno numeričko upravljanje podrazumeva istovremeno ON-LINE centralizovano upravljanje sa više NU mašina alatki, sa jednog mesta, odnosno pomoću centralnog računarskog sistema (slika 13.).

*) ACC - Adaptive Controle Constrained
ACO - Adaptive Control Optimization



Sl.13. Principijelna koncepcija DNU sistema |21|

U ukupnoj strukturi DNU sistema prisutne su sledeće funkcionalne celine:

- centralni procesni računarski sistem sa centralnom jedinicom, jedinicama perifernih memorija i ulazno izlaznim jedinicama (U/I) - koji može biti povezan i sa računarskim sistemima višeg nivoa,
- moduli za povezivanje centralnog računarskog sistema i NU mašina, uslovno nazvani DNU moduli,
- NU mašine alatke sa svojim mašinskim, pogonskim i mernim sistemima.

U okviru DNU modula prisutne su uobičajeno: (i) DNU dodatak, (ii) upravljački segment i (iii) segment za prilagodjavanje. Pri tome upravljački segment odnosno upravljanje može biti realizovano u vidu |19|:

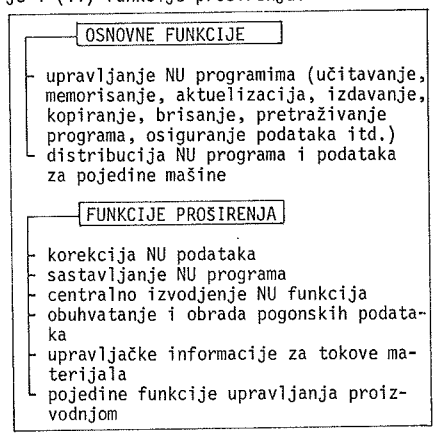
- konvencionalnog numeričkog upravljanja (NU), sa BTR* principom rada (postupkom) u kojem se pri prenosu upravljačkih informacija od računara zaobilazi čitač trake,
- rezidentnog NU modula (MTC**), odnosno nekonvencionalnog neposrednog upravljanja. Kod rezidentnog NU modula odredjene funkcije kao što je dekodiranje, izračunavanje korekcije, pomoćne funkcije i sl. je, za razliku od NU i KNU, preuzeo centralni računar,
- kompjuterskog numeričkog upravljanja (KNU), sa BTR principom rada.

Pored prethodne tri varijante u konkretnim realizacijama DNU upravljanja pojavljuje se i (iv) segment za programsko upravljanje (PC*** segment) što je proisteklo kao usmerena varijanta KNU upravljanja |22| |23|.

To znači da ovakav upravljački segment ima funkciju medjumemorisanja upravljačkih informacija, i funkciju interpolacije.

*) BTR - Behind Tape Reader
**) MTC - Machine Tool Controller (Rumpsteuerung)
***) PC - Programmable Control

Funkcije DNU sistema u opštem slučaju mogu da se sistematizuju u dve grupe (slika 14.) |19| i to: (i) osnovne funkcije i (ii) funkcije proširenja.

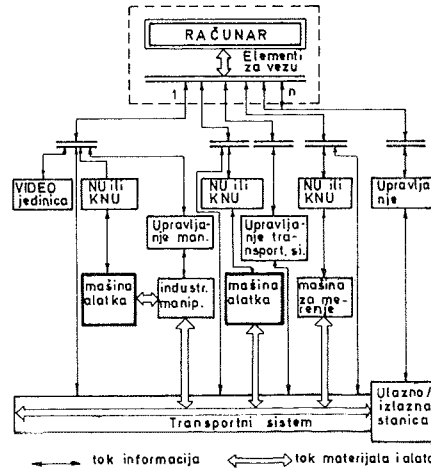


Sl.14. Funkcije DNU sistema |19|

Zavisno od same strukture, broja i vrste funkcija koje su obezbedjene pri upravljanju, postoje razna rešenja DNU sistema.

2.2.5. Fleksibilni tehnološki sistemi - FTS

U težnji da se sve aktivnosti u okviru tehnološkog procesa obuhvate automatizacijom razvijeni su sistemi sa manjim ili višim stepenom integracije - tzv. fleksibilni tehnološki sistemi. Za razliku od DNU sistema ovi sistemi podrazumevaju centralizovano upravljanje putem posebnog procesnog računara kompleksom kojeg mogu da sačinjavaju (slika 15.):



Sl.15. Tokovi informacija i materijala kod FTS |19|

- obradni sistemi
- manipulacioni sistemi
- merno-kontrolni sistemi
- transportni i
- skladišni sistem.

Pri tome ceo kompleks služi za kompletnu obradu odredjene familije delova, i omogućuje optimizaciju celog tehnološkog sistema, a principi upravljanja odgovaraju DNU sistemima.

Pri tome se teži potpunom ON-LINE povezivanju ovakvih sistema sa automatskim projektovanjem upravljačkih informacija.

U principu u novije vreme se identifikuju tri osnovna nivoa automatizacije procesa obrade kod ovakvih sistema |24|:

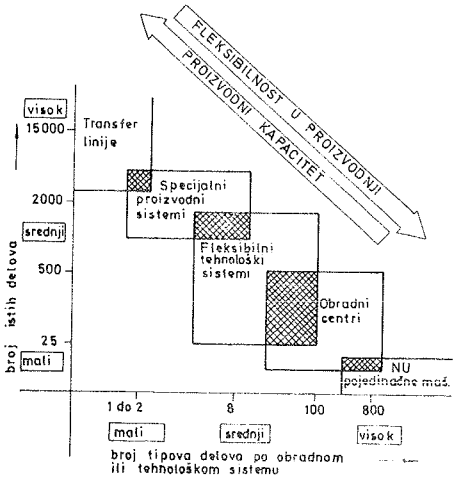
I nivo - fleksibilne tehnološke ćelije
II nivo - fleksibilni tehnološki sistemi
III nivo - kompjuterski automatizovane fabrike

Pri tome fleksibilna tehnološka ćelija predstavlja osnovnu komponentu integralne automatizacije procesa proizvodnje, koja obuhvata KNU - mašinu alatku sa integrisanim rukovanjem alatom i delovima i kontrolom delova. Više ovih ćelija povezanih automatskim transporterom čini fleksibilni tehnološki sistem za obradu odredjene familije delova.

Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu različitih familija delova povezani su transportnim sistemom, dodatnom jedinicom za manipulaciju i automatskim magacinom sa sistemom za pretraživanje delova, čine kompjutersku automatizovanu fabriku.

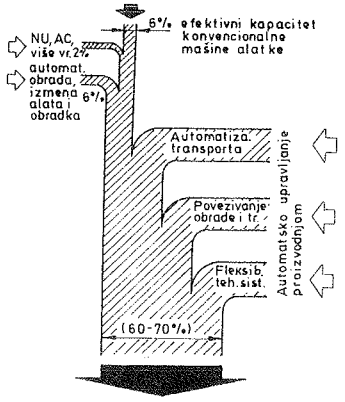
2.2.6. Neke karakteristike i mogućnost primene pojedinih NU sistema

Već ranije je navedeno da je numeričko upravljanje stvorilo mogućnost automatizacije u području pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Time je omogućeno povišenje proizvodnosti uz zadovoljavajući nivo fleksibilnosti primene (slika 16.) |25|.



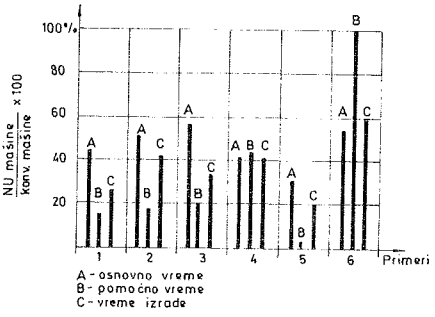
Sl.16. Uredjenje obradnih i tehnoloških sistema po proizvodnosti i fleksibilnosti |25|

Sa druge strane nije suvišno podsetiti se i na značaj uvodjenja savremenih sistema za obradu,višeg tehnološkog nivoa. U tom smislu na slici 17. ilustrovana je mogućnost podizanja efektivnog kapaciteta uvodjenjem sistema višeg tehnološkog nivoa - sve posmatrano u odnosu na efektivni kapacitet konvencionalne mašine alatke pri radu u jednoj smeni.



Sl.17. Značaj uvodjenja savremenih obradnih sistema posmatran kroz podizanje efektivnog kapaciteta

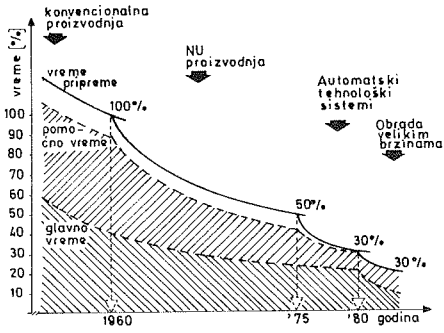
Kao potvrdu prethodnih orijentacionih podataka o mogućnostima koje pružaju NU obradni sistemi navode se i odredjeni domaći podaci |26| |27| o smanjenju mašinskog, pomoćnog vremena i vremena izrade primenom NU mašina za razliku od obrade na konvencionalnim mašinama.



Sl.18. Efekti uvodjenja mašina alatki u domaće pogone |26| |27|

Navedeni prikaz odnosi se na šest složenijih delova prizmatičnog i rotacionog oblika.

Najzad, ilustracija uticaja primene NU mašina alatki i sistema, na smanjenje glavnog, pomoćnog i pripremnog vremena data je na slici 19. |28|.



Sl.19. Stupnjevi razvoja i njihov orijentacioni uticaj na smanjenje glavnog pomoćnog i vremena pripreme

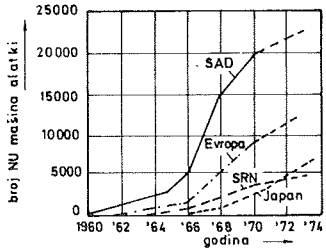
2.3. Dosadašnji razvoj, proizvodnja i primena NU mašina i sistema u svetu

Razvoj numeričkog upravljanja i NU tehnologije u toku poslednjih tridesetak godina moguće je hronološki prikazati slikom 20 |29|.

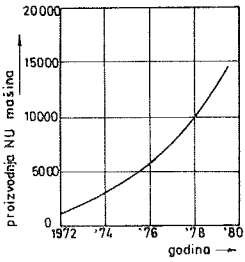
god.	dogadjaj
1949	PARSONS numerički upravlja prvom mašinom
1954	prva industrijski realizovana NU mašina (Bendix/SAD)
1958	prvi simbolični programski jezik - APT (MIT-SAD)
1959	uvodjenje NU mašina u Evropi (Hanoverski sajam)
1960	Tranzistor - NU
1963	prva specijalna NU mašina
1965	automatska izmena alata
1968	prvo NU u IC-tehnici
1969	prvi DNU- sistem u SAD (Sunstrand Omnicontrol)
1970	automatska izmena obratka primenom paleta
1972	KNU i memorisanje NU programa
1975	automatska korektura alata (Rückführung)
1976	mikroprocesor - KNU (CNC)
1977	automatsko nadgledanje habanja alata
1978	primena FTS
1979	CAD/CAM uvodjenje. Uvodjenje AU (AC) i DNU (DNC). FTS zamenjuje transfer linije. Multiprocesorski upravljački sistemi (MPST) u uvodjenju

Sl.20. Hronologija razvoja NUMA i NU tehnologije |29|

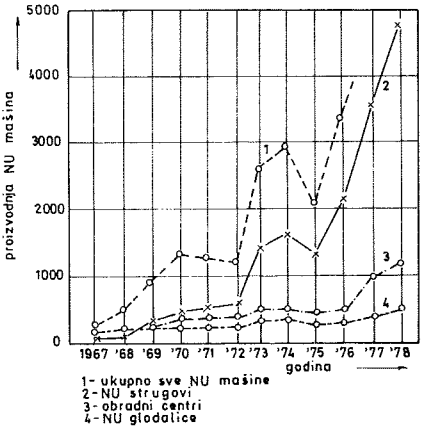
Prema |30| u svetu je 1979. godine bilo u eksploataciji preko 200.000 numerički upravljanih mašina, što je iznosilo svega 3% od ukupnog broja mašina alatki. Danas vrednost proizvodnje NU mašina alatki premašuje 25% ukupne proizvodnje mašina alatki u svetu. Treba očekivati da će u bliskoj budućnosti ta proizvodnja dostići 50% ukupne proizvodnje mašina alatki |31|. Za kompletnije saznanje o trendu proizvodnje NU mašina alatki i njihovom uvodjenju u proizvodne pogone neophodno je obratiti pažnju na podatke koji slede. Polazeći od podataka o broju instalisanih NU mašina tokom vremena u vodećim industrijskim zemljama i Evropi do 1970. godine (slika 21.) |32| na slikama 22. i 23. navode se podaci o proizvodnji NUMA u SR Nemačkoj i Japanu tokom vremena. Pri tome se za proizvodnju u Japanu navodi i struktura NU mašina alatki po vrstama.



Sl.21. Broj instalisanih NUMA tokom vremena |32|

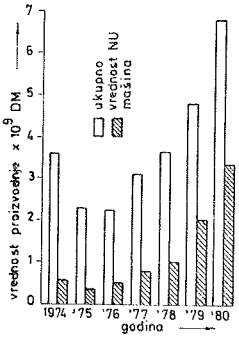


Sl.22. Broj proizvedenih NUMA u SRN tokom vremena (kumulativno) |33|

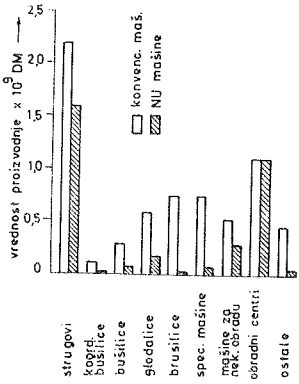


Sl.23. Broj proizvedenih NUMA u Japanu, i njihova struktura tokom vremena |34|

Interesantno je zadržati se i na pokazateljima vrednosti proizvodnje NU mašina u odnosu na konvencionalne mašine alatke, na primeru Japana. U tom smislu, na slici 24. navode se podaci o odnosima proizvodnje NU i konvencionalnih mašina tokom vremena, dok se na slici 25. navodi konkretna vrednosna struktura proizvodnje u 1980. godini, da bi se na slici 26. dao procenat po broju pojedinih vrsta NU mašina u odnosu na ukupno proizvedene mašine odredjene vrste tokom vremena.



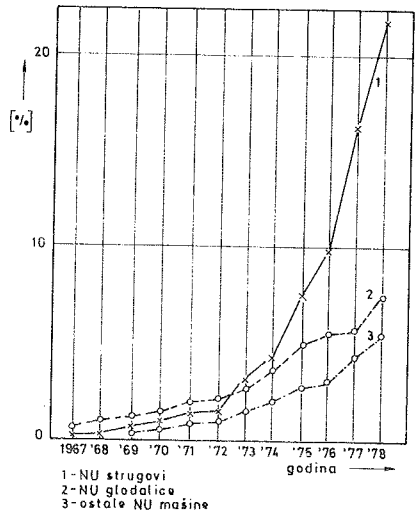
Sl.24. Proizvodnja MA u Japanu tokom vremena (u 10^9 DM) |35|



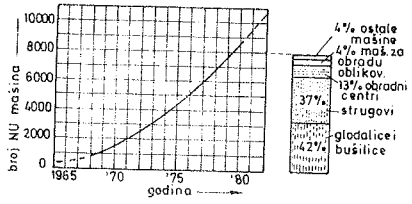
Sl.25. Proizvodnja pojedinih vrsta MA u Japanu u 1980.god. (u 10^9 DM) |35|

Sa druge strane zadržaćemo se i na podacima o broju instalisanih NUMA i njihovoj strukturi, na primeru SR Nemačke. Prikaz na slici 27. ilustruje broj instalisanih NU mašina tokom vremena i procenat učešća u 1979. godini, dok prikaz na slici 28. sadrži rezultate jednog istraživanja iz 1981. godine o zastupljenosti NU i konvencionalnih mašina u 51. fabrici sa različitim brojem zaposlenih.

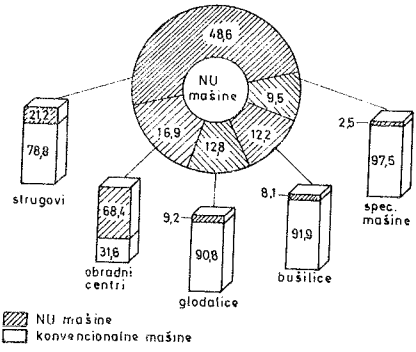
Ne upuštajući se u detaljnije izvodjenje zaključaka, moguće je konstatovati da udeo numerički upravljanih mašina alatki u odnosu na ukupnu proizvodnju mašina alatki nezadrživo raste. Na isti način proizvodnju NU mašina alatki prati i njihovo instalisanje u proizvodnim pogonima. Poslednjih godina svedoci smo i intenzivne proizvodnje i primene kompletnih fleksibilnih tehnoloških sistema na bazi numeričkog, odnosno kompjuterskog upravljanja. Slika 29. prikazuje uvodjenje ovakvih sistema u SAD, Japanu i SR Nemačkoj tokom vremena,



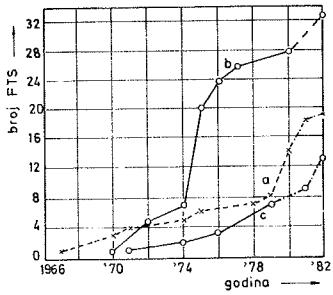
Sl.26. Procenat NU mašina u odnosu na broj ukupno proizvedenih MA u Japanu, tokom vremena |34|



Sl.27. Broj instalisanih NUMA u SRN, tokom vremena i njihovo procentualno učešće u 1979. godini |36|



Sl.28. Zastupljenost NU i konvencionalnih mašina u 51. fabrici u SRN |30|



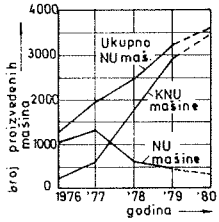
Sl.29. Uvodjenje FTS u SAD (a), Japanu (b) i SRN (c) tokom vremena |37|

pri čemu nisu uzeti u obzir čisti DNU sistemi. U vezi sa navedenim pregledom interesantno je ukazati i na veličinu takvih sistema sa stanovišta broja NU mašina kao i na to da je većina takvih sistema instalisana u većim industrijskim preduzećima (slika 30.) |37|.

	Broj NU mašina u FTS							Broj FTS u	
	2-5	6-10	11-15	16-25	26-30	31-35	Prosečno	velikim firm.	srednjim firm. do 2000 rad.
SRN	5	5	2	—	1	1	10	10	5
Evropa bez SRN	7	8	1	1	–	–	6	–	–
Japan	18	8	4	2	—	–	7	24	2
SAD	2	10	4	–	11	1	11	15	—
Σ	32	31	11	3	12	2		49	7

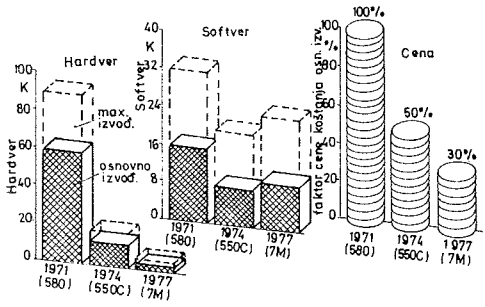
Sl.30. Zastupljenost FTS po broju mašina i njihovo uvodjenje u preduzeća različitih veličina

Intenzivan razvoj, proizvodnja i uvodjenje u eksploataciju NU mašina i kompleksnih tehnoloških sistema podstaknuti su sa nizom prednosti sa stanovišta produktivnosti, kvaliteta i ekonomičnosti koje sa sobom donosi numeričko upravljanje i o čemu je dosta pisano u svetskoj i domaćoj naučno-stručnoj literaturi, npr. |4,19|. Ne zadržavajući se ovde na ponavljanju tih konstatacija želi se posebno istaći da je takvom intenzivnom razvoju i uvodjenju u proizvodne pogone ove tehnologije posebno doprineo intenzivni razvoj mikro elektronike i posebno poluprovodničke tehnologije*, uz značajno smanjenje cene upravljačkih komponenata. Kao rezultat toga KNU (CNC) upravljanje je skoro potpuno istisnulo konvencionalno numeričko upravljanje (NU) o čemu između ostalog svedoči odnos proizvedenih KNU i NU poslednjih godina u SR Nemačkoj (slika 31).



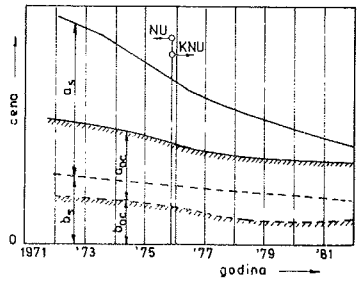
Sl.31. Broj NU mašina proizvedenih u SR Nemačkoj tokom vremena |36|

Smanjenje cene upravljačkog sistema najbolje ilustruje slika 32., na kojoj je prikazan primer razvoja tokom vremena jedne serije upravljačkih jedinica sa stanovišta hardvera i softvera i odgovarajuće cene koštanja.



Sl.32. Primer razvoja jedne serije upravljačkih jedinica (Siemens; K≡1024 16 bitnih reči) |38|

U tom smislu govori i slika 33. na kojoj su predstavljena kretanja cena tipičnih numeričkih upravljanja i pogona tokom vremena. Pri tome su posebno dati podaci o kretanju cena za dvoosno upravljanje NU struga i troosno upravljanje NU obradnog centra.



Sl.33. Kretanje cena tipičnih numeričkih upravljanja i pogona |31|
(a - cena NU
b - cena servo pogona i motora
s - za dvoosno upravljanje NU struga
oc - za troosno upravljanje NU obradnog centra)

*) Poluprovodnička tehnologija ili MOS (metal oxide semiconductor) tehnologija, bazirana na silicijumu u kristalnoj formi, koja omogućava smeštaj velikog broja elemenata na maloj površini. Za razliku od bipolarne tehnologije, odnosno tehnologije kakvom su gradjeni prvi tranzistori (logički sklopovi: PNP; NPN; TTL; DTL; RTL) kod poluprovodničke tehnologije poznate su sledeće varijante (rešenja):
PMOS - sa kanalom tipa P
NMOS - sa kanalom tipa N
CMOS - (Complementary MOS) - kombinacija P i N

2.4. Numeričko upravljanje u području obrade bez skidanja strugotine

Numeričko upravljanje kod mašina za obradu bez skidanja strugotine se sporije razvijalo i njegova primena je, uz neke izuzetke kao npr. elektroeroziono sečenje, kasnila u odnosu na primenu kod mašina za obradu rezanjem. Tako npr. 1978. |41| od 2450 NU mašina u SRN svega je oko 200 bilo za obradu deformisanjem. Poslednjih godina razvoj ovakvih mašina i sistema na bazi numeričkog i kompjuterskog upravljanja dobio je svoje pravo mesto. Zato se ovde ukratko zadržava na dostignućima u tom području.

Zahtevi za povećanom fleksibilnošću, optimalnim iskorišćenjem materijala i energije, povećanje kvaliteta, smanjenje vremena izrade te time povećanje proizvodnosti, u uslovima proizvodnje pri manjim i srednjim serijama, doveli su poslednjih godina do mnogobrojnih rešenja NU mašina za obradu deformisanjem. Pri tome se kao glavni zadaci numeričkog upravljanja kod ovih obrada pojavljuju:

- prenos informacija puta (npr. upravljanje relativnim kretanjem izmedju alata i materijala u cilju dobijanja potrebne geometrije),
- prenos informacija uključivanja (npr. izmena režima kretanja, izmena alata i sl.),
- kontrola, merenje i korekcija (npr. merenje brzine, merenje odstupanja hoda i njihove eventualne korekcije).

U nizu postupaka i metoda obrade numeričko upravljanje ima svoje mesto gde se:

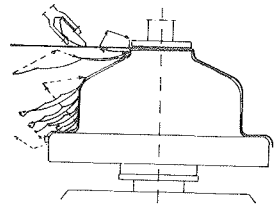
- oblikovanje izvodi kroz definisano relativno kretanje izmedju alata i predmeta obrade;
- obrada izvodi alatom čiji oblik nije identičan sa oblikom izratka, dok je uvodjenje NU kod obrada kod kojih oblik alata predstavlja negativ oblika izratka (npr. kovanje u kalupima) manje interesantno i od manjeg značaja.

Kao posebno pogodne obrade za automatizaciju primenom numeričkog upravljanja ističu se:

1. u području obrade lima:
   - sečenje (prosecanje, probijanje, opsecanje), bez obzira da li se radi o konvencionalnom, elektroerozionom, laserskom ili sečenju plazmom,
   - slobodno sabijanje (kružno, profilno, savijanje cevi),
   - savijanje u kalupima,
   - izvlačenje pritiskivanjem
2. u području zapreminskog oblikovanja:
   - slobodno kovanje (npr. "rotaciono" kovanje).

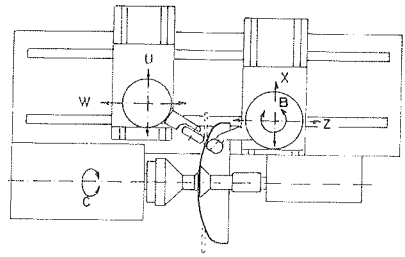
Kao rešenje numeričkog upravljanja u primeni je uglavnom kompjutersko numeričko upravljanje - KNU (CNC), pri čemu se izvodjenja konkretnih mašina i sistema često pojavljuju i u vidu obradnih centara, sa automatskom izmenom alata. Takva rešenja obezbedjuju kompletnu obradu odredjenog izradka. Upravljački sistem, zavisno od namene masine, odnosno primenjenog postupka obrade, obezbedjuje upravljanje od jedne pa do preko pet osa.

U cilju ilustracije prethodnih razmatranja u nastavku se daju odredjeni prikazi nekih od konkretnih rešenja. Na slici 34. prikazane su faze putanje alata za izvlačenje pritiskivanjem pri oblikovanju. Numeričko upravljanje za ovakve postupke omogućava relativno jednostavno programiranje i automatsko izvodjenje svih faza oblikovanja po zadatom programu.



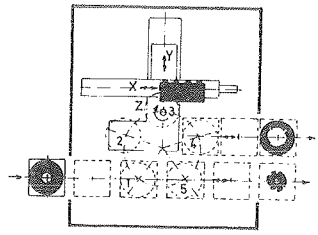
Sl.34. Faze putanje alata pri izvlačenju pritiskivanjem |41|

Na slici 35. data je, za prikazani postupak oblikovanja, koncepcija posebnog KNU obradnog centra sa pet osa upravljanja.



Sl.35. KNU centar za obradu izvlačenjem pritiskivanjem |40|

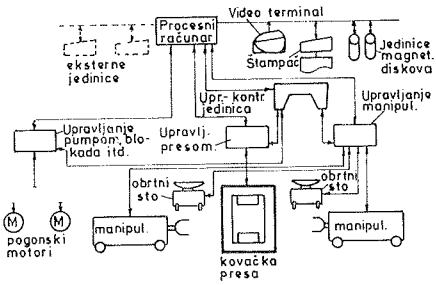
Kao primer kompleksnog rešenja mašine za probijanje i prosecanje na slici 36. prikazan je KNU centar za izradu statorskih i rotorskih limova.



Sl.36. KNU centar za izradu statorskih i rotorskih limova |39|

Ukazujući da se i u području obrade deformisanjem u poslednje vreme pojavljuju i rešenja sa DNU upravljanjem, odn. sistemi višeg tehnološkog nivoa, ovde se prikazuje primer kompleksnog rešenja fleksibilnog

proizvodnog sistema za obradu deformisanjem (slika 37.).



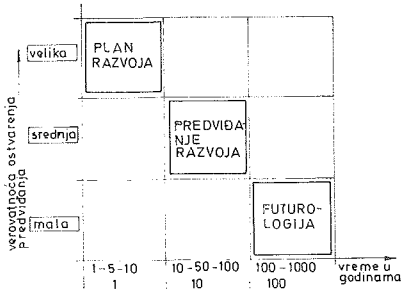
Sl.37. Fleksibilni proizvodni sistem - kovačko postrojenje upravljano procesnim računarom |40|

Navedenim rešenjem izvedenim kao kompleksno kovačko postrojenje upravlja procesni računar. Pri tome upravljanje obezbedjuje:

- regulisanje hoda prese,
- upravljanje manipulatorima i obrtnim stolovima,
- upravljanje pumpom, blokadama i sigurnosnim elementima,
- optimiranje celog tehnološkog procesa.

2.5. Tendencija u razvoju i predvidjanje razvoja NU mašina i sistema

Kada se govori o tendencijama u razvoju i predvidjanju razvoja NU mašina i sistema čini se neophodnim ukazati na razliku pojmova planiranja razvoja, predvidjanja razvoja i futurologije u odnosu na verovatnoću ostvarenja predvidjanja (slika 38.) |42|.



Sl.38. Korelacija izmedju verovatnoće ostvarenja predvidjanja i dužine vremenskog intervala

U skladu sa navedenim prikazom na slici 38. u nastavku se želi ukazati na odredjene tendencije u razvoju koje neposredno proizilaze iz sadašnjih dostignuća i koje pripadaju narednim godinama. Sa druge strane želi se ukazati i na odredjena predvidjanja razvoja NU mašina i sistema do 2000 godine.

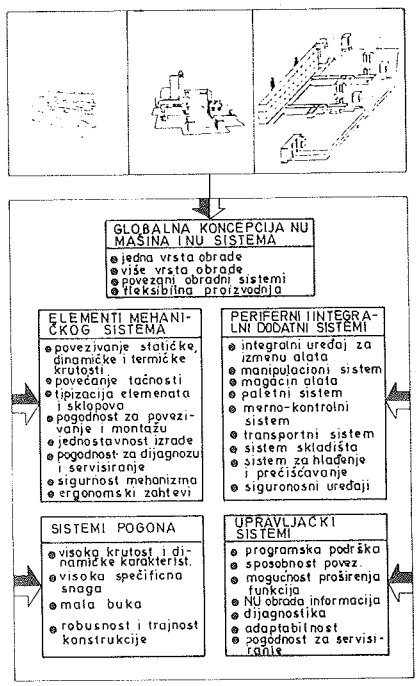
2.5.1. Tendencije u razvoju NU mašina i sistema

Kao ključne tačke razvoja mašina alatki uopšte javljaju se |43|:

- prilagodjavanje mašina novim postupcima obrade i novim dostignućima u pojedinim postupcima obrade,
- dalja automatizacija za potrebe maloserijske i pojedinačne proizvodnje,
- racionalizacija proizvodnje mašina kroz modularnu gradnju, redukovanje varijanti i primenu novih komponenata.

Pri tome je celokupnu problematiku razvoja savremenih NU mašina i sistema moguće sistematizovati i posmatrati kroz pet područja problematike (slika 39.) |43|, i to:

...1. globalna koncepcija NU mašina i NU sistema;
...2. mehanički sistem i elementi mehaničkog sistema mašine;
...3. periferni sistemi
...4. sistemi pogona
...5. upravljački sistemi



Sl.39. Područja problematike razvoja NU mašina i sistema |43|

...1. Globalna koncepcija NU mašina i sistema

Razvoj globalne koncepcije moguće je posmatrati kroz razvoj koncepcije pojedinačnih sistema i razvoj koncepcije povezanih mašina i težnji ka krajnjem cilju u vidu "fabrika bez ljudi".

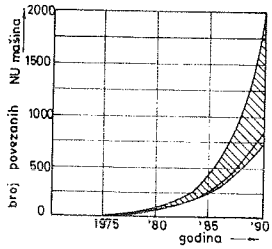
U prvom slučaju sigurno je da će razvoj novih postupaka obrade, odnosno novih

tehnologija obrade, te novih upravljanja dovesti do potpuno novih vrsta mašina |43| Pomenimo samo da je razvoj laserske tehnike i tehnike rezanja plazmom u poslednjih petnaest godina doveo do njima odgovarajućih rešenja mašina sa numeričkim upravljanjem.

Što se tiče mašina sa numeričkim upravljanjem koje izvode obradu po poznatim postupcima, ne treba očekivati značajne novine. Težnja u novijim koncepcionim rešenjima ovakvih mašina usmerena je na povećanje tačnosti i proizvodnosti i s tim u vezi povišenju statičke i dinamičke krutosti. Uz to je prisutna težnja ka rešenjima sa više nezavisnih nosača alata, odnosno više osa upravljanja. Medjutim treba očekivati da će ovakve NU mašine i obradni centri sve više biti opremane sa industrijskim robotom ili automatskim paletnim sistemom za manipulaciju sa pripremkom, obratkom i izratkom |31|.

Pored toga treba očekivati da će na samoj mašini merenje obratka i merenje veličine habanja alata, odgovarajuća kompenzaciona kretanja u cilju obezbedjenja tačnosti, biti sve uspešnije ostvarena. S tim u vezi predvidja se i opremanje NU mašina i sa odgovarajućim sistemom za identifikaciju loma alata, koji u slučaju loma treba da obezbedi odgovarajući signal za zaustavljanje mašine ili drugu odgovarajuću intervenciju |31|.

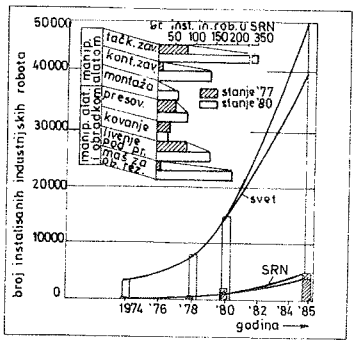
Kod NU sistema višeg tehnološkog nivoa kao što su DNU i fleksibilni tehnološki sistemi treba očekivati vrlo intenzivan prodor ovakvih sistema u proizvodne pogone. Kao jedan od razloga navodi se samo podatak |37|, da fleksibilni tehnološki sistemi obezbedjuju povećanje produktivnosti za 2,5 do 6,5 puta u odnosu na proizvodnju sa konvencionalnim mašinama a 1,3 do 2,2 puta u odnosu na proizvodnju sa pojedinačnim numerički upravljanim mašinama. Prema istom autoru predvidja se da će u 1990.godini izmedju 700 i 2000 NU mašina biti instalisano u SR Nemačkoj kao jedinke povezanih tehnoloških sistema (slika 40.), uz napomenu da je 1981.godine bilo instalisano samo 85 takvih mašina. Bazirajući se na



Sl.40. Predvidjanje difuzije broja povezanih NU mašina u SRN |37|

konstataciji da će fleksibilni proizvodni sistemi biti sve više prihvatljivi za manje fabrike isti autor npr. predvidja da bi ukupna proizvodnja ovakvih mašina u ekstremnom slučaju mogla 1990. godine u SRN da dostigne i cifru od 32000 mašina pri čemu bi 50% otpadalo na mašine za obradu rotacionih izradaka.

Obzirom da manipulacioni sistem u okviru fleksibilnog tehnološkog sistema čini jednu od bitnih komponenata za automatsko povezivanje celog sistema, ovde ćemo se zadržati i na podacima o uvodjenju industrijskih robota - manipulatora u proizvodnju tokom vremena u svetu |43|. Na slici 41. pored ukupnog brojčanog pokazatelja posebno je prikazan i odnos broja instalisanih industrijskih robota u 1977. i 1980.godini u SR Nemačkoj, u tehnologiji zavarivanja, montaže, presovanja, kovanja, livenja pod pritiskom i kod mašina za obradu rezanjem. Pri tome se kod tehnologije zavarivanja i montaže isti koriste za manipulaciju sa alatom, a kod ostalih postupaka i mašina za manipulaciju sa alatom i obratkom.



Sl.41. Statistički pokazatelji uvodjenja industrijskih robota - manipulatora u proizvodnju tokom vremena u svetu i SRN |43|

Navedeni prikaz posebno ilustruje vrlo intenzivno uvodjenje industrijskih robota u području mašina za obradu rezanjem na bazi kojih se najčešće grade fleksibilni tehnološki sistemi.

Moguće je konstatovati da se ukupna koncepcija NU sistema razvija u cilju stvaranja fabrike bez ljudi, sa različitim NU mašinama alatkama, industrijskim robotima, sistemima automatskog transporta - merno kontrolnim sistemima, automatskim skladištima i kompjuterom koji su svi medjusobno dinamički povezani |31|.

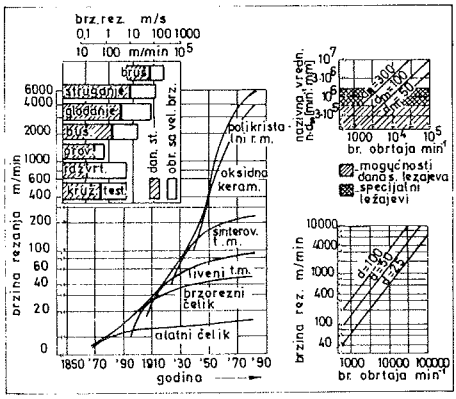
...2. Mehanički sistem i elementi mehaničkog sistema

Povećanje statičke, dinamičke i termičke krutosti elemenata i cele strukture mašinskog sistema kao preduslov za povećanje tačnosti i proizvodnosti, predstavlja jedan od bitnih pravaca daljeg razvoja savremenih mašina alatki.

Uz to je prisutna težnja da se dodje do optimalnih rešenja konstrukcije mašine sa stanovišta zadovoljavanja uslova procesa obrade na mašini.

Uvodjenje standardnih tipiziranih elemenata i sklopova i tzv. modularna gradnja mašina treba da obezbedi jednostavniju i jeftiniju proizvodnju sa jedne strane i

jednostavnije projektovanje, montažu, dijagnosticiranje i servisiranje sa druge strane.
Kao posebno značajno za naredni period ovde treba istaći prisutna saznanja o razvoju procesa rezanja sa povećanim i visokim brzinama rezanja (slika 42.). Uvodjenje takvih brzina rezanja, odnosno materijala alata koji to obezbedjuju nameće posebne zahteve i od mehaničkog sistema mašine i njegovih sklopova i elemenata.



Sl.42. Razvoj brzina rezanja i brojeva obrtaja pri rezanju čeličnih materijala |43|

Pri tome se kao poseban problem nameće razvoj odgovarajućih rešenja uležištenja (kotrljajućih, hidrostatičkih) glavnih vretena, koja će omogućiti visoke brojeve obrtaja i široka područja ($n_{min} \div n_{max}$) radnih brojeva obrtaja. Rešenja iz poslednjih godina u vidu magnetskih ležaja predstavljaju još uvek vrlo skupa rešenja |43|.
U vezi sa mehaničkim sistemom značajno je ukazati i na tendenciju uvodjenja novih, bolje rečeno nekonvencionalnih materijala, kao konstrukcionih materijala. U vezi s tim napominje se da su za eliminisanje stick-slip efekta već uveliko u primeni specijalni materijali za klizne vodjice, a da primena betonskih nosećih struktura (polimer beton i sl.) ima tendenciju sve veće primene kod manje i srednje teških mašina. Pri tome se pored visokih prigušnih svojstava i poboljšanja dinamičkih karakteristika, konstrukcioni elementi na bazi betona, odlikuju jednostavnošću tehnologije izrade i time manjom cenom koštanja takvih delova.

...3. Periferni i integralni dodatni sistemi

Uloga perifernih i integralnih dodatnih sistema svodi se na povišenje proizvodnosti i oslobadjanja čoveka od monotonih i jednostavnih radova kroz automatizaciju takvih radova i aktivnosti.
Uz to ovi sistemi imaju značajnu ulogu pri povezivanju pojedinačnih obradnih sistema u sisteme veće složenosti odnosno fleksibilne tehnološke sisteme.

Naime, radi se prvenstveno o sledećim sistemima:
- sistemu za izmenu alata
- sistemu za prethodno podešavanje alata
- manipulacionom sistemu
- merno-kontrolnom sistemu
- transportnom sistemu
- sistemu za hladjenje i prečišćavanje
- sigurnosnom sistemu
- skladišnom sistemu, itd.

Problematika daljeg razvoja svakog od ovih sistema predstavlja, na odredjen način specifičnu problematiku. Medjutim, ako se posmatranje zadrži samo na zahtevima koji proizilaze iz tendencija razvoja savremenih automatskih fleksibilnih tehnoloških sistema, tada ova problematika pripada globalnoj koncepciji NU sistema. Treba istaći da je opšta tendencija u razvoju ovakvih sistema vezana za tipizaciju elemenata i sklopova, odnosno modularni princip gradnje. Posebno kod sistema za automatsku izmenu alata, težnja je usmerena ka uvodjenju "kodiranih alata" kao preduslovu za automatsko prepoznavanje odredjenog alata. Kod merno-kontrolnih sistema posebni napori usmereni su na razvoj odgovarajućih senzora za praćenje mere obratka tokom procesa obrade, odnosno za praćenje veličine za identifikaciju ako se radi o adaptivno-upravljanim sistemima.

...4. Pogonski sistemi

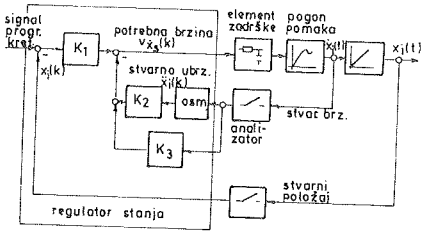
Kod numerički upravljanih mašina alatki, za pogon glavnog i pogon pomoćnog kretanja dominira primena elektromotora jednosmerne struje sa regulacijom.
Kod ovih motora regulacija brojeva obrtaja odnosno stvaranje promenljivog jednosmernog napona vrši se danas najvećim delom pomoću usmerivača sa tiristorima, a redje tranzistorima |44|.
Kod glavnog kretanja, odnosno pogona glavnog vretena od motora se zahteva regulacija u širokom dijapazonu snage i brojeva obrtaja, i posebno da područje regulacije sa konstantnom snagom bude što šire. Takve karakteristike omogućavaju motori jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom. Asinhroni motori naizmenične struje, napajani preko statičkih pretvarača u primeni su u daleko manjem obimu. Procenjuje se da u skoroj perspektivi ovi motori ne mogu potisnuti motore jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom |44|.
Kod pomoćnog kretanja odnosno pogona pomaka u primeni su:
- koračni motori sa permanentnim magnetom kod kojih odgovarajući poluprovodnički uredjaj predstavlja spregu logičkih kola i tranzistorskih izlaznih stepena. Primena električnih koračnih motora ograničena je na manje snage, dok se za veće snage koriste elektrohidraulični koračni motori.
- servomotori jednosmerne struje, sa pobudom sa stalnim magnetom i regulacijom na bazi promene rotorskog napona uz konstantnu pobudu. Ovi motori prekrivaju područja malih i srednjih snaga |44|.

Zahvaljujući naglom razvoju magnetnih materijala (keramički magneti), servo motori jednosmerne struje su dobili široku primenu kod NU mašina, tako da se savremena rešenja NU mašina, skoro isključivo izvode sa ovakvim motorima.

Pored visoke cene, jedan od ograničavajućih faktora kod servomotora jednosmerne struje je vezan za održavanje i granicu komutacije, jer trošenje kolektora odredjuje životni vek motora. Zbog toga se intenzivno radi na razvoju regulacionog sistema koji će omogućavati primenu i motora naizmenične struje za pogon pomoćnog kretanja. Rezultati dosadašnjih istraživanja pokazuju da je kroz dalji razvoj elemenata i sklopova na bazi poluprovodničke tehnike i razvoj nove upravljačke tehnike pogona sa motorima naizmenične struje moguće doći do sistema sa motorima naizmenične struje čije statičke i dinamičke karakteristike ne zaostaju u odnosu na motore jednosmerne struje |45|.

Teško je pretpostaviti da će motori naizmenične struje u bližoj budućnosti potisnuti servo motore jednosmerne struje |44|. Medjutim mnogi tvrde da budućnost pripada servomotorima naizmenične struje, ali će trebati još vremena da istisnu motore jednosmerne struje.

Zahtevi za velikom dinamikom upravljanja putanjom kod NU mašina doveli su i do razvoja novih rešenja regulacionih kola sistema za pomoćno kretanje. Jedno takvo rešenje prikazano na slici 43. |43| obezbedjuje regulaciju stanja kako na osnovu položaja i broja obrtaja (brzine), tako i na osnovu ubrzanja. Navedeno rešenje omogućava značajno poboljšanje prigušenja regulacionog kola pri promeni smera.



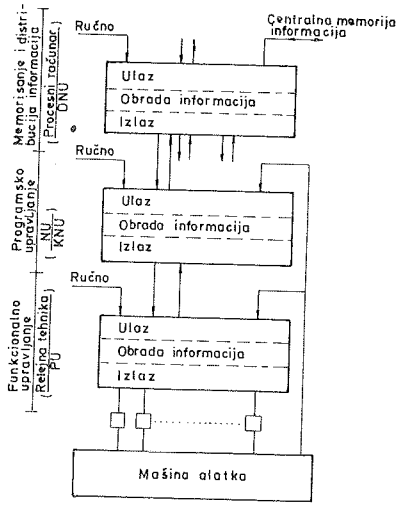
Sl.43. Regulaciono kolo sistema za pomoćno kretanje sa regulacijom položaja |43|

...5. Upravljački sistemi

Sistem upravljanja moguće je posmatrati kroz tri funkcionalna nivoa (slika 44.) |46|.

Najvišem nivou odgovara memorisanje, prilagodjavanje, upravljanje programima obrade i njihova distribucija na odredjene upravljačke sisteme. Ovakav nivo odgovara DNU sistemima.

Srednjem nivou odgovaraju programski upravljački sistemi, odnosno NU i KNU upravljački sistemi.



Sl.44. Funkcionalni nivoi upravljanja mašinama alatkama |46|

Najnižem nivou odgovaraju funkcionalni upravljački sistemi ili uredjaji koji na ulazu dobijaju informacije iz programskih upravljačkih jedinica i povratne informacije od mašine, a na izlazu pak daju komande na izvršne organe mašine. Njihova uloga svodi se na prilagodjavanje, dekodiranje, logičko povezivanje signala i sl., i kao takvi su specifični za svaku NU mašinu te se moraju prilagoditi njenim specifičnim zahtevima.

Razvojem savremenih elektronskih komponenata i sklopova (LSI kola, mikroprocesori) sa klasičnim sistemima sa numeričkim upravljanjem (NU) prešlo se na kompjutersko numeričko upravljanje (KNU).

Na isti način kod funkcionalnih upravljačkih uredjaja koji su ranije bili realizovani na bazi ožičeno programiranih sistema sa fiksnom logikom, prešlo se u novije vreme na sisteme sa slobodnim programiranjem, odnosno programabilne upravljačke sisteme - PU (PC*-sisteme).

Pri tome su PU sistemi univerzalni upravljački uredjaji koji se mogu upotrebiti kao funkcionalni upravljački uredjaji ili kao samostalni programski upravljački uredjaji.

Kod PU sistema funkcionalnost upravljačkog uredjaja definiše se upisivanjem instrukcija u programsku memoriju, odnosno softverski, pri čemu postoji mogućnost testiranja programa i njegove lake korekcije.

U nastavku se ukratko ukazuje na tendencije u razvoju PU i KNU upravljačkih sistema kao i upravljačkih sistema namenjenih za DNU sisteme i fleksibilne tehnološke sisteme.

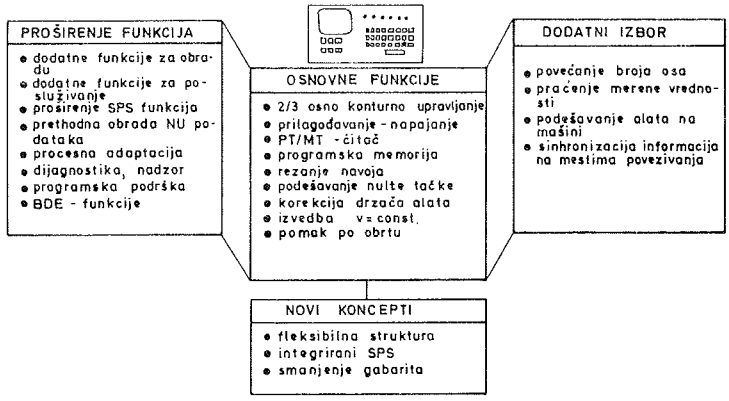
Sistemi PU (PC). U odnosu na sisteme relejno-kontaktorske tehnike i kasnije razvijene i slabo prihvaćene sisteme sa elektronskim komponentama, programabilni upravljački sistemi doživljavaju nagli prodor.

*) PC - Programmable Controller

U 1982. godini trebalo bi da njihova zastupljenost dostigne skoro 40% od ukupnog broja sistema te namene |46|.
PU sistemi u poslednjim godinama se razvijaju u smeru većih sposobnosti. Noviji sistemi mogu da izvode pored binarnih i aritmetičke funkcije koje su npr. potrebne kod pozicioniranja i kod kompenzacija. Time postaju sve sličniji procesnim računarima |46|.
Uz to, moguće je konstatovati da se samostalni sistemi sa PU sve manje izvode sa bit procesorom. Sistemi većeg kapaciteta, izvode se na bazi mikroprocesora, koji su radi povišenja brzine obrade - rada, povezani sa bit procesorima. U cilju skraćenja programske obrade primenjuju se bipolarni mikroprocesori (Bit-Slice-Processor). Programiranje ovakvih sistema izvodi se sve više preko ekranske jedinice, a dijagnostika putem programa za dijagnostiku |47|.

Sistemi KNU (CNC). Ranije je rečeno da su KNU sistemi skoro potpuno potisnuli konvencionalne NU sisteme. Tome je posebno doprineo razvoj memorija sa visokim stepenom integracije (RAM, ROM, PROM, EPROM**) uz značajno smanjenje cene po bit-u. Savremeni razvoj ovakvih sistema usmeren je ka daljem snižavanju cene. Posebno je prisutna težnja ka fleksibilnijim strukturama ovakvih sistema, integraciji PU (PC) upravljanja u ukupni sistem numeričkog upravljanja, te najzad smanjenju gabarita upravljačkih jedinica.

Na slici 45. prikazane su funkcije savremenog numeričkog upravljanja, strukturisane kroz osnovne, dodatne i funkcije proširenja |43|.



Sl.45. Funkcije savremenog numeričkog upravljanja i dalji pravci daljeg razvoja |43|

Obim i namena tih funkcija govore da je dostignut vrlo visok nivo konformbilnosti ovakvih sistema. Kroz dodatne funkcije i funkcije proširenja omogućeno je proširenje tačnosti obrade sa jedne strane i pojednostavljeno programiranje i nadzor i dijagnoza sa druge strane.
Posebno se u razvoju ovakvih sistema ističe težnja ka:

- mogućnosti memorisanja više upravljačkih programa(kroz proširenje centralne memorije ili dodavanjem jedinice periferne memorije - floppy disk i sl.), i mogućnosti unošenja i korekcije novog programa dok mašina izvodi obradu po prethodnom programu, odnosno obavlja prethodni zadatak;
- olakšavanju programiranja kroz dijalog i menü tehniku;
- obezbedjenju funkcija za jednostavno programiranje kompleksnijih ciklusa obrade na mašini;
- omogućavanju grafičke provere geometrijskih informacija upravljačkog programa preko grafičkog VIDEO displeja;
- proveri sigurnosnih odstojanja i mogućih kolizija kroz posebne nadzorne funkcije;
- mogućnosti kompenzacije, kako sa stanovišta raznih korekcija, tako i sa stanovišta ON-LINE procesne adaptacije - npr. pri održavanju mere u tolerantnoj zoni;
- posebnim funkcijama za minimizaciju vremena obrade;
- daljem razvoju dijagnostičkih funkcija u cilju pojednostavljena servisiranja;
- daljem razvoju nadzornih funkcija za ON-LINE praćenje procesa putem praćenja karakterističnih parametara, i sl.

**) RAM - (random access memory) - memorija sa direktnim pristupom, odnosno memorija kod koje je moguće upisivanje, čitanje i izmena sadržaja
ROM - (read only memory) - nepromenljiva memorija, odnosno memorija koju je moguće samo čitati
PROM- (programmable ROM) - programabilna nepromenljiva memorija; posle programiranja postaje ROM memorija
EPROM- (erasable programmable ROM) - programabilna nepromenljiva memorija sa mogućnosti poništenja sadržaja, i ponovnog programiranja

Uz sve to treba reći da se danas vrlo intenzivno radi na razvoju odgovarajućih i dovoljno pouzdanih senzora za dijagnostiku i adaptivno upravljanje, te u narednom periodu treba očekivati intenzivniju primenu sistema sa adaptivnim upravljanjem. Što se tiče ukupne strukture numeričkog upravljačkog sistema tendencije razvoja usmerene su u dva pravca:

- pojedinačni - jeftiniji (low-cost) sistemi
- kompleksni NU sistemi.

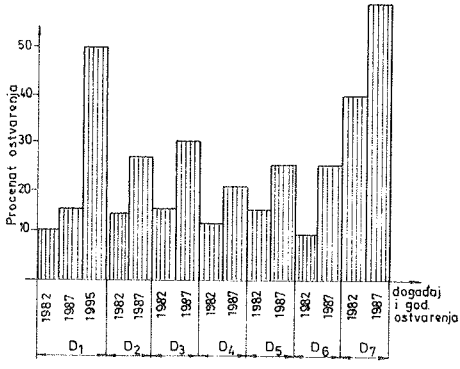
Pri tome prvi treba da omoguće što veći nivo konforbilnosti u pogledu programiranja direktno u pogonu i posluživanja mašine. Kod drugih složenost raste od sistema za pojedinačne mašine i obradne sisteme do povezanih NU sistema. Pri tome više procesorski sistemi upravljanja koji su počeli da se primenjuju u poslednje vreme treba da odigraju posebnu ulogu kod mašina alatki i sistema veće složenosti (veći broj osa upravljanja, veći broj obradnih sistema, manipulacionih sistema, itd.).

2.5.2. Predvidjanje razvoja NU mašina i NU sistema

Presek dosadašnjeg stanja i tendencija numeričkog upravljanja mašinama alatkama u bližoj budućnosti, ukazali su na izvanredne mogućnosti numeričkog upravljanja na planu povišenja kvaliteta, proizvodnosti i ekonomičnosti u metalopreradjivačkoj industriji, pri čemu je sigurno da u daljoj budućnosti treba očekivati dalji razvoj i svih danas poznatih tehnika i tehnologija na kojima bazira razvoj industrije mašina alatki i industrije prerade metala. To će svakako dovesti i do mnogih rešenja koja se u ovom trenutku teško mogu i pretpostaviti.

Prepuštajući se razmišljanju samo na osnovu dosadašnjih saznanja o pokušajima da se u automatski integralni sistem fleksibilnog tehnološkog sistema po principu ON-LINE uključi i sistem kompletnog automatskog projektovanja tehnološkog procesa, nije teško zamisliti da sledeća faza u ON-LINE povezivanju, bude uključenje i automatskog projektovanja delova i sklopova itd. u ceo sistem. A što onda u tom razmišljanju ne bi išli i dalje. "Video"-tastaturno komuniciranje izmedju čoveka i računara prihvatljivo je jer smo već navikli na njega, pa zašto ne bi bilo i ostvareno i na bazi interaktivne sprege "video"-memorija računara ili čak "misao"-memorija računara. Tako bi došli do potpuno automatizovanih fabrika u kojima se uloga čoveka svodi isključivo na misaono komuniciranje sa proizvodnim pogonom u kojem nema čoveka, a moćni računarski sistem obezbedjuje projektovanje proizvoda, projektovanje tehnološkog procesa, upravljanje celokupnim tehnološkim sistemom uz kompletnu pripremu svih elemenata za uspešno funkcionisanje celog takvog sistema. Bilo bi to vrlo lepo, tim pre što bi se uloga čoveka svela samo na zadavanje osnovnog proizvodnog zadatka i moguće donošenje odredjenih vitalnih odluka (a zar ne bi mogli očekivati da će čovek dotle uspeti da toliko "opameti" računare da i to ne mora da radi), no zamislimo samo koliko ljudi, naravno visokostručnih, različitih specijalnosti, i koliko vremena treba da rade na tome, da bi jedan jedini vodio bez problema takvu fabriku. Pomislimo pri tome samo na informacionu bazu, pa programske pakete, i opet koliko ljudi i napora treba da bi se ovo proširilo na ceo kompleks fabrika. Sve to pomalo nestvarno izgleda kada se posmatra u svetlu onoga što sada imamo, ali zar će sve ono na čemu se zasniva ova naša tehnologija obrade (npr. tehnologija obrade rezanjem) ostati na nivou na koji smo počeli da se navikavamo, uz samo povišenje brzine rezanja. Zašto ne bi mogli pomišljati da jednog dana (a koje godine - to ćemo videti, ili bolje reći to će se videti) možemo očekivati da te naše konvencionalne metode obrade, bez obzira da li se radi o obradi postupcima sa ili bez obrade rezanjem, biti prevazidjene.

No vratimo se na realnija predvidjanja, odnosno ona koja prema slici 38. imaju veću verovatnoću ostvarenja. Od ranije su poznata predvidjanja po Delphi metodi [48] a poslednja iz 1979. godine [49] bila su delimično i prezentirana u uvodnom referatu [11] 1980. godine, na XIV Savetovanju proizvodnog mašinstva. Zbog aktuelnosti i u ovom trenutku osvrnućemo se na njih, i pored toga što su sprovedena samo medju američkim stručnjacima. Zadržavajući se samo na nekim od dogadjaja usko vezanih za problematiku razvoja NU mašina i NU sistema došlo se do slike 46.



Sl.46. Predvidjanja razvoja NU mašina i NU sistema [49]

Pomenutom slikom obuhvaćeni su sledeći dogadjaji:

D_1 - udeo mašina u ukupnoj proizvodnji koja će biti ugradjena kao deo tehnološkog sistema sa automatskom manipulacijom obratkom i centralnim računarom,

D_2 - udeo novih numerički upravljanih mašina za obradu bez rezanja,

D_3 - udeo mašina, u ukupnoj proizvodnji NUMA, sa ON-LINE kontrolom tačnosti obrade,

D_4 - udeo cene automatskih manipulatora u novim proizvodnim sistemima,

D_5 - udeo automatskih paletnih sistema na svim NU mašinama koje budu proizvedene,

D_6 - udeo instalisanih NU mašina, koje će biti centralno upravljane sa računarom (DNU),

D_7 - udeo proizvedenih NU mašina kod kojih neće biti prisutan čitač trake kao ulazna jedinica.

Uz prethodna predvidjanja interesantno je dodati i predvidjanje istih stručnjaka da će izmedju 1985. i 1990. godine biti proizvedene mašine alatke (sistemi) sa sposobnošću da na osnovu podataka o geometriji dela izvrše njegovu potpunu automatsku obradu pri čemu proces obrade same projektuju |49, 11|, kao i da će u periodu izmedju 1992 i 2000 godine biti realizovani potpuni ON-LINE automatski sistemi za upravljanje kompletnih tehnoloških sistema (pogona).

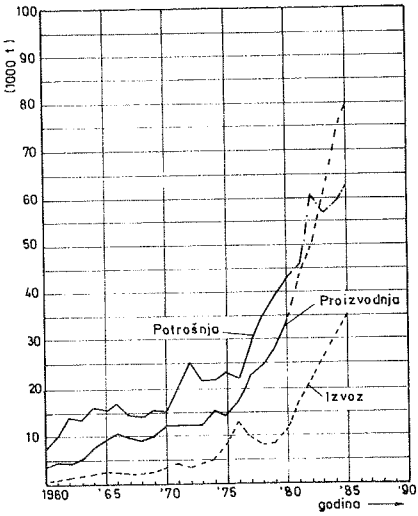
2.6. Osvrt na domaća dostignuća u razvoju NU mašina i NU sistema

U svetskoj proizvodnji i plasmanu mašina alatki, prema podacima iz 1978. godine jugoslovenska industrija mašina alatki učestvuje sa 1% u ukupnoj proizvodnji (15-to mesto u svetu) sa 0,7% u izvozu (20-to mesto u svetu), sa 2,3% u uvozu (13-to mesto u svetu) i 1,66% u potrošnji (11-to mesto u svetu)|50|. U 1981. godini proizvodnja mašina alatki u SFRJ iznosila je oko 36000 tona u vrednosti oko 9,5 milijardi dinara, što predstavlja 1% ukupne svetske proizvodnje, odn. 16-to mesto u svetu (prvih pet zemalja - SAD, Japan, SR Nemačka, SSSR i Italija zajedno učestvuju sa 70,7% svetske proizvodnje |51|).

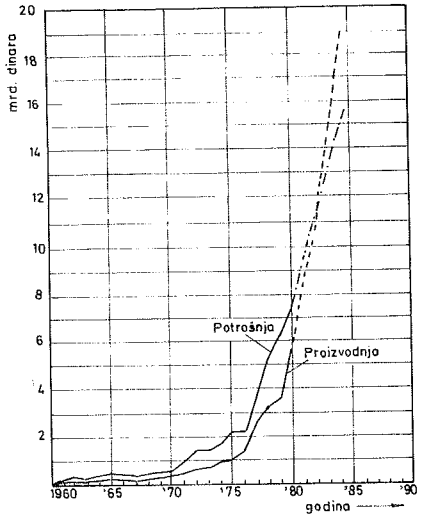
Ukupna proizvodnja, izvoz i potrošnja u SFRJ u periodu od 1960. do 1980. godine, izražena u tonama prikazana je na slici 47.,dok je na slici 48. prikazano kretanje vrednosti proizvodnje i potrošnje mašina alatki za isti period.

Iako navedeni podaci pokazuju oscilovanje, u globalu posmatrano proizvodnja (a isto tako i uvoz i potrošnja) ima tendenciju intenzivnog rasta. Tako je proizvodnja izražena tonama od 1970. do 1980. godine skoro utrostručena, a u poslednjih 5 godina udvostručena.

Što se tiče numerički upravljanih mašina alatki, u Jugoslaviji je danas u eksploataciji preko 300 NU mašina alatki, od čega je oko 30% proizvedeno u zemlji |52|. Nažalost, domaća proizvodnja NU mašina je još uvek bremenita brojnim teškoćama. I danas veliki udeo u ceni mašine imaju uvozne komponente (upravljački sistem, pogonski motori, višepozicioni nosači alata, zavojna vretena sa recirkulacijom, itd.). Prema podacima iz 1979. godine ove komponente učestvovale su npr. sa 62% u ukupnoj ceni koštanja jednog domaćeg numerički upravljanog struga |17|. Nažalost, ni danas nemamo mnogo povoljnije stanje kod većine domaćih proizvodjača.



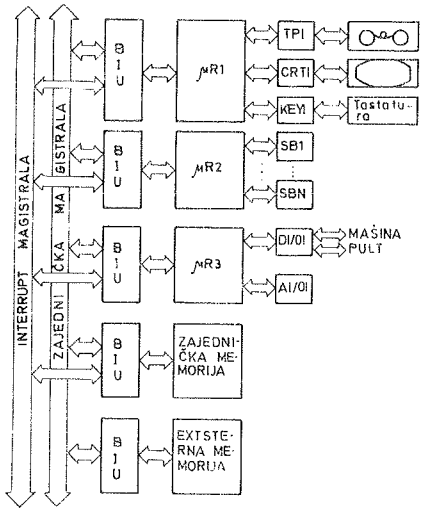
Sl.47. Proizvodnja, izvoz i potrošnja mašina alatki u SFRJ izražena u tonama |50|



Sl.48. Proizvodnja i potrošnja mašina alatki u SFRJ izražena u milijardama dinara |50|

No za razliku od pre nekoliko godina, sada smo svedoci izuzetnog napora proizvodjača mašina alatki i pojedinih proizvodjača elektro i elektronskih komponenti, usmerenih ka razvoju sopstvenih rešenja komponenti sklopova i celih jedinica za numerički upravljane mašine alatke. U cilju ilustracije ove konstatacije kratko će se ukazati na rešenja koja su bila prisutna na VI Medjunarodnoj izložbi alatnih mašina - BIAM, ove godine u Zagrebu.

U području numerički upravljanih sistema i jedinica "Ivo Lola Ribar" iz Železnika i "Iskra-Automatika" iz Ljubljane razvili su sopstvena rešenja ovih jedinica. U prvom slučaju radi se o familiji CNC upravljačkih jedinica tipa LOLA |53|, a u drugom slučaju o numeričkoj upravljačkoj jedinici CNC80 |54|. Ova druga koncipirana je kao modularni mikroprocesorski sistem koji pored centralne mikroprocesorske jedinice i mernopozicionih modula sadrži i integrisani programabilni automat za povezivanje sa izvršnim organima mašine i omogućava izbor od 1 do 4 ose upravljanja sa ili bez linearne i kružne interpolacije. CNC upravljačke jedinice tipa LOLA, koncipirane su kao više procesorski sistemi (slika 49.). Radi se o sprezi 3 mikro računara



Sl.49. Blok šema upravljačkog sistema CNC - LOLA |53|

(MR1 do MR3) koji su medjusobno povezani preko magistrale i memorije. Sistemi su projektovani po modularnom principu i namenjeni za širu oblast primene (za različite mašine po broju osa i drugim familijama), odnosno za mašine alatke, industrijske robote i mašine za merenje.

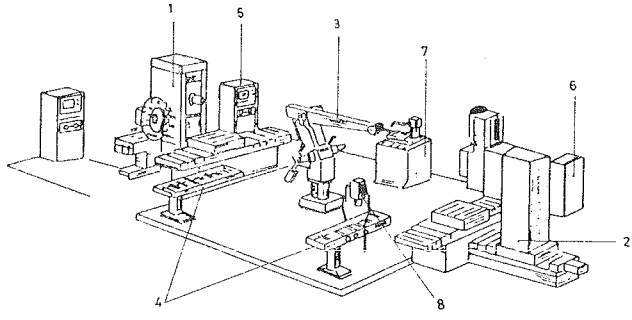
U sistem je integrisan i programabilni automat kao sastavni deo. Sistemi imaju mogućnost konturnog upravljanja sa maksimalno 8 osa.

Potrebno je napomenuti da su i "Iskra -Automatika" i "ILR" razvili odgovarajuće familije programabilnih automata, kao i da je u području regulacije za pogonske motore "Iskra-Automatika" razvila tiristorske i tranzistorske servoregulatore za motore jednosmerne struje.

Izložba BIAM'82 pokazala je da su svi vodeći domaći proizvodjači mašina alatki razvili jedno ili više sopstvenih rešenja numerički upravljanih mašina alatki, ali sa još uvek značajnim udelom uvoznih komponenti. Na odredjeni način ILR iz Železnika predstavlja izuzetak, jer sopstvena rešenja NU mašina oprema sa svojim upravljačkim jedinicama. Pored NU mašina, prisutna su i domaća rešenja industrijskih robota. Kao proizvodjač "ILR"-u se priključila "Prvomajska". Čini se značajnim ukazati i na prvo domaće rešenje fleksibilne tehnološke ćelije koju je realizovao "Ivo Lola Ribar" iz Železnika.

Radi se o tehnološkoj ćeliji FLEKSI 101 (slika 50.) koja je namenjena za obradu najšireg spektra prizmatičnih nesimetričnih radnih predmeta do 5 kg mase |55,56|. Ćeliju sačinjavaju: 1. obradni centar OC-HBG-50, 2. vertikalna bušilica - glodalica VBG-50 CNC, 3. industrijski robot ILROT-5Z, 4. transporter za dovodjenje i odvodjenje radnih predmeta, 5. i 6. sistem upravljanja CNC-LOLA 30 i CRC-LOLA 42.

Pored prethodnih funkcionalnih celina ćelija sadrži kontrolni sistem (7), i TV kameru (8). Automatskim transporterom radni komadi se dovode u područje sistema za prepoznavanje, koji preko optičkog senzora - TV kamere, i specijalnog procesora uključenog na mikroračunar, bira odgovarajući program. Centralna upravljačka jedinica obezbedjuje hijerarhiju informacija, pošto se u jednom tehnološkom sistemu mogu naći različiti radni komadi. Industrijski robot vrši transport radnih komada takodje po hijerarhijskom redosledu,



Sl.50. Fleksibilna tehnološka ćelija FLEKSI-101 proizvodnje "ILR" - Železnik

ukoliko kontrolni sistem - koji obezbedjuje automatsko merenje geometrije obratka ne registruje poremećeni tok. Primenjeni DNU računar komponovan je od standardnih 16-bitnih mikroračunarskih modula (razvijenih za potrebe CNC i CRC upravljačkih sistema) i specijalno razvijenih modula za: prepoznavanje oblika, komuniciranje sa operatorom i komuniciranje sa centralnim računarom.

Naravno da ovakvi domaći rezultati u razvoju mašina i sistema sa numeričkim upravljanjem ohrabruju. Medjutim, u ovom trenutku može se sigurno reći da su vodeće industrijske zemlje u ovom području daleko brže napredovale nego mi, odn. da u odnosu na njih još više zaostajemo |52|. Da bi se to zaostajanje smanjilo neophodno je da domaći proizvodjaći mašina alatki i prateća industrija uz daleko čvršću spregu sa istraživačkim institucijama ulože mnogo veće napore nego što su to do sada činili.
Predvidjanja i planovi domaćih proizvodjača okupljenih u okviru Poslovne zajednice proizvodjača alatnih mašina Jugoslavije "MAŠINO-SAVEZ", za period od 1981. do 1985. godine, nisu neambiciozni u tom pogledu. Predvidjeno je |51| da će se u ovom periodu nastaviti dalji razvoj i prodor na tržište numerički upravljanih mašina i obradnih centara (na bazi struganja, glodanja, bušenja) uz sve veće ovladavanje komponentama koje se sada uvoze. Pojaviće se i prvi obradni centri za obradu deformisanjem dok će domaći industrijski roboti doživeti širu primenu. Takodje će se razviti i NU fleksibilni tehnološki sistemi komponovani od mašina alatki, industrijskih robota i sistema upravljanja domaće proizvodnje. Do kraja 1985. godine očekuje se pun razmah proizvodnje i plasmana komponenti i sistema za numeričko upravljanje kao što su pokazivači pozicija, programabilni automati i KNU jedinice.

Treba svakako očekivati da će u planiranoj godišnjoj stopi rasta proizvodnje mašina alatki od prosečno 22,4% u narednom periodu do 1985. godine, udeo numerički upravljanih mašina alatki biti sve veći i veći.

3.0. NU TEHNOLOGIJA

3.1. Uvodne napomene

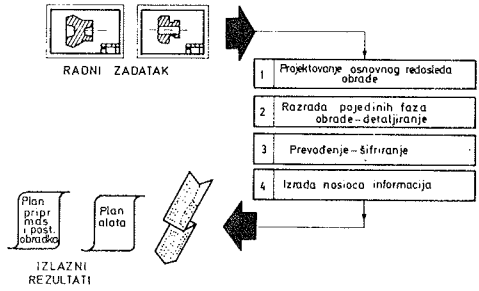
Uvodjenje numerički upravljanih mašina alatki u proizvodni pogon zahtevalo je niz novina u odnosu na pogone sa konvencionalnim (ručnim upravljanjem) mašinama alatkama.
Te novine u prvom redu dolaze od potreba i sprecifičnosti koje nameću NU mašine u projektovanju tehnološkog procesa, metoda ručnog i automatizovanog projektovanja (programiranja) tehnološkog procesa za njih, kao i zahteva u vezi sa pripremom i organizacijom dovoljno pouzdane tehnološke informacione baze za efikasnu eksploataciju NU mašina u proizvodnim pogonima. Uz to se posebni zahtevi postavljaju u vezi sa optimizacijom parametara rezanja, pripremom i sistematizacijom alata i sl., što sve ima za cilj maksimalno iskorišćenje NU opreme.

U dosadašnjem periodu primene NU mašina alatki učinjeni su značajni napori i postignuti odgovarajući rezultati u razvoju tehnike, metoda i postupaka, koji su doprineli efikasnijem iskorišćenju NU opreme u proizvodnji. Pri tome su od posebnog značaja razvijene metode programiranja ovakvih mašina.

Za to se u ovom delu rada poseban akcenat daje na metodama programiranja NU mašinama, njihovom stanju u razvoju, dostignućima u primeni i ekonomičnosti primene kao i tehndencijama u razvoju. Nakon toga ukratko se razmatraju i drugi preduslovi i metode za efikasnu primenu NU mašina. Na kraju se daje osvrt na dosadašnje domaće napore usmerene na uvodjenje NU opreme i njenu efikasnu eksploataciju.

3.2. Programiranje NU mašina alatki

Uvodjenjem NU mašina bitno se menjaju zahtevi za nivoom razrade tehnološkog procesa u uslovima njihove primene u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji. Pri tome se zbog rada ovakvih mašina u automatskom ciklusu kao i zbog same tehnike numeričkog upravljanja neminovno nameće razrada tehnološkog procesa do detalja, i po fazama prikazanim na slici 51. Na navedenoj slici druga, treća i četvrta faza u suštini čine kompleks poznat pod nazivom PROGRAMIRANJE NU mašina alatki.



Sl.51. Opšta blok šema projektovanja tehnološkog procesa i programiranja za NU mašine alatke

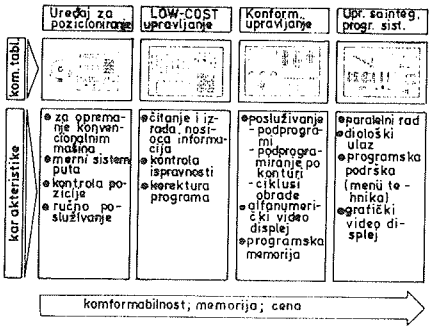
Obzirom na visoku nabavnu cenu ovakve opreme, posebno se nameće potreba da se pri projektovanju celog tehnološkog procesa obezbedi što brže dobijanje optimalnog rešenja celokupne obrade, a to je opet doprinelo da se pored stručnog programiranja razvije i automatizovano (kompjutersko-mašinsko) programiranje ovakvih mašina.

Bez obzira šta je u dosadašnjem periodu, zahvaljujući razvoju i usavršavanju NU upravljačkih jedinica, došlo do značajnog pojednostavljenja ručnog programiranja, kao i usavršavanja nivoa automatizovanog programiranja, još uvek je najprihvatljivija podela i razmatranje programiranja NU mašina kroz ove dve metode.

3.2.1. Ručno programiranje

Kod ručnog programiranja celokupnu aktivnost u realizaciji pojedinih faza programiranja vrši čovek - tehnolog - programer ili kvalifikovani izvršilac za mašinom. Od njegovog znanja, kreativnosti i iskustva zavisi kvalitet projektovanog tehnološkog procesa. Za uspešnu izradu upravljačkog programa za realizaciju konkretnog zadatka na mašini programer mora da koristi i dovoljno pouzdanu informacionu bazu, uputstva i sl. Tako projektovani tehnološki postupak i njemu odgovarajući upravljački program za mašinu, predstavlja subjektivno rešenje, do kojeg se dolazi kroz dosta dug i spor proces, koji se do sada većinom izvodio u tehnološkom birou.

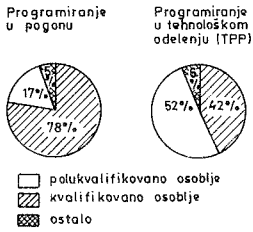
Pojavom kompjuterskog numeričkog upravljanja - KNU (CNC), stvoreni su uslovi da se pojedine aktivnosti u celom kompleksu programiranja delom olakšaju i ubrzaju. Njegovim daljim razvojem, uz integrisanje sa odgovarajućim programskim paketima odn. softverom, još više se dobilo na komforu pri ručnom programiranju (slika 52.). Pri tome se prvenstveno misli na mogućnost programiranja "na konturi", korišćenje tipičnih ciklusa obrade, programsku memoriju, mogućnost dijaloga, mogućnost grafičke provere i sl.



Sl.52. Mogućnosti pojedinih NU upravljačkih sistema sa stanovišta jednostavnosti i komfora pri programiranju i posluživanju |43|

Takve mogućnosti novih upravljačkih jedinica, kao i mogućnost paralelnog rada, tj. programiranja dok mašina radi, doprinele su da se u poslednje vreme sve više govori o tzv. *pogonskom programiranju* kao varijanti ručnog programiranja, koje se više ne izvodi u tehnološkom birou već u pogonu - na mašini. Takvo programiranje svakako iziskuje povećano učešće kvalifikovanog osoblja u pogonu u odnosu na uobičajeno ručnog programiranje koje se izvodi u birou (slika 53.), ali je zato fleksibilnost znatno povećana.

