

**UNIVERZITET U BANJA LUCI
MAŠINSKI FAKULTET**

ZBORNİK RADOVA

**XIII SAVJETOVANJA PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

III

Banja Luka, 1979.

**UNIVERZITET U BANJA LUCI
MAŠINSKI FAKULTET**

ZBORNİK RADOVA

**XIII SAVJETOVANJA PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

III

Banja Luka, 1979.

*Štampa: NIGRO „GLAS” Banjaluka 1979.
Za Štampariju: Josip Štemberger*

Štampano povodom

XIII savjetovanja proizvodnog mašinstva u Banjaluci
6, 7 i 8 juna 1979. godine

Savjetovanje je dio aktivnosti koje vrši Zajednica jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva

Članovi zajednice su:

- Mašinski fakultet Niš
- Mašinski fakultet Skoplje
- Mašinski fakultet Beograd
- Institut za alatne mašine i alate Beograd
- Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb
- Institut za alatne strojeve PRVOMAJSKA Zagreb
- Fakultet za strojništvo Ljubljana
- Fakultet tehničkih nauka Novi Sad
- Mašinski fakultet Sarajevo
- Mašinski fakultet Titograd
- Mašinski fakultet Kragujevac
- Tehnički fakultet Rijeka
- Visoka tehnička škola Maribor
- Mašinski fakultet Mostar
- Mašinski fakultet Banjaluka

Organizator savjetovanja:

Mašinski fakultet Banjaluka

Organizacioni odbor:

Stevan Živanović
Milan Jurković
Ostoja Miletić
Kosta Rončević
Slavko Zrnić

Zbornik je štampan u tri knjige:

- I Elementi konstrukcija mašina za obradu deformisanjem i rezanjem
- II Tehnološki procesi i teorija obrade deformisanjem
- III Obrada rezanjem

Dosadašnja savjetovanja održana su:

- I u Beogradu 1965. godine
- II u Zagrebu 1966.
- III u Ljubljani 1967.
- IV u Sarajevu 1968.
- V u Kragujevcu 1969.
- VI u Opatiji 1970.
- VII u Novom Sadu 1971.
- VIII u Ljubljani 1973.
- IX u Nišu 1974.
- X u Beogradu 1975.
- XI u Ohridu 1977.
- XII u Mariboru 1978.

Na osnovu odluke Zajednice jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva povjereno je organizovanje XIII savjetovanja Mašinskom fakultetu - Univerziteta u Banjaluci.

U nadi da će XIII savjetovanje kao i sva dosadašnja ispuniti cilj koji je postavila Zajednica jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, koristimo i ovaj način da se najlepše zahvalimo autorima, finansijerima ovog savjetovanja, recenzentima i svima onima koji su doprinijeli održavanju XIII savjetovanja.

ORGANIZACIONI ODBOR

Recenzenti:

Vladimir Šolaja
Rudolf Zdenković
Hinko Muren
Sava Sekulić
Branko Ivković
Elsa Kuljanić

S A D R Ź A J

E. Kuljanić	
Uvodni referat - OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE	
S. Sekulić	
Identifikacija primarnih parametara obrade rezanjem na osnovu ulaznih i izlaznih veličina procesa	I
S. Trajkovski	
Opredelivanje na obratljivostu so reženje po promenata na intenzitetot na izluživanjeto na rezniot alat	II
P. Leskovar, J. Grum	
Obrada orodja pri obdelavi Al-zlitine za avtomate različnih izvorov	III
S. Zahar	
Proračun preseka strugotine pri odvalnom glodanju u stvarnim ravnima rezanja	IV
Z. Seljak, J. Kopač	
Obdelovalnost sferolitine za izdelavo valjev v metalurški industriji	V
A. Mišković	
Pregled metoda za definisanje naponskog stanja u elementima sječiva alata	VI
D. Vukelja	
Prilog studiji praćenja veličine pohabanosti alata pri obradi metala rezanjem	VII
A. Perić	
Periodično rezanje, temperature i postojanost alata	VIII
V. Todić, M. Radić	
Verifikacija funkcije postojanosti alata u okolini optimalne tačke režima rezanja	IX

E. Kuljanić, E. Lemaher	Mjerenje sile rezanja i trošenja alata kod provlačenja	X
M. Kulenović	Utjecaj intermitirajuće obrade kod mašina translatornog rada na optimalnu radnu brzinu i postojanost oštrice alata	XI
M. Milošević	Uticađ nekih faktora na eksploatacijske karakteristike alata za unutrašnje provlačenje	XII
P. Dakić	Problematika urezivanja navoja u navrtke na automatima	XIII
Z. Nikić	Urezivanje navoja sa velikim brzinama rezanja	XIV
B. Popović, B. Prohaska	Temperatura rezanja pri urezivanju navoja	XV
D. Banjac, M. Rodić	Kinematska geometrija kružnih samoobrotnih noževa	XVI
B. Kršljak	Kvalitet brušene površine sa stanovišta uticaja karakteristika tocila i režima obrade pri ravnom brušenju brzoreznog i alatnog čelika	XVII
R. Vukasojević W. B. Rowe	Mikro geometrija površine bruševa i njeni efekti na rezultate brušenja	XVIII
V. Mečanin	Prilog analizi obrade složenih struktura na numerički upravljanim mašinama	XIX

E. Kuljanić +)

OBRADA SKIDANJEM STRUGOTINE - UVODNI REFERAT ++)

1. Uvod

Brz razvoj metaloprerađivačke industrije u prošlim godinama kod nas i u svijetu doveo je do velike konkurencije, u kojoj racionalizacija i povećanje produktivnosti postaju imperativ. Uvode se novi skupi strojevi, odnosno numerički upravljani obradni sistemi, koji znatno mijenjaju uvjete u proizvodnji, a relativno brzo zastarijevaju. Osim toga se sve veća sredstva ulažu za pronalaženje zamjene za sadašnje materijale alata, zbog deficitarnosti nekih ruda, te u fundamentalna i primijenjena istraživanja na području obrade skidanjem strugotine i novih postupaka obrade.

Obrada skidanjem strugotine je eksplicitno ili implicitno prisutna na svim dosadašnjim savjetovanjima proizvodnog strojarstva. To je dokazano u radovima [1 i 2]. Pregled istraživačkog rada na ovom području od 1945. do 1966., te problemi vezani za ovu problematiku, dani su u uvodnom referatu na III savjetovanju [3]. U uvodnim referatima IV i V savjetovanja [4 i 5] dan je pregled objavljenih radova u svijetu u 1967., 1968. i 1969. i kritički osvrt na domaće referate objavljene na ovim savjetovanjima. Prikaz referata iz ovog područja na VII savjetovanju (1971.) dan je u uvodnom referatu [6]. Stanje razvoja obrade

+) Dr Elso Kuljanić, dipl.inž., Izv.prof. Tehničkog fakulteta Rijeka, Sveučilište u Rijeci, 51000 Rijeka, Narodnog ustanka 58

++) Autor izražava zahvalnost Prof.dr inž. V. Šolaji za korisne savjete.

skidanjem strugotine u 1970. prikazano je u referatu [7], dok su analiza i razvojne tendencije obrađene u uvodnom referatu VIII savjetovanja [8]. Period od 1971. do 1975. obrađen je u uvodnom referatu X savjetovanja, [2], dok je razvoj alatnih čelika prikazan u uvodnom referatu XII savjetovanja [9]. Da bi se zadržao kontinuitet, u ovom referatu je obuhvaćeno vremensko razdoblje od 1976. do 1978. s osvrtom na još neke radove iz prethodnih godina u kojima su dana važnija dostignuća, potrebna za ovaj pregled.

Prihvatimo li podjelu ovog područja na predloženih sedam osnovnih istraživačko-razvojnih orijentacija [2], u ovom referatu obradit ćemo 1., 2., 6. i 7. istraživačku razvojnu orijentaciju, tj.:

- fundamentalna istraživanja,
- empirijska istraživanja,
- razvoj novijih materijala alata s osvrtom na primjenu i
- istraživanja s ciljem poboljšanja rezljivosti alata,

koja se odnose na postupke alatom s definiranom geometrijom ošttrice. Zbog ograničenog prostora nisu obrađeni postupci alatom nedefinirane geometrije ošttrice.

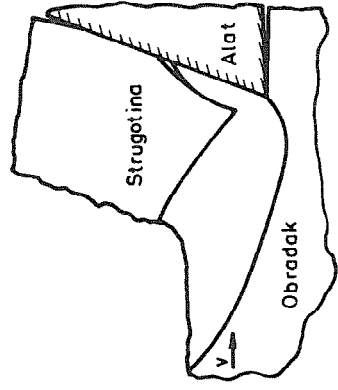
Signifikantna promjena uvjeta u našoj metaloprerađivačkoj industriji uvođenjem već spomenute nove tehnologije, nameće pitanje - što treba riješiti na području obrade skidanjem strugotine da bi se mogli uspješno primijeniti numerički upravljani strojevi (NUS) u našim uvjetima. Treba napomenuti, da upravo o uspješnosti primjene NUS-a i drugih novih obradnih sistema zavisiće produktivnost i konkurentnost naše metaloprerađivačke industrije u međunarodnoj podjeli rada. U ovom referatu pokušat će se dati neke odgovore i izazvati diskusiju po ovom pitanju.