Ono predstavlja pogodno rešenje za manje pogone i pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju, no pri tome su znatno smanjene mo-



Sl.53. Programiranje KNU (CNC) mašina alatki i struktura angažovanog osoblja |36|

gućnosti optimizacije obrade na mašini. Uz to, ako upravljačka jedinica nema mogućnost paralelnog rada, smanjuje se vremensko iskorišćenje mašine, jer mašina ne izvodi obradu dok traje programiranje.

U težnji da se pogonsko programiranje dalje razvije, došlo se i do rešenja u kojem je i mašina snabdevena posebnim pultom za programiranje. Višu fazu već predstavljaju rešenja u kojima je programski pult povezan sa više mašina, pri čemu samo programsko mesto može biti opremljeno sa perifernom jedinicom za memorisanje - arhiviranje upravljačkih programa, grafičkom jedinicom i sl.

3.2.2. Automatsko programiranje

Ručno programiranje je prihvatljivo u uslovima jedne ili nekoliko NU mašina u pogonu. Uvodjenje većeg broja NU mašina zahteva efikasnije i bolje postupke i metode programiranja i uopšte projektovanja tehnološkog procesa za ovakve mašine.

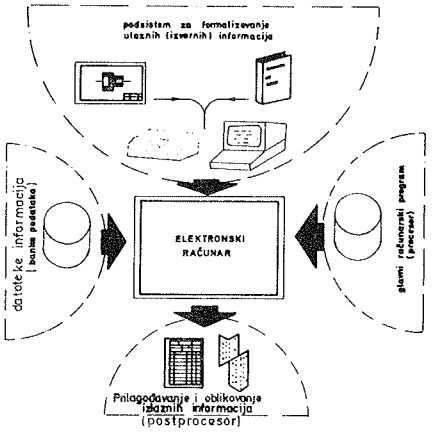
Razvojem metoda automatizovanog projektovanja tehnološkog procesa, odnosno metoda automatizovanog programiranja ili metoda projektovanja primenom elektronskog računara, stvoreni su uslovi za brže i ekonomičnije dobijanje kvalitetnijih rešenja projektovanog tehnološkog procesa i upravljačkih programa za NU mašine, te time efikasnije iskorišćenje NU mašina u proizvodnom pogonu.

U svetu je razvijen niz programskih sistema za automatizovano programiranje, čije se mogućnosti kreću od obrade čisto geometrijskih informacija, odn. obrade informacija o karakterističnim tačkama putanje alata (geometrijski orijentisani programski sistemi), preko obrade geometrijskih i delimične obrade tehnoloških informacija (delimično tehnološki orijentisani programski sistemi), do kompletne obrade svih geometrijskih i tehnoloških informacija (tehnološki orijentisani programski sistemi).

Suštinu programskih sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za NU mašine alatke (sistema za automatizovano programiranje) najlakše je objasniti korišćenjem slike 54. Bazu za primenu programskih sistema čini računarski sistem sa svojom centralnom i odgovarajućim perifernim jedinicama. Sam programski sistem može se posma-

trati kroz četiri celine i to:

1. princip formalizovanja ulaznih (izvornih) informacija (simbolični programski jezik; princip modeliranja)
2. podsistem tehnoloških informacija - tzv. banka podataka
3. glavni računarski program - tzv. "PROCESOR"
4. podsistem za prilagodjavanje i oblikovanje izlaznih informacija - tzv. "POST-PROCESOR".



Sl.54. Uprošćeni model sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU mašine alatke |57|

Simbolični programski jezik i princip modeliranja, bez obzira da li se radi o paketnom ili dijaloškom načinu unošenja informacija, predstavljaju vrlo značajnu komponentu svakog programskog sistema, jer sadrže pravila komponovanja informacija o delu (izradku) za koji se projektuje tehnološki proces. Od njegove koncepcije i principa na kojima se bazira, u velikoj meri zavisi vremensko angažovanje tehnologa u pripremi polaznih informacija, kao i njegovo stručno znanje.

Banka podataka sadrži potrebne tehnološke informacije o svim vitalnim elementima obradnog sistema, i kao takva predstavlja neophodnu podršku i preduslov za uspešno funkcionisanje svakog tehnološki orijentisnog programskog sistema. Geometrijski orijentisani programski sistemi ne sadrže tehnološku banku podataka. Procesor programskog sistema je u suštini računarski program u koji je ugradjena celokupna logika projektovanja tehnološkog procesa, odn. programiranja. Zavisno od ranije pomenute orijentisanosti programskog sistema, govori se o manje ili više tehnološki orijentisanom procesoru sistema.

Postprocesor sa druge strane ima zadatak da informacije dobijene kroz projektovanje u okviru procesora prilagodi tačno odredjenoj NU mašini, da obezbedi oblikovanje izlaznih informacija kao što su plan stezanja, plan alata i plan pripreme mašine, kao i da obezbedi izradu odgovarajućeg nosioca informacija (npr. perforirane trake) za upravljanje NU mašinom alatkom.

...1. Stanje u razvoju sistema za automatizovano programiranje

Od 1955. godine, kada je na Masačusets Institutu za tehnologiju (MIT-SAD) realizovan po prvi put jedan sistem za automatizovano projektovanje procesa obrade na numerički upravljanim mašinama alatkama, i njemu odgovarajući podsistem za formalizovanje ulaznih (izvornih) podataka o izradku i tehnološkom procesu (APT sistem), do danas, veliki broj instituta i proizvodjača elektronskih računara, pa i proizvodjača mašina alatki, radio je na razvoju sopstvenih modela ovakvih sistema. Procenjivano je 1969. godine da je ovakvih sistema bilo preko 33 (konferencija PROLAMAT), a 1972. godine preko 75. Autor ovog rada je 1973.godine sastavio pregled od preko 100 ovakvih sistema*. 1979. godine je procenjivano da ih ima preko 150 |60|. Ovome treba dodati da je veliki broj sistema ostao na nivou istraživanja i/ili se više uopšte ne primenjuju.

Ukupno posmatrano, navedeni sistemi su stvoreni u vrlo širokom dijapazonu konfiguracije elektronskih računara. Dok su u početku stvarani sa težnjom ka širokom području primene, uz upotrebu računara velikog kapaciteta, dotle se u kasnijem periodu sve više radilo na realizaciji manjih sistema (bolje rečeno: sistema manjeg obima) prilagodjeni za tačno odredjene mašine alatke. Sredinu izmedju te dve krajnosti predstavljaju sistemi (kojih je i najveći broj) namenjeni za tačno odredjene vrste obrade (struganje, bušenje, glodanje, itd.).

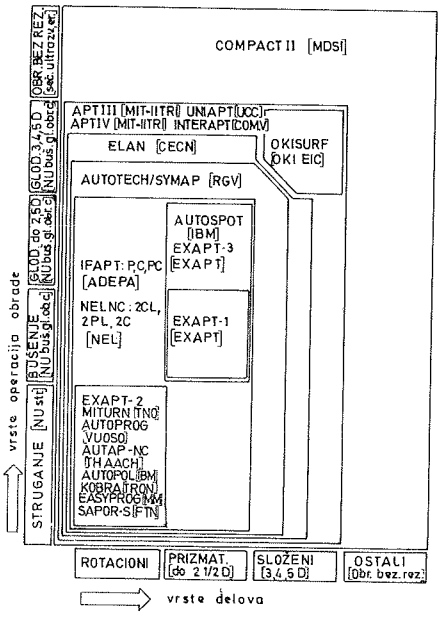
Uporedna analiza oblasti primene 20 najpoznatijih svetskih sistema za automatizovano programiranje prikazana je na slici 55. uz napomenu da je u odnosu na izvornu literaturu |24| na prikazu dodat je i prvi domaći programski sistem SAPOR-S**.

Najobuhvatniji sistemi su: COMPACT II, APT, UNIAPT, INTERAPT, SYMAP i dr. Ovi sistemi zahtevaju različite veličine računara, počev od velikih pa do mini-računara. Tzv. sistemi "pod ključ", koji se nude na tržištu, su većinom namenjeni za programiranje odredjenih mašina alatki ili odredjenih vrsta operacija, i to u vidu radnih mesta za poluautomatsko programiranje |24|.

Kod najvećeg broja razvijenih programskih sistema *procesor* je isključivo geometrijski orijentisan. To znači da oni omogućavaju samo automatsku obradu geometrijskih informacija dela, odn. definisanje

*) Gatalo,R.: Programski jezici za mašinsko programiranje NUMA i mogućnost stvaranja domaćeg jezika za primenu na kompjuterima manjeg kapaciteta, VIII,Posvetovanje proizvodnega strojništva, Ljubljana, 1973.

**) SAPOR - Sistem za Automatsko Projektovanje u području Obrade Rezanjem



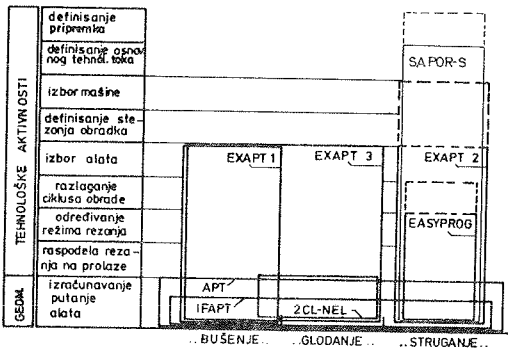
Sl.55. Uporedna analiza programskih sistema za automatizovano programiranje |24|

putanje alata, dok se sve ostale tehnološke informacije zadaju od strane projektanta. Predstavnik ove grupe je APT sistem, koji omogućava definisanje i vrlo komplikovanih putanja alata pri glodanju prostornih površina. Treba napomenuti da se geometrijski orijentisani sistemi za primenu na računarima manjeg kapaciteta često nazivaju sistemi za poluautomatsko programiranje.

Sužavanjem geometrijskih mogućnosti i uključenjem obrade (proračuna) i odredjenih tehnoloških informacija nastali su tzv. delimično tehnološki orijentisani sistemi kao što su npr. ADAPT, AUTOPOL, AUTOSPOT, AUTOPIT, EASYPROG itd. Ovoj grupi u suštini pripada i EXAPT programski sistem, koji je poznat kao prvi tehnološki orijentisan sistem, i čije su mogućnosti u pogledu automatskog projektovanja tehnoloških informacija vrlo velike, ali procesor, i pored toga što se intenzivno razvija, još uvek ne omogućava projektovanje svih faza tehnološkog procesa, pa je udeo tehnoloških, u okviru ukupnih ulaznih informacija, i dalje znatan.

Treća grupa sistema (potpuno tehnološki orijentisani sistemi) baziraju na rezultatima istraživanja u oblasti tipske i grupne tehnologije. Takvi su npr. MITURN, AUTOPROG i SAPOR-S. Kod njih se polazi od koncepta, da se za odredjene klase delova mogu unapred pripremiti i u posebnim datotekama memorisati tipični tehnološki postupci, čijim se izborom i aktuelizacijom za uslove konkretnog dela može doći do odgovarajućeg redosleda obrade, po operacijama i zahvatima. Takvi sistemi zahtevaju minimum tehnoloških informacija koje se unose kao polazne informacije od strane tehnologa - projektanta.

Prikaz mogućnosti procesora, sa stanovišta obrade geometrijskih i tehnoloških informacija, za neke od u svetu poznatih sistema i sistem SAPOR-S prikazan je na slici 56.



Sl.56. Uporedne mogućnosti procesora pojedinih sistema |70|

Uz prethodno razmatranje, treba dodati da se u novije vreme programski sistemi za automatizovano programiranje integralno povezuju sa opštim sistemima za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa, pa čak i sistemima za automatizovano projektovanje delova i proizvoda (CAD/DAP/CAM sistemi*). Takve tendencije nameću posebne zahteve u pogledu medjusobne kompatibilnosti pojedinih sistema koji treba da se integrišu u ukupan sistem.

...2. Formalizovanje ulaznih informacija

Ovde ćemo se ukratko zadržati i na simboličkim programskim jezicima kao elementima većine programskih sistema. Svaki *simbolički jezik* koncipiran je po nekim pravilima, nekom formalizmu. Metoda formalizacije posebno je značajna za geometrijske informacije. Od primenjene metode formalizacije u velikoj meri zavisi podobnost celog programskog sistema u eksploataciji.

Zato se mogu postaviti posebni kriterijumi za ocenu valjanosti metoda formalizacije, odn. simboličkog programskog jezika. Ti kriterijumi su |57|:

1.- laka, brza i jednostavna izrada izvodnog programa

2.- podobnost za učenje, odn. laku obuku korisnika,

3.- bliskost inženjerskom jeziku sporazumevanja, a po mogućnosti i svakodnevnom jeziku,

4.- podobnost za prikupljanje (uzimanje) informacija direktno sa sklopnog crteža (tehnologičnost),

5.- mogućnost obuhvatanja što većeg

*)CAD - Computer Aided Design
CAP - Computer Aided Planning
CAM - Computer Aided Manufacturing

broja različitih delova u klasi ili više klasa (univerzalnost),

6.- jednostavnost računarske obrade,

7.- podobnost za automatizovano definisanje klasifikacionog broja dela.

Formalizacija geometrijskih informacija bazira na opisu - predstavljanju - modeliranju, putem:

1. matematičkog predstavljanja (teorija grafova, algebarska topologija, analitička geometrija),

2. simbolizovanog predstavljanja, i

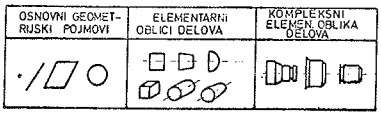
3. tabličnog kodiranja.

Zbog nesumnjivih prednosti se stanovišta prethodnih kriterijuma, u primeni je najčešće simbolizovano predstavljanje. Simbolizovano predstavljanje svodi se na povezivanje geometrijskih informacija posredstvom simbola, pri čemu se simbolika gradi na bazi (slika 57):

1. primarnih, nekih osnovnih i nekih izvedenih geometrijskih pojmova (osnovni geometrijski pojmovi),

2. elementarnih oblika delova (ravanskih ili prostornih, primarnih i sekundarnih),

3. kompleksnih elemenata oblika delova.



Sl.57. Metode simbolizovanja geometrijskih informacija |57|

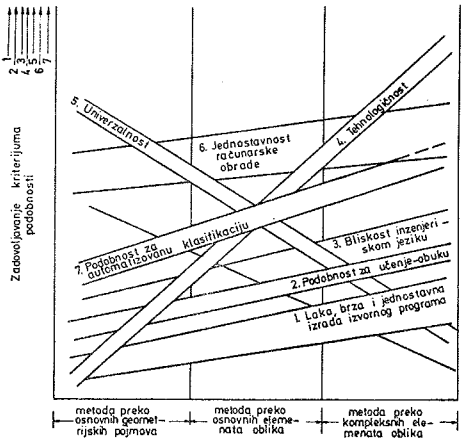
Metod osnovnih geometrijskih pojmova je najrasprostranjeniji kod postojećih sistema automatizovanog projektovanja i njihovih simboličkih programskih jezika. Primenjen je kod APT, EXAPT, NEL-NC, IFAPT, SYMAP i mnogih drugih jezika, a zasniva se na odredjenim geometrijskim pojmovima čijim se kombinovanjem definišu geometrijske informacije dela - izradka.

Metod elementarnih (primarnih i sekundarnih) oblika delova predstavlja nadgradnju prethodnog metoda. Bazira na koncepciji da se svaki deo - izradak može predstaviti komponovanjem odredjenih elementarnih oblika. Pored sistema MITURN odredjene karakteristike ovakvog metoda ima npr. sistem AUTOPROG.

Metod kompleksnih elemenata oblika (sintetizovanih elemenata oblika) bazira na ponovljivosti kompleksnih elemenata oblika. Pod pojmom kompleksni elemenat oblika podrazumeva se uredjeni skup više elementarnih oblika, pri čemu se svakom takvom skupu dodeljuje pogodan simbol. Komponovanjem ovakvih kompleksnih elemenata dolazi se do geometrijske informacije o delu - izradku.

Pojedini sistemi koriste kombinaciju dve metode, ili osnovnu strukturu još dograđuju sa najčešće prisutnim stvarnim elementima oblika delova (npr. SAPOR).

Šta znače navedene metode u odnosu na ranije navedene kriterijume podobnosti, prikazano je na slici 58. Izmedju ostalog pomenimo samo da se lakoća, brzina i jednostavnost pripreme izvornih programa (polaznih informacija) kod kompleksnih elemenata oblika postiže na račun smanjenja univerzalnosti.



Sl.58. Podobnost metoda simbolizovanja geometrijskih informacija |57|

...3. Primena metoda programiranja u proizvodnji i neki pokazatelji njihove efikasnosti

I pored velikog broja razvijenih sistema za automatizovano programiranje, još uvek se u svetu oko 60 do 70% NU mašina programira ručno |24÷77|. Razlog za to je svakako relativno mali broj NU mašina iste vrste po pojedinim pogonima.

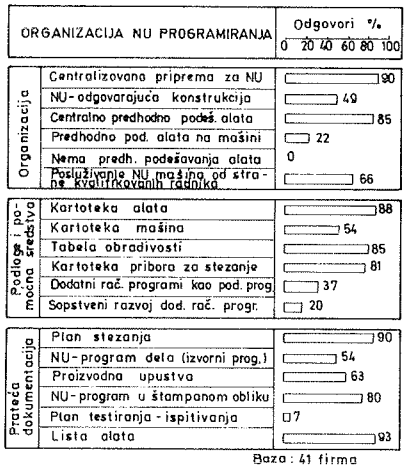
Za izbor odgovarajuće metode programiranja neophodno je uzeti u obzir niz faktora. To su pre svega:

- broj NU mašina
- učestanost potreba za programiranjem
- složenost delova
- raspoloživost računara
- iskustvo sa NU tehnikom
- stanje organizacije informacione baze itd.

Uslovi svakog pogona su na odredjen način specifični te je za konkretne uslove pogona neophodno izabrati optimalnu metodu programiranja.

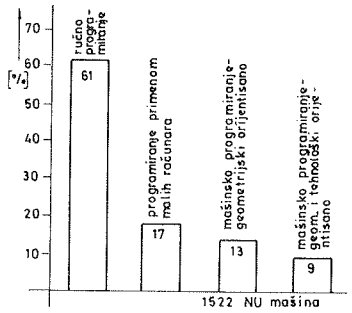
Kada se govori o ručnom programiranju, od posebnog značaja je i organizacija samog programiranja. Rezultati jednog istraživanja u 41. različitoj firmi u SR Nemačkoj |30| iz 1981. godine, prikazan je na slici 59., pokazuju izmedju ostalog, visok procenat zastupljenosti centralizovane pripreme za NU, centralnog podešavanja alata, posluživanje mašine od strane kvalifikovanog radnika, snabdevenosti sa odgovarajućim informacionim kartama (alata, mašine, podacima obradivosti itd.) i sl.

Posebno je interesantno zadžati se na podacima o primeni pojedinih metoda programiranja. U tom cilju, a u nedostatku podataka iz drugih zemalja, zadržaćemo se opet na odredjenim podacima iz SR Nemačke. Na slici



Sl.59. Organizacija programiranja za NU mašine u SRN (1981.) |30|

60. |60| prikazana je procentualna zastupljenost pojedinih metoda programiranja, prema stanju iz 1974. godine.



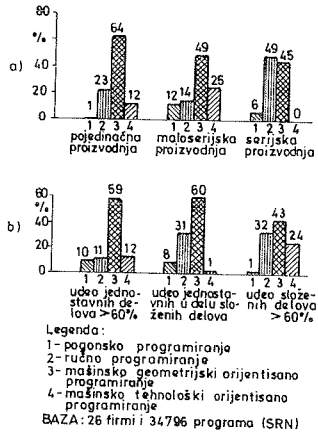
Sl.60. Stanje primene pojedinih metoda programiranja NU mašina u SRN (stanje 1974.godine) |60|

Vidi se da je u SRN već 1974. godine, za skoro 40% NU mašina, priprema programa obavljana uz primenu računara, pri čemu je ipak u skoro polovini slučajeva korišćen mali računar.

Noviji podaci (iz 1981.godine) iz iste zemlje pružaju mogućnost sagledavanja primene pojedinih metoda programiranja (slika 61.) u zavisnosti od: tipa proizvodnje (a) i kompleksnosti delova (b) |58|.

Podaci pokazuju da je automatizovano (mašinsko) programiranje (bez obzira da li se radi o čisto geometrijski ili tehnološki orijentisanim sistemima*) daleko više primenjeno u području pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Sa druge strane primena

*) pod tehnološki orijentisanim sistemima ovde se podrazumevaju i delimično tehnološki orijentisani sistemi

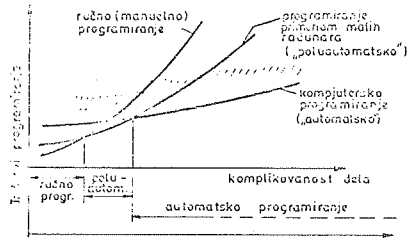


Sl.61. Zastupljenost metoda programiranja NU mašina u zavisnosti od tipa proizvodnje (a) i kompleksnosti delova (b) |58|

mašinskog programiranja značajno se smanjuje idući ka serijskoj proizvodnji.

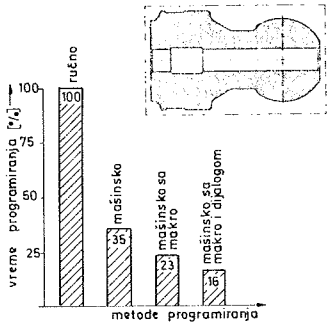
Ranije je rečeno da uvodjenje metoda automatizovanog programiranja treba da obezbedi brže i ekonomičnije dobijanje kvalitetnijeg rešenja upravljačkog programa za NU mašinu, u odnosu na ručno programiranje. Ali u kakvim uslovima? Koliki je pri tome uticaj kompleksnosti dela, broja komada, broja mašina i sl?

Za konkretno definisane uslove, nije teško po do sada poznatim metodologijama (npr. |63|) uporediti dve ili više varijanti nivoa troškova i na taj način doći do najbolje. Sem odredjenih iskustvenih podataka za tačno odredjene uslove, dovoljno uopštene preporuke za sada ne postoje. Uzmimo npr. troškove programiranja zavisno od kompleksnosti dela - delova (slika 62.). U skladu sa podelom iz ranijeg perioda (ručno, poluautomatsko i automatsko programiranje), automatsko programiranje obezbedjuje najniže troškove u području složenijih delova, no otvoreno je pitanje granice tog područja.



Sl.62. Uporedjenje troškova pri ručnom i automatizovanom programiranju

U nedostatku generalnih preporuka čini se značajnim na trenutak se zadržati i na jednom konkretnom primeru smanjenja vremena programiranja primenom metoda automatizovanog (mašinskog) programiranja (slika 63.) |43|. Prisutno je saznanje da već samo uvodjenje automatizovanog programiranja značajno smanjuje vreme programiranja (sa 100% na 30%).



Sl.63. Primer smanjenja vremena programiranja kod različitih metoda programiranja |43|

Uvodjenje poboljšanih rešenja automatizovanog programiranja (sa makro instrukcijama i dijalogom) to vreme može da se smanji čak na 16% u odnosu na ručno programiranje. Ovo je samo jedan vid poredjenja, dok su za objektivna uporedjenja, odn. donošenje odredjenih odluka, neophodna uporedjenja sa stanovišta troškova.

Medjutim, ni to nije sve. Posmatranje efekata samo faze programiranja je još uvek jednostrano, upravo zato jer je dobro poznato da kvalitetnija rešenja upravljačkog programa, posebno optimirana sa stanovišta troškova eksploatacije NU mašine, mogu u značajnoj meri da smanje troškove proizvodnje. Sve to ukazuje da izbor metode programiranja za date uslove pogona nije ni malo jednostavan, tim pre što metode automatizovanog programiranja treba posmatrati i sa stanovišta socijalno-psiholoških faktora, vezanih za motivisanost projektanta - tehnologa za kreativni rad i njegovo oslobadjanje od rutinskih poslova.

3.3. Ostali preduslovi za ekonomičnu primenu NU mašina alatki

Za ekonomičnu primenu NU mašina alatki, pored metoda automatizovanog programiranja, vrlo značajnu ulogu imaju i drugi preduslovi, medju kojima su najvažniji:

- informacione podloge u vidu banki podataka, kao baza za dobijanje kvalitetnih rešenja upravljačkih programa za NUMA, te time i njihovo optimalno korišćenje, kako pri ručnom tako i pri automatizovanom programiranju. Pri tome se kod delimično tehnoloških i tehnološki orijentisanih sistema za automatizovano programiranje ne može ni zamisliti njihovo funkcionisanje bez odgovarajuće, i na pogodan način organizovane informacione baze;
- metode i optimizacioni modeli, kao programska podrška pri ručnom programiranju i kod geometrijski orijentisanih sistema za automatizovano programiranje. Navedeni modeli se javljaju ili kao samostalni moduli ili kao posebni moduli povezani za banku tehnoloških podataka;
- kompleks pitanja u vezi sa alatom, kao što su npr. sistemsko-modularno komponovanje alata, prethodno podešavanje alata i sl.;
- obuka kadrova za prihvatanje i efikasnu eksploataciju NU mašina.

Zadržaćemo se kratko na informacionim podlogama. Radi se o skupu uredjenih podataka koji se kod ručnog programiranja najčešće pojavljuju u vidu odgovarajućih kartoteka podataka, dok se kod sistema programiranja višeg nivoa uredjenje navedenog skupa podataka izvodi u vidu tehnoloških datoteka smeštenih na eksternoj memoriji računara. Pored toga postoje i posebni proizvodno-tehnološki informacioni centri (npr. INFORS - Aachen |65|) u kojima organizacija informacija nije usko vezana za odredjeni sistem. Terminalskim povezivanjem sa takvim centrima moguće je doći do potrebnih informacija.

3.4. Tendencije razvoja i predvidjanje razvoja NU tehnologije

Predvidjanje da će broj NU mašina do 1990.godine, sa 200.000 u 1979.godini, dostići cifru od milion jedinica |43|, je od posebnog značaja za dalji razvoj i primenu sistema za automatizovano programiranje u proizvodnji, kao i činjenica da je za poslednjih 70 godina produktivnost jedne mašine povećana za 1.000% a produktivnost inženjera za 20% (primenom kompjutera čak do 400%) |72|.

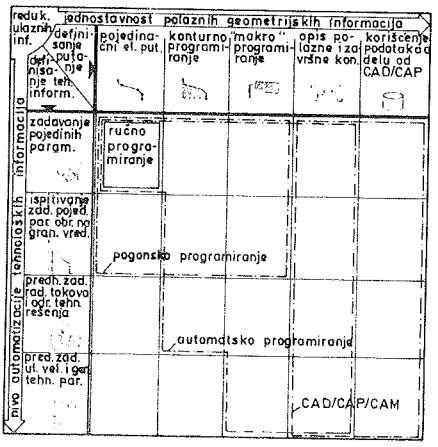
U nastavku ćemo se zato zadržati na tendencijama u razvoju, i odredjenim predvidjanjima do 2000.godine. Pri tome je akcenat u razmatranju dat na razvoj programiranja i programskih sistema.

3.4.1. Tendencije razvoja

Razvojne tendencije u domenu programiranja moguće je posmatrati kroz razvoj ručnog i pogonskog programiranja i razvoj sistema za automatizovano projektovanje (programiranje). Na slici 64. |43| prikazane su sadašnje orijentacione mogućnosti pojedinih metoda programiranja sa stanovišta polaznih geometrijskih informacija i nivoa definisanja tehnoloških informacija.

Razvoj pogonskog programiranja je vrlo usko vezan za razvoj numeričkih upravljačkih jedinica i njima odgovarajuće programske podrške. Pri tome je naročito prisutna težnja ka povećanju konforbilnosti pri programiranju kroz:

- omogućavanje dijaloga, menü tehnike i sl. pri programiranju
- dalje uključenje složenijih (makro) ciklusa obrade,
- omogućavanje grafičkog testiranja primenom dodatnog grafičkog softvera,



Sl.64. Uporedne mogućnosti metoda NU programiranja |43|

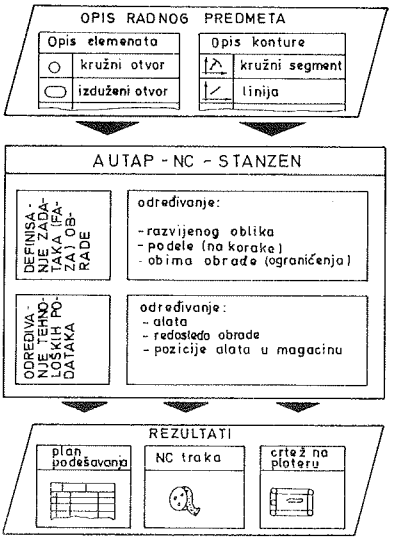
- arhiviranje većeg broja upravljačkih programa na posebno dodatim jedinicama eksterne memorije, čime je omogućen brz prilaz postojećim upravljačkim programima,
- uvodjenje posebnih softverskih modula za optimizaciju,
- ON-LINE pogonsko programiranje, pri kojem je više mašina povezano sa jednim programskim mestom, koje može biti mali računar sa jedinicama periferne memorije, jedinicom za automatsko crtanje (ploterom) i sl.

Kod sistema za automatizovano projektovanje (programiranje) prisutna su u suštini tri pravca:

1. razvoj novih sistema
2. dalje usavršavanje postojećih sistema
3. povezivanje u integralne sisteme i razvoj sistema za automatske fleksibilne tehnološke sisteme.

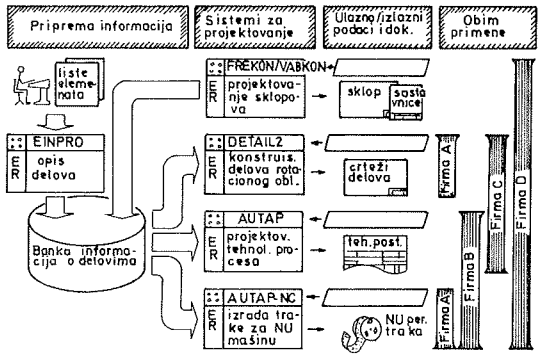
1. Novi sistemi za automatizovano projektovanje pojavljuju se u vidu novih rešenja u slučajevima gde su već bili prisutni, kao i za postupke obrade i mašine kod kojih je i samo uvodjenje numeričkog upravljanja novijeg datuma. To se naročito odnosi na obrade bez skidanja strugotine i nekonvencionalne postupke obrade. Kao primer jednog takvog sistema prikazan je model sistema "AUTAP-NC-STANZEN" za automatizovano programiranje mašina koje objedinjavaju obradu probijanjem i gricka-njem (slika 65.) |64|. Procesor ovog sistema podeljen je u dva dela. U prvom delu se definišu potrebne faze obrade, dok se u drugom delu vrši odredjivanje tehnoloških podataka (izbor alata iz datoteke, redosled obrade, položaj alata u magacinu).

Ulazne informacije su geometrijske informacije radnog predmeta (opis konture i pojedinih otvora) kao i odredjeni organizacioni podaci. Izlazne informacije su perforirana traka za upravljanje mašinom, plan podešavanja i kontrolni crtež radnog predmeta i zahvata alata pri obradi.



Sl.65. Uprošćeni model programskog sistema "AUTAP-NC-STANZEN" |64|

2. Dalje usavršavanje postojećih sistema orijentisano je na |58,61,62,43,57|:
   - povišenje nivoa automatizovanosti sistema kroz obuhvatanje većeg broja faza projektovanja tehnološkog procesa, što znači proširenje procesora u tehnološkom pogledu.
   - smanjenje obima ulaznih informacija (minimiziranje) kroz makro instrukcije za geometriju (za ponovljive oblike fiksne strategije na bazi promene parametara),
   - korišćenje iskustva grupne i tipske tehnologije za usavršavanje mogućnosti sistema u tehnološkom pogledu,
   - olakšanje unošenja polaznih informacija uvodjenjem dijaloga, menü tehnike i sl.,
   - olakšanje provere polaznih informacija putem interaktivnih grafičkih sistema,
   - dalji razvoj grafičkog softvera za simulaciju i kontrolu izlaznih informacija iz sistema projektovanja,
   - razvoj posebnih modula za kompleksnu optimizaciju obrade na NU mašini,
   - isključivanje postprocesorskog modula iz sistema projektovanja i njegova softverska ugradnja u NU upravljačku jedinicu mašine,
   - modularnu gradnju procesora sistema i omogućavanje primene i velikih programskih sistema na manjim računarima,
   - nove organizaciono-eksploatacione metode rada (princip rada na bazi raspodele vremena - TIME SHARING; distribuirana obrada i sl.
3. Povezivanje sistema po vertikali u integralne sisteme posebno je značajno jer stvara uslove za formiranje jedinstvene informacione baze delova, postupaka obrade, pa i upravljačkih programa za NU mašine. Na slici 66. |33| prikazan je



Sl.66. Integralni sistem za automatizovano projektovanje |38|

primer jednog rešenja integralnog sistema koji objedinjava: sisteme za projektovanje sklopova (VABKON i FREKON), sistem za projektovanje rotacionih delova i izradu tehničkog crteža (PROREN 2), sistem za kompletno projektovanje tehnološkog procesa za delove rotacionog oblika (AUTAP) i najzad sistem za automatizovano programiranje (AUTAP-NC).

Pojedine sisteme iz prikazanog primera moguće je koristiti kako pojedinačno tako i integrisane sa manjim stepenom integracije.

Zbog intenzivnog razvoja automatskih fleksibilnih tehnoloških sistema, moguće je konstatovati da će u narednom periodu posebna pažnja biti usmerena i na razvoj programskih sistema za njih. Obzirom da se ovde po pravilu radi o više vrsta obrade, manipulaciji, merno-kontrolnim operacijama itd., sistem za automatsko projektovanje celokupnog procesa (obrade i rada ostalih elemenata tehnološkog sistema) i odgovarajućih upravljačkih informacija, mora predstavljati programski sistem integrisan po horizontali. Pored toga, ON-LINE povezivanje takvog sistema u tehnološki sistem zahtevaće visok stepen integracije ali po vertikali i sa sistemom za upravljanje celim tehnološkim sistemom i njegovim elementima.

3.4.2. Predvidjanje razvoja

Za sagledavanje slike o predvidjanju razvoja NU tehnologije do 2000.godine poslužićemo se ranije pomenutim predvidjanjima Delphi metodom |49|. Izdvajajući događjaje koji se odnose na problematiku o kojoj je reč dobijena je slika 67.

Pri tome su događjaji sledeći:

D_1 - 25% programskih (softverskih) sistema za projektovanje tehnološkog procesa sadržaće sve faze projektovanja tehnološkog procesa (redosled obrade, režim obrade, izbor mašina i pribora, izbor alata, optimizacija parametara rezanja),

D_2 - potpuna ON-LINE automatizacija i optimizacija kompletnih proizvodnih parametara, primenom centralnog računara, biće stvarnost,

D_3 - softver koji je razvijen u području obrade deformisanjem i uveden u ostale industrijske grane,

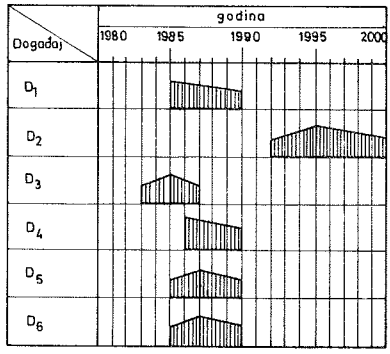
D_4 - postprocesori (programi za prilagodjavanje) biće izbačeni pošto će njihovu funkciju preuzeti mini i mikro računari u okviru upravljačke jedinice mašine,

D_5 - za odredjene vrste obrade postojaće mašine, koje će obavljati obradu predmeta isključivo na bazi unetih geometrijskih informacija o radnom predmetu,

D_6 - pri računarskom upravljanju proizvodnog procesa, banke podataka biće zajednički korišćene.

Prethodno navedenom dodaju se rezultati predvidjanja još dva događjaja:

1. Udeo upravljačkih programa za izradu delova koji će biti testirani primenom pogodnog softvera i video uredjaja, iznosiće: 25% - 1982.godine a 50% - 1987.godine
2. Udeo automatizovanog programiranja kod NU, KNU i DNU mašina i sistema, koje će biti ostvareno putem daljinskog dijaloga preko terminala iznosiće: 15% - 1982.godine i 30% - 1987. godine.



Sl.67. Predvidjanje razvoja NU tehnologije |49| (SAD-1979.)

3.5. Osvrt na neke domaće rezultate u području NU tehnologije

Zbog nemogućnosti da se u ovom momentu napravi širi prikaz dosadašnjih rezultata i razvojnih tendencija u području NU tehnologije u našoj zemlji, autor se opredelio za jedan letimičan pogled, preko najbitnijih elemenata koji čine NU tehnologiju, da bi se nešto detaljnije zadržao na problematici programiranja NU mašina alatki.

U ovom trenutku evidentno je da se pored centara u industriji, u okviru većine mašinskih fakulteta u zemlji javljaju manja ili veća jezgra - centri*, čija je delatnost usmerena na NU tehniku i tehnologiju, odn. nove tehnike i tehnologije. Aktivnost ovih centara većim delom svodi se na obuku i inoviranje znanja stručnjaka iz industrije i organizacionu pomoć pri uvodjenju NU opreme. Medjutim, manji broj centara otišao je i dalje, intenzivno radeći na razvoju banke tehnoloških informacija, razvoju optimizacionih modela pa čak i razvoju kompletnih sistema za automatizovano projektovanje (programiranje). Pri tome je prisutno sve tešnje povezivanje ovakvih centara sa vodećim industrijama. Do sada postignuti rezultati i stečeno iskustvo predstavljaće okosnicu za dalji razvoj u području NU tehnologije.

Programiranje NU mašina alatki u domaćim pogonima u dosadašnjem periodu izvodilo se skoro isključivo ručno, iako je prvi sistem za automatizovano programiranje (APT III) bio prisutan u zemlji (Institut B.Kidrič - Vinča), već oko 1970. godine. Od toga perioda nabavljeni su i drugi sistemi ove vrste (npr. EXAPT, GTL), ali je mali broj instalisanih NU mašina alatki bio glavni uzrok što ovi sistemi za automatsko programiranje nisu šire korišćeni za potrebe proizvodnje. Sa druge strane problematika automatizovanog programiranja u tom periodu bila je ne retko prisutna na jugoslovenskim skupovima stručnjaka. Jednim delom bila je orijentisana na prikaze inostranih dostignuća, a drugim, većim delom na odredjene rezultate sopstvenih napora i pokušaja da se da doprinos razvoju domaćih rešenja ovakvih sistema, ili pak nekih od karakterističnih segmenata, a u odredjenim slučajevima i nadgradnji postojećeg inostranog sistema (npr. razvoj postprocesora). Rad i rezultati koji su stajali iza takvih saopštenja predstavljali su veliko i značajno iskustvo u jednom području u kojem se svako, pa i najbeznačajnije rešenje čuvalo, a i sada se čuva u strogoj tajnosti. To iskustvo i stečeno znanje predstavlja veliki potencijal za rešavanje budućih zadataka.

Danas u zemlji već imamo nekoliko centara u kojima se vrlo intenzivno radi na istraživanju i razvoju sopstvenih rešenja sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa. O stečenom znanju i iskustvu kroz taj rad može da svedoči ubedjenje autora ovoga rada da su trenutno bar tri, od tih centara u stanju da bez većeg problema, razviju, postprocesorski paket za bilo koju uobičajenu NU mašinu alatku, i za bilo koji sistem za automatizovano programiranje. Poznato je da nabavka postprocesora nije ni malo jeftina, a najčešće se nabavljaju istovremeno za tri-četiri različite mašine.

U želji da se ilustruju prethodne konstatacije zadržaćemo se samo na dva karakteristična primera domaćih dostignuća. U prvom slučaju radi se o sistemu SAPOR-S (model sistema prikazan je na slici 68.) za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU mašine za obradu struganjem. Sistem je razvijen kao deo ukupnog SAPOR sistema za automatizovano projektovanje rotacionih izradaka i njihovog tehnološkog procesa. Sistem je u potpunosti tehnološki orijentisan. Razvijen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu u toku perioda od skoro 10 godina, a javno je demonstriran po prvi put na VI medjunarodnoj izložbi alatnih strojeva - BIAM'82, na računarskom sistemu EI-HONEYWELL-6. Trenutno je u toku uvodjenje u primenu sistema SAPOR-S u FAMIL "POTISJE" u Adi, i njegovo instaliranje na računarski sistem VIDEOTON R10.

Drugi primer odnosi se na sistem KomPT namenjen za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa složenih prizmatičnih delova, primenom kompjuterske grafike (slika 69.) Sistem se razvija na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Ceo sistem je dijaloški orijentisan i još je u fazi razvoja.

4.0. ZAVRŠNI OSVRT

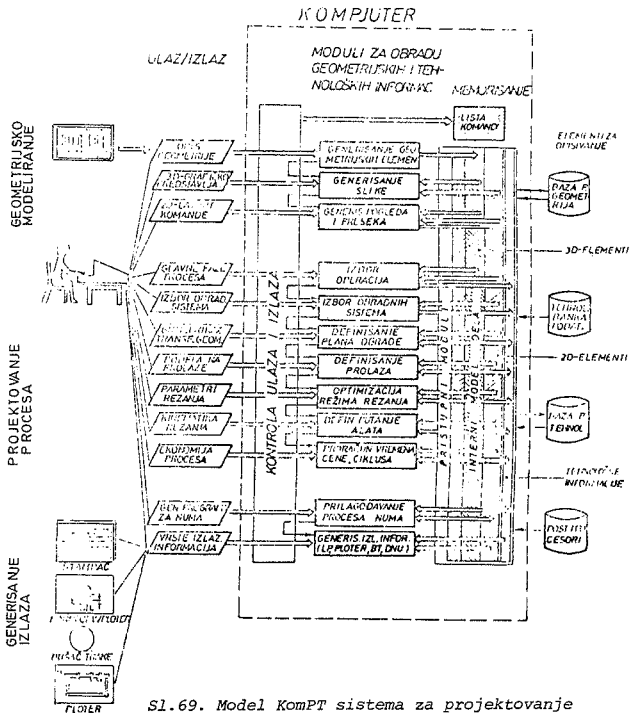
Razvoj NU mašina alatki i NU sistema u svetu odvijao se poslednjih godina vrlo intenzivno. Tendencija razvoja i odredjena predvidjanja, izložena u radu, pokazuju kakve se velike promene mogu očekivati do kraja ovog veka.

Rezultati postignuti poslednjih godina u našoj zemlji u području NU mašina alatki i NU tehnologije posebno ohrabruju, medjutim još ni približno u tome nismo smanjili zaostajanje u odnosu na industrijski razvijene zemlje u svetu. Čak šta više to zaostajanje se još više povećalo.

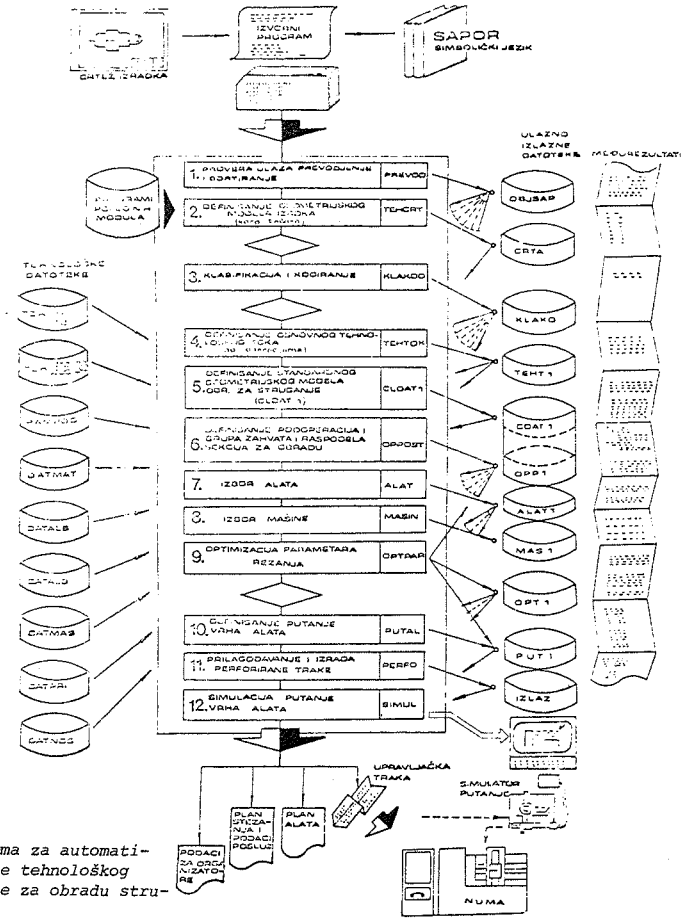
Jasno je da u svetlu tendencija u svetu, domaći razvoj mora značajno da se intenzivira. Objedinjavanje napora kreativnih snaga industrije i istraživačkih institucija, samo je jedan od niza preduslova da se u tome uspe.

I pored toga što je ovaj rad znatnog obima, u njemu su mnoga značajna pitanja ostala nedotaknuta ili nedovoljno obradjena. Autor je uveren da će ostali radovi koji budu saopšteni na Savetovanju upotpuniti sliku o dostignućima u istraživanjima, dosadašnjem razvoju i tendencijama u razvoju NU mašina alatki i NU tehnologije, u našoj zemlji.

*) naziv centar koristi se uslovno, bez obzira što on na većini mesta ne postoji kao organizaciona jedinica.



Sl.69. Model KomPT sistema za projektovanje tehnološkog procesa složenih prizmatičnih delova primenom kompjuterske grafike |24|



Sl.68. Model SAPOR-S sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU mašine za obradu strugaњem |70,71|

LITERATURA

|1| Bendelja,B.: Automatizacija juče,danas i sutra, IV Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1968.

|2| Zdenković,R.: Mašinsko programiranje kao savremeno rešenje u primjeni NC strojeva uz posebni osvrt na programski EXAPT jezik i sistem, IV Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1968.

|3| Peklenik,J.: Uporaba računalnikov v tehnoloških procesih, pregledni referat, VII Savetovanje proizvodnog mašinstva, Novi Sad, 1971.

|4| Milčić,B.: NC-alatni strojevi i njihova primjena, uvodni referat, VIII Posvetovanje proizvodnega strojništva, Ljubljana, 1973.

|5| Peklenik,J.: Tehnologija strojne obdelave in njeni organizacijski prijemi, uvodni referat, VIII Posvetovanje proizvodnega strojništva, Ljubljana, 1973.

|6| Zdenković,R. i dr.: Alatni strojevi i njihovi suvremeni procesi, uvodni referat, X Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.

|7| Peklenik,J.: Proizvodna kibernetika-njen vpliv na tehnički in tehnološki razvoj in produktivnost, uvodni referat, X Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975.

|8| Milčić,B.: Numerički upravljani alatni strojevi, uvodni referat, XI Sovetuvanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid, 1977.

|9| Peklenik,J.: NC - in računalniška krmilna tehnika v industrijski proizvodnji, uvodni referat, XII Posvetovanje proizvodnega strojništva, Maribor, 1978.

|10| Milačić,V.: Teorija i primena elektronskih računara (kompjutera) u konstrukciji, pripremi proizvodnje i proizvodnji, uvodni referat, XII Posvetovanje proizvodnega strojnoštva, Maribor, 1978.

|11| Urošević,S.,Milačić,V.: Uticaj tehničko tehnološkog razvoja na tehnologiju i projektovanje tehnoloških procesa u industriji za preradu metala, uvodni referat, XIV Savetovanje proizvodnog mašinstva, Čačak, 1980.

|12| Grundler,D.: Uvod u mikroprocesore, Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.

|13| Milačić,V.: Nove tehnologije u industriji prerade metala do 2000 godine, I JUPITER konferencija, Miločer, 1975.

|14| Glavonjić,M.,Kalajdžić,M.: Primarni i sekundarni procesi kao tehnička funkcija obradnih centara, VIII JUPITER konferencija - I savetovanje Fleksibilni tehnološki sistemi, Zvečevo, 1982.

|15| Kalajdžić,M.: Tehnologija mašinogradnje I -I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

|16| Rekecki,J.: Osnovi automatizacije mašina alatki, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1974.

|17| Rekecki,J.,Gatalo,R.: Neka pitanja i problemi u vezi sa razvojem savremenih obradnih sistema, II naučno stručni skup MMA, Novi Sad, 1979.

|18| Rekecki,J.,Gatalo,R.,Borojev,Lj.,Hodolič,J.,Zeljković,M.,Kasaš,I.: Istraživanje podloga za razvoj NU sistema upravljanja na bazi aktivnog merenja pri obradi rezanjem rotacionih izradaka, sa posebnim osvrtom na fleksibilne proizvodne sisteme, elaborat istraživačke teme, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad 1981.

|19| Weck,M.: Werkzeugmaschinen, Band 3, Automatisierung und Steuerungstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1978.

|20| Maier,K.: Geometrische Adaptive-Control-Einrichtungen an Werkzeugmaschinen, Industrie Anzeiger,(1973) 87.

|21| Spur,G.,Stute,G.,Weck,M.: Rechnergeführte Fertigung, Carl Hanser Verlag, München, 1977.

|22| Tomašević,M.,Šolaja,V.: Direktno numeričko upravljanje (DNC)-faza daljeg razvoja konvencionalne NC tehnologije, XI Sovetuvanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid, 1977.

|23| Mečanin,V.: Optimizacija parametara obrade na numerički upravljanim mašinama sa posebnim osvrtom na obradne centre, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Mostar, 1981.

|24| Bućan,M.: Istraživanje i razvoj sistema za projektovanje tehnološkog procesa zasnovanog na bazi podataka iz industrije prerade metala, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

|25| Klahorst,T.: Rationalisierung durch flexible Fertigungssysteme, W und B, (1978) 9.

|26| Rekecki,J.,Gatalo,R.: NU tehnika i tehnologija-opšti deo, priručni materijal za učesnike seminara, Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1980.

|27| Šmarčan,P.: Raziskava uvajanja NC tehnologije v industrijo, Strojniški vestnik, (1978) 5-6.

|28| Westkämper,E.: Automatisierung und Integration: Grundlage zukunftsorientierter Fertigungskonzept, Ind.Anz., (1981) 10.

|29| Kief,H.B.: NC-CNC-DNC Flexible Fertigungssysteme, bisheriger Stand und Entwicklungstendenzen, TZ für Metalb., (1979) 9.

|30| Ewersheim,W.,Gebauer,D.: Stand und Entwicklungstendenzen der NC-Technik, TZ für Metalb., (1982) 1.

|31| Inaba,S.: Numerische Steuerungen-gestern, heute und morgen, W und B, (1981) 9.

|32| Brechtel,H.: Modulartechnik-Zukünftweg der NC-Programmierung, TZ für Metalb., (1973) 6.

|33| Poblotzki,J.: Verbesserung der zeitlichen Nutzung von Bearbeittungszentren, W und B, (1981) 4.

|34| : CAM an international comparision, Amer.Mach., (1981) 11., (prema e.inf. Tom C 19/1982)

|35| Sata,T.: Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme in Japan, Wt-Z.ind.Fertig., (1981) 9.

|36| Bullinger,H.J.,Lentes,H.P.: The future of the Work-Technological, Economic and social Changes, leading paper, VI Internatoinal Conference on Production Research, Novi Sad, 1981.

|37| Remp,H.: Einsatz flexibler Fertigungssysteme, W und B, (1982) 3.

|38| : 16. Aachener Werkzeugmaschinen-Kollquium, Wt-Z.ind.Fertig.,(1978) 11.

|39| Lange,K.,Spur,G.,Warnecke,H.J.: Eindrücke und Gedanken zur Europäischen Werkzeugmaschinen-Ausstellung 4.EMO 1981. in Hannover, Wt-Z.ind.Fertig., (1981) 12.

|40| Arnold,W.,Kübert,M.: NC in der Umformtechnik, W und B, (1980) 8.

|41| Müssle,E.: NC-Technik in umformenden Fertigungeinrichtungen, Wt-Z.ind.Fertig., (1980) 8.

|42| Milačić,V.: Predvidjanje razvoja proizvodnog mašinstva-nauka i obrazovanje do 2000 godine, problemski referat, naučno--stručni skup Sedamdeset godina proizvodnog mašinstva u Beogradu, Beograd, 1976.

|43| Eversheim,W.,König,W.,Weck,M. i dr.: Das 17. Aachener Werkzeugnaschinen-Kolloquium-im Zeichen fortschrittlicher Produktionstechnik, Ind.Anz., (1981) 62.

|44| Krimer,M.,Nadj,I.: Neki problemi optimizacije pogona sa regulacijom brzine za alatne mašine, II naučno stručni skup MMA, Novi Sad, 1979.

|45| Boeringer,A.,Stute,G.,Ruppmann,C.,Vogt, G.,Würslin,R.: Entwicklung eines drehzahlgesteuerten Asynchronmaschinenantriebs für Werkzeugmaschinen, Wt-Z.ind.Fertig., (1979) 8.

|46| Robavs,B.: Elektronski elementi za upravljanje mašinama alatkama,II naučno-stručni skup - MMA´79,Novi Sad,1979.

|47| Fleckenstein,J.,Grimm,W.: Programmierbare Steuerung, Wt-Z.ind.Fertig.,(1981)12.

|48| Merchant,E.M.: Delphy-Type Forecast of Future of Production Engineering, Annals CIRP, 20 (1971) 3.

|49| Colding,B.,Colwell,L.,Smith,D.: Zukunftesstudie über Fertigungssysteme undverfahren, Werkstatt und Betrieb, (1979) 5.

|50| Rekecki,J.,Janoši,J.,Gatalo,R.,Brauhler, J.,Nadjabonji,G.,Zeljković,M.,Borojev,Lj., Hodolič,J.: SISTEM STRUGOVA - Koncepcija razvoja i koncepciona rešenja familije horizontalnih strugova za oblast prečnika obrade od 450 do 2000 mm, elaborat,Institut za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 1982.

|51| Bajčetić,L.: Industrija alatnih mašina u SFRJ, VI Seminar BIAM´82,Zagreb, 1982.

|52| Milčić,B.: Šesti Bienale alatnih mašina (BIAM´82),Strojarstvo,(1982) 3.

|53| Jovanović,P.,Medved,B.,Torman,G.: Uredjaji numeričkog upravljanja (CNC) tipa LOLA, VI seminar BIAM´82, Zagreb, 1982.

|54| Herman,B.,Robavs,B.: Numerički upravljački uredjaj CNC80, VI seminar BIAM´82, Zagreb,1982.

|55| Kalajdžić,M.,Milojević,M.,Mirjanić,N., Glavonjić,M.,Milutinović,D.,Milačić,V.: Tehnološka ćelija na bazi domaće tehnologije, saopštenja ILR na BIAM´82, Zagreb, 1982.

|56| Ilić,B.,Kezele,P.,Radovanović,N.,Srećković,S.: Upravljački sistemi za fleksibilne tehnološke ćelije, saopštenja ILR na BIAM ´82, Zagreb, 1982.

|57| Gatalo,R.: Prilog razvoju integralnog sistema za automatsko projektovanje rotacionih izradaka i njihove tehnologije izrade u metalopreradjivačkoj industriji,doktorska disertacija,Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1978.

|58| Eversheim,W.,Zons,K.H.: Stand und Entwicklung von Programmierverfahren bei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen, Tz für Metalb.,(1981) 9.

|59| Hammer,H.: Technische, betriebliche und wirtschaftliche Aspekte der Werkstattprogrammierung, Teil 1,2, WDI-Z, (1979) 20,21.

|60| Spur,G.: Rechnerunterstützte Zeichnungserstellung und Arbeitsplanung, ZwF, (1977) 11,12, (1978) 1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12, (1979) 1,2,3,4,5,6,7,8.

|61| Budde,W.,Adamczyk,P.: Anwendungstechnicken des neuen EXAPT-Modulsystems, ZwF, (1980) 6.

|62| Drewry,G.,Selig,J.: COMPAC II-Ein universelles Programiersystem für NC-Machinen, ZwF, (1977) 2.

|63| Muransky,J.: Automatizácia technickej pripravy strojárskej vyroby, Alfa, Bratislava, 1980.

|64| Ewersheim,W.,Holz,B.: Automatische Programmierung von Stanz- und Nibbelmaschinen, Ind.Anz., (1981) 97.

|65| König,W.: Zerspanwerte für die Fertigung aus der INFOS-Datenbank, Wt-Z. ind. Fertig., (1979) 1.

|66| Hammer,H.: Rechnerunterstützte Planungs- und Steuerungssysteme im Produktionsbereich-Neue Anwendungsmöglichkeiten durch Mikroelektronik und decentralen, dialog-orientieren Rechnereinsatz, ZwF, (1980) 6.

|67| Schulz,H.,Weseslindtner,H.: Software für flexible Fertigungssysteme, ZwF, (1980) 8.

[68] Milačić,V.: JUPITER-Sistem as an integral concept for Production Control in industrial environment, VI International Conference on Production Research, Novi Sad, 1981.

[69] Šostar,A.,Šmarčan,P.,Polajner,A.,Balič, J.,Grbič,N.,Leš,P.: Planning and information Control for Production Proces Optimization, VI International Conference on Production Research, Novi Sad, 1981.

[70] Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodolič,J.,Borojev,Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović, Z.,Malbaški,D.: The automatical Designing of the technology Process for NC Machine Tools for Turning SAPOR-S System, I.J.Prod. Res. (in print).

[71] Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodolič,J.,Borojev,Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović, Z.,Malbaški,D.: SAPOR-S sistem za automatizovano projektovanje upravljačkih informacija za NU- mašine alatke za obradu strugaњem i njegova primena u proizvodnim pogonima, VI seminar BIAM´82, Zagreb,1982.

[72] Milačić,V.: Osnovni pravci tehnološkog razvoja industrije prerade metala i razvoj tehnologije i opreme, I Jugoslovenski simpozijum "Nove tehnologije u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerede metala Zvečevo, 1982.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Ratko Gatalo, Ljubomir Borojev, Milan Zeljković, Zora Konjović*

AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE OPERACIONOG POSTUPKA KAO JEDNE OD FAZA U SAPOR-S SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA ZA NUMA ZA OBRADU STRUGANJEM (I) **

R e z i m e

Nadovezujući se na ranija saopštenja u vezi sa SAPOR-S sistemom i rezultatima razvoja pojedinih modula sistema, u radu se izlaže originalna koncepcija i konkretno rešenje modula za definisanje operacionog postupka, čija se uloga svodi na:
- definisanje redosleda obrade po podoperacijama, grupama zahvata i zahvatima u okviru operacija obrade struganjem,
- definisanje geometrijskih parametara za sve zahvate obrade u standardnoj CLDATA formi.

Zadražvajući se samo na razmatranjima u vezi sa prvim delom ovog modula, pored koncepcije i konkretnog rešenja u radu se navode i dva karakteristična primera izlaznih rezultata.

THE AUTOMATIC DESIGN OF THE OPERATION FLOW AS A PHASE OF THE SAPOR-S SYSTEM FOR AUTOMATIC DESIGN OF CONTROL INFORMATION FOR NC LATHES

S u m m a r y

Attached to the former reports in connection with the SAPOR-S system as well as the results of development of some modules of the system, in the paper an original conception and the concrete solution of the module for operation flow defining is presented. The role of this module referes to:
- defining the machining sequence into suboperations, grasp groups and grasps as the parts of a turning operation,
- defining the geometrical parameters for all machining grasps in a shape of a standard CLDATA form.

Retaining only on disscusion in connection with the first part of this module, in the paper, besides the conception and the concrete solution, two distinctive examples of output results are presented.

1.0. UVOD

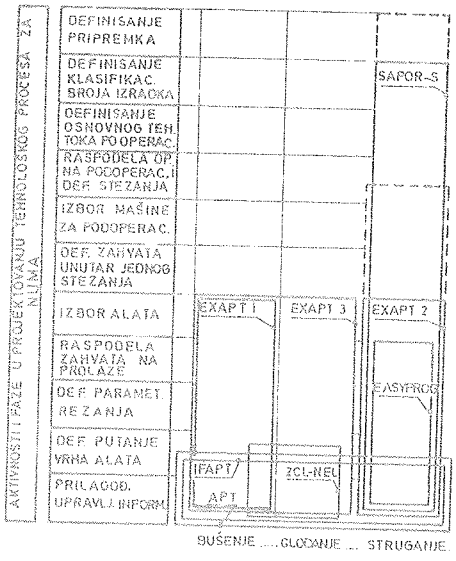
U rezultatu dosadašnjih desetogodišnjih istraživačkih napora, u Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, razvijen je SAPOR-S programski sistem za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa, upravljačkih informacija i nosioca informacija za numerički upravljane mašine alatke (NUMA) za obradu struganjem [4]. Sistem je u prvoj fazi razvijen i testiran na računarskom sistemu VARIAN'73, sa 32 KREČI (REČ = 16 bita) centralne memorije. Nedavno je prilagodjen i instaliran i na računarskom sistemu EI-HONEYWELL-6/53, a u toku je njegovo uvodjenje u primenu u proizvodni pogon FAMIL "POTISJE" u Adi i njegovo prilagodjavanje i instaliranje na računarski sistem VIDEOTON R10.

Programski sistem SAPOR-S (Sistem za Automatizovano Projektovanje u području Obrade Rezanjem) razvijen je za računarske sisteme relativno malog kapaciteta centralne memorije (minimalno 64 KBAJTA), i u potpunosti

*) *Gatalo dr Ratko, dipl.ing., vanr.prof.; Borojev mr Ljubomir, dipl.ing., asistent; Zeljković Milan, dipl.ing., asistent u naučnom radu; Konjović Zora, dipl.matem., asist. Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad*

**) *Saopštenje iz Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera broj 2.*

je tehnološki orijentisan, i kao takav zahteva tehnološku bazu u vidu datoteka informacija o alatima, materijalima, mašinama, komplek snim tehnološkim redosledima itd. Po svojim mogućnostima u okviru procesora nadmašuje i mnoge poznate sisteme razvijene u svetu (slika 1). Procesor (glavni računarski program) SAPOR-S sistema bazira na modularnoj koncepciji, pri čemu pojedini moduli u velikoj meri odgovaraju fazama - aktivnostima koje su prisutne i pri konvencionalnom (ručnom) projektovanju od strane projektanta - tehnologa.



Slika 1. Okvirne uporedne mogućnosti procesora pojedinih sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NUMA

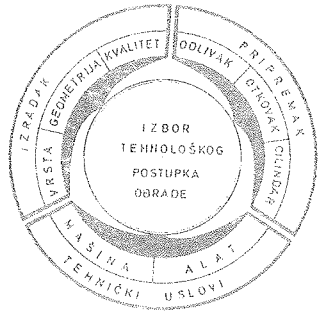
Modul koji se odnosi na definisanje operacionog postupka, odnosno detaljno definisanje podoperacija, grupa zahvata i zahvata u okviru operacija obrade struganjem, predstavlja jedan od složenijih modula u SAPOR-S sistemu. Njegova ukupna koncepcija odgovara integralnoj koncepciji SAPOR sistema (SAPOR-SK [1]) za projektovanje tehnološkog procesa kako za numerički upravljane tako i konvencionalne mašine, pri obradi rotacionih izradaka.

2.0. OPŠTI PRILAZ AUTOMATIZACIJI DEFINISANJA OPERACIJE (OPERACIONOG POSTUPKA) OBRADE STRUGANJEM

Definisanje operacionog postupka obrade izradka, posmatrano kroz redosled stezanja i podoperacija obrade unutar operacije struganja, kao i redosled zahvata (i grupa zahvata) i prolaza unutar podoperacije obrade, zavisi od velikog broja uticajnih faktora, te se odmah nameće osnovno pitanje kako u konkretnom slučaju za model SAPOR sistema za automatizovano projektovanje i polazne informacije o izradku (oblikovane u vidu izvornog programa primenom SAPOR simboličkog jezika) uzeti u obzir sve uticajne faktore pri definisanju operacionog postupka za konkretni izradak.

Sigurno je da pri projektovanju operacionog postupka treba voditi računa o svim uticajnim faktorima ali je nesporno da u odredjenim slučajevima pojedini faktori igraju, po značaju različitu ulogu. Zato je, u cilju pojednostavljenja definisanja operacionog postupka, opravdano zanemariti uticaj vrste materijala i količinu proizvodnjom predvidjenih izradaka. Prvo zato, jer materijal izdatka utiče na operacioni postupak uglavnom samo preko elemenata režima rezanja i izbora alata, dok količina izradaka u seriji nema mnogo uticaja, jer se inače predpostavlja da se radi o pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji.

Na taj način definisanje operacionog postupka svodi se na uzimanje u obzir uticajnih faktora vezanih za pripremak, izradak i tehničke uslove (slika 2), uz napomenu da i ovi poslednji mogu da se zanemare obzirom na ukupnu koncepciju SAPOR-S sistema i njemu odgovarajuću koncepciju (po sadržaju i položaju) modula za definisanje operacionog postupka.



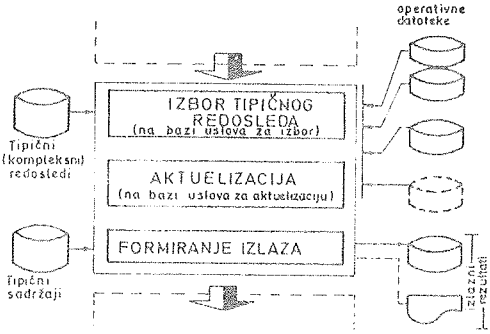
Slika 2. Uticajni faktori pri definisanju tehnološkog postupka

Zadržavajući se na definisanju operacije obrade struganjem, ceo problem definisanja operacionog postupka može se posmatrati kroz sledeće dve faze:

1. Definisanje redosleda, kroz:
   1.1. Definisanje redosleda podoperacija stezanja i podoperacija obrade*
   1.2. Definisanje zahvata (i grupa zahvata) unutar podoperacije obrade*
2. Definisanje geometrijskih parametara zahvata (i grupa zahvata) - za slučaj projektovanja procesa za NU mašine alatke.

Definisanje redosleda pri tome bazira na korišćenju (iz odgovarajućih datoteka) tipičnih redosleda iz kojih se u skladu sa odgovarajućim kriterijumima vrši izbor da bi se kroz narednu fazu izvršila aktuelizacija podoperacija, odnosno zahvata, i na taj način dobio definitivni operacioni postupak (sl.3).

*) *Podoperacija obrade obuhvata celokupnu obradu pri nepromenjenim uslovima stezanja*



Slika 3. Principijelno rešenje definisanja tehnološkog redosleda

U konkretnom slučaju SAPOR-S sistema pošlo se od toga da se oblikovanje izradka struganjem može vršiti:

- programskim kretanjem odredjene tačke (centra radijusa vrha) alata,
- programskim alatom (profilnim alatom), pri čemu se kontura obradka kreira oblikom i položajem linije sečiva alata, i
- kombinovano, tj. programskim kretanjem profilnog (programskog) alata, pri čemu su i programsko kretanje i programski alat manje složenosti od kreirane konture obradka.

Uopšteno posmatrajući može se uzeti da se osnovni (1-stepeni) oblici rotacionih izradaka obradjuju programskim kretanjem alata, drugostepeni oblici programskim alatom, dok se tzv. trećestepeni oblici realizuju kombinovano, odnosno programskim kretanjem programskog alata [7].

3.0. DEFINISANJE REDOSLEDA PODOPERACIJA I ZAHVATA

Istraživanja [7] su pokazala da se definisanje redosleda podoperacija unutar operacija obrade struganjem i redosleda zahvata (i grupa zahvata) unutar podoperacija struganja, može koncepciono bazirati na unapred pripremljenim kompleksnim redosledima. To su u prvom slučaju kompleksni redosledi podoperacija u okviru operacija a u drugom slučaju kompleksni (ili tipični) redosledi zahvata (i grupa zahvata) unutar podoperacije.

Kroz analizu celog spektra izradaka rotacionog oblika i problematike pri projektovanju tehnološkog procesa njihove obrade struganjem, došlo se do zaključka da većina izradaka (delova) može da se podvede pod četiri grupe i to:

1. delovi u vidu diska (L/D≤0,5) sa otvorom
2. delovi u vidu diska - zupčanici (L/D≤0,5) sa otvorom
3. delovi u vidu kratkih vratila, osovina i čaura (0,5<L/D<1,5) sa i bez otvora
4. delovi u vidu vratila i osovina (L/D>3) bez otvora.

Delovi u vidu diska - zupčanici, zbog posebnih zahteva za tačnošću ozubljenja u odnosu na otvor, izdvojeni su u posebnu grupu, dok su delovi u vidu vratila i osovina sa otvorom uslovno izostavljeni jer se kod istih obrada otvora, odnosno unutrašnje konture po pravilu ne izvodi na strugu (osim karakterističnih zavešetaka). Pri tome se i takvi delovi, obzirom na obradu koja se realizuje na strugu, mogu svrstati u četvrtu grupu.

Za sve specijalne i specifične izradke koji se iz bilo kojih razloga ne mogu podvesti pod jednu od navedenih grupa, usvojena je koncepcija da se operacioni postupak definiše kroz dijalog odnosno interaktivno komuniciranje izmedju projektanta i elektronskog računara.

3.1. Definisanje redosleda podoperacija unutar operacija

Konfiguracija izradka koji se obradjuje na NU mašinama alatkama za obradu struganjem zahteva minimalno dve podoperacije struganja (struganje jedne i struganje druge strane) bez obzira da li se radi o odsustvu prvostepenih oblika sa jedne ili pak sa druge strane izradka.

U skladu sa ranijom koncepcijom [5],[6] prisutne su i podoperacije stezanja koje se prepliću sa operacijama obrade.

Nadgradnjom koncepcije definisanja osnovnog tehnološkog toka [2],[7] postavljena je koncepcija fiksnih (fiksnih zato jer u kasnijoj fazi ne zahtevaju nikakvu aktuelizaciju) kompleksnih redosleda podoperacija unutar operacije struganja. Za svaku tipičnu operaciju struganja iz modula za definisanje osnovnog tehnološkog toka [2] i to:

a) struganje grubo	kod 21
b) struganje završno	kod 22
c) struganje	kod 23

postoje po dve varijante fiksnih redosleda. Te varijante su:

1) obrada koja počinje sa stezanjem desne strane
2) obrada koja počinje sa stezanjem leve strane.

Pored toga, u skladu sa prethodnim razmatranjima uvedena su i tri tipična redosleda podoperacija u okviru operacije, za slučaj obrade zupčanika, koji se odnose na varijante redosleda njihove obrade u slučaju da se radi o prisustvu napred navedenih operacija obrade a, b, c.

Konkretna realizacija izvedena je na bazi dve formirane tehnološke datoteke i to:

1) datoteke tipičnih podoperacija TEH 210 (slika 4)

KOD PODOP.	NAZIV PODOPERACIJE
211	STRUGANJE GRUBO DESNE STRANE
212	STRUGANJE GRUBO LEVE STRANE
221	STRUGANJE ZAVRŠNO DESNE STRANE
222	STRUGANJE ZAVRŠNO LEVE STRANE
231	STRUGABJE DESNE STRANE
232	STRUGANJE LEVE STRANE
241	STEZANJE DESNE STRANE
242	STEZANJE LEVE STRANE
253	POSTAVLJANJE NA TRN SA DESNE STRANE
254	POSTAVLJANJE NA TRN SA LEVE STRANE

Slika 4. Sadržaj datoteke tipičnih podoperacija (TEH 210)

2) datoteke tipičnih redosleda podoperacija u okviru operacija obrade struganjem TEH 220 (slika 5).

Datoteka tipičnih podoperacija (TEH 210) sadrži za svaku podoperaciju: kôd podoperacije, naziv podoperacije i odredjenu napomenu.

KOD TIPSKOG REDOSLEDA	BROJ PODOP.	KODOVI PODOPERACIJA				
201	4	252	211	251	212	GRUBO ST
202	4	251	212	252	211	GRUBO ST
203	4	252	221	251	222	ZAVRSNO
204	4	251	222	152	221	ZAVRSNO
205	4	252	231	251	232	STRUGAN
206	4	251	232	252	231	STRUGAN
207	4	251	232	254	231	STRUGANJ
208	4	251	212	252	211	GRUBO ST
209	4	251	222	254	221	ZAVR. ST

Slika 5. Sadržaj datoteke tipičnih redosleda podoperacija u okviru operacija struganja (TEH 220)

Datoteka tipičnih redosleda podoperacija u okviru operacija struganja (TEH 220) sadrži za svaki tipični redosled: kôd tipičnog redosleda, broj podoperacija i redosled podoperacija (predstavljen kôdovima tipičnih podoperacija).

Izbor pojedinih tipičnih redosleda podoperacije izvodi se u skladu sa odgovarajućim uslovima za izbor (slika 6), odnosno u skladu sa namenom.

prioritet testiranja	USLOVI ZA IZBOR	kôd tipičnog redosleda podoper.
1.	(kôd oper. = 23) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ ($X^3 = 1,2,3,4$) ∧ ($X^7 = 3,5,6,7$)	207
2.	(kôd oper. = 23) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} > 8$ mm)	205
3.	(kôd oper. = 23) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} < 8$ mm)	206
1.	(kôd oper. = 21) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ ($X^3 = 1,2,3,4$) ∧ ($X^7 = 3,5,6,7$)	208
2.	(kôd oper. = 21) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} > 8$ mm)	201
3.	(kôd oper. = 21) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} < 8$ mm)	202
1.	(kôd oper. = 22) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ ($X^3 = 1,2,3,4$) ∧ ($X^7 = 3,5,6,7$)	209
2.	(kôd oper. = 22) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} > 8$ mm)	203
3.	(kôd oper. = 22) ∧ ($X^4 \neq 0$) ∧ (postoji SOSD) ∧ ($L^*_{i(u\ SOSD)} < 8$ mm)	204

Slika 6. Uslovi za izbor pojedinih tipičnih redosleda podoperacija u okviru operacija obrade struganjem

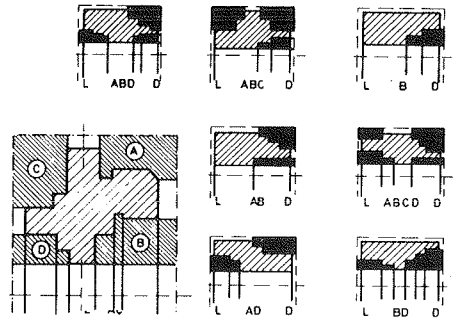
U navedenom prikazu uslova za izbor, X^i označava kôd na i-tom mestu iz klasifikacionog broja izradaka, dok L^*_i (u SOSD) označava najveću dužinu stepenog oblika koja proizilazi iz parametara instrukcije SOSD iz izvornog programa (slika 7).

Slika 7.



Instrukcija izvornog programa:
SOSD/D_1,L_1,D_2,L_2,D_3,L_3,...

Posebno se naglašava da postavljeni uslovi aktuelizacije baziraju na pravilnoj orijentaciji izradka, odnosno definisanju njegove desne (komplikovanije) i leve strane (slika 8), pri sastavljanju izvornog programa.



Slika 8. Pravila orijentacije leve i desne strane kod izradka

Nakon izbora odgovarajućeg tipičnog redosleda podoperacija za sve operacije struganja prisutne u konkretnom tehnološkom toku za dati izradak, nepotrebna je bilo kakva aktuelizacija podoperacija unutar izabranog tipičnog redosleda.

(nastavak u radu II pod istim naslovom)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Ratko Gatalo, Ljubomir Borojev, Milan Zeljković, Zora Konjović

AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE OPERACIONOG POSTUPKA KAO JEDNE OD FAZA U SAPOR-S SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE UPRAVLJAČKIH INFORMACIJA ZA NUMA ZA OBRADU STRUGANJEM (II)

3.2. Definisanje zahvata (i grupa zahvata) u okviru podoperacije struganja

Podoperacije struganja koje po usvojenoj koncepciji obuhvataju sve grupe zahvata (i zahvata) pri jednom stezanju obradka, potrebno je definisati u smislu odvijanja obrade po grupama zahvata i zahvatima. Pojam "grupa zahvata" proizašao je iz potrebe da se neki od zahvata, objedine u odredjene celine - "grupe zahvata", da bi se na taj način stvorili uslovi za kompleksniju optimizaciju tehnološkog procesa obrade,što je kao potreba naročito izraženo kod NU mašina alatki.

Konkretna realizacija definisanja grupa zahvata i zahvata u okviru podoperacije struganja izvedena je na bazi dve formirane tehnološke datoteke i to:

1) datoteke tipičnih grupa zahvata i zahvata (TEH 23),

2) datoteke tipičnih redosleda grupa zahvata i zahvata u okviru podoperacija obrade struganjem (TEH 24).

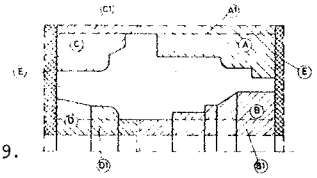
Nadgradnju u rešavanju problema čine odgovarajući uslovi za izbor tipičnog redosleda grupa zahvata i zahvata i odgovarajući uslovi za aktuelizaciju pojedinih grupa zahvata i zahvata za konkretne uslove izradka.

Za postavljanje ukupne strukture zahvata koji se odnose na obradu drugostepenih oblika (obrada programskim alatom) i obradu trećestepenih oblika (obrada programskim kretanjem programskog alata), bazu čini struktura ovih oblika u SAPOR simboličnom jeziku.

Za postavljanje strukture zahvata koji se odnose na obradu prvostepenih oblika postavljena je koncepcija da se obrada konture svake sekcije (A,B,C ili D - slika 9), sekcije koje proizilaze iz sistematike prvostepenih oblika u SAPOR simboličnom jeziku), izvodi kroz sledeće grupe zahvata obrade:

- STRUGANJE GRUBO KONTURNOG SEGMENTA, u varijantama:
  - uzdužna obrada
  - poprečna obrada
- KONTURNO STRUGANJE GRUBO, u varijantama:
  - u smeru -z ose
  - u smeru +z ose
- KONTURNO STRUGANJE ZAVRŠNO,u varijantama:
  - u smeru -z ose
  - u smeru +z ose.

Pored toga u ukupnu strukturu grupa zahvata (i zahvata) uključeni su i zahvati poprečnog i uzdužnog struganja pravougaonog segmenta, koji su neophodni za obradu odredjenih izradaka*.

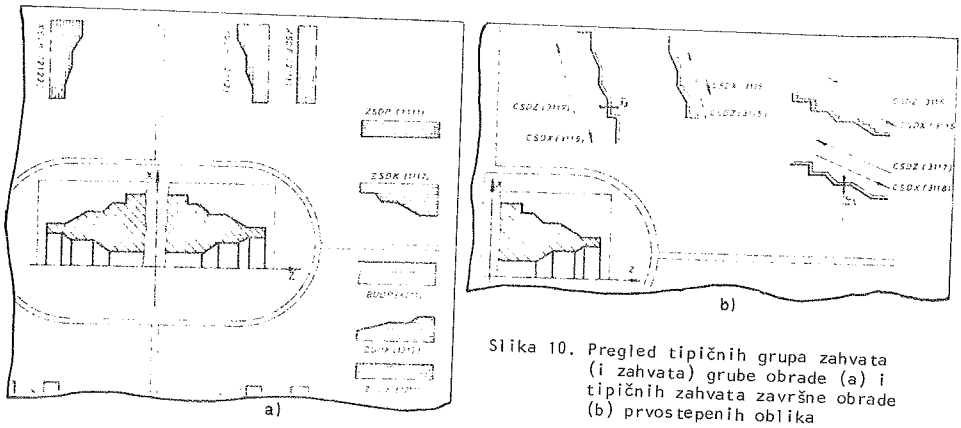


Slika 9.

Na slici 10 (a i b) daju se pregledi tipičnih grupa zahvata grube obrade,odnosno zahvata završne obrade prvostepenih oblika - sa varijantama slovnih i numeričkih kodova.

U skladu sa prethodnim, formirana je datoteka tipičnih grupa zahvata (i zahvata) (TEH 23) čiji je deo sadržaja prikazan na slici 11. Svaka grupa zahvata u datoteci je predstavljena odgovarajućim kôdom, formatom zapisa geometrijskih parametara zahvata, indikatorom zahvata i najzad nazivom zahvata. Ne upuštajući se u princip kodiranja pojedinih zahvata, napominje se da format zapisa geometrijskih parametara zahvata definiše način zapisa (tip: 1,2,3 ili 4) odgovarajućih

*) *U ovoj fazi realizacije modula izbegnuto je korišćenje zahvata uzdužnog struganja pravougaonog segmenta, dok se zahvat poprečnog struganja pravougaonog segmenta koristi kod svih izradaka kod kojih u osnovnom tehnološkom toku nije prisutna operacija - "poravnavanje i zabušivanje".*



Slika 10. Pregled tipičnih grupa zahvata (i zahvata) grube obrade (a) i tipičnih zahvata završne obrade (b) prvostepenih oblika

KOD GRUPE ZAHV.	KOD FORM. ZAP. (ZAH)	INDEKS ZAHV. NUM. PRO.	NAZIV GRUPE ZAHVATA
1101	1	1	STRUGATI UZDUZNO GRUBO, SPOLJASNJI CILINDRICNI SEGMENT
1102	1	2	STRUGATI UZDUZNO GRUBO, SPOLJASNJI KONTURNI, SEGMENT
1201	1	3	STRUGATI UZDUZNO GRUBO, UNUTRASNJI CILINDRICNI SEGMENT
1202	1	4	STRUGATI UZDUZNO GRUBO, UNUTRASNJI, KONTURNI SEGMENT
2101	1	5	STRUGATI POPRECNO GRUBO, SPOLJASNJI, CEONI SEGMENT
2102	1	6	STRUGATI POPRECNO GRUBO, SPOLJASNJI, KONTURNI SEGMENT
2201	1	7	STRUGATI POPRECNO GRUBO, UNUTRASNJI, CEONI SEGMENT
2202	1	8	STRUGATI POPRECNO GRUBO, UNUTRASNJI, KONTURNI SEGMENT
3208	2	16	STRUGATI KONTURNO, UNUTR., ZAVRSNO, I SMENU *Z OSE
4001	3	17	ZABUSITI
4002	3	18	BUSITI OTVOR
6101	4	19	STRUGATI DRUGOST. OBLIK, SPOLJAS., PRAVOUG. ZLJEB
6102	4	20	STRUGATI DRUGOST. OBLIK, SPOLJAS., OBARANJE IVICA
6103	4	21	STRUGATI DRUGOST. OBLIK, SPOLJAS., PRAVOUG. ZLJ.SA RAD
6104	4	22	STRUGATI DRUGOST. OBLIK, SPOLJAS., TRAPEZNI ZLJEB
6105	4	23	STRUGATI DRUGOST. OBLIK, SPOLJAS., ZAOBLJAVANJE IVICA

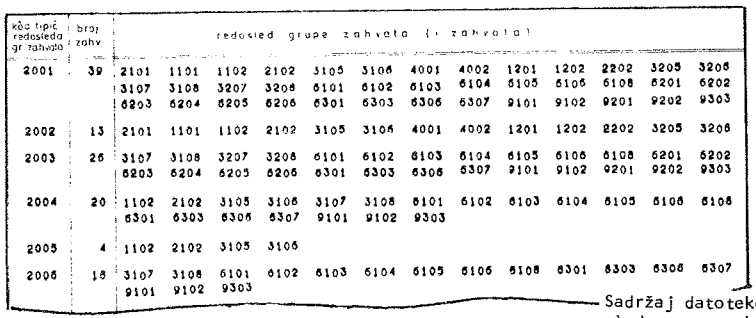
Slika 11. Izvod sadržaja datoteke tipičnih grupa zahvata (i zahvata) (TEH 23)

parametara koji se definišu u posebnom segmentu modula za definisanje operacionog postupka, o kojem u ovom radu neće biti reči.

Datoteka tipičnih redosleda grupa zahvata (i zahvata) (TEH 24), koncipirana je tako da svaki tipični redosled u datoteci sadrži (slika 12): kôd tipičnog redosleda, broj grupa zahvata (i zahvata) u okviru tipičnog redosleda i redosled grupa zahvata (i zahvata) u okviru tipičnog redosleda, pri čemu su zahvati predstavljeni odgovarajućim kôdom.

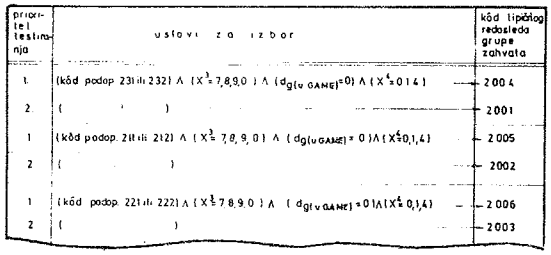
Izbor odgovarajućeg tipičnog redosleda grupa zahvata (i zahvata) za konkretne uslove izradka i prethodno definisani osnovni tehnološki tok [2] kao i redosled podoperacija u okviru operacije, vrši se za svaku podoperaciju obrade struganja, na osnovu uslova za izbor, koji su prikazani na slici 13.

Nakon izbora tipičnog redosleda za svaku podoperaciju, neophodno je svaku grupu zahvata i zahvat iz tipičnog redosleda podvrći testiranju u smislu neophodnosti njegovog zadržavanja u okviru podoperacije. Testiranje se vrši u skladu sa uslovima za aktuelizaciju, čiji je jedan segment prikazan na slici 15. U vezi sa prikazanim uslovima za aktuelizaciju, napominje se da njima prethodi definisanje odredjenih parametara koji treba da pojednostave celu proceduru (slika 14).



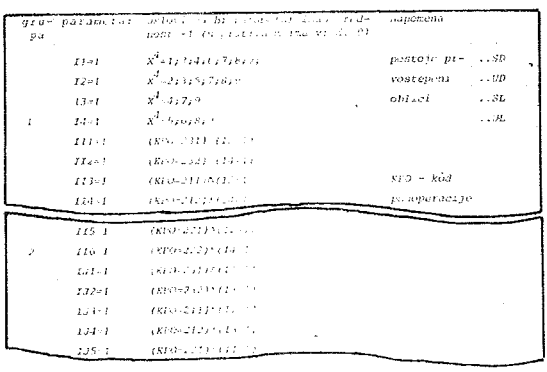
kôd tipič. redosleda gr zahvata	broj zahv	redosled grupe zahvata (i zahvata)												
2001	39	2101	1101	1102	2102	3105	3106	4001	4002	1201	1202	2202	3205	3206
		3107	3108	3207	3208	6101	6102	6103	6104	6105	6106	6108	6201	6202
		6203	6204	6205	6206	6301	6303	6306	6307	9101	9102	9201	9202	9303
2002	13	2101	1101	1102	2102	3105	3106	4001	4002	1201	1202	2202	3205	3206
2003	26	3107	3108	3207	3208	6101	6102	6103	6104	6105	6106	6108	6201	6202
		6203	6204	6205	6206	6301	6303	6306	6307	9101	9102	9201	9202	9303
2004	20	1102	2102	3105	3106	3107	3108	6101	6102	6103	6104	6105	6106	6108
		6301	6303	6306	6307	9101	9102	9303						
2005	4	1102	2102	3105	3106									
2006	18	3107	3108	6101	6102	6103	6104	6105	6106	6108	6301	6303	6306	6307
		9101	9102	9303										

Slika 12. Sadržaj datoteke tipičnih redosleda grupa zahvata (i zahvata) (TEH 24)



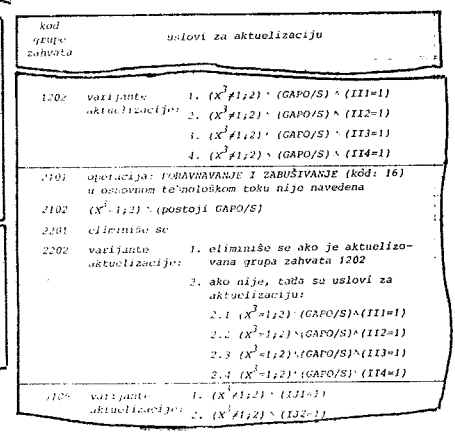
prioritet testiranja	uslovi za izbor	kôd tipičnog redosleda grupe zahvata
1	(kôd podop. 231 do 232) ∧ (X^1= 7,8,9,0) ∧ ($d_{g(u\ GANE)}$=0) ∧ (X^4=0 1 4)	2004
2	( )	2001
1	(kôd podop. 211 do 212) ∧ (X^1= 7,8, 9, 0) ∧ ($d_{g(u\ GANE)}$ = 0)∧ (X^4=0,1,4)	2005
2	( )	2002
1	(kôd podop. 221 do 222) ∧ (X^1= 7,8,9,0) ∧ ($d_{g(u\ GANE)}$ =0)∧ (X^4= 0,1,4)	2006
2	( )	2003

Slika 13. Uslovi za izbor tipičnog redosleda



grupa parametara			napomena
	I1=1	X^4=1;2;4;6;7;8;9	postoje pr- ..SD
	I2=1	X^4=2;3;5;7;8;9	vostepena ..VD
	I3=1	X^4=4;7;9	obrazi ..SL
1	I4=1	X^4=3;5;6;8;	..RL
	III=1	(KO=...)	
	II4=1	(KO=...)	
	II3=1	(KO=...)	SIFO - kôd
	II4=1	(KO=...)	podoperacije
	II5 1	(KO=...)	
2	II6 1	(KO=...)	
	I21=1	(KO=...)	
	I22=1	(KO=...)	
	I23=1	(KO=...)	
	I24=1	(KO=...)	
	I25 1	(KO=...)	

Sl.14 Segment definisanja parametara za postavljanje uslova aktuelizacije grupa zahvata i zahvata



kod grupe zahvata	uslovi za aktuelizaciju
1202	varijante aktuelizacije: 1. (X^3≠1;2) ∧ (GAPO/S) ∧ (III=1) 2. (X^3≠1;2) ∧ (GAPO/S) ∧ (II2=1) 3. (X^3≠1;2) ∧ (GAPO/S) ∧ (II3=1) 4. (X^3≠1;2) ∧ (GAPO/S) ∧ (II4=1)
2101	operacija: FORMIRANJE I ZABUŠIVANJE (kôd: 16) u osnovnom tehnološkom toku nije navedena
2102	(X^3=1;2) ∧ (postoji GAPO/S)
2201	eliminiše se
2202	varijante aktuelizacije: 1. eliminiše se ako je aktuelizovana grupa zahvata 1202 2. ako nije, tada su uslovi za aktuelizaciju: 2.1 (X^3=1;2) ∧ (GAPO/S)∧(III=1) 2.2 (X^3=1;2) ∧(GAPO/S)∧(II2=1) 2.3 (X^3=1;2)∧(GAPO/S)∧(II3=1) 2.4 (X^3=1;2)∧(GAPO/S)∧(II4=1)
3105	varijante aktuelizacije: 1. (X^3≠1;2) ∧ (III=1) 2. (X^3≠1;2) ∧ (II2=1)

Slika 15. Segment uslova za aktuelizaciju grupa zahvata i zahvata

4.0. PRIMERI IZLAZNIH REZULTATA

Programski paket modula za definisanje operacionog postupka razvijen je kao jedan od segmenata ukupnog SAPOR-S sistema. Realizovan je na bazi napred izložene koncepcije, kao celina koja za konkretni izradak obezbeđuje projektovanje operacionog postupka za sve operacije struganja, u neprekidnom toku.

Izlazni rezultati iz ovog modula u suštini predstavljaju medjufazne rezultate u ukupnom SAPOR-S sistemu, i kao takvi oni se memorišu u odgovarajućoj operativnoj datoteci, u svrhu njihovog korišćenja u modulima koji slede. Navedeni rezultati po potrebi se štampaju u vidu odgovarajućeg listinga. Kao ilustracija napred izložene koncepcije navode se dva karakteristična primera izlaznih rezultata. Na slici 16 navodi se primer izlaznih rezultata za izradak u vidu čaure, dok se na slici 17 navodi primer za izradak u vidu vratila.

U cilju pojašnjavanja prikaza, uz izlazne rezultate dodati su odgovarajući crteži izradka i odgovarajući izvorni programi pisani po pravilima SAPOR simboličnog jezika, koji u suštini predstavljaju isključivo jedine ulazne (polazne) informacije u SAPOR-S sistemu za automatizovano projektovanje.

5.0. ZAKLJUČAK

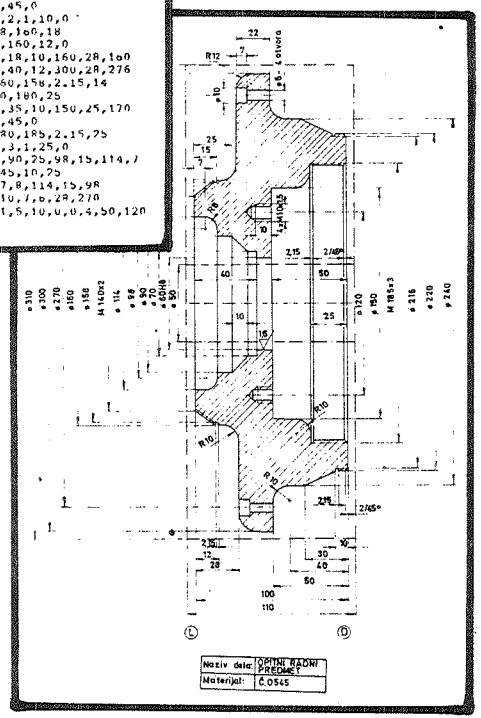
Koncepcija i rešenje modula za definisanje operacionog postupka (operacije) u suštini predstavljaju originalno rešenje do kojeg se došlo kroz višegodišnji rad. Pri tome su od posebnog značaja bila iskustva iz prethodne faze istraživanja |5|, |6|.

Primenjena koncepcija i konkretno rešenje programskog paketa modula, prema grubim procenama, obezbeđuje u ovom trenutku, projektovanje adekvatnog operacionog postupka za preko 85% svih rotacionih izradaka, pri

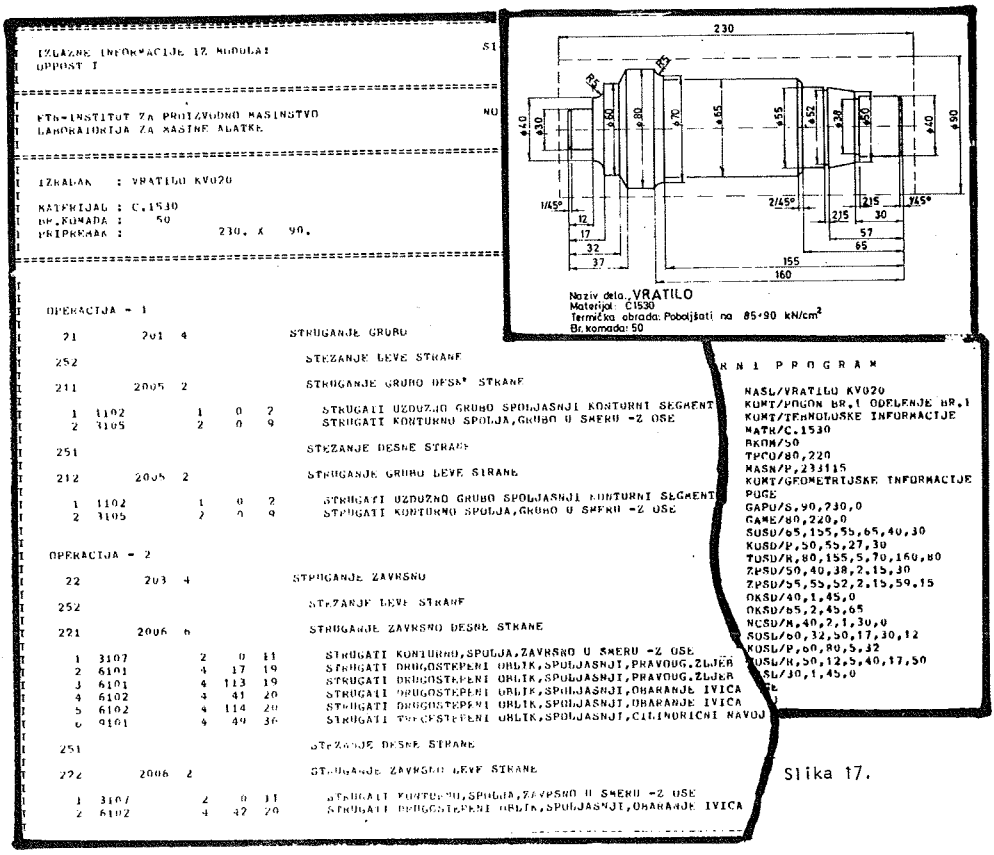
```
I  IZRADNA INDUSTRIJA ZA KUJNARE                    SISTEM: S A P O R - S
I  OPREST I
I
I  FTN-INSTITUT ZA PROIZVODNO MASINSTVO             NOVI SAD  15.05.82.
I  LABORATORIJA ZA KALUPE KUJNE
I
I  IZRADAK   : OPITNI RAD. PRED.1 DU42
I
I  MATERIJAL : C.0545
I  BR.KUMADA :  1
I  PRIPREMAN :          110. X  310.
I
I
I  OPERACIJA = 1
I
I    23        20N  4              STRUGANJE
I
I    252                           STEZANJE LEVE STRANE
I
I    231       2001 13             STRUGANJE DESNE STRANE
I
I      1  2101          1    0   5     STRUGATI POPREČNO GRUBO SPOLJAŠNJI ČEONI SEGMENT
I      2  2102          1    0   6     STRUGATI POPREČNO GRUBO SPOLJAŠNJI KONTURNI SEGMENT
I      3  3106          2    0  10     STRUGATI KONTURNO,SPOLJA,GRUBO U SMERU +Z OSE
I      4  2202          1    0   8     STRUGATI POPREČNO GRUBO UNUTRAŠNJI KONTURNI SEGMENT
I      5  3206          2    0  14     STRUGATI KONTURNO,UNUTRA,GRUBO U SMERU +Z OSE
I      6  3108          2    0  12     STRUGATI KONTURNO,SPOLJA,ZAVRŠNO U SMERU +Z OSE
I      7  3208          2    0  16     STRUGATI KONTURNO,UNUTRA,ZAVRŠNO U SMERU +Z OSE
I      8  6101          4   17  29     STRUGATI DVOSTEPENI OBLIK,SPOLJAŠNJI,PRAVOUG.ŽLJEB
I      9  6104          4   41  20     STRUGATI DVOSTEPENI OBLIK,SPOLJAŠNJI,OBRADJEN IVICA
I     10  6201          4   19  26     STRUGATI DVOSTEPENI OBLIK,UNUTRAŠNJI,PRAVOUG. ŽLJEB
I     11  6202          4   43  27     STRUGATI DVOSTEPENI OBLIK,UNUTRAŠNJI,OBRADJEN IVICA
I     12  9101          4   49  36     STRUGATI TRECESTAPENI OBLIK,SPOLJAŠNJI,CILINDRICNI NAVOJ
I     13  9201          4   51  38     STRUGATI TRECESTAPENI OBLIK,UNUTRAŠNJI,CILINDRICNI NAVOJ
I
I    251                           STEZANJE DESNE STRANE
I
I    232       2001  4             STRUGANJE LEVE STRANE
I
I      1  2101          1    0   5     STRUGATI POPREČNO GRUBO SPOLJAŠNJI ČEONI SEGMENT
I      2  2102          1    0   6     STRUGATI POPREČNO GRUBO SPOLJAŠNJI KONTURNI SEGMENT
I      3  3106          2    0  10     STRUGATI KONTURNO,SPOLJA,GRUBO U SMERU +Z OSE
I      4  2202          1    0   8     STRUGATI POPREČNO GRUBO UNUTRAŠNJI KONTURNI SEGMENT
I      5  3206          2    0  14     STRUGATI KONTURNO,UNUTRA,GRUBO U SMERU +Z OSE
I      6  3108          2    0  12     STRUGATI KONTURNO,SPOLJA,ZAVRŠNO U SMERU +Z OSE
I      7  3208          2    0  16     STRUGATI KONTURNO,UNUTRA,ZAVRŠNO U SMERU +Z OSE
I      8  6101          4   18  19     STRUGATI DVOSTEPENI OBLIK,SPOLJAŠNJI,PRAVOUG.ŽLJEB
I
```

```
I Z V U R N I  P R O G R A M

    1     NASL/OPITNI RAD. PRED.1 DU42
    2     KUMT/ODELJENJE BR.2 POGON BR.1
    3     KUMI/TEHNOLOŠKE INFORMACIJE
    4     RKON/10
    5     MATK/C.0545
    6     MASN/P,233115
    7     KUMT/GEOMETRIJSKE INFORMACIJE
    8     PUGE
    9     GAPD/5,310,110,50
   10     GAME/300,100,60H8G6
   11     SUSD/260,50,240,40,220,10
   12     KUSD/P,220,240,20,10
   13     TUSD/M,260,40,10,240,50,260
   14     ZPSD/220,220,216,2.15,10
   15     DKSD/270,2,45,0
   16     NCSD/M,220,2.1,10,0
   17     SUSL/180,28,160,18
   18     KUSL/P,140,160,12,0
   19     TUSL/M,180,18,10,160,28,160
   20     TUSL/O,276,40,12,300,28,276
   21     ZPSL/160,160,158,2.15,14
   22     SURD/150,50,180,25
   23     TURD/O,170,35,10,150,25,170
   24     DKUD/180,2,45,0
   25     ZPUD/170,180,185,2.15,25
   26     NCUD/M,185,3,1,25,0
   27     SURD/70,40,90,25,98,15,114,7
   28     KURD/O,90,45,10,25
   29     TURD/K,98,7,8,114,15,98
   30     RUAU/O,27,10,7,0,28,270
   31     RNAU/M,10,1,5,10,0,0.4,50,120
   32     ZAGB
   33     KRAJ
```



Slika 16.



Slika 17.

čemu postavljena koncepcija daljeg usavršavanja kao i omogućavanja interaktivnog rada, treba u narednom periodu da doprinese značajnom povećanju ovog procenta.

U konkretnom slučaju razvojem ovog modula i njegovom ugradnjom u SAPOR-S programski sistem za automatizovano projektovanje, dat je značajan doprinos podizanju ukupnog nivoa automatizacije projektovanja u SAPOR-S sistemu.

Ograničeni prostor nije dozvolio da se izloži i koncepcija definisanja odgovarajućih geometrijskih parametara svakog zahvata, što je od posebnog značaja pri automatizovanom projektovanju tehnološkog procesa za NU mašine, te time zaokruži ukupna koncepcija modula za definisanje operacionog postupka.

LITERATURA

[1] Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodolič,J.,Borojev, Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović,Z., Malbaški,D.: The automatical Designing of the technology Process for NC Machine Tools for Turning - SAPOR-S System, VI.International Conference on production Research,Novi Sad,1981

[2] Gatalo,R.,Hodolič,J.,Borojev,Lj.,Zeljković,M.,Rekecki,J.: Automatizacija definisanja osnovnog tehnološkog redosleda pri obradi rotacionih izradaka u sistemu "SAPOR-S", XI.Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1981.

[3] Zeljković,M.,Gatalo,R.: Automatizacija izbora alata pri obradi struganjem rotacionih izradaka u sistemu SAPOR-S, XI.Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala,Beograd,1981.

[4] Rekecki,J.,Gatalo,R.,Hodolič,J.,Borojev, Lj.,Zeljković,M.: Testiranje SAPOR-S sistema za automatizovano projektovanje upravljačkih informacija za NUMA za obradu struganjem,VII. JUPITER konferencija,Opatija, 1981.

[5] Rekecki,J.,Gatalo,R.,Borojev,Lj.,Hodolič J.: Definisanje redosleda obrade na bazi klasifikacionog broja u sistemu automatskog projektovanja tehnološkog procesa za numerički upravljane i konvencionalne mašine alatke,VII Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1977.

[6] Gatalo,R.,Konjović,Z.: Definisanje tehnološkog postupka u sistemu za automatsko projektovanje tehnološkog procesa, simpozijum INFORMATICA, Bled, 1977.

[7] Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodolič,J.,Borojev, Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović,Z.,Malbaški,D.: Razvoj SAPOR-S sistema za automatsko projektovanje upravljačkih informacija i nosioca informacija za NUMA, u konkretnim pogonskim uslovima; elaborat istraživačke teme,Institut za proizvodno mašinstvo,FTN,Novi Sad, 1980.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Janko Hodolič, Veljko Milošević, Ratko Gatalo, Jožef Rekecki*

SISTEMSKI POSTPROCESOR KAO MODUL SAPOR-S SISTEMA I BAZA ZA EFIKASNU PRIMENU SISTEMA U PROIZVODNOM POGONIMA**

R e z i m e

U programskom sistemu SAPOR-S za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za numerički upravljanje (NU) mašine za obradu strugaњem, učinjen je pokušaj da se ostvari sistemski prilaz u koncipiranju POSTPROCESORA kao završnog modula ukupnog sistema.
Rešenje izloženo u radu obezbedjuje visok stepen unifikacije sa stanovišta različitih zahvata koji proizilaze iz primenjenog računarskog sistema sa jedne strane i specifičnosti pojedinih tipova NU mašina i njihovih upravljačkih sistema sa druge strane.

SYSTEMIC POSTPROCESSOR AS THE MODULE OF THE SAPOR-S SYSTEM AND THE BASE FOR EFFICIENT APPLICATION OF THE SAPOR-S SYSTEM IN THE PRODUCTION JOB SHOPS

S u m m a r y

In the software package SAPOR-S for automatic design of tehnological process and the control informations for numeric controlled (NC) lathes, a trial is made to give an systemic approach to the conception of teh postprocessor as final module of the whole system. The propose given in this paper gives high level of unification of the parameters which are connected with the characteristics of the computer applied and the NC machines and their control units.

1.0. UVOD

Primena automatskog projektovanja tehnološkog procesa za numerički upravljanje mašine alatke (NUMA) sve je prisutnija i u domaćim uslovima, obzirom da je ručno projektovanje tehnološkog procesa postalo najslabiji element u lancu postepene automatizacije proizvodnog procesa. Pored toga sastavljanje upravljačkog programa za NUMA sa konturnim upravljanjem u nizu slučajeva je toliko teško i dugotrajno, da je njegova realizacija bez primene računarske tehnike i nemoguća.

Postoji ceo niz sistema za automatsko projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za NUMA, od najjednostavnijih čiji je cilj da se olakša ručno programiranje, sve do velikih univerzalnih programskih sistema sposobnih za rešavanje najsloženijih zadataka u području automatizacije tehnološkog procesa.

Bitna osobina svakog sistema za automatsko projektovanje tehnološkog procesa je postignuti stepen automatizacije projektantskih aktivnosti u lancu projektovanja tehnološkog procesa za ove mašine. Što je sistem savršeniji - sa većim stepenom automatizacije, to računar više odlučivanja preuzima od tehnologa - programera a priprema izvornog programa postaje jednostavnija i brža. Pri tome programski paket sistema za automatsko projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija za NUMA postaje složeniji u odnosu na sisteme sa manjim stepenom automatizacije. S obzirom da se karakteristike pojedinih NUMA (način

*) *Hodolič mr Janko, dipl.ing., asistent; Gatalo dr Ratko, dipl.ing., vanr.prof.; Rekecki dr Jožef, dipl.ing., red.prof.; Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad*
Milošević mr Veljko, dipl.ing., asistent Fakultet za strojarstvo i brodogradnju, 41000 Zagreb

**) *Sacpštenje iz Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera, broj 2.*

upravljanja, brojevi obrtaja, pomaci, kodiranje upravljačkih informacija, itd.), za koje se sistem koristi razlikuju, složenost programskog paketa bila bi još veća ukoliko isti ne bi bio podeljen na dva samostalna dela i to na tzv. procesor i podprocesor.

U okviru procesora projektuju se informacije opšteg karaktera bez zavisnosti od konkretne NUMA. Pri tome se procesori u tehnološki orijentisanim programskim sistemima uobičajeno sastoje od tri osnovna dela: segmenta za prevodjenje i sortiranje ulaznih informacija; geometrijskog segmenta i tehnološkog segmenta (geometrijski i tehnološki procesori).

Potprocesor transformiše - prilagodjava informacije projektovane u procesoru konkretnoj NUMA i njenoj upravljačkoj jedinici. Uskladjuje ih sa radnim mogućnostima mašine, definiše raspored alata na nosaču, definiše početak koordinatnog sistema upravljanja, podatke o putanji alata projektovane u procesoru transformiše u koordinatni sistem upravljanja. Pored toga, vrši definitivni izbor brojeva obrtaja glavnog vretena i brzina pomoćnog kretanja za odredjeni red brojeva obrtaja i pomaka sa kojima mašina raspolaže, prelazak iz jednog reda u drugi, i obezbedjuje izlazne rezultate iz sistema u pogledu oblika (odgovarajućih listinga, perforirane trake) i njihovog sadržaja.

Iz prethodnog proizilazi da je procesor kao deo sistema problemski orijentisan program, dok je postprocesor mašinski orijentisan. Mašinska orijentacija postprocesora uslovljava postojanje postprocesora za svaku NUMA za koju se koristi sistem za automatsko projektovanje tehnološkog procesa i upravljačkih informacija.

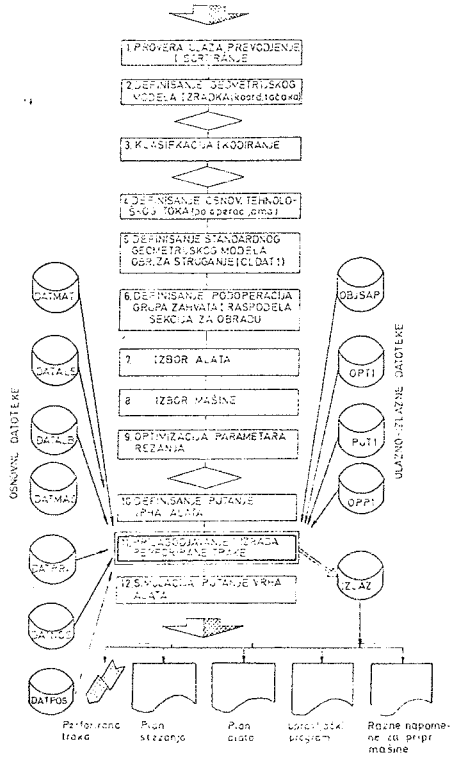
Medjutim, najnovija istraživanja [4] ukazuju da je kod najsavremenijih NUMA raznolikost u pogledu načina programiranja kao i samih karakteristika mašina, zbog prisustva standardizacije u području NU, svedena na manju meru u odnosu na period pojave istih.To omogućuje razvoj postprocesora za klasu mašina - odnosno razvoj sistemskog postprocesora, pri čemu je jedan deo takvog postprocesora problemski orijentisan, dok je drugi sa nizom potprograma sa mašinskom orijentacijom.

2.0. SISTEMSKI POSTPROCESOR KAO MODUL SAPOR-S SISTEMA

Modul "Prilagodjavanje i izrada perforirane trake" je jedanaesti modul po redu u okviru celog SAPOR-S sistema (slika 1), koji prilagodjava tehnološke i geometrijske informacije projektovane prethodnim modulima (procesor) konkretnim NUMA sa odgovarajućim upravljačkim jedinicama i obezbedjuje oblik i sadržaj potrebnih nosioca informacija kako za same mašine, tako i za poslužioce istih.

Prilagodjavanje geometrijskih informacija projektovanih u procesoru sastoji se u:

- definisanju nulte programske tačke (tačka W),



Sl1. Položaj modula prilagodjavanje i izrada perforirane trake u SAPOR-S sistemu

- usaglašavanju koordinatnog sistema procesora sa koordinatnim sistemom programiranja mašine;

- usaglašavanju razmene koordinata karakterističnih tačaka putanje vrha alata definisanih u procesoru sa razmerom zadavanja mera istih kod konkretne mašine;

- iznalaženju ekvidistantne putanje centra radijusa zaobljenog vrha alata u odnosu na putanju špicastog vrha alata projektovanog u procesoru;

- definisanju sigurno nekolizionih položaja alata sa obratkom neophodnih pri zameni alata obzirom na njihove maksimalne mere u aksijalnom i radijalnom pravcu;

- definisanju stvarnih veličina putanje alata koje isti prelazi radnim i brzim hodovima potrebnih za odredjivanje vremena obrade;

- proveravanju nekolizionih položaja alata sa komponentama mašine (stezna glava, šiljak za oslanjanje, itd.).

Prilagodjavanje i projektovanje tehnoloških informacija u postprocesoru sastoji se u:

- konačnom izboru tipa stezanja (na primer koja od mogućih varijanti stezanja steznom glavom sa dvo, tro ili više stepeni steznim čeljustima);

- raspored prethodno izabranih alata sa odgovarajućim držačima na nosaču ili nosačima alata;

- dodeljivanje memorijskog mesta za korekciju alata u radijalnom ili aksijalnom pravcu za svaki alat;

- izboru smera okretanja glavnog vretena za svaki alat, obzirom da isti može biti desni ili levi, a njegov položaj ispred ili iza ose glavnog vretena;

- izboru područja brojeva obrtaja glavnog vretena i definisanju - kodiranju istih ukoliko se radi o diskontinualnoj promeni obrtaja;

- konačnom definisanju veličine pomoćnog kretanja;

- itd.

Izlazne informacije iz postprocesora SAPOR-S sistema, prema slici 1, sadržane su:

- na perforiranoj traci;

- u listingu programa za upravljanje mašinom;

- u planu alata;

- u planu stezanja;

- u posebnim napomenama za poslužioca mašine.

3.0. POLAZNE I IZLAZNE INFORMACIJE IZ MODULA

Osnovnu strukturu ulaznih veličina u ovaj modul SAPOR-S sistema predstavlja skup izlaznih informacija iz procesora - CLDATA 2 memorisan u operativnoj datoteci "PUT 1". Pri tome je CLDATA 2 SAPOR-S sistema definisan sa dvanaest rečenica različitog formata zapisa (slika 2). Opšti format rečenice je:

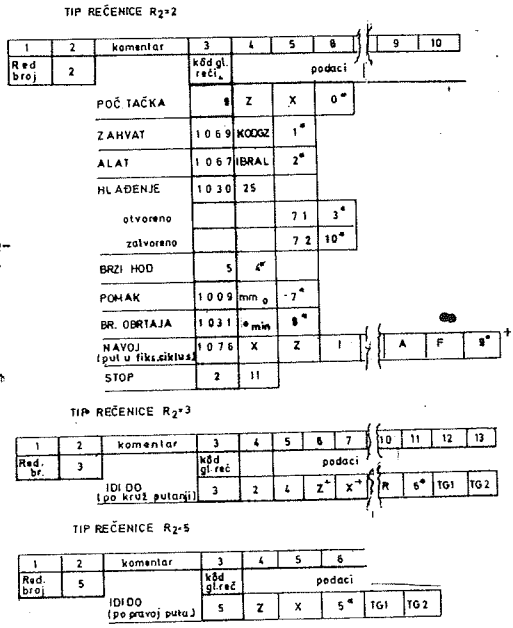
R1 R2 R3 R4 ... Rn

gde je:

R1 = redni broj rečenice (ceo broj)
R2 = tip rečenice (ceo broj)
R3 = bliža specifikacija rečenice (ceo broj)
Rn = podaci koji zavise od R2 i R3 a koji se sastoje od celih i realnih brojeva.

Pored informacija, koje definišu putanju vrha alata (nazvane kao CLDATA 2 infomacije) kao ulazne informacije koriste se i podaci koji definišu broj potrebnih podoperacija za dati izradak, broj rečenica kojima je definisana putanja vrha alata za svaku podoperaciju, adresa ranije izabrane mašine koja se koristi u datoj podoperaciji (u datoteci mašina) itd.

Drugu grupu ulaznih informacija predstavljaju informacija iz drugih operativnih (ulazno-izlaznih) i tehnoloških datoteka (slika 1) kao što su: OBJSAP, OPP1, DAT_MAS, DATALS, DATNOS, DATPRI i DATPOS . Ako se za polazne informacije prve grupe može reći da



0* - 11* - format zapisa u datoteci PUT 1 tekuće rečenice

\+ - struktura geometrijskih informacija putanje kod navojnih oblika

Z^+, X^+ - koordinate centra radijusa putanje u vidu kružnog luka

R - radijus kružnog luka

Z,X - koordinate predstojeće karakteristič.tač.put.vrha alata

KODGZ - kod grupe zahvata,na koji se izlazni rezultati odnose

IBRAL - ident.broj desnog alata od para postojećih kojima se realizuje grupa zahvata na koji se izlazni rezultati odnose

TG1 TG2 - tanges dolazećeg i tanges odlazećeg pravca putanje iz predstojeće tačke

Slika 2. Formati zapisa rečenica u datoteci PUT1.

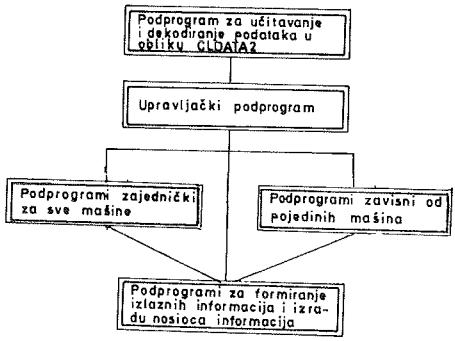
su to one koje se prilagodjavaju konkretnoj mašini, onda se za drugu grupu ulaznih veličina može reći da su to podaci koji se koriste ili za prilagodjavanje osnovnih veličina ili podaci za popunu zaglavlja raznih komentara na izlaznim nosiocima informacija iz postprocesora.

Datoteka "IZLAZ" sadrži konačne rezultate SAPOR-S sistema, odnosno izlazne informacije iz postprocesora koje se prenose i na traku. Formiranje datoteke "IZLAZ" proizašlo je zbog neusaglašenosti brzine projektovanja upravljačkih informacija i njihovog bušenja na nosiocu čime je stvorena OFF LINE veza.

Pored zapisivanja upravljačkih informacija u datoteku IZLAZ vrši se i njihovo štampanje na štampaču u vidu listinga upravljačkog programa za NUMA. Osim navedenih informacija kao izlazni podaci iz ovog modula su i informacije koje se štampaju na listinzima prikazanim na slici 1.

4.0. ORGANIZACIJA PROGRAMSKOG PAKETA SISTEMSKOG POSTPROCESORA I PRINCIP GENERIRANJA REČENICA UPRAVLJAČKOG PROGRAMA ZA NUMA

Organizaciju programskog paketa sistemskog postprocesora SAPOR-S sistema prikazuje slika 3.



Slika 3. Opšta stuktura programskog paketa sistemskog postprocesora.

Podprogram za učitavanje i dekodiranje služi za učitavanje rečenica izlaza iz procesora u obliku CLDATA 2 koji u principu mogu biti na različitim nosiocima informacija inicira i daje upute upravljačkom programu koji na osnovu istih poziva odgovarajuće potprograme. Podprogram za formiranje izlaznih informacija i izradu nosioca informacija izdaje informacije za štampu na odgovarajućim listama za poslužioca mašine i onganizatore proizvodnje, i obezbedjuje izradu nosioca upravljačkih informacija.

Princip generisanja rečenica upravljačkog programa sastoji se u sekvencijalnom čitanju datoteke PUT1 i na osnovu svake rečenice iz PUT1 dobijaju se jedna ili više reči koje čine rečenicu upravljačkog programa.

Reči koje formiraju pojedine rečenice mogu da imaju sledeće adrese:

N...G...X...Z...I...K...D...A...F...S...T...

Svaka rečenica upravljačkog programa završava sa LF (line feed). Obzirom da većina reči pri odvijanju programa obrade na mašini deluje sve dotle dok se ne zameni sa drugom reči iz iste grupe prema programskom ključu, pri prilagodjavanju informacija iz datoteke PUT1, ukoliko se instrukcija - reč ne menja u narednoj rečenici, nije potrebno njeno pisanje. Primera radi, pri kretanju alata paralelno sa Z-osom ne menja se X koordinata tačke u koju alat dolazi, te nema potrebe ni pisati ovu koordinatu, ili pak ako se pomak u drugom prolazu ne razlikuje u odnosu na predhodni on se neće ponovo zapisivati pod adresom F. Ovo je postignuto pomoću dva niza R(I) i RP(I). Oba niza su DUBLE PRECISION i imaju po 12 članova, tako da R(1) odnosno RP(1) odgovara instrukciji N a R(12) i RP(12) odgovara instrukciji M. Prilikom generisanja rečenica upravljačkog programa, iz rečenica datoteke PUT1 generišu se sve instrukcije upravljačkog programa koje slede, ali se u datoteku IZLAZ i na listingu upravljačkog programa upisuju samo one za koje je $R(I) \neq RP(I)$. Ispis tj. upis u datoteku IZLAZ vrši se potprogramom PISREC odnosno potprogramima R3, R5 ili R7. Ukazujući na detaljnije informacije o modelu celog modula u literaturi pod [1], ovde se navodi grubi algoritam celog modula (slika 4).

Odgovarajući program modula: prilagodjavanje i izrada perforirane trake u SAPOR-S sistemu nazvan je "PERFO". Za rešavanje već definisanog problema pored glavnog programa koristi se četrnaest potprograma i to:

1. BLOCK DATA - definiše konstante koje se nalaze u COMMON-u
2. ZAGLAV - služi za ispis zaglavlja na izlaznim listama
3. STEZ - definiše stezanje - izbor položaja čeljusti
4. GEOPAK - definiše geometriju steznih čeljusti
5. NOSALT - vrši izbor nosača alata i definiše raspored alata u nosaču alata
6. EKVIDI - vrši korekciju putanje vrha špicastog alata na centar radijusa zaobljenog vrha alata
7. OBRTAJ - vrši prilagodjavanje brojeva obrtaja, onima kojima raspolaže konkretna mašina
8. PISREC - ispis rečenice upravljačkog programa
9. R3 - ispis instrukcije sa 3 karaktera
10. R5 - ispis instrukcija sa 5 karaktera
11. R7 - ispis instrukcije sa 7 znakova
12. KONV - služi za konverziju numeričke vrednosti duble percision u niz integera, koji u svakom članu niza sadrži po jednu znamenku numeričke vrednosti DP-broja
13. DINT - služi za odbacivanje decimalnog ostatka duble precision - veličine
14. DMOD - služi za odredjivanje ostatka deljenja dva duble precision broja.

Pored toga u okviru celog modula postoji i program TRAKA koji, u odnosu na program PERFO predstavlja nezavisnu celinu a služi za bušenje perforirane trake. Ovaj program takodje vrši prilagodjavanje računskog koda kodu koji zahteva upravljačka jedinica mašine alatke (ELA ili ISO).

5.0. REZULTATI TESTIRANJA MODULA

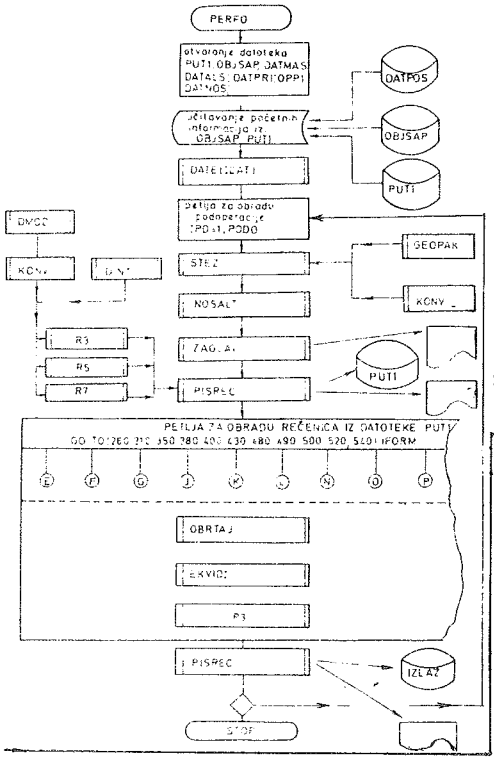
U ovoj razvojnoj fazi SAPOR-S sistema testiranje sistemskog posprocesora obavljeno je na računarskom sistemu EI-HONEYWELL6 za sledeće NU strugove iz proizvodnog programa FAMIL "POTISJE" iz Ade, i to:

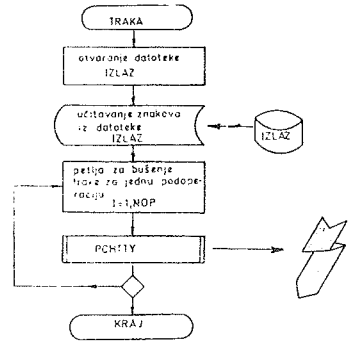
PNR-600 CNC NUMERIČKI UPRAVLJANI UNIVERZALNI STRUG

- prečnik obrade iznad postolja	600 mm
- prečnik obrade iznad klizača	270 mm
- razmak izmedju šiljaka	1500 mm
- širina postolja	500 mm
- instalisana snaga	15/22 kW
- opseg brojeva obrtaja	15-2500 min^{-1}
- broj alata (u dva nosača)	8
- upravljanje	YASNAC 2000 G

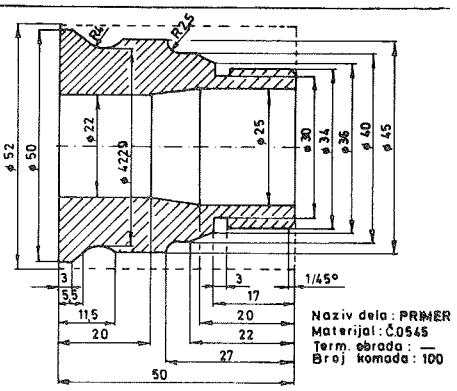
PAN-25 CNC STRUG SA NUMERIČKIM UPRAVLJANJEM

- prečnik obrade iznad postolja	530 mm
- prečnik obrade iznad klizača	260 mm
- razmak izmedju šiljaka	1500 mm





Slika 4a. Grubi algoritam programa sistemskog postprocesora



I Z V O R N I P R O G R A M

```
1     DASL/PRIMER BIAM-82  PH01
2     KOMT/TEHNOLOSKE INFORMACIJE
3     MATR/C.0545
4     BKOM/100
5     MASN/P,237205
6     KOMT/GEOMETRIJSKE INFORMACIJE
7     POGE
8     GAPO/S,52,50,0
9     GAZE/50,50,22
10    SOSE/45,44.5,40,24.5,34,17
11    SOHO/25,20
12    KOSO/P,45,50,2.5,44.5
13    KOSO/P,36,40,5,17
14    KOHO/P,25,22,10,20
15    TOSO/R,45,24.5,2.5,40,27,45
16    ZPSO/36,34,30,3,17
17    LRSO/45,45,12.29,8,4,45.5
18    OKSO/34,1,45,0
19    ZAGE
20    KRAJ
```

Slika 5. Primer izradka i njemu odgovarajućeg izvornog programa.

- širina postolja 400 mm
- instalisana snaga 15 kW
- opseg brojeva obrtaja (4 opsega) 6,3-2500 min^{-1}
- broj alata u nosaču 4
- upravljanje SINUMERIK 6 T

PANUMAT 560 L

- prečnik obrade iznad postolja 500 mm
- prečnik obrade iznad klizača 270 mm
- dužina obrade do 2000 mm
- opseg brojeva obrtaja 45-1400
- broj stepeni prenosa 16
- snaga pogonskog motora 22 kW
- broj alata u nosaču 8
- upravljanje SINUMERIK 5 T

Do kraja godine očekuje se prilagodjavanje celog SAPOR-S sistema i izloženog sistemskog postprocesora na računarskom sistemu VIDEOTON R10 (ili VT-60/VT-DC) kao i usavršavanje celog sistema za primenu kod drugih NU strugova, koje proizvodi FAMIL "POTISJE" ili se nalaze u eksploataciji u proizvodnim pogonima FAMIL "POTISJA".

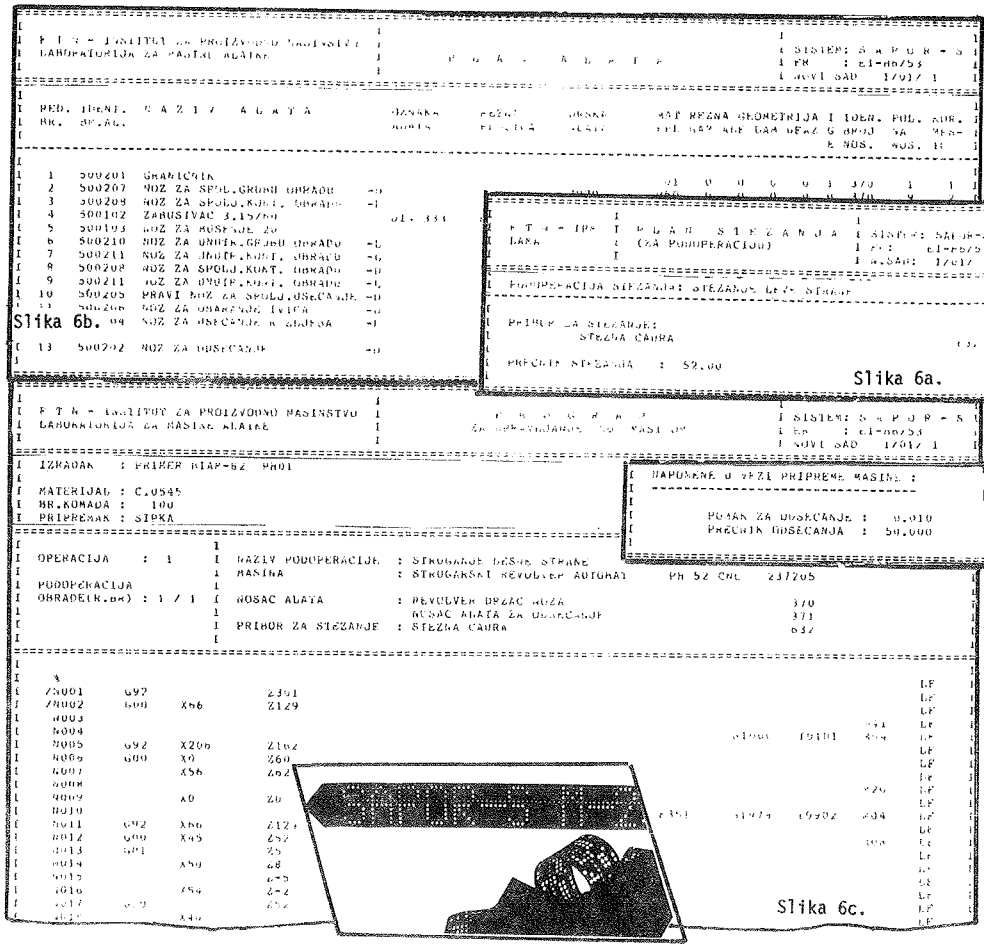
Kao ilustracija do sada postignutih rezultata, u nastavku se navodi jedan kompletan primer izlaznih rezultata.

Za pripremak i izradak i odgovarajući izvorni program (slika 5) na slikama 6a, b i c dati su segmenti izlaznih rezultata iz ovog modula.

6.0. Z A K L J U Č A K

Rezultate istraživanja, do kojih se došlo pri projektovanju ovog modula treba posmatrati u svetlu činjenice da je to jedan od prvih pokušaja kompleksnog rešavanja problema te prirode u domaćim uslovima.

Dobijeni rezultati potvrdjuju da je postavljeni cilj ostvaren, i da se projektovani sistemski postprocesor SAPOR-S sistema posebno odlikuje sledećim karakteristikama:



Slika 6b.

Slika 6a.

Slika 6c.

- modularna organizacija,
- opšta primenljivost sa malim razlikama kod primene na različitim NUMA,
- fleksibilnost u pogledu proširivanja i usavršavanja,
- mala zavisnost od tipa računara i njegovih perifernih jedinica, a delovi koji zavise su lako zamenljivi.

Rešenje kao takvo predstavlja solidnu osnovu za njegovu primenu u praksi i njegovu daljnju dogradnju.

Posebno značajnim treba istaći da je pri razvoju navedenog modula stečeno veliko znanje i iskustvo koje se može iskoristiti i pri razvoju postprocesora i za druge programske sisteme za automatsko projektovanje tehnološkog procesa za NUMA.

7.0. LITERATURA

|1| Gatalo,R., Rekecki,J., Hodolič,J., Borojev,Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V., Konjović,Z.,Malbaški,D.: Razvoj "SAPOR-S" sistema za automatsko projektovanje upravljačkih informacija i nosioca informacija za NUMA, u konkretnim pogonskim uslovima, elaborat istraživačke teme, sveska: 1,2,3,4, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1980.

|2| Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodolič,J.,Borojev, Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović, Z.,Malbaški,D.: THE AUTOMATIC DESIGN OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS FOR NC LATHES BY THE USE OF SAPOR-S, SYSTEM, VI INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION RESEARCH, Novi Sad, Yugoslavia, 1981.

|3| Hodolič,J.: Automatizacija projektovanja optimalne putanje vrha alata kod numerički upravljanih mašina alatki za obradu struganjem, magistarski rad, FTN, Novi Sad, 1979.

|4| Gatalo,R.,Rekecki,J.,Hodoloč,J.,Borojev, Lj.,Zeljković,M.,Milošević,V.,Konjović, Z.,Malbaški,D.: Projekat uvodjenja SAPOR-S sistema za automatizovano projektovanje tehnološkog procesa za NU mašine alatke za obradu struganjem, u proizvodni pogon POTISJA-ADA,radni materijal,Institut za proizvodno mašinstvo FTN,Novi Sad, 1982.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

J. Grum, J. Peklenik*

RAZVOJ IN UPORABA KIBERNETSKIH METOD ZA GEOMETRIJSKE INFROMACIJE V PROIZVODNEM STROJNIŠTVU

R e z i m e

V velikoserijski proizvodnji so bili v zadnjih dveh desetletjih doseženi veliki uspehi pri povečanju produktivnosti, predvsem zaradi povečanja mehanizacije in avtomatizacije proizvodnih procesov. Težje pa je to dosegljivo v posamični in maloserijski proizvodnji, ki jo zajema pretežni del strojne in elektro industrije v svetu in tudi pri nas. Posamična in maloserijska proizvodnja zahteva zaradi svoje raznolikosti proizvodov tudi neprimerno večji volumen podatkov, kot v velikoserijski proizvodnji. Zato težimo k poenotenju in k zmanjšanju volumna informacij, to pa ima za posledico preglednejši in poenostavljen pretok informacij.
Razvita in testirana računalniška metoda predstavlja nov pristop k ugotavljanju podobnosti obdelovancev oziroma omogoča nov način formiranja skupin za grupno tehnologijo. Enostavnost, jasnost in enoznačnost klasifikacijskega sistema za računalniško vrednotenje prepušča kodiranje konstrukterju takoj po končani konstrukciji na delavniški risbi. Pomembnejša ugotovitev je zmanjšanje subjektivnih vplivov v procesu odločanja in možnost direktnega komuniciranja konstrukterja in tehnologa z banko geometrijskih in tehnoloških podatkov. Z ozirom na spoznanje, da v vsaki delovni organizaciji predstavlja kodiranje in grupiranje obdelovancev ozko grlo, omogoča nov pristop povečano produktivnost s pomočjo avtomatizacije te dejavnosti. V delu je prikazan razvoj in uporabnost te metode na III. nivoju proizvodnega procesa.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF CYBERNETIC METHODS FOR GEOMETRY INFORMATION IN PRODUCTION ENGINEERING

S u m m a r y

In the last two decades productivity in large series production has been tremendously increased mostly due to increased mechanization and automation of production processes. However in small series production and in single part production consisting the majority of electro and metal working industry in our country and in the world, it is not so easy to achieve higher productivity. Single part and small series production require due to very diversified products also an incomparably larger volume of data as large series production. Therefore it is our task to unify and reduce the volume of information and in this way achieve a simplified information flow which is easier to survey.

* Grum Janez, dr.dipl.ing.,docent Fakultete za strojništvo, Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

Peklenik Janez, akademik, dr.-dipl.ing., profesor Fakultete za strojništvo, Univerze Edvarda Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

The computer method which has been developed and tested, presents a new approach in establishing similarity between parts and makes possible a new method for the formation of groups in group technology. Simplicity, clarity and unambiguity of the classification system for computer evaluation allows the designer immediate coding right after the design on the working drawing is finished. An important advantage is the reduction of subjective influences in decision making and the possibility for the designer or technologist to directly communicate to the geometrical and technological data bank. With regard to the fact that in each enterprise the coding and grouping of parts causes bottlenecks, this new approach increases productivity since this activity is automized. The paper presents the development and applicability of this method on level III of the production process.

1. UVOD

Za današnjo industrijsko situacijo je značilen vse večji pritisk konkurence in padanje povpraševanja na tržišču. To pa zahteva popolnoma drugačno gledanje na organizacijske in proizvodne aktivnosti. Potrebno je znati dobro preceniti tržno situacijo, znati hitro ukrepati in zmanjšati na minimum čase od motivacije do realizacije. V veliki meri so se velike serije pričele zmanjševati in togi proizvodni sistemi temu ne morejo več slediti. To kar je bilo včeraj sprejemljivo v proizvodnji velikih serij, danes ni primerno v proizvodnji malih in srednjih serij. Izdelovalni časi določenih delov na visoko avtomatiziranih linijah so v primerjavi z adaptacijo za druge dele tako kratki, da je vprašljiva smiselnost takih sistemov. Zato je potrebna pri projektiranju avtomatiziranih sistemov velika mera gospodarske razsodnosti. To pa pomeni, da že z obsegom zastavljene naloge določimo meje racionalnega vlaganja v posamezne enote delovnih sistemov. Celotni sistemi pa naj bodo grajeni za razmere v našem industrijskem prostoru z omejitvami na malih ali srednjih serijah s konceptom univerzalnosti zastavljene cenene avtomatizacije. To pa lahko izvedemo le z ustreznimi zahtevami na organizacijo konstrukcijsko tehnološke dejavnosti z vidika oblikovanja enakih ali podobnih delov.

2. RAZVOJ GRUPNE TEHNOLOGIJE

Prvi poiskusi grupne tehnologije segajo v leto 1937, ko je prof. Sokolovski predložil metodo tipske tehnološke klasifikacije delov. Ta klasifikacija je primerna predvsem za velikoserijsko in masovno proizvodnjo, dočim pa za malo in srednjeserijsko proizvodnjo ta pristop zaradi izredne togosti ni sprejemljiv. Nadaljni razvoj je šel v smeri tipske tehnologije procesov in sicer najprej z ozirom na tehnološko podobnost, kasneje pa na tehnološko in geometrijsko podobnost. Mitrofanov je predložil sistematiko obdelovancev ločeno z ozirom na obdelovalno tehnologijo, kot so: obdelave na stružnih avtomatih, frezalnih strojih itd., in zanj tvoril grupe tehnološko podobnih delov. Tehnološko podobni deli pa naj omogočajo oblikovanje skupnih vpenjalnih, merilnih in drugih naprav za posamezne grupe. Za celovit asortiman delov se tvorijo grupe sličnih obdelovancev, temu pa sledi projektiranje realnih ali namišljenih kompleksnih delov, ki vsebujejo vse geometrijske in tehnološke elemente. Glavni namen take sistematike je bilo pretvoriti maloserijsko ali srednjeserijsko proizvodnjo na aditivno velikoserijsko proizvodnjo. Rezultati takšnega pristopa pa se kažejo v poboljšani kvaliteti informacij, v poenostavljenem in skrajšanem pretoku informacij, v skrajšanju neproduktivnih časov in v bistveno nižji stopnji investicijskega vlaganja v pomožne naprave, kar pa vpliva na končno ceno izdelka.

Delo Mitrofanova in razmere v evropskem industrijskem prostoru pa tudi tega pristopa niso sprejeli v popolnosti. Pojavile so se nekoliko modificirane metode grupne tehnologije, ki ne jemljejo več za osnovo tipske dele ali tipske procese ampak podobnost geometrijskih in tehnoloških informacij na obdelovancih ter v njihovi povezavi razvoj novih konceptov v obdelovalni tehnologiji.

Iz poznanih prednosti, ki nam jih nudijo klasifikacijski sistemi pri zbiranju in urejanju informacij o obdelovancih v konstrukciji in pripravi dela, nam postane razumljivejša intenzivnost na tem področju. Kot rezultat 20-letne dejavnosti je cela vrsta klasifikacijskih sistemov z različno koncepcijo a z enakim ciljem. Poglejmo nekatere tovrstne sisteme po nazivu, izvoru in številu

opisnih mest: VUSTE - Praga (4), VOUSO - Praga (4), HERRICH - Bielefeld (4), ČKD - Blansko (5), WOLSKE - Karl Marx Stadt (8),COPIC & BRISH - Paris, London (8), IAMA - - Beograd (8), VDW - Aachen (9), PITTLER - Langen (9), GILDEMEISTER - - Bielefeld (10), CARL ZEISS - Jena (15), NIITMAŠ - Leningrad (17), VPTI - Moskva (19), ZAFO - Düseldorf (26) itd. Za uvajanje klasifikacijskega sistema v delavno organizacijo je potrebno najti v vseh pogledih najugodnejšo rešitev. Predvsem je potrebno definirati, kaj želimo s klasifikacijo doseči oziroma v kakšne namene bomo uporabljali kodirane informacije. Običajno zajemajo kode naslednje podatke: glavna notranja in zunanja oblika, oblike čelnih ploskev, pomožne izvrtine, dimenzija, natančnost, vrsta materiala in polizdelka. Optimalno število opisnih mest klasifikacijskih sistemov je po praktičnih izkušnjah med 8 in 12. V primeru, da uporabimo večmestni sistem pa moramo računati z obsežnejšimi deli v pripravi in obdelavi teh informacij, vprašanje pa je če lahko preštevilne informacije prinesejo kakšno pomembnejšo prednost (1 - 8).

3. KLASIFIKACIJA GEOMETRIJSKIH IN TEHNOLOŠKIH INFORMACIJ

Iz omenjenega pregleda lahko ugotovimo, da je sistematika pri gradnji klasifikacijskih sistemov delno vezana na osnovne statistične podatke o oblikovnih in tehnoloških karakteristikah na določenem asortimanu delov. Kodiranje in zbiranje klasifikacijske številke je v veliki meri prepuščeno subjektivni presoji, ki se lahko na različnih mestih močno razlikujejo in s tem onemogočajo normalno delo. Zaradi dokaj različnih elementov na rotacijskih in nerotacijskih delih so običajno klasifikacijski sistemi deljeni na ta dva specifična primera. Drugi pa še močneje razgradijo kot na primer: liti deli, pločevinasti deli, varjeni deli, deli iz žice itd.
V splošnem pa je za vse te sisteme karakteristično, da so dolžina in vsebina ter kriteriji za oblikovanje grup na empirični osnovi. Na drugi strani pa imamo v sedanjem času na področju snovanja konstrukcijske in tehnološke dokumentacije vse pogosteje prisotne časovne stiske, ki so vezane na togost klasičnih informacijskih sistemov. Pomembno pomoč predstavlja predvsem uporaba avtomatiziranih sistemov za izdelavo in planiranje omenjenih proizvodnih informacij. Zato so bile razvite različne teoretične osnove za obravnavo, analizo, sintezo in prenos informacij. To je vodilo v obdobju petdesetih let do razvoja naslednjih disciplin:

- Teoretičnih metod za obdelavo informacij na osnovi teorije verjetnosti;
- Digitalnih računalnikov z ustreznimi perifernimi enotami namenjenimi za hitro obdelavo in posredovanje velikega volumna informacij;
- Tehnike fotografskega in televizijskega komprimiranja informacij z možnostjo preglednejšega arhiviranja ter lažjega manipuliranja s konstrukcijsko tehnološkimi informacijami.

Iz omenjenega lahko sklenemo, da se pri obdelavi podatkov čuti izrazita tendenca po decentralizaciji funkcij in centralizaciji podatkov. Razvite centralne banke podatkov so na razpolago mnogim uporabnikom v konstrukciji in tehnologiji, ki zajemajo med drugimi tudi strokovnjake s specialnim znanjem o računalništvu in programiranju za NC - obdelovalne stroje itd. Trendi na področju obdelovalne tehnologije pogojujejo vse obsežnejšo uporabo računalnika tudi v konstrukciji in tehnološki pripravi s pričakovano tendenco integriranja te dejavnosti. Zato bomo skušali v predloženem delu prikazati organizacijo geometrijskih informacij na kibernetskih osnovah s pomočjo matematičnih metod in računalnika.

4. OPIS KLASIFIKACIJSKEGA SISTEMA IN TEHNIKE KODIRANJA

Delovne organizacije imajo organizirano geometrijsko banko podatkov, ki se nahajajo na tehniških risbah ali mikrofilmu in se hranijo v ustreznih omarah. Iskanje posameznih načrtov poteka posredno preko identifikacijske številke, ki pa ne zajema nikakršnih karakteristik o obliki obdelovancev. To pomeni, da lahko delo v konstrukciji uredimo na osnovi določenih principov, ki omogočajo večjo enotnost uporabljenih oblikovnih elementov na asortimanu delov. Nuditi moramo zato v konstrukcijskih birojih vse potrebne eksterne in interne predpise o standardnih elementih, delih oziroma sklopih s tako imenovanimi bankami podatkov. Avtorja sta razvila nov pristop določevanja grupe obdelovancev z računanjem potencialnih nivojev med referenčnimi vzorci (predstavniki grup) in predlaganimi obdelovanci za klasifikacijo. V primeru popolne enakosti oblikovnih elementov obdelovanca dobimo potencialni nivo z vrednostjo 1,00, s padajočo oblikovno podobnostjo pa pada tudi ta vrednost. Teoretična predstavitev in način preračunavanja smo predstavili že v pre-

je omenjenih razpravah /9 - 12/. V tem sestavku pa se bomo omejili predvsem na dopolnitve klasifikacijskega sistema, tehniko kodiranja in uporabe podatkov v konstrukciji in pripravi proizvodnje.

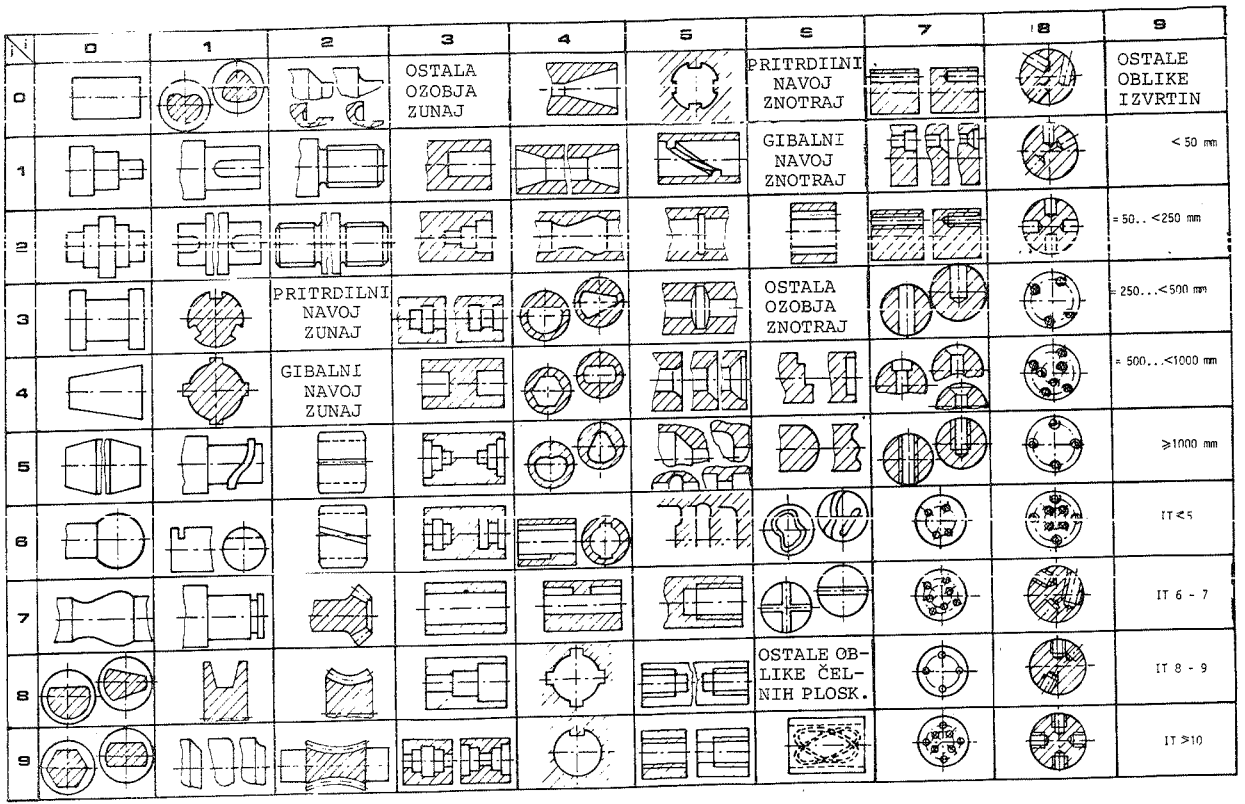
Klasifikacijski sistem z računalniško klasifikacijo je opisan v matrični obliki 10 x 10 in vsebuje samo geometrijske značilnosti. Praktične izkušnje pri realizaciji najrazličnejših klasifikacijskih sistemov so nam pokazale, da večina njih vsebuje tudi nekatere tehnološke informacije, ki nimajo večjega pomena za uporabo. Pri tem mislimo predvsem na vrsto vhodnega materiala, vhodno obliko surovca, težo izdelka itd. Ti opisi so pregrobi in nas najpogosteje celo napačno informirajo. Drugo dejstvo pa je, da so te informacije prav tako že prisotne na drugem mestu z mnogo natančnejšim popisom. Take informacije, ki predstavljajo podvojitev niso zaželjene in se jih moramo v vsakem pogledu ogibati. Klasifikacijski sistem za računalniško vrednotenje prikazuje slika 1. Zgradba je tako po obsegu kot vsebini zelo podobna VDW klasifikacijskemu sistemu le, da predloženi ne vsebuje vhodne oblike in vrste materiala. Naslednja značilnost pa je enolično popisovanje oblikovnih elementov z binarnimi znaki (da ali ne), namesto do sedaj razvitih desetiških kodnih sistemov.