2. Istraživanja obrade skidanjem strugotine

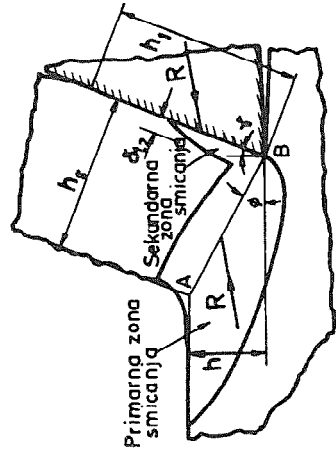
2.1. Stvaranje strugotine i lažne oštrice

Izvrši li se pregled istraživačkih radova na području obrade skidanjem strugotine, vidi se da najveći broj radova obrađuje problematiku tokarenja. Postupci kod kojih se upotrebljavaju alati s više oštrica značajnije su zastupljeni u istraživanjima posljednjih godina. Osim radova na području glodanja, bušenja i rezanja navoja, pojavljuju se radovi u kojima se istražuju zapostavljeniji postupci, kao što su provlačenje i piljenje.

Veći broj radova, u navedenom vremenskom periodu, obrađuje problematiku mehanizma stvaranja strugotine i lažne oštrice. R.H. Brown i dr. [10] istražili su utjecaj diskontinuiranosti mikrostrukture na stvaranje strugotine, iako većina istraživača na ovom području koristi pristup kontinuiranog mehanizma, dok P. Dewhurst i dr. [11] dokazuju da proces obrade skidanjem strugotine nije jednoznačan. Ovaj zaključak proizlazi iz najnovijih teoretskih radova iz kojih slijedi da način deformacije zavisi i o stvaranju lažne oštrice na početku obrade, npr. kod tokarenja za vrijeme prvog okretaja obratka u zahtvatu. Osnovni mehanizam stvaranja lažne oštrice donekle razjašnjava H. Bao i dr. [12] distribucijom naprezanja u sekundarnoj zoni smicanja, slika 1, koristeći se metodom konačnih elemenata, tj. različitim gradijantom naprezanja u strugotini i u sekundarnoj zoni smicanja. Kinematski model stvaranja segmenata strugotine, koristeći se filmskim snimcima, dao je Van Luttervelt [13]. Na slici 2 su prikazane četiri zone smicanja, zbog jednostavnosti, s četiri ravnine smicanja. Ovdje vidimo da postoje dvije paralelne zone smicanja (prva i druga), a između njih se nalazi element strugotine i lažna oštrica. Vršeći mikro obradu na scanning elektronskom mikroskopu K. Iwata i dr. [14] uspjeli su otkriti značajnost stvaranja i porasta dinamičkih pukotina u strukturi materijala obratka. Osim "unutrašnjih"

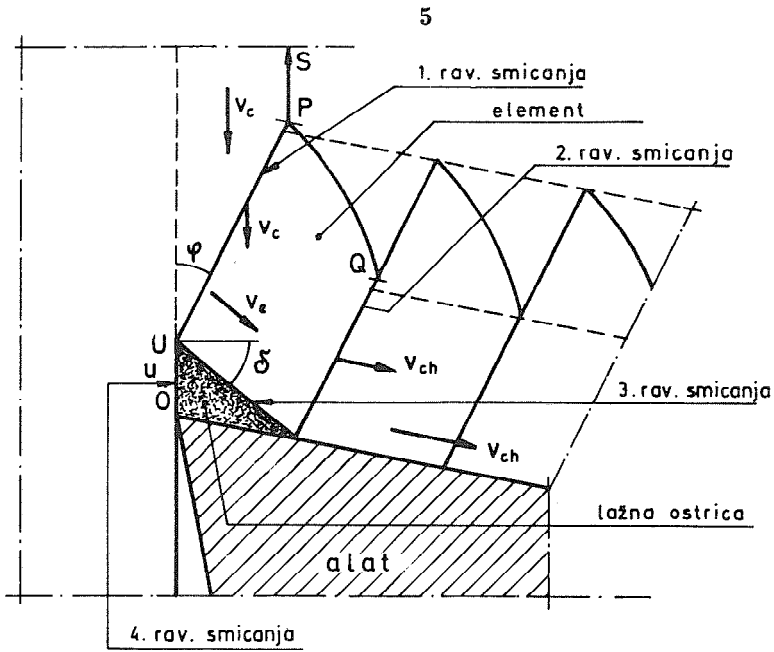


b)

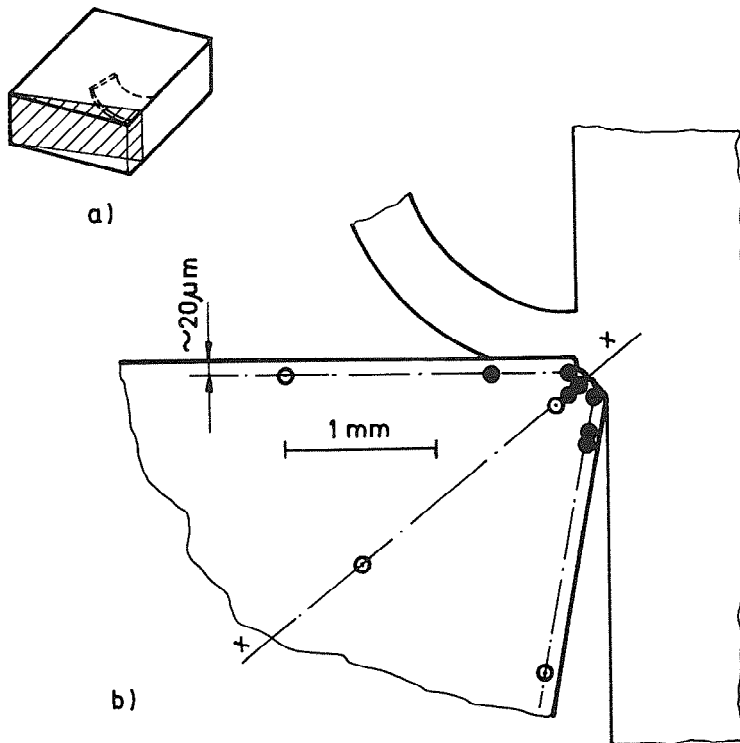


a)

Slika 1 a) Primarna i sekundarna zona smicanja , b) početak stvaranja lažne oštrice.



Slika 2 Četiri ravnine smicanja



Slika 3 Deformacija karbidne strukture prije "chippinga"

pukotina ustanovili su i stvaranje napukline u kontaktnoj zoni strugotine s prednjom površinom alata, koja je izgleda presudna za početak stvaranja lažne oštirce. Ovo saznanje odgovara rezultatu već navedenog rada [12]. Koristeći ovaj mehanizam stvaranja i rasta pukotina može se stvaranje strugotine klasificirati u četiri glavne grupe: stvaranje "kontinuirane strugotine" kad nema pukotine, stvaranje "kvazi-kontinuirane strugotine" kad mogu nastati pukotine koje ne rastu u zoni smicanja pa ne dolazi do lomljenja strugotine, stvaranje "lomljene strugotine" kad pukotine rastu u zoni smicanja i stvaranje "lažne oštirce" kad pukotina nastaje na strani stražnje površine ispod prednje ravnine i u kontaktnoj zoni strugotine i prednje površine. Također, Van Luttervelt [15] je razmatrao stvaranje strugotine kod obrade obradaka malih promjera, dok je stvaranje strugotine kod odvalnog dubljenja istražio W. König i dr. [16]. K. Nakayama i dr. [17] dali su osnovna pravila za dobivanje različitih oblika strugotine uzimajući u obzir postupak obrade i režime obrade. Doprinos F.O. Rascha i dr. [18] na određivanju pucanja alata i oblika strugotine kao ograničenje za izbor režima obrade ima praktičan karakter. Poznato je da strugotina nepodesnog oblika može oštetiti obrađenu površinu, alat i stroj, pa je potrebno voditi o tome računa kod izbora režima obrade.

Iz iznesenog vidimo, da su predloženi i istraživani različiti pristupi za objašnjenje fenomena stvaranja strugotine od 1975. do danas. Međutim, i pored upotrebe najmodernijih pomagala ostaje još znatan broj nepoznanica da bi se objasnio mehanizam stvaranja strugotine. Prema mišljenju autora, pouzdanost zaključaka baziranih na filmskim snimcima zone stvaranja strugotine nije velika, budući da se sa današnjim najbržim filmskim kamerama ne može izvršiti zadovoljavajuće snimanje kod brzina rezanja koje se u praksi upotrebljavaju. Naime, poznato je da brzina rezanja znatno utječe na temperaturu rezanja, a time i na svojstva materijala u zoni stvaranja strugotine. Dakle, kod donošenja zaklju-

čaka navedenom tehnikom trebalo bi voditi računa o ovom faktoru, iako većina istraživača to zanemaruje.