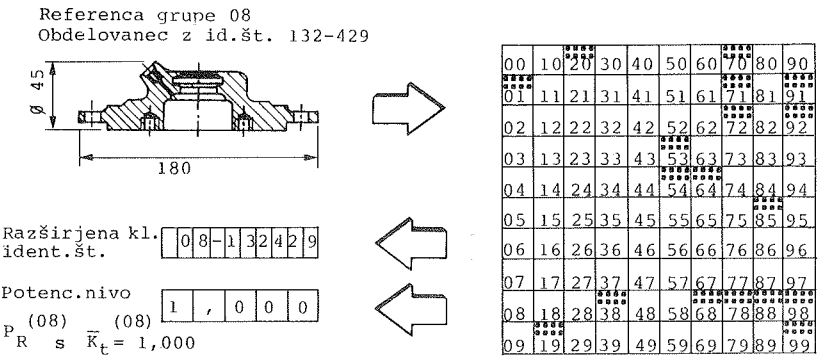
Klasifikacijski sistem ima naslednjo razdelitev:

x_{ij}	opis:
- od $x_{00}, \ldots, x_{07}$	glavna zunanja oblika obdelovanca
- od $x_{08}, \ldots, x_{10}$	presek specifičnih ravnih in krivih obdelav na glavni zunanji obliki obdelovanca
- pd $x_{11}, \ldots, x_{18}$	funkcijski elementi zunaj: utori, krivulje, zareze, ...,
- od $x_{19}, \ldots, x_{20}$	a) posnetja - zaključki b) posnetja - prehodi
- od $x_{21}, \ldots, x_{30}$	zunanje pomožne oblike: navoji, ozobja, ...,
- od $x_{31}, \ldots, x_{36}$	glavna notranja oblika - slepe izvrtine na eni oziroma obeh straneh v osi obdelovanca
- od $x_{37}, \ldots, x_{39}$	glavna notranja oblika - različne oblike skoznjih izvrtin (ravne oblike)
- od $x_{40}, \ldots, x_{42}$	glavna notranja oblika - konusi, krivulje, itd.
- od $x_{43}, \ldots, x_{45}$	glavna notranja oblika - ravne in krivo obdelane ploskve
- od $x_{46}, \ldots, x_{54}$	funkcijski elementi znotraj: utori, krivulje, zareze
- od $x_{54}, \ldots, x_{56}$	zaključki in prehodi v izvrtinah
- od $x_{57}, \ldots, x_{63}$	notranje pomožne oblike: navoji, ozobja,
- od $x_{64}, \ldots, x_{68}$	obdelava čelnih ploskve, posnetja, utori, krivulje,..., specialne oblike
- x_{69}	mazalni kanali in ostale specialne oblike izvrtin oziroma utorov
od $x_{70}, \ldots, x_{90}$	a) pomožne izvrtine v različnih smereh - aksialne, radialne b) pomožne izvrtine - slepe, skoznje, c) posebne oblike izvrtin d) izvrtine na več delilnih krogih e) izvrtine z ali brez navojev
- od $x_{91}, \ldots, x_{95}$	dimenzijski razredi - popišemo vse dimenzijske značilnosti: premer D in dolžina L (rotacija), oziroma dolžina (A), debelino (B) in širino (C) (nerotacija). To pomeni, da popišemo obe ali vse tri karakteristike.
- od $x_{96}, \ldots, x_{99}$	mikrogeometrijska natančnost, ki jo popisujemo s tolerančnimi razredi po ISO: IT 5, IT6-7, IT8-9 in IT $\geqslant$10. Če imamo kompleksno natančnost označimo vse od x_{96} do x_{99}.

Način kodiranja v binarni matriki je prikazan na primeru pokrova z identifikacijsko številko 132-429 in je prikazana na sliki 2.1. Obdelovanec predstavlja istočasno referenco grupe diskastih rotacijskih delov z oznako 08. Z ozirom na klasifikacijski sistem zapišemo lahko naslednje informacije:

Slika 1: Zgradba klasifikacijskega sistema za računalniško vrednotenje





Slika 2.1: Primer kodiranja diskastega obdelovanca z $L/D < 0,5$ in identifikacijsko številko 132-429

		Sekundarni del glavne oblike	Označevanje grup obdelovancev (r)
PRIMARNI DEL GLAVNE OBLIKE	ROTACIJSKI DELI	diskasti deli $L/D < 0,5$	01 - 09
		kratki deli $05 \leqslant L/D \leqslant 3$	10 - 19
		dolgi deli $L/D > 3$	20 - 29
		rotacijski deli z odstopki $L/D < 2$	30 - 39
		rotacijski deli z odstopki $L/D \geqslant 2$	40 - 49
		specialni rotacijski deli	50 - 59
	NEROTACIJSKI DELI	paličasti deli $A/B \leqslant 3$ $A/C \geqslant 4$	60 - 69
		ploščati deli $A/B > 3$	70 - 79
		kubični deli $A/B \leqslant 3$; $A/C < 4$	80 - 89
		specialni nerotacijski deli	90 - 99

Tabela 1: Primarni in sekundarni del glavne oblike posameznih grup obdelovancev

x_{ij} OPIS ZA OBLIKOVNE ELEMENTE NA OBDELOVANCU 132-429

x_{01} ... rotacijska glavna oblika s stopnico v eni smeri

x_{19} ... zaključki na večjem in manjšem cilindru

x_{20} ... prehod iz večjega na manjši premer stopničastega dela

x_{38} ... stopničasta skoznja izvrtina v eni smeri

x_{53} ... funkcijski utor - tesnilni utor

x_{54} ... zaključki na koncih skoznje izvrtine

x_{64} ... stopničasto obdelana čelna ploskev

x_{68} ... specialna oblika na čelni ploskvi (nalitek za mazalico)

x_{70} ... skoznja izvrtina na večjem delilnem premeru brez navoja

x_{71} ... posebna oblika izvrtine z navojem za mazalico

x_{72} ... slepe izvrtine na manjšem delilnem premeru z navojem

x_{78} ... izvrtine brez navojev v delilnem razmerju

x_{85} ... izvrtine z navojem v delilnem razmerju

x_{88} ... izvrtina za mazanje je pod kotom in je usmerjena v presečišče aksialne smeri

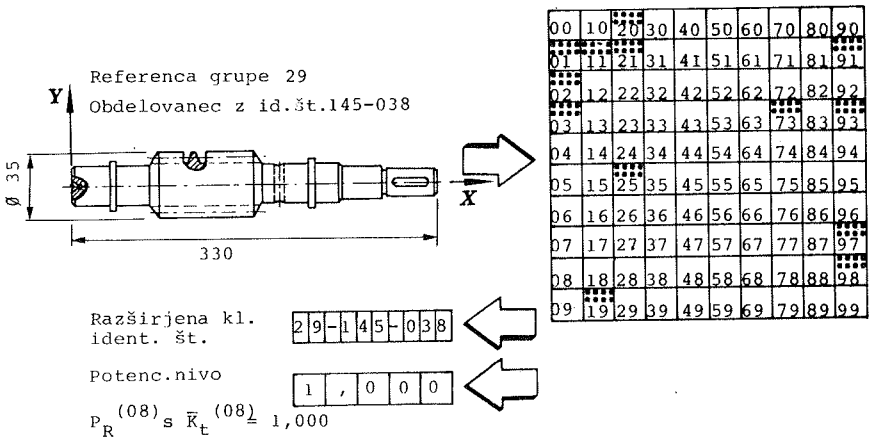
x_{91} ... debelina obdelovanca L = 45 mm

x_{92} ... premer obdelovanca D = 180 mm

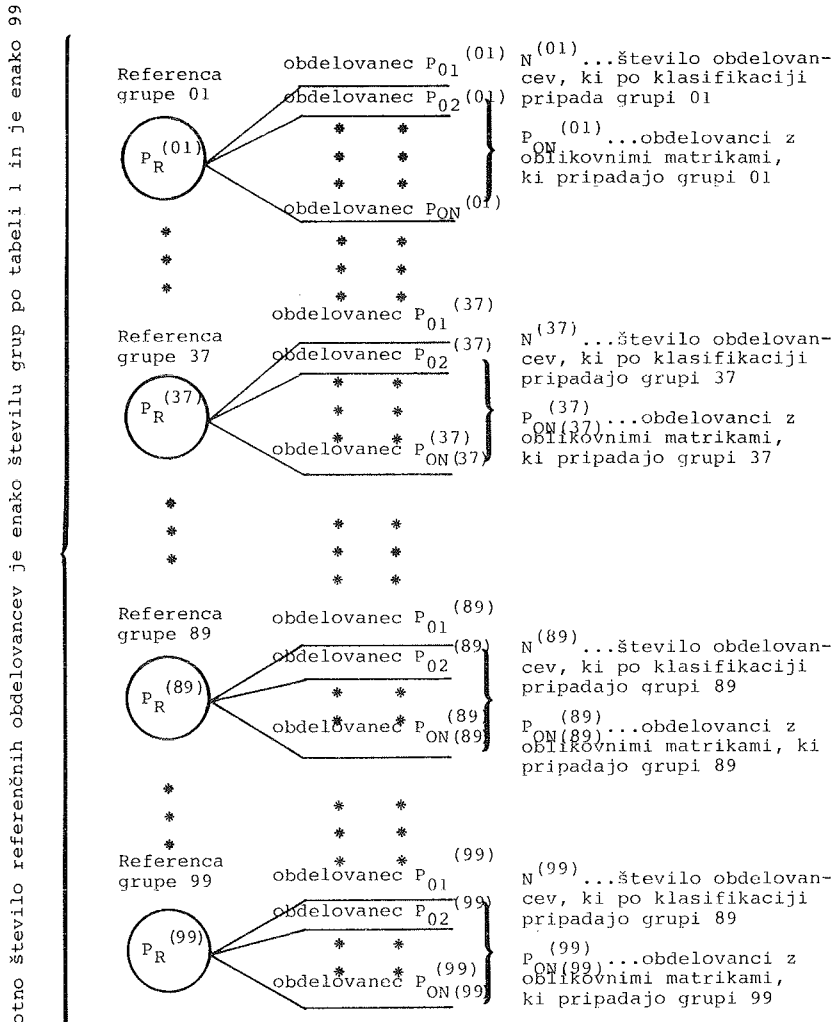
x_{98} ... večina obdelave je fina, ki jo dosežemo s struženjem in spada v IT 8-9

x_{99} ... pokrov je ulitek in ostanejo nekateri deli na obdelovancu brez naknadne obdelave

Pri kodiranju rotacijskih delov lahko na primeru, ki je prikazan na sliki 2.2 izpostavimo tudi nekatera pravila o načinu kodiranja. Rotacijski obdelovanec postavimo v koordinatni sistem x - y tako, da imamo na levi strani večji premer in nato popisujemo najbolj zahtevne glavne zunanje oblike od x_{03}, x_{02}, x_{01} in x_{00}. Kodiranje poteka po redosledu v smeri od leve proti desni, kot je tudi označeno na omenjeni sliki. Na slikah 2.1 in 2.2 imamo izpisano še referenco grupe (08, 29) in razširjeno klasifikacijsko - identifikacijsko številko. Način po katerem tvorimo klasifikacijsko številko pa je prikazan v tabeli 1.



Slika 2.2: Primer kodiranja dolgih rotacijskih obdelovancev z L/D > 3 in identifikacijsko številko 145-038



Slika 3: Povezava med referenčnimi vzorci posameznih grup in obdelovanci, ki se v tej grupi nahajajo

Iz predložene tabele lahko ugotovimo, da vsakemu primarnemu delu glavne oblike pripada po našem predlogu 10 grup, če pa vključimo še sekundarni del oblike pa lahko celotni spekter obdelovancev popišemo z 99 grupami. Izmed njih porabimo za popis rotacijskih obdelovancev 29 mest, rotacijskih z odstopki z 20 mesti in za zapis specialnih delov 9 mest. Delitev pri nerotacijskih obdelovancih je nekoliko bolj skopa saj jih razdelimo na 40 mest od tega imamo od 90 - 99 vključene še specialne dele in jih lahko vsaka delovna organizacija organizira po svoje.

Klasifikacijski del predstavlja razpoznavno številke o obdelovancu in definira pripadnost določeni referenci grupe (r). Večja bo oblikovna zahtevnost obdelovanca, višja bo sekundarna številka. Tako bo imel enostavni rotacijski obdelovanec z razmerjem $L/D<0,5$ klasifikacijski del številke 01, bolj zahteven 02, temu sledi 03 in na koncu najbolj zahteven del 09.

5. KRITERIJI RAZVRŠČANJA OBDELOVANCEV V GRUPE

Vsak konstrukter si lahko na osnovi poznanega klasifikacijskega sistema ustvari grobo oceno o obliki obdelovanca, z ozirom na referenco dane grupe. Če se povrnemo na sliko 2 lahko ugotovimo, da je dimenzijsko razmerje $L/D < 0,5$ s tem pa sprejme primarni del "0", dočim je sekundarni del lahko med 1 in 9; z ozirom na zahtevnost dela prejme obdelovanec naslednjo klasifikacijsko - identifikacijsko številko 08--132-429.

Celotna dejavnost je v organizaciji konstrukcijske dokumentacije sestavljena iz naslednjih aktivnosti:

- Izdelava in testiranje klasifikacijskega sistema za računalniško obdelavo;
- Določevanje oblikovnih matrik za posamezne obdelovance;
- Na osnovi statistične analize oblikovnih elementov na celotnem asortimanu obdelovancev določimo reference (predstavnike posameznih grup). Pri tem pa moramo imeti v vidu tudi možnosti o oblikovanju integriranih obdelovalnih sistemov;
- Procesiranje matričnih informacij po različnih kriterijih;
- Dopolnitev identifikacijske številke obdelovanca s klasifikacijsko številko.

Pripadnost predloženega obdelovanca določeni grupi določamo s pomočjo matričnih binarnih podatkov, ki jih primerjamo z referencami. Karakteristična vrednost, ki nam omogoča primerjavo podobnosti je potencialni nivo. Ta je enak 1.00, če sta oblikovni matriki obdelovanca predloženega za klasifikacijo in reference popolnoma enaki. Z zmanjšanjem podobnosti se zmanjšuje tudi potencialni nivo. Pri tem postavimo lahko različne omejitve na analitično metodo, ki nam omogočajo določevanje pripadnosti obdelovancev s potencialnimi nivoji po dveh kriterijih:

a) obdelovanec uvrstimo v vse tiste razrede r, pri katerih je potencialni nivo $1 \geqslant \overline{K}_t^{(r)} \geqslant 0,75$

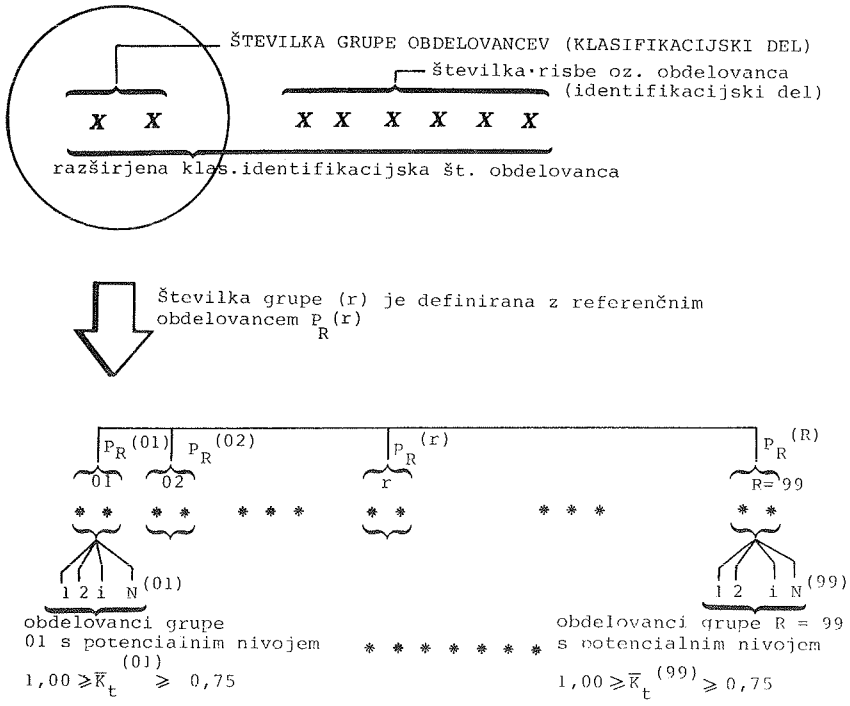
b) obdelovanec uvrstimo v tisti razred r, za katerega dobimo $\overline{K}_t^{(r)} = \max_{r = 01 - 99} \overline{K}_t^{(r)}$

Po prvem kriteriju je lahko isti obdelovanec uvrščen v več razredov hkrati, dočim pa je po drugem kriteriju to enolično. Odločitev v zadnjem primeru je ugodnejša saj je na tej osnovi tudi predlagana razširjena klasifikacijska - identifikacijska številka, kot sledi iz slike 3 in 4.

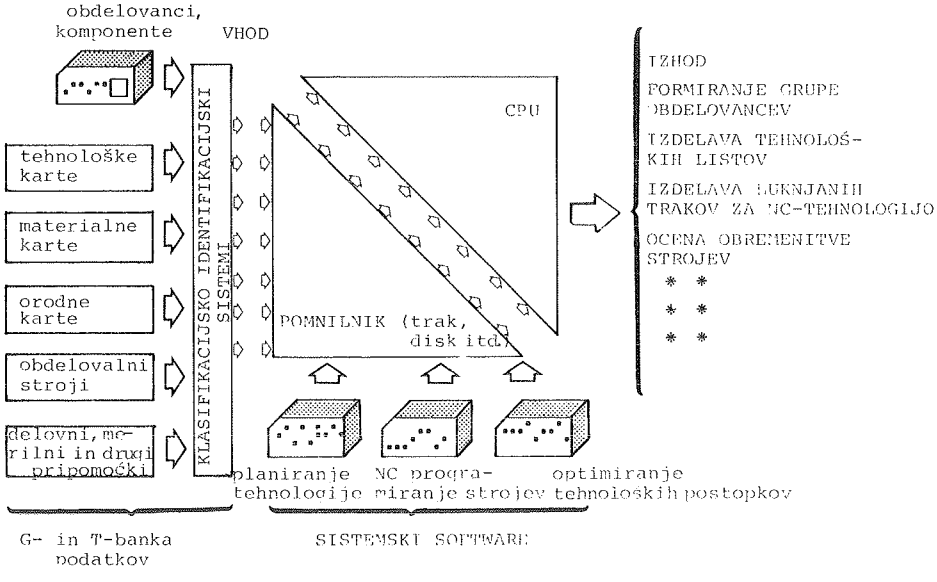
6. UPORABA PODATKOV V KONSTRUKCIJI IN TEHNOLOGIJI

Realizacija konstrukcijskega in tehnološkega procesa je vezana na stopnjo uporabe računalnika v fazi nastajanja dokumentacije in njene realizacije. Osnovna zahteva na konstrukcijsko-tehnološki banki podatkov je v tem, da sistematizira ustrezne datoteke s primerno kodiranimi informacijami, ki omogočajo višjo stopnjo avtomatizacije. Za uspešnost dane naloge je potrebno pripraviti dve vrsti informacij, kot je razvidno na sliki 5.

1. Osnovni podatki, ki zajemajo naslednje informacije: spekter obdelovancev, obdelovalni in delovni stroji, orodja, merilni in vpenjalni pripomočki, materiali, tehnološki postopki, obdelovalni pogoji itd. Ti podatki so zapisani v različnih pomnilnikih (diski, trakov itd.) z uporabo klasifikacijskih in identifikacijskih številk pa predstavljajo zelo pomembne vhodne informacije.
2. Sistemski software pa predstavljajo najrazličnejši programi. Ti so lahko hranjeni na različne načine in posredovani centralni procesni enoti za obdelavo podatkov ter za



Slika 4: Razširjeni klasifikacijsko-identifikacijski sistem za obdelovance



Slika 5: Osnovni elementi banke podatkov

izdelavo izhodov. Ti izhodi pa so usmerjeni z ozirom na zahtevo integriranih obdelovalnih sistemov za optimalno in primerno avtomatizirano proizvodnjo. S sistemsko pripravljenimi kriteriji lahko hitro in učinkovito formiramo grupe obdelovancev za implementacijo GT, avtomatično izdelavo in izpis tehnoloških listov, avtomatično izdelavo trakov za NC tehnologijo, študij optimalnih tehnoloških postopkov na osnovi alternativnih kriterijev tudi komplementarno zasledovanje zasedenosti strojev.

Za našo dejavnost je najpomembnejša organizacija konstrukcijske dokumentacije na principih, ki omogočajo lažje, enostavnejše in cenejše izvajanje pripravljalnih in izdelovalnih dejavnosti. Osnovni element, ki ga mora vsak informacijski sistem vsebovati je spekter obdelovancev. Kot nosilec geometrijskih informacij se uporablja informacija na mikrofilmski kartici. Ta vsebuje poleg delavniške risbe o obdelovancih tudi nekatere tehnološke podatke. Za lažje komuniciranje je potrebno prirediti informacije na risbi v takšno obliko, ki omogoča pospešeno računalniško iskanje enakih ali podobnih obdelovancev s tendenco oblikovanja z enotnejšimi in enostavnejšimi oblikovnimi elementi. Tak princip pa nam omogoča enotnejše in enostavnejše tehnološke postopke ob uporabi enakih ali podobnih pomožnih sredstev (glej tabelo 2).

Iz omenjenega lahko zaključimo, da je nujna povezava v fazi načrtovanja in izdelave, ki ima že precej aplikacij in je poznana pod CAD/CAM. Zahteva o enoviti koncepciji pa predstavlja organizacijo ustrezne banke podatkov na nivoju konstruiranja. S tako sistematiko želimo doseči naslednje:

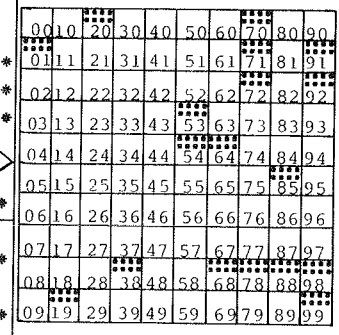
- boljšo in racionalnejšo uporabo konstrukcijskega procesa;
- s sodobnimi pripomočki za konstruiranje želimo doseči tudi znatno krajše čase nastajanja konstrukcijske dokumentacije;
- možno je alternativno postavljanje rešitev in iskanje optimalne rešitve iz dane množice;
- postavlja se osnova za enotnejšo uporabo oblikovnih elementov v konstrukciji in s tem tudi enotnejšo tehnologijo;
- obstaja večja možnost za uporabo istih delov in s tem tudi uporabo vseh spremljajočih orodij in naprav;
- prenos konstrukcijske dejavnosti na študijo alternativnih tehnološko primernejših in cenejših rešitev;
- lažje uvajanje primerno modificiranih delov in s tem sistemsko uvajanje grupne tehnologije;
- boljši pregled nad standardnimi elementi v zaključenem informacijskem sistemu;
- boljši pregled nad izdelovalno tehnologijo.

Kakšne so možnosti uporabe danih podatkov v konstrukciji je prikazano na slikah 6, 7 in 8. Na sliki 6 obravnavamo grupo obdelovancev z razmerjem $L/D < 0,5$ z izračunanim potencialnim nivojem proti referenci 132-429 na levi strani risbe, dočim pa je na desni izpisana klasifikacijska identifikacijska številka. Le-ta omogoča ureditev arhiva in tehniko iskanja pri uporabi različnih medijev (mikrofilmska kartica, risbe itd.). Druga informacija, ki je interesantna za nastajanje nove konstrukcije je binarna matrica s pomočjo katere lahko poiščemo podobne dele ali uporabimo iste oblikovne elemente, kar omogoča enako ali podobno tehnologijo. Računalniški sistemi s terminali in mikrofilmano dokumentacijo o konstrukciji in tehnologiji omogočajo direktnejši vpliv posameznika na nastajanje izdelka, saj lahko kontroliramo izdelovalne postopke in njih ceno. To pa že vodi v integracijo konstrukcijske in tehnološke dejavnosti v povezavi z integriranimi sistemi.

7. SKLEPI

Razvita in dopolnjena metoda računalniške metode predstavlja nov pristop k ugotavljanju podobnosti, oziroma predstavlja nov pristop k formiranju grup na principu GT. Enostavnost, jasnost in enoznačnost omogoča kodiranje na osnovi klasifikacijskega sistema za računalniško vrednotenje že konstrukterju v fazi dokončavanja dokumentacije. Pomembnejša pa je ugotovitev, da se s to metodo bistveno zmanjšajo subjektivni vplivi v procesu odločanja, saj vse nadaljno delo opravi računalnik, ko izračuna potencialne nivoje med obdelovanci in referencami ter tvori grupe. Z ozirom na znane ugotovitve, da predstavlja kodiranje in grupiranje v vsaki delovni organizaciji ozko grlo, omogoča novi pristop k kibernetizaciji te dejavnosti in povečava produktivnost. Pomoč v konstrukcijski dejavnosti so klasifikacijsko- identifikacijske številke, potencialni nivoji in oblikovne matrike vključno z mikrofilmano konstrukcijsko dokumentacijo. To pa omogoča močan razvoj standardizacije in tipizacije s tem pa tudi

Identifik. št. obdelovanca	Potencialni nivo $\bar{K}_t(r)$	Razširjena kl. id. št. o obdelovancu	Zapis binarne matrike o oblikah na obdelovancu
132-429	1,00	08.132-429	
132-430	0,96	08.132-430	
132-461	0,94	08.132-461	
114-646	0,89	08.114-646	
161-371	0,89	08.161-371	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
114-645	0,77	08.114-645	
099-460	1,00	14.099-460	
178-399	0,97	14.178.399	
159-641	0,90	14.159-641	
120-553	0,89	14.120-553	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
200-641	0,80	14.200-642	
* *			
973-771	0,75	14.973-771	
145-037	1,00	25.145-037	
739-111	0,96	25.739-111	
743-318	0,94	25.743-318	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
* *	* *	* * *	
311-346	0,85	25.311-346	
* *	* *	* * *	
172-145	0,79	25.172-145	
* *	* *	* * *	
125-168	0,75	25.125-168	



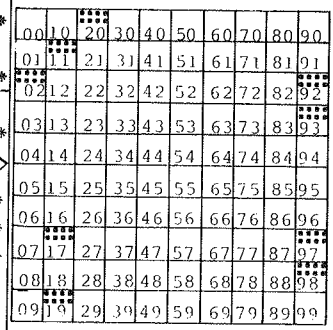
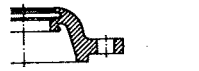
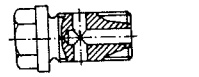
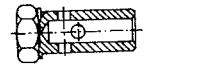
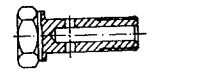


Tabela 2: Pregled informacij v banki geometrijskih podatkov, ki jih na željo analiziramo po različnih kriterijih

id.št. obd.	potencialni nivo	REFERENCA	kl.id.št.
132-429	$\bar{K}_t^{(08)} = 1,00$		08.132-429
132-430	$\bar{K}_t^{(08)} = 0,96$		08.132-430
114-646	$\bar{K}_t^{(08)} = 0,89$		08.114-646
161-371	$\bar{K}_t^{(08)} = 0,89$		08.161-371
114-645	$\bar{K}_t^{(08)} = 0,77$		08.114-645

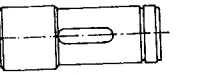
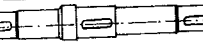
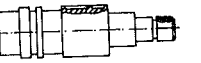
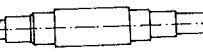
Slika 6: Grupa obdelovancev številka 8

REFERENCA

99-460	$\bar{K}_t^{(14)} = 1,00$		14.099-460
159-641	$\bar{K}_t^{(14)} = 0,90$		14.159-641
120-553	$\bar{K}_t^{(14)} = 0,89$		14.120-553
114-645	$\bar{K}_t^{(14)} = 0,77$		14.200-642

Slika 7: Grupa obdelovancev številka 14

REFERENCA

145-037	$\bar{K}_t^{(25)} = 1,00$		25.145-037
311-346	$\bar{K}_t^{(25)} = 0,96$		25.311-346
172-145	$\bar{K}_t^{(25)} = 0,88$		25.172-145
125-168	$\bar{K}_t^{(25)} = 0,75$		25.125-168

Slika 8: Grupa obdelovancev številka 25

direktno vplivamo na stopnjo vezanih obratnih sredstev.

Zelo pomembna prednost pred klasičnim konstruiranjem je tudi ta, da lahko slabši konstrukterji zelo hitro napredujejo če poglobljeno pregledajo podobne dele, ko jih je že preje obdelal kak vrstni konstrukter.
Nadalje imamo namen v delu ustvariti močno povezavo med klasifikacijskim sistemov in standardnimi NC programi, kar bi še poglabljalo sodelovanje med konstrukcijo in tehnologijo po principu dialoga z računalnikom.

Iz predložene razprave o razvoju in uporabi kibernetskih metod za geometrijske informacije v proizvodnem strojništvu lahko povzamemo, da uspešno uporabo računalnika lahko pričakujemo samo v primeru če smiselno povežemo vse aktivnosti od nastajanja geometrijske informacije na načrtu do realizacije le-teh na obdelovalnih sistemih. Zahteva po takšnem pristopu je vezana na racionalizacijo drageuniverzalne ali specialne opreme, ki naj bi imela najvišjo možno stopnjo izkoriščenosti. Povezave so dokaj elastične in rezultati dela so lahko optimalno kontrolirani za določeni gospodarski prostor in čas. Kibernetske metode pa pri tem omogočajo izbiro optimalnih rešitev v fazi konstruiranja in izdelave. Rezultati takega dela z banko geometrijskih in tehnoloških podatkov pa nas vodijo k fleksibilnim, obdelovalnim, transportnim, posluževalnim, merilnim in montažnim sistemom.

Nazadnje naj poudarimo zelo pomembno ugotovitev, ki nam jo daje takšna sistematična pot; to je precej lažje in odločnejše odpravljanje najrazličnejših težav v sami proizvodnji, saj bi lahko točno ugotovili, na katera področja moramo usmeriti raziskave, da bomo le-tečim hitreje odpravili.

8. LITERATURA

/1/ Peklenik, J.: Application and Develpoments in Systems Eng. Related to Manufacturing Technology, Proc. of the Intern. Conf. on Production Technology, National Conference Publication, No. 74/3, 340-348.

/2/ Mitrofanov, S.P.: Naučnie osnovy gruppovoj tehnologii, Linzdat 1959, Moscow.

/3/ Mitrofanov, S.P.: Racionalnoe ispolzovanie metallorezuščih stankov, Mašinostroenie, Leningrad 1967.

/4/ Jackson, D.: Cell system of Production Business Books, Communica, Europa, London 1978.

/5/ Peklenik, J. (Editor): Edvances in Manufacturing Systems and Develpment, Pergamon Press, Oxford 1971.

/6/ Petrov, V.A.: Gruppovoe proizvodstvo i avtomatizirovannoe operativnoe upravlenie, Mašinostroenie, Leningrad, 1975.

/7/ Arn, E.A.: Group Technology, Springer Verlag, Berlin, 1975

/8/ Optiz, H.: Klassifizierungssystem, Industrie Anzeiger, 87, 1965.

/9/ Peklenik, J., Grum, J.: Prispevek k avtomatizaciji klasificiranja geometričnih informacij v proizvodnji, VIII. Simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala, Beograd, 1978.

/10/ Peklenik, J., Grum, J.: A New Development to Part Classification for Group Technology, Intern. Conf. on Manufacturing Technology, Melbourne, Australia, 1980.

/11/ Peklenik, J.; Grum, J.: Investigation of the Computer Aided Classification of Parts. General Assembly of CIRP, Melbourne, 1980

/12/ Peklenik, J.; Grum, J.: Računalniško klasificiranje obdelovancev v proizvodnem strojništvu, XIV. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Čačak 1980, stran 89 - 108.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Vladimir Milačić*)
Pavao Bojanić
Miroslav Pilipović

PRIMENA KOMPJUTERSKE GRAFIKE U PROJEKTOVANJU NU TEHNOLOGIJE

R e z i m e

Na bazi istraživanja u oblasti NU tehnologije na Mašinskom fakultetu u Beogradu razvijen je sistem za geometrijsko-tehnološko modeliranje. Jedan od glavnih pravaca istraživanja predstavlja primena kompjuterske grafike za projektovanje NU tehnologije.

U radu se daje koncept primene kompjuterske grafike za geometrijsko modeliranje radnih predmeta i njihovu tehnološku analizu uz istovremeno generisanje baze podataka za automatsku izradu programa za NUMA.

Posebno je obradjen proces automatskog programiranja sa razvijenim procesorima za NUMA i simulaciju obrade primenom kompjuterske grafike u cilju kompletne provere projektovane tehnologije.

THE APPLICATION OF COMPUTER GRAPHICS TO NC TECHNOLOGY DESIGN

S u m m a r y

Based on an investigation in the field of NC technology a geometrical-technological modelling system has been developed at the Mechanical Engineering Faculty in Belgrade One of the main objectives of the investigation is the application of computer graphics to the design of NC technology.

The paper presents a concept of computer graphics application to the geometrical modelling of workpieces and their technological analysis, along with generation of a data baze required to automatically prepare a program for NC machine tools.

Special attention is given to the process of automatic programming with developed processors for NC machine tools, and to the simulation of machinint by the application of computer graphics for the purpose of a complete verification of the technology being designed.

1. UVOD

Dosadašnji napori usmereni na razvoj primene kompjutera u oblasti projektovanja proizvoda i projektovanja za proizvodnju, doveli su do razvoja većeg broja različitih sistema, počev od onih koji automatizuju programiranje NU mašina do sistema koji automatizuju projektovanje tehnoloških postupaka kako za NU mašine tako i za konvencionalne mašine alatke. Ovi sistemi su uglavnom orijentisani odredjenoj klasi delova, tipu obrade i tehnološkim uslovima. Većina sistema razvijena je za klasu rotacionih delova i njihovu obradu na strugovima (EXAPT-2, COMPACT-II, MITURN, MELTS, itd.).

Iskustva u primeni pomenutih sistema pokazuju da bi se mogli očekivati daleko veći efekti ukoliko bi se integrisali procesi projektovanja delova i projektovanja tehnoloških postupaka za izradu istih. Bazu za

*) Prof. dr Vladimir Milačić, dipl.inž., dr Pavao Bojanić, dipl.inž., mr Miroslav Pilipović, dipl.inž., Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 27. marta 80

integrisanje pomenutih inženjerskih aktiv - nosti predstavlja zajednička geometirjska baza podataka radnih predmeta. Istraživanja u oblasti primene kompjutera u inženjerskim aktivnostima na Mašinskom fakultetu u Beogradu su orijentisana u četiri osnovna pravca: istržaivanje i razvoj metoda za geometrijsko modeliranje, istraživanje i razvoj metoda za proračune, istraživanja i razvoj metoda za projektovanje tehnoloških postupaka, i istraživanje i razvoj sistema za NU progrmairanje. U svim pomenutim istraživanjima, primena kompjuterske grafike predstavlja vrlo možan inženjerski alat, S obzirom na tematsku orijentaciju rada, u narednim poglavljima se daju samo kraće informacije i rezultati postignuti u oblasti geometrijskog modeliranja i NU programiranja.

Druga veoma važna oblast primene kompjuterskog modeliranja odnosi se na projektovanje primenom kompjutera. Izgradnjom modela fizičkog objekta omogućava se automatizacija širokog spektra inženjerske aktivnosti počev od proračuna, dimenzionisanja, izrade crteža, izrade programa za NU mašine alatke do testiranja istog.

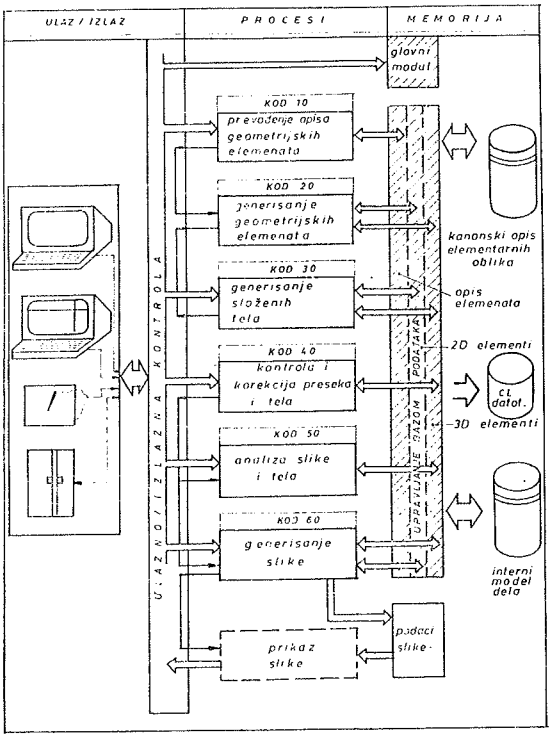
Pojam "geometrijskog modeliranja" se odnosi na ona modeliranja kod kojih interni kompjuterski modeli predstavljeni koordinatama tačaka i njihovim vezama, odgovaraju odsnosnim fizičkim objektima. Negeometrijsko modeliranje se koristi više za fizičke procese, kao npr. ekonomija, za koje se ne može reći da iamju neku odredjenu geometrijsku formu.

Razvoj sistema za modeliranje iziskivao je i razvoj kompjuterske grafike, koja omogućava daleko praktičnije prikazivanje ponašanja kompjuterskog modela. U oblasti projektovanja primenom kompjutera, izgradnju internog modela je moguće vršiti primenom interaktivne kompjuterske grafike, čime se postiže veća produktivnost samog projektanta. Model koji predstavlja geometrijski oblik nekog objekta ne sadrži podatke o tome kako će se objekt prikazati na izlaznom uredjaju (grafički terminal ili ploter). Koji način prikazivanja će se odabrati zavisi od namene izlaza kao i mogućnosti programske podrške. Da bi se obezbedila mogućnost generisanja različitih izlaza, geometrijski model mora da sadrži podatke o: osnovnim elementima modela, strukturi osnovnih elemenata, i transformacijama.

2. MODEL SISTEMA ZA GEOMETRIJSKO MODELIRANJE

Polazeći od zahteva da se radi na izgradnji integrisanog sistema za projektovanje delova i projektovanje tehnoloških procesa izrade istih, neophodno je bilo utvrditi bazu podataka koja će predstavljati okosnicu integrisanja inženjerskih aktivnosti. Na osnovu sprovedene analize nekoliko hiljada radnih predmeta, došlo se do zaključka da se proces integracije inženjerskih aktivnosti treba graditi na internom kompjuterskom modelu radnih predmeta, čiju bazu će činiti 3D elementarni oblici za koje se može uspostaviti tipska tehnologija izrade ili se njihovo tehnološko prepoznavanje može izvesti u dijalogu tehnologa sa kompjuterom. Geometrijska dimenziona i tehnološka identifikacija treba da obezbedi osnove za tehnološku analizu pri projektovanju procesa izrade bilo na konvencionalnim ili numerički upravljanim mašinama alatkama.

S obzirom na vrlo širok spektar složenosti delova, bilo je neophodno utvrditi skup elementarnih 3D oblika, koji će biti matematički opisivi i čija će geometrijska, dimenziona i tehnološka identifikacija omogućiti modeliranje kako rotacionih, kao najjednostavnijih, tako i nerotacionih. vrlo složenih delova, kao što su prizmatični delovi i delovi nepravilnog oblika. Ovaj zahtev je iziskivao posebne napore na istraživanju i razvoju metodologija opisa elementarnih oblika i njihovog komponovanja, koja će biti bliska inženjerskom jeziku. Na bazi gore postavljenih zahteva postavljen je model sistema za geometrijsko modeliranje, sl. 1, čiju strukturu čine ovi moduli: prevodjenje opisa geometrijskih elemenata, generisanje geometrijskih elemenata, generisanje složenih tela,



Sl. 1. Model sistema za geometrijsko modeliranje

kontrola i korekcija preseka i tela, analiza tela i slike, generisanje slike, glavni modul, i upravljanje bazom podataka. U okviru prvog modula, koji u suštini predstavlja geometrijski procesor, vrši se kontrola opisa geometrijskih elemenata i prevodjenje na kanonski oblik opisa. Ulaz u ovaj modul može da bude izvorni program na magnetnom disku, magnetnoj traci, bušenim karticama, bušenoj traci ili opis u interaktivnom radu uz prisustvo grafičkog terminala, dok je izlaz datoteka kanonskog opisa i grafički prikaz opisanih elemenata.

U modulu za generisanje geometrijskih elemenata polazi se od kanonskog oblika opisa i vrši dekompozicija svakog elementa na površine i ivice. Na taj način uspostavlja se struktura elementarnih oblika neophodna u procesu modeliranja oblika radnih predmeta. U trećem modulu vrši se komponovanje složenijih tela saglasno metodama komponovanja, uspostavljanje strukture elementarnih oblika i izmene i u strukturama površina i ivica, nastale kao posledica medjusobnih položaja elementarnih oblika.

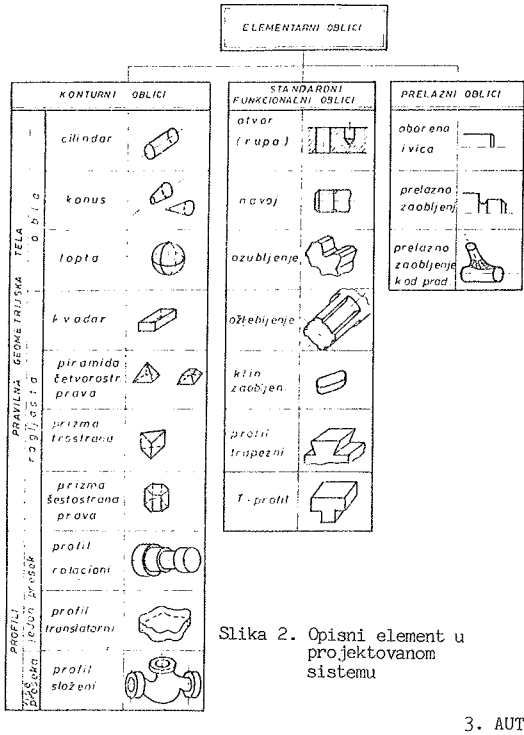
Četvrti modul obezbedjuje mogućnost vizuelne kontrole i korekciju komponovanog tela i odredjenih preseka kroz telo što je naročito značajno kod modeliranja vrlo složenih tela čiji oblik se mora aproksimirati odrejdenim elementima koji se ne mogu analitički opisati već se moraju aproksimirati polinomom višeg stepena. Na bazi dijaloga vrši se korekcija odredjenih elemenata na preseku ili telu a rezultat te promene se zatim prikazuje kroz grafički prikaz na bazi novih korigovanih elemenata.

Modul za analizu slike i tela omogućava korisniku: analizu tela sa stanovišta tehnoloških zahteva u smislu definisanja tehnoloških oblika koji učestvuju u strukturi tela, analizu ravanske slike u smislu izračunavanja obima, površine, težišta i momenata inercije, i analizu prostornog tela u smislu odredjivanja zapremine, težine i težišta.

Modul za generisanje slike, omogućava izbor izgleda, projekcije, razmere, kao i položaj slike na ekranu ili crtežu i njegov rad se zasniva na grafičkim transformacijama.

Glavni modul vrši kontrolu prenosa zajedničkih zona iz jednog modula u drugi kao i izbor modula prema zahtevima korisnika.

Upravljanje bazom podataka obezbedjuje povezivanje karakteristika modularnih grupa (tačke - ivice - površine - elementarni oblici - tela) sa njihovim logičkim vezama uspostavljenim u procesu modeliranja.

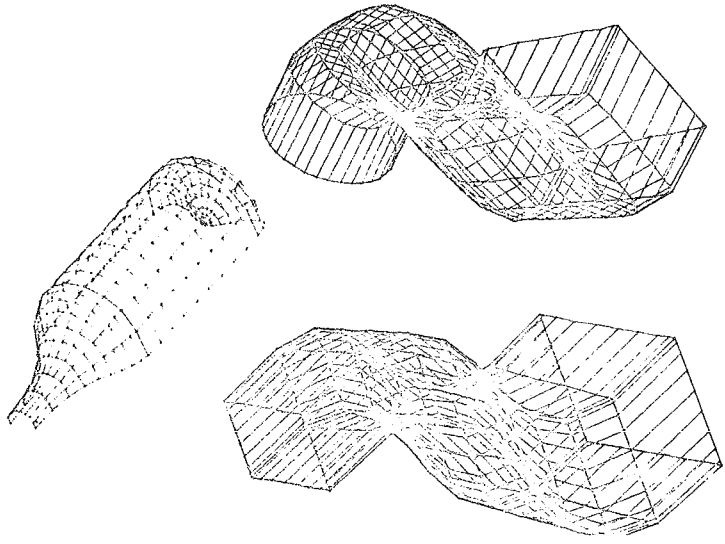


Slika 2. Opisni element u projektovanom sistemu

Posmatrajući delove u svetlu geometrijskog i tehnološkog prepoznavanja, moguće je iste predstaviti kao složenu strukturu elementarnih oblika, koji se mogu matematički opisivati. U projektovanom sistemu, svi elementarni oblici su klasifikovani u tri grupe(sl. 2): konturni oblici, standardni funkcionalni oblici i prelazni oblici. Sam spektar oblika ukazuje na prisustvo, u sistemu opisivanja, 2D i 3D elemenata. Geometrijska i dimenziona identifikacija 3D elemenata (pravilnih geometrijskih tela i standardnih funkcionalnih oblika) vrši se kroz alfanumerički dijalog dok se njihov medjusobni položaj može utvrdjivati i u interaktivnom grafičkom dijalogu. Opis 2D elemenata pri identifikaciji preseka i vodećih linija kod profilnih elemenata može se ravnopravno vršiti kako u grafičkom tako i u alfanumeričkom dijalogu. Primeri izlaza nekih složenijih elementarnih oblika koji projektovani sistem dozvoljava prikazani su na slici 3.

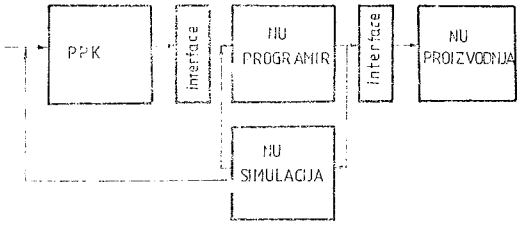
3. AUTOMATSKO PROGRAMIRANJE I SIMULACIJA OBRADE NA NUMA PRIMENOM KOMPJUTERSKE GRAFIKE

Sve veća primena kompjuterske grafike u projektovanju proizvoda i tehnologije zahteva



Slika 3. Primer izlaza iz projektovanog sistema

i promene u pristupu programiranja i proizvodnji na NU mašinama. Karakteristika razvoja u ovoj oblasti je: autonomni koncepti, nedovoljna kompatibilnost do sada razvijenih sistema, preklapanje funkcija u pojedinim podsistemima, dominantan grupni pristup u oblasti programiranja za NU mašine. Ovo postavlja zahtev za komponovanjem ukupnog sistema (sl. 4) koji bi uzeo u obzir: potrebne veze i kompatibilnost izmedju pojedinih podsistema, eliminisao preklapanje pojedinih funkcija u različitim podsistemima, uključio uticaj realnih ponašanja sistema za NU proizvodnju i poremećajnih podsistema, maksimalno iskoristio mo-



Slika 4. Koncept PPK/NU sistema za programiranje

gućnosti razvoja hardware-a i software-a u pravcu interaktivnog komuniciranja i dijaloga.

3.1. Procesor za simulaciju NU proizvodnje

Saglasno postavljenim zahtevima rzavija se procesor za simulaciju NU proizvodnje (sl. 5). Karakteristike projektovanog rešenja su: fleksibilan ulaz kompatibilan sa razvijenim procesorima za automatsko programiranje (APT, EXAPT) i sistemom za projektovanje primenom računara (PPK), maksimalno korišćenje interaktivnog komuniciranja i dijaloga i modularan koncept sa mogućnošću nadgradnje i uvodjenja karakteristika realnog sistema za NU proizvodnju.

3.2. Funkcije procesora

Upravljanje ulazom i dijalogom. Glavni modul koji preuzima funkciju: prijem ulaza iz prethodnih sistema (PPK-izlaz, APT, EXAPT), komuniciranje sa korisnikom u dijalogu i dekodiranje ulaza i i distribucija poziva za funkcionalne module.

Alat i stezni pribor. Definiše i priprema neophodne elemente o karakteristikama alata i steznog pribora.

Geometrija i kontura. Memoriše informacije o geometriji radnog predmeta.

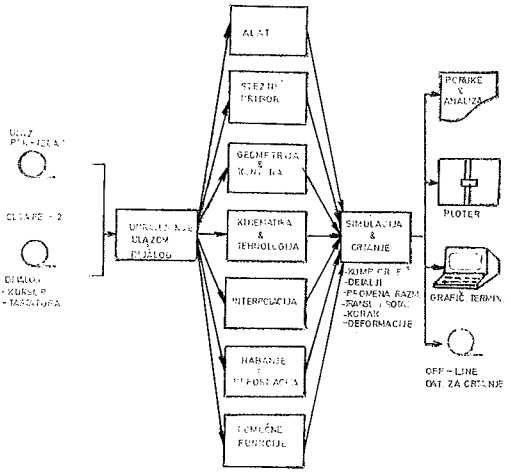
Kinematika. Osnovni modul koji definiše relacije izmedju alata, radnog predmeta i steznog pribora, i uzimajući u obzir i tehnološke karakteristike omogućava detaljnu simulaciju obrade.

Interpolacija. Simulira interpolaciju u NUMA sistemu i zajedno sa modulom kinematike omogućava detaljnu simulaciju obrade.

Habanje i deformacija. Ovaj modul je još u razvoju i trebalo bi da omogući maksimalno uključivanje karakteristika realnog obradnog sistema u proces simulacije kroz uvodjenje statičkih deformacija, a kasnije i dinamičkog ponašanja sistema.

Pomoćne funkcije. Obradjuje sve ostale funkcije koje nisu obuhvaćene prethodnim modulima kao što su: izmena alata, uključivanje i isključivanje glavnog kretanja i sredstava za hladjenje, stezanje i odpuštanje radnog predmeta i ostale pomoćne funkcije na NUMA sistemu.

Simulacija i crtanje. Modul za obradu izla-

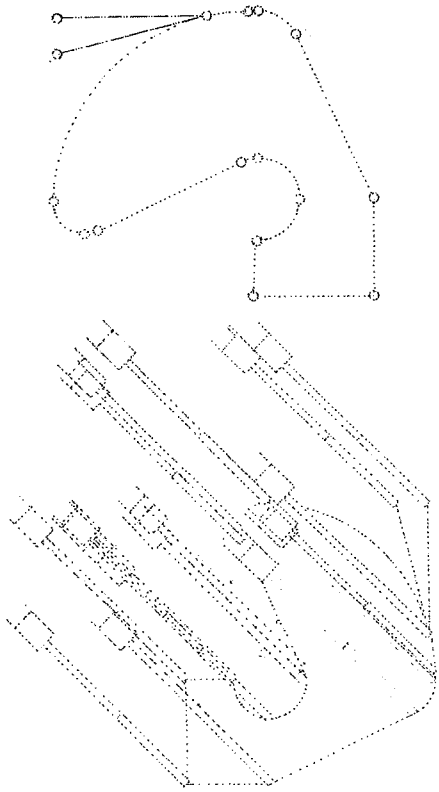


Slika 5. Struktura NU procesora za simulaciju proizvodnje

za iz funkcionalnih modula i pripremu izlaza za korisnika a posebno grafičkog izlaza. Definišu se grafičke mogućnosti ovog modula: izbor načina crtanja, promena razmere, izvodjenje detalja, izbor ravni za crtanje ili 3D predstavljanja, transformacije detalja ili cele slike (rotacija, translacija), simulacija kinematike (korak). Saglasno postavljenom konceptu i specifičnostima pojedinih obradnih sistema do sada su razvijene dve verzije procesora za simulaciju obrade na strugovima, glodalicama i obradnim centrima. Primer simulacije obrade za glodalicu dat ne na sl. 6, a odgovarajući dijalog i i pomoćne informacije na sl. 7.

7. ZAKLJUČAK

U radu su prezentirani delimični rezultati istraživanja u oblasti geometrijskog modeliranja radnih predmeta i NU programiranja, postignuti na Mašinskom fakultetu u Beogra-



Slika 6.

```
PRIMER NUMA

IZMENA ALATA [ ALAT BROJ:  100. ]
UKLJUCENO JE GLAVNO VRETENO [ N =    400.0 [O/MIN]
SMER OBRTANJA JE DESNI
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
UKLJUCEN JE KORAK :         0.100 [MM/OBRTUJ
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
IZMENA ALATA [ ALAT BROJ:  200. ]
UKLJUCEN JE KORAK :         0.100 [MM/OBRTUJ
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
UKLJUCEN JE KORAK :         0.100 [MM/OBRTUJ
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
UKLJUCEN JE KORAK :         0.100 [MM/OBRTUJ
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
IZMENA ALATA [ ALAT BROJ:  300. ]
UKLJUCENO JE GLAVNO VRETENO [ N =    400.0 [O/MIN]
SMER OBRTANJA JE DESNI
UKLJUCEN JE KORAK :         0.100 [MM/OBRTUJ
UKLJUCEN JE BRZI KORAK !!!
ISKLJUCENJE GLAVNOG KRETANJA
```

Slika 7.

du. Pokazani rezultati ukazuju na: (1) Opravdanost orijentacije na primenu kompjuterske grafike u izgradnji sistema za projektovanje primenom kompjutera; (2) Neophodnost izgradnje integralnih sistema, koji imaju jedinstvenu bazu podataka generisanu u fazi geometrijskog modeliranja; (3) Opravdanost izgradnje sistema za geometrijsko modeliranje na bazi 3D opisanim elementima; (4) Prednost sistema orijentisanih ka različitim oblicima (alfanumerički, grafički i slobodoručni ulaz) dijaloga izmedju kompjutera i inženjera.

5. LITERATURA

/1/ G. Spur, F.L. Krause, i dr., A Survey about Geometric Modelling Systems, TU Berlin (1979)

/2/ F.L.Krause, Die Principkonstruktionsmethode und ihre Erweiteungs Möglichkeiten, ZwF 71 (1976), H.5.

/3/ T.T. Midany, H.Eskicioglu, B.J.Davies, Interactive Operation Sequence Planning for Turned Parts (AUTOCAP) and non-rotational Parts (ICAP), UK/YU seminar, Beograd (1980)

/4/ H.Debler, S. Lewandowski, COMVAR-Ein Programmsystem zur komplexteilgebundenen Zeichnungerstellung, ZwF 70 (1975)

/5/ P. Bojanić, Razvoj koncepta sistema za geometrijsku, dimenzionu i tehnološku identifikaciju delova za projektovanje tehnoloških procesa na bazi primene kompjuterske grafike, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd (1980)

/6/ COMPUTER GRAPHICS IN MANUFACTURING SYSTEMS, 12th CIRP, International Seminar on Manufacturing Systems, Beograd (1980)

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Sreten M.Urošević[x)]

PRILOG RASMATRANJU METODA PRIMENE GRUPNE TEHNOLOGIJE NA ALATNIM MAŠINAMA SA NUMERIČKIM UPRAVLJANJEM

R e z i m e

Teorijske osnove grupne tehnologije i tipizacije tehnoloških procesa u industriji za preradu metala su razvijeni u vreme nu koje je prethodilo razvoju alatnih mašina sa numeričkim upravljanjem. S druge strane, s razvojem alatnih mašina s numeričkim upravljanjem rešeni su, teprijski posmatrano, te hnički problemi u vezi sa automatizacijom procesa obrade de lova u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji.

Pojavila su se kontroverzna mišljenja u vezi sa daljom vred nošću koncepta grupne tehnologije, te se u prilogu daje kra ći osvrt na moguće ciljeve razvoja i primene metoda grupne tehnologije i tipizacije tehnoloških procesa komadne proizv odnje u uslovima primene mašina sa numeričkim upravljanjem.

BEITRAG DER STUDIE DER METHODEN DER ANWENDUNG DER GRUPPENTECHNOLOGIE AN DER NUMERISCHGESTEUERTEN WERKZEUGMASCHINEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im Beitrag hat eine kurze Rückschau an der möglichen Ziele der Entwicklung und Anwendung der Methoden der Gruppentechnologie und der Typisierung der technologischen Prozesses der Teilene rstellung in der Bedingungen der Anwendung der numerischgesteu erten Werzeugmaschinen gegeben.

1. Uvodne napomene

Razvoj i implementacija teorije gru pne tehnologije u komadnoj proizvo dnji industrije za preradu metala, ima u svojoj osnovi za cilj premoš ćavanje jaza koji postoji izmedju tehnoekonomskih parametara maloseri jske i pojedinačne proizvodnje s je dne i velikoserijske proizvodnje s druge strane. Nema sumnje da je ov aj cilj i dalje prisutan u industri jskoj praksi.

Na izgled, grupna tehnologija kori sti jednostavan metod. On se temelji na osnovnoj ideji o primeni zakona serijske, odnosno velikoserijske pr oizvodnje na maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju. Aplikacioni postup ci grupnog tehnološkog projektovanja temelje se zbog toga na formiranju uredjenih skupova (grupa) delova ili tehnoloških zadataka. To mogu biti procesni ili operacijski skupovi /1/.

x) Prof.Dr.Sreten Urošević, dipl.ing.,redovni profesor Pedagoško tehničkog fakulteta, Čačak, Cara Dušana 34

Bitna osobina ovih skupova je njiho va uredjenost po odredjenim kriteri jumima. Naprimer, skup delova iste operacijske grupe može se obradjiva ti na jednoj obradnoj lokaciji po je dinstvenom tehnološkom planu, pri če mu se svi radni i pomoćni alati kao i drugi uslovi za realizaciju grup ne operacije obezbedjuju za ceo ure djen skup, a ne za pojedinačne delo ve.

Obzirom na princip rada mašina sa nu meričkim upravljanjem, može se pogre šno zaključiti da je generalno rešen problem pomoćnih alata neophornih za podizanje tehnološkog nivoa maloseri jske i pojedinačne proizvodnje, te su tako prevazidjeni osnovni motivi u teoriji grupnog tehnološkog projek tovanja - teoriji grupne tehnologi je. Zbilja, ovakva mišljenja su če sto prisutna u stručnoj praksi. Potr ebno je zbog toga ukazati da je raz voj grupne tehnologije komadne proi zvodnje doveo do sinteze njegovog in tegralnog koncepta čiji je cilj te hnoekonomska optimizacija procesa ko madne (i druge) proizvodnje kroz ko rišćenje, izmedju ostalog, u prvom re du pozitivnih iskustava postignutih u velikoserijskoj i masovnoj proiz vodnji.

Integralni koncept grupne tehnologi je istraćuje puteve optimizacije ko madne proizvodnje u prvom redu kroz:

(1) Povišenje serijnosti istih ili sličnih komada (zadataka) u pro cesima njihove obrade,

(2) tehnološku optimizaciju obradnih sistema prema proizvodnim zada cima,

(3) ekonomsku optimizaciju obradnih (tehnoloških) sistema prema proi zvodnim zadacima, i

(4) optimizaciju procesa obrade kon strukcijskih, tehnoloških i ope rativnih informacija u toku tehni čke pripreme proizvodnje.

U okvirima ograničenog obima ovog priloga, daju se kratki osvrti na prve tri grupe optimizacionih fakt ora grupne tehnologije.

2. Serijnost grupne komadne proiz vodnje

Mogućnost povećanja veličina serij istih ili sličnih delova (grupne ili aditivne serije) i primena metoda njihove grupne proizvodnje, ima nes umnjivo trajan značaj. Naročito su od izuzetnog značaja mogućnosti koje nudi klasifikacija delova za formira nje uredjenih skupova od geometrijs kih i tehnoloških sličnih delova. Te orijski je moguće formirati skupove ovog tipa s visokom učestanošću sli čnih delova. To bi onda mogla biti osnova za razvoj (projektovanje) op timalno usklađenih obradnih i tehno loških sistema za obradu ovako izdv ojenih skupova delova. Nema sumnje da se ovaj zaključak u punoj meri odnosi i na konstrukciju, odnosno te hnološko oblikovanje i obradnih sist ema sa numeričkim upravljanjem.

3. Tehnološka optimizacija obradnih sistema sa numeričkim upravljanj em prema proizvodnim zadacima

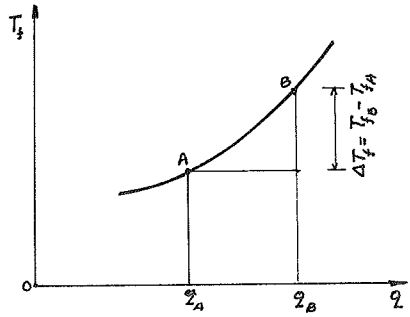
Polazeći od razmatranja u vezi sa "su marnim stepenom iskorišćenja alatnih mašina" /1, str.31/, stanje tehnološ ke optimizacije sistema sa numeričk im upravljanjem prema realnim proiz vodnim zadacima se može, pod odredj enim uslovima, odrediti i oceniti po moću veze

$$\eta_e = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \qquad (1)$$

gde je η_e - eksploatacijski stepen isk orišćenja obradnog sistema sa numeri čkim upravljanjem, pri čemu je η_1 - st epen dimenzijskog (prostornog) isko rišćenja, η_2 stepen režimskog, i η_3 -

stepen energetskog iskorišćenja obradnog sistema.

Komparativnu studiju podataka dobijenih po vezi (1) za više obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem koji se, opšte uzev, mogu primeniti za obradu istih asortimana delova, treba dovesti u vezu s podacima koje preslikava kriva dijagrama na slici 1.



Sl. 1

Kriva dijagrama prema slici 1 preslikava poznatu zavisnost izmedju ukupnih investicionih ulaganja (T_f) neophodnih za nabavku i instalisanje obradnog sistema čije opšte radne - tehnološke karakteristike ili radne mogućnosti preslikava parametar (q). Sa porastom radnih mogućnosti (q) obradnog sistema (naprimer, povećanje dužina pomoćnih kretanja X, Y, Z , a za tim povećanje krutosti i instalisane snage obradnih sistema i sl.), rastu investiciona ulaganja po zakonitosti koja se može preslikati eksponencijalnom krivom linijom. Kako obradni sistemi na kojima se izvode pojedine operacije u tehnološkim procesima kompletne proizvodnje raspolažu po pravilu uvek sa nešto većim opštim radnim mogućnostima (q) od onih koje su potrebne, to parametar ΔT_f ukazuje na izvore investicionih ušteda koje je moguće realizovati tokom nabavke i instalisanja u pogonima odgovarajućih obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem.

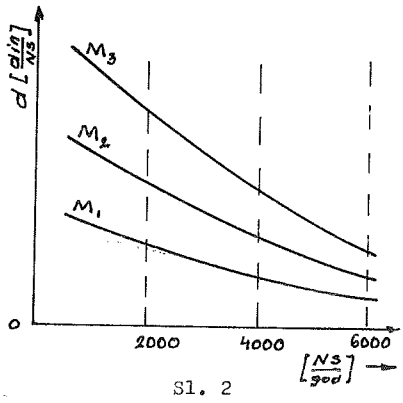
Imanentne probleme koji proizilaze iz analize stanja krivih dijagrama tipa prema slici 1, moguće je na zadovoljavajućem nivou rešiti jedino primenom metoda grupne tehnologije.

4. Ekonomska optimizacija obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem u komadnoj proizvodnji

Obradni sistemi sa numeričkim upravljanjem čine, govoreći ekonomskim jezikom, veoma intenzivne investicije. Mašine sa numeričkim upravljanjem zahtevaju visoka ulaganja po radnom mestu. Uz to treba imati u vidu da "uvodjenje NC tehnologije" zahteva i druga ulaganja u proizvodnom sistemu koja su u vezi sa stvaranjem uslova za njenu uspešnu eksploataciju. To se podjednako odnosi kako na održavanje instalisanih mašina, ali isto tako i na razvoj funkcija konstrukcijske i tehnološke pripreme proizvodnje. Zbog toga, sažeto se može reći: Obradni sistemi sa numeričkim upravljanjem mogu biti ekonomičniji u pogonu od "klasičnih" obradnih sistema pod uslovom da u procesu obrade delova reprodukuju brži porast produktivnosti od porasta investicionih i drugih ulaganja tokom njihove nabavke i instalisanja u pogonima.

Porast proizvodnosti i time opšte ekonomičnosti primene, obradni sistemi sa numeričkim upravljanjem realizuju po pravilu radom u više smena. Tako ove mašine postaju specifično visoko proizvodni obradni sistemi te u tim uslovima, specifični troškovi obrade delova mogu biti niži od odgovarajućih troškova obrade na klasičnim mašinama. Kriva dijagrama na slici 2 pokazuju zakonitost kretanja cena obrade delova po jednom satu rada obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem u uslovima kada se oni koriste u svojim pogonima u toku jedne, dve

ili tri radne smene što približno iznosi 2000, 4000, odnosno 6000 sati u toku jedne godine.



Sl. 2

Na slici 2 krive obeležene sa M_1, M_2 i M_3 preslikavaju specifične troškove obrade na mašinama s različitim nivoima investicionih ulaganja tokom njihovih nabavki i instalisanja u pogonima. Kako je očigledno da niži nivoi investicionih ulaganja u obradne sisteme sa numeričkim upravljanjem daju povoljnije rezultate, to proizilazi zaključak o neophodnosti njihove tehnoekonomske optimizacije (vidi sl.1) uz primenu metoda grupne tehnologije čime se stvaraju povoljnije mogućnosti za optimizaciju ekonomskih pokazatelja ovih sistema u toku njihove eksploatacije.

5. Zaključak

Metode grupne tehnologije, posmatrane u njenom integralnom obliku, imaju izuzetan značaj u naporima za optimizaciju obradnih, odnosno tehnoloških sistema i u uslovima razvoja i primene mašina sa numeričkim upravljanjem. Primena metoda grupne tehnologije u ovim tzv. "višim fazama" tehnološkog razvoja komadne proizvodnje omogućuju:

- Povišenje serijnosti proizvodnje delova kroz formiranje njihovih uređenih ili združenih serija u operativnim proizvodnim planovima,
- tehnološku optimizaciju obradnih sistema sa numeričkim upravljanjem prema proizvodnim zadacima, i
- ekonomsku optimizaciju tehnoloških sistema komadne proizvodnje sa numeričkim upravljanjem u uslovima njihove intenzivne eksploatacije uz minimalne jedinične cene obrade.

6. Literatura

/1/ S.M.Urošević, Tipska i grupna tehnologija u metalskoj industriji, Priručnici IAA br. 1, Beograd (1967)

/2/ W.Simon, Die numerische Steuerung von Werzeugmaschinen, Carl Hanser Verlag, München (1971)

/3/ A.S.De Barr, Die Wirtschaftlichkeit numerischer Steuerungen, Technische Rundschau, Nr.37, Bern (1977).

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.GOD.

Ilija Popović, Radovan Kovačević

SAVREMENA TEHNOLOGIJA NA CNC-OBRADNIM CENTRIMA

R e z i m e

Dat je pregled razvoja numerički upravljanih mašina alatki sa posebnim osvrtom na CNC-sisteme. Na primjeru kutijastog radnog predmeta prikazana je prednost obrade na CNC-horizontalnom obradnom centru u odnosu na klasične mašine.

MODERNE TECHNOLOGIEN AUF CNC-BEARBEITUNGSZENTREN

S u m m a r y

Es wird ein Überblick über die Entwicklung numerisch gesteuerter Werkzeugmaschinen mit besonderem Hinweis auf CNC-Systeme gegeben. An dem Beispiel der Bearbeitung von Kastenwerkstücken wird der Vorteil des CNC-Horizontalbearbeitungs zentrums gegenüber von klassischen Werkzeugmaschinen aufgezeigt.

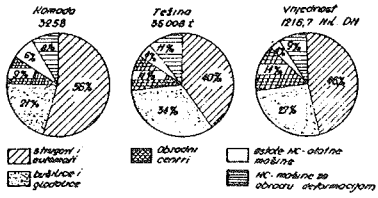
1. U v o d

Rezultat razvoja NC-upravljanja mašina alatki je novi tip mašine nazvan obradnim centrom, koji se danas odlikuje visokom fleksibilnošću i proizvodnošću. Osnovne karakteristike koje definišu fleksibilnost današnjih obradnih centara [1] su:

- obrada prizmatičnih radnih predmeta pri jednom stezanju sa 4 ili 5 strana,
- korišćenje različitih alata za glodanje, bušenje, urezivanje navoja, struganje, razvrtanje itd.,
- automatska izmjena alata iz magacina alata,
- automatsko uključivanje broja obrtaja i posmaka,
- kružna obrada na numerički upravljanom obrtnom stolu (B-osa kod horizontalnih obradnih centara),
- automatska izmjena radnih predmeta pomoću uredjaja za izmjenu paleta,
- lako postavljanje steznih pribora na palete,
- CNC-upravljanje sa memorisanjem programa i potprogramskom tehnikom,
- korekcija programa na mašini,
- automatsko mjerenje na mašini itd.

Na sl.1, prikazani su statistički podaci o udjelu obradnih centara u ukupnoj proizvodnji NC-mašina alatki uzimajući za kriterijum broj komada, težinu i cijenu [2].

Ilija Popović, dipl.ing. IGM "R.Dakić" Titograd,
ir Radovan Kovačević, docent Mašinskog fakulteta u Titogradu.



Sl.1. Udio obradnih centara u ukupnoj proizvodnji NC-mašina alatki.

S obzirom da je obradni centar tipični predstavnik NC-mašina alatki prikažemo ukratko istorijski razvoj NC-upravljanja.

2. Razvoj NC-upravljanja

Parsons je 1947.god. prvi numerički upravljao mašinom alatkom, pri čemu je za nocioc podataka koristio bušene kartice. Ideja se dalje razvila na MIT (SAD), a Parsons je prodao patent firmi Bendiix i 1954.g.je proizvedena prva industrijska numerički upravljana mašina alatka, čiji se logički dio sastojao od skoro 300 elektronskih cijevi[3].

Navedimo hronološki značajnije datume vezane za razvoj NC-upravljanja do pojave CNC-upravljanja, kao osnovnog sistema koji se danas koristi za upravljanje obradnim centrima:

1958. prvi programski jezik za mašinsko programiranje APT (Automaticly Programmed Tools);

1959. pojavljuje se prvi put u Evropi NC-upravljana mašina alatka (Sajam u Hannoveru, SR Njemačka);

1960. prvi NC-sistem sa tranzistorima;

1963.prva specijalna NC-mašina alatka (preteča današnjeg obradnog centra);

1965.automatska izmjena alata;

1968.prvi NC-sistem u IC-tehnici;

1969.prva DNC-postrojenja u SAD;

1970.automatska izmjena radnih predmeta preko izmjene paleta;

1972.prvi CNC-sistem sa miniračunarom i NC-sistemi sa memorijom (SNC).

Najveća inovacija kod numeričkog upravljanja smatra se prelaz sa NC-na CNC-sistem, gdje se upravljačke funkcije ostvaruju pomoću računara (Computerized Numerical Control)[4,5].

U periodu od 1972. do 1975.g.,radjeni su CNC-sistemi na bazi miniračunara sa memorijom od feritnih jezgri, ali zbog visoke cijene njihova primjena je bila ograničena samo na specijalne slučajeve.

Dalji razvoj numeričkog upravljanja bio je u velikoj mjeri uslovljen uspjesima u poluprovodničkoj tehnologiji.

Velikoserijska proizvodnja CNC-sistema počinje od 1975.god.na bazi mikroprocesora sa ROM-memorijom (Read Only Memory), koja ima nedostatak da se jednom memorisan program ne može korigovati, što zahtijeva veliku pouzdanost pri njegovoj izradi. Primjenom ROM-memorije nabavna cijena CNC-sistema prvi put pada ispod nabavne cijene NC-sistema, pri znatnom povećanju efikasnosti u odnosu na NC-sisteme.

Za NC-namjenu 1976.god.je razvijeno veliko integrisano kolo (LSI -Large Scale Integration), koje zamjenjuje oko 250 do 300 normalno integrisanih kola. Pri ovome je znatno smanjen neophodan broj pojedinih elektronskih elemenata, što je uticalo na smanjenje cijene koštanja CNC-sistema pri povećanju njihove pouzdanosti.

Trend u smanjenju cijene i povećanju pouzdanosti ubrzan je od 1979.god. razvojem specijalnog visoko integrisanog kola (LSI)koje zamjenjuje oko 500 normalno integrisanih kola.

Intezivan razvoj elektronike omogućio je da NC-sistem iz 1968.godine, sa oko 400 tranzistoriziranih štam-

panih ploča, budu zamijenjeni sa samo jednom pločom sa specijalnim visoko integrisanim kolom, tzv."NC on the board".

Za memorisanje CNC-programske podrške, pored pomenute ROM-memorije,korišćena je memorija sa slobodnim pristupom (RAM -RAMDOM ACCESS MEMORY) koja gubi memorisani sadržaj pri nestanku struje. Radi osiguranja sadržaja memorije od najviše 2 do 3 dana sistemi se snadbijevaju sa pomoćnim strujnim izvorom - baterijama. Od 1976.god.u upotrebi je RAM-memorija u CMOS-tehnici sa malom napojnom strujom i baterijom, kao pomoćnim strujnim izvorom, koja osigurava memorisane podatke pri nestanku struje u trajanju od godine dana.

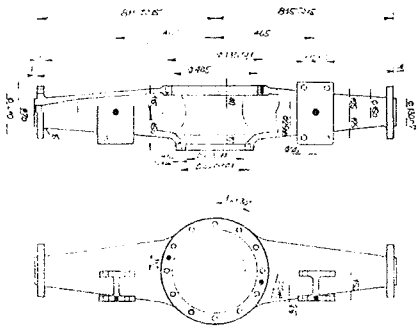
Prvi put 1979.god. su se pojavili CNC -sistemi sa ugradjenom memorijom sa magnetnim mjehurićima (Bubble Memory). Ova memorija u odnosu na nabrojane, ima sljedeće prednosti:

- ne gubi memorisani sadržaj pri nestanku struje, te nije potreban pomoćni strujni izvor;
- omogućava veliku gustinu memorisanja podataka;
- kompaktna je i karakteriše se velikim kapacitetom (odgovara dužini od oko 1280 m bušene trake);
- ne posjeduje pokretne elemente, te se može koristiti sa velikom pouzdanošću i u uslovima proizvodnih pogona.
- Samo za dvije godine (1979-1981.)u svijetu je proizvedeno oko 28000 CNC-sistema sa ovom vrstom memorije.

Do 1978.god.pouzdanost NC-sistema u prosjeku je iznosila svakih 10 mjeseci po jedna funkcionalna greška po jedinici. Medjutim,pouzdanost današnjeg CNC-sistema sa memorijom magnetnih mjehurića iznosi po jedan zastoj svakih 33 mjeseca po jedinici, pri čemu se ukazuje na trend daljeg povećanja pouzdanosti[5].

3. Analiza opravdanosti upotrebe obradnih centara

Na primjeru kućišta diferencijala,iz proizvodnog programa "R.Dakić" u Titogradu (sl.2),prikazaće se prenodst obrade na horizontalnom obradnom centru u odnosu na klasične mašine.



Sl.2. Izgled kućišta diferencijala

Horizontalni obradni centar XB508 fimre EX-CELL-O, namijenjen za obradu kutijastih radnih predmeta,omogućava obradu u jednom stezanju sa četiri strane,zahvaljujući numerički upravljanom obrtanju radnog stola oko Y-ose (B-osa).Obradni centar je opremljen sa CNC-sistemom Sinumerik 7M. Radni prostor mašine je odredjen sa X=1600 mm, Y=900 mm i Z=800mm. Snaga mašine iznosi 22 kW, sa kontinualnim brojem obrtaja glavnog vretena od 3 do 3000°/min. U lančastom magacinu alata, koji se nalazi iznad glavnog vretena, smješta se ukupno 36 alata, sa mogućnošću povećanja ovog broja.

Kod EX-CELL-O obradnih centara koristi se izmjenjivo kodiranje alata i pozicija u magacinu alata, tzv.RANDOM-TOOL-sistem. Vrijeme izmjene alata iznosi 5sec. Prilikom punjenja magacina alata sistem upravljanja

memoriše broj alata sa pripadajućom pozicijom u magacinu alata. U toku izmjene alata stalno se mijenja raspored alata u magacinu,što registruje sistem upravljanja.Na sistem upravljanja postoji indikator koji pokazuje aktuelni raspored alata u magacinu.Pri pozivu novog alata sistem upravljanja odredjuje najkraći put obrtanja magacina alata.

Preko trodimenzionalnog mjernog tastera ("Cejmatic"),koji bezžično prenosi mjerne signale do elektronike za obradu podataka,može se odrediti položaj referentnih ravni pomoćnog pribora ili radnog predmeta,a eventualna odstupanja izmedju tražene i stvarne vrijednosti preuzima CNC-sistem kao vrijednost korekcije.

Odredni centar XB508 je opremljen sa sistemom izmjene paleta koji omogućava da se vrijeme stezanja radnog predmeta poklapa sa glavnim vremenom obrade i da se kompletna obrada izvede u dva stezanja.

Klasična obrada kućišta diferencijala (sl.2) od materijala Č1.4732, sa gabaritnim dimenzijama 1638 x 460x295mm, izvodila se sa odgovarajućom tačnošću na horizontalnoj bušilici u dva stezanja, na strugu u jednom stezanju i na radijalnoj bušilici u tri stezanja. Ukupno vrijeme obrade na tri mašine sa 6 stezanja iznosilo je 744 min po komadu.

Kompletna obrada opisanog radnog predmeta danas se izvodi na horizontalnom obradnom centru XB508 u dva stezanja sa ukupnim vremenom obrade od 211,4 min uključujući i vrijeme izmjene paleta. Pri obradi se koristi ukupno 23 alata sa 26 izmjena.

U tabeli 1 dat je pregled osnovnih pokazatelja klasične i kompletne obrade datog radnog predmeta sa napomenom da se u saopštenju ne navodi i analiza troškova kao osnovnog pokazatelja za izbor optimalne varijante.Evidentno je i iz prikazanih podataka da je ušteda u vremenu obrade po komadu od 532,6 min dovoljan pokazatelj za opravdanost uvodjenja u proces obrade horizontalnog obradnog centra kao visoko proizvodno i fleksibilno proizvodno sredstvo.

Tabela 1. Pregled osnovnih uporednih pokazatelja

Osnovni pokazatelji	Klasična obrada	Kompletna obrada
Broj mašina	3	1
Broj stez.alata	6	2
Ukupno vrij.obr.po komadu (min/kom)	744	211,4
Ušteda vremena po komadu (min/kom)	-	532,6

4. Z a k l j u č a k

Pretpostavka za kompletnu obradu kutijastih radnih predmeta bazira na kombinaciji upravljanog obrtnog stola, uredjaja za izmjenu paleta i CNC-sistema upravljanja sa memorijom većeg kapaciteta.

U bližoj budućnosti će ulančenje obradnih centara u fleksibilne obradne sisteme dobijati sve više na značaju, što će imati za posljedicu dalje sniženje proizvodnih troškova.

5. L i t e r a t u r a

[1] Hahn W.Moderne Technologien auf CNC-gesteuerten Bearbeitungszentren, "tz für Metallbearbeitung",5/80.

[2] Micheaels D., Fachgebiete in Jahresubersichten: Bearbeitungszentren, VDI-Z 123(1981)Nr.11.

[3] Kief H.B.,NC-CNC-DNC-Flexible Fertigungssysteme,Werkstatt und Betrieb, 113(1980)Nr-5.

[4] Stute G.,Der Einfluss neuer Steuerungsentwicklungen auf die Fertigungstechnik,wt-Z.ind.Fertig.70(1980) 261-271.

[5] Inaba S.,Numerische Steuerungen-gestern, heute und morgen,Werkstatt und Betrieb 114(1981)9.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

V.Mečanin*
M.Jović**

IZNALAŽENJE OPTIMALNOG REDOSLJEDA OPERACIJSKIH ZAHVATA PRI OBRADI SLOŽENIH STRUKTURA NA NUMERIČKI UPRAVLJANIM OBRADNIM CENTRIMA***

R e z i m e

Pri obradi složenih struktura na numerički upravljanim obradnim centrima moguće je postići odredjene ofekte iznalaženjem optimalnog redosljeda operacijskih zahvata preko skupa obradnih mjesta na obradjivanoj strukturi. U radu se preko razvijenog modela i uz pomoć računara odredjuju optimalne putanje alata i redosljed operacijskih zahvata. Daje se i kraći primjer razrješavanja ovog problema.

OPTIMIERUNG DER OPERATIONSREIHENFLOGE BEIM BEARBEITUNG DER KOMPLIZIERTE FORMEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Beim komplizierte Formenbearbitung an numerischgesteuerte Bearbeitungszentren einige gute Efekte könte man durch das Optimierung der Operationsreihenfloge beckomen.
Es ist ein Modell gemacht, durch EDV optimales Werkzeugs-weg berechnet unt ein kurzes Beispil gegeben.

1. Uvod

Iz kompleksnog pristupa optimizacije obradnih procesa na numerički upravljanim mašinama [1], izdvaja se i ukratko razmatra segment o mogućnosti optimiranja redosljeda operacijskih zahvata na koje je na odredjeni način moguće uticati. Pri odredjivanju optimalnih operacijskih zahvata traže se interakcije obradnog sistema koje će uzimajući u obzir prisutna ograničenja minimizirati funkciju cilja kao kriterij optimizacije. Interakcije obradnog sistema su usmjerene na kretanja i izmjenu alata u obradnom procesu, tehnološki ostvarljiv redosljed postupaka obrade i vremenski interval izmjene alata.

Radi toga je potrebno izvršiti analizu uticaja ograničenja sa stanovišta:

- složenosti strukture koja se obradjuje,
- prioriteta operacijskih zahvata pri obradi,
- mogućnosti mašine na kojoj se obrada izvodi.

Uticaj geometrijske i tehnološke složenosti strukture koja se obradjuje moguće je iskazati preko:

- postupaka obrade na strukturi,
- strukture obrade na obradnom mjestu****
- rasporeda obradnih mjesta na obradjivanoj strukturi.

Svaki od navedenih uticaja u slučaju nepravilnog izbora može povećati vrijeme obrade i time umanjiti ekonomičnost obradnog procesa.

Tako naprimjer, struktura postupaka obrade ima neki optimalan redosljed koji ako se naruši udaljava obradni proces iz prostora maksimalnih ekonomskih efekata, što isto važi i za redosljed obrade na obradnom mjestu. Prostorni razmještaj obradnih mjesta generisan vektorom položaja, odnosno matricom

---

* Dr Vučko Mečanin,dipl.ingž.,docent Mašinskog fakulteta u Mostaru, Blagoja Parovića bb.

** Momčilo Jović,inž,kibernetike, šef računskog centra APRO Hercegovina Mostar, Krpićeva 2., 79ooo Mostar.

*** Rad je dio šireg projekta "Optimizacija procesa obrade na NC mašinama" koga finansira Republička zajednica za naučni rad BiH, Osnovna zajednica Mostar i organizacije udruženog rada sa područja Hercegovine.

rastojanja opisuje putanje alata (A_{ij}) koje zavisno od izbora, povećavaju ili smanjuju vremena pozicioniranja i obrade.

Stepenom prioriteta obrade na strukturi i na obradnom mjestu odredjuje se logičan i uslovljen redosljed intervencija alata prema postupcima obrade. Tako naprimjer, rezanje navoja je uslovljeno bušenjem, rezvrtanje prethodnom obradom otvara ili pak pozicioniranje je moguće samo iz odredjenog smjera i slično.

Pomenuti uticaji se definišu matricom tehnoloških ograničenja po svim alatima i obradnim mjestima na strukturi.

Uticaj i organičenja od strane mašine-obradnog centra iskazuje se preko sposobnosti mašine u smislu:

- mogućnosti pozicioniranja u jednom ili više smjerova,
- načina pozicioniranja (linijsko ili po dijagonali),
- vremenske sinhronizacije pozicioniranja i
- automatske izmjene alata.

Navedeni uticaji predstavljaju konstantne mašine na kojoj se odvija obrada i definišu se na ulazu u optimizacioni proces.

2. Formiranje kriterija optimalnosti

Pri optimiranju redoslijeda operacijskih zahvata u obradnim procesima složenih struktura (kućišta, prenosnika, postolja mašina i slično) polazi se od centralnog optimizacionog modela [1] izraženog u obliku:

$$K=KMO \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}(t_i+t_{pi})+KMO\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\frac{t_i}{T_i}(t_{zij}+\frac{\sum_{K=3}^{5}K_{Aij}}{KMO})+(K_6+,.,+K_9)\sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\frac{t_i}{T_i} \qquad (1)$$

na osnovu koga se optimiraju parametri obradnog procesa,operacijski zahvati, postojanost alata itd. U medelu (1) su:

KMO - troškovi mašine i operatora,

$K_3 \div K_5$ - troškovi alata, troškovi pripreme i podešavanja alata izvan mašine,

$K_6 \div K_9$ - troškovi pripreme mašine, optimiranja, programiranja i simulacije obradnog procesa izvan mašine,

t_i - vrijeme rezanja i-tog alata j-tog postupka obrade,

t_{zij} - vrijeme zamjene i-tog alata j-tog postupka obrade,

t_{pij} - vrijeme pomoćnih zahvata i-tog alata j-tog postupka obrade,

T_{ij} - ekonomski period postojanosti i-tog alata j-tog postupka obrade.

U optimizacionom modelu uticaj pomoćnih zahvata obuhvaćen je prvim članom koji se može napisati u obliku:

$$t_p = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}(t_{uim}+t_{bpo}+t_{ai}+t_{rs}+t_{amt},.,+) \qquad (2)$$

gdje su:

t_p - suma vremena pomoćnih zahvata,

t_{uim} - vremena uključivanja i zaustavljanja mašine,

t_{bpo} - vrijeme brzog primicanja i odmicanja alata (vrijeme pozicioniranja),

t_{rs} - vrijeme rotacije radnog stola,

t_{zm} - vrijeme slučajnih zastoja mašine u obradi,

k - postupci obrade i

n - broj alata u obradi strukture.

U izrazu (2) t_{uim}, t_{ai} i t_{rs} predstavljaju konstante mašine i ne mogu se optimirati što važi i za vrijeme zastoja (t_{zm}) koji se povremeno javljaju.

Pažnja se usmjerava na vremena pozicioniranja (t_{bp} i t_{bo}) uslovljena rastojanjima izmedju obradnih mjesta čiji raspored na strukturi formira skup (P_A).

U prvom pristupu traže se optimalne putanje alata generisane najmanjim rastojanjima i uslovljene tehnološkim ograničenjima.

Za iznalaženje optimalne putanje i optimalnog redosljeda intervencija alata reducira se jednačina (2) na oblik:

$$t_p = \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}(t_{bp}+t_{bo})_{ij} \qquad (3)$$

Mimizacijom funkcije (3) trasira se najkraći od svih mogućih puteva odredjenog alata preko skupa obradnih mjesta. Time je odredjeno najmanje vrijeme pozicioniranja i optimalan redosljed intervencija i-tog alata j-tog postu-

**** Uvodi se pojam obradnog mjesta na kome se vrši obrada sa jednim ili više alata.

pka obrade.

Za realizaciju optimizacionog postupka transformiše se funkcija (3) na funkciju:

$$F_o(P_A) = \sum_{i,j \in P_A} d_{ij} = \min \qquad (4)$$

u kojoj su:

d_{ij} - vektor rastojanja obradnih mjesta (i,j) na skupu (P_A),

i,j - uredjeni par iz skupa (P_A).

Vektor rastojanja obradnih mjesta (i,j) definiše se izrazom:

$$d_{ij} = \left\{ \begin{matrix} X_j - X_i \\ Y_j - Y_i \\ Z_j - Z_i \end{matrix} \right\} \qquad (5)$$

Ovako definisan zadatak moguće je riješiti metodom dinamičke optimizacije (programiranja).

Polazi se od grafa (G) definisanog sa dva konačna skupa, skupa obradnih mjesta (P_A) i skupa lukova (L) simbolički izraženog u obliku:

$$G = (P_A, L) \qquad (6)$$

Skup obradnih mjesta (čvorova) zadaje se kao niz cijelih brojeva sa kojima se označavaju obradna mjesta $P_A=(1,2,..,n)$ skup lukova je uredjeni skup obradnih mjesta (čvorova) (i,j).

Ako se svakom luku grafa pridoda njegov mjerni broj $X_{i,j}$, tada se radi o mreži od (P_A) obradnih mjesta i (L) lukova koja je prema [2], [3] i [4] definisana matricom:

$$M = \left[X_{ij} \right] \qquad (7)$$

čiji elementi ili koordinate predstavljaju dužine puta od obradnog mjesta (i) do obradnog mjesta (j). Put izmedju obradnih mjesta definisan je nizom lukova $l_1, l_2, .., l_d, .., l_m$ odgovarajućih dužina $a_1, a_2, a_3, .., a_k, .., a_m$ koji sačinjavaju dužinu jednog od puteva preko skupa obradnih mjesta:

$$d = \sum_{k=1}^{m} a_k \qquad (8)$$

Ako se sa F_i označi veličina najkraćeg puta od obradnog mjesta (i) do krajnjeg mjesta (n) kome odgovara $F_n=0$, iz principa optimalnosti [4] proizilazi sistem jednačina:

$$F_i = \min_{j \neq i} (X_{ij} + F_j); \quad (i=1,2,..,n-1)$$

$$F_n = 0 \qquad (9)$$

Sistem rekurzivnih jednačina (9) se ne može riješiti rekurzivno, već se za njegovo rješavanje koristi iterativni postupak pri čemu se polazi od nekog mogućeg rješenja $F_i^{(1)}$; i=1,2,..,n i postupak se nastavlja za k=1,2, 3,.., uzimajući da je:

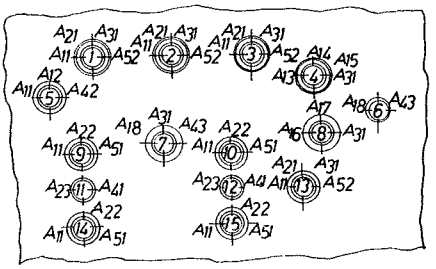
$$F_i^{(k+1)} = \min_{j \neq i} (X_{ij} + F_j^{(k)}) \qquad (10)$$

$$F_n^{(k+1)} = 0 \; ; \quad (i=1,2,3,..,n-1)$$

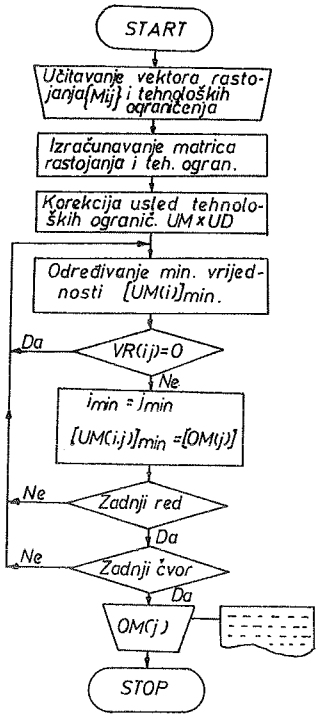
Za realizaciju optimizacionog postupka odredjivanja redoslijeda operacijskih zahvata alata potrebno je formirati matrice postojanja [A] i matrice tehnoloških ograničenja [D] za sve alate i postupke obrade.

3. Realizacija optimizacionog postupka na računaru

Optimizacioni postupak iznalaženja optimalnog redoslijeda operacijskih zahvata alata za segment složene strukture na slici 1., na računaru, odvija se prema algoritmu na slici 2., za koji je razvijen i odgovarajući program.



Slika 1. Skup obradnih mjesta segmenta obradjivane strukture.



Slika 2. Algoritam optimizacionog postupka na računaru

Princip formiranja matrica rastojanja i tehnoloških ograničenja za segment strukture na slici 2., prikazan je na slikama 3 i 5 [1].

	1	2	3	4	5	6	·
1	0	160,00	320,00	642,05	151,95	865,08	·
2	·	0	160,00	359,65	311,20	705,78	·
3	·	·	0	322,09	470,96	546,89	·
4	·	·	·	0	792,60	229,40	·
5	·	·	·	·	0	1013,83	·
6	·	·	·	·	·	0	·
·	·	·	·	·	·	·	·

Slika 3. Formiranje matrice rastojanja

	1	2	3	5	9	10	·
1	0	373,00	333,00	164,95	343,05	432,90	·
2	·	0	173,00	324,20	420,89	220,92	·
3	·	·	0	483,96	537,42	330,49	·
5	·	·	·	0	311,09	532,49	·
9	·	·	·	·	0	390,50	·
10	·	·	·	·	·	0	·
·	·	·	·	·	·	·	·

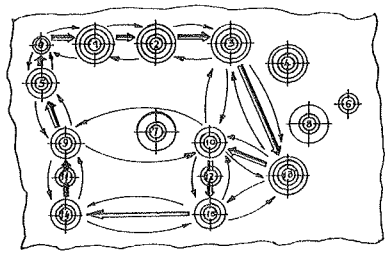
Slika 4. Matrica rastojanja za alat A_{11} na obradjivanoj strukturi

	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	· ·
1.1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	· ·
1.2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	· ·
1.3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	· ·
1.4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	· ·
2.1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	· ·
2.2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	· ·
2.3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	· ·
2.4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	· ·
3.1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	· ·
3.2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	· ·
· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·	· ·

Slika 5. Formiranje matrica tehnoloških ograničenja

	1	2	3	5	9	10	13	14	15
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	0	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	0	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	0	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Slika 6. Matrica tehnoloških ograničenja za alat A_{11}



Slika 7. Optimalan redosljed intervencija alata A_{11} na skupu obradnih mjesta

4. Zaključak

Na osnovu razmatranja u radu može se izvući slijedeći zaključak:

Pri obradi složenih struktura većih dimenzija opravdano je optimirati redosljed operacijskih i pomoćnih zahvata jer se time ostvaruje ušteda vremena operacijskih zahvata u obradnom procesu od (5-10)%.

5. Literatura:

[1]. Mečanin V., Optimizacija parametara obrade na NC mašinama sa osvrtom na obradne centre, Disertacija, Mostar 1981.

[2]. Belman R., Dreytus S., Applied Dynomic Programming, Princeton University Press, Princeton, New Jerspy 1962.

[3]. Bellman R., Kalaba R., Dinamičeskoe programmirovanie i savremennaja teorija upravlenijo, Nauka, Moskva 1969.

[4]. Hadley G., Nelinejnoe i dinamičeskoe programinirovanie, IL, Moskva 1967.

XVI. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

S. Srećković i P. Jovanović*

UTICAJ RAZVOJA MIKRORAČUNARSKE TEHNOLOGIJE NA KONCEPCIJU UREDJAJA PROGRAMSKOG UPRAVLJANJA

R e z i m e

Razmatran je razvoj tehnoloških rešenja sistema programskog upravljanja. Izložen je koncept sistema na bazi mikroračunarske tehnologije. Analizirane u prednosti takvog rešenja. U zaključku je izložena projekcija daljeg razvoja.

THE CONCEPT SYSTEMS BASED ON MICROCOMPUTER TECHNOLOGY

S u m m a r y

The development of NC covitrol system technological solutions is discussed in the paper. The concept of systems based on microcomputer technology is presented and the adventages of these solutions are analysed. In the conclusion tendencies of further development are given.

U v o d

Numeričko, odnosno programsko upravljanje za alatne mašine, industrijske robote i postrojenja u primeni je i stalnom razvoju više decenija. Njegova realizacija i i primena usko je vezana za tekući nivo elektro i posebno elektronske tehnologije.

Prvi uredjaji programskog upravljanja realizovani su relejno-cevnoj tehnologiji i njihova uloga svodila se na pozicioniranje osa, uz rudimentarnu mogućnost zadavanja programa. Kasnije, sa razvojem elektronske tehnologije, javljaju se izvodjenja u kompletno cevnoj i tranzistorskoj

* S. Srećković i P. Jovanović su inženjeri u IM IVO LOLA RIBAR Beograd - Železnik

tehnologiji koja pružaju veće mogućnosti programiranja i funkcija. Ipak, sva ta rešenja spadaju u domen "ožičene logike", tj. uredjaji numeričkog-programskog upravljanja (NC-Numeric control) rešavani su za tačno definisane funkcije i tip mašine.

Saglasno mogućnostima koje su ti programski uredjaji pružali i njihova primena je bila ograničena.

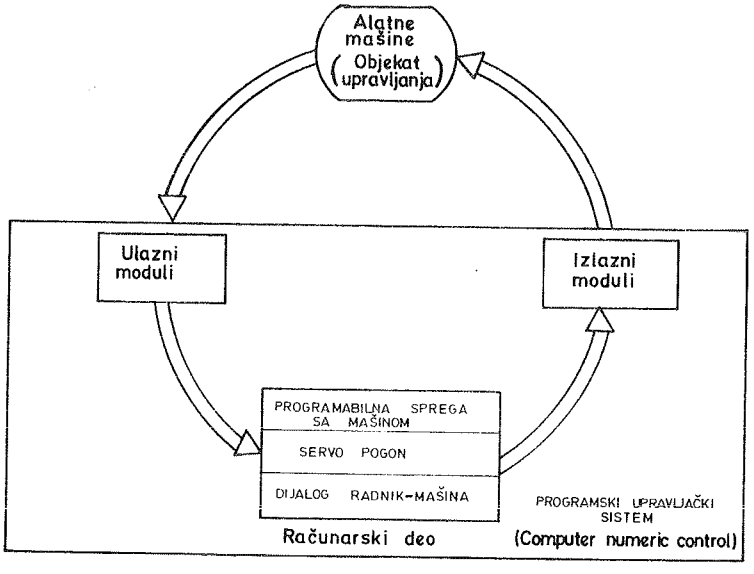
Svoj puni razvoj programsko upravljanje doživljava poslednjih godina, sa primenom mikro elektronske tehnologije.

Ova tehnologija donosi više prednosti. Rešenja uredjaja programskog upravljanja polaze od računarske obrade informacija (CNC - Computer numerical control). Time je težište rešenja prebačeno na softver, što automatski proširuje područje primene, kao i obim upravljačko-tehnoloških mogućnosti.

Detaljnije ćemo razmatrati funkcionalne mogućnosti i druge osobine uredjaja programskog upravljanja na bazi mikroračunarske tehnologije.

2. Programsko upravljanje (CNC) na bazi mirkoračunarske tehnologije

Princip modernog programskog upravljačkog sistema moguće je izložiti prema slici 1. Informacije sa mašine, preko ulaznih modula, prilagodjavaju se i dovode u računarski deo. Program rada - obrade komada unosi se preko modula za dijalog radnik-mašina, programirana kretanja



Sl. 1. Blok šema programskog upravljačkog sistema

osa mašine izvršava modul servo pogona. Specifična logika, karakteristična za odredjeni tip mašine definisana je programski u modulu programabilne sprege. Komande izvršnim organima mašine, na bazi radnog programa, izdaju se preko izlaznog modula.

Ovako rešen sistem programskog upravljanja, na bazi mikroelektronske tehnologije, pruža sledeće prednosti:

- šira mogućnost primene,
- modularno dimenzionisanje konfiguracije sistema,
- jednostavnija eksploatacija.

Mogućnost primene proširena je prevazilaženjem koncepcije "ožičene logike", koja je ograničavala primenu i proizvodnju za odredjenu mašinu - odnosno tip. Računarsko rešenje je na bazi "programirane logike", sistem se jednostavno prilagodjava izborom odgovarajućeg programa logike sprege.

Konfiguraciju sistema moguće je dimenzionisati saglasno upravljačkim zahtevima mašine, zahvaljujući modularnom konceptu projektovanja - što mikro-računarska tehnologija omogućava.

Ulazni i izlazni modul formiraju se od onoliko ulaza/izlaza, koliko ih konkretna mašina ima. Servo pogon sadrži onoliko modula koliko mašina ima osa kretanja. Modul dijaloga radnik-mašina komponuje se saglasno potrebama komunikacije za dati tip mašine.

Najzad, rešenje na bazi mikroelektronske tehnologije je visokog stepena integracije, tj. sa manje elemenata i manjih dimenzija , sa mogućnošću jednostavne zamene neispravnih modula i testiranjem u regularnom radu ili dijagnostički (ON/OF LINE).

Ovako koncipiran sistem programskog upravljanja nalazi široku industrijsku primenu u svim slučajevima kada je upravljački program potrebno često menjati. Uobičajene primene su kod alatnih mašina i industrijskih robota, nešto redje za transfer linije i industrijska postrojenja.

Kod alatnih mašina primenjuje se za horizontalne i vertikalne strugove, sve vrste bušilica - glodalica, centre obrade, prese za probijanje (punch).

Saglasno velikim mogućnostima obrade informacija, programski sistem upravljanja omogućava sledeće funkcije mašina:

- upravljanje sa više osa (1-lo),
- unošenje programa preko čitača papirne trake, kasete, tastature i ekrana, modula mehuraste memorije, direktno iz drugog računara,
- programiranje linearne, 2-3D interpolacije, korekcije alata, kretanja osa u širokom opsegu brzina (1-lo.ooo), automatske izmene alata i razne druge pomoćne funkcije bitne za rad mašina,
- različiti režimi rada - ručni, automatski, blok po blok, test, programiranje i dr.

3. Zaključak

Mikroračunarska tehnologija omogućila je široku primenu sistema programskog upravljanja (CNC).

Prema prognozi E. Merčanta mikroračunarska tehnologija će i u sledećoj deceniji bitno uticati na proizvodnju alatnih mašina. Evo nekoliko predvidjanja:

1982
- 10% proizvodnje alatnih mašina biće deo šireg automatskog proizvodnog sistema,
- 40% novih NC alatnih mašina prestaće da koriste čitač papirne trake kao glavni ulaz programa

1990
- Pouzdani i praktični senzori koristiće se za adaptivno NC upravljanje svim operacijama rezanja metala - struganje, glodanje itd.
- 90% CNC sistema će biti bez čitača trake, sa video jedinicom i disketom,
- 3/4 konvencionalnih NC mašina biće zamenjeni sa CNC i DNC uredjajima.

Na bazi mikroračunarske tehnologije u Fabrici alatnih mašina IVO LOLA RIBAR razvijeni su i serijski se proizvode CNC mikroračunarski uredjaji za upravljanje alatnim mašinama i industrijskim robotima. I to je posledica prodora mikroračunarske tehnologije, jer proizvodjači postaju "ne elektronske industrije" tj. firme koje poseduju znanja o zahtevima i tehnologiji upravljanja.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

M. Trajanović, M. Stojanović, dr A. Pavlović, dr P. Popović*

NUMERIČKO UPRAVLJANJE PRESOM ZA UGAONO SAVIJANJE LIMA**

R e z i m e

U radu su prikazani rezultati rada naučno-stručnog tima Mašinskog fakulteta u Nišu i Mašinske industrije iz Niša, na projektovanju numerički upravljane prese za ugaono savijanje lima. Opisan je sistem za pozicioniranje alata i graničnika, kao i merni i upravljački sistem. Takodje je ukratko objašnjen način programiranja rada prese.

NUMERICAL CONTROL OF PRESS BRAKE

S u m m a r y

The new numericly controled press brake was developed under the cooperative team work, formed of the members of Mechanical engineering faculty Niš and Machine factory MIN. The new system for tool (Y-positioning) and X-positioning, as well as measuring system is described in the article. The programing system is also shortly described.

1. Uvod

U okviru naučno-istraživačkog projekta u kome učestvuju Mašinski fakultet u Nišu i MIN, razvijen je sistem za numeričko upravljanje mehaničke i hidraulične prese za ugaono savijanje lima (apkant presa). Ove mašine su inače, standardni proizvod MIN-a. U ovom radu dat je kratak opis razvijenog sistema.

2. Koordinatni sistem mašina

U slučaju prese za ugaono savijanje lima numerički su upravljane dve ose:

X-osa - upravljanje pozicijom graničnika, horizontalna osa;

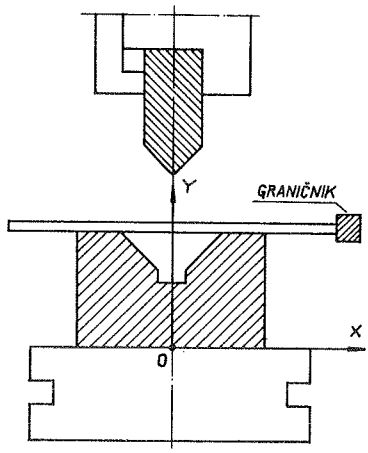
Y-osa - upravljanje pozicijom alata, vertikalna osa.

Koordinatni početak (nulta tačka) mašine je odredjen vertikalnim pravcem spuštanja alata i gornjom površinom radnog stola prese. Koordinatni sistem i smerovi osa su prikazani na sl.1.

Predvidjeni sistem za numeričko upravljanje je razvijen u okviru projekta |1| i omogućuje pomeranje nule sistema. Definisanje radnih koordinata izvršnih organa je apsolutno o relativno.

*Miroslav Trajanović, dipl.ing., asistent pripr., Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš
Mileta Stojanović, dipl.ing., šef konstruktivnog biroa FAM - MIN, 18000 Niš
dr Aleksandar Pavlović, redovni profesor., šef Katedre za proizvodno mašinstvo, Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš.
dr Predrag Popović, red.prof., Mašinski fakultet, Beogradska 14, 18000 Niš.

**Ovaj rad je deo naučno-istraživačkog projekta "ANALIZA I RAZVOJ TEHNOLOŠKIH SISTEMA SA AUTOMATSKIM I NUMERIČKIM UPRAVLJANJEM MAŠINA ZA OBRADU DEFORMISANJEM", u čijem finansiranju učestvuju RZN-Niš i MIN.



Sl. 1. Koordinatni sistem prese

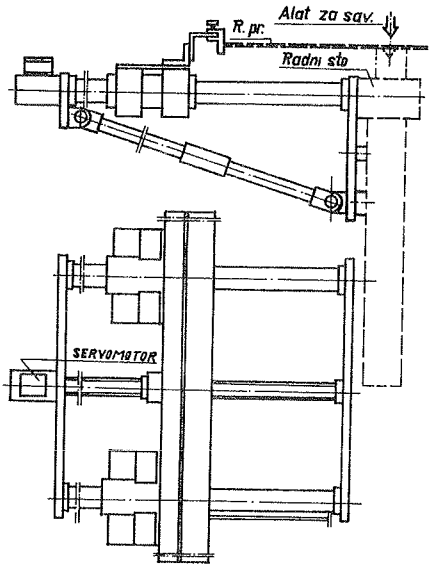
3. Sistem za pozicioniranje graničnika

Pomeranje graničnika u pravcu X-ose je omogućeno sistemom prikazanim na sl.2. Sistem se sastoji od dve cilindrične vodjice izradjene od cementiranog, kaljenog i brušenog čelika po kome se pomera nosač graničnika postavljen na kotrljajne elemente. Kotrljajni elementi imaju ekscentrične osovine koje omogućuju podešavanje zazora u izvesnom iznosu.

Uzdužno pomeranje graničnika po X-osi se vrši pomoću zavojnog vretena i bronzane podesive navrtke. Merenje je nezavisno od greške zavojnog vretena i navrtke, pošto je merni sistem direktni i meri samo pomeranje graničnika.

Pomeranje graničnika vrši se elektromotorom jednosmerne struje. Držanje u poziciji vrši se elektromagnetnom kočnicom. Tiristorskom regulacijom omogućeno je brzo kretanje i kontinualni prelazak u puzeći hod. Karakteristike ovog pogona su:

- Motor: 1HU5044-UAC0L - Simens;
- Maksimalni broj obrtaja n_{max} = 2000 o/min;
- Konstantni moment M_o = 2,5 Nm;
- Jačina struje I_o = 3,6 A;
- Snaga motora P = 0,8 kW;
- Režim rada:četvorokvadratni, motorni pogon i kočenje u oba smera;
- Regulator: oblast regulacije 1:1000.



Sl. 2. Sistem za pozicioniranje graničnika u pravcu X-ose

4. Sistem za pozicioniranje alata

Ugao savijanja lima koji se obradjuje na NU presi zavisi od dubine prodiranja alata u prizmu. Za pozicioniranje alata je upotrebljen sistem sastavljen od prenosnika, elektromotora i mernog sistema. Upotrebljeni elektromotor je takodje jednosmerne struje i ima sledeće karakteristike:

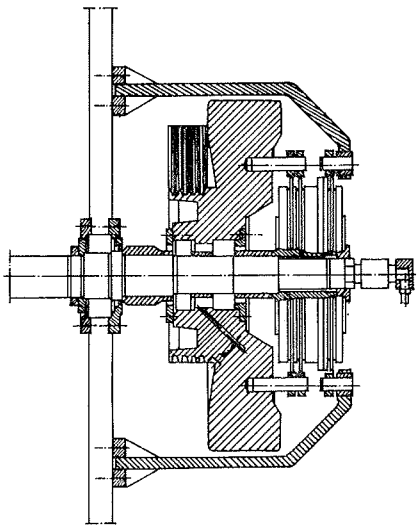
- Motor: 1HU3070-0AC01 - Simens;
- Maksimalni broj obrtaja: n_{max} = 2000 o/min;
- Konstantni moment: M_o = 3,2 Nm;
- Jačina struje I_o = 4,5 A;
- Snaga motora: P = 0,9 kW;
- Režim rada: četvorokvadratni, motorni pogon i kočenje u oba smera;
- Pojačivač: ugradjen, tiristorski;
- Regulator: oblast regulacije 1:400.

I ovde je predvidjena elektromagnetna kočnica za držanje alata u željenoj poziciji.

5. Pneumatska spojnica - kočnica

Kada se u toku rada prese izvrši pozicioniranje alata i graničnika, tj. izvrši postavljanje obradka u željenu poziciju, obavlja se radni hod pritiskivača. Uključivanje radnog hoda pritiskivača (alata) moguće je samo kada je upravljačka jedinica dobila informacije da su zadate pozicije alata i graničnika ostvarene. Radnik, nakon što je postavio lim, ručnom ili nožnom komandom, uključuje pneumatsku spojnicu, čime se obrtni moment sa zamajca prenosi na ekscentarsko vratilo.

Izgled sklopa zamajca, spojnice i ekscentarskog vratila prikazan je na sl.3.Pneumatska spojnica je proizvodnje Fabrike mašina "Ivo Lola Ribar" - Železnik.



Sl. 3. Sklop zamajca, spojnice i ekscentarskog vratila

6. Merni sistem

Merni sistem predvidjen za prototip je linearni, inkrementalni, optički, više tačnosti nego što je potrebno za ovu presu.Predvidjena je zamena ovog sistema sa adekvatnijim u pogledu tačnosti, posle izrade prototipa.

Merni sistem je postavljen sa strane podsistema za vodjenje graničnika (X-osa) i na vodjicama (Y-osa). Merni sistem koji meri pomeranje Y-ose ne uzima u obzir deformaciju rama prese.

7. Način programiranja

Upravljanje numerički upravljanom presom za ugaono savijanje lima vrši se preko panela na samoj mašini. Obzirom da upravljački programi za presu nisu složeni ni dugi, nije predvidjen nosioc informacija, već se unošenje podataka vrši ručno.

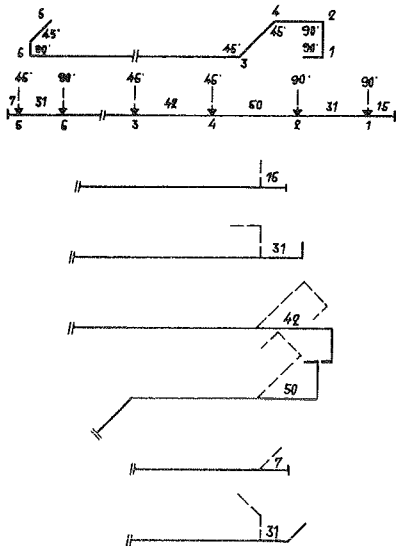
Proces programiranja se sastoji od:
a) Tehnološke razrade.
b) Kodiranja informacija.

Polazni podaci pri projektovanju tehnološkog postupka su radionički crtež izradka i karakteristike pripremka. Na osnovu njih, podataka iz kataloga alata i tabela savijanja odredjuje se redosled savijanja i položaj izvršnih organa (alata i graničnika) za svaki zahvat posebno. Izračunati podaci upisuju se u operacioni list.

Sada je potrebno informacije iz operacionog lista prevesti na kod koji upravljačka jedinica razume. U slučaju prese upotrebljen je ISO kod jer je on uglavnom već poznat jugoslovenskim programerima.

Struktura bloka definisana je oblikom adresiranih reči, obzirom da takav oblik najmanje opterećuje memoriju upravljačke jedinice, a vrlo je lak za rad.

Na slici 4, je dat primer tehnološke razrade izrade profila. Prikazani profil se izradjuje iz 6 zahvata čiji je redosled prikazan na slici. Pozicije graničnika odredjuju se na osnovu skice razvijenog profila i oblika koji lim ima pre početka novog zahvata. Veličine prodiranja alata u prizmu odredjuju se na osnovu tabela savijanja.



Sl. 4. Tehnološka razrada izrade profila od lima

Za profil sa sl.4, izradjen je program za upravljanje presom. Program ima samo 16 rečenica:

N01	G90				
N02	G43	G44	X+0015	Y+0053	
N03			X+0150	Y+0272	
N04	G81				
N05			X+0310		
N06	G81				
N07			X+0920	Y+0292	
N08	G81				
N09			X+0500		
N10	G81				
N11			X+0070		
N12	G81				
N13			X+0360	Y+0272	
N14	G81				
N15			X+9999	Y+3000	
N16					M02

8. Upravljačka jedinica

Upravljačka jedinica je deo projekta |1| i razvijena je u saradnji sa Elektronskim fakultetom u Nišu za sisteme koji rade po principu "point to point", a podešena za svrhu upravljanja presom za ugaono savijanje lima.

Programiranje je zamišljeno preko alfa-numeričke tastature na samoj mašini. Memorija omogućava pamćenje dva programa, pozivanje programa, pozivanje sekvenci za slučaj potrebe da se operacija ponovi, korekciju dela programa, naredbe CLEAR, LRN, INSERT, DELETE, itd., a sekvenca koja je na redu prikazuje se na displeju.

9. Zaključak

Razvoj numerički upravljane prese za ugaono savijanje lima je rezultat rada na dva naučno-istraživačka projekta i rezultat saradnje Mašinskog i Elektronskog fakulteta u Nišu sa Mašinskom i Elektronskom industrijom iz Niša. U ovom trenutku sistem je u fazi razvojne dokumentacije i izrada prototipa predstoji. Predvidjena je mogućnost ugradnje numeričkog upravljanja i na hidraulične i na mehaničke prese, kao i na prese koje su već u eksploataciji.

10. Literatura

|1| Naučno istraživački projekat: "Analiza i razvoj elemenata za automatizaciju upravljanja alatnim mašinama, njmeričkog pozicioniranja postojećih alatnih mašina i numeričkog upravljanja novih mašina sa aplikacijom na alatnoj mašini", RZN SR Srbije, rukovodilac dr Aleksandar Pavlović, red.prof.

|2| Naučno-istraživački projekat: "Istraživanje i razvoj metoda projektovanja i proračuna savremenih dejstava i metoda obrade materijala deformisanjem sa istraživanjem obradivosti domaćih materijala do verifikacije u praksi", RZN SR Srbije, rukovodilac dr Predrag Popović, red.prof.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982.GOD.

Vito Garbajs, Silvij Mikac*

ADAPTIVNO KRMILJENJE ELEKTROEROZIJSKEGA OBDELOVALNEGA PROCESA

R e z i m e

Izvedba adaptivnega krmiljenja elektroerozijskega obdelovalnega procesa na podlagi identifikacije delovnih in nenormalnih razelektritev izboljšuje delovne pogoje v reži med elektrodo in obdelovancem s podaljšanjem deionizacijskega časa, s hitrimi malimi in velikimi odmiki delovne pinole in v skrajnem primeru izklopi generator napetostnih impulzov, kar prepreči termične poškodbe na obdelovancu oz. elektrodi.

ADAPTIVE CONTROL OF THE ELECTRO-DISCHARGE MACHINING PROCESS

S u m m a r y

Adaptive control unit of the electro-discharge machining (EDM) process based on the identification of effective discharges and arc discharges improves the working conditions in the gap between the electrode and the workpiece through lengthening of the deionisation time and by fast small and big liftings of the working spindle. In an extreme case the adaptive control unit switches off the generator of voltage pulses, which prevents thermal damages on the workpiece and electrode.

1. UVOD

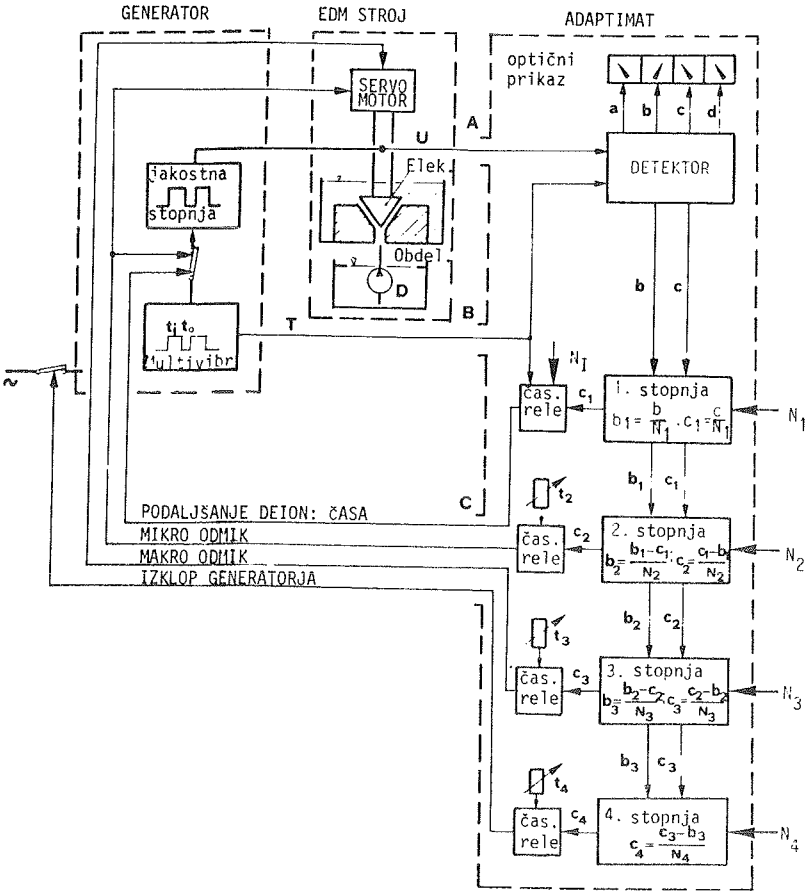
V delovni reži, tj. reži med orodjem - elektrodo in obdelovancem, se napetostni impulzi oblikujejo v različne tipe elektroerozijskih impulzov /1/. Največ težav povzročajo nenormalne razelektritve, ki imajo lastnost, da pride do napetostnega preboja takoj po prispelem napetostnem impulzu ali po zelo kratkem času. Zaporedne ponovitve nenormalnih razelektritev lokalno termično prepreobremenjujejo površinski sloj elektrode in obdelovanca /2/. Na mestu, kjer se pojavljajo nenormalne razelektritve, se iz dielektrične tekočine izloča grafit. Ta se oprime na lokalnem delu površine elektrode in obdelovanca in je viden v obliki temnih lis - zažigov. Izločeni grafit vpliva še na poslabšanje delovnih pogojev. To pa ima za posledico, da se zmanjšuje efektivnost obdelave, kar se vidi v zmanjšanem odvzemu materiala na obdelovancu, povečani obrabi elektrode in v termično poškodovani površini z mikrorazpokami.

2. OSNOVNO NAČELO DELOVANJA ADAPTIVNEGA KRMILJENJA

Z detektorjem za razpoznavanje elektroerozijskih impulzov v delovni reži je mogoče zaznati štiri osnovne tipe. Po vsakem elektroerozijskem impulzu se pojavi signal na enem od štirih izhodov detektorja (sl. 1). Signal "a" velja za proste impulze, signal "b" za delovne razelektritve, signal "c" za nenormalne razelektri-

* Mag. Garbajs Vito, dipl.ing., asistent, Fakulteta za strojništvo, Univerza E. Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, Ljubljana

Mikac Silvij, dipl.ing., PETROL Ljubljana, Cesta Ljubljanske brigade 11, Ljubljana



Slika 1: Shematski prikaz delovanja adaptivnega krmiljenja elektroerozijskega stroja in impulznega generatorja.

tve in signal "d" za kratke stike.

Na efektivnost elektroerozijskega procesa najbolj vplivajo delovne razelektritve (signali "b") in nenormalne razelektritve (signali "c") oziroma njihove relativne frekvence (λ_e in λ_{ea}), ki jih lahko razberemo na kazalnih instrumentih (optični prikaz stanja) za kontrolo ročnega krmiljenja elektroerozijskega procesa. Prosti impulzi (signali "a") in kratki stiki (signali "d") nimajo večjega vpliva, saj prvi razen daljšega obdelovalnega časa nimajo drugih efektov, kratke stike pa izločajo že obstoječe zaščitne naprave.

Vhodi v prvo krmilno stopnjo /sl.1) so signali delovnih razelektritev "b" in signali nenormalnih razelektritev "c", ki izhajajo iz detektorja ter taktni signal iz multivibratorja "T". Na izhodnih krmilnih enotah štirje krmilni signali c_1, c_2, c_3 in c_4, po vrstnem redu aktivirajo - glede na pogostost zaporednih nenormalnih in delovnih razelektritev - izklop multivibratorja za izbrano število impulzov N_I, hitri mali odmik delovne pinole za čas t_2 in hkraten izklop multivibratorja, hitri veliki odmik delovne pinole za čas t_3 ter izklop generatorja in s tem povezan dvig elektrode v izhodiščno lego.

osnova za aktiviranje posameznih krmilnih stopenj je razpoznavanje v naprej določenega števila N_1 zaporednih nenormalnih razelektritev (serije) (sl. 1). V primeru, da na vhod prve krmilne stopnje pride zaporedoma nastavljeno število N_1 signalov "c" nenormalnih razelektritev, reagira le-ta s signalom "c_1", ki sproži izklop multivibratorja za število impulzov N_I takt signala T

in hkrati s signalom "c_1" vpliva na drugo krmilno stopnjo. Če krmilne akcije prve krmilne stopnje niso uspele izboljšati fizikalnih pogojev v delovni reži, se aktivira druga krmilna stopnja. Po določenem zaporednem številu impulzov "c_1" se namreč pojavi impulz "c_2" na izhodu druge krmilne stopnje, ki aktivira časovno kratek odmik elektrode (čas t_2). Dielektrična tekočina, v kateri sta potopljena elektroda in obdelovanec, vdre v režo in s tem izpere lokalno nakopičene električno prevodne erodirane delce. Signal "c_2" pa deluje hkrati tudi na tretjo krmilno stopnjo, ki deluje podobno drugi krmilni stopnji, vendar z razliko, da z impulzom "c_3" prek časovnega releja aktivira servomotor za hitri veliki odmik delovne pinole za nastavljiv čas t_3.

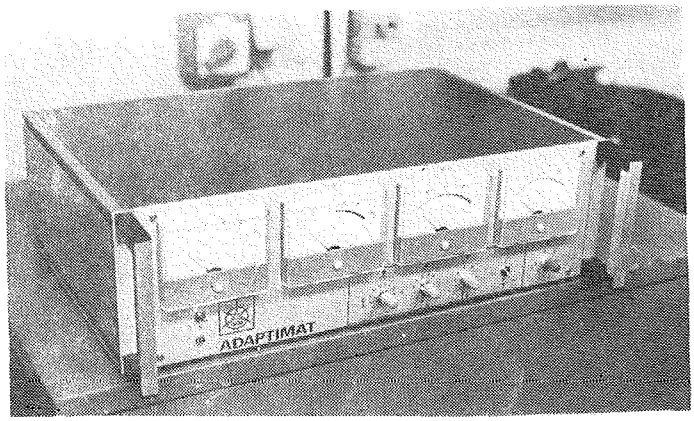
V primeru, ko so fizikalni pogoji v delovni reži izredno slabi, se na vhodu četrte krmilne stopnje ne pojavi signal "b_3". Če tudi večkratni hitri mali in veliki odmiki orodja ne izboljšajo pogojev, se po določenem številu velikih odmikov N_4 izklopi generator in s tem povezan dvig orodja v izhodiščno lego. Izklop generatorja je potreben zato, ker pogoste serije nenormalnih razelektritev prerastejo v kvazi stacionarni oblok, ki ima za posledico toplotne poškodbe elektrode in obdelovanca tudi do take mere, da postaneta izmeček.

Prav tako obstaja možnost, da se lahko zaradi delovanja adaptivnega krmiljenja oziroma zaradi drugih krmilnih akcij /2, 3/ delovni pogoji stabilizirajo ali celo izboljšajo. Zato vodimo v prvo krmilno stopnjo tudi signale delovnih razelektritev "b". V primeru, ko na vhod prve krmilne stopnje pride zaporedoma nastavljeno število N_1 signalov "b", vpliva le-ta s signalom "b_1" na drugo krmilno stopnjo. Signali b_1, b_2 in b_3 se tvorijo podobno signalom c_1, c_2, in c_3 z razliko, da nimajo neposredne krmilne funkcije, temveč so protiutež signslom c_1, c_2 in c_3.

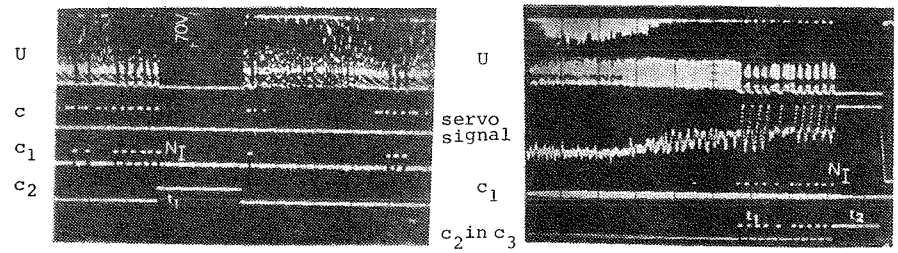
Poslabšanje delovnih pogojev se kaže v povečanju pogostosti impulzov c_1, c_2 in c_3 glede na pogostost impulzov b_1, b_2 in b_3. Delovni pogoji se lahko izboljšajo s povečanjem pogostosti impulzov b_1, b_2 in b_3 glede na pogostost impulzov c_1, c_2 in c_3 (sl. 1). V primeru, da je pogostost impulzov c_2 enaka pogostosti impulzov b_2 oziroma pogostost impulzov c_3 enaka pogostosti impulzov b_3 je stanje krmiljenja na posamezni krmilni stopnji stabilno ali povedano tudi drugače - pogostost delovnih razelektritev je v ravnotežju s pogostostjo nenormalnih razelektritev.

3. ADAPTIMAT

Praktično izvedbo štiristopenjske krmilne naprave (sl. 2) je moč z ustreznim vmesnikom prigraditi na vsak tip elektroerozijskega stroja s statičnim impulznim generatorjem. Prigraditev rabi za optično ugotavljanje trenutnega stanja elektroerozijskega procesa, ki omogoča operaterju optimalno ročno nastavitev krmilnih parametrov in avtomatično krmiljenje elektroerozijskega procesa /3, 4/.



Slika 2: Prototip štiristopenjske krmilne naprave - ADAPTIMAT



Slika 3: Oscilogramski prikaz delovanja adaptivnega krmiljenja (N_1=3, N_2=2)

Primer časovnega poteka signalov c_1 in c_2 pri poslabšanju delovnih pogojev, ki jih kaže delovna napetost U oz. razpoznava signal c (slika 3a). Krmilna akcija prve krmilne stopnje (signal c_1) podaljša čas deonizacije za število impulzov N_I, druga ali tretja stopnja (signala c_2 ali c_3) aktivira hitri odmik delovne pinole za čas t_1 ali t_2 (slika 3b).

4. SKLEP

Ročno krmiljenje elektroerozijskega procesa je na podlagi optičnega prikaza procesnega stanja in adaptivnega krmiljenja preprostejše in gospodarnejše. Hkrati omogoča zanesljivo nastavitev optimalnih delovnih pogojev tudi pri slabih pogojih izpiranja.

5. LITERATURA

/1/ Garbajs V., Mikac S., Roethel F.:Meritve EDM parametrov, 11. Jugoslovensko savetovanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid 1977, 1. knjiga, s.157-166.

/2/ Garbajs V.: Proučitev integritete površin domačih materijalov po elektroerozijski obdelavi, magistersko delo, Ljubljana 1978.

/3/Garbajs V.,Roethel F., Mikac S.: Optimiranje procesa elektroerozijske obdelave, 14. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Čačak 1980, knjiga 1, s.33-42.

/4/ Garbajs V.: Možnosti izboljšave storilnosti EDM naprave, Seminar 7-Razvoj orodij in postopkov, Celje 1981, s.349-358.

/5/ Garbajs V.,Mikac S.: ADAPTIMAT-naprava za adaptivno krmiljenje elektroerozijskega obdelovalnega procesa, navodila za uporabo, Ljubljana, januar 1982.

XVI SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

Miroljub Tomić*
Živoslav Adamović

PRILOG ANALIZI FUNKCIJA MERNIH SISTEMA PRIMENJENIH KOD NU-MAŠINA ALATKI SA OSVRTOM NA "HOMEL"-OV GPL DIGITALNI SISTEM ZA POZICIONIRANJE

R e z i m e

Trenutni položaj alata u odnosu na radni predmet, ili relativno pomeranje alata na mašinama sa numeričkim upravljanjem radi izvršenja potrebne obrade - POZICIONIRANJE automatski se odredjuje posredstvom mernog sistema. S obzirom na značaj uloge mernih sistema u celokupnom automatskom sistemu kod NU-mašina, pred njih se postavljaju strogi zahtevi, pre svega u smislu tačnosti, adaptivnosti i pouzdanosti. Zato se u radu, pored prikaza HOMEL-ovog digitalnog sistema za pozicioniranje iz nove GPL serije, daje analiza mernih sistema koji nalaze primenu kod NU-mašina alatki.

A CONTRIBUTION TO ANALYSIS OF FUNCTION OF MEASURING SYSTEMS APPLIED TO NC-MACHINE TOOLS TURNED TO "HOMEL" GPL DIGITAL SYSTEM FOR POSITIONING

S u m m a r y

Instantanevus tool position in regard to work object, or relative tool moring at the machines with the numerical commmand in order to perform the positioning, are automatically determinated bu means of measuring system. Taking into consideration the importance of measuring systems in the total automatic system of NC-machine, those measuring systems are expected to satisfy some strict demands according to punctuality, adaptability and reliability. So besides the deseription of HOMEL - digital system for positioning from new GPL series, the analyses of measurement systems which are applied to NU-machine tools, are also given.

1. Uvod

Današnji nivo razvoja tehnologije, s obzirom na trend društveno-ekonomskih odnosa gde nije primarno stvaranje uslova za masovnu

*Mr Miroljub Tomić, dipl.maš.ing. MKS Smederevo,
Smederevo, Karadjordjeva 39/24
Mr Živoslav Adamović, dipl.maš.ing. MKS Smederevo
Smederevo, Srpskih Sovjeta 2/35

proizvodnju, treba da omogući organizovanje fleksibilne proizvodnje kako bi se obezbedio veliki broj modela i specijalnih izvodjenja. To omogućuju sistemi sa numeričkim upravljanjem.

Numerički upravljane mašine alatke imaju sve širu primenu u raznim industrijama. Mada su se u početku primenjivale samo u procesima obrade rezanja, danas se koriste i u procesima obrade deformisanjem, zavarivanjem kao i u specijalnim postupcima obrade. Pored toga numeričko upravljanje našlo je primenu i u oblasti merenja i kontrole.

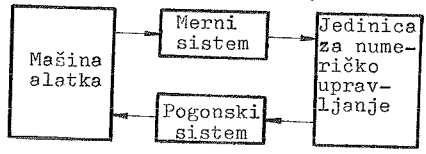
Uporednom analizom troškova proizvodnje ostvarenih primenom konvencionalnih i numerički upravljanih mašina alatki pokazuje se da su NU-sistemi rentabilniji u oblasti manjih serija [1]. Takodje i sama priprema programa, alata i pomoćnih pribora kod NU-sistema je jeftinija u odnosu na primenu alata i pomoćnih pribora kod konvencionalnih mašina, mada njihova neadekvatna upotreba izaziva gubitke. Sve ovo uslovilo je porast broja NU-mašina, pre svega u industrijski razvijenim zemljama, i osvajanje viših nivoa obradnih sistema kao što su KUMA i AdUMA-sistemi.

S obzirom na zajedničke kriterijume većine NU-sistema, isti se mogu grupisati prema:

- načinu pozicioniranja, odnosno programskog kretanja,
- primenjenom mernom sistemu za pomeranje,
- sistemu kotiranja, i
- vrsti pogona pomoćnog kretanja.

Dalje podele su izvršene prema kinematici kretanja alata (sistemi za obradu tačka po tačka, sistemi za obradu tačka - prava, sistemi za obradu po konturi) i to kao digitalni i analogni sistemi, s obzirom na vrstu interpolacije (linearna, kružna, parabolička) i tip izvodjenja pomeranja (inkrementalno, pozicione). Za svaki ovaj sistem razvijen je čitav niz komercijalnih rešenja.

Strukturu jednog NU-sistema čine: mašina alatka, merni sistemi, pogonski sistemi i jedinice za numeričko upravljanje, što je šematski prikazano na slici 1.



Sl.1. Strukturisani NUMA-sistem

2. Merni sistemi kod NU-mašina alatki

Za obavljanje funkcija stvaranja, prenošenja i modificiranja informacija kod numeričkog upravljanja primenjuju se odredjeni funkcionalni elementi koji čine upravljačko kolo. Jedno upravljačko kolo se uglavnom sastoji iz davača osnovnog signala (programera), uporedjivača-diskriminatora, pojačala, izvršnog organa, mernog elementa (senzora), pretvarača (transmitera) i objekta regulacije.

Funkcija mernih sistema je da automatski prate položaj alata i radnog predmeta. Kako su merni sistemi složeni i višenivoiski, to imaju više podsistema: za grubo, finije i fino merenje.

S obzirom na značaj uloge mernih sistema u celokupnom automatskom sistemu, pred njih se postavljaju strogi zahtevi, od kojih su najbitniji sledeći:

- osetljivost mernog sistema mora biti prilagodjena zahtevanoj

tačnosti mašine,

- granična vrednost frekfencije sistema mora biti viša od najveće frekfencije signala, koja je odredjena na bazi maksimalne brzine pomoćnog kretanja mašine,

- merni sistem mora biti osetljiv na smer kretanja,

- merni sistem mora biti pouzdan u radu i da u slučaju kvara emituje signal kvara.

Merni sistemise sastoje iz pretvaračkog i pojačivačkog dela.

Pretvarač je kombinovani mehaničko-električni ili optički uredjaj koji po potrebi transformiše prirodu signala, i to uglavnom neelektrični u električni signal. Osnovne karakteristike pretvaračkog sistema su: rezolucija, ponovljivost, atherencija funkcije, tačnost, osetljivost i šum.

Pojačivački deo ima ulogu da slabe signale pojačanjem osposobi za dalje korišćenje.

Postoje više osnova za podelu mernih sistema. Osnovna podela je na analogne i digitalne, apsolutne i relativne, pri čemu svaka od navedenih grupa ima po nekoliko sistema različite komercijalne izvedbe.

Sam postupak merenja,u zavisnosti od toga da li radnik učestvuje u procesu merenja ili se radi o automatskom instrumentu,te da li merenjem dobijeni podaci služe za upravljanje radom mašine i kako se vrši upravljanje mašinom, merenje može biti aktivno i pasivno,i to ručno i automatsko.

Izmedju ostalog, udeo tačnosti i mogućnosti automatskog zauzimanja koordinata vrlo je veliki u uštedama vezanim za izradu pomoćnih pribora, što je posebno izraženo kod pojedinačne proizvodnje i izrade prototipa. To još više potvrdjuje bitnost uloge mernog sistema kod NU-mašina alatki.

3. Prikaz "Homel"-ovog digitalnog sistema za pozicioniranje

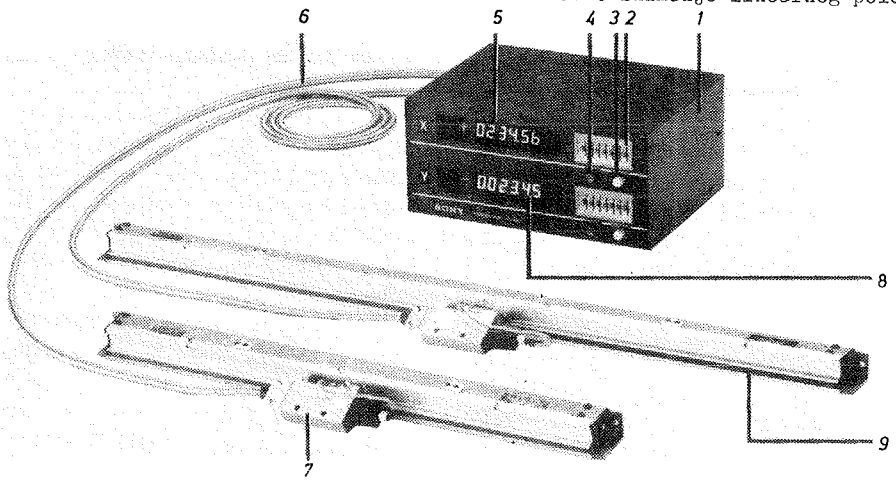
Homel-ov digitalni sistem za pozicioniranje iz serije GPL (GENERAL PURPOSE) može se montirati na različitim alatnim mašinama, a pre svega ima prednost kod upotrebe na vertikalnim i horizontalnim glodalicama, bušilicama i strugovima.

Osnovni elementi GPL-sistema za pozicioniranje su razmernik - lenjir, koji se sastoji od samog razmernika i kablovskog modula, i isporučuje se u zavisnosti od mernih dužina u 11 različitih tipova, i digitalni brojač koji se isporučuje kao pojedinačni brojač sa i bez prethodnog podešavanja i dvojni brojač sa i bez prethodnog podešavanja.Svaki sklop razmernika može se po želji kombinovati sa odredjenim tipom brojača.

Razmernik je izradjen od specijalnog fero-magnetnog legiranog materijala. U velikoj meri je neosetljiv na dejstvo ulja i prašine a uz to poseduje i veliku pogonsku sigurnost. Pored toga je apsolutno neosetljiv na magnetne uticaje koji mogu, primera radi, da potiču od mernog magnetnog stalka postavljenog na kućište magnetnog razmernika. Ugradjena vodeća poluga stara se o egzaktnom centriranju glave u odnosu na razmernik. Glava i razmernik rade praktično bez postojanja mogućnosti habanja i zato imaju duži vek trajanja. Zahvaljujući malim dimanzijama sistema i sasvim neznatnoj potrebi za prostorom koja rezultira iz toga, sasvim se jednostavno postavlja na alatnu mašinu.

Opšti izgled GPL-digitalnog

sistema za pozicioniranje sa osnovnim elementima dat je na slici 2., gde je:



Sl.2. HOMEL-OV GPL-sistem za pozicioniranje

1. Digitalni brojač
2. Dekadni prekidač
3. Taster za predbiranje
4. Taster za brisanje
5. LED svetleće diode
6. Vezni kabl
7. Priključak višekanalne glave i digitalnog brojača
8. Izborni prekidač za pokazivanje o,oo5 ili o,ol (mm)
9. Sistem razmernika

3.1. Princip rada GPL-sistema

Na razmerniku je namagnetisan jedan sinusoidni model sa konstantnom podelom o,2 (mm), koja omogućava visoku tačnost interpolacije. Posredstvom višekanalne glave koja reaguje na linije magnetnog fluksa snima se magnetna podela i pretvara u električni signal. Signal koji prima glava odvodi se dalje na detektor gde biva električno interpoliran i pretvoren u signal koji se može dalje koristiti u svrhe merenja i kontrole.

Višestruko upotrebljiv digitalni indikatorski GPL-sistem omogućava tačno snimanje linearnog položaja i pomeranja kao i cifarsko pokazivanje istog. Sistem radi automatski, i kod pojave zaprljanosti daje prvo jedan opomenski potom i alarmni signal.

4. Zaključci

1. S obzirom da su merni sistemi kod NU-mašina dosta složeni, prilikom izbora najpogodnijeg modela potrebno je sprovesti čitav niz analiza.

2. Povećana pouzdanost, lako i jednostavno opsluživanje, brzo i tačno dolaženje do podataka o položaju reznog alata, velika neosetljivost u odnosu na spoljne uticaje samo su neke od prednosti kod upotrebe GPL-sistema.

5. Literatura

[1] Milačić,V.: Proizvodni sistemi i tehnologija inovacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1976.

[2] HOMMEL HANDEL GmbH, Digital-Positionsanzeige System, Neue Serie GPL.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR, 1982. GOD.

Slavko Arsovski*

UTICAJ PRIMENE NC-ALATNIH MAŠINA NA PRODUKTIVNOST I EKONOMIČNOST U DOMAĆIM PROIZVODNIM SISTEMIMA

Rezime

Uobičajeno je shvatanje da primena NC-alatnih mašina sama po sebi omogućava povećanje produktivnosti i ekonomičnosti. Medjutim, dosadašnja istraživanja autora u ovoj oblasti ukazuju da produktivnost i ekonomičnost, kao najvažniji parametri kojima se definiše kvalitet ekonomije proizvodnih sistema, zavise od niza faktora tehničke i organizacione prirode. U radu su dati matematički model za definisanje optimalnih uslova primene NC-alatnih mašina i neki rezultati primene istih u Zavodima "Crvena Zastava".

Summary

It is customary to consider that the application of NC machine tools by itself makes it possible to increase the productivity and profitability. However, the research performed so far in this area points out that productivity and profitability as the most important parameters that define the quality of the economy of the production systems depend upon a number of factors of technical and organizational nature. Presented in this paper is a mathematical model for defining optimum conditions for the applications of NC machine tools, and some of the results of their use in the Zavodi "Crvena Zastava".

*Mr Slavko Arsovski, dipl.inž., asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Sestre Janjić br. 6.

1. Uvod

Sve izraženija konkurencija na tržištu zahteva stalni razvoj proizvoda i tehnologije, te se pred proizvodne sisteme postavljaju strogi zahtevi u pogledu visoke proizvodnosti i fleksibilnosti. U visokorazvijenim kapitalističkim zemljama ovaj problem rešava se intenzivnijom primenom NC-mašina i računara. Drugi moment primene NC-mašina je istiskivanje skupog živog rada (visoke nadnice) opredmećenim radom u mašini. Kako je u domaćim proizvodnim sistemima vrednost rada radnika dosta niža, to se opravdano postavlja pitanje da li je smanjenje vrednosti rada toliko da kompenzuje povećanje troškova mašina. Ako se uzmu u obzir i svi ostali troškovi vezani za jedinicu proizvoda, seriju i godišnji obim proizvodnje, ova analiza postaje znatno složenija zbog problema svodjenja odredjene vrste troškova na nosioce troškova i mesta troškova.

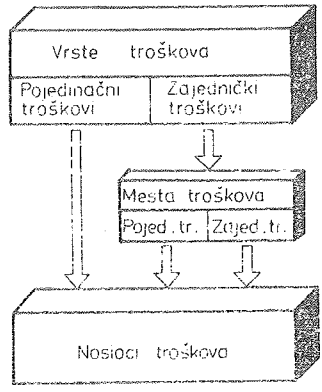
U ovom radu dat je model za svodjenje zajedničkih troškova po mestima troškova, kao i model za definisanje optimalnih uslova primene NC-alatnih mašina. Na kraju, dati su i neki rezultati primene NC-alatnih mašina u Zavodima "Crvena Zastava".

2. Definisanje modela za proračun vrednosti proizvodnje po jedinici proizvoda

U literaturi postoji veliki broj modela za proračun vrednosti proizvodnje. Razlike u njima su pre svega posledica različitih namena istih i različitih ulaznih varijabli. Osnovni problem pri razvoju novog modela vrednosti proizvodnje je način obuhvatanja i svodjenja zajedničkih troškova u posmatranom proizvodnom sistemu na nosioce troškova. Naime, poznato je da se troškovi mogu grupisati po više osnova. Za gore navedeni cilj istraživanja interesantna je podela troškova, odnosno vrednosti proizvodnje po vrstama (vrednost rada radnika u posmatranom proizvodnom sistemu, troškovi energije, troškovi alata itd.), po mestima troškova (magacin materijala, kontrola, tehnologija, priprema, Laboratorija br. 1 itd.) i po nosiocima troškova (mašina Nr. 105743, proizvod 047834, porudžbina 43/81 itd.). Sa druge strane, ukupna vrednost proizvodnje može se podeliti u dva dela:

- deo vrednosti proizvodnje koji je vezan za jedinicu proizvoda
- deo vrednosti proizvodnje koji je vezan za veći broj mesta troškova i nosioca troškova.

Prvi deo vrednosti proizvodnje može se direktno preračunati na nosioce troškova, dok se za drugi deo vrednosti proizvodnje koristi proračun mesta troškova kao medjufaza za proračun po nosiocima troškova (Sl.1).



Sl. 1

Raspodeljivanje grupe zajedničkih troškova po mestima troškova vrši se po ključu koji može biti nepromenljiv (npr. na osnovu radnih i pomoćnih površina, instalirane snage, vrednosti

investicija itd.), promenljiv (npr. na osnovu broja časova rada mašina, količine materijala i polufabrikata, bruto ličnih dohodaka radnika na odgovarajućim mestima troškova itd.) i kombinovan (npr. delimično proporcionalan težini materijala ili vremenu trajanja ciklusa proizvodnje itd.). Precizna rspodela grupe zajedničkih troškova pretpostavlja konpleksni ključ raspodele, posebno ako se žele razdvojeno posmatrati fiksni i varijabilni troškovi.Zbog toga se najčešće koristi jedan od gore navedenih jednostavnijih ključeva raspodele.

Jedan od najednostavnijih ključeva raspodele grupe zajedničkih troškova je na osnovu veličine vremena izrade. Nedostatak ovog ključa je u tome što u ovom slučaju operacije sa manjim vremenom izrade su manje opterećene zajedničkim troškovima. To bi značilo da operacija koja se izvodi na visoko produktivnim mašinama ima znatno niže dodatne troškove, što je apsurd. Stoga je Prof. B. Ivković [1] predložio uvodjenje korekcionog faktora:

$$K = \frac{V_o}{V_{osr}}$$

koji uzima u obzir vrednost obrade (vrednost rada, troškove alata i mašine) na "proizvodnom" radnom mestu.

Za definisanje vrednosti proizvodnje po jedinici proizvoda u funkciji veličine serije i broja serije godišnje nosilac troškova je radno mesto na kome se ostvaruje direktna transformacija materijala, energije i informacija i na izlazu dobija proizvod veće upotrebne vrednosti. Stoga je neophodno iznaći model kojim se zajednički troškovi svode na odgovarajuća mesta troškova, odnosno na posmatrane nosioce troškova (u ovom slučaju interesantna su mesta troškova sa konvencijonalnom i NC-tehnologijom). Jedan deo aktivnosti koji je vezan za opšta i pomoćna mesta troškova raspodeljuje se ravnomerno na radna mesta sa konvencionalnom i NC-tehnologijom, te se za potrebe uporedne analize produktivnosti i ekonomičnosti najčešće ne uzimaju u obzir.

Da bi se došlo do ključa raspodele zajedničkih troškova i veličine elemenata vrednosti proizvodnje, treba definisati strukturu vremena izrade za slučaj korišćenja konvencionalnih i NC-alatnih mašina. Detaljna struktura vremena izrade data je u [2]. Analiza strukture vremena izrade treba da omogući sagledavanje kvaliteta postavljene tehnologije i pravce njenog daljeg poboljšavanja. Vreme izrade, kao i niz drugih veličina vezanih za aktivnosti proizvodnog sistema,čini osnov za proračun elemenata vrednosti proizvodnje. Za potrebe uporedne analize produktivnosti i ekonomičnosti na konvencionalnoj i NC-opremi, celishodno je vrednost proizvodnje podeliti na tri dela

Prvi deo vrednosti proizvodnje direktno je vezan za jedinicu proizvoda (npr. vrednost obrade) ili preko ključa raspodele (npr. troškovi energije, prostora itd.). Drugi deo vrednosti proizvodnje organski je vezan za celu seriju (npr. priprema mašina) ili samo delimično (npr. troškovi kontrole). Treći deo vrednosti proizvodnje odnosi se na aktivnosti vezane za celokupni obim proizvodnje.

Na osnovu prethodnog može se definisati zavisnost vrednosti proizvodnje po jedinici proizvoda od broja komada u seriji i broja serija godišnje:

$$V_{pl} = a_o + \frac{a_1}{z} + \frac{a_2}{s\,z},$$

pri čemu vrednosti koeficijenata a_o, a_1 i a_2 zavise izmedju ostalog i od primenjene tehnologije. U sistemu z-s-V_{pl} ova zavisnost se predstavlja jednom površi.

3. Rezultati ispitivanja

Na osnovu definisane strukture vrednosti proizvodnje i podataka vezanih za rad proizvodnog sistema može se doći do pokazatelja produktivnosti i ekonomičnosti u slučaju primene konvencionalnih i NC-mašina. Dosadašnja istraživanja autora u ovoj oblasti ukazuju da je vrednost obrade dominantan deo vrednosti proizvodnje, pa se ista može koristiti za približnu ocenu ekonomičnosti. Analiza je sprovedena za slučaj izrade složenog dela koji se izradjuje na liniji od 6 mašina(po klasičnoj tehnologiji) i na obradnom centru proizvodnje ILR. Ako se za dobijanje koeficijenta produktivnosti usvoji vrednost rada utrošenog u posmatranom proizvodnom sistemu (direktni i indirektni rad) u prvom slučaju isti ima vrednost 269,79 din., a u drugom slučaju 159,99 din. Za proračun ekonomičnosti moraju se pored vrednosti obrade uzeti u obzir i ostali troškovi. Ukupna vrednost proizvodnje pri izradi posmatranog dela u prvom slučaju iznosi 759,70 din., a u drugom slučaju 606,93 din.

4. Zaključci

Iz priloženog mogu se izvući sledeći zaključci:

- problematika produktivnosti i ekonomičnosti je veoma kompleksna te treba jasno razgraničiti metodologiju i elemente strukture vrednosti rada i vrednosti proizvodnje,
- Na osnovu prethodnih istraživanja treba iznaći objektivan ključ raspodele troškova koji se ostvaruju na opštim i pomoćnim mestima troškova,
- posebnu pažnju treba obratiti na specifičnosti NC-alatnih mašina,
- ova i prethodna ispitivanja autora u domaćim proizvodnim sistemima pokazuju da je povećanje produktivnosti usled primene NC-alatnih mašina u granicama (50-32%), a ekonomičnosti u granicama (20-10%).

5. Literatura

[1] B. Ivković, Obrada metala rezanjem-izbor ekonomičnih režima rezanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1979.

[2] S. Arsovski, Struktura troškova obrade i lični dohodak radnika na proizvodnim mašinama sa numeričkim upravljanjem, Tribologija u industriji, MF Kragujevac 1981.

[3] S. Eilon, B. Gold, J. Soesan, Applied productivity Analysis for Industriy, Pergaman Press, Oxford, 1976.

[4] Ž. Kostić, S. Kukoleča, Ekonomika udruženog rada, Savremena administracija, Beograd, 1979.

[5] B. Ivković, Mogući prilazi merenju produktivnosti rada u industriji prerade metala, Tribologija u industriji, posebno izdanje, MF Kragujevac, 1981.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Andrej Polajnar*

VREDNOTENJE UPORABNOSTI NC-STROJEV

R e z i m e

Z razvito metodo določanja časa za NC-stroje vnaprej in s posebno oblikovanim programskim paketom lahko hitro in zanesljivo izdelamo stroškovno kalkulacijo za izdelek, ki je pripravljen za morebitno obdelavo na NC-stroju ali na konvencionalnem stroju. Izberemo seveda primernejši, t.j. cenejši način obdelave. Ob upoštevanju organizacijskih, tehnoloških in drugih faktorjev, ki vplivajo na NC-proizvodnjo, pa se lahko v primeru približno enake stroškovne analize bistveno lažje in pravilneje odločimo za ustreznejši način obdelave.

ANWENDBARKEITSWERTUNG VON NC-MASCHINEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Mit einer Methode, mit der die NC-Maschinenzeit vorausbestimmt wird, und mit einem speziell gestalteten Programmpaket kann schnell und zuverlässig der Kostenanschlag für ein Erzeugnis ausgearbeit werden, das für eine eventuelle Bearbeitung an einer NC-Maschine oder an einer konventionellen Maschine vorgesehen ist. Natürlich wird die geeignetere, d.h. billigere Bearbeitungsart ausgesucht. Unter Beachtung organizatorischer, technologischer und anderer Faktoren, von denen die NC-Produktion beeinträchtigt wird, kann man sich bei ungefähr gleicher Kostenanalyse viel leichter und richtiger für die geeignetere Bearbeitungsart entscheiden.