2.2. Trošenje i postojanost alata

Zbog velikog broja utjecajnih faktora na trošenje alata, i pored primjene najsvremenije opreme, ovaj fenomen nije teoretski objašnjen. Zbog toga smo prisiljeni da ga empirijskim načinom određujemo. S druge strane, o trošenju alata zavisi produktivnost odnosno troškovi obrade, koji su vrlo bitni za konkurentnost pojedinih proizvoda. U promatranom vremenskom razdoblju ima priličan broj objavljenih radova.

V.C. Venkatesh i dr. [19] su istraživali mehanizam trošenja kratera na prednjoj površini preslojenih pločica tvrdog metala u uvjetima pojavljivanja plastične deformacije. Fenomen "chippinga" (čupanje čestica materijala alata) češće nastaje kod glodanja nego kod tokarenja i ima znatan utjecaj na postojanost alata. Koristeći filmsku kameru K. Uehara i dr. [20] istražili su "chipping" kod čeonog glodanja s tvrdim metalom. Iz njihovog rada proizlaze dvije vrste "chippinga" i to: jednog su nazvali "mehanički chipping" koji se javlja kod glodanja tvrdih čelika najčešće na prednjoj površini alata, dok su drugog nazvali "adhezijski chipping" i nastaje često kod glodanja nerđajućih čelika na stražnjoj površini alata. Kod glodanja nerđajućeg čelika AISI 416 (SAD) s tvrdim metalom, autor je također ustanovio u radovima [21, 22, 23] kod nekih režima obrade pojavu "adhezijskog chippinga" na stražnjoj površini, a posebno na prednjoj površini kad je došlo do zavarivanja strugotine na prednju površinu. Prema njihovim rezultatima "mehanički chipping" nastaje zbog akumulacije plastičnih deformacija karbidne strukture zbog ponavljanja velikih naprezanja, dok "adhezioni chipping" nastaje zbog ponavljanja adhezionog djelovanja i trganja zavarene strugotine, ili njezinih dijelova, ili pak lažne oštrice s prednje površine.

Na slici 3 crnim točkama su prikazana mjesta gdje je nađena deformirana struktura tvrdog metala već nakon četvrtog reza. Kod daljnjih rezova na ovim mjestima došlo je do pojave "chippinga". Plastična deformacija oštrice promatrana u radu Venkatesha [19] je zapravo posljedica jačih deformacija strukture tvrdog metala.

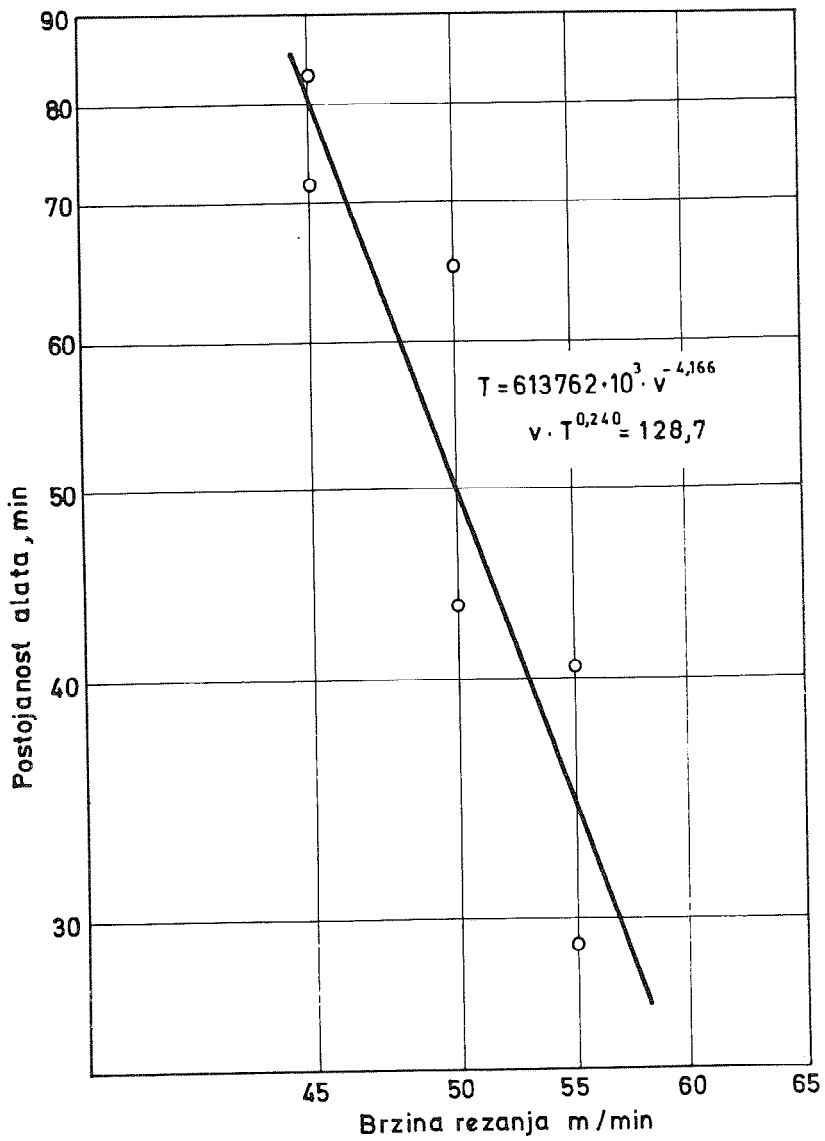
Prema radu P. Leskovara [24] koncentracija naprezanja, koja je posljedica termičkih promjena na prednjoj površini, prouzrokuje kraće mikro pukotine na dnu kratera, koje obično značajnije ne utječu na postojanost alata. Međutim, kod jače koncentracije naprezanja, mikropukotine postaju veće i mogu sig-nifikantno utjecati na postojanost alata, odnosno prouzrokuju pucanje oštrice. Budući da toplinska vodljivost materijala alata utječe na stvaranje termičkih naprezanja, trebalo bi u daljnjim istraživanjima uzeti i ove faktore u obzir. Trošenje prednje površine alata u obliku kratera i trošenje stražnje površine tvr-dog metala s različitim slojevima također je istraživao P. Ka-rapantev [25] , dok je T.N. Loladze [26] dao najbitnije karak-teristike koje treba imati materijal obratka. Ove karakteristike mogu znatno koristiti metalurzima za poboljšanje sadašnjih i za stvaranje novih materijala alata. Iz rada A. Bera i dr. [27] na području glodanja proizlazi da radijalna ekscentričnost čeonog glodala značajno utječe na trošenje i na postojanost alata.

W.F. Hastings i dr. [28] su predložili metodu za određiva-nje postojanosti alata, koristeći se malim brojem pokusa postoja-nosti alata i prosječnom temperaturom oštrice, koja se ne mjeri, već se izračuna. Na taj način se dobije zavisnost postojanosti alata i temperature oštrice u koju su već uključeni režimi obrade. Praktičnu primjenljivost ove metode treba ispitati. Istraživanje trošenja alata iz brzoreznog čelika, narezna svrdla i svrdla, s metalurškog stanovišta, uzevši u obzir i toplinsku obradu, izvr-šili su B.F. von Turkovich i dr. [29]. Iz ovog rada proizlazi da je temperatura toplinske obrade jedan od najutjecajnijih fak-

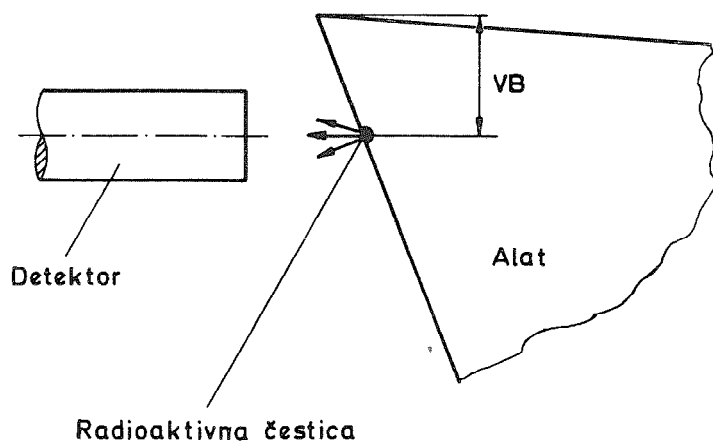
tora na postojanost alata.

Za mjerenje trošenja alata postoji više načina i metoda od kojih su neke jednostavne, dok druge iziskuju skup instrumentarij i posebno izučeno osoblje. J. Samuels i dr. [30] izradili su uređaj za mjerenje kratera na prednjoj površini alata pomoću plastičnog otiska tako, da koristeći elektroničko računalo određuju topografiju kratera. Poseban problem predstavlja mjerenje trošenja alata koji ima više zubi. E. Kuljanić [31] je predložio metodu za mjerenje trošenja zubi tračne pile pomoću mikroskopa. Krivulje trošenja u zavisnosti o vremenu obrade slične su krivuljama alata s jednom oštricom, pa je koristeći ovu metodu odredio Taylorove jednadžbe za horizontano tračno piljenje nekih čelika, slika 4 [32]. Ideja o identifikaciji istrošenosti alata pomoću zvuka kojeg stvara alat nije nova i do sada je objavljeno više radova. K. Iwata i dr. [33] primijenili su ovu metodu kod tokarenja za određivanje trošenja alata za vrijeme obrade. Loša strana ove metode je da buka okoline može utjecati na pouzdanost metode. Novu metodu za određivanje istrošenja alata za vrijeme obrade su predložili N.H. Cook i dr. [34]. Vrlo mala radioaktivna čestica od 10^8 Curieja utisne se u stražnju površinu alata, slika 5, na željenoj udaljenosti od glavne oštrice. Ta udaljenost odgovara kriteriju istrošenja VB, tako da kad se postigne kriterij istrošenja, obradak skine i tu česticu pa detektor daje signal da je postignut kriterij istrošenja, te da treba zamijeniti alat. Treba istaknuti da se ovdje radi o maloj radijaciji pa ne prijeti opasnost radniku koji upravlja i posluhuje stroj, ali bi trebalo riješiti problem akumuliranja radioaktivnog materijala u strugotini i u filtru rashladnog sredstva.

Budući da trošenje i postojanost alata imaju karakter stohastičkog procesa sve se više kod analize rezultata primjenjuje matematička statistika. J.G. Wager [35] je posmatrajući standardne devijacije postojanosti alata utvrdio da se povećava

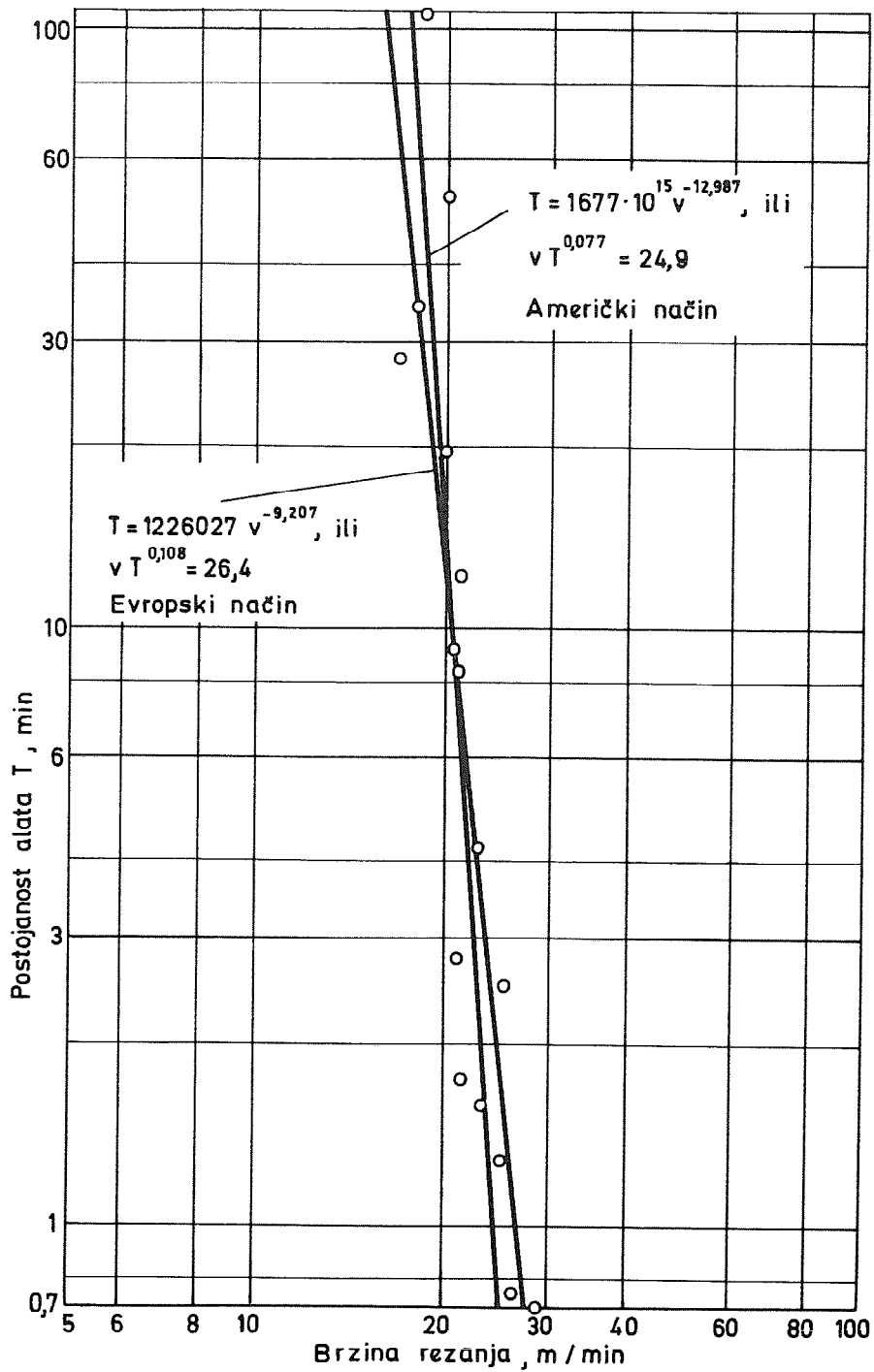


Sl. 4 Zavisnost postojanosti trake za hor. trač. piljenje i brzine rezanja



Slika 5 Alat s radioaktivnom česticom

standardna devijacija s porastom aritmetičke sredine postojanosti alata. Također je ustanovio da je najpodesnija logaritam-ska normalna transformacija za ovaj proces. E. Kuljanić [36] je dokazao da način dijagramskog prikaza postojanosti i brzine rezanja, te odgovarajuća analiza podataka značajno utječu na pouzdanost Taylorove jednadžbe, slika 6. Na ovoj slici su prikazana dva pravca, odnosno dvije Taylorove jednadžbe koje su dobivene iz potpuno istih rezultata pokusa. Jednadžba s eksponentom $m = 0,108$ dobivena je iz analize kad je na ordinatu nanescena postojanost alata, a na apscisu brzina rezanja (evropski način), dok je jednadžba s $m = 0,077$ utvrđena za slučaj kad je bila na ordinati brzina rezanja, a na apscisi postojanost alata (američki način). Ovdje vidimo da je proizašla velika razlika eksponenta m iz potpuno istih podataka, te se predlaže u ovom radu da se uvijek primijeni evropski način, koji ima veći fizikalni smisao, kako bi se izbjegle nepotrebne razlike i povećala pouzdanost. Npr. brzini rezanja $v = 17$ m/min odgovara postojanost alata $T = 142$ min izračunata iz jednadžbe s $m = 0,108$, dok za istu brzinu rezanja iz druge jednadžbe proizlazi postojanost $T = 30,6$ min. Dakle razlika je 111 min. Razlog za dobivene razlike je u različitim veličinama udaljenosti od pravca koje se uzimaju u metodi najmanjih kvadrata kod evropskog i američkog načina. Za čeonu glodanje XC 38 s tvrdim metalom A. Moisan i dr. [37] su odredili zavisnost postojanosti o brzini rezanja i posmaku po zubu s klasičnim planom pokusa, tj. posebno je određen utjecaj posmaka (kod $v = \text{konst.}$), a posebno utjecaj brzine rezanja (kod $s_z = \text{konst.}$), iako se može utvrditi ova zavisnost sa znatno manjim brojem pokusa varirajući sve faktore istovremeno. Npr. metodom slučajnog rasporeda predloženom od E. Kuljanića [38], Boxovom metodom "response surface methodology" [39] i dr.