1. Uvod

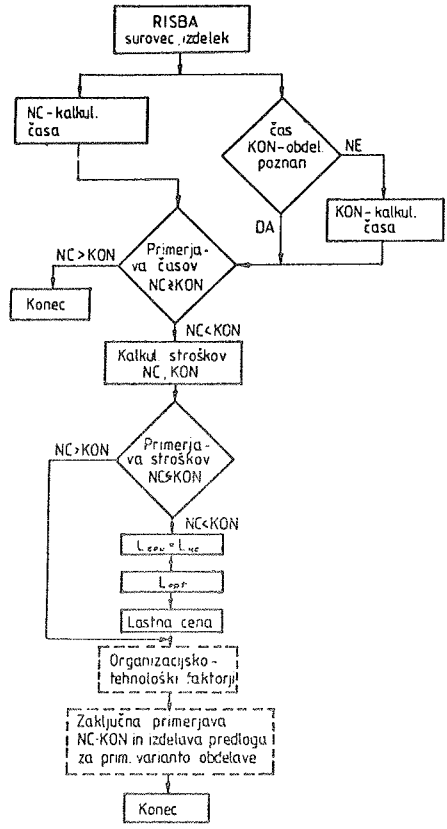
Racionalno izkoriščanje proizvodnih sredstev je vedno predstavljalo problem in ga bo predstavljalo tudi v prihodnosti. Veliko večjo vlogo pa dobiva danes, ko hočemo industrijo opremiti s sodobnimi, avtomatiziranimi delovnimi sredstvi, ki predstavljajo tudi izredno močno finančno obremenitev za vsako delovno organizacijo. Zato še zdaleč ni vseeno, katere izdelke obdelujemo z NC-stroji, - ali so to preprosti ali

* Andrej Polajnar, mag. dipl. ing., višji predavatelj, Visoka tehniška šola, Smetanova 17, 62000 Maribor

tehnološko zahtevni izdelki, ali je obdelava časovno in stroškovno upravičena in ne nazadnje - ali bomo sploh nabavili avtomatizirani, visokoproduktivni NC-stroj za dano proizvodnjo.

Za zadovoljitev teh zahtev smo morali izpolniti osnovne robne pogoje - metodo določanja časa izdelave /1, 2/, izračun stroškov izdelave /4/ in določitev stopnje organizacije dela v dani delovni organizaciji /3/. Prva dva pogoja smo pripravili za računalniško obdelavo na interaktivni način, ki jo bomo v nadaljevanju predstavili v obliki programskega paketa SAPS (stroškovna analiza proizvodnih sistemov).

Problem vrednotenja uporabnosti NC-strojev smo rešili na način, ki ga prikazuje slika 1.



Slika 1: Grobi diagram poteka vrednotenja uporabnosti NC-strojev

2. Sestava in namen programskega paketa SAPS

Programski paket SAPS je namenjen za stroškovno analizo proizvodnih sistemov. Naloga programskega paketa je, da izračuna čase in stroške izdelave na izbranih konvencionalnih in NC-obdelovalnih strojih ter jih medsebojno primerja. Rezultat je odgovor na vprašanje, katera vrsta obdelave je ekonomsko upravičena. Časovni izračuni temeljijo na metodi določanja časov vnaprej na NC-strojih /1, 2/ in konvencionalnih strojih /5/. Poznavanje časov pa omogoča tudi izračun predvidenih stroškov NC in konvencionalne obdelave in njihovo medsebojno primerjavo. Takšna primerjava je osnova za določitev, kje bomo določen strojni del izdelovali.

Programski paket SAPS je modularno zasnovan interaktivni računalniški program, prirejen za delo na računalniku DELTA 340/40. Program je pisan v jeziku BASIC PLUS 2. Ima tri glavne stopnje ali faze dela:
- vhodno fazo
- obdelavo oziroma procesiranje in
- izhodno fazo.

Vhodna faza zajema interaktivno vnašanje vseh potrebnih vhodnih podatkov (tehnoloških l, n, s, i in vrednosti za pomožne in pripravno zaključne čase) in vnašanje nespremenljivih podatkov. Nespremenljive podatke

vnašamo s paketnim načinom obdelave.

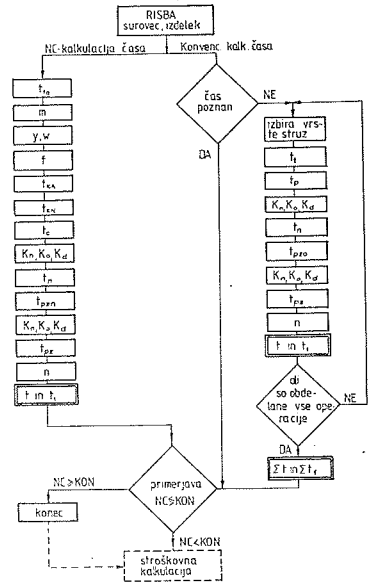
V fazi procesiranja računalnik izračuna čase obdelave na izbranih strojih za konvencionalno in NC-proizvodnjo, izračun stroškov in primerjavo med NC in KON proizvodnjo.

Faza procesiranja zajema stružilni, frezalni in stroškovni modul.

Izhodna faza pa omogoča izpis posameznih tabel za pomožne in pripravno zaključne čase ter izpis časovne in stroškovne primerjave.

2.1. Stružilni modul

Naloga stružilnega modula je, da izračuna čase obdelave za obdelavo na konvencionalnih in NC-stružnicah in da izvede medsebojno časovno primerjavo. Osnova za sestavo stružilnega modula je razvita metoda vnaprejšnjega določanja časov na NC-stružnicah /1, 2/ in poznana metoda vnaprejšnjega določanja časov za konvencionalno obdelavo /5/. Orientacijski diagram poteka za procesorski del stružilnega modula je prikazan na sliki 2.

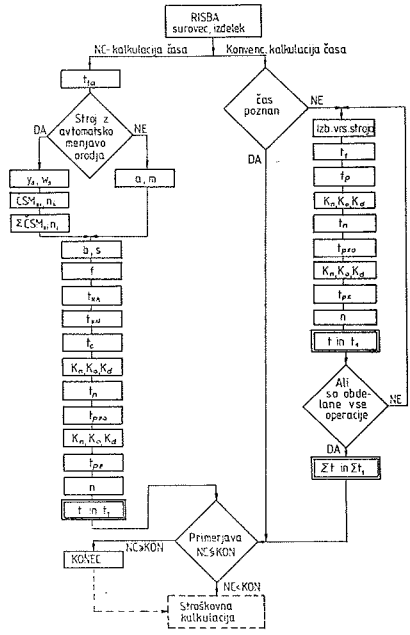


Slika 2: Diagram poteka stružilnega modula

2.2. Frezalni modul

Osnovna naloga frezalnega modula je, da izračuna čase obdelave na konvencionalnih in NC-frezalnih strojih ter da izvede medsebojno časovno primerjavo. Tudi tu je osnova izračuna časov podana v literaturi /1, 2/.

Grobi diagram poteka za procesorki del frezalnega modula je prikazan na sliki 3.

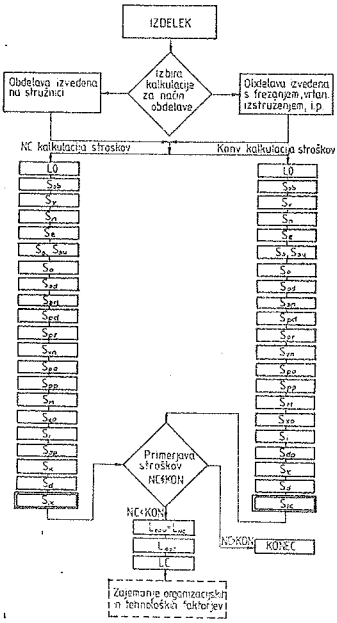


Slika 3: Diagram poteka frezalnega modula

2.3. Stroškovni modul

Naloga stroškovnega modula je, da izračuna stroške za že izračunane čase pri NC-obdelavi in pri konvencionalni obdelavi. Vhodni podatki so časovne vrednosti, ki jih izračunata stružilni ali frezalni modul in različne časovne in stroškovne vrednosti, ki so neposredno povezane z izračunom stroškov /4/.

Diagram poteka del je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Diagram poteka stroškovnega modula

3. Model vrednotenje uporabnosti NC-strojev

Prej opisani programski paket SAPS nam torej omogoča, da na osnovi stroškovne kalkulacije za izdelek, ki je izdelan za morebitno obdelavo na NC-stroju ali na KON-stroju, izberemo primernejši način obdelave (to je cenejši). Ob upoštevanju organizacijskih, tehnoloških in drugih faktorjev, ki vplivajo na NC-proizvodnjo, pa se lahko v primeru, ko sta rezultata stroškovne analize približno enaka, bistveno lažje in pravilneje odločimo za primernejši način obdelave. Če torej v dovoljni meri izpolnjujemo pogoje, do katerih smo prišli v raziskavi organizacijskih faktorjev /3/, je potem v zgoraj predpostavljenem primeru prav gotovo primernješa obdelava na NC-obdelovalnem stroju. Čim širše zajamemo rang lestvico vpliva organizacijskih faktorjev, tem realnejša je naša odločitev.

4. Zaključek

S predloženim načinom vrednotenja uporabnosti NC-strojev smo torej dali odgovor na vprašanja, ki se porajajo ob vsakem uvajanju novih obdelovalnih sistemov - v našem primeru NC-strojev kdaj je upravičena uporaba oziroma nabava teh strojev. Programski paket SAPS je uspešno preverjen na številnih primerih iz prakse in je zato takoj uporaben v vsaki delovni organizaciji.

5. Literatura

/1/ POLAJNAR A.: Priročnik za določanje časov vnaprej na NC-strojih, VTŠ Maribor (1978)

/2/ POLAJNAR A.: Raziskave uporabe poznanih sistemov študija časa za organizacijo NC-proizvodnje, RN. št. 785/5150-77

/3/ POLAJNAR A.: Oblikovanje optimalne ocene vključevanja NC-strojev v proizvodnjo II. del, RN. št. B-785/131-79

/4/ POLAJNAR A.: Oblikovanje optimalne ocene vključevanja NC-strojev v proizvodnjo, RN.FORS 3/81-1S3

/5/ ŠOSTAR A.: Priročnik za vaje iz tehnološke priprave proizvodnje in tehnologije odrezavanja, VTŠ Maribor (1976)

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GODINE

Vojko Vuletić *
Ernest Lemaher

ORGANIZACIONO - TEHNOLOŠKE PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE NUMERIČKO UPRAVLJANE (NU) TEHNOLOGIJE

R e z i m e

Sve brži razvoj i primjena visoko automatiziranih obradnih sistema, kao što su NU-strojevi, omogućavaju znatno smanjenje pomoćnoga vremena odnosno istovremeni porast učešća vremena rezanja. Značajnu ulogu kod uvođenja NU tehnologije predstavlja istraživanje i definiranje organizacije i tehnološke banke podataka. Kod toga se zahtijevaju detaljizirane tehnološke podloge koje omogućavaju pouzdano i brzo projektiranje NU tehnologije.

S u m m a r y

ORGANIZATIONAL - TECHNOLOGICAL GROUNDS IN PROJECTING NC - TECHNOLOGY

More and more development and application of highly-automatic machining systems, such as NC machines, make possible remaykably reduction of ouxiliary time, in other words it increases the part of cutting time. The investigation, definition of organization and bank of technological dates plays a significant role at introduction NC-technology. Besides, it required detailed technological grounds, wich make possible reliable and quickly projecting NC-technology.

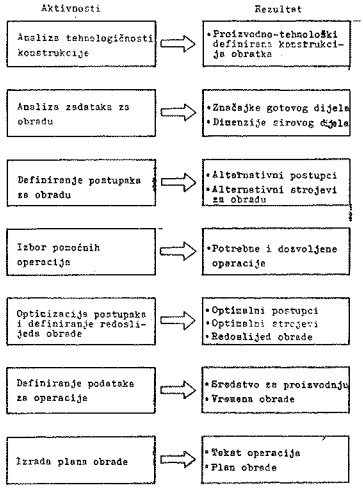
1. Uvod

Sve veći stupanj automatizacije alatnih strojeva nameće zahtjev bolje pripreme proizvodnje. U tom smislu poseban značaj imaju organizacija i tehnološke podloge za projektiranje NU-tehnologije. Izbor prikladnih izradaka za obradu na NU stroju u okviru asortimana proizvodnje dijelova, predstavlja početak rada kod rješavanja NU-tehnologije. Geometrijsko-tehnološki orjentirani sistemi za klasificiranje su pomoćna sredstva za definiranje mogućnosti i zahtjeva obrade. Sistemi za klasificiranje su i osnova za računsku podršku kod izbora prikladnih obradaka.

2. Aktivnosti kod definiranja plana obrade

Izrada pojedinih dijelova iz asortimana proizvodnje definirana je planom obrade putem aktivnosti kako je to prikazano na slici 1. Na osnovi tehnološki definirane konstrukcije slijedi detaljna analiza zadataka za obradu. Analizom se utvrđuju i svi pomoćni elementi, kao na primjer središnji uvrti ili čepovi za stezanje. Tako se definira geometrija sirovog dijela, kao što su ukupna dužina i vanjski promjer. Daljnje aktivnosti odnose se na utvrđivanje postupaka obrade, izbor pomoćnih operacija (skidanje bridova, kontrola i dr.), te podataka

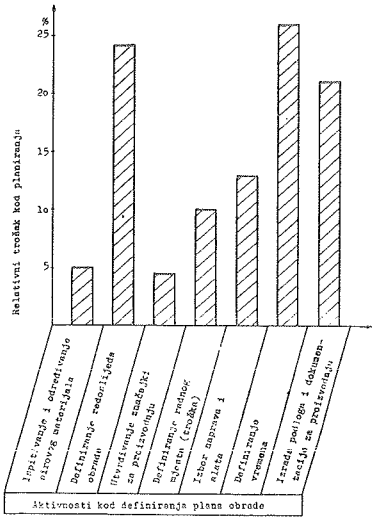
* Vojko Vuletić, dipl.inž., PRVOMAJSKA OOUR Istraživanje i razvoj
mr Ernest Lemaher, dipl.inž. 41000 Zagreb, Žitnjak bb



Slika 1: Aktivnosti kod definiranja plana obrade [3]

za izvođenje svake operacije. Slika 2 prikazuje aktivnosti za izradu plana obrade u odnosu na relativne troškove. Iz toga proizlaze najznačajnije aktivnosti:

- definiranje redoslijeda obrade

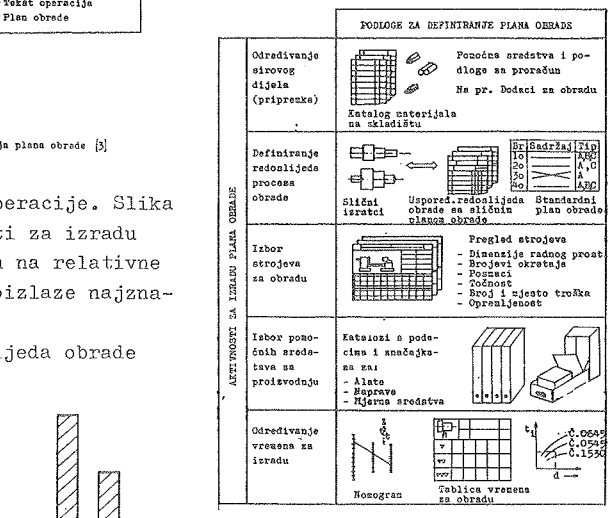


Slika 2: Raspodjela aktivnosti kod postavljanja plana obrade [4]

- utvrđivanje vremena obrade i
- izrada podloga i dokumentacije za proizvodnju.

3. Podloge za definiranje plana obrade

Pri definiranju tehnoloških veličina u toku projektiranja postupka obrade služimo se podlogama koje osiguravaju sve potrebne tehnološke informacije. Slika 3 prikazuje tehnološke podloge u odnosu na aktivnosti kod definiranja plana obrade.



Slika 3. Tehnološke podloge kod definiranja plana obrade [3]

Osnovne aktivnosti svode se na slijedeće:

- definiranje pripremka ili sirovog dijela,
- definiranje redoslijeda obrade,
- izbor strojeva za obradu,
- utvrđivanje pomoćnih sredstava i
- definiranje vremena obrade.

Svaka od ovih aktivnosti zahtijeva podloge s informacijama za definiranje tehnoloških veličina. Način obrade podataka zavisi o organiza-

ciji korištenja podataka, te o mogućnostima računske podrške.

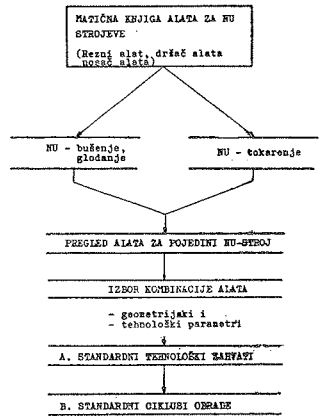
4. Pristup izradi tehnološkim podlogama za izbor alata i režima obrade

Tri osnovne značajke obradnog sistema predstavljaju: stroj, alat i obradak. Alat, način izbora i uvjeti pod kojima se vrši obrada pitanja su koja se ponavljaju kod svakog projektiranja procesa obrade. Izrada tehnoloških podloga započinje utvrđivanjem zahtjeva obrade određenoga asortimana dijelova za proizvodnju. Učešće pojedinih vrsta alata zavisi o raznovrsnosti kako oblika tako i dimenzija površina za obradu. Pregled podataka za alate prema slici 4 svodi se na osnovne geometrijsko-konstruktivne i tehnološke podatke. U okviru pojedine grupe podataka navedeni su najznačajniji podaci vezani za određenu vrstu alata. Redoslijed kod izrade tehnoloških podloga prikazan je u

	Osnovni podaci	Geometrijsko-konstruktivni podaci	Tehnološki podaci
Opšeniti podaci za alat	- Ident. broj - Sistem. broj - Naziv - Troškovi trajanja alata - Troškovi nabave - Troškovi oštrenja	- Mjere za pred namještanje (NU) - Max. dužina kod korištenja (NU) - Slobodne mjere (NU)	- Dozvoljeno opterećenje alata
Podaci alata za bušenje i glodanje	- Vrsta alata	- Promjer alata - Broj zubi - Dozvoljena duž. kod korištenja - Kut postavljanja glavne oštrice - Promjer kruga rezanja	-Dozvoljena sila rezanja -Minim. dubina rezanja -Minim. posmak/zubu -Max.posmak/zubu -Širina istrošenja -Trajnost alata
Podaci alata za tokarenje	- Vrsta alata	- Radijus rezne oštrice - Širina i dubina rezanja - Kutevi na alatu	-Dozvoljena sila rezanja -Minim.debljina strugotine -Relativna minim. dubina rezanja -Dozvolj.šir.reza -Trajnost alata -Broj kombinacije materijala alata i obratka.
Podaci za organizaciju kod gospodarenja alatom	- Definiranje alata za određene strojeve - Nabava alata		

Slika 4. Sistemi pregled grupa podataka za alate [4]

slici 5. Alat u širem smislu formira se u tzv. matičnu knjigu alata koja obuhvaća dva osnovna područja:
- alati za NU-tokarilice
- alati za NU-glodalice, bušilice i obradne centre.



Slika 5. Slijed kod izrade tehnoloških podloga za NU strojeve

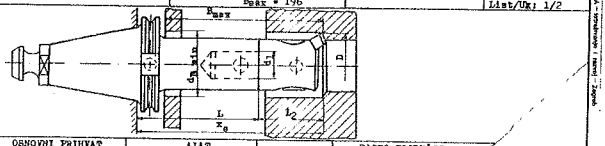
Izborom reznog alata i prihvata za odgovarajući NU-stroj definira se pregled alata koji uz druge tehničke karakteristike definira tehnološke mogućnosti obradnog sistema. Korištenje više standardnih alata u procesu obrade kompleksne površine definiraju se standardni ciklusi obrade. Svaka kombinacija alata sadrži aktivni (rezni) i pasivni (prihvat) dio, a uz vizualni prikaz mogućnosti obrade opremljena je i geometrijsko-tehnološkim podacima za programiranje (Slika 6).

5. Unapređenje tehnoloških podloga primjenom elektroničkoga računala

Sve veći broj instaliranih strojeva s NU uz kompliciranost obradaka zahtijeva i sve veći broj izrađenih programa. Ograničeni broj tehnologa-programera doveo je do razmišljanja o

PRVOMAJSKA ZAGREB | IZBOR ALATA I REŽIMA OBRADE ZA NU-STROJEVE I OBRADNE CENTRE | Stroj: Obradni centar horizontalni OCH-500 CNC | Str. 200

Naziv: Glava za fino istokarivanje | Dimensija: D = 20-70, B_{max} = 196 | Proizvođač alata: | Ident.br. 5.464/12, List/Uk: 1/2



Ident. broj	OSNOVNI PRIHVAT			ALAT					RADNO PODRUČJE	
	Ident.br.	ISO	L	d_1	Ident.br.	L_2	D	$\hat{z}_R$	δP_{min}	$d\delta_{min}$ – P_{max}
5.464/12.1	5.12.1		90,5	11	464.1	29,5	20-26	120		22-28 96
.2	2		94,5	14	2	35,5	25-33	120		27-35
.3	3		114,5	14	2	35,5	25-33	150		
.4	4	45	110	18	3	40	32-42	150		
.5	5		140	18	3	40	32-42			
.6	6		135	22	4	47				
.7	7		173	22						
.8	8		165	28						

Materijal obratka:	Mashanita (61) 22.31
Materijal alata	K 20
v (m/s)	1,33
n (mm)	0,12

Slika 6: Kombinacija alata za obradu

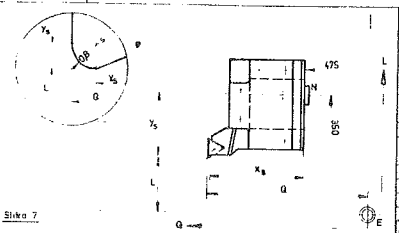
upotrebi automatiziranoga programiranja korištenjem elektroničkog računala [6]. Program dijela se u tom slučaju piše simboličkim jezikom, a bitno je kraći od onoga kod ručnoga načina programiranja. Koncepcija se sastoji u tome da se geometrijska konstrukcija dijela nadopuni tehnološkim podacima potrebnim za izradu dijela. Na pr. uvođenjem programskoga EXAPT jezika odnosno programskih paketa EXAPT 2 za tokarilice ili EXAPT 1.1 za glodalice-bušilice, zahtijeva se osiguranje tehnološke datoteke. Primjer karte alata prikazan je na slici 7.

6. Zaključna razmatranja

Ispravno funkcioniranje NU-tehnologije zahtijeva dobro organiziranu datoteku svih tehnoloških podataka. Projektiranje NU-tehnologije izvodi se po slijedu određenih aktivnosti koje se ponavljaju uz utvrđivanje pouzdanih tehnoloških veličina. Posebno treba istaći zahtjev dobre organizacije u gospodarenju alatom a sistematizaciju organizacijskoga toka prikazuje slika 8.

PRVOMAJSKA ZAGREB | EXAPT - Kartica alata za tokarenje | Sistem alata | Broj, datum | Datum | Ime

Opis



Slika 7

Oštrica | Drška | Držač alata

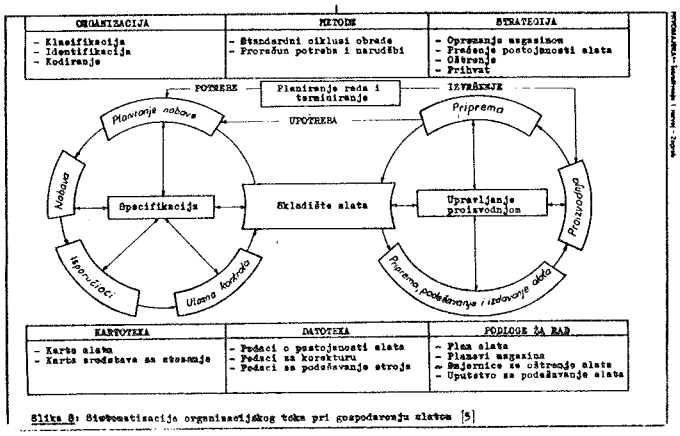
Materijal oš. P 20 | Oštrica ručno brušena da ne | Kut oštrenja - 6°

Upute o oštrenju | Primjedbe

Mjere za podešavanje L = 285 | Q = 560

Sistemski broj | Uvjeti obrade | Geometrija rezanja | Ident broj

Mjere



Slika 8: Sistematizacija organizacijskog toka pri gospodarenju alatom [5]

7. Literatura

[1] Eversheim: Anwendung des Systems
Fuchs Autap zur Arbeitspla-
Zons nerstellung, Industrie
Anzieger, 1980 Nr. 55.

[2] W. Rademacher: Rationalisierung
W. Schwamborn und Automatisie-
rung der Arbeitspla-
nung, Industrie Anze-
iger, 1980 Nr. 55.

[3] M. Stendel: Analyse der Arbeits-
planerstellung, Indu-
strie Anzeiger, 1980
Nr. 55.

[4] Schuppar: Dateien für Systeme
Frankenthal zur rechnerunterstü-
Ernst tzten Arbeitsplaner-
stellung Teil 1., tz.
f. Metallbearb. 73
(1979) H6.

[5] E. Westkämper: Reorganisations
des Werkzeugwesens,
Industrie Anzeiger,
1977, Nr. 88.

[6] M. Cvjetićanin: Programiranje nu-
Z. Kirković meričkí upravlja-
V. Vuletić nih alatnih stro-
jeva, Strojarstvo 22,
1980. god.

TEHNOLOGIJA I TEHNIKA ZAVARIVANJA

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE MOSTAR 1982.g.

Dr Omer Pašić,dipl.inž.*
Dr Smiljko Jakšić,dipl.inž

ZNAČAJ I ULOGA ZAVARIVANJE U PROIZVODNOM MAŠINSTVU

U V O D

Zavarivanje je neosporno najvažniji način spajanja metala. To je zapravo i najčešći način da se dva elementa povežu u jedinstvenu cjelinu.

Ono ima neograničeno područje primjene u proizvodnji i reparaturi gotovo svih metalnih proizvoda. Bilo kuda da se osvrnemo susrećemo se sa zavarenim konstrukcijama. Suvremeno čovječanstvo gotovo se nebi moglo ni zamisliti bez zavarenih konstrukcija: najveće zgrade, interplanetarne rakete, nuklearna i konvencionalna energetika, cjevovodi, prekookeanski brodovi, mostovi i automobili sve su to objekti neraskidivo vezani s tehnikom i tehnologijom zavarivanja. Ovakva ekspanzija je rezultat činjenice da je zavarivanje daleko najekonomičniji način spajanja metala.

Zavarivanje se razvilo kao alternativa zakovanim vezama i veoma brzo se pokazalo neuporedivo efikasnijim od zakivanja tako da ga je gotovo potpuno potislo i iz temelja promjenilo koncepcije konstruiranja. Uštede materijala i obezbjeđenje materijalnog kontinuiteta su osnovne prednosti koje zavarivanje pruža u konstruktivnom smislu. Zavarivanje je omogučilo konstrukterima da livene konstrukcije zamijene lakšim i jeftinijim zavarenim konstrukcijama koje je neuporedivo lakše realizirati.

Zavarivanje je najjednostavniji i najjeftiniji način nanošenja slojeva jednog metala na osnovnu masu drugog metala. Ovim su maksimalno iskorištena optimalna svojstva oba metala i tehnika navarivanja proizašla iz ove činjenice već daje ogromne efekte u sprečavanju korozije i habanja.

Prednosti zavarivanja se mogu sagledati kroz slijeđeće činjenice:

- zavarivanje je najjeftiniji način spajanja metala;
- zavarivanjem se kroz bolje iskorištenje materijala ostvaruju lakše i ekonomičnije konstrukcije;
- zavarivanje se uspješno može primjeniti za sve konstrukcione metale;
- zavarivanje se primjenjuje u svim područjima metalopreradjivačke industrije i konstrukterima pruža gotovo neograničene mogućnosti.

---

* Omer Pašić, Mašinski fakultet Mostar
Smiljko Jakšić, TPK - Zavod za energetsku i procesnu opremu,Zagreb.

Pored neusmnjivih prednosti zavarivanja prati i niz limitirajućih faktora koji su usporili razvoj zavarivanja i koji se ne smiju zanemariti:

- Prije svega uticaj čovjeka na kvalitet.
- Postojanje strukturnih nehomogenosti.
- Prisustvo grešaka materijalne homogenosti.
- Prisustva unutrašnjih napona.

Sve ove činjenice dovele su do nastanka niza specifikacija, standarda, odredaba i propisa kojima podliježu zavarene konstrukcije.

1. ISTORIJSKI OSVRT NA RAZVOJ ZAVARIVAČKIH POSTUPAKA

Na tragove zavarivanja nailazimo još u predistorijskom periodu. Na zlatnim prstenovima i bronzanog doba otkriveni su preklopni spojevi ostvareni zavarivanjem pritiskom. U Britanskom nacionalnim muzeju nalazi se nekoliko željeznih alata koji potiču iz Starog Egipta i Sirije na kojima je vidljivi kovačko zavarivanje pritiskom. U srednjem vijeku kovačko zavarivanje dostiglo je visok stepen razvoja tako da iz tog doba imamo veliki broj oružja značajnih gabarita u zavarenoj izvedbi.

Moderna tehnika zavarivanja počela je svoj razvoj nakon dvaju otkrića. Otkriće acetilena i otkriće električnog luka bilo je svakako presudno u tehnici zavarivanja. Električni luk se prvi put sreće u tehnici zavarivanja 1881. Bio je to električni izmedju ugljenih elektroda otkriće Nikolaja Bernadosa.

1885.postupak je patentiran u Engleskoj a 1887. u SAD. Zavarivanje ugljenom elektrodom bilo je popularno koncem prošlog i početkom ovog stoljeća. .892. javljaju se prve ideje o primjeni metalne elektrode a 19oo. prve ideje o obloženoj metalnoj elektrodi. U periodu od 19o7. do 1914. Švedjanin Kjelberg intenzivno radi na usavršavanju metalnih elektroda s univerzalnom oblogom na bazi silikata karbonata i drugih minerala.

Prof Elih Thompson u periodu 1885. do 19oo. prijavljuje čitav niz patenata iz područja elektrootpornog zavarivanja kao što su točkasto šavno i sučeono elektrootporno zavarivanja kao što su točkasto šavno i sučeono elektrootporno zavarivanje. Gasno zavarivanje dobilo je na značaju otkrićem Lindeovog procesa za dobijanje kisika. U periodu 19oo. do 1918. gasno zavarivanje i zavarivanje obloženom elektrodom čine glavne zavarivačke postupke u svijetu.

Prvi svjetski rat dovodi do nagle potrošnje i prerade metala što se održava i na ekspanziju razvoja tehnike zavarivanja. Širom Evrope i Amerike niču tvornice zavarivačke opreme i elektroda. 1914. Englezi rade prvi brod u potpuno zavarenoj izvedbi.

Sanacija sabotažom oštećenog broda u Njujorškoj luci primjenom tehnike zavarivanja. Širom Evrope i Amerike niču tvornice zavarivačke opreme i elektroda.1914.Englezi rade prvi brod u potpuno zavarenoj izvedbi.

Sanacija sabotažom oštećenog broda u Njuroškoj luci primjenom tehnike zavarivanja imala je presudan značaj na primjenu zavarivanja u brodogradnji. Tokom prvog svjetskog rata u SAD je formiran Ratni komitet za zavarivanje koji je 1919. prerastao u Emeričko društvo za

zavarivanje AWS s osnovnim zadatkom da se bavi razvojem zavarivanja i srodnih postupaka.

192o.se pojavljuje automatsko zavarivanje topivom elektrodom. To je bilo otkriće P.O. Nobela koje se odmah uspješno počelo primjenjivati u Emričkoj automobilskoj industriji. Ovo zavarivanje vršeno je u atmosferi azota i kisika da bi H.M. Hobart 1926.prvi put upotrebio inertni gas i gasnu mlaznicu. Ideja o TIG postupku prvi put se javlja 189o.

Hobart upotrebom helija 192o.stvara preduslove da bi 1941.nastao TIG postupak namijenjen prije svega vazduhoplovnoj industriji za zavarivanje lakih legura.

Izraziti porast proizvodnje zavarenih konstrukcija od lakih legura doveo je 1948.do pojave MIG postupka koji je kasnije našao široku primjenu u visokolegiranim i ostalim čeličnim zavarenim konstrukcijama.

Sovjetski istraživači Ljubovski i Novošilov uvidjeli su prednosti MIG postupka te su ga željeli uvesti u područje masovne primjene na konstrukcionim čelicima. 1953.oni su izvršili uspješne eksperimente primjenjujući ugljični dioksid kao zaštitni gas. Time je nastao CO_2 postupak koji je kasnije doživio različite modifikacije.

Primjena pulsirajućih struja počinje 196o.godine i korištena je uglavnom kod TIG i MIG/MAG postupka.

Ubrzo po otkriću CO_2 postupka dolazi i do razvoja specijalnih dodatnih materijala - punjene žice s unutarnjom mineralnom oblogom tako da spoljna zaštita gasom nije više neophodna.

193o.Američka kompacija za cjevovode razvila je postupak za zavarivanje cijevi električnim lukom pod prahom. Patent je prodat firmi Linde koja ga je usavršila tako da je u godinama II svjetskog rata odigrao veliku ulogu u ratnoj brodogradnji. Postupak je danas jedan od najproduktivnijih i ima veoma široku primjenu.

Na Sovjetskoj izložbi u Brislu 1958. prvi put je prezentiran postupak zavarivanja pod elektrošljakom osvojen i razvijen u Institutu Patona. Postupak je razvijen za debele i srednje debele materijale i doživio je niz modifikacija od kojih je svakako najznačajnija i ona iz 1961. izvršena od strane ARCOS-a.

1957.Robert Gage je razvio proces veoma sličan TIG gdje je primjenom plazme postigao mnogo veću koncentraciju toplote i temperaturu u električnom luku. Postupak je poznat pod imenom plazma a naročito efikasan pokazao se za termičko sječenje neželjeznih metala

Elektronsko zavarivanje,koje kao izvor toplote koristi fokusirani snop elektrona u vakumu razvijalo se paralelno u ZISS-u DDR i Francuskoj za potrebe nuklearne industrije. Postupak je danas potpuno komercijalan i ima široku primjenu.

Jedan od posljednjih otkrivenih postupaka zavarivanja je zavarivanje laserom. Za sada visoka cijena opreme limitira njegovu primjenu ali je prisutan izrazit trend porasta.

2. OSVRT NA PRIMJENI ZAVARIVANJA

Primjena zavarivanja je praktički neograničena. Sve što koristimo u svakodnevnom životu je zavareno ili je proizvedeno opremom i postrojenjima koja su zavarena. Zavarivanje možemo slobodno nazvati

tehnologijom industrijskih jakih jer se zavarivanje pored potrošnih dobara proizvode i proizvodna dobra čime se nesumnjivo jača reproduktivna moć nacije.

Prema podacima iz časopisa"Welding and Metal Fabrication" zavarivanje je danas koncentrisano u industrijske grupe koje apsorbuju cjelokupnu zavarivačku radnu snagu.

Najveći broj zavarivača odnosno 18 procenata ukupno zaposleno je u proizvodnji metalnih proizvoda kao što su: posude pod pritiskom,spemnici,izmjenjivači toplote,nuklearni reaktori,cjevovodi i arhitektonske konstrukcije. Sve ove konstrukcije se uglavnom proizvode veoma strogo reguliranim propisima i nacionalnim standardima.

Drugo najveće područje koje apsorbuje 16 procenata svih zavarivača je proizvodnja mašina:proizvodnja postolja alatnih mašina,rudarskih mašina,mlinova,buldoždera, bagera,mašina za tekstilnu,prehrambenu i grafičku industriju. Većina ovih proizvoda ne zahtijeva izuzetan kvalitet i on je regulisan uglavnom internim standardima.

Treću vrlo značajnu grupu s 11% svih zavarivača čine takozvana grupa industrijskih energetskih i procesnih konstrukcija i postrojenja kao što su: hidroenergetska postrojenja,kotlovi,kemijska postrojenja i mostovi. Proizvodi ove grupe podliježu dosta strogim normativima.

Proizvodnja sredstava za drumski saobraćaj s 8% zaposlenih zavarivača je na četvrtom mjestu. U ovom području dominiraju automatski i poluautomatski postupci.

Brodogradnja,vazdhoplovstvo i željeznički saobraćaj apsorbiraju 8% zavarivačkog kadra i podliježu vrlo strogim vojnim i civilnim propisima.

Na šestom mjestu s 7% nalazi se proizvodnja opreme za primarnu preradu metala gdje spadaju uglavnom metalurški uredjaji i oprema.

Na sedmom mjestu s 6% zaposlenih zavarivača nalazi se proizvodnja električnih mašina.

Osmo mjesto s 5% zauzima cjevovodni transport.

Deveto mjesto s 4,5% zavarivača zauzima reparaturno zavarivanje i deseto s 3,5% zauzima rudarstvo.

Ove procjene radjene sa stanovišta SAD, jedne visoko razvijene nacije i vjerojatno ne važe i u našim uslovima ali su vrlo indikativne i upućuju na trendove kretanja u svjetskim razmjerama.

3. TENDENCIJA RAZVOJA I BUDUĆNOST ZAVARIVANJA

Zavarivanje je neosporno prihvaćena metoda spajanja svih metala i nesumnjivo se nalazi u stalnoj ekspanziji. Ova ekspanzija bi se mogla kvantificirati iznosima koji se ostvare prodajom zavarivačkih uredjaja i dodatnih materijala. U časopisu Welding and Metal Fabrication prezentirani su ovi podaci za SAD iz kojih se vidi da se porast prodaje zavarivačke opreme odvija po stopi od 6%. Kod proizvodnje obloženih elektroda koje su 1962.činile 81% dodatnih materijala prisutan je pad na 45% u 1981. godini.

Kod zavarivanja pod prahom te relacije su 5% na 7% a kod zavarivanja pod zaštitnim gasom lo% na 2%.

Američka iskustva pokazuju da su najveći porast imali poluautomatski postupci.

Automatski postupci imali su nešto usporeniji porast a ručni postupci su imali izrazit trend pada. Sigurno je da i naša tehnika zavarivanja,istina u nešto izmijenjenim uslovima,ide fazno pomaknuta sličnim putem.

Budućnost razvoja tehnike i tehnologije zavarivanja treba predvidjeti i usmjeriti je u slijedećim pravcima:

- Broj ljudi koji će raditi na poslovima zavarivanja biti će u stalnom porastu.
- Cijene osnovnih i dodatnih materijala biti će takodjer u stalnom porastu.
- Zbog ovih činjenica bit će neophodno smanjivati troškove proizvodnje iznalaženjem produktivnijih postupaka i tehnologija.
- U proizvodnji materijala dominirati će visokočvrsti i laki materijali.
- Obim zavarivanja če rasti na račun smanjenja obima primjene drugih tehnologija prije svega livenja i skidanja strugotine.
- Kvalitativni zahtjevi će rasti kao što če rasti proces automatizacije zavarivačkih postupaka.

Sva ova predvidjanja upućuju na ozbiljne pripreme kako nas opće svjetsko kretanje nebi zateklo nespremne. Ove pripreme u prvom redu treba provesti na planu kadrova od nosno na obrazovnim institucijama koje pripremaju kadrove za industriju.

4. ZAVARIVANJE U JUGOSLAVIJI

Za očekivati je da putevi razvoja zavarivanja u Jugoslaviji slijede kretanje u svijetu. Korektne analize na žalost teško je izvesti zbog činjenice da se na organiziran način u zemlji ne bavimo praćenjem zbivanja u ovom području. Oficijelna statistika takodjer to ne čini. Jedan od rijetkih radova objavljen zadnjih godina pod naslovo,"Stanje i tendencija zavarivanja u SFRJ"(Autori:Kruno Ljubić, Stojan Čundev i Tomislav Kovačević) pokušava ukazati na stanje i tendencije u ovoj oblasti tehnike, pa ga koristimo uz ostale izvore i u ovoj prilici.

4.1. Kadrovi

Osnov svake industrijske proizvodnje, pa tako i proizvodnje predmeta i konstrukcija zavarivanjem čine kadrovi. Na žalost u području razvoja zavarivanja mnogo se brže razvijala oprema,dodatni materijali novi postupci zavarivanja i potrebe nego kvalitetna kadrovska struktura. Bazu u nas čine priučeni zavarivači a štete zbog toga su ne mjerljive i u industriji i u društvu kao cjelini. S takovim kadrovima teško je osigurati razvoj, a vremenom nastali socijalni balast je zaseban problem. Zbog otvaranja mogućnosti ekspresne "proizvodnje" priučemih zavarivača organizirani sistem usmjerenog obrazovanja ostao je bez polaznika a industrija bez odgovarajuće obrazovanih zavarivača. Čini se da smo pred ovom "tržišnom" stihijom nemoćni jer je i izvoz priučenih zavarivača dobar i legaliziran posao. Istovremeno organizirane specijalizacije srednjeg i visokoobrazovnog kadra dale su značajne rezultate. Vidnu ulogu u ovom procesu odigrao je Savez društva za tehniku zavarivanja SFRJ i Repub-

lička društva, te pojedini fakulteti i instituti za zavarivanje. Značajno je istaknuti da na pr,Fakultet strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u redovnom studiju obrazuje inženjere specijaliste zavarivanja a na više fakulteta u zemlji organiziran je i postdiplomski studij u ovom području, pa se javljaju i prvi magistri i doktori nauka.

S daljnim razvojem mehanizacije, automatizacije i robotizacije zavarivačkih postupaka mjenjat će se i kadrovska struktura ali će neosporno rasti broj ljudi koji će raditi na poslovima zavarivanja. Zbog toga bi bilo korisno dio istraživačkih radova u domeni zavarivanja usmjeriti na pravovremeno utvrdjivanje optimalnih puteva razvoja kadrovske strukture u zavarivanju.

4.2. Tehnologija i oprema

Jedan od pokazatelja trenda razvoja zavarivanja je rast potrošnje dodatnih materijala za zavarivanje. Ocjenjuje se da se on kretao 12 do 15% godišnje, mada se zadnjih godina smiruje i iznosi oko 32.ooo tone godišnje.

S razvojem sve modrnijih postupaka zavarivanja mijenja se i struktura dodatnih materijala. Tako je na pr7o-tih godina udio oplaštenih elektroda u ukupnoj potrošnji iznosio 75% a 8o-tih godina 65%.

Na žalost moramo konstatirati da je elektrolučno-ručno zavarivanje još uvijek najzastupljenija vrsta zavarivanja u nas. U ovoj strukturi raste potrošnja oplaštenih elektroda s bazičnom oblogom i celuloznih elektroda. Zavarivanje MAG postupkom i elektrootporno zavarivanje doživljavaju snažan uspon i već se nalaze na drugom mjestu po količini zavarenih proizvoda.

EPP postupak zauzima značajno mjesto ali još uvijek je primjena manja zbog malih serija i šarolikosti proizvodnji. Kočnica su i relativno skupi pristroji i naprave koji usporavaju razvoj ovog postupka.

Značajnu ulogu u razvoju zavarivanja,posebno u proizvodnom mašinstvu odigrao je nagao i značajan razvoj domaće opreme,naprava i alata za zavarivanje te dodatnih materijala.

Posebno treba istaći uspješan razvoj domaćih proizvodjača opreme kao što su:

-"Rade Končar"-Aparatna tehnika"-Skopje
-"Uljanik - TESU" - Pula
-"Iskra-Automatika" Ljubljana
-"Gorenje-Varstroj"-Lendava
-"Elektroda"Zagreb(uredjaji za el. otporno zavarivanje)
-"Institut za varilstvo"Ljubljana (specijalni uredjaji)
-"Jedinstvo"Zagreb(peći za sušenje elektroda)
-"Teleoptik"-Zemun(plinsko zavarivanje i lemljenje).

Značajno je da su se zadnjih godina pojavili i proizvodjači naprava i alata za mehanizaciju i automatizaciju proizvodnje zavarivanjem kao što su
- TPK - Proizvodnja alata i naprava (PAN),Zagreb
-"Metalna" - Maribor
-"Rade Končar"-Aparatna tehnika, Skopje i ostali.

Potrebno je istaći da su nas domaći proizvodjači dodatnih materijala za zavarivanje gotovo oslobodili uvoza u ovom području. o su:
-"Elektroda", Zagreb
-Željezara Jesenica,Jesenice na

Gorenjskom
-"RMK Zenica - TPŽ Bijeljina
-"Jugoturbina-Tehnoistok",Negotin
-"Impol",Slovenska Bistrica
-"Cinkarna", Celje
-"Kuprum",Skopje
-"Nov Kabl",Novi Sad

Ovaj ukupni mozaik proizvodjača opreme, naprava i dodatnih materijala nije na žalost skladan kakav bi trebao biti. Bit će potrebni značajni napori da se proizvodni programi usklade,izbjegnu nepotrebna preklapanja i nepotrebno ne pojave novi proizvodjači u istom području. Zato bi bilo od izuzetne koristi dą se pronadju optimalni putevi koordinacije u daljem razvoju.

4.3. Naučno-istraživački rad

Neosporno je da se snažan razvoj zavarivačke djelatnosti nije mogao odigrati bez razvoja i naučno istraživačkog rada. Kao i u mnogim drugim područjima veliki dio opreme za zavarivanje u početku razvoja bio je rezultat licenci i uvezenog znanja. Ni danas nismo postali imuni od licenci ali je sve više i vlastitog znanja i iskustva.

Domaći instituti,posebno"Institut za varilstvo",Ljubljana,institut za razvojni centri većih proizvodjača opreme za zavarivanje(kao na pr.ETI "R.Končar,Zagreb.....)te instituti i razvojni centri većih tvornica koje široko primjenjuju zavarivanje(na pr."Energoinvest", Sarajevo,"Dj.Djaković",Sl.Brod, "R.Končar"Zagreb,TPK Zagreb...) nosioci su naučno-istraživačkog rada u području zavarivanja. U ovom području značajni su i doprinosi mašinskih(strojarskih) fakulteta u zemlji,mada ocjenjujemo da bi oni kao vizionari budućnosti morali biti na istaknutijem mjestu nego što im u ovom trenutku pripada.

Ipak mora se dati opšta ocjena da su ulaganja u organizirani naučno istraživački rad u ovom području nedovoljna i ako se stanje ne promjeni još dugo ćemo plaćati i uvoziti tudje znanje.

4.4. Primjena u proizvodnom mašinstvu

Proizvodnja strojeva,energetske opreme,procesne opreme,nuklearne opreme,transportnih sredstava i drugih proizvoda u oblasti proizvodnog mašijstva protkana je zavarivačkim procesima,U zemlji se primjenjuju gotovo sve vrste zavarivanja mada moderniji procesi nisu zauzeli mjesto koje imaju u svijetu(na pr.zavarivanje pod šljakom, zavarivanje elektronaponskim snopom,zavarivanje otporom,inerciona zavarivanja...).

Zavarivanje u proizvodnji mašina i opreme igra specifičnu ulogu kao dio tehnološkog procesa proizvodnje koji nije tipično mašinski. Zbog toga se često javlja u sporedni položaj pa se počinju javljati mnogi problemi. Zavarivanje bazira na složenim metalurškim procesima pa ga klasični strojarski stručnjak nedovoljno pozna. Trebalo bi zato poći od poznate maksime da u dobro organiziranoj proizvodnji ne ma "glavnih" i "sporednih" postupaka, već samo složenih i jednostavnih i da proizvodni proces ne podnosi loše tehnološke punktove. Zato i zavarivanju treba osigurati ravnopravno i odgovarajuće mjesto u proizvodnom mašinstvu s ciljem optimalnog vodjenja

proizvodnih procesa.

5. REZIME

Analizirajući razvoj i primjenu zavarivanja općenito i s akcentom na proizvodno mašinstvo možemo iznesena razmišljanja rezimirati.

1. Zavarivanje je suvremeno i jedan od najvažnijih načina spajanja materijala u homogenu cjelinu.
2. Zavarivanje i zavareni spojevi se pojavljuju u gotovo svim metalnim proizvodima kao optimalna veza kako s tehničkog tako i s ekonomskog stajališta .
3. Primjena zavarivanja je praktično neograničena,
4. Zavarivanje doživljava daljnu ekspanziju i uspon naročito u industrijskoj primjeni.
5. Obim zavarivanja će rasti na račun drugih tehnologija, a prije svega livenja i obrada skidanjem čestica.
6. Broj ljudi koji se bave zavarivanjem je sve veći.
7. Obrazovni nivo zavarivačkih kadrova u zemlji(naročito zavarivača) nije na odgovarajućem nivou.
8. Razvoj zavarivanja u zemlji je evidentan mada ne postoji organiziran način praćenja trendova tog razvoja, što bi bilo nužno i od općeg interesa.
9. Zavarivanje u proizvodnom mašinstvu igra sve značajniju ulogu.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Kralj Viljem*

NEKOJA SAZNANJA O OSNOVAMA OSNOVNE KINEMATIKE OBLOŽENE ELEKTRODE ZA ELEKTROLUČNO RUČNO ZAVARIVANJE

R e z i m e

Osnovnu kinematiku obložene elektrode je moguće posmatrati u nekom univerzalnom parametričnom prostoru. Onda su pojedine realne osnovne kinematike parametrični pod - - i podpodprostori tog univerzuma.

Za prikaz kinematike elektrode prikladan je oblik putanje izabrane realne tačke na elektrodi. To je ilustrovano sa nekim karakterističnim putanjama koje su dobijene elektronskim računarom.

Istraživanja su dalje u toku.

SOME FINDINGS ABOUT THE BASIS OF FUNDAMENTALS OF KINEMATICS OF COVERED ELECTRODE IN MANUAL ARC WELDING

S u m m a r y

The fundamental kinematic of covered electrode can be observed in a universal parametric space. The individual real fundamental kinematics are then parametric sub - - and subsub - spaces of that universum. For visual showing the kinematic of the electrode is suitable to the form of the trajectory of a chosen real point on the electrode. This is illustrated by some typical trajectories computer calculated.

The investigations are in run.

1. UVOD

Namera ovog izveštaja je da samo naznači filozofsku nadgradnju teoretičnog rešenja i da ne zalazi u pojedinosti egzaktnih rešenja, koja su preobimna i zato treba da budu predmet odvojenog objavljivanja. Dalja namera izveštaja je da izvesti o nekim prvim vidljivim rezultatima teorijskih istraživanja osnova osnovne kinematike obložene elektrode za elektrolučno ručno zavarivanje koja su bila izvršena na Fakulteti za strojništvo u Ljubljani /1/.

Istraživanja kinematike obložene elektrode za ručno elektrolučno zavarivanje započeta su u početku 1966 god., kada su se započela prva istraživanja čoveka - računog zavarivača sa stanovišta biokibernetike na Zavodu za varjenje u Ljubljani u saradnji sa Laboratorijem za biokibernetiku na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani pod mentorstvom prof.dr.mag. Lojzeta Vodovnika, dipl.ing. Od tada dalje bilo je obavljeno više istraživačkih

* Kralj Viljem, dr.mag., dipl.ing., prof., Fakulteta za strojništvo, Univerza E. Kardelja v Ljubljani, Murnikova 2, 61000 Ljubljana

radova u zavodu za varjenje u Ljubljani /2, 3, 4/. Prvi izveštaj o osnovnoj kinematici elektrode bio je dat u Medjunarodnom institutu za zavarivanje 1974. god. /5/.

2. FILOZOFIJA REŠENJA OSNOVA OSNOVNE KINEMATIKE OBLOŽENE ELEKTRODE ZA RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE

Detaljna teoretska i empirijska istraživanja pokazala su da možemo sva kretanja elektrode podeliti u dve osnovne grupe kretanja, koja su poznata iz klasične mehanike, tj. u translatorna ($\vec{v}(t)$) i rotacijska ($\vec{\omega}(t)$) kretanja. Ova su uopšteno po svojim osobinama neograničena i promenljiva i sva zajedno predstavljaju tako zvani univerzalni parametrični prostor ili univerzum, u kojem predstavljaju teorijski neograničen matematički skup elemen-ata:

$$\mathcal{U} = \left\{ \{\vec{v}(t)\} \cup \{\vec{\omega}(t)\} \right\},$$
$$\vec{v}(t) = \text{var.} \gtrless 0,$$
$$\vec{\omega}(t) = \text{var.} \gtrless 0.$$

Ako npr. izaberemo samo po jedan elemenat iz ove grupe kretanja, onda možemo stvarati parametrične podprostore u kojima je po jedan parametar konstantna veličina:

$$A \quad \vec{\omega}(t) = \text{konst.} \gtrless 0$$
$$\vec{v}(t) = \text{var.} \gtrless 0$$

$$B \quad \vec{v}(t) = \text{konst.} \gtrless 0$$
$$\vec{\omega}(t) = \text{var.} \gtrless 0$$

Dalje je moguče svakome od ovih parametričnih podprostora prirediti više parametričnih podpodprostora. Kao npr.:

$$A_1 \quad \vec{\omega}(t) = \text{konst.} \gtrless 0$$
$$\vec{v}(t) = \text{var.} \gtrless 0,$$

koji predstavlja celokupnu familiju osnovnih pokreta elektrode kod zavarivanja sa konstantnim uglom α u odnosu na material. Ali i taj parametrični podpodprostor ima još uv-ek teorijski beskonačno mnogo elemenata ili mogućih pokreta elktrode, i ako je ovaj samo jedan od mnogih mogućih tipičnih familija pokreta elektrode.

Baš ova velika raznolikost svih mogućih načina kretanja elektrode je jedan od glavnih razloga, radi kojega je ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom i danas visoka umetnost.

3. NEKOJA SAZNANJA O OSNOVNOJ KINEMATIKI ELEKTRODE

Na osnovi napred opisane filozofije i izvršenih merenja vremenskih karakteristika odtaljivanja, iskorištenja i drugih karakterističkih veličina na realnim obloženim elektrodama, razvili smo matematične modele za pojedine parametrične podpodprostore osnovne kinematike elektrode i izradili više od 40 različitih programa za elektronski računar koji ujedno i u-crtava trajetorije kretanja npr. hladnog kraja elektrode. Tako smo mogli započeti sa istraživanjem karakterističnih parametričnih podpodprostora osnovne kinematike obložene elektrode.

Tako su prvi put u istoriji elektrolučnog zavarivanja sa obloženim elektrodama izvršena istraživanja osnovne kinematike elektrode sa matematičkim modelima i elektronskim računarom, koji otvaraju ljudskom oku i čulima prilično nedostupan svet kinematike elektrode odn. parametričnih podpodprostora koji pokazuju iznenadjujuće zakonitosti, koje treba tek da se istraži.

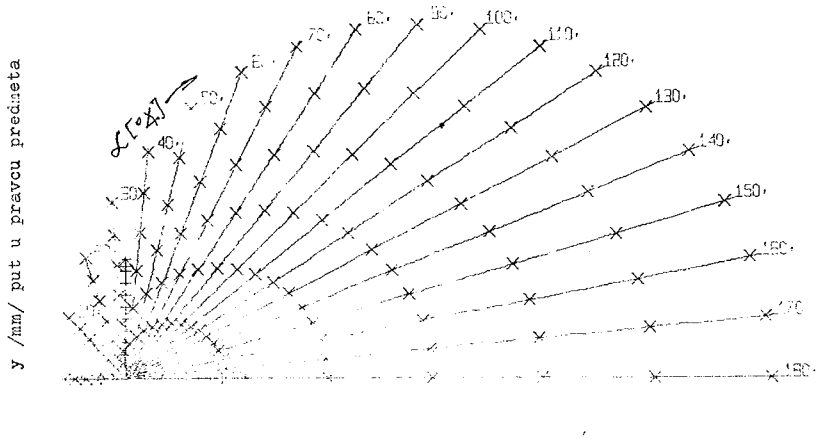
Na sl. 1 prikazane su trajektorije za parametrični podpodprostor zavarivanja sa konstantnim uglom elektrode α - A_1, a na sl. 2 i sl. 3 zavarivanje sa promenljivim uglom elektrode za parametrične podprostore A i B. Možemo uočiti da su oblici trajektorija karakterističnog oblika za pojedine parametrične podpodprostore osnovne kinematike elektrode i da na osnovi toga postoje šire mogućnosti za upoznavanje kinematike elektrode i njenu prim-enu u praksi, što do sada nije bilo moguće.

4. ZAKLJUČCI

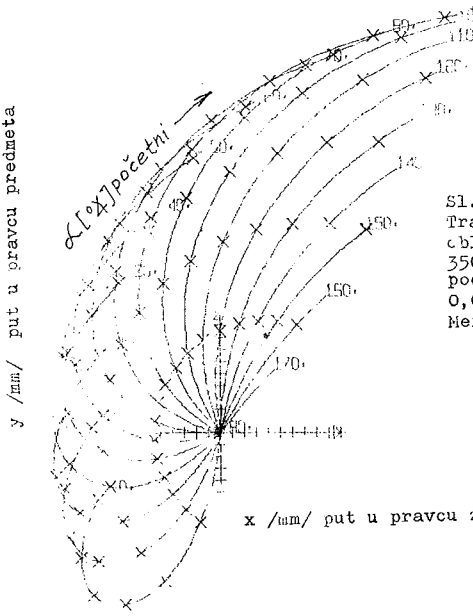
Matematično modeliranje osnovne kinematike elektrode za elektrolučno zavarivanje elektrode pokazuje se kao primenljjivo za izvodjenje različitih istraživanja na području elektrolučnug zavarivanja sa obloženim elektrodama kao i za prim-enu kod zavarivanja samog.

Prvi put u istoriji elektrolučnog zavarivanja sa obloženim elektrodama izvedena su istraživanja sa matematičkim modelima i elektronskim računarima. Izvodjenje daljih istraživanja je potrebno.

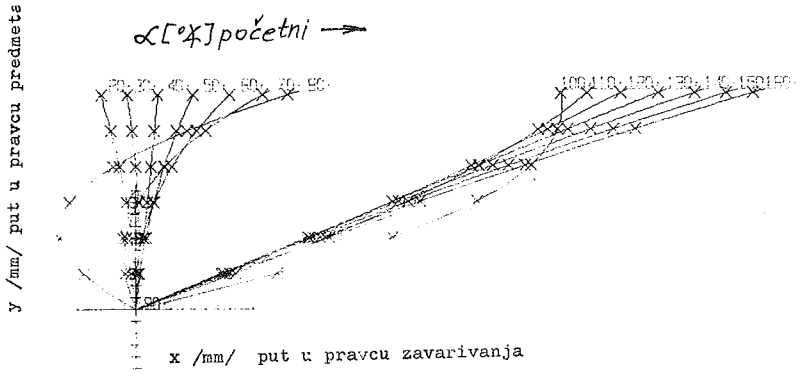
Zahvaljujem se Raziskovalni skupnosti Slovenije za financiranje naučno istraživačkog rada.



Sl. 1: Tra jektorije hladnog kraja za debelo obloženu rutilsku elektrodu 3,25 x 350 mm kod zavarivanja sa konstantnim uglom α = 0 - 180° α . Parametrični podpodprostor: $\vec{\omega}(t)$ = konst. = 0 , $\vec{V}(t)$ = var. > 0 .
Merilo: x- 1 podeok = 10 mm, y- 1 podeok = 10 mm, Δt = 10 s.



Sl. 2:
Trajektorije hladnog kraja za debelo obloženu rutilsku elektrodu 3,25 x 350 mm kod zavarivanja u parametričnom podpodprostoru: $\vec{\omega}(t)$ = konst. = 0,025/s > 0 , $\vec{V}(t)$ = var. > 0.
Merilo: x- 1 podeok = 10 mm,
y- 1 podeok = 10 mm,
Δt = 10 s.



Sl. 3: Trajektorije hladnog kraja za debelo obloženu rutilsku elektrodu 3,25 x 350 mm kod zavarivanja u parametričnom podpodprostoru : $\vec{v}(t)$ konst. = 3,0 mm/s > 0 , $\vec{\omega}(t)$ = var. > 0 . Merilo: x- 1 podeok = 10 mm, y- 1 podeok = 10 mm, Δt = 10 s.

5. LITERATURA

/1/ V. Kralj, B. Pertot, J. Tušek: Kinematika paličaste varilne elektrode, I. faza, Naučno istraživački rad, financiran od Republičke istraživačke zajednice Slovenije. Fakulteta za strojništvo, Univerza E. K. v Ljubljani, Ljubljana 1981.

/2/ V. Kralj: Raziskave biokibernetskih in dinamičnih lastnosti varilca oziroma varilčeve roke pri obločnem varjenju, izdelava metod za vrednotenje varilčeve ročne spretnosti z biokibernetskega stališča in izdelava eksperimentalne testirne naprave in pripomočkov. Naučno istraživački rad, financiran od Republičke istraživačke zajednice Slovenije i Zavoda za varjenje SR Slovenije. Zavod za varjenje SRS, Ljubljana 1968.

/3/ V. Kralj: Biokibernetske raziskave človeka - varilca. Naučno istraživački rad, financiran od Republičke istraživačke zajednice Slovenije in Zavoda za varjenje SRS, Zavod za varjenje SRS, Ljubljana 1973.

/4/ V. Kralj, N. Basarič, F. Švigelj: Raziskava ročnega obločnega varjenja s sredstvi biokibernetike. Naučno istraživački rad, financiran od Republičke istraživačke zajednice Slovenije i Zavoda za varjenje SRS, Zavod za varjenje SRS, Ljubljana 1974.

/5/ V. Kralj: Basis of fundamentals of kinematics of covered electrode in manual arc welding. Doc. IIW/IIS II-B-276-74.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Slobodan Kralj,[+] Djuro Lončar [++]

ELEKTRODE ZA ZAVARIVANJE SIVOG LIJEVA NA HLADNO

R e z i m e

U radu je dan pregled inozemnih i domaćeg standarda, te komparativna tablica elektroda za zavarivanje sivog lijeva na hladno, jugoslavenskih i inozemnih proizvođača. Ispitivani su kemijski sastav, tvrdoća navara, stabilnost električnog luka, koeficijenti taljenja elektroda, a sprovedena su i metalografska ispitivanja zavara.

THE ELECTRODES FOR WELDING OF CAST IRON

S u m m a r y

The survey of national and foreign standards for electrodes for welding of cast iron is given in this article, together with comparative data on electrodes manufactured in Yugoslavia and abroad. Chemical composition, hardness of a bead, arc stability and burn off rate were tested. Also metalographic testing of welds was performed.

1. Općenito o elektrodama za zavarivanje sivnog lijeva na hladno

Uvod

Cilj rada bio je ispitivanje tehnoloških svojstava elektroda za zavarivanje sivog lijeva na hladno, radi usporedbe domaćih i inozemnih elektroda. Ispitivane su elektrode sva četiri domaća proizvođača (ali ne kompletni asortimani) i neke elektrode proizvođača iz Evrope, koje smo imali na raspolaganju. Problem je zanimljiv zato što pri reparaturnom zavarivanju sivog lijeva postoji uvijek mogućnost neuspjeha. Često se za neuspješno zavarivanje krivica prebacuje na loš kvalitet elektroda. U ovom radu se je nastojalo dati objektivan odgovor da li postoje bitne razlike u kvaliteti između pojedinih elektroda. Analiza je provedena na osnovi ispitivanja tvrdoće navara i stabilnosti električnog luka. Radi usporedbe vršeno je i ispitivanje koeficijenta taljenja, koji međutim obično nisu jako bitni u reparaturnom zavarivanju. Osim ovih ispitivanja provedena su metalografska ispitivanja navarenih spojeva.

Zavarljivost sivog lijeva

Najveći problem pri zavarivanju sivog lijeva predstavlja njegova slaba istezljivost, odnosno nedovoljna plastičnost. Mala istezljivost rezultat je velikog sadržaja ugljika, koji je izlučen u obliku grafita. Najnepovoljniji oblik je grafit izlučen u listićima. Pri zavarivanju dolazi do rastezanja okolice zavara i nakon zavarivanja do stezanja zavara i okolice zavara. Sivi lijev koji ima malu plastičnost ne omogućava to stezanje zato se pri zavarivanju na hladno koriste elektrode koje imaju dobru istezljivost. To su obično legure metala s dobrom istezljivošću ili elektrode koje sadrže skoro čisti nikalj.

Pregled standarda

Standardi koji obuhvaćaju obložene elektrode za zavarivanje sivog lijeva na hladno pokazuju da na ovom području nije još sve definirano i da postoje velike mogućnosti za proizvođača elektroda u pogledu poboljšanja svojstava elektroda.

[+] Slobodan Kralj, mr. dipl. inž. strojarstva, znanstveni asistent, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 41000 Zagreb, Djure Salaja 1.

[++] Djuro Lončar, mr. dipl.inž. metalurgije, rukovodilac razvoja "Elektroda", - tvornica elektroda i strojeva za tehniku zavarivanja, 41000 Zagreb, Radnička c. 57.

U ovom dijelu rada dan je prikaz samo nekih poznatijih standarda i prijedlog jugoslavenskog standarda.

DIN-standard

Standard DIN 8573 je najdetaljniji te je stavljen na prvo mjesto. U članku je dan prikaz samo najvažnijih dijelova standarda. Standard obuhvaća obložene elektrode za zavarivanje sivog lijeva s lamelarnim grafitom, kuglastim grafitom i za temper lijev. Za primjenu elektroda u pravilu mjerodavan je sastav metala zavara. Sastav se samo u izuzetnim slučajevima podudara sa sastavom osnovnog materijala, zato ne postoje granice za legirajuće elemente. Podjela elektroda je izvršena prema kemijskom sastavu jezgre, ali svojstva zavara znatno ovise osim o sastavu jezgre i o oblozi i legiranju iz obloge. Elektrode su podijeljene u tri grupe, na bazi Ni, na bazi NiFe i na bazi NiCu.

Ni-elektroda ima jezgru od nikla (više od 98% Ni). Sastav zavara sastoji se od mješovitih kristala bogatih niklom. Veća količina fosfora u osnovnom materijalu ograničava primjenjivost. Zavarivačka talina ima dobro razlijevanje. Zavar je dobro obradiv i istezljiv. Tvrdoća mu iznosi 150-175 HB. Boja zavara je slična boji osnovnog materijala.

NiFe-Elektroda ima jezgru od feronikla (52-60% Ni i više od 37% Fe). Sastav zavara je od austenitnih miješanih kristala. Zavar je dobro obradiv i istezljiv. Tvrdoća mu iznosi približno 200 HB. Boja zavara je slična boji osnovnog materijala.

NiCu-Elektroda ima jezgru od nikla i bakra (55-70% Ni, 30-43% Cu; uz dodatak Mn i Fe). Zavar se sastoji od Ni-Cu mješovitih kristala. Osjetljivost zavara prema legirajućim elementima osnovnog materijala je veća nego kod Ni i NiFe tipova. Zavar je dobro obradiv i istezljiv. Tvrdoća mu je približno 170 HB. Boja zavara odgovara uglavnom boji osnovnog materijala. Prema istom standardu standardizirane su i obloge kao i način označavanja elektroda. Obloge su označene na slijedeći način:

B - bazični tip obloga
G - grafitni tip obloge
S - obloga koja sadrži talilo
V - ostale obloge koje ne spadaju u B, G ili S tip.

ASTM - AWS (AWS A5.15-69)

Prema American Society for Testing Materials i American Welding Society elektrode za zavarivanje sivog lijeva na hladno su klasificirane prema kemijskom sastavu jezgre, slično kao i prema DIN standardu. Elektrode na bazi NiCu podjeljene su u dvije grupe 55-60% Ni i 63-70% Ni.

Tablica 1. Pregled elektroda za zavarivanje sivog lijeva na hladno domaćih i poznatijih evropskih proizvođača

	Baza Ni	Baza NiFe	Baza NiCu
Elektroda - Zagreb	EZ - Nikal-10	EZ - FeNikol	EZ - Monel
Željezarna - Jesenice	Superfonte Ni	Superfonte NiFe	Superfonte Mo
RMK - Zenica	ZEN E 98 Ni	ZEN E 55 NiFe	-
UNIS - UTP Mostar	UNIS - UTP 8 UNIS - UTP 88H	UNIS-UTP 84 FN	-
CASTOLIN - Švicarska	CASTOLIN 2-24 CASTOLIN 2-44 (XUPER - LIFE)	CASTOLIN 25 CASTOLIN 2-23 (XUPER-LIFE)	
ESAB - Švedska	OK Selectrode 92.18	OK Selectrode 92.58	OK Selectrode 92.78
MESSER GRIESHEIM SR Njemačka	GRICAST 1 (GNK) GRICAST 11 GRICAST 12	GRICAST 31 GRICAST 32 GRICAST 3 (NIF25)	GRICAST 6 (Fonda)
Böhler - Austrija	FOX GNI	FOX GNX	FOX GF W
ARCOS Italija/Francuska	MIXEND Ni MIXAL 31	MIXEND NF MICAL 20	MIXEND MIXAL 11
Thyssen (Phönix-Union) SR Njemačka	SH HELLBLAU NICKEL	SH HELLBLAU FeNi	SH HELLBLAU Monel

Isto tako su i oznake tipa elektroda kao i od DIN standarda prilagođene ISO oznakama. Standardizirani su promjer i i duljine elektroda kao i način označavanja.

JUS
Prema prijedlogu standarda JUS C.H3. 016 iz 1981. godine elektrode su podijeljene prema kemijskom sastavu metala zavara u četiri grupe slično kao kod ASTM-AWS standarda). Prijedlog je kao i prethodno dva standarda u skladu sa standardom Međunarodne organizacije za standardizaciju ISO-R1071.

Osvrt na prikaze standarda
Iz ovog kratkog djelomičnog pregleda standarda vidi se da je u tim standardima na podjednak način vršena podjela elektroda. Postoji uglavnom veća razlika samo u označavanju elektroda dok suštinska razlika ne postoji. Iako i DIN i ASTM-AWS standardi dosta detaljno obuhvaćaju glavne tipove elektroda postoji još uvijek velika mogućnost za dobivanje različitih svojstava preko obloge elektrode. Poznato je da su skoro sve recepture za izradu obloga tvorničke tajne i to je bitan uzrok zašto su neke elektrode bolje ili lošije od drugih.

Pregled elektroda za zavarivanje sivog lijeva na hladno

U komparativnoj tablici 1. dan je pregled elektroda domaćih i poznatijih evropskih proizvođača, prema kemijskom sastavu jezgre.

2. Eksperimentalni rad

Opis pokusa
Ispitivanja su provedena na slijedećim elektrodama domaćih i stranih proizvođača, tablica 2. Sve ispitivane elektrode bile su promjera Ø 3,25 mm.

Tablica 2: Elektrode s kojima su vršeni pokusi

Osnovice jezgre	Elektrode dom proizvođača	Elektrode str.proizv.
Ni	EZ-Nikal-10 Superforte-Ni UNIS -8 UNIS -88H ZEN-E 98 Ni	CASTOLIN 2-44 GRICAST -1 MIXAL 31
NiFe	EZ-FeNikal UNIS - 84 FN	CASTOLIN 2-23 GRICAST . 31

Kemijska analiza jezgre
Jedina standardom predviđena metoda koja se smatra kao osnova za podjelu elektroda je kemijska analiza jezgre ili metala zavara. Analiza sastava jezgre izvršena je u laboratoriju RO "Elektroda" Zagreb. Kemijska analiza jezgre vršena je za elektrode na bazi nikla i to samo ugljik i nikl. Za elektrode na bazi FeNi nije vršena kemijska analiza jezgre.

Navarivanje
Navarivanja su izvršena samo u položenom položaju na pločama iz sivog feritnog lijeva 200x100x10 mm. Svakom elektrodom izvršena su tri navara dužine približno 60 mm s parametrima navedenim u katalozima proizvođača. Prvi navar izveden je s minimalnom strujom navarivanja, drugi sa srednjom, a treći s maksimalnom strujom koja je navedena u katalogu. Ploče od sivog lijeva bile su pjeskarene prije navarivanja. Izvor struje bio je rotacioni stroj KHD 375 "Uljanik", tako da su sva navarivanja izvedena istosmjernom strujom uz odgovarajući polaritet. Svaki navar polagan je na ploču slobodno ohlađenu do sobne temperature.

Ispitivanje tvrdoće
Tvrdoća je ispitivana metodom Vickersa (HV10). Ispitivana je tvrdoća navara i prijelazne zone. Za vrijednost dobivene ispitivanjem izračunate su prosječne tvrdoće.

Ispitivanje stabilnosti električnog luka
Ispitivanja stabilnosti električnog luka odnosno određivanje prekidne dužine luka izvršene su prema metodi Hrenova. Ispitivanje je obavljeno u Laboratoriju za zavarivanje FSB Zagreb pomoću naprave vlastite izrade. Prekidna dužina luka ispituje se tako da se elektroda pričvrsti na udaljenost 3-4 mm od ploče za navarivanje. Luk se uspostavi ugljenom elektrodom. S taljenjem elektrode luk se povećava, dok ne dođe do njegovog prekida. Razmak između vrha elektrode i navara na ploči u trenutku prekida luka uzima se kao brojčana karakteristika ionizirajuće sposobnosti obloge elektrode. Ispitivanje je vršeno pri srednjoj struji koja je naznačena u katalogu.

Ispitivanje koeficijenta taljenja.
Koeficijent taljenja je izračunavan prema formuli:

$$\alpha = \frac{G}{I \cdot t}$$

G - masa istaljene elektrode za vrijeme t
I - struja zavarivanja
t - vrijeme taljenja elektrode (održavanje električnog luka)

Metalografska ispitivanja
Od svih navarenih ploča uzeti su uzorci za metalografska ispitivanja. Načinjeni su makrosnimci pri povećanju od 3 do 5 puta, a struktura je ispitivana pri povećanju od 250 puta. Makrosnimci su korišteni za analizu tehnoloških grešaka koje se javljaju pri navarivanju, npr. vezivanje, pore, pukotine, uključene troske itd.

Tablica 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Osnovica jezgre	Naziv elektrode	% C prema DIN 8573 MAX 0,15%	% Ni prema DIN 8573 MIN 96%	Tvrdoća HV. Podaci iz kataloga	Rezultati mjerenja tvrdoće HV 10	Vrsta struje (Polaritet)	Struja navarivanja (stabilnost i koef. taljenja) A +	Stabilnost električnog luka	Koeficijent taljenja $\frac{g}{A \cdot min}$
Ni	EZ-Nikalj-10	0,078	99,06	175	179	=(-)	100	14	0,167
	SUPERFONTE-Ni	0,075	96,86	160	185	=(-)	95	8	0,066
	UNIS - 8	0,076	98,62	175	194	=(-)	95	10	0,159
	UNIS - 88 H	0,081	97,75	175	189	=(-)	100	11	0,142
	ŽEN-E 98 Ni	0,083	98,30	160	167	=(-)	110	11	0,117
	CASTOLIN 2-44 (KUPFER-LIFE)	0,070	96,58	160-190	302	=(-)	110	8	0,067
	GRICAST - 1	0,072	98,17	150	172	=(-)	100	12	0,098
	MIKAL 31	0,011	99,98	160	178	=(-)	85	8	0,157
NiFe	EZ-FeNIKALJ			190	200	=(-)	130	14	0,154
	UNIS-84 FN			180	183	=(-)	115	16	0,151
	CASTOLIN 2-23 (KUPER-LIFE)			170-200	208	=(+)	110	7	0,107
	GRICAST - 31			180	250	=(-)	120	14	0,124

+) Polaritet i struja pri navarivanju bili su prema podacima iz kataloga osim kod elektroda ŽEN-E 98Ni i EZ-FeNikal. Te elektrode su prema podacima iz kataloga trebale biti na (+) polu, a struje zavarivanja su trebale biti 70-90A za prvu elektrodu i 95-115A za drugu elektrodu. Pri radu s parametrima navedenim u katalozima te elektrode davale su navare loše kvalitete, tako da se je zoralo raditi s parametrima navedenim u gornjoj tablici.