Slika 6 Različite jednačbe dobivene na evropski i američki način iz istih podataka

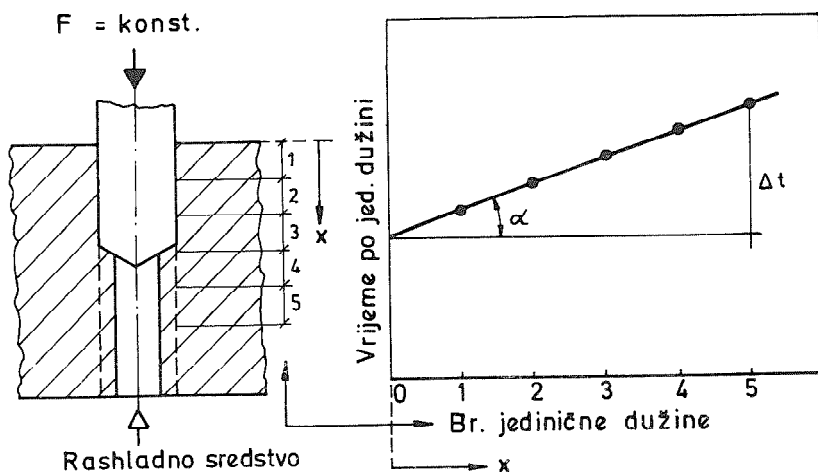
Važnost standardiziranih uvjeta izvođenja pokusa trošenja i postojanosti alata nije potrebno posebno isticati. Činjenica je da se rezultate skupih pokusa ne može uspoređivati, ako postupak nije standardiziran. Prilog ovoj problematici dala je radna grupa "Glodanje" u okviru CIRP-a (Međunarodna institucija za istraživanje na području proizvodnog strojarstva), koji ima sjedište u Parizu, svojim dokumentom [40] od 1977., kojim se određuju uvjeti pokusa kod čeonog glodanja. Radna grupa WG 22, tehničkog komiteta TC 29 u ISO-u prihvatila je ovaj dokument kao osnovu za izradu ISO preporuke. Na području bušenja M. Kanai i dr. [41] dali su osnovu za standardni test svrdla, koristeći sile rezanja. Ujedno su istražili fizikalne i statističke karakteristike trošenja svrdla i sila rezanja kod bušenja. Također, B. Lindgren [42] je predložio indirektnu metodu za testiranje rezljivosti i obradivosti materijala. Princip ove metode je da se bušenje vrši kod konstantne posmične sile, a mjeri se vrijeme potrebno za izbušiti određenu dužinu, koji se nanosi na dijagram, slika 7. Rezljivost ili obradivost se mjeri nagibom dobivenog pravca. Povoljnije je kad je nagib pravca manji.

Možemo očekivati da će se proširiti istraživanja trošenja i postojanosti alata, kako bi se dobivena saznanja koristila i za standardizaciju pokusa na ovom području.

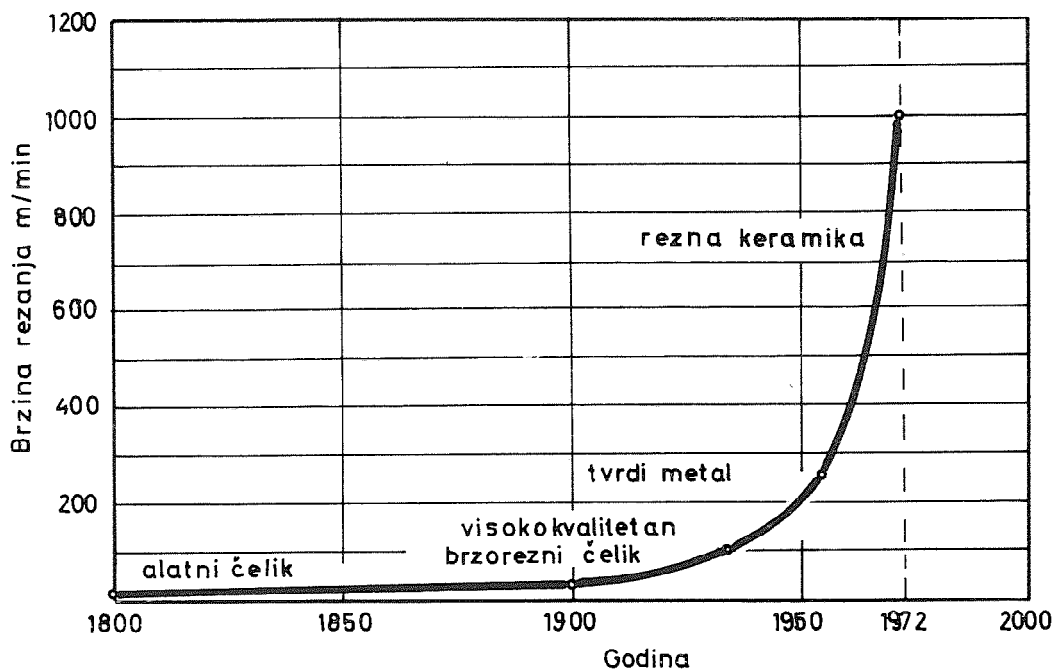
2.3. Sile rezanja

Izuzmemo li već navedene radove [41, 42] kod kojih se sile rezanja koriste za indirektno mjerenje trošenja alata, proizlazi da je relativno mali broj objavljenih radova na ovom području u posljednjih nekoliko godina.

H.R. Victor [43] je dao prijedlog kako primijeniti poznate vrijednosti za tokarenje i glodanje te Kienzleovu jednadžbu za računanje sila rezanja kod provlačenja. Treba napomenuti da su



Slika 7 Princip metode konstantne posmične sile



Slika 8 Brzina rezanja u zavisnosti o različitim materijalima alata

informacije za uspješnu primjenu provlačenja vrlo oskudne, a posebno podaci zavisnosti sile rezanja i hrapavosti obrađene površine o brzini rezanja. Ove zavisnosti su istražene u "Prvomajskoj" [44, 45, 46], na temelju kojih se povećala produktivnost provlačenja i riješio se problem "uskog grla" u proizvodnji. Naime, brzina rezanja je jedini faktor režima obrade kod provlačenja, koji se može povećati da bi se povećala produktivnost na određenom stroju s danim alatom. Međutim, bez poznavanja navedenih zavisnosti u praksi se može teško povećati brzina rezanja od onih koje preporučuje proizvođač stroja. Rezlog je u bojazni da će kod povećane brzine rezanja puknuti skup alat.

U navedenom radu mjerenjima je dokazano da se sila rezanja postepeno smanjuje s povećanjem brzine rezanja u području od $v = 1$ do 6 m/min, te da je najveća hrapavost obrađene površine u području od $v = 2,5$ do 4 m/min. Upravo u tom području bila je brzina rezanja koju je preporučio proizvođač stroja i koja se upotrebljavala. Međutim, povećanjem brzine rezanja na približno dvostruku vrijednost, bio je riješen prije navedeni problem.

K. Nakayama i dr. [47] dali su prijedlog za pohranjivanje podataka sile rezanja kod tokarenja, koristeći teoriju rezanja i podatke materijala obratka, geometrije alata i režima obrade.

Osim za konstrukciju elemenata alatnog stroja, podaci o silama rezanja potrebni su za određivanje režima obrade numerički upravljanih strojeva, kao jedno od ograničenja.

2.4. Obrada prekinutim rezom

U posljednjih nekoliko godina posebna pažnja u istraživačkim aktivnostima CIRP-a (Međunarodna institucija za istraživanje na području proizvodnog strojarstva) posvećena je obradama s prekinutim rezom, a posebno glodanju. Ovdje ćemo navesti samo neke radove, dok ćemo prije navedene radove [20, 21, 22, 23, 27] sada izostaviti.

Osim toplinskog efekta i krutosti obradnog sistema [21], [22, 23] koji su istraživani kao utjecajni faktori na trošenje alata kod obrade prekinutim rezom, istraživan je također utjecaj ulaza oštrice u obradak (prvi rad M. Kronenberga) i izlazak oštrice iz obratka. U posljednje vrijeme dokazalo se da izlaz oštrice iz obratka ima značajan utjecaj na trošenje. A.J. Pekarharing [48] je utvrdio da kod ortogonalne obrade čelika dođe do oštećenja oštrice (chipping) nakon prvog izlaza oštrice iz obratka. Mehanizam stvaranja strugotine se nešto prije izlaska oštrice promijeni i to tako, da se promijeni smicanje iz pozitivnog u negativno, čime se objašnjava navedeno oštećenje oštrice. Treba napomenuti da u ovom slučaju oštrica nije imala fazetu ili zaobljenje, što očito utječe na trošenje alata.

Analizu udarca zuba glodala koji nastaje kod ulaska zuba u obradak, kao i određivanje smjera i amplitude različitih nastalih valova izvršili su D. Bizeul i dr. [49]. Ovaj rad je u toku.

Da bi se olakšao rad istraživačima na području glodanja i povećala informiranost o značajnijim radovima na ovom području, autor je [50] u okviru navedene grupe "Glodanje" - CIRP izvršio izbor značajnijih radova na području glodanja koji su grupirani po specijalnostima.

Za očekivati je da će se broj radova povećati na području obrade prekinutim rezom u bližoj budućnosti.

2.5. Neke tendencije u obradi skidanjem strugotine

Osnovna tendencija u obradi je da se smanji direktno učesće čovjeka u ovom procesu. Mpr. postoje sistemi za obradu gdje se bira šipka iz koje se odrezuje pripremak, koji zatim u tom sistemu prođe slijedeće operacije: zabašivanje središnjih provrta, tokarenje, glodanje utora za klin, toplinsku obradu, brušenje, konačnu kontrolu, tako da izlazi u ovom slučaju osovina

sprema za montažu. Sistemom upravlja elektroničko računalo, tako da se mogu izraditi različite osovine u određenom području promjera i dužine. Na ovaj je način izbjegnuto četrnaest radnih mjesta, čekanje, transport i oštećenja pozicija u transportu.

Za ovakav način obrade potrebni su senzori ne samo za mjerenje dimenzija, već i senzori za mjerenje trošenja alata, lomljenje alata, hrapavosti obrađene površine, sila rezanja, oblika i vrste strugotine i sl. i to za vrijeme procesa obrade. Dakle, vidimo da uspješan i pouzdan rad sistema za obradu zavisit će o sensorima. Zbog toga veći broj laboratorija i instituta radi na iznalaženju pouzdanih senzora. U poglavlju 2.2. [34] naveli smo jedan takav senzor za određivanje istrošenja alata.

Nakon više od trideset godina od pionirskog rada M. Kronberga počela se primjenjivati topla obrada skidanjem strugotine. Kod ove obrade zagrijava se sloj materijala obratka koji treba skinuti na temperaturi od 550 do 700^oC, te se u toplom stanju skida s alatom definirane geometrije oštrice. Na ovoj temperaturi materijal obratka gubi svoju čvrstoću i tvrdoću, pa su manje sile rezanja i potrebna snaga, a veća je postojanost alata. Danas postoje uređaji za zagrijavanje obratka pomoću vruće plazme za industrijsku primjenu. Za očekivati je da će se topla obrada skidanjem strugotine sve više primjenjivati, a posebno za materijale s manjom obradivošću.

U posljednjih nekoliko godina postoji znatan interes za povećanje produktivnosti primjenom velikih brzina rezanja. Pod pojmom velike brzine podrazumijevaju se brzine rezanja u području od 500 do 7500 m/min [51] za postupke s definiranom geometrijom oštrice kao što su: tokarenje, gločanje i dr. Većina aluminijskih slitina obrađuje se u ovom području i trošenje alata ne predstavlja problem. Međutim često je problem alatni stroj, alat, sigurnost i sl. Razvoj rezne keramike i drugih materijala alata, prikazanih u drugom dijelu ovog referata, omogućio je

obradu željeznih slitina u području brzina rezanja od 500 do 915 m/min. Ovdje su ograničenja: rentabilnost - česta zamjena alata i povećana sredstva za nabavku opreme. Kod obrade željeznih slitina s većim brzinama rezanja od 915 m/min trošenje alata postaje znatno brže. U nekim laboratorijima i u industriji vrše se pokusi s brzinama rezanja od 1525 do 30500 m/min. Treba navesti da istraživanja s ovako visokim brzinama rezanja vrše se s alatima koji se nalaze u topovskom tanetu. Međutim, postoje strojevi. Često su to glodalice, s mogućnošću od 15000 do 100 000 ok/min i s 30 KS. Ako se brzina rezanja poveća za 500%, specifični volumen skinute strugotine ($\text{mm}^3/\text{min kW}$) poveća se za 300%, a troškovi obrade se mogu smanjiti za 50 % i više [52]. Iz iskustva autora [53] proizlazi da kod tokarenja obratka $D = 70-130$ mm i brzine rezanja $v = 350$ m/min i veće, radnik na zaštićenoj ili ne zaštićenoj tokarilici ima jači strah, tako da dok se ne privikne ne želi raditi. Treba istaknuti da kod primjene visokih brzina rezanja treba uzeti u obzir cijeli obradni sistem, tj. stroj, steznu glavu ili napravu, stezanje alata, sigurnost radnika s posebnim osvrtom na smanjenje pomoćnih i pripremno završnih vremena.

Iako je princip obrade skidanjem strugotine najstariji od svih postupaka obrade, jer ga je čovjek počeo primjenjivati u prvobitnoj zajednici kad je alat bio oštar kamen, iz iznesenog proizlazi, da treba doći do daljnjih saznanja o ovom postupku kako bi se povećala produktivnost i smanjili troškovi obrade. U zadnjem poglavlju bit će ponovno riječi o nekim pitanjima obrade skidanjem strugotine u našim uvjetima.

Za uspješnu obradu alat je jedan od najvažnijih elemenata obradnog sistema.

3. Materijali alata - osvrt na primjenu i tendencije

Budući da je stanje industrije reznog alata i alata u našoj zemlji prikazano u [2] , ovdje je obrađena primjena novijih materijala alata, izuzevši alatne čelike, čiji je razvoj dan u već navedenom referatu [9] . Činjenica je, da se u praksi najčešće primjenjuju klasični alati, iako postoje noviji alati koji omogućavaju rad s većim režimima obrade. Na pitanje - zbog čega dolazi do ovakve pojave, pokušat ćemo odgovoriti u ovom poglavlju.

Utjecaj materijala alata na povećanje brzine rezanja prikazan je na slici 8 [54] , gdje je uočljivo da je bila brzina rezanja pred sedamdeset godina za približno sto puta manja od brzine koje se danas mogu primijeniti.

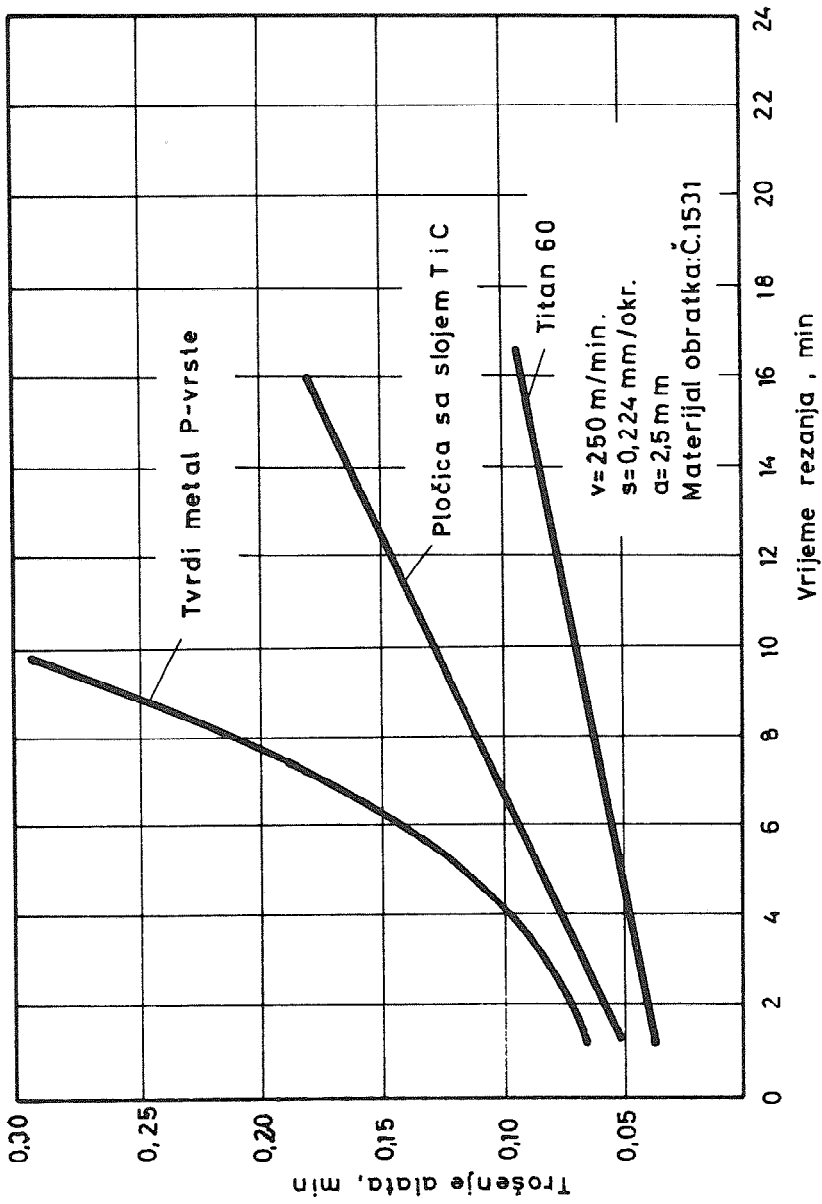
Tvrđi metal

Prema slci 8 vidimo da je tvrdi metal znatno utjecao na povećanje brzine rezanja, a time i na povećanje produktivnosti i na smanjenje troškova obrade kod većine najvažnijih operacija obrade skidanjem strugotine. U praksi se najčešće odabire vrsta tvrdog metala prema materijalu obratka, zanemarujući brzinu rezanja, posmak i dubinu rezanja kod koje će biti upotrebljen.