Rezultati

Rezultati ispitivanja kemijskog sastava tvrdoće, stabilnosti električnog luka i koeficijenta taljenja prikazani su u tablici br. 3.

Rezultati metalografskih ispitivanja strukture pokazali su da sve elektrode istog tipa daju podjednaku strukturu navara i strukturu prijelazne zone. Navari su sadržavali nešto grafita, dok se je u prijelaznoj zoni redovito javljao martenzit, zaostali austenit i nešto troostita. U navarima nije bilo tehnoloških grešaka osim pojave pora u navarima izvedenim elektrodama GRICAST-1, GRICAST-31 i UNIS-8. Pore u ovim slučajevima su mogle biti uzrokovane neodgovarajućim skladištenjem zbog toga što su elektrode bile uzimane iz otvorenih paketa koji su stajali duže vrijeme u skladištu. Mjerenja geometrijskih veličina navara su pokazala da se penetracija i nadvišenja kreću od 1,6 do 2,8 mm, a širine navara od 5 do 9 mm, što je u skladu s općim zakonitostima odnosno ovisnosti o struji zavarivanja.

Analiza rezultata

Statistička analiza rezultata nije vršena zbog premalog broja uzoraka i načina uzimanja uzoraka. Uzorci elektroda su uzimani sa skladišta iz otvorenih i zatvorenih paketa različite starosti. Unatoč nesistematičnom pristupu uzimanja uzoraka, i bez statističke analize na osnovi rezultata iz tablice 3 može se primjetiti slijedeće: sve elektrode iz grupe s jezgrom gdje je osnovni element Ni uglavnom zadovoljavaju standarde u pogledu postotka C i Ni. Podaci za tvrdoću iz kataloga proizvođača uglavnom odgovaraju izmjerenim vrijednostima tvrdoće, osim kod elektrode CASTOLIN 2-44 i GRICAST-31, gdje su izmjerene vrijednosti znatno veće. Izmjerene vrijednosti tvrdoće u tablici su nešto veće od vrijednosti iz kataloga ali to može biti uzrokovano različitim metodama mjerenja. Podaci za vrstu, jakost i polaritet struje iz kataloga uglavnom odgovaraju parametrima s kojima se postižu dobri rezultati, osim kod elektroda ŽEN-E 98Ni i EZ-FeNikl gdje je u katalogu naveden obratan polaritet od potrebnog i slabija struja od stvarno potrebne struje. Uzrok tome može biti promjena sastava obloge u proizvodnji ili zastarjelost podataka. Što se tiče stabilnosti električnog luka tu ima dosta velikih razlika unutar pojedine grupe elektroda, što je uzrokovano različitim tipovima obloge, međutim nije primjećeno da stabilnost električnog luka ima većeg utjecaja na kvalitet navara. Koeficijenti taljenja se također jako razlikuju ali pri reparaturnom zavarivanju sivog lijeva na hladno nemaju bitnog utjecaja, jer se tu prvenstveno zahtijeva kvalitet reparature a zatim tek ostalo.

3. Umjesto zaključka

Pregledom standarda ustanovljeno je da DIN i ASTM-AWS standardi kao i prijedlog JUS-a na sličan način obrađuju elektrode za zavarivanje sivog lijeva na hladno. Na osnovi rezultata ispitivanja može se reći da podaci iz kataloga proizvođača uglavnom odgovaraju rezultatima mjerenja, ali i da se mogu pojaviti odstupanja. Potrebno bi bilo izvršiti detaljnija i sistematska istraživanja da bi se moglo ustanoviti u kojim slučajevima dolazi do razlike između podataka proizvođača i rezultata mjerenja. Nakon ovih ispitivanja u tvornici "Elektroda" Zagreb izvršena je korekcija sastava obloge i podataka za elektrodu EZ-FeNikl. Na kraju i bez detaljnije analize i brojnijih ispitivanja može se tvrditi da nema kvalitativnih razlika između domaćih i inozemnih elektroda za zavarivanje sivog lijeva na hladno.

XVI. SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,
MOSTAR 1982. GOD.

dr. Viktor Prosenc, prof., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
Ivan Polajnar, asist., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

ISPITIVANJE ZAVARLJIVOSTI MARTENZITNIH I FERITNOMARTENZITNIH ČELIKA PRIMJENOM AKUSTIČNE EMISIJE ZAVARA

Rezime

Zavarljivost martenzitnih i feritno-martenzitnih čelika uvjek je problematična. Kod osnovnog materiala JL 13/4 istaklo se, da ima postotak Cr i Si veliki uticaj na žilavost zavara. Kod zavarivanja nužno je predgrijavanje; kao neugodna se istakla temp. 175° C. Aktivnost akustične emisije (AEE) podudara se sa žilavošću i tvrdočom zavara. Kod upotrebe MAG-postupka i nelegiranog dodatnog materiala AAE je manja. kao kod martenzitnih elektroda.

SCHWEISSBARKEITSUNTERSUCHUNGEN DER MARTENSITISCHEN UND FERRITISCH MARTENSITISCHEN STÄHLE MIT ANWENDUNG VON MESSUNGEN DER AKUSTISCHEN EMISSION

Zusammenfassung

Schweissbarkeit der martensitischen und ferritsch - martensitischen Stähle ist immer sehr problematisch. Beim Grundwerkstoff JL 13/4 wurde als äusserst wihtig richtige chemische Analyse, betreffs Cr und Si und deren Einfluss auf Kerbschlagzähigkait der Schweissungen gefunden. Eine Vorwärmung beim Schweissen ist immer notwendig; 175° C stellt sich als ungünstige Temperatur aus. Aktivität der akustischen Emission ist im guten Einvernehmen mit der Zähigkeit und Härte der Schweissnaht. Beim MAG - Schweissen mit unlegierten Zusatzmaterial ist AAE weniger ausgeprägt als bei der Anwendung der umhüllten martensitischen Elektroden.

1. Uvod

Zavarivanje martenzitnih i martenzitno-feritnih visoko legiranih čelika je uvjek vezano sa poteškočama. Velika tvrdoća i martenzitna struktura u zavaru je i kod zavarivanja predgrijavanjem uvjek prisutna. Predgrijavanjem snižava se opasnost od pukotina do za praktičnu primenu možnog stupnja. U praksi su poznati već dosada tehnologični parametri za zavarivanje i termičku obradu zavara. Kao kritične temperature, koje vode do krtosti, navode se od 400 do 600 °C [1], [2] i [3].

2. Material

Kao osnovni material u ovom istraživanju primenio se čelični liv, oznakom JL 13/4. Kemični sastav šarži bio je u glavnome u granicama (ut-%):

C	0,06	0,08
Si	0,37	0,47
Mn	0,48	0,55
P	0,017	0,017
S	0,015	0,017
Cr	12,8	14,0
Mo	0,06	0,07
Ni	3,72	4,01
Cu	0,10	0,11

U nekim šaržama bila su otstupanja u sastavu u pogledu Si in Cr i to i Si više od 0,75 % i Cr ispod 11 %.
Kao dodatni material bile su primenjene obložene elektrode INOX 13/6 i Böhler Fox 13/4, kao i nelegirana žica VAC 60, kod zavarivanja MAG postupkom zaštitnom atmosferom CO_2, kao i postupkom MIG.

3. Metoda ispitivanja
Za uvod bili su izradjeni na osnovnom materialu za ocenu žilavosti pokusi na klatnu sa podesivom udarnom energijom i mogučnostima snimanja utrošene energije na osciloskopu.
U nastavku istraživanja bili su izradjeni probni zavari kao sučeoni spojevi i navarivanje u žlijebu na prosto ležečim pločama, sa i bez predgrijavanja. Iz zavarenih ploča bile su izradjene epruvete za ispitivanje mehaničkih osobina (čvrstoča, žilavosti, pregib i merenje tvrdoče). Za vreme hladjenja zavara od temperature zavarivanja bila je pračena u vremenu od 30 minuta aktivnost akustične emisije.

Paralelno bili su izradjeni pod istim uslovima i zavari na mikrolegiranom čeliku NOVAL 47 martenzitnim obloženim elektrodama i žicom VAC 60 s namenom, da bi se usporedili rezultati pračenja akustične emisije sa čelikom JL 13/4.

4. Rezultati mehaničkog ispitivanja osnovnog materiala
Kod utvrdjivanja žilavosti osnovnog materiala bilo je pronadjeno vrlo veliko sipanje rezultata od jedne šarže do druge. Ovo je osobito jako izraženo kod šarža sa suviše niskim postotkom kroma i kod visokog silicija (28...63 J). Interesantno je i dejstvo, da ova otstupanja smanjuju se kod ispitivanja udarne žilavosti na niskim temperaturama (13...21 J kod temp. -40 °C). Kod visokih vrednosti žilavosti udeo energije do maksimalne sile iznosi samo oko 30 % od ukupno utrošene energije, a kod niskih vrednosti ovaj dio iznosi vise od 50 %.

Ovo je potvrdila i metalografska mikroanaliza, te izgled prelomnih površina proba za žilavost. Prelom je bio kod niskih žilavosti potpuno krt, a martenzit u izbruscima vrlo grub.

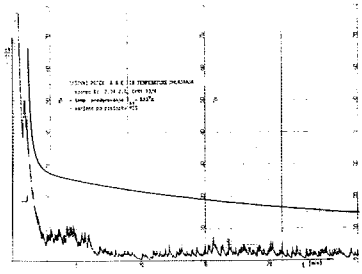
5. Mehansko ispitivanje zavara
Kod pregibnih pokusa zavara zavarenih elektrodom INOX 13/6 bili su postignuti progibi do 180 °, a pri elektrodama Böhler 13/4 pojavile su se pukotine već kod pregiba od 40 °.

Čvrstoča i granica puzanja bile su u za ovaj material odgovarjajučim granicama.

Kod ispitivanja udarne žilavosti bilo je i tu pronadjeno veliko sipanje rezultata. Zavari su bili izradjeni sa predgrijavanjem na 100, 175, 250 i 325 °C, te kod temperature okoline, a ispitivanje žilavosti bilo je izvedeno kod plus 20 °C i minus 20 oC. Kod svih pokusa temperatura predgrijavanja na 175 °C dala je lošije rezultate od 100 °C i 250 °C. Ovo je bilo pronadjeno kod svih dodatnih materiala, kod martenzitnih elektroda i nelegirane žice VAC 60. Kod ove temperature bila je pronadjena i maksimalna tvrdoča u zavaru odnosno u prekaznoj coni.

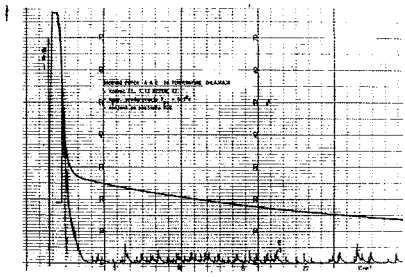
6. Merenje akustičke emisije
Na specialno pripremljenim epruvetama bila je posle zavarivanja pračena akustična emisija. Posle gašenja električnog luka sa zavara bila je brzo uklonjena šlaka i onda za vreme 30 minuta beležena aktivnost akustične emisije na oscilografu. Na oscilografu bila je snimljena i temperatura hladjenja epruvete do temperature predgrevanja. Istovremeno na "storage osciloskopu" registrirala se suma svih impulza akustične emisije u odvisnosti od vremena posle prekida gorenja električnog luka. Time je bilo omogučeno za svaki vremenski period utvrditi broj impulza generisanih do ovog vremena celokupno ili u odredjenom vremenskom intervalu, to je aktivnost akustične emisije (AAE).

A



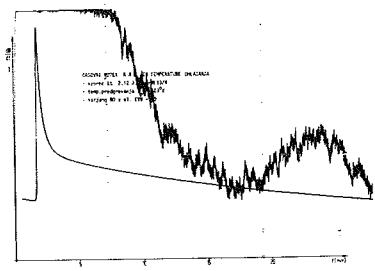
JL CrNi 13/4 - MIG postupak - dodatni materijal VAC 60

B



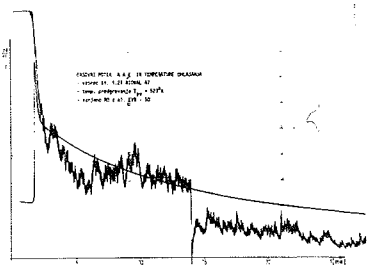
NIOVAL 47 - MIG postupak - dadatni materijal VAC 60

C



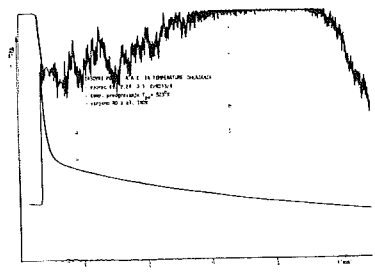
JL CrNi 13/4 - ručno elektrolučno-elektroda EVB-50

D



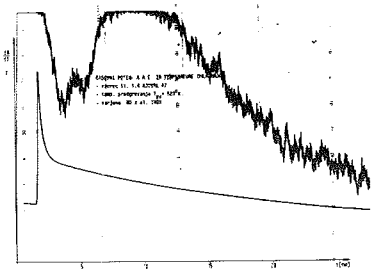
NIOVAL 47 - ručno elektrolučno-elektroda EVB-50

E



JL CrNi 13/4 - ručno elektrolučno -elektroda INOX 13/6

F



NIOVAL 47 - ručno elektrolučno-elektroda INOX 13/6

Kod uporedjenja oscilograma na kojima je data AAE $\left(\frac{dN}{dt}\right)$ za vreme 30 minuta u zavisnosti od vremena (t) može se uočiti, da je ova odvisna u glavnome od transformacije avstenitne faze u martenzit i od mase raztopljenog metala, koji je u ovoj transformaciji bio prisutan. Na sledečim diagramima ova zavisnost je podata za primer zavarivanja martenzitnog osnovnog materiala JL 13/4 i mikrolegiranog čelika NIOVAL 47 dodatnim materialom VAC 60, te obloženim elektrodama EVB-50 i INOX 13/6, kod temperature predgrevanja 523 K. Na diagramima je registrirana i kriva temperatura epruvete (približno).

Na slikoma A, C i E su grafovi AAE zavara na osnovnom materialu JL CrNi 13/4, a na slikama B, D i F na materialu NIOVAL 47. Na slikama A i B je bilo vareno po postupku MIG, dodatnim materialom VAC 60, na slikama C i D obloženom elektrodom EVB-50, a na slikama E i F sa obloženom martenzitnom elektrodom INOX 13/6.

AAE je kod martenzitnog materiala na svim grafovima mnogo jača, kao kod mikrolegiranog čelika. Nadalje je AAE i mnogo jača kod dodatnog materiala, odnosno zavara kad je masa čelika koji je prešao martenzitnu transformaciju veča (u A veča kao u B, u C veča kao u D i u E veča kao u F).

Iz ovih uporedjenja može se zaključiti, da praćenje AAE može poslužiti kao eksperimentalna metoda za ocenu kvalitete zavara, ali potrebno je izraditi kriterije za kvantitativne presude rezultata. Osim toga kod ove metode uvjek je prisutno vrlo mnogo nespecifičnih signala, kojim se težko pronadje izvor.

7. Literatura

[1] Kosec, L. i F. Vodopivec: Toplotna obdelava kromnikljeve jeklene litine, Kongres ljevača, Split, 1977 str. 3...14.

[2] Bery G. i R. Brook: Tempered Martensite Embrittlement in a 12 % Cr Steel, Mat. Science, 46 (1975)9, str. 460...471

[3] Mayrhofer, M., Ponschab, H. in Schütz, H.: Erfahrungen bei der Verarbeitung schweissbarer hochlegierter martensitischer Cr Ni Stähle, Berg Hüttenmän. Monatsh. 126(1981) maj, str. 173...178.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

Božidar Kovačević*
Marijan Streny

NEKI PRIMJERI OPTIMALIZACIJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA U PROIZVODNJI ENERGETSKE I PROCESNE OPREME

R e z i m e

Jedna od najznačajnijih tehnologija prerade metala u proizvodnji energetske i procesne opreme je tehnologija zavarivanja. Brojne su mogućnosti optimalizacije te tehnologije. Tekst obrađuje problematiku optimalizacije zavarivanja cijevi s cijevnom stijenom blok kotlova.

EINIGE BEISPIELE DER OPTIMALISATION DES SCHWEISSENS BEI DER HERSTELLUNG DER ENERGETISCH UND PROZESSRÜSTUNG

Z u s a m m e n f a s s u n g

Eine der bedentensten Technologien der Metalverarbeitung der Energetisch- und Prozessrüstung ist die Tehnologie des Schweissens.

Es bestehen zahlreiche Möglichkeiten der Optimalisation dieser Tehnologie. Der Text bearbeitet die Problematik der Optimalisation des Schweissens der Rohre an die Rohrboden der Blockkessel.

1. Uvod

Tehnologija prerade metala, koja je nesumnjivo najviše zastupljena u proizvodnji energetske i procesne opreme, je tehnologija zavarivanja i srodnih tehnika. Svaka operacija rada u proizvodnji može se racionalizirati na više načina, no samo je jedno rješenje optimalno. Referat obrađuje neke primjere optimalizacije zavarivanja, odnosno spajanja cijevi s cijevnom stijenom kotlova.

Naime, sve su veći zahtjevi na zavarene spojeve cijevi s cijevnom stijenom blok kotlova. Uz to

* Božidar Kovačević, dipl.inž.stroj.
Marijan Streny, dipl.inž.stroj.
TPK - OOUR Zavod za energetsku i procesnu opremu, 41ooo Zagreb, Žitnjak b.b.

racionalizacija i ekonomičnost proizvodnje dovode neizostavno do potrebe za razvojem poluautomatiziranih i automatiziranih uređaja za zavarivanje cijevi s cijevnom stijenom. Pri tome se uvijek nastoji da se spoj izvede u istom položaju kao i kod uvlačenja cijevi u kotao, što znači da su cijevi u vodoravnom, a cijevne stijene u okomitom položaju. To je ujedno i najnepovoljniji položaj za izvođenje zavarivanja, ali je sa stajališta ekonomike i sigurnosti zavarivača najpovoljniji. Time se izbjegava okretanje kotla u labilan, vertikalni položaj i rad zavarivača na visini.

Optimalizacija postupka može se ostvariti na nekoliko načina:

- primjenom poluautomatskog MAG zavarivanja u kombinaciji s REL zavarivanjem;
- primjenom MAG zavarivanja s jednostavnim držačem pištolja za zavarivanje koji osigurava kružno vođenje pištolja;
- primjenom automatiziranog uređaja za MIG/MAG zavarivanje;
- primjenom eksplozije.

Posljednje nabrojani postupak je svakako najprivlačniji sa stajališta ekonomike, jer je eksploziv vrlo jeftin, a djelovanje eksploziva trenutačno. Međutim nakon prvih provedenih pokusa pokazalo se da je zavarivanje cijevi u cijevnu stijenu primjenom eksplozije, uz relativno tanku cijevnu stijenu i relativno veliku debljinu cijevi, gotovo nemoguće. Primjena bi bila moguća eventualno kod izmjenjivača topline, kod kojih su cijevne stijene debele, a cijevi tanke. No ni na takovom modelu nije dobiven pouzdan uvaljani spoj. Pokusima koji su u toku utvrditi će se da li je primjena eksplozije kod spajanja cijevi u cjevnu stijenu pouzdana.

Primjena MAG u kombinaciji s REL zavarivanjem ili samo primjena REL zavarivanja je u današnjim uvjetima optimalna. Daje pouzdane zavarene spojeve, iako je cijena tako izvedenih spojeva vrlo visoka.

Ako se uzme u obzir da ozbiljniji proizvođači blok kotlova dnevno izvedu nekoliko stotina takovih istovjetnih spojeva, jasna je težnja za potpunom automatizacijom ovog zavarivanja. Međutim, mehanizirano zavarivanje cijevi u okomito postavljenu cijevnu stijenu moguće je izvesti samo s takovim automatom, koji se bitno razlikuje od ostalih automatiziranih uređaja za zavarivanje.

2. Zahtjevi na automat

Specifični i vrlo strogi zahtjevi na automat za zavarivanje cijevi s cijevnom stijenom su slijedeći:

1. Sve komponente postrojenja moraju garantirati konstantnost i reproducibilnost izabranih parametara.
2. Vođenje luka po kružnoj putanji oko osi cijevi koju treba zavariti mora biti vrlo precizno.
3. Upravljački i regulacioni ormarić mora osigurati mogućnost promjene parametara zavarivanja na kružnoj putanji oko cijevi.
4. Izvor struje mora omogućiti brze promjene struje i napona prema određenom programu.

Dodatne zahtjeve diktira racionalizacija ovog zavarivačkog procesa. Ti zahtjevi su slijedeći:

1. Namještanje glave uređaja za zavarivanje mora biti omogućeno u položaju kada je cijevna stijena

uspravna.

2. Centriranje i namještanje glave za zavarivanje mora biti brzo i jednostavno. Ovaj proces se mora što više mehanizirati, da bi se olakšao rad zavarivača.

3. Na osnovu kvalitetnih, metalurških ali i ekonomskih stajališta, kao i s obzirom na mnogostrana područja primjene, glava bi morala biti primjenjiva za MIG ili MAG postupak zavarivanja.

4. Proces zavarivanja bi se morao odvijati automatski pritiskom na dugme prema programu koji je namješten za određene uvjete.

5. Priprema spojeva za zavarivanje morala bi biti uobičajena, kao i za ručne klasične tehnike rada, eventualno s povećanim zahtjevima na čistoću zavarenog spoja.

Nabrojeni su samo najznačajniji zahtjevi, dok su oni sporedni navedeni u daljnjem tekstu.

3. Izvođenje preliminarnih pokusa

Na temelju plana pokusa, a s uređajem koji zadovoljava postavljene uvjete, prišlo se odgovarajućim ispitivanjima mogućnosti primjene automata. Faktorskom analizom nekih parametara zavarivanja u dva nivoa došlo se do slijedećih zaključaka:

- dobro provarivanje korijena moguće je postići zavarivanjem odozgo na dolje i odozdo na gore;
- najjači utjecaj na provarivanje imaju struja i napon zavarivanja, a u manjoj mjeri i smjer;
- utjecaj kemijskog sastava dodatnog materijala i plina je zanemarivo mali.

Iz ovih zaključaka slijedi da je primjena automatiziranog uređaja moguća, ali da je potrebno izvršiti daljnje planiranje pokusa.

4. Planiranje pokusa za dalji rad

Na temelju rezultata dosadašnjih istraživanja mogu se odrediti smjernice za daljnji rad.

4.1. Izvor

Ispitivanjima se pokazalo da je izvor struje adekvatan za ovaj uređaj i da se može primjeniti za zavarivanje kratkim lukom žicom promjera Ø 1,0 mm.

4.2. Zaštitni plin

Pokusima je utvrđeno da zaštitni plin nema znatan utjecaj na penetraciju. Pokuse bi trebalo proširiti na mješavinu CO_2 + Ar + O_2. Ta mješavina će sigurno imati utjecaj na penetraciju radi argona.

4.3. Žica za zavarivanje

Utjecaj dodatnog materijala na penetraciju je vrlo mali, pa će se u daljnjim pokusima upotrijebiti žica VAC 60, Ø 1 mm. Međutim, s obzirom na pouzdanost rada automata tokom dužeg vremena za vrijeme pokusa došlo se zapažanjem do slijedećih zaključaka:

- žica mora biti okrugla, a promjer mora ležati unutar vrlo uskih tolerancija;
- površina žice mora biti glatka i čista;
- bakrena prevlaka mora biti besprijekorna i sjajna;
- žica se mora namotati na nestandardno male kolutove s posebnom pažnjom i ne smije imati mehanička oštećenja i lomove.

Ukoliko zahtjevi nisu zadovoljeni, često dolazi do zastoja dotura žice, jer je mehanizam za dotur žice

na rekonstruiranom uređaju još uvijek osjetljiv. Uslijed toga dolazi do nekontrolirane promjene parametara zavarivanja.

4.4. Parametri struje

Pokusima je utvrđeno da su najpovoljniji paremtri za zavarivanje odozgo na dole I = 215 A i U = 21 V, a kod zavarivanja odozdo na gore I = 160 A i U = 20 V. Pri tome brzina zavarivanja odozdo na gore treba biti Uz = 394 mm/min, a odozgo na dole Uz = 400 mm/min.

Prema tome, prilikom pokusa potrebno je na horizontalnim djelovima cijevi izvršiti blage prijelaze s jednih parametara na druge.

4.5. Upravljački i regulacioni ormarić

Budući da se zapažanjima i tokom pokusa ustanovilo da upravljački i regulacioni ormarić ima velike mogućnosti upravljanja i reguliranja struje i napona zavarivanja, te brzine zavarivanja na ukupno dvanaest područja na kružnoj putanji oko opsega cijevi s posebnom mogučnošću postepenog uspostavljanja i prekidanja električnog luka na početku i na kraju zavarivanja, došlo se do zaključka da komandni ormarić zadovoljava zahtjevane funkcije.

4.6. Pištolj za zavarivanje

Nakon rekonstrukcije se pokusima dokazalo da pištolj pouzdano reproducira postavljene elemente na komandnom ormariću. Problem koji je uočen i koji za sada još nije otklonjen je povremeno necentrično vođenje glave za zavarivanje.
U toku je upravo otklanjanje ovog nedostatka koji se može, među ostalim izbjeći i uređajem za indirektno centriranje cijevi, dakle uređajem koji je funkcionalno odvojen od automata za zavarivanje. Tim dodatkom, kao što se na temelju rezultata pokusa vidi, morali bi se postići zadovoljavajući rezultati.

5. Zaključak

Na temelju provedenih ispitivanja može se zaključiti da je pravilnim izborom parametara moguće izvršiti zavarivanje automatiziranim MIG/MAG postupkom cijevi s cijevnim stijenama bez okretanja kotla u prisilan, vertikalni položaj. Tako utvrđenim parametrima može se izvršiti programiranje upravljačko regulacionog ormarića i postići dobra kvaliteta spoja.

Daljnja istraživanja potrebno je usmjeriti na što točnije centriranje i vođenje glave pištolja oko cijevi. Povremeni defekti u zavarenom spoju javljaju se zbog lošeg necentričnog vođenja glave pištolja za zavarivanje.

6. Literatura

1. Časopis Schweisstechnik 6/1980: "Razvojni tok, stanje i dalji razvoj zavarivanja cijevi u cjevne stijene".
2. S.Jakšić, Lj. Beara, B. Kovačević, M. Živčić: "Unapređenje procesa proizvodnje u kotlogradnji primjenom suvremenih postupaka zavarivanja". Tehničke informacije Jugoturbina - TPK 9/10 (1975).
3. Lj. Beara, S. Jakšić, S. Kralj M. Živčić: "Zavarivanje cijevi u cjevnu stijenu MAG postupkom" Zavarivanje 1 (1978).
4. M. Grbin, B. Kovačević: "Automatizacija zavarivanja cijevi u cjevne stijene blok kotlova", Zavarivanje 4 (1979).

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

Nedjeljko Mišina

NEKE PROMJENE SVOJSTAVA ČELIKA N-A-XTRA 70 USLIJED TOPLINSKOG POPUŠTANJA NAPETOSTI

R e z i m e

Toplinskom obradom za popuštanje napetosti kod čelika N-A-XTRA 70 dolazi do pogoršanja mehaničkih svojstava. Odredjeni porast meha ničkih svojstava se postiže kod temperature žarenja od 550°C u odnosu na svojstva koja se dobiju kod žarenja na 450°C i 650°C.

SOME PROPERTY CHANGES AT STEEL N-A-XTRA 70 DURING THERMAL STRESS - RELIEVING

S u m m a r y

Heat treatment for stress relieving at welds in quenched and tempered steel N-A-XTRA 70 reduces some mechanical properties. Certain beneficial effect is abtained with treatment at 550°C, while sharp decrease in impact toughness and ductility is found with treatment at 450°C and 650°C.

UVOD

Čelik tipa N-A-XTRA 70 se ubraja u grupu visoko čvrstih sitno zrnatih niskolegiranih čelika. Odlikuje se visokom granicom razvlačenja, čvrstoćom, izotropnošću svojstava, visokom radnjom loma i kod nižih temperatura, dobrom obradivošću i otpornosti prema krtom lomu. Izradjen je po Simens-Martinovom postupku. Nakon toplog valjanja prilikom izlaska iz posljednjih valjaka na što nižoj temperaturi, ali iznad A_3, hladi se vodom vrlo intenzivno, pri čemu dolazi do zakaljivanja. Kaljenjem nastaje struktura martenzita ili donjeg bejnita. Nakon toga čelik se popušta na temperaturama izmedju 620 i 680°C, te na taj način uz visoku čvrstoću posjeduje i dobru žilavost.

Postoji sedam različitih mehanizama koji mogu biti uključeni pri postizanju visoke čvrstoće kod ovog čelika /1/. Osnovno je to da legirani elementi (Cr, Mo, Zr, V, Al) stvaraju fino raspršene karbide, nitride ili karbonitride, a elementi intersticijskog tipa, npr. C i N utječu na formiranje Cotrell-ovog dislokacionog oblaka, pri čemu dolazi do blokiranja dislokacija i na taj način se ograničava sposobnost klizanja pod

Nedjeljko Mišina, dipl. ing, asistent, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Katedra za mehaničku tehnologiju, Split, Rudjera Boškovića bb.

utjecajem vanjskog naprezanja. S obzirom na složenu mikrostrukturu potrebno je kod zavarivanja ovog čelika obratiti posebnu pažnju na kontrolirani unos topline.

Premali unos topline izaziva veliku brzinu hladjenja austenitizirane zone u ZUT-u pri čemu dolazi do nastajanja martenzitne strukture zbog smanjenja plastičnosti zavarenog spoja, ta tvrda struktura može smanjiti otpornost konstrukcije prema lomu.

Preveliki unos topline izaziva ukrupnjenje zrna u rekristaliziranoj zoni utjecaja topline, što obara tvrdoću i žilavost. Ovom problemu je posvećena posebna pažnja /2/.

EKSPERIMENTALNI RAD

Zavarivanje uzoraka je izvršeno automatski MAG postupkom pomoću poluautomata za zavarivanje Uljanik - ESAB A-10 i "Bugeo" uredjaja za automatsko vodjenje pištolja. Zaštitni plin je CO_2. Zavarivanje korjenskog zavara vršeno je uz primjenu keramičkih podloški za zavarivanje od proizvodjača "Jugokeramika", Zagreb. Podloške su slagane u utor ploče koja služi kao nosač.

Kemijski sastav čelika N-A-XTRA 70 je: C = 0,23%, Si = 0,67%, Mn = 0,9%, Cr =0,7%, Mo = 0,23%, Zr = 0,1%, Al = 0,043%, S=0,015 i P = 0,013%.

Smjer valjanja	Broj epruv.	σ_r [N/mm²]		σ_m [N/mm²]		δ_5 [%]	
U smjeru valjanja	1	760	760	825	828,5	16,5	16,95
	2	760		832		17,4	
Okomito na smjer valjanja	3	770	764	834	829	16,3	16,4
	4	758		824		16,5	

Tabela 1a: Čvrstoća i istezljivost čelika N-A-XTRA 70

Dodatni materijal je praškom punjena žica "Fluxofilcord 42" Ø 1,2 mm, kod kojeg su kemijski sastav i mehanička svojstva data u atestu proizvodjača.

Kemijski sastav žice "Fluxofilcord 42" je: C = 0,10%, Si = 0,6%, Mn = 1,3÷1,8%, Mo = 0,25÷0,5%, Cr = 0,4%, Ni = 1,25÷2,5%, P = 0,03% i S = 0,03%.

Mehanička svojstva žice "Fluxofilcord 42": Granica popuštanja σ_r = 713 MPa

Čvrstoća loma σ_m = 756 MPa

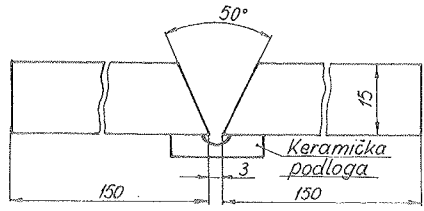
Istezljivost δ = 19%

Žilavost ρ = 34,4 Nm/cm²

Broj epruv.	Radnja loma [J] Temperatura ispitivanja 253 °K		293 °K		Smjer zareza V2
1;7	66	68,6	97	95	u smjeru valjanja
2;8	69		93		
3;9	62		95		
4	68		-		
5	78		-		
6	-		-		
10,16	138	134,16	142	129,33	Okomito na smjer valjanja
11;17	140		144		
12;18	129		102		
13	130		-		
14	125		-		
15	143		-		

Tabela 1b: Radnja loma čelika N-A-XTRA 70

Zavarivanje je izvedeno bez predgrijavanja u četiri sloja na pločama 650x150x15 uz primjenu produžnih pločica, sa pripremom spoja prema slici 1.



Slika 1: Priprema spoja

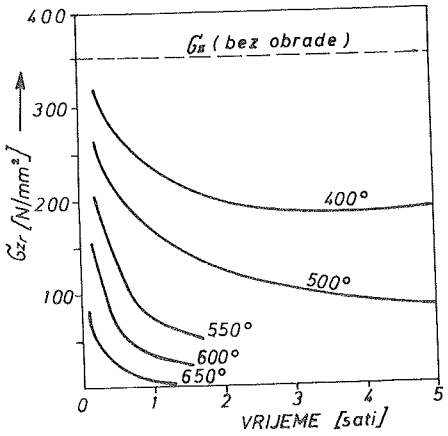
Parametri zavarivanja:
Napon zavarivanja E = 21,5 ÷ 23,5 V
Struja zavarivanja I = 225 ÷ 250 A
Brzina zavarivanja V_z = 20,95 cm/min
Protok CO_2 15 l/min

Žarenjem zavarenog spoja nastoji se smanjiti zaostale napetosti koje nastaju uslijed strukturnih promjena a i uslijed unosa topline kod zavarivanja. One su niže što je temperatura žarenja viša, a trajanje obrade duže, slika 2.

Zavarena ploča (650x300x15) je strojno izrezana na četiri dijela uz intenzivno hladjenje. Žarene su u komornoj peći u trajanju od četiri sata, s tim da su zagrijavane i hladjene skupa s peći.

Iz svake ploče izradjivane su epruvete i to: 6 kom. za ispitivanje radnje loma, 3 semi-

mikro epruvete za ispitivanje vlačne čvrstoće i 1 izbrusak.



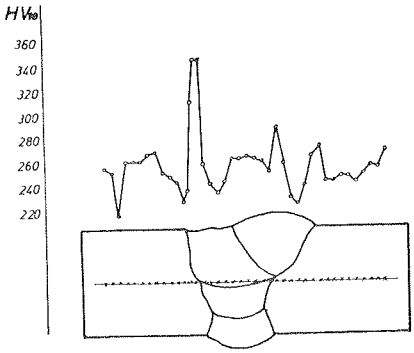
Slika 2: Ovisnost preostalih napetosti nakon toplinske obrade o temperaturi i trajanju obrade /3/.

σ_{zr} – preostale napetosti nakon provedene obrade za popuštanje zaostalih napetosti

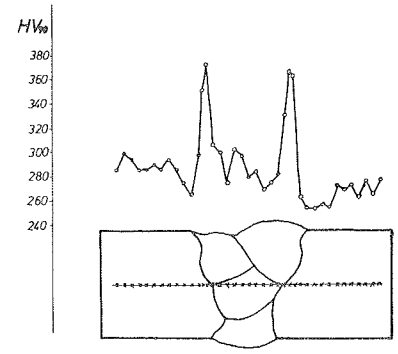
σ_{z} – zaostale napetosti u metalu prije početka obrade za popuštanje napetosti

REZULTATI ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava prikazani su u tabeli 2.



Slika 3a: Promjena tvrdoće po presjeku zavarenog spoja koji nije žaren



Slika 3b: Promjena tvrdoće po presjeku zavarenog spoja koji je žaren na 450°C

Temper. žarenja/°C/	Oznaka epruvete	Radnja loma (J)				Cm /N/mm²/		δ_5 [%]	
		Zavar		ZUT					
Bez žarenja	1 (01)	46	45,66	52	55,00	636,67	Greške u zavaru	–	Greške u zavaru
		45		54		691,60		–	
		46		59		671,98		–	
450	22(022)	32	33,33	54	48,66	793,63	789,70	7,56	8,95
		33		45		793,63		9,14	
		35		47		781,86		9,55	
550	13(013)	36	40,00	55	52,33	817,17	805,07	10,70	9,42
		42		52		808,34		8,78	
		42		50		789,70		8,78	
650	10(010)	32	30,66	43	45,00	741,64	741,64	–	14,11
		32		46		741,64		13,72	
		28		46		741,64		14,50	

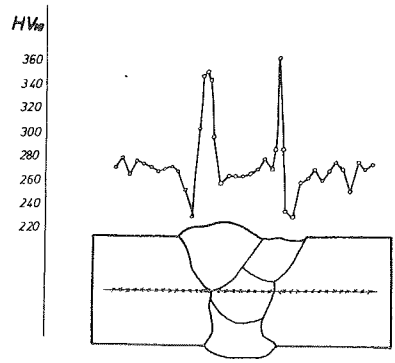
Tabela 2: Mehanička svojstva zavarenih spojeva žarenih na različitim temperaturama

Tvrdoća je mjerena okomito na zonu utjecaja topline. Dobivene su tipične krivulje promjene tvrdoće po presjeku zavarenog spoja, slika 3.

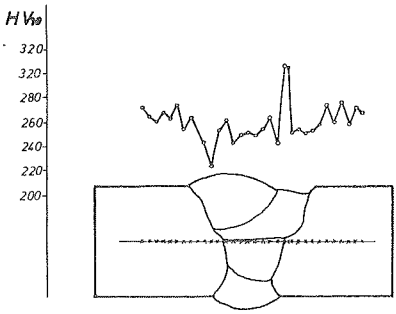
ANALIZA REZULTATA

Prikazani rezultati ispitivanja radnje loma sa zarezom u ZUT i sredini zavara pokazuju da je sa povećanjem temperature žarenja za popuštanje napetosti radnja loma niža u oba

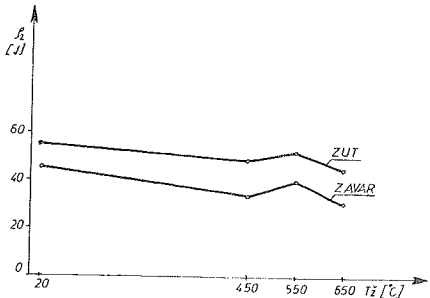
slučaja u odnosu na neodžareno stanje, slika 4.



Slika 3c: Promjena tvrdoće po presjeku zavarenog spoja koji je žaren na 550°C

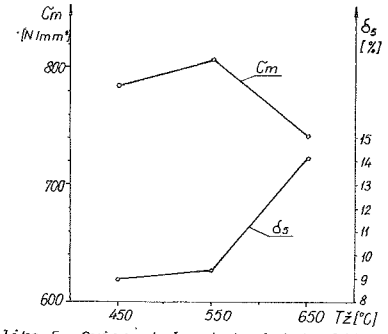


Slika 3d: Promjena tvrdoće po presjeku zavarenog spoja koji je žaren na 650°C



Slika 4: Utjecaj temperature žarenja na radnju loma

Na temperaturi žarenja od 550°C primjećuje se porast čvrstoće i istezljivosti u odnosu na temperaturu žarenja od 450°C, dok žarenjem na 650°C čvrstoća naglo opada a istezljivost raste, jer na tako visokoj temperaturi vjerojatno dolazi do poništavanja efekta poboljšavanja, slika 5.



Slika 5: Ovisnost čvrstoće i istezljivosti o temperaturi žarenja

Prikazani rezultati mjerenja tvrdoće pokazuju da nema bitne razlike u maksimalnoj i minimalnoj tvrdoći po presjeku zavarenog spoja do temp. žarenja od 550°C. Kod tem. žarenja od 650°C dolazi do pada maksimalne tvrdoće u ZUT. Može se pretpostaviti da je kod zavarivanja brzina hladjenja u cijelom ispitivanom intervalu bila manja od kritične, jer je maksimalna tvrdoća manja od 440 HV, prema TTT dijagramu /4/.

ZAKLJUČAK

Prilikom žarenja radi popuštanja napetosti zavarenog spoja čelika N-A-XTRA 70, dobivena su niža mehanička svojstva nego da žarenje nije provedeno. Ova pojava je česta kod nisko legiranih kaljenih i poboljšanih čelika koji sadrže Zr, Mo, V, jer dolazi do izlučivanja sekundarnih faza, ili ukrupnjavanja postojećih. Naročito nepovoljan utjecaj opaža se na smanjenju radnje loma pri temp. žarenja pri kojima intenzivnije nastaju te pojave.

LITERATURA

/1/ George E. Linnert: Welding Metallurgy Carbon and Alloy Steels - AWS, New York

/2/ Lj. Beara: Podaci o još neobjavljenim istraživanjima, Zagreb 1981.

/3/ V.A. Vinokurov: Otpusk svarnjih konstrukcij dlja sniženija napjaženija, Mašinostrojenije, Moskva, 1973.

/4/ Hochfeste Wasserverguetete sonderhauswachle N-A-XTRA 70 und T-1, Thyssen

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR 1982.GOD.

Zdenko Kordić*

PRIMJENA MATEMATIČKO STATISTIČKOG METODA ZA ODREDJIVANJE KVALITETA I SIGURNOSTI KOD ELEKTROOTPORNOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA ALUMINIJSKE LEGURE AlMgSiCu

R e z i m e

Razmatra se zavisnost prekidne sile od parametara zavarivanja kod tačkastog zavarivanja aluminijske legure AlMgSiCu. Matematičko statističkim metodom postavljen je model koji pokazuje tu zavisnost. Metoda dovodi do bitnog poboljšanja sigurnosti procesa tačkastog zavarivanja.

R e s u m é

L' APPLICATION DE LA METHODE MATHEMATIQUE STATISTIQUE POUR LA DETERMINATION DE LA QUALITE ET DE LA SECURITE LORS DU SOUDAGE PAR POINTS DE L'ALLIAGE D'ALUMINIUM AlMgSiCu

On demontre la dependance de la force de cisaillement des parametres du soudage lors du soudage par points de l'alliage d' aluminium AlMgSiCu. Par la methode mathématique statistique on a donne un model mathématique qui demontre cette dependance. Cette methode ameliore considarablement la securite du processus du soudage par points.

1. Uvod

U mnogim granama metalopreradjivačke industrije raste značaj elektrootpornog tačkastog zavarivanja. Postizanje optimalnog kvaliteta tačkastog zavarivanja zavisi od pravilno izabranih parametara zavarivanja. Uredjaji za regulaciju parametara ne daju u svim slučajevima zadovoljavajuće rezultate. Zato se dalja istraživanja usmjeravaju na istraživanje parametara zavarivanja koji direktno ili indirektno utiču na kvalitet zavarenog spoja pri čemu se zavisnost kvaliteta spoja od jednog ili više parametara prikazuje u obliku matematičkih modela.

Modeliranje tog procesa može se istražiti na različite načine. Mogu se npr. te zavisnosti opisati sistemom diferencijalnih jednadžbi. Takve modele koji promatraju razvoj temperaturnog polja na mjestu zavarivanja pri varijaciji raznih parametara razvili su Greenwood i Hulst [1,2] . Medjutim, ovi modeli daju zadovoljavajuće rezultate tek pri dugim vremenima zavarivanja, što svakako nije slučaj kod elektrootpornog tačkastog zavarivanja.

Druga mogućnost za utvrdjivanje kvantitativnih zavisnosti izmedju parametara procesa i kriterija kvaliteta leži u primjeni eksperimentalno statističkih metoda. Budući da je svaki model pojednostavljena slika stvarnosti on vrijedi samo unutar odredjene oblasti koja se ne smije prekoračiti. Tako je npr. Paton postavio modele, na bazi eksperimentalno statističkih metoda, koji pokazu-

*Mr Zdenko Kordić,docent,Mašinski fakultet Mostar.

ju zavisnost promjera tačke od parametara zavarivanja, kod zavarivanja lakih metala. Za računsko povezivanje parametara sa kriterijem kvaliteta korištena je regreziona analiza, a provjeravanje modela u praksi pokazalo je zadovoljavajuću tačnost.

U ovom radu na primjeru legure AlMgSiCu pokazat će se zavisnost prekidne sile istezanja smicanjem (F_p) od parametara zavarivanja (I_z, F_z, t_z) kod zavarivanja lima debljine 1,5 mm.

2. Eksperimentalna ispitivanja i postavljanje modela

U velikom broju slučajeva svrha tačkastog zavarivanja je postizanje odgovarajuće prekidne sile istezanja smicanjem. Budući da se ta sila može odrediti jedino putem ispitivanja razaranjem svrsishodno je da se uticaj glavnih parametara zavarivanja na ovu silu (F_p) prikaže u obliku matematičkog modela. Utvrdjivanje ovih odnosa i zavisnosti ima slijedeće ciljeve:

- odredjivanje sile F_p, mjerenjem parametara zavarivanja i uticajnih faktora, prije i za vrijeme procesa zavarivanja, bez razaranja zavarenog spoja,
- proširivanje postojećih tabela orijentacionih vrijednosti parametara, a u cilju da se prevazidje kruta veza F_p samo sa jednom jedinom kombinacijom parametara.

Navedeni ciljevi u priličnoj mjeri sužavaju broj i vrstu parametara koji dolaze u obzir za postavljanje modela. Parametri moraju biti takvi da se unaprijed mogu podesiti na uredjaju za zavarivanje, te da se lako mogu mjeriti i kontrolisati. Tim zahtjevima prije svega udovoljavaju tri osnovna parametra zavarivanja:

- sila pritiska izmedju elektroda F_z [N]
- struja zavarivanja I_z (kA)
- vrijeme prolaska struje (perioda)

Korišteni matematičko statistički metod zahtjeva da parametri zavarivanja ispunjavaju slijedeće uslove:

1. Za svaku kombinaciju parametara Fz, Iz i tz prekidna sila Fp treba da se pokorava zakonu normalne razdiobe.
2. Pojedini parametri treba da bitno utiču na očekivanu vrijednost F_p (iz uslova disperzione analize)
3. Zavisnost izmedju pojedinih parametara prekidne sile F_p treba da je linearna (iz uslova regresione analize).

Eksperimentalno je na relativno velikom broju uzoraka provjereno da su uslovi pod 1. i 2. ispunjeni, dok uslov pod 3. najznačajnije utiče na sužavanje granica variranja parametara.

Pod pretpostavkom da su svi uslovi ispunjeni za proračun modela koristit će se niže navedeni nivoi parametara:

	Niski nivo	Visoki nivo
Iz (kA)	38	4o
tz (perioda)	1	2
Fz (N) ...	4ooo	6ooo

Prema tome treba ispitati uticaj tih parametara na kriterij kvaliteta (Fp), a koristimo li pri tome trend od tri faktora sa dva nivoa (visok+1, nizak -1) potrebno je samo $N=2^3=8$ pokusa da bi se odredila dejstva triju glavnih uticaja $Xi(X_1, X_2, X_3)$ i njihovih naizmjeničnih medjusobnih uticaja.

Kvantitativna zavisnost izmedju prekidne sile Fp i parametara zavarivanja može se izraziti u obliku [3]:

$$Y = bo + \sum_{i=1}^{k} bi\, xi + \sum_{i<j}^{k} bijxij + \sum_{i\leq 1<j}^{k} bijl\, X\, ijl \ldots\ldots \quad (1)$$

Tabela 1.

Tačka plana	PLAN MATRICA				OZNAKA	REZULTATI
	X_o	X_1	X_2	X_3		
1.	+1	-1	-1	-1	(1)	Y_1
2.	+1	+1	-1	-1	a	Y_2
3.	+1	-1	+1	-1	b	Y_3
4.	+1	+1	+1	-1	ab	Y_4
5.	+1	-1	-1	+1	c	Y_5
6.	+1	+1	-1	+1	ac	Y_6
7.	+1	-1	+1	+1	bc	Y_7
8.	+1	+1	+1	+1	abc	Y_8

Radi pojednostavljenja numeričkog proračuna glavne uticajne veličine se kodificiraju pa se dobije na osnovu utvrdjenog nivoa parametara [3] :

- struja zavarivanja: $X_1 = \frac{Iz - 39}{\frac{4o-38}{2}} = Iz-39$

- vrijeme zavarivanja: $X_2 = \frac{tz-1,5}{\frac{2-1}{2}} = 2(tz-1,5)$

- sila pritiska elektrode: $X_3 = \frac{Fz - 5ooo}{\frac{6ooo-4ooo}{2}} = \frac{Fz - 5ooo}{1ooo}$

Koeficijenti višestruke regresije izračunavaju se na osnovu izraza [3]:

$$bi = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^{N} X_{iu} Y_u;$$

i=0,1,2,3; N = 8

pa se dobije:

bo=39o3,7; b1=261,2; b_2=-5o8,7 b_3=-691,2

b_{12}=63,7; b_{13}=-53,7; b_{23}=-2o3,7; b_{123}=-21,2

Ispitivanjem ocjene dejstva uticaja prema t-kriterijumu, te disperzije eksperimentalnih rezultata i parametara modela može se zaključiti da parametar b_{123} nema uticaja pa se može isključiti iz modela.

Provjera adekvatnosti modela izvršena je pomoću Fišerovog kriterijuma pa je zaključeno da je jednačinom višestruke regresije prvog reda, kao matematičkim modelom, adekvatno opisan promatrani proces.

Ako se u jednačinu (1) uvrste vrijednosti koeficijenta višestruke regresije i kodificirani parametri dobit će se matematički model promatranog procesa koji pokazuje ovisnost prekidne sile istezanja smicanjem (F_p) od parametara zavarivanja (I_z, t_z, F_z):

$$F_p = 39o3,7 + 261,2(I_z - 39) - 5o8,7(t_z - 1,5) \cdot 2 -$$

$$- 691,2 \frac{F_z - 5ooo}{1ooo} + 63,7 (I_z - 39) \cdot 2 (t_z - 1,5) -$$

$$- 53,7 (I_z - 39) \frac{F_z - 5ooo}{1ooo} - 2o3,7 \frac{F_z - 5ooo}{1ooo} .2(t_z - 1,5) ..... (2)$$

Uvrštavanjem stvarnih vrijednosti parametara iz promatranog intervala u dobijenu jednačinu može se izračunati veličina greške predskazivanja koja pokazuje u kojoj se mjeri jednačina procesa približava stvarnosti. Tako je maksimalna greška o,9% za slijedeću kombinaciju parametara zavarivanja: Iz=38 kA; t_z=2 periode i F_z=6ooo N. To pokazuje da dobijeni matematički model sa vrlo malim odstupanjem odgovara stvarnim uslovima zavarivanja.

3. Zaključak

Dobijeni matematički model koji pokazuje zavisnost prekidne sile istezanja smicanjem (F_p) od tri osnovna parametra tačkastog zavarivanja (I_z, F_z, t_z) aluminijske legure AlMgSiCu pokazuje vrlo dobru podudarnost sa praktičnim uslovima zavarivanja. Iako ova metoda ne služi za neposrednu regulaciju parametara odvijanja procesa ona ipak dovodi do bitnog poboljšanja sigurnosti procesa tačkastog zavarianja, pošto je primjenjiva za naknadno utvrdjivanje otpornosti spoja kod ispitivanja bez razaranja. Osim toga ova metoda omogućava programiranu promjenu osnovnih parametara zavarivanja za naredne zavarene tačke, a svakako treba imati u vidu da mjerenje parametara ne zadaje velike poteškoće. Nedostatak ovog modela ogleda se u relativno uskom području njegove primjene s obzirom na postojanje linearne zavisnosti izmedju parametara zavarivanja i prekidne sile, iako se ova linearnost u konkretnom slučaju nalazi u području optimalnih parametara zavarivanja čime model nimalo ne gubi na značaju.

U razmatranje se mogu uzeti kvadratne i kubne zavisnosti i u sklopu toga postaviti odgovarajući modeli, ali to zahtjeva znatno komplikovaniji račun.

4. L i t e r a t u r a

[1] Grenwood: Temperaturen beim Punkrschweissen,British Welding Journal 8/1961

[2] Hulst,A; Ein Wärmemodell des Punktschweisserfahrens,Predavanje na savjetovanju "Advances in welding Prozesses," 14.-16.4.197o Abington Hall, Cambridge.

[3] Pantelić I: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta,Novi Sad, 1976.

[4] Shulze,F: Entscheidung beim Auswerten Schweisstechnicher Veruche durch die Varianzanalase Schweiddesn und Schneiden 21 (1969)1.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

Dedić dipl.ing.Remzo*
Behmen mr Mehmed**

UTICAJ POLOŽAJA TAČKASTO ZAVARENIH SPOJEVA NA STATIČKU NOSIVOST SPOJA LIMOVA d=1mm LEGURE 3.1364.5

R e z i m e

Radom su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja rasporeda opterećenja zavarenih spojeva za jedan način spajanja limova u vazduhoplovstvu, u uslovima statičkih opterećenja konstrukcije. Rezultati ispitivanja na provjeru nosivosti istovjetne veze ostvarene zakovicama dali su elemente za poredjenje ovih tehnologija na limovima d = 1 mm legure 3.1364.5.

L'INFLUENCE DE LA POSITION DES SOUDURES PAR POINTS SUR LA PORTEE STATIQUE DE LA SOUDURE DES TÔLES d=1 mm DE L'ALLIAGE 3.1364.5

R é s u m é

Nous avons donné des résultats des recherches expérimentals de la disposition des sollicitations des joints soudés à la manière du soudage des tôles dans l'aviation dans les conditions des sollicitations statiques de la construction. Les résultats d'essais sur la portée de la même, liaison faite par rivets ont domré les éléments pour la comparaison de ces technologie sur les tôles de = 1 mm de l'alliage 3.1364.5.

1. Uvod

Tehnologija tačkastog elektrootpornog zavarivanja našla je primjenu u industriji aviona zbog niza prednosti koje ona ima u odnosu na spajanje zakivanjem. Najznačajnije su: manja težine konstrukcije, smanjena opasnost od korozije, veća krutost sklopova i veća produktivnost.

Cilj ovog istraživanja je bio da se metodom komparativnih ispitivanja zakovanih veza i veza ostvarenih elektrootpornim tačkastim zavarivanjem utvrdi, kako nosivost zakovanih spojeva, tako

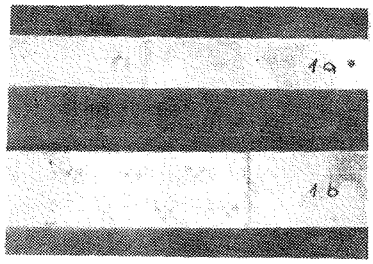
* Dedić Remzo,asistent, Mašinski fakultet Mostar
** Behmen Mehmed,docent, Mašinski fakultet Mostar

i nosivost tačkasto zavarenih spojeva.

2. Priprema eksperimenta

2.1. Tačkasto elektrootporno zavarene epruvete

Eksperimentalna istraživanja izvršena su na tačkasto elektrootporno zavarenim epruvetama napravljenim prema vazduhoplovnim normativima. Korištena su dva tipa epruveta: epruveta tipa "A" koja služi za ispitivanje prekidne sile i metalografsku analizu (sl.1) i epruveta tipa "B" koja služi za ispitivanje smicanjem (sl.1b). Oba tipa epruveta se podvrgavaju i radiografskom ispitivanju zavarenih tačaka.



Epruvete su izradjene od višekomponentne legure 3.1364.5 (AU4 G1 A5) namijenjene za izradu konstruktivnih elemenata sa srednjim zahtjevima čvrstoće u vazduhoplovstvu. Stvarni hemijski sastav legure utvrdjen je u laboratoriji za hemijsku analizu materijala SOUR-SOKO. Rezultati reatestacije materijala utvrdili su sadržaj legirajućih elemenata u narednim omjerima: Cu=4,4%, Mg=1,5%, Si=0,18%, Fe=0,3%, Mn=0,4%, Zn=0,04%, Cr=0,01%, Ti=0,014% i Al= 93,156%

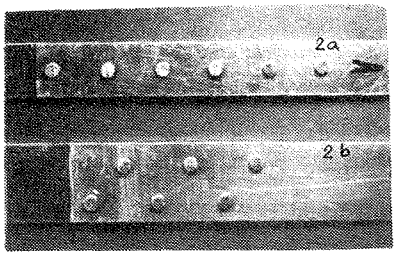
Mehaničke osobine materijala ispitane su u laboratoriji za ispitivanje materijala SOUR "SOKO" sa dobijenim prosječnim vrijednostima: $\sigma_{0,2}=298$ N/mm^2, $\sigma_m=449$ N/mm^2, $\delta_5=20\%$.

Debljina platiniranog sloja iznosi 50 do 68 μm. Da bi se površinski kontaktni otpor sveo u dozvoljene granice , prema AIR 3383, izvršeno je reduciranje oksidnog sloja sa površine epruveta na granicu ispod 50 μm.

Tačkasto elektootporno zavarivanje epruveta izvršeno je na uredjaju "SCIAKY P 200 STT", namijenom za tačkasto zavarivanje limova koji se koriste u vazduhoplovnoj industriji. Mjerenje parametara zavarivanja u toku procesa zavarivanja vršeno je mjernom glavom "ips" firme "Schlatter", koja registruje tok promjene el.struke i sile pritiska. Za zavarivanje su korištene elektrode tipa "SOUDALOX 100", sa sferičnim vrhom promjera d_e=16 mm i radijusa zaobljenja vrha R_e=75 mm. Vrhovi elektroda hladjeni su vodom protoka 15 l/min i čišćeni nakon zavarivanja svake serije epruveta brusnim papirom br.320 u konturnom alatu sa sferičnim udubljenjem. Napravljeno je 25 epruveta tipa "A" sa jednom tačkom i 20 epruveta tipa "B" sa šest zavarenih tačaka u cik-cak rasporedu.

2.2. Zakovane epruvete

Da bi se mogla izvršiti komparativna analiza napravljene su i epruvete sa zakivcima. Prema LN standardima napravljeno je 20 epruveta zakovanih sa po šest zakivaka u redu (sl.2a) i 20 epruveta sa šest zakivaka u cik-cak rasporedu (sl.2b).



Ove epruvete su takodjer izradjene od višekomponentne legure 3.1364.5.

3. Izvodjenje eksperimenta

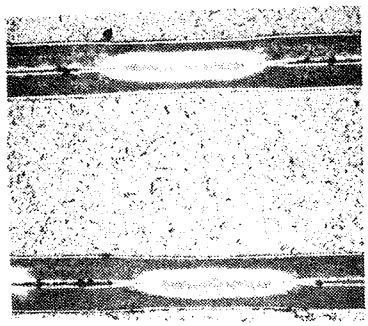
U eksperimentalnom dijelu trebalo je usporediti neke osobine, kao što je nosivost i raspodjela napona, na epruvetama sastavljenim elektrootpornim tačkastim zavarivanjem i epruvetama sastavljenim zakivanjem.

3.1. Ispitivanje tačkasto zavarenih epruveta

Ispitano je 19 epruveta sa po jednom zavarenom tačkom istezanjem na smicanje zavarene tačke na kidalici "ZWICK 1454". Epruvete su smaknute po tačkama. Prosječne vrijednosti sile kidanja i napona za epruvete zavarene sa jednom tačkom iznose: $F=2710,52$ N, $\sigma_m=135,55 N/mm^2$.

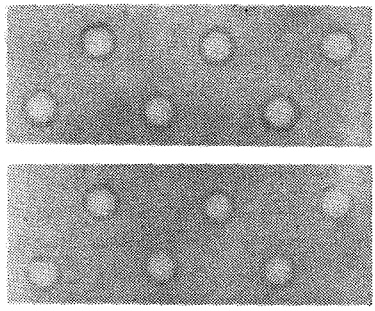
Provjera kvaliteta tačkasto zavarenih spojeva izvršena je i metalografskom kontrolom na pet uzoraka. Kontrolne epruvete su presječene po osi zavarene tačke, a zatim brušene i polirane (sl.3). Nagrizanje je izvršeno u Keller-ovom reagensu čiji je sastav: $100cm^3$ H_2O, $50cm^3$ HNO_3, $50cm^3$ HCl i $20\ cm^3$ HF. Metalografska kontrola potvrdila je korektnost parametara zavarivanja datih u literaturi [5].

Na slici 3. dati su makro-snimci poprečnog presjeka zavarenog spoja.



Slika 3.

Ispitivanje zavarenih epruveta sa 6 tačaka u cik-cak rasporedu izvršeno je na 19 epruveta istezanjem na smicanje zavarenih tačaka. Prekid epruveta nastupio je po osnovnom materijalu, izuzev jedne koja je smaknuta po tačkama. Prosječne vrijednosti sile kidanja i napon za ovako zavarene epruvete je iznosio:
$F=10156,32$ N, $\sigma_m=338,54\ N/mm^2$.
Sve zavarene epruvete kontrolisane su radiografski rengentskim aparatom "Serfert" na sitno-zrnastom filmu "STRUKTURIX D2" (sl.4).



Slika 4.

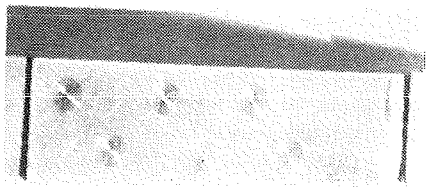
Koristeći kreterij za ocjenu grešaka po IGC-04.62.162 ustanovljeno je da su svi spojevi na svim epruvetama zavareni bez greške.

3.2. Ispitivanje epruveta sa zakivcima

Ispitivanje nosivosti epruveta sa zakovanim spojevima u jednom redu izvršeno je na 19 uzoraka na istoj kidalici. Lom svih epruveta nastupio je po osnovnom materijalu u području prvih zakivaka. Prosječne vrijednosti sile kidanja i lomnog napona za sve uzorke iznose: $F=6547,37N$, $\sigma_m=327,37\ N/mm^2$. Ispitivanje nosivosti epruveta sa 6 zakivaka zakovanih u cik-cak rasporedu izvršeno je na 19 uzoraka. Prosječne vrijednosti sile kidanja i lomnih napona ovih epruveta iznosio je: $F=10125,32\ N$, $\sigma_m=337,51\ N/mm^2$.

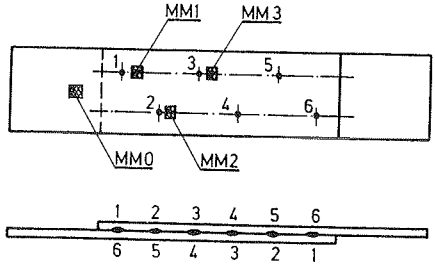
4. Eksperimentalno ispitivanje napona u tačkasto elektrootporno zavarenim epruvetama

Poslije kontrole kvaliteta zavara pristupilo se ispitivanju nosivosti pojedinih zavarenih tačaka elektrootpornih zavarenih epruveta zavarenih u cik-cak rasporedu. Epruvete su očišćene sa CHLOROTHENE NU PEGREASER, a zatim je nanesen tenzor lak TL-500-70-A koji je sušen na 24 sata na sobnoj temperaturi. Nakon ove pripreme epruvete su postavljene na kidalicu i izložene istezanju sve dotle dok se nisu jasno pojavile pukotine u tenzor-laku (sl.5), koje tačno odredjuju silnice napona.



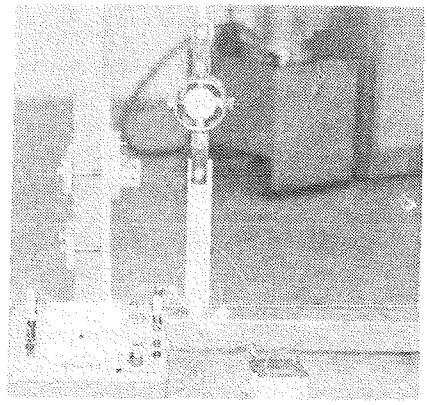
Slika 5.

Na ovaj način je tačno odredjen tok naponskih linija, što je neposredne važnosti za pravilno postavljanje mjernih traka. Koristeći rezultate dobivene metodom tenzor-laka na zavarenih epruvetama sa 6 tačaka u cik-cak rasporedu su postavljene 4 mjerne trake tipa HOTTINGER V-21539/1 (sl.6).



Slika 6.

Radovima [1], [4] dokazana je simetričnost naponskih stanja u odnosu na poprečnu osu epruvete zavarene elektrootpornim zavarivanjem. Istezanjem epruvete na mikro-kidalici (sl.7) za tri različite vrijednosti sile opterećenja: 3kN;4,5kN i 5,3kN stvoreni su preduslovi za mjerenje nosivosti svake tačke u ostvarenom spoju. Mjerenje naponskih stanja vršeno je pomoću mjernog instrumenta HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GMBH.



Slika 7.

Rezultati mjerenja naponskih stanja dati su u tabeli 1.

Tabela 1.

F[N] / MT	3000 N	4500 N	5300 N
σ_o $\frac{N}{mm^2}$	97,19	146,82	173,80
σ_1 $\frac{N}{mm^2}$	76,53	128,51	167,63
σ_2 $\frac{N}{mm^2}$	56,94	106,42	145,12
σ_3 $\frac{N}{mm^2}$	47,64	85,76	121,41

5. Zaključak

Na bazi literalnih podataka i provedenih eksperimentalnih ispitivanja zaključuje se sljedeće:

1. Prosječna statička nosivost spojeva pri zakivanju i zavarivanju u cik-cak rasporedu.
2. Prosječna težina zavarenih epruveta je za 4,9% manja od epruveta u zakovanoj izvedbi.
3. Tehnološko vrijeme zavarivanja jedne tačke je trostruko manje od vremena zakivanja jednog zakivka.
4. Opterećivanjem zavarene epruvete sa 6 tačaka u cik-cak rasporedu u području elastičnosti utvrdjeno je da zavarene tačka 1 i 6 primaju 41,5% ukupnog opterećenja, spojna mjesta 2 i 5 primaju 39,6%, a spojna mjesta 3 i 4 18,9%.
5. Obzirom na relativno mali broj uzoraka preporučuje se daljnje istraživanje na ispitivanju jednoosnim i dvoosnim opterećenjem zavarenih spojeva. Takodje bi trebalo provesti i dinamička ispitivanja kako bi se dobili potpuniji kriteriji o aplikativnosti ove dvije tehnologije u spajanju limova za potrebe vazduhoplovstva.

Literatura

1 Trajkovski M. "Nekoliko osnovnih pojmova o elektrootpornom tačkastom zavarivanju", Zavarivanje 2/1980, str.73.

2 Kordić Z. "Neki aspekti primjene tačkastog zavarivanja i lijepljenja umjesto klasičnog načina spajanja zakovicama u zrakoplovstvu, Zavarivanje 3/1980, str.141.

3. Drežnjak I. "Diplomski rad"

4 Ćirović M., Jovanović M., "Prilog proračunu tačkasto zavarenog spoja na karoserijskom limu", III Simpozijum IFTOMM-a, Mostar, 1980. str. 207.

5 Kordić Z. "Magistarski rad", Zagreb 1978.god.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

Boris Anzulović

UTJECAJ VIBRIRANJA PRILIKOM ZAVARIVANJA NA UDARNU ŽILAVOST

R e z i m e

Vibriranjem metala prilikom zavarivanja mogu se postići smanjenje deformacija, usitnjenje zrna, otplinjavanje taline i smanjenje zaostalih napetosti. Ovdje prikazana istraživanja udarne žilavosti zavara izvedenih MAG postupkom na brodogradjevnom limu pokazuju da vibrirani uzorci ne pokazuju nagli pad žilavosti kao nevibrirani.

IMPACT TOUGHNESS OF WELDS VIBRATED DURING WELDING

S u m m a r y

Vibrating pieces during welding showed reduction of deformations, residual stresses, transversal shrinkage, grain size and content of gases. Experiments described in this paper show that vibrated specimens have smooth reduction of Charpy V notch toughness, while other have sharp transition to nil ductility temperature.

UVOD

Vibriranje komada prilikom zavarivanja odlikuje se nekim zanimljivim osobinama. Zamijećeno je smanjenje deformacija i napetosti /1,2/; usitnjenje zrna /3,4/, a navodi se i smanjenje sadržaja plinova u talini. Odredjen utjecaj na spomenute pojave ima frekvencija vibriranja, ali je jače izražen utjecaj amplitude pomaka kupke i vibracionih naprezanja. Mjerenja tvrdoće zavara nisu pokazala razliku izmedju vibriranih i nevibriranih uzoraka /4/. Pokusima B.Beatovića pokazano je dolazi i do odredjenog povećanja dinamičke izdržljivosti vibriranih uzoraka/5/.

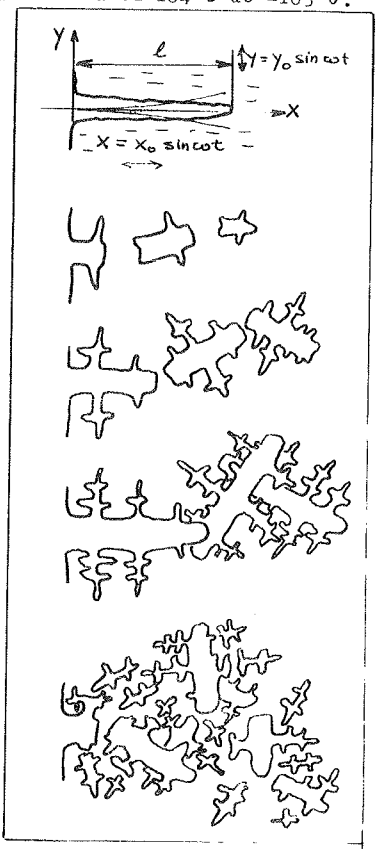
Prilikom vibriranja tokom zavarivanja postoji velika vjerojatnost usitnjenja zrna prilikom skrućivanja zavara. Ova pojava se može objasniti povećanjem broja klica kristalizacije uslijed odlamanja i usitnjenja tek skrutnutih dendrita. Na slici 1. je shematski prikazan proces usitnjenja zrna vibriranjem. Novonastali dendrit može se promatrati kao konzola koja raste od fronta kristalizacije u talinu. Vlastita frekvencija dendritne kon-

Mr.Boris Anzulović, dipl.ing.,znanstveni asistent, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Katedra za mehaničku tehnologiju, Split, Rudjera Boškovića bb.

zole ovisi o duljini i krutosti dendrita. Ovisno o frekvenciji i smjeru pobude dendrit idealiziran kao konzola može poprimiti različite forme vibriranja. Na mjestima čvorova(naprezanja su tu najveća) lako dolazi do prelamanja dendrita. Odlomljeni dijelovi se odbacuju u talinu i tako postaju novi centri kristalizacije. Do odlamanja dendrita može doći i uslijed otpora taline titranju dendrita. Usitnjenje dendrita prelamanjem u čvorovima titranja zavisi o pobudnoj frekvenciji, dok odbacivanje u talinu ovisi o amplitudi pomaka fronta kristalizacije. U ranijem radu autora /4/ pokazano je da dolazi do usitnjenja zrna povećanjem amplitude pomaka kupke (na slitini AlMg5). Ukoliko amplituda pomaka kupke nije veća od 2-3 milimetra ne dolazi do pogoršanja izgleda površine tjemena zavara. Pregledom literature nije se došlo do podataka o utjecaju vibriranja na udarnu žilavost zavara, pa su provedeni eksperimenti u svrhu analize mogućnosti povećanja žilavosti zavara, čiji se opis ovdje daje.

EKSPERIMENTALNI RAD

Zavareni uzorci su dimenzija 250x250x12 mm, iz brodogradjevnog čelika. Uz vibriranje je zavareno 7, a bez vibriranja 3 uzorka. Na svim uzorcima izmjereno je poprečno stezanje i zatim pripremljeni uzorci za ispitivanje udarne žilavosti po Charpy-u. Zavarivanje je vršeno MAG postupkom, žicom VAC 60, Ø 1,2, dvoslojno. Vibriranje je vršeno tokom zavarivanja na jednostavnom konzolnom vibratoru sa frekvencijom oko 40 Hz. Ispitivanje žilavosti provedeno je na ne manje od tri ni više od 8 uzoraka. Temperature ispitivanja varirane su od 184 °C do -183 °C.

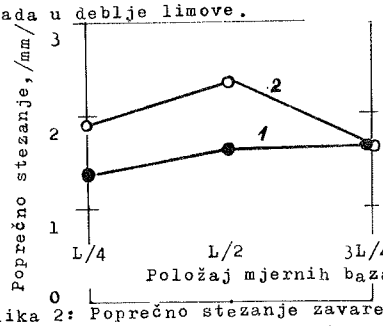


Slika 1: Shematski prikaz procesa usitnjenja zrna prilikom vibriranja za vrijeme zavarivanja

REZULTATI EKSPERIMENATA

Poprečno stezanje izmjereno na tri mjesta na svim uzorcima pokazalo je sistematski manje vrijednosti kod vibriranih uzoraka. Na slici 2. prikazani su rezultati ovih mjerenja. Smanjenje stezanja je značajno radi smanjenja reaktivnih napetosti u krutim konstrukcijama i nepovoljnim

oblicima zavara kod uvarivanja manjih komada u deblje limove.



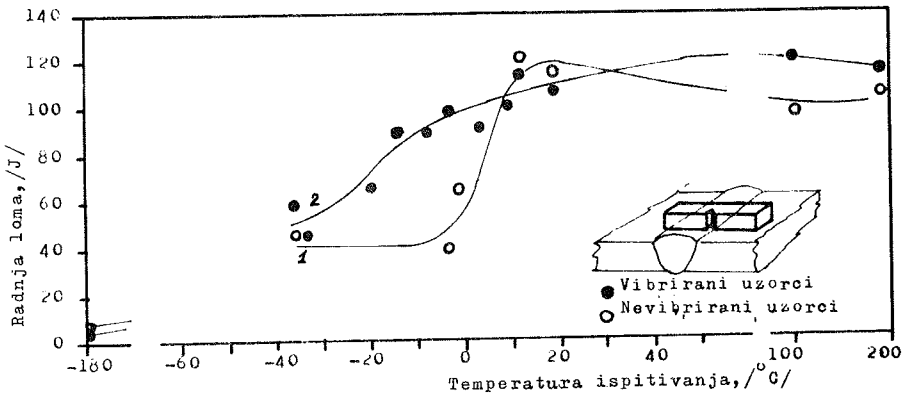
Slika 2: Poprečno stezanje zavarenih uzoraka, 1-vibrirani, 2-nevibrirani

Rezultati mjerenja žilavosti na raznim temperaturama na uzorcima po Charpy-u sa V zarezom dubine 2 mm prikazani su na slici 3.

i bočna ekspanzija prelomljenih vibriranih uzoraka. Ovakve pojave mogu se objasniti usitnjenjem zrna uslijed vibriranja i manje izraženoj segregaciji pri kristalizaciji.

ZAKLJUČAK

Vibriranje tokom zavarivanja ne djeluje štetno na udarnu žilavost čelika, već ublažava smanjenje žilavosti pri nižim temperaturama. Poprečna deformacija vibriranih uzoraka se takodjer smanjuje vibriranjem tokom zavarivanja.



Slika 3: Ovisnost udarne žilavosti o temperaturi, 1- zavareni uz vibriranje, 2- zavareni bez vibriranja

ANALIZA REZULTATA

Udarna žilavost obje vrste uzoraka je gotovo jednaka na temperaturama višim od temperature prelaza u krto stanje. Nevibrirani uzorci pokazuju nagliji prelaz u krto stanje od vibriranih. Pri istim vrijednostima radnje loma vibrirani uzorci imaju veći udio žilavog loma u površini presjeka, a veća je i

LITERATURA

1. McMaster R.C.:Usmeno saopćenje, Columbus, 1976.
2. B.Anzulović: Prilog primjeni vibracione obrade za smanjenje deformacija i napetosti, Zavarivanje,1,1982,11-19
3. B.Anzulović: Izvještaj SIZ-u I za 1979, Zagreb, SIZ-I za znanost SRH
4. A.I. Markov: Primenjenije uljtrazvuka v mašinostrojenju, Zbornik,Mašinostr.,Moskva1975
5. B.Beatović:Usmeno saopćenje,Zagreb

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.GOD.