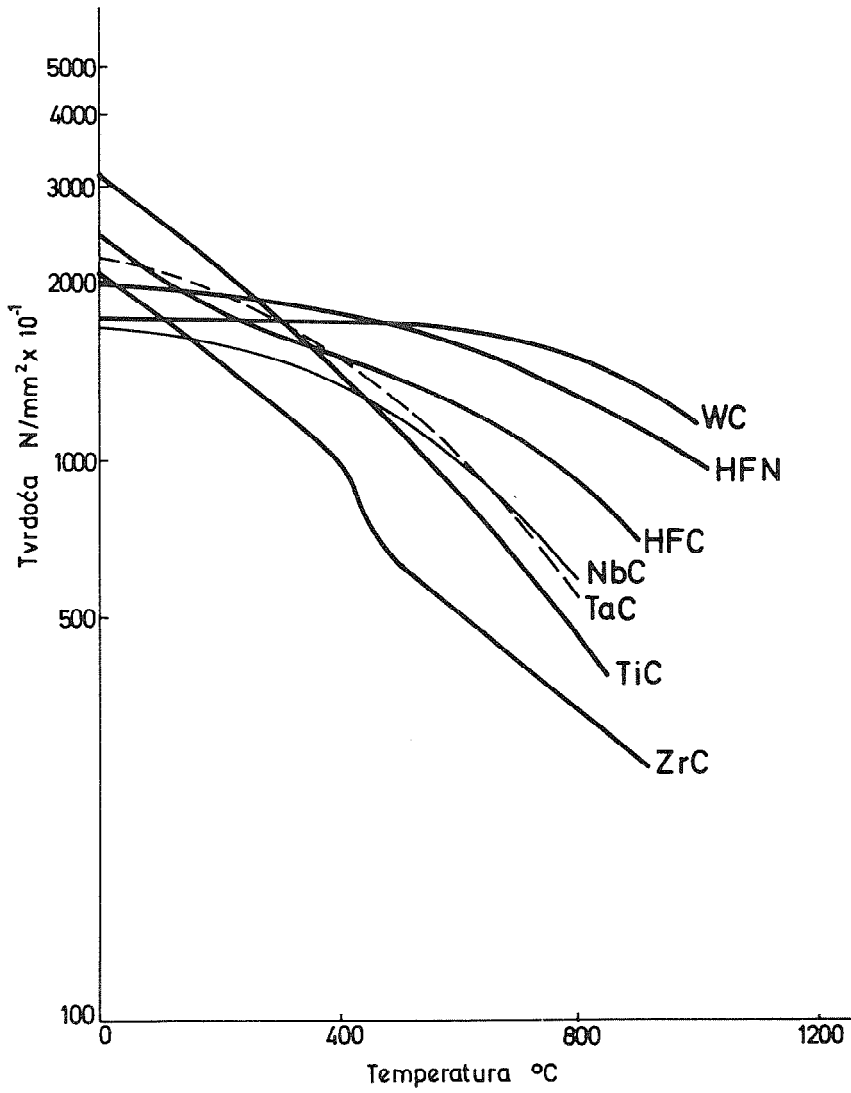
Činjenica je da je bila tendencija šezdesetih godina, da za pojedinu svrhu postoji i određena vrst tvrdog metala. Međutim, u posljednjih nekoliko godina trend je da se smanji broj vrsta tvrdog metala, te da jedna vrst prekriva više prijašnjih vrsta. Npr. Coromantova prevučena pločica GC 015 može se upotrebiti umjesto pet vrsta prema ISO kako slijedi: P10, P20, P30, K10 i K20 [55] . Postoji više novih vrsta i tipova alata iz tvrdog metala. Jedna takva vrst pločice ima jezgru konvencionalnog žilavog tvrdog metala s tankim, vrlo tvrdim slojem titanovog karbida, ili titanovog nitrida, ili pak aluminijevog oksida. Također, mogu biti tri sloja npr. najprije titanov karbid, pa titanov karbonitrid i posljednji titanov nitrid.

U razvojnoj fazi su pločice sa slojem borovog karbida i silicijevog karbida. Usporedimo li prevučenu pločicu s pločicom koja je cijela iz titanovog karbida, vidjet ćemo da prevučena pločica sa slojem titanovog karbida ima veće trošenje, slika 9 [56]. Također, na istoj se slici vidi da klasični tvrdi metal, u ovom slučaju P vrsta, ima veće trošenje od pločice sa slojem titanovog karbida. Odavde slijedi praktičan zaključak da prevučene pločice treba upotrebiti onda, kad dolazi kod pločice iz titanovog karbida do krzanja ili do pucanja oštrice, odnosno kod tokarenja čelika s većim posmacima i većim dubinama rezanja. Osim H.S. Kalisha [56], J.E. Mayer i dr. [57] uspoređuju pločice iz titanovog karbida s klasičnim tvrdim metalom (volfram karbid) i s pločicama prevučenim s titanovim karbidom, a uvjete primjene prevučenih pločica iz tvrdog metala istražuje H.S. Kalish [58]. Za usporedbu s jednim i s više prevučenih slojeva, kao primjer možemo navesti prije spomenutu pločicu GC 015, koja ima dva sloja, i to: deblji sloj je iz titanovog karbida, a na njega je nanešen tanji sloj aluminijevog oksida, te skinuti volumen strugotine u jedinici vremena može biti od dva do tri puta veći u odnosu na pločice sa slojem titanovog karbida, kod približno iste postojanosti alata. Pokusi izvršeni sa slojem aluminijevog oksida kod čeonog glodanja sivog lijeva s glodalom s jednim zubom kod brzine rezanja $v = 660 \text{ m/min}$, posmak po zubu $s_z = 0,18 \text{ mm/z}$ i dubine rezanja $a = 2,5 \text{ mm}$, pokazali su da se može postići zadovoljavajuća postojanost.

R.V. Leverenz [59] je istražio pločice sa slojem hafnij nitrida. Tvrdoća hafnij nitrida kod povišenih temperatura do 1000°C uspoređena je s više tvrdih karbida na slici 10. Budući da hafnij nitrid ima znatno veću tvrdoću od titanovog karbida i ostalih karbida koji se nanose na pločice, ima i najveću otpornost na stvaranje kratera na prednjoj površini, što omogućava rad s većim brzinama rezanja. Veća otpornost na trošenje također se oči-



Slika 9 Usporedba trošenja različitih vrsta okretnih pločica v = 250 m/min.



Slika 10 Tvrdoća kod povišenih temperatura

tuje i na stražnjoj površini, što je vidljivo na slici 11 u usporedbi s pločicama prevučenim sa slojem titanovog nitrida. Ove pločice su najpodesnije za tokarenje i djelomično za isto-
karivanje i glodanje. Kod obrade različitih čelika postojanost je bila veća od 2 do 4,6 puta, a kod obrade sivog lijeva za 2,2 puta u odnosu na klasičan tvrdi metal. Međutim, nisu se pokazale podesne za obradu legure na bazi nikla i čeličnog lijeva.

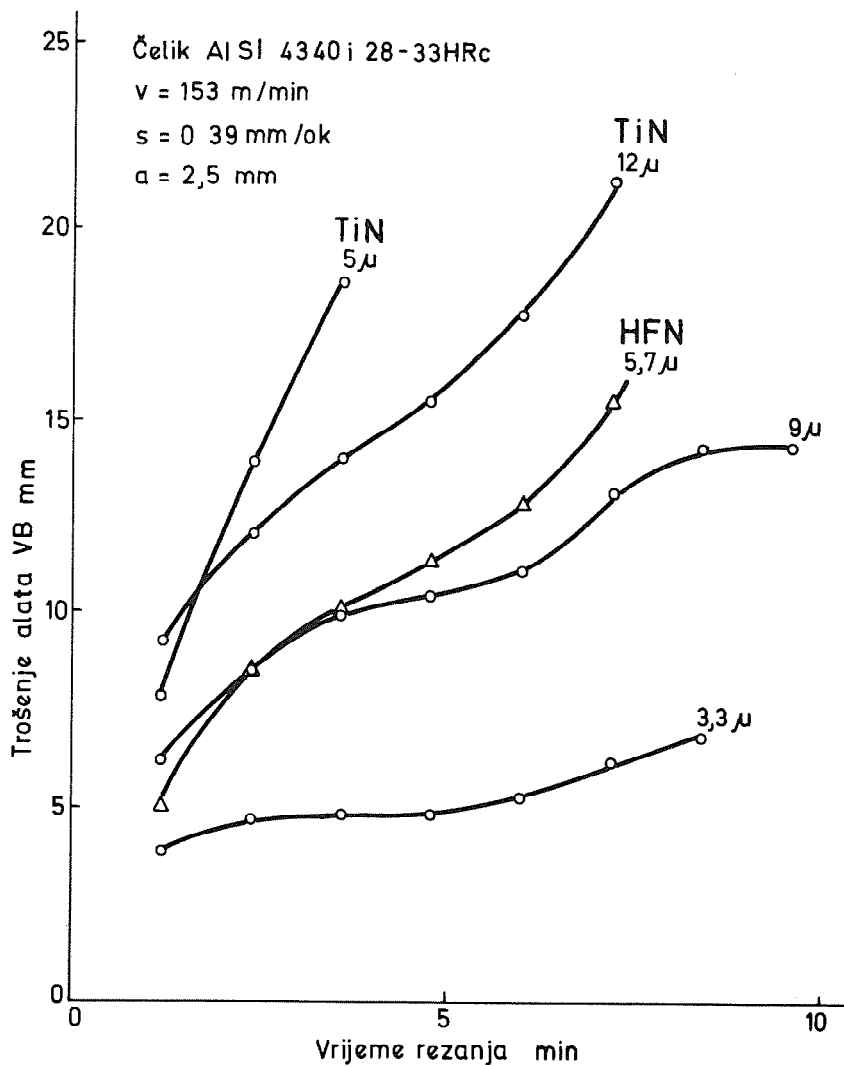
Za submikronski tvrdi metal [53] često se kaže da je očvršćen tvrdi metal s submikronskom disperzijom. Velika čvrstoća i tvrdoća se postiže vrlo sitnim zrnom. Najvažnija karakteristika submikronskog tvrdog metala je da ima približno dvostruku smičnu čvrstoću, dok mu je tvrdoća manja od klasičnog tvrdog metala, pa se može upotrebiti pozitivna geometrija alata slična brzoreznom čeliku.