Nikola Mustapić*

IZBOR NAJUTICAJNIJIH PARAMETARA RADIOGRAFSKE KONTROLE U ZAVARIVAČKOJ PROIZVODNJI

R e z i m e

U radu je dat način izbora parametara kod γ- radiografske kontrole. Ukazano je na način uticaja svakog od njih na kvalitet radiograma. Date su preporuke kako da se uticaj greški svede na minimum. Data je sugestija za izbor parametara pri radiografisanju Al-legura.

LE CHOOX PARAMÈTRES QUI ONT LE PLUS D'INFLUENCE DANS LA CONTRÔLE RADIOGRAPHIQUE LORS DE LA PRODUKTION PAR SOUDAGE

R é s i m é

On a donne' la manière du choix des paramètres lors de la contrôle radiographique. On à demontré l' influence de chacun d'entre eux sur la qualité du radiogramme. On a donné aussi comment peut on réduire au minimum l' influence des défauts. A la fin on a donné la suggestion pour le choix des paramètres pour la radiographie des alliages d'aluminium.

1. UVOD

Na današnjem stepenu razvoja proizvodnih snaga čest način provjere kvaliteta mašinskih elemenata i zavarenih čeličnih konstrukcija je radiografska kontrola. Cilj te kontrole je da se otkriju greške, ukoliko one postoje. Princip ove kontrole zasniva se na tome da greške u prozračavanom materijalu različito apsorbuju γ i X zrake, što dovodi do različitosti intenziteta zračenja sa druge strene prozračavanog materijala.

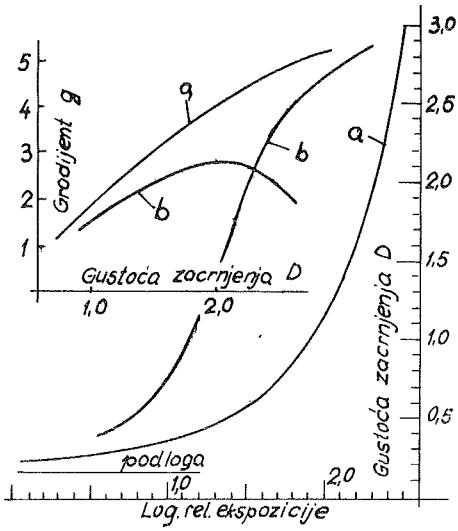
Registrovanje te različitosti u intenzitetu zračenja vrši se pomoću radiografskog filma. U našoj laboratoriji najčešće koristimo film domaće proizvodnje FIR-10 proizvodjača "Fotokemika" iz Zagreba. Ovdje je riječ o γ-radiografiji ali razmatranja najvećim dijelom važe i za X-radiografiju.

2. FILM I IZBOR PARAMETARA

2.1. Analiza osobina filma za industrijsku radiografiju

Male greške u materijalu izazivaju malu promjenu intenziteta zračenja što sa stanovista filma ima i malu promjenu relativne ekspanzije. Pošto se radiografskom kontrolom žele otkriti i najmanje greške to film treba da bude sposoban da registruje i najmanje promjene intenziteta zračenja ili tzv. relativne ekspozicije. Analizirajući senzitometrijske krive filma dolazi se do zaključka da se najveća promjena zacrnjenja filma ili najbolji kontrast odvija kod maksimalnog gradijenta. Senzitometrijska svojstva filma FIR 10 prikazane su na slici 1.a, a jednog drugog filma na sl. 1.b. [1,3].

* Nikola Mustapić, dipl.inž. Mašinski fakultet 79000 Mostar, Blagoja Parovića b-b.



Sl. 1. Karakteristične senzitometrijske krive filma

Greške u izboru parametara snimanja mogu da dovedu do nepoželjnih odstupanja od traženog zacrnjenja, radi čega je potrebno izvršiti i analizu odredjivanja istih i ukazati na najuticajnije.

2.2. Pregled i izbor parametara radiografskog snimanja

Ima više načina iznalaženja parametara radiografske kontrole, a ovdje će biti pomenute najvažniji.

P r v i n a č i n izbora parametara snimanja svodi se na izračunavanje vremena ekspozicije po obrascu:

$$t = \frac{E_d \cdot k_1 \cdot k_d \cdot F_f}{A} \quad (\text{min}) \qquad (1)$$

gdje je:

E_d [B_q·min] - relativna ekspozicija i čita se iz dijagrama za različitu debljinu i vrstu prozračavanog materijala i vrstu izotopa.

K_1 - faktor rastojanja i obično se daje tabelarno.

k_d - je faktor zacrnjenja koji se takodje daje tabelarno.

F_f - faktor filma i odredjen je vrstom filma. Film FIR-10 ima faktor filma 2,2, Structurix D4 ima faktor filma 9 i td., i ti podaci obično se daju u tablicama.

A[B_q] - aktivnost izvora i izračunava se na osnovu početne aktivnosti pomoću obrasca ili dijagrama.

D r u g i n a č i n odredjivanja parametara snimanja je putem dijagrama [3] za izmjerenu debljinu prozračavanog materijala i vrstu izotopa na ordinati, dodje se od relativne ekspozicije u [B_q·min] za potrebno zacrnjenje čita se rastojanje izvora i filma. Na isti način moguće je bilo koju od nepoznatih veličina naći ako su sve ostale konstantne.

T r e ć i n a č i n odredjivanja parametara snimanja je pomoću logaritamara pokazanog na sl. 2. Postavljanjem debljine prozračavanog čelika - skala d, ispod jačine izotora - skala Ci, iznad rastojanja - skala FFA, čita se vrijeme ekspozicije - skala t.

3. UTICAJ GREŠAKA U IZBORU PARAMETARA

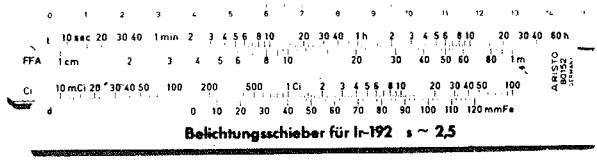
Ako obrazac (1) izrazimo po k_d dobit će se izraz:

$$k_d = \frac{A \cdot t}{E_d \cdot k_1 \cdot F_f} \qquad (2)$$

Promjena koeficijenta zacrnjenja moguća je iz više razloga. Jedina korisna promjena koja utiče na mogućnost čitanja homogenosti materijala je promjena zacrnjenja u funkciji greške u materijalu:

$$k_d = f(\Delta x) \qquad (3)$$

Sl. 1. Logaritmar za odredjivanje parametara RTG-kontrole



Zavisno od klase radiograma može se odrediti i max.Δx koji je moguće uočiti na radiogramu. Prema DIN-u 5419 za prvu klasu radiograma, debljina greške Δx, koju mora biti moguće uočiti, data je u tabeli III. Iz iste je vidljivo da za svaku grešku u materijalu adekvatnu promjenu debljine od 1,11% od 3,33% debljine osnovnog materijala treba obezbijediti vidljivu promjenu x zračenja.

Ako se izdvoje parametri koji su vezani za nazivno zacrnjenje kao konstantni može se pisati da je:

$$k_d = f(A, J_\gamma, l, t, \mu, F_f) \qquad (4)$$

Pri odredjivanju nekih od zavisno promjenljivih moguće su greške pri odredjivanju njihovih vrijednosti pa je u tom cilju potrebno izvršiti analizu istih.

- Aktivnost i vrsta izvora (A i J_γ) može se odrediti prilično tačno tako da greška bitno neće uticati na zacrnjenje radiograma.

- Rastojanje l vezano je za tačnost odredjivanja rastojanja izotopa od filma. Greška u rastojanju ovise od uslova rada i na terenu su veličine reda $\pm$ 2cm pa i više. Ta greška je za nazivno rastojanje od 30 cm, iskazano preko faktora rastojanja, u procentima $\pm$ 13,8%. Ako je nazivno rastojanje 18 cm onda za istu apsolutnu grešku faktor rastojanja varira od -21% do +23%. Iz toga je vidljivo da je povoljnije pri radiografisanju birati veće rastojanje l.

- Vrijeme ekspozicije t vezano je za tačnost izlaganju zračenju radiografisanog objekta i zavisi od uslova rada. U laboratorijskim uslovima apsolutna greška kreće se u granicama $\pm$ 5 sekundi dok na terenu i nepristupačnim prostorijama iznosi i nekoliko desetaka sekundi. Nazivno vrijeme vezano je za aktivnost izvora i uz ostale konstantne parametre je malo kod jačih izotopa. Sa druge strane promjenu faktora zacrnjenja ne bi trebalo dozvoliti preko +25% a s tim i grešku u vremenu (odgovara promjeni zacrnjenja od 0,5). Ako uzmemo da je apsolutna greška 15 sek, što odgovara 1/4 osnovnog vremena, onda uz apsolutnu tačnost svih drugih parametara, osnovno vrijeme snimanja ne bi trebalo da bude ispod jedne minute.

- Debljinu x diktira radiografisani objekat i moguće je istu odrediti tačno.

- Koeficijent apsorpcije μ odredjen je vrstom radiografisanog objekta i na grešku snimanja utiče utoliko što njegovo smanjenje uz sve druge iste uslove zahtjeva manje vrijeme, a time izaziva probleme vezane za tačnost vremena ekspozicije.

- Faktor filma F_f je tačno odredjen za oredjenu vrstu filma. Izbor većeg faktora filma izaziva povećanje vremena snimanja uz konstantne druge parametre to je moguće tako uticati, da greška u vremenu ekspozicije manje utiče na kvalitet radiograma.

Iz do sada iznešenog proizilazi da je bitna greška zacrnjenja radiograma u funkciji od greške rastojanja i greške vremena ekspozicije.

$$k_d = f(\frac{\Delta l}{l} , \frac{\Delta t}{t}) \qquad (5)$$

4. EKSPERIMENTALNI DIO

U okviru eksperimentalnog dijela vršena su mjerenja brzine ekspozicije pri različitim debljinama prozračavanog čelika i ustanovljeno je dobro slaganje sa krivom zakonitosti datom u dijagramu [3]. Za aluminijsku leguru utvrdjeno je da je kriva znatno položenija zbog manjeg koeficijenta apsorpcije i većeg pojačanja zračenja prolaskom kroz aluminijsku leguru.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznijetog mogu se izvesti zaključci čijim pridržavanjem možemo izbjeći neželjene posljedice grešaka u izboru parametara snimanja i to:

1. Pri radiografisanju tanjih limova od čelika jačim izotopom podešavati rastojanje izvora da vrijeme ekspozicije ne bude malo.

2. Ukoliko rastojanje nije moguće povećati, kao kod panoramskog radiografisanja cijevi koristi film sa većim faktorom filma.

3. Pri radiografisanju materijala sa manjim koeficijentom apsorpcije potrebno je koristiti film sa većim faktorom filma.

6. LITERATURA

[1]. S.Ferušić: "Radiografske metode u ispitivanju gradjevinskih materijala i zavarenih spojeva u konstrukcijama", Gradjevinski fakultet, Sarajevo 1972.god.

[2]. S.Ferušić: "Radiografija"
S.Kuzmanović: "Energoinvest", Tehnika, nauka, inženjering", Sarajevo, 1976.g.
A.Sirćo:

[3]. Katalog "Fotokemika", Zagreb

[4]. V.Krstelj: "Kontrola postupaka radiografisanjem", Zavarivanje", br.3, Zagreb, 1981.god.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

Boris Anzulović

POPRAVCI ZAVARIVANJEM DINAMIČKI OPTEREĆENIH KONSTRUKCIJA

R e z i m e

Dinamički opterećene konstrukcije može se uspješno popraviti zavarivanjem ukoliko se poznaje vrsta osnovnog materijala i uzročnici pukotina uslijed zamora. Krpljenje i pojačavanje analogno zakivanim konstrukcijama daje loše rezultate, ali se nažalost dosta koristi, najviše zbog neupućenosti tehnologa u osobenosti dinamički opterećenih konstrukcija.

REPAIRS BY WELDING OF DYNAMICALLY LOADED STRUCTURES

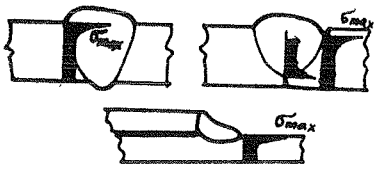
S u m m a r y

Dynamically loaded structures can be successfully repaired by welding when base metal and proper knowledge on causes of fatigue fractures is known. Repairs by fillet welding of strengthening plates, as analogy to riveted structures gives poor results, but is still widely used, mainly because of insufficient knowledge of specific behaviour of structures under dynamic or shock loading.

UVOD

Zavarene konstrukcije izložene dinamičkom opterećenju u mnogim slučajevima zahtijevaju popravke zbog pojave pukotina uslijed zamora materijala. Dinamička izdržljivost zavarenih konstrukcija je obično niža od izdržljivosti osnovnog materijala zbog postojanja brojnih koncentratora naprezanja (nadvišenja tjemena i korjena zavara, nehomogenosti u zavaru, naglih promjena debljine presjeka) slika 1. Zaostale napetosti od zavarivanja nemaju jačeg utjecaja (jer se smanje dinamičkim opterećenjem ukoliko su vlačne, a ukoliko su tlačne onda povećavaju dinamičku izdržljivost . U slučaju superpozicije vlačnih zaostalih i tlačnih promjenljivih naprezanja može doći do zamora .

Mr Boris Anzulović, dipl. ing, znanstveni asistent, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Katedra za mehaničku tehnologiju, Split, Rudjera Boškovića bb.



Slika 1: Koncentratori naprezanja u zavarenim konstrukcijama
a) nadvisivanje tjemena i korjena,
b) nehomogenosti u zavaru,
c) nagle promjene debljina.

POPRAVAK KRPLJENJEM

Nakon uočavanja prvih pukotina na dinamički opterećenoj konstrukciji često se pukotina samo djelomično izlijebi i zavari sa širokim i visokim tjemenom, da "bolje" drži, slika 2. Naravno da ovakav popravak ubrzo izaziva pukotinu po sredini zavara i dalje širenje u zdravi materijal. U ovoj fazi se krive elektrode kao uzročnici loma, (naročito ako su korištene "domaće").



Slika 2: Popravak zavarivanjem nedovoljno izlijebljene pukotine

Daljnji popravak se vrši prema analogiji sa zavarenim konstrukcijama postavljanjem ploča za pojačanje i kutnim zavarivanjem ploča za osnovni materijal. Rašireno je uvjerenje da je sučeoni zavar slabiji od kutnog, što je naročito pogrešno kod dinamički opterećenih konstrukcija. Prije postavljanja pokrivnih ploča pukotina se ili zavari, ili još češće ostavi nezavarena, slika 3. S obzirom na visoku koncentraciju naprezanja na prelazu iz osnovnog materijala u ploču za ojačanje, ubrzo na tom mjestu dolazi do pukotine zbog zamora. Postavljanje debljih i jačih ploča samo ubrzava nastajanje novih pukotina, za što se opet krivi zavarivanje i naravno, elektrode. Prelazi se na učvršćenje ploča vijcima ili zavarivačkim zakovicama, što ne može trajnije riješiti problem pojave pukotina. Dodatna težina ploča za pojačanje može u nekim slučajevima povećati dinamička naprezanja.



Slika 3: Krpljenje pukotine pločom za pojačanje analogno zakivanoj konstrukciji

Ovdje se nameće pitanje zbog čega se popravci tako često vrše krpljenjem kada su rezultati tih popravaka loši. Da li je popravljanje krpljenjem jednostavnije i brže naročito na terenu, ili je uzrok tome nepoznavanje uzročnika loma uslijed zamora? Mišljenje je autora da mnogi koji rade na održavanju strojeva i uredjaja izloženih zamoru ne poznaju osnovna pravila za uspješan popravak zavarivanjem, bez obzira na školsku naobrazbu i iskustvo u radu. U srednjim školama i na fakultetima se pojavama zamora pridaje mali značaj, tako da školovani stručnjaci imaju često nejasne pojmove o zamoru zavarenih konstrukcija.* Tradicionalan pristup iz zakivanih konstrukcija još je jako prisutan u praksi. Nedostatak priručnika i monografija iz područja zavarivanja, u kojima bi se na primjerima iz prakse moglo upoznati sa osnovama pravil-

*Pojave zamora se najviše obradjuju u vezi sa osovinama i zupčanicima, utjecaja zaobljenja, pri promjenama presjeka i hrapavosti površine.

nog pristupa zavarivanju je ozbiljan problem kojeg bi trebalo rješavati na nivou republičkih društava za zavarivanje i Saveza društava za zavarivanje Jugoslavije.

PRISTUP POPRAVCIMA ZA TRAJNU SANACIJU ZAVARENE KONSTRUKCIJE

Prilikom analize lomova dinamički opterećenih konstrukcija (gradjevinski strojevi, plaštevi mlinova) te izrade uputa za popravak zavarivanjem, došlo se do pristupa popravcima koji se pokazao uspješnim za trajnu sanaciju konstrukcija:

- Popravak treba biti brz i izveden dostupnim strojevima, opremom i dodatnim materijalom. Ukoliko se trajanje popravka produljuje postoji opasnost popravka krpljenjem zbog potrebe za puštanjem konstrukcije u pogon.

- Analizirati uzrok loma i ocijeniti mjesta najviših naprezanja.

- Procijeniti sastav i mehanička svojstva osnovnog materijala analogijom sa sličnim konstrukcijama, mjerenjem tvrdoće po Shore-u ili Poldi-ju, ukoliko je moguće vaditi uzorke lime može se izmjeriti tvrdoća i ostalim metodama. Točna kemijska analiza i ispitivanje rastezne čvrstoće i rastezljivosti materijala obično predugo traju, pa se ne koriste. Promatranjem iskri od brušenja može se približno ocijeniti sastav materijala. Izgled površine preloma može malo pomoći u procjeni vrste materijala jer je površina obično ugnječena prilikom završnog loma, a lom od zamora nije praćen plastičnom deformacijom, bez obzira na statičku rastezljivost materijala. Korisno je magnetom provjeriti da li se radi o feritnom ili austenitnom čeliku. Po obliku sastavnih dijelova može se zaključiti da li su valjani ili lijevani proizvodi, što ukazuje i na njihovu zavarljivost. Nakon približnog odredjivanja vrste materijala može se pristupiti izboru dodatnog materijala.* U većini sličajeva moguće je naći odgovarajući dodatni materijal u proizvodnom programu domaćih proizvodjača. Upotrebu visokolegiranih austenitnih elektroda se u pravilu izbjegava zbog više cijene i teže nabave. Ukoliko se ne može izbjeći njihova upotreba koriste se samo za oblaganje žlijebova, a popunu se vrši nelegiranim elektrodama. Pravilnim izborom temperature predgrijavanja može se postići kvalitetan zavar i nelegiranim elektrodama. Izabrana elektroda treba biti po svojstvima bliska osnovnom materijalu, medjutim može biti i niže čvrstoće kada je zavareni spoj u području nižih naprezanja. Elektrode pretjerane čvrstoće stvaraju koncentraciju naprezanja zbog različite deformacije zavara od osnovnog materijala prilikom opterećenja. Važno je napomenuti da zavar obično ima relativno višu granicu popuštanja od osnovnog materijala iste rastezne čvrstoće. Ovo vrijedi naročito za kutne spojeve gdje dodatni materijal može imati nižu rasteznu čvrstoću. Dinamički opterećene zavarene konstrukcije su računate na niža dozvoljena naprezanja od statički opterećenih. Povećanjem statičke rastezne čvrstoće čeliku slabije raste dinamička izdržljivost (koja najviše ovisi o koncentratorima naprezanja). Ovim se

*Izbor procesa zavarivanja je obično ograničen na REL zavarivanje, rjedje se koristi MAG ili TIG proces.

može opravdati upotreba elektroda niže čvrstoće. Zaostale napetosti u zavaru se takodjer lakše popuštaju kada je materijal niže čvrstoće.

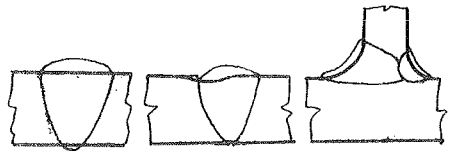
- Priprema spoja treba biti takva da omogući potpuno provarivanje korjena, budući da je to osnovni preduvjet za uspješan popravak sučeonog zavara. Ukoliko nije moguć pristup s obje strane mogu se koristiti keramičke podloške. Zavarivač koji vrši provarivanje korjena treba prije zavarivanja probati zavariti barem jednu probnu ploču sa potpunim provarivanjem. Naime, bez obzira na dobar atest, zavarivači koji u radu rijetko zavaruju sa potpunim provarom (a to je najčešći slučaj) mogu napraviti neprihvatljive greške ako neposredno prije rada nisu vježbali provarivanje korjena. Izrezivanje limova i žlijebljenje pukotina može se vršiti plinski. Brušenjem se otvaraju manje pukotine, a pukotine na nepristupačnim mjestima treba izvaditi sjekačem. U nekim slučajevima može se žlijeb za zavarivanje otvarati i elektrodom za žlijebljenje, nakon čega treba brušenjem poravnati stranice žlijeba. Žlijebljenje ugljenom elektrodom i zrakom je pogodno kod debljih materijala. Pukotinu treba potpuno ukloniti, jer u protivnom cijeli popravak postaje promašen. Kontrola uklanjanja pukotine može se provesti penetrantima ili magnetskim česticama (suha metoda ne zahtijeva čišćenje prije zavarivanja).

- Temperatura predgrijavanja odredi se nekom od poznatih metoda.

Kod popravaka na manjim komadima treba kontrolirati temperaturu izmedju slojeva da se izbjegne pregrijavanje komada. Kontrola temperature termokredama je prikladan način praćenja temperature materijala kod zavarivanja.

- Po završenom popravku vrši se uklanjanje koncentratora naprezanja brušenjem, slika 4. Brusač ne smije izazvati pregrijanje površine prilikom brušenja. Tlačne napetosti unesene u površinu brušenjem povećavaju dinamičku izdržljivost.

- Nakon završenog brušenja vrši se provjera homogenosti zavarenog spoja vizuelno i ultrazvukom, rjedje penetrantima i magnetskim česticama. Radiografiranje se rijetko koristi zbog nemogućnosti postavljanja filma ili velike debljine komada.



Slika 4: Uklanjanje koncentratora naprezanja brušenjem

S obzirom da su nadvišenja zavara pobrušena može se ultrazvukom ispitivati i kosim i ravnim vibratorom.

Po završenom popravku konstrukcija se pušta u pogon, a zatim prati ponašanje u radu za dobivanje povratnih podataka o uspješnosti.

ZAKLJUČAK

S obzirom na hestašicu i skupoću uvoznih dijelova i materijala bilo bi potrebno pristupiti upoznavanju tehničke javnosti s mogućnostima popravaka zavarivanjem oštećenih i pohabanih dijelova i konstrukcija. Zavarivanjem nekoliko kilograma dodatnog materijala može se produžiti vijek trajanja konstrukcija čija se masa mjeri tonama.

LITERATURA - Upute za popravak zavarivanjem, razni slučajevi, Arhiva Katedre.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE,MOSTAR,1982.GOD.

Pašić Omer*
Čampara Miralem
Meštrović Ivan

PRIMJENA TEHNOLOGIJE NAVARIVANJA U PROIZVODNJI I REPERATURI RUDARSKE OPREME

R e z i m e

Rad tretira analizu procesa habanja na nekim rudarskim mašinama te metode koje se mogu primjeniti u cilju smanjenja procesa habanja. Rad je izvod iz projekta koji je rezultirao jednom novom tehnologijom izrade bagerskih zubaca. Rad je radjen za potrebe Rudnika Gacko a zajednički su ga radili stručnjaci Mašinskog fakulteta u Mostaru i Rudnika i TE Gacko.

Problem habanja radnih elemenata na vedricama rotornih bagera prisutan je još od samog početka primjene ovih mašina koje su se na površinskim otkopima pokazale kao vrlo produktivne i ekonomične mašine. U procesu otkopavanja dolazi do intenzivnog habanja reznih površinama izazvanog suvim trenjem klizanja minerala kombinovanog sa značajnim dinamičkim udarima. Na proces habanja reznih elemenata osim materijala koji se otkopava utiče i niz drugih faktora kao što su: materijal od koga su izradjeni rezni elementi,geometrijske karakteristike reznih elemenata,obodne brzine rotora bagera i specifični otpori kopanja.

U procesu kopanja dolazi do klizanja materijala po reznim elementima pri čemu nastaje neželjno habanje reznog elementa. Proces habanja se nesumnjivo odražava na geometrijske karakteristike reznih elemenata na njihov vijek trajanja i opštu upotrebljivost a indirektno na kapacitet bagera, potrošnju energije i opštu spremnost bagera za normalnu eksploataciju. Očigledno da fenomen habanja ima veliki uticaj na pogonsku spremnost rudarskog bagera te ga je potrebno pažljivo proučiti kako sa aspekta uzroka i preventivnog djelovanja tako isto i sa aspekta sanacije i uklanjanja eventualnih posljedica.

Svaka neželjna promjena, na površini konstrukcionih elemenata, u vidu odvajanja čestica metala sa posmatrane površine naziva se habanje. Ovo odvajanje može biti mehaničko,hemijsko ili elektrohemijsko. Do mehaničkog habanja može općenito doći ako su ispunjeni slijedeći uslovi:

---

* Dr Pašić Omer,dipl.ing.-vanredni profesor na Mašinskom fakultetu u Mostaru
Čampara Miralem, dipl.ing. Direktor održavanja Rudnika i TE Gacko
Meštrović Ivan,dipl.ing.asistent na Mašinskom fakultetu u Mostaru.

1. Ako postoji pokretni ili nepokretni elemenat na kome nastaje habanje.
2. Ako postoji pokretni elemenat koji izaziva habanje.
3. Ako postoji relativno kretanje pokretnog i nepokretnog elementa
4. Ako postoji opterećenje koje izaziva habanje.

Kod rudarskih mašina su ispunjeni svi navedeni uslovi te je sigurno da će nastalo habanje imati svoje tehničke i ekonomske posljedice.

Da bi se smanjio intenzitet habanja mogu se poduzeti različite preventivne mjere kao što su:
- izmjena režima eksploatacije
- konstruktivni zahvati (promjena geometrije reznih elemenata)
- korištenje optimalnih reznih materijala

Optimalno rješenje se može postići najčešće kombinacijom svih predloženih mjera što se postiže sistematskim praćenjem i selektivnim izborom najboljih kombinacija. I pored svih preventivnih mjera habanje se ne može potpuno spriječiti ali se na njega može značajno uticati ako se pozna njegova suština i mehanizam nastanka.

1. ANALIZA PROBLEMA NAVARIVANJA TVRDIH METALA NA RADNE ELEMENTE RUDARSKIH MAŠINA

Razvoj tehnike zavarivanja danas je dostigao takav nivo da se može veoma efikasno primjeniti za ublažavanje i otklanjanje posljedica habanja. Ekonomski efekti koji se postižu tehnikom navarivanja ogledaju se kroz sljedeće činjenice:
- Smanjenje zavisnosti od kvara i raspoloživih deviznih sredstava.
- Nezavisnost od nabavke rezervnih dijelova .
- Smanjenje zaliha rezervnih dijelova.
- Veći koeficijent iskorištenja raspoložive opreme
- Veće iskorištenje angažovane radne snage

Navarivanje tvrdih metala na radne elemente rudarskih mašina ima za cilj povećanje vijeka trajanja tih dijelova putem povećanja otpornosti na razne tipove habanja, koji se javljaju pri radu. Ovakvo navarivanje može se primijeniti i na nove dijelove, tj. prije njihovog puštanja u rad-što je često i najbolje - ali isto tako i na radom pohabane i oštećene elemente koje treba reparirati. Ovdje ćemo razmatrati oba slučaja.

Osnovni razlog porasta primjene reperaturnog navarivanja tvrdih metala na radne površine dijelova rudarskih mašina je ekonomska opravdanost takvih postupaka, a to se ogleda u sljedećem:
- povećanom trajnošću repariranih dijelova smanjuje se učestalost budućih repariranja, a to su direktne uštede, kako vremenske tako i materijalne;
- brzim i efikasnim repariranjem smanjuju se vremenski gubici prouzrokovani zastojem u proizvodnji;
- uredjaji za izvodjenje reperaturnog navarivanja su relativno jednostavni i jeftini;
- dodatni materijali se mogu relativno lako i jeftino nabaviti.

Dakle, postiže se svestrani porast radne efikasnosti strojeva, pri čemu su materijalni troškovi neznatna stavka u troškovima održavanja radnih elemenata reparaturnim navarivanjem a daleko važniji faktori su zastoji i gubici u proizvodnji. Uslovi za postizanje navedenih efekata su dobro odabrano rješenje koje karakteriše:

- odabranu tehnologiju reperature,
- odabran postupak navarivanja
- vrsta i osobine dodatnog materijala.

1.1. Postupci tvrdog navarivanja

Navarivanje tvrdih metala na površine radnih elemenata raznih mašina, sa ciljem povećanja otpornosti na habanje, može da se izvodi svim uobičajenim postupcima navarivanja, sa manje ili više uspjeha. Pri izboru postupka svakako treba voditi računa o prednostima i nedostacima pojedinih postupaka, kako bi se u svakom slučaju odabrao najpodesniji postupak za konkretan zadatak navarivanja,koji se postavlja pred tehnologa. Najčešće se u praksi koriste različiti postupci elektrolučnog navarivanja,kao i plinsko(oksi-acetilensko)navarivanje. Izbor determiniraju,izmedju ostalog,i oblik,dimenzije i hemijski sastav osnovnog materijala, njegova mikrostruktura,mogućnost postizanja navarenog depozita traženog sastava i osobina,ekonomičnost procesa,zahtjevana produktivnost navarivanja te oprema i materijal kojima u okvirima konkretnih uslova raspolažemo.

Za tvrdo navarivanje uspješno se mogu koristiti sljedeći postupci zavarivanja:
- ručni elektrolučni obloženim elektrodama,
- plinski postupak
- TIG,
- MIG/MAG i
- EPP.

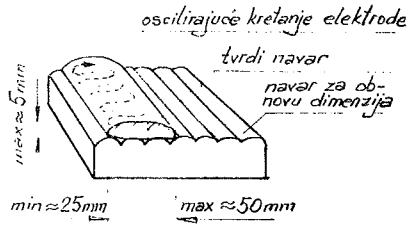
Za navarivanje rudarske opreme ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom i MIG-MAG postupak imaju najveći značaj.

1.2. Neke specifičnosti tvrdog navarivanja

Postoji bitna razlika izmedju navarivanja radi postizanja potrebnog oblika i dimenzija jako pohabanih dijelova i navarivanja tvrdog metala na radne površine radi postizanja otpornosti na habanje. Kod dijelova koji zahtijevaju obnavljanje habanjem izgubljenih dimenzija (red veličina 5-lo mm) najprije se izvodi ta operacija navarivanja, da bi položeni navar mogao biti podloga za tvrdo navarivanje površine.

Dodatni materijali za prvu vrstu navarivanja moraju odgovarati i biti podeseni za postavljanje tvrdog površinskog navara. Oni moraju posjedovati potrebna mehanička svojstva, biti otporni na visoke pritiske i udare, jer u protivnom tvrdi površinski sloj,koji ima malu duktilnost će se raspadati zbog slabe podloge.

Kada je obezbjedjena podloga za tvrdi navar, pristupa se mnogo delikatnijoj fazi rada, a to je postavljanje tvrdog površinskog sloja putem navarivanja. Ako dijelove od ugljeničnog čelika,koji su prethodno zahtijevali i obnavljanje dimenzija navarivanjem (dodatni materijal takodje na bazi ugljeničnog čelika) treba navariti tvrdom legurom iz grupe visoko-legiranih materijala,od vitalnog je značaja održavanje visokih medjuprolaznih temperatura pri navarivanju, što znači ne prekidati navarivanje dužim pauzama. Osim toga, poželjno je pridržavati se i nekih preporuka opšteg karaktera,kao i ograničenja datih na slici 1.



Sl.1. Orijentaciona preporučljiva ograničenja pri tvrdom navarivanju.

Posmatrajući proces na sl.1. može se preporučiti sljedeće:

- Umjesto pravolinijskog,koristiti oscilirajuće kretanje dodatnog visokolegiranog materijala(elektrode),
- Izbjegavati naglo prekidanje,
- Ograničiti debljinu jednog sloja navara na maksimalno oko 5 mm,
- Ograničiti širinu jednog prolaza u približnom intervalu 25-5o mm,
- Sem u nekim slučajevima, ne bi trebalo polagati više od dva sloja navara,
- Kod drugog sloja koristiti istu tehniku navarivanja.

Predebeo navar tvrdog metala na površini može prouzrokovati više problema nego nedovoljno debeo. U većini slučajeva dva sloja sasvim zadovoljavaju, jer prvi sloj će osigurati solidno prijanjanje sa baznim materijalom, a drugi će dati traženu otpornost površine na habanje. Postoje dodatni materijali koji mogu bez posebnih negativnih posljedica biti nanešeni čak u četiri, pa i više slojeva, ali postoje i takvi kod kojih ograničenje ne dopušta polaganje u više od jednog sloja (npr.kada su u dodatnom materijalu prisutni W - karbidi).

Kod jednoslojnih navara zaoštrava se jedan poseban problem, a to je u vezi sa miješanjem osnovnog i dodatnog materijala.

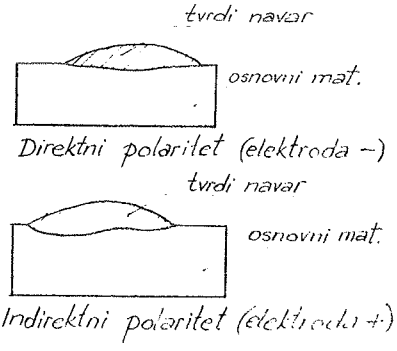
Neophodno je, naravno, obezbijediti dobar i kompaktan spoj izmedju baznog metala i tvrdog navara, ali pri tome treba obezbijediti što manje miješanja jer duboka penetracija i nije tako važna kod navarivanja kao što je to kod zavarivanja. Razlog je jednostavno što hemijski sastav tvrdog navara pri tom miješanju može značajno da se poremeti, a to znači i gubitak potrebnih svojstava.Što je osnovni metal manje legiran i što je veće miješanje osnovnog i dodatnog materijala, to je veće osiromašenje navara na legirajućim elementima, koji su zapravo nosioci tvrdoće i otpornosti na habanje.

Dakle postavlja se pitanje:kako minimizirati miješanje osnovnog i dodatnog materijala?

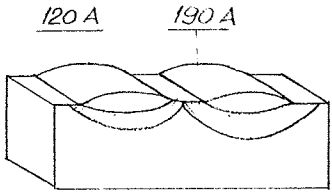
Općenito se u tom cilju pri tvrdom navarivanju treba pridržavati sljedećih preporuka, ako se radi o elektrolučnom navarivanju:

- Korstiti niže vrijednosti strujnih parametara.
- Pdabrati direktni polaritet(elektroda na minus polu).
- Veći prečnik elektroda.
- Navare polagati uz medjusobno čvrsto pribijanje prolaza, pri čemu će se oni preklapati do oko 5o%, odnosno smanjiti korak navarivanja.

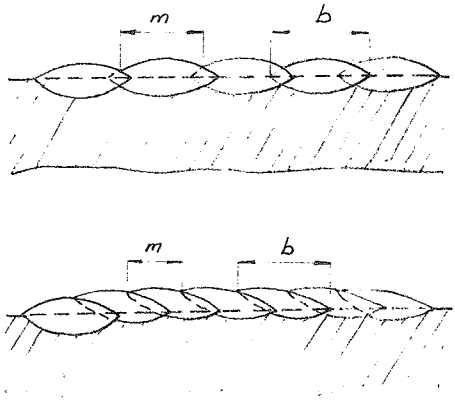
Na slikama 2 i 3 su prikazani navedeni principi čiji je cilj smanjenje miješanja osnovnog i dodatnog materijala pri tvrdom navarivanju.



Slika 2. Uticaj polariteta na penetraciju.



Sl.3. Uticaj jačine struje na penetraciju.



Sl.4. Uticaj koraka navarivanja(m) na udio osnovnog materijala (δ) u sastavu navarenog sloja

a) m=o,9 b δ = o,65%

b) m=o,6 b δ = o,45%

Kod tvrdog navarivanja ne treba zanemariti pojavu zaostalih termičkih dilatacija.

Oni su posebno izraženi i opasni kod visokolegiranih navara,jer je njihova moguća posljedica pucanje i raspadanje navara,do kojeg može doći pogotovu kasnije, u toku eksploatacije,kada se sa tim unutarnjim naponima kombinuju i vanjski radni naponi tih elemenata. Kada se pri tom superponiranju desi prekoračenje čvrstoće materijala, rezultat će biti duboke pukotine u materijalu ili još češće u prelaznoj zoni izmedju osnovnog i navarednog materijala.

Problem je, dakle, umanjiti ili eliminirati termičke napone,za što nam na raspolaganju stoje klasične metode prije svega predgrijavanje.

1.3. Dodatni materijal za tvrdo navarivanje

Izbor dodatnih materijala za tvrdo navarivanje treba da se bazira na analizi uslova rada radnog elementa. Za radne elemente rudarskih mašina, tj. konkretno za zube bagera, radni uslovi nisu jednostavni-abrazivna i udarna opterećenja. Pošto je poznato da navari maksimalno otporni na abraziju uglavnom pokazuju lošu otpornost na udare i obrnuto,treba procijeniti medjusobni odnos raznih tipova radnog opterećenja da bi izabrani dodatni materijal odgovarao svrsi kao kompromisno rješenje.

Klasifikacija dodatnih materijala za tvrdo navarivanje koja je ovdje navedena data je od strane "Medjunarodnog instituta za zavarivanje". Po njoj su materijali svrstani u pet grupa prema hemijskom sastavu:

1. grupa - materijali na bazi željeza,koji se uglavnom koriste za obnavljanje dimenzija i oblika jače istrošenih elemenata,dakle kao podloga tvrdom navaru.Ponekad služe i kao završni sloj - ako se zahtijeva visoka otpornost na udar, a manje na obraziju.

2.grupa - legirani materijali na bazi željeza sa manje od ukupno 2o% legirajućih dodataka(uglavnom Cr,Mn,Si,

Mo). Neki od ovih materijala su obradivi skidanjem strugotine, a tvrdoća im se kreće u rasponu od 45 do 6o HRc. Namjena im je za kombinovana opterećenja:
jaka abrazija uz umjerene do jake udare.

3.grupa - legirani materijali na bazi željeza,ali sa preko 2o% ukupno dodatnih legirajućih elemenata(Cr,Mn,Si,V,B,Zr). Tvrdoća ovih legura iznosi 54-6o HRc. Uslovi rada za koje su namijenjene su jaka abrazija i mala do umjerena udarna opterećenja.

4.grupa - to su legure na bazi Co i Ni namijenjene za vrlo teške uslove rada, gdje se pored abrazije i udara javljaju još i visoke temperature i korozija. Dobra antifrikciona svojstva čine navare ove vrste podesnim za ležajne površine. Ove legure mogu se dobiti i u obliku praška.

5.grupa - materijali koji sadrže razlučito dispergovane W-karbide, na čemu se osniva njihova maksimalna abrazivna otpornost.

Dodatni materijali za navarivanje mogu biti isporučeni u raznim oblicima, zavisno od postupka navarivanja;
- Gole žice i livene šipke(za plinsko navarivanje),
- Obložene elektrode(za ručno-elektrolučno navarivanje) sa oblogom najčešće bazičnom,
- Žice u namotajima(za poluautomatske i automatske elektrolučne postupke u zaštiti plinova ili pod prahom),
- Praškom punjene žice (za poluautomatsko ili automatsko navarivanje u zaštitnoj atmosferi ili bez nje),čija je proizvodnja lakša nego adekvatnih punih visoko-legiranih žica,jer je omot meki čelik podesan za plastično oblikovanje, a praškasto punjenje je obogaćeno tvrdim karbidima,
- Trake(za navarivanje pod prahom),
- Praškovo(za plinsko,plazma,induk-ciono i slična navarivanja)ž

1.4. Analiza elemenata koji utiču na tvrdoću tvrdih navara

Na tvrdoću navara bitno utiču slijedeća tri osnovna faktora:

- svojstva osnovnog materijala,
- svojstva dodatnog materijala,
- miješanje osnovnog i dodatnog materijala.

a) Uticaj osnovnog materijala ogleda se naročito na tvrdoću prvog sloja navara, pa je on od posebne važnosti kod jednoslojnih navara. Radi se zapravo o uticaju hemijskog sastava osnovnog materijala, a pošto je to najčešće ugljenični čelik, onda je sadržaj ugljika od odlučujućeg značaja. Općenito važi da povećani procenat C u podlozi navara povećava i procenat C u navaru, a time i tvrdoću navara,zavisno od stepena miješanja osnovnog i dodatnog materijala.

b) Uticaj dodatnog materijala opet treba posmatrati kroz pojavu miješanja sa osnovnim materijalom. Općenito govoreći, ako se ne mijenja hemijski sastav osnovnog materijala i stepen miješanja,onda hemijski sastav dodatnog materijala,posmatran kvantitativno i kvalitativno ima odlučujući uticaj na tvrdoću navarenog sloja.

c) Uticaj miješanja osnovnog i dodatnog materijala je u principu već razmatran pri analiziranju penetracije. Veća penetracija znači i veće miješanje i veće promjene hemijskog sastava deponovanog materijala. Time se mijenja

i tvrdoća.

Svakako najveći uticaj na osobine navara ima hemijski sastav pri čemu svaki od legirajućih elemenata ima svojstven uticaj:
UGLJIK povećava tvrdoću tako što obrazuje karbide sa ostalim legirajućim elementima. Ugljik smanjuje zavarljivost osnovnog materijala,povećava zakaljivost i čvrstoću spoja i negativno utiče na obradjivost skidanjem strugotine.

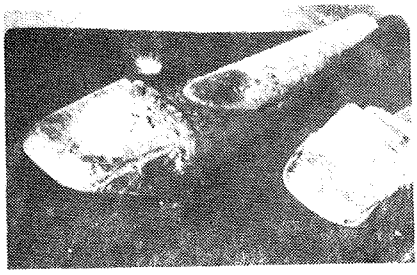
MANGAN djeluje kao austenitizator,čelici sa preko 12% Mn imaju dobra svojstva prema udarima ali ne prema abraziji i koroziji.

KROM je izrazito sklon stvaranju tvrdih karbida te on povećava otpornost prema abraziji i koroziji.

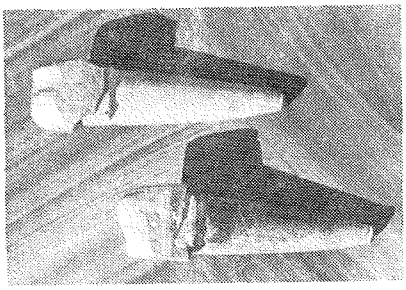
NIKL povećava otpornost prema koroziji,naročito u redukujućim sredinama.

VOLFRAM i VANADIJ povećavaju stabiln ost tvrdoće pri povišenim temperaturama. Oni su izrazito skloni gradjenju karbida visoke tvrdoće.

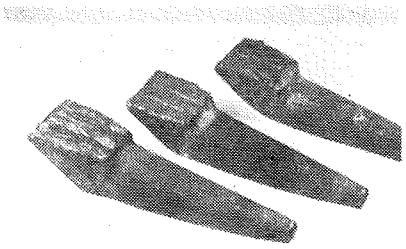
Općenito se može reći da su karbidi glavni oslonac u borbi protiv abrazivnog habanja. Nedostatak karbda je relativno niska otpornost na dinamičke udare.



Slika 5. Zubac Sovjetske proizvodnje



Slika 6. Oštećenje na zubcima sovjetske proizvodnje



Slika 7. Zubci proizvedeni u Radionici Rudnika Gacko

ZAKLJUČAK

Teoretska obrada problema habanja i navarivanja kao i iskustva stečena u eksploataciji bagerskih zuba sovjetske proizvodnje te iskustva stranih i domaćih proizvodjača opreme i dodatnih materijala stvorila su značajne podloge za eksperimentalan rad. Svi eksperimenti vršeni su sa domaćim čelicima i domaćim dodatnim materijalima. Metalografskim ispitivanjima, tehnološkim zapažanjima i praćenjem ponašanja u procesu eksploatacije došlo se do konkretnih rješenja na kojima predstoji dalje usavršavanje. Za nekoliko mjeseci

ćemo imati više podataka za realniju ocjenu osvojenih rješenja ali već sada je sigurno da su postignuti slijedeći efekti:

- potpuno oslobadjanje od uvoza
- višestruko jeftinije rješenje
- proizvodnja u sopstvenim pogonima.

Praćenjem zubaca u toku eksploatacije ispitaće se tribološke i geometriske karakteristike te njihov uticaj na kapacitet i potrošnju energije na osnovu čega će se doći do optimalnog rješenja.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982.

Božidar Kovačević *
Marinko Grbin

NAVARIVANJE SJEDIŠTA VENTILA

R e z i m e

Sjedišta ventila za energetsku i procesnu opremu moraju imati specifično mehanička i kemijska svojstva. Ta svojstva moguće je postići, među ostalim i navarivanjem sjedišta ventila. Tekst obrađuje neke mogućnosti navarivanja relativno tankih sjedišta manjeg ili srednjeg promjera.

ANSCHWEISSEN DES VENTILSITZEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Ventilsitze für Energetisch- und Prozessrüstung müssen spezifische mechanische und chemische Eigenschaften besitzen. Diese Eigenschaften sind möglich zu erreichen, zwischen anderen auch mitteils Anschweissen des Ventilsitzes. Der Text bearbeitet einige Möglichkeiten des Anschweissens relativ dünner Sitze kleinerer oder mittlerer Durchmesser.

1. Uvod

Među ugrađenom armaturom u postrojenjima za energetsku i procesnu opremu su i ventili, koji se uglavnom izrađuju iz visokokvalitetnog sivog lijeva ili čeličnog lijeva. Ti materijali u potpunosti zadovoljavaju postavljenim zahtjevima na mehanička i ostala svojstva samog kućišta ventila.

Međutim, sjedišta ventila, kao i pladnjevi, moraju na svojim dodirnim površinama imati bolja mehanička i antikorozivna svojstva (zbog korozionog i erozionog djelovanja medija koji prolazi kroz ventil) nego što to ima sivi, odnosno, čelični lijev iz kojeg je izliveno kućište. Bilo bi neracionalno izliti, odnosno izraditi čitavo kućište iz materijala više

* Božidar Kovačević, dipl.inž.stroj. TPK - OOUR Zavod za energetsku i procesnu opremu, 41ooo Zagreb, Žitnjak b.b.
Marinko Grbin, inž.stroj.

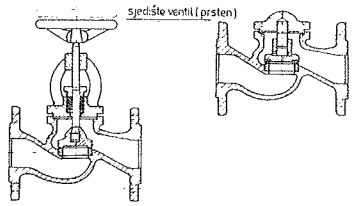
kvalitete, koja bi zadovoljila pooštrene zahtjeve na mehanička i antikorozivna svojstva sjedišta ventila.

Zbog ovih razloga prišlo se analizi mogućnosti rješenja ovog problema. Istraživanja su započela snimanjem postojećeg stanja. Nakon toga analizirane su mogućnosti rješenja problema.

Principjelno, postizanje boljih mehaničkih i kemijskih svojstava na dodirnim površinama sjedišta i pladnja ventila mogu se postići na slijedeće načine:

- navarivanjem obrađenog sjedišta ventila, koji je sastavni dio kućišta, s tvrđim i kemijski otpornijim legurama;
- navarivanjem sjedišta ventila tvrđim i kemijski otpornijim legurama i utiskivanjem tako navarenog i obrađenog sjedišta u kućište ventila;
- izradom sjedišta iz tvrđe i kemijski otporne legure i utiskivanjem sjedišta u kućište ventila.

Prva varijanta je nakon kratke analize odbačena, jer je većina kućišta reprezentantnih ventila koje smo razmatrali, izlivena iz sivog lijeva (slika 1). Treća varijanta



Slika 1. Uobičajeni tip ventila s utisnutim sjedištem

je također nakon ekonomske analize odbačena jer je to rješenje vezano isključivo za uvoz. Druga varijanta navarivanja prstenova, strojne obrade i utiskivanja takovog sjedišta u kućište je detaljno razmatrana za neke konkretne potrebe.

Navarivanje takovih prstenova tj. sjedišta moguće je izvesti na nekoliko načina i to:

1. navarivanje MIG/MAG postupkom,
2. navarivanje TIG postupkom,
3. navarivanje plinskim postupkom,
4. toplinskim našpricavanjem,
5. indukcionim navarivanjem,
6. izradom dodirnog prstena iz tvrde legure i difuzionim navarivanjem prstena na sjedište;
7. navarivanje trakama pod praškom.

Rješenja navedena pod točkom 5,6, i 7 nisu eksperimentalno ispitivana, zbog manjih serija i manjih dimenzija ventila. Ostali mogući primjenjivi postupci su i eksperimentalno ispitani u granicama u kojima su to dopuštali deficitarni i uvozni dodatni materijali.

2. Navarivanje MIG/MAG postupkom

2.1. Zahtjevi na navar sjedišta ventila

Prvi konkretan slučaj koji je za naše potrebe trebalo riješiti bilo je navarivanje prstenova, odnosno sjedišta kod kojih se na kvalitetu navarenog sloja postavljaju slijedeći zahtjevi:

- navar mora sadržati više od 13 % kroma(zbog korozione postojanosti),
- navar mora biti homogen visine ne manje od 5 mm,
- navar mora imati tvrdoću od 22o do 28o HB.

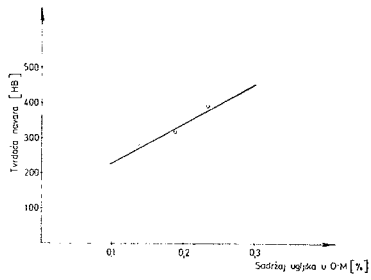
Prva dva zahtjeva bilo je vrlo lako

postići izborom odgovarajućeg dodatnog materijala i navarivanjem odgovarajućeg broja slojeva. Tvrdoća se, međutim od slučaja do slučaja razlikovala za više od 150 HB. Nakon tih prvih neuspjelih pokusa navarivanja sjedišta s dodatnim materijalom oznake SKWA (proizvođač je firma "Böhler" - Austrija) koja su izvedena prema preporuci proizvođača prišlo se opsežnijem istraživanju problema navarivanja sjedišta ventila ovom legurom.

2.2. Elementi koji utječu na tvrdoću navara

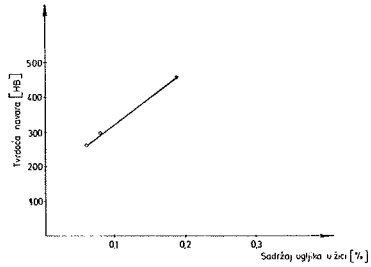
Na temelju prvih pokusa ustanovljeno je da na tvrdoću navara bitno utječu svojstva osnovnog i dodatnog materijala, kao i mješanje ovih dviju komponenata. Poznato je da na stupanj mješanja osnovnih i dodatnih materijala utječu parametri navarivanja tj. broj slojeva, brzina, struja i napon navarivanja. Planom pokusa nastojalo se ustanoviti kako i u kojoj mjeri ovi navedeni elementi utječu na tvrdoću navara.

Što se tiče utjecaja osnovnog materijala, sadržaj ugljika u osnovnom materijalu znatno utječe na tvrdoću navara, naročito u prvom sloju. Zavisnost je prikazana dijagramom na slici 2.



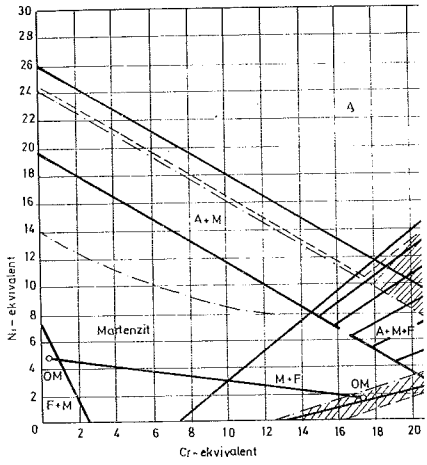
Slika 2. Tvrdoća navara u odnosu na sadržaj ugljika u osnovnom materijalu

Isto tako, i kod primjene različitih dodatnih materijala, tvrdoća varira ovisno o sadržaju ugljika u žici, što je vidljivo iz dijagrama prikazanog na slici 3.



Slika 3. Tvrdoća navara u odnosu na sadržaj ugljika u žici

Utjecaj mješanja osnovnog i dodatnog materijala proučavan je najprije u Schaefflerovom dijagramu u kojem je na slici 4 ucrtan položaj osnovnog i dodatnog materijala.

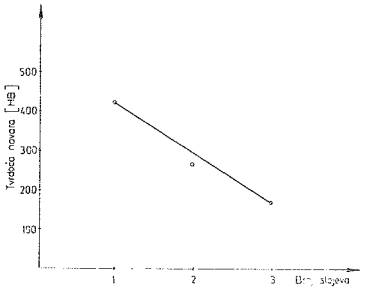


Slika 4. Schaefflerov diagram s ucrtanim položajem osnovnog i dodatnog materijala

Struktura osnovnog materijala je feritna, te prema tome mekana i nezakaljiva. Struktura dodatnog

materijala je na prijelazu martenzitno feritne strukture i čistog ferita. Zbog toga je i čisti metal dodatnog materijala relativno mekan. Međutim, navarivanjem, tj. mješanjem tih dviju struktura dobiva se treća, tvrđa struktura, čija tvrdoća ovisi o stupnju mješanja. Ukoliko u novonastaloj komponenti ima više od 5o % komponente dodatnog materijala, dobiva se mekša martenzitno feritna struktura. Ukoliko je u novonastaloj komponenti manje od 5o % komponente dodatnog materijala, dobiva se tvrda martenzitna struktura.

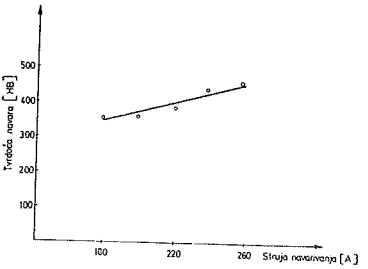
Najutjecajniji činioc koji utječe na mješanje je broj slojeva. U prvom je sloju tvrdoća visoka, a u višim slojevima je sve manji udio osnovnog materijala, pa tvrdoća znatno pada. Dijagramom na slici 5 dana je zavisnost tvrdoće navara od broja slojeva.



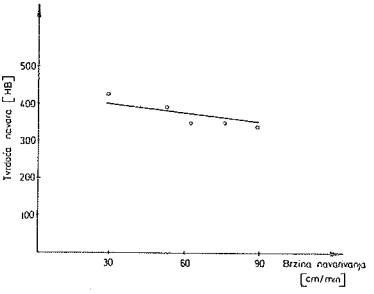
Slika 5. Vrijednosti tvrdoće u odnosu na broj navara

Ostali parametri navarivanja nisu bitno utjecali na dobivenu tvrdoću, što je vidljivo iz dijagrama na slikama 6 i 7.

Osim navedenih ispitivanja ovisnosti tvrdoće od parametara navarivanja vršena su opsežna metalografska ispitivanja. Uz te standardne pokuse vršeno je ispitivanje sadržaja kroma u tri karakteristična niza kojim se željelo dokazati da je postignuta tvrdoća isključivo rezultat



Slika 6. Vrijednosti tvrdoće u odnosu na jakost struje navarivanja



Slika 7. Vrijednosti tvrdoće u odnosu na brzinu navarivanja

nastalih strukturnih transformacija, a ne rezultat promjene sadržaja kroma u navaru. Rezultati pokusa provedenih na scaning mikroskopu pokazali su da je sadržaj kroma u navaru vrlo ujednačen. Samo u jednom području širine cca 1,2 mm neposredno uz zonu staljivanja u prvom sloju sadržaj je kroma nešto niži od deklariranog za primjenjeni dodatni materijal.

2.3. Smjernice za primjenu MIG/MAG navarivanja

Na temelju analize dobivenih rezultata planiranih ispitivanja može se zaključiti slijedeće:

1. Prema zahtjevu na tvrdoću navara odabire se odgovarajući dodatni materijal. Zahtjev za većom tvrdoćom navara uvjetuje izbor žice

s većim sadržajem ugljika.

2. Drugi vrlo značajni činioc koji utječe na tvrdoću navara je sadržaj ugljika u osnovnom materijalu. Prije početka navarivanja taj sadržaj mora biti poznat, kako bi se varijacijom ostalih parametara mogla dobiti tražena tvrdoća.

3. Uz primjenu određenog osnovnog i dodatnog materijala tvrdoća se može bitno varirati i brojem slojeva, a u užim granicama i jačinom struje te brzinom navarivanja.

4. Ispitivanjima na scaning mikroskopu pokazalo se da je sadržaj kroma u navaru jednoličan po čitavoj visini, pa ne postoji opasnost da se strojnom obradom skine antikorozivni sloj.

5. Za konkretan zahtjev da bi se dobila željena tvrdoća navara od 25o HB treba primjeniti osnovni materijal niskougljični nelegirani čelik s cca o,14 % C i izvršiti navarivanje u dva sloja slijedećim parametrima:

dodatni materijal: žica s o,o6 % C i 17 % Cr
struja navarivanja: I = 2oo A
napon navarivanja: U = 24 V
brzina navarivanja: 55 cm/min
zaštitni plin: 8o % Ar + 2o % CO_2/14 l/min

3. Navarivanje TIG postupkom

Navarivanje TIG postupkom izvodi se malim strujama postupkom u desno. U jednom sloju može se navariti sloj 3 do 4 mm debljine. Pokusi su vršeni samo kod navarivanja sjedišta ventila stelitima gdje se zahtijevalo slijedeće:

- debljina navara: 3 do 4 mm
- sastav navara: 1,o % C
  26,o % Cr
  66,o % Co
  5,o % W
- tvrdoća 35o - 4oo HB

Ova tehnika rada, osim čistoće i višeg tehničkog nivoa tog postupka u odnosu na plinsko navarivanje, nije pokazala nikakove izrazite prednosti. Osim toga TIG navarivanje zahtjeva veći stupanj izvježbanosti zavarivača i neminovno znatno nižu tvrdoću navara, pa je plinsko navarivanje stelitima bilo više istraženo.

4. Plinsko navarivanje

Istraživanjima na području plinskog navarivanja došlo se do zaključka da je ova tehnika rada nezamjenjiva kod navarivanja stelitima tankih sjedišta malog promjera. Ovu klasičnu i donekle preživjelu tehniku rada racionalno je zamjeniti drugim tehnikama, kao što su indukciono navarivanje, impulsno MIG/MAG navarivanje punjenim žicama itd, samo u slučaju velikoserijske ili masovne proizvodnje. Na temelju rezultata provedenih pokusa došlo se do slijedećih zaključaka:

1. Prije navarivanja stelitnim legurama sjedište se mora predgrijati na cca 6oo^{o}C.
2. Obavezno treba primjeniti lijevu tehniku rada tj. plamenik voditi ulijevo. Ovom tehnikom se više zagrijava dodatni materijal a manje osnovni.
3. Potrebno je odabrati plamenik manji od uobičajenog za zavarivanje prstena sjedišta ventila. Ovim se smanjuje mogućnost taljenja prstena na mjestu navarivanja, a time se smanjuje i

mogućnost miješanja. Kod navarivanja stelitima miješanje treba biti što manje.

4. Navarivanje treba vršiti mekim plamenom s pretičkom acetilena čime se ustvari vrši naugljičenje navara, što izaziva veću tvrdoću navara.
5. Kut nagiba plamenika treba iznositi oko 30° a kut držanja šipke stelita oko 45°, čime se postiže veće zagrijavanje dodatnog, a manje osnovnog materijala.

Ukoliko se zavarivač prilikom navarivanja pridržava ovih pravila, što je moguće uz relativno kratko uvježbavanje i uz primjenu jednostavnih pomagala, kao što je to okretni stol i naslon za plamenik i ruke, dobiva se homogen navar tražene tvrdoće, koji je korektno navaren na sjedište.

5. Toplinsko našpricavanje

Nanošenje tvrdog i kemijski postojanog sloja na sjedište ventila može se izvršiti i toplinskim našpricavanjem. Ova tehnika izvodi se specijalnim plinskim plamenikom kod kojeg se u struju kisika uvlači specijalan prah koji se prolazeći kroz plamen usije i velikom brzinom udara u zagrijano sjedište, gdje ostaje čvrsto spojen. Ovom tehnikom se može znatno brže i ekonomičnije izvršiti nanošenje antikorozionog i tvrdog sloja, no ispitivanjima probnih uzoraka ustanovljeno je da je zona staljivanja besprijekorna, ali je po čitavom presjeku primjećena jednolična poroznost, koja se izgleda ne može izbjeći, što bi trebalo istražiti eventualnim daljnjim ispitivanjima. Tvrdoća navarenog sloja je nešto niža od one dobivene plinskim navarivanjem.

Budući da se ovaj postupak dade jednostavno mehanizirati, pa čak i djelomično automatizirati, može se primjeniti u velikoserijskoj ili masovnoj proizvodnji, ali naravno tamo gdje se ne traži vrhunska kvaliteta navarenog sloja.

6. Sažetak

Zbog opširnosti materije, tekst obrađuje samo neke načine navarivanja sjedišta ventila koji su literarno već davno poznati, ali su zbog specifičnosti morali biti temeljitije istraženi. Ispitivanja su provedena na tanjim sjedištima uglavnom manjeg promjera. Zaključci su slijedeći:

Za navedene primjere potreba navarivanja stelitima optimalan postupak je klasično plinsko navarivanje uz što manje miješanje osnovnog i dodatnog materijala. Daljnja istraživanja treba usmjeriti na MIG/MAG navarivanje praškom punjenim žicama.

Za navedene primjere navarivanja sjedišta ventila legurama čelika s cca 17 % Cr optimalan je postupak MIG/MAG navarivanja uz što veće miješanje osnovnog s dodatnim materijalom. U tim slučajevima tvrdoća se najpouzdanije regulira brojem slojeva.

7. Literatura

1. M. Grbin, B. Schiller, B. Kovačević: Navarivanje sjedišta ventila časopis "Zavarivanje" 1/79
2. Katalozi proizvođača dodatnih materijala.

XVI SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA JUGOSLAVIJE, MOSTAR 1982. GOD.

Ivica Veža

REKONSTRUKCIJA PROIZVODNOG PROCESA IZRADE METALNIH KONSTRUKCIJA

R e z i m e

U radu je prikazan postupak uvodjenja nove tehnologije u proces izrade oplata za gradjevinarstvo uz istovremeni prerazmještaj sredstava za proizvodnju, sa ciljem povecanja obujma proizvodnje.Pri tome se javlja problem balansiranja linije za formiranje standardnih oplata.

PRODUCTION PROCESS REARRANGEMENT IN METAL CONSTRUCTION MANUFACTURE

S u m m a r y

In this article is described a method of introducing a new technology in the production process of plating used in civil engineering. At the same time a rearrangement of production equipment is suggested in order to obtain an increased production volume. The problem of line balancing for standard plating formation in also included.

1. Uvod

Projektiranje proizvodnog procesa predstavlja značajan zadatak kod rješavanja oblikovanja prostorne strukture. Pri tome se mogu pojaviti četiri oblika zadataka:

a) projektiranje nove tvornice;
b) rekonstrukcija postojeće uz proširenje površina;
c) prerazmještaj pojedinih odjela;
d) uvodjenje manjih racionalizacija u postojeći proizvodni proces.

Projektiranje nove tvornice u pravilu se javlja rijetko, a pruža mogucnost postizanja najboljeg rješenja. Mnogo češće se javljaju ostali tipovi zadataka, koji su uvjetovani uvodjenjem novih tehnoloških procesa sa ciljem modernizacije, promjene konstrukcije proizvoda, poboljšavanja rukovanja materijalom i sl. Problem koji se ovdje razmatra sadrži optimiranje razmještaja radnih mjesta u pogonu izrade metalnih konstrukcija uvodjenjem nove opreme uz data ograničenja uvjetovana oblikom i prostorom postojeće zgrade. Osim toga, uvodjenjem adekvatne tehnologije zavarivanja postižu se uvjeti za povećanje obujma proizvodnje uz istovremeno osiguranje kvalitete i boljih uvjeta rada.

Mr. Ivica Veža, dipl. ing. znanstveni asistent, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, R. Boškovića bb

Na datoj makrolokaciji izradjuju se oplate za gradjevinarstvo i to: horizontalna, vertikalna i zidna oplata, tunelska oplata, te specijalna oplata i oprema.

2. Analiza proizvodnog procesa izrade metalnih konstrukcija

Općenito, zadatak proizvodnog procesa sastoji se u tome da se osnovni činioci proizvodnje: sredstva za proizvodnju, materijal i ljudi sa odgovarajućim proizvodnim iskustvom, dovedu u takav medjusobni prostorni odnos koji će omogućiti optimalno odvijanje proizvodnog procesa [1].

Postojeću proizvodnju karakteriziraju slijedeći parametri:

a) Proizvodni program po količini i asortimanu:

- broj različitih gabarita oplate je velik s obzirom na tip oplate;
- analiza proizvodnje u posljednjih pet godina je pokazala da postoji veliko rasipanje količine proizvodnje s obzirom na tip oplate. Ipak se može zaključiti da prevladava jedan tip oplate (zidna i vertikalna) sa cca 70% kapaciteta.

b) Tehnološke karakteristike:

- broj operacija za izradu oplata vrlo je različit;
- normativi uzeti iz "Tehnološkog postupka"pokazuju različito vrijeme izrade oplata u zavisnosti o tipu i dimenzijama. Osim toga različita su vremena izvodjenja pojedinih operacija izrade i formiranja oplate.

c) Proizvodno-organizacione karakteristike:

- sredstva za proizvodnju rasporedjena su u grupe po svrsi i to:
  - priprema limova,
  - priprema profila,
  - formiranje oplate.

Analiza opterećenja komponentnih kapaciteta je pokazala da sadašnji raspored sredstava za proizvodnju ne odgovara planu proizvodnje,tj. tek uz dodatne napore isti se može realizirati. Daljnjom analizom ustanovljeno je slijedeće:

- pojedina radna mjesta su nedovoljno opterećena, a s druge strane postoje "uska grla";
- gornja preopterećenost se javlja kao posljedica postojeće tehnologije zavarivanja sa varnim zakovicama;
- na liniji formiranja oplate uočena su duga vremena čekanja i zastoji zbog neizbalansiranosti vremena izrade na radnim mjestima;
- transportni putevi su dugi i često se pojavljuju povratna kretanja;
- transportna sredstva nisu pravilno odabrana, jer čitav prostor proizvodnje "pokriva" jedna mosna dizalica što s obzirom na intezitet transporta ne odgovara;
- u procesu proizvodnje pojavljuje se relativno veliki broj grešaka zbog nepostojanja adekvatnih steznih naprava i medjukontrole, te nepravilnog redosljeda zavarivanja;
- tyrolit pila je locirana izvan prostora proizvodnje, te otežava transport profila;
- prostori za odlaganje dijelova i materijala nisu dobro rasporedjeni unutar radionice.

Napomena: svi sitni dijelovi (uške, vijci i td.) se izradjuju u kooperaciji.

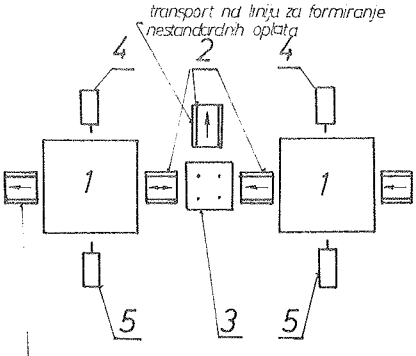
Na osnovu gornje analize mogu se naći smjernice za rješenje navedenih negativnosti. Treba napomenuti da se postojeća struktura proizvodnog sistema zadržala. Pod strukturom proizvodnog procesa podrazumijevamo način povezivanja i uskladištavanja konstituirajućih elemenata sistema kako kvantitativno i kvalitativno tako i u prostornom i vremenskom pogledu [2]. Pri tome se kod formi-

ranja oplate javlja raspored u višepredmetne linije koje karakterizira problem balansiranja.

Uvodjenje racionalizacije u postojeći pogon ima slijedeće karakteristike:

- promjena tehnologije zavarivanja uvodjenjem točkastog zavarivanja;
- mehanizacija elektrolučnog zavarivanja;
- izrada transportnih linija i naprava za pritezanje prilikom zavarivanja, te mehanizacija postupaka zavarivanja.

U prvoj fazi uvelo bi se točkasto zavarivanje oplata umjesto dosadašnjeg zavarivanja sa varnim zakovicama. Planirano je postavljanje četiri stroja za točkasto zavarivanje(dva stroja su fiksna,adruga dva se podešavaju s obzirom na dimenzije oplate). Na taj način se podvostručuje brzina zavarivanja, a ujedno postiže stanovita rezerva u slučaju kvara jednog od strojeva. Da bi se iskoristila brzina rada strojeva potrebno je izraditi radni stol za posmak limova prilikom zavarivanja točaka. Oplata se pokreće uzdužno dok se ne zavare dvije stranice, zatim se okrece za 90°, zavaruju se druge dvije strane i transportira valjcima na liniju za formiranje standardne ili nestandardne oplate (Sl.1.).



Slika 1 Raspored strojeva za točkasto zavarivanje

Pozicije na sl. 1.

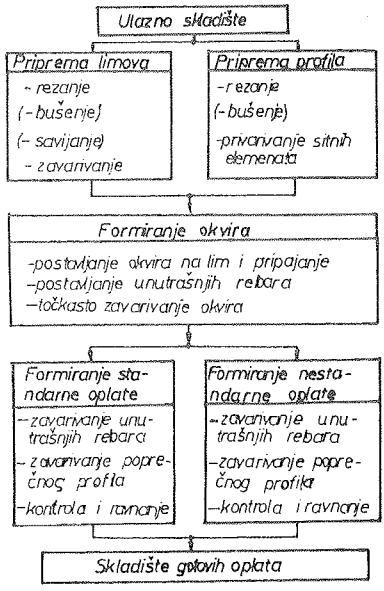
1. Stolovi za točkasto zavarivanje
2. Valjkasti transporteri
3. Okretaljka
4. Pomični strojevi za točkasto zavarivanje
5. Fiksni strojevi za točkasto zavarivanje

Još jedan stroj za točkasto zavarivanje bi se postavio na liniju za formiranje nestandardnih oplata za točkasto zavarivanje u horizontalnom smjeru.

Razradi postavljenog problema prišlo se sukcesivno u dva koraka:

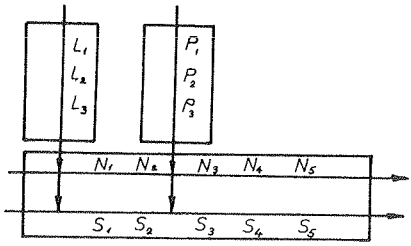
1. definiranje prostornog rasporeda sredstava za proizvodnju;
2. balansiranje linije za formiranje standardnih oplata.

Ad.1. Nakon segmentiranja proizvodnog procesa prema predmetima rada definira se funkcionalna shema koja pokazuje povezanost osnovnih proizvodnih jedinki u procesu proizvodnje (sl. 2.).U shemi su neke operacije prikazane u zagra-



Slika 2 Prikaz funkcionalne sheme

dama, jer se te operacije ne vrše na svim tipovima oplate.
Tok materijala izmedju pojedinih sredstava za proizvodnju je definiran proizvodnim programom i tehnološkim postupcima, ali se takav kvantificirani prikaz ovdje neće iznositi.
Na osnovu kriterija danih u radovima | 3|,|4|,| 5| za raspored sredstava za proizvodnju, razradjene su tri varijante prostornog rasporeda,a odabrana je ona koja najviše odgovara postavljenim zahtjevima. Usvojena varijanta uvjetuje najbolji odnos izmedju toka materijala i toka ljudi. Tok materijala ima oblik jednostranog češlja (Slika 3.).



L - radna mjesta na liniji pripreme limova
P - radna mjesta na liniji pripreme profila
N - radna mjesta na liniji za formiranje nestandardnih oplata
S - radna mjesta na liniji za formiranje standardnih oplata

Slika 3. Tok materijala

Ovo rješenje omogućava vršenje paralelnog formiranja oplate što osigurava jednostavniji transport, koji se vrši preko transportnih valjaka.
Ad. 2. U posljednjih 30 godina za rješavanje problema balansiranja razvijen je veliki broj heurističkih postupaka (npr. | 6|,|7|).
S obzirom na godišnji obujam proizvodnje q (kom/god.) i raspoloživo vrijeme za proizvodnju t (h/god.) izračunava se taktno vrijeme:

$$c = \frac{t}{q} \quad (h/kom) \quad (1)$$

pri čemu suma svih radova na radnom mjestu mora biti manja ili jednaka taktnom vremenu. Zadatak je naci takvu strukturu linije koja će dati minimalno ukupno vrijeme čekanja.
Osim ova dva gore navedena kriterija potrebno je uzeti u obzir tehnološki redoslijed izvodjenja rada.
Uzimajući u obzir ova ograničenja izvršen je raspored radnih mjesta sa slijedećim karakteristikama:
- linija je balansirana sa fiksnim taktnim vremenom (metodom Salvesona);
- radna mjesta sa sumom vremena rada relativno većom od taktnog vremena su opremljena sa dodatnim napravama za skraćenje vremena izrade;
- kod velike razlike vremena izrade usvojeno je više radnih mjesta.

3. Zaključak

Rekonstrukcijom proizvodnog pogona postignuti su slijedeći efekti:
- obujam proizvodnje se udvostručio ne povecavajući prostor proizvodnje i broj radnika;
- poboljsala se kvaliteta proizvodnje uvodjenjem ulazne, medjukontrole i završne kontrole;
- postignut je protočni tok materijala sa minimalnim transportnim putevima bez povratnih puteva;
- uvodjenjem valjkastih transportera olakšan je medjuoperacijski transport;
- normiranjem rada pojedine linije i za obe smjene postižu se bolji efekti i veće zadovoljstvo radnika.
Za ostvarivanje ovih efekata uložena su relativno mala sredstva, što opravdava tendencije da u sadašnjim uvjetima privrednih kretanja za proširenje obujma proizvodnje nije neophodno graditi nove objekte, već se boljom organizacijom rada i primjenom suvremene tehnologije mogu na postojecim makrolokacijama ostvariti perspektivni planovi razvoja.

4. Literatura

|1| H. Jaeger: Problem prostornog dodjeljivanja sredstava za proizvodnju pri projektiranju proizvodnog pogona, Strojarstvo 18 (1976.) 1, str. 25-31.
|2| H. Jaeger , B. Vranješ, R.Talić: Postignuti efekti u eksperimentalnoj relativno autonomnoj proizvodnoj jedinici, Naučno-stručni skup "Projektiranje proizvodnih sistema 80", Novi Sad, str. 333-344.
|3|R.H. Hollier: The Layout of Multi-Product Lines, The International Journal of Production Research, Vol. 2 (1963), str. 47-57.
|4| S. Adamowsky: Materialfluss, Handwörterbuch der Organisation, str. 543-549.
|5| G. Haussman: Materialflussgerechte Anordnung von Abreilungen und Arbeitsplätzen in Fertigungsbetrieben, Fördern und Haben, 8 (1958), str. 329-335.
|6| K. E. Salveson: The Assembly Line Balancing Problem, The Journal of Industrial Engineering, 5 (1955) str. 18-25.
|7| T. R. Hoffman: Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix, Management Science, Vol. 9 (1963), str. 551-563.