Prema primjeni submikronski tvrdi metal možemo svrstati između brzoreznog čelika i tvrdog metala, tj. podesan je kad brzorezni čelik ima preveliko trošenje ili kad dolazi do drobljenja, npr. tvrdog metala M20. Također je podesan: za plansko tokarenje, budući da se brzina rezanja kontinuirano mijenja i na taj način dolazi do većeg trošenja, za obradu s prekinutim rezom, udarci, za fazonske noževе i za alate za izradu navoja te za obradu legura na bazi nikla.

Rezna keramika

Poznato je da su bile prve rezne keramike tvrde i krhke, što nije podesno za obradu, pa se u novije vrijeme dodaju reznoj keramici tvrdi metal - volframov karbid, titanov karbid i dr. Ovakva rezna keramika često se naziva i miješana rezna keramika, ili nekim trgovačkim nazivom, npr. "keramet".

Na povećanje otpornosti na krhanje - pucanje oštrice utjecala je završna obrada same oštrice. Prije se oštrica honovala ili se pjeskarila da bi se zaoblila oštrica. Međutim povoljnije je, ako se brušenjem izradi fazeta širine od 0,05 do 0,15 mm pod kutem od 25° do 30° u odnosu na prednju površinu.



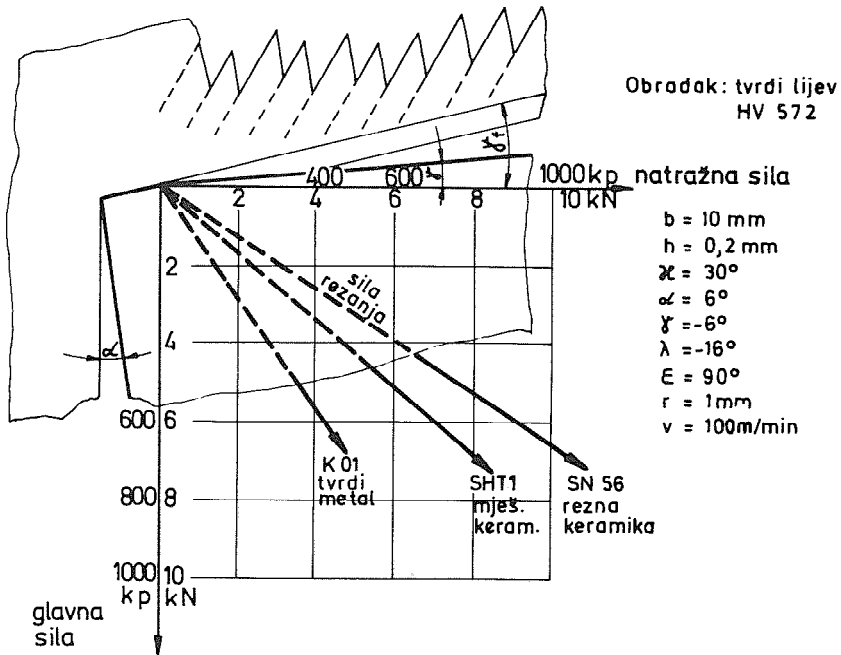
Slika 11 Usporedba trošenja VB pločica sa slojem HfN i TiN kod tokarenja.

Jedan od problema s prvom klasičnom reznom keramikom bila je tekuća strugotina, koja se razlikovala od tekuće strugotine kod obrade s tvrdim metalom ili s brzoreznom čelikom. Budući da je temperatura strugotine viša kod obrade s reznom keramikom, strugotina je zbog plastičnosti "lebdila", i predstavljala je još veću opasnost za okolinu. Ovaj problem je riješen izumom čvršće rezne keramike, jer se kod ove mogu primijeniti za više puta veći posmaci ($s = 0,25$ do $s = 0,5$ mm/okr.) u odnosu na klasičnu reznú keramiku.

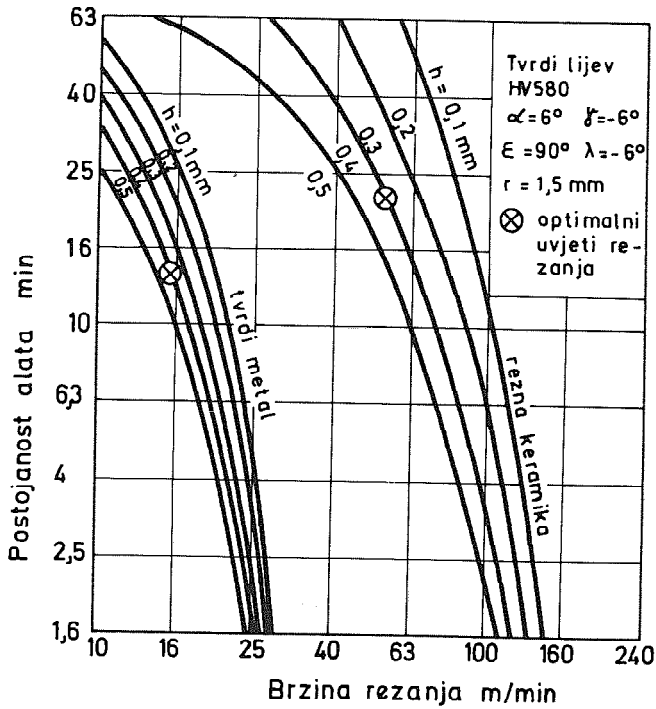
Jedna nepoznanica je sila rezanja kod obrade s reznom keramikom. Na slici 12 [60] su prikazane rezultatne sile rezanja kod obrade s tvrdim metalom, klasičnom reznom keramikom i miješanom reznom keramikom. Ovdje vidimo da je glavna sila rezanja približno ista za sva tri slučaja, dok je kod klasične rezne keramike dvostruka natražna sila u odnosu na tvrdi metal, a ujedno je kod rezne keramike natražna veća od glavne sile rezanja.

Budući da natražna sila rezanja ne utječe na snagu rezanja, iz ovog razmatranja bi se moglo zaključiti da je snaga rezanja kod obrade s reznom keramikom i tvrdim metalom približno ista. Međutim, na snagu utječe osim sile rezanja i brzina rezanja, koja je veća kod rezne keramike, što je prednost rezne keramike, pa je potrebna snaga veća. Za ilustraciju možemo navesti primjer tokarenja čelika Č.4330 s reznom keramikom s brzinom rezanja $v = 300$ m/min, posmakom $s = 0,36$ mm/okr. i dubinom rezanja $a = 2,5$ mm, gdje je brutto snaga $P = 11,5$ kW [61]. Odavde proizlazi da jedan faktor za uspješnu primjenu rezne keramike je dovoljna snaga alatnog stroja.

Na slici 13 prikazana je zavisnost postojanosti alata i brzine rezanja kod tokarenja tvrdog lijeva s miješanom reznom keramikom. Ovdje je uočljivo da su za konstantnu postojanost alata brzine rezanja približno za jednu trećinu manje od brzine rezanja kod rezne keramike, te da je rezna keramika osjetljivija



Slika 12 Zavisnost sile rezanja o materijalu alata



Slika 13 Zavisnost postojanosti alata o brzini rezanja kod tokarenja

na povećanje debljine strugotine h tj. na povećanje posmaka u odnosu na tvrdi metal.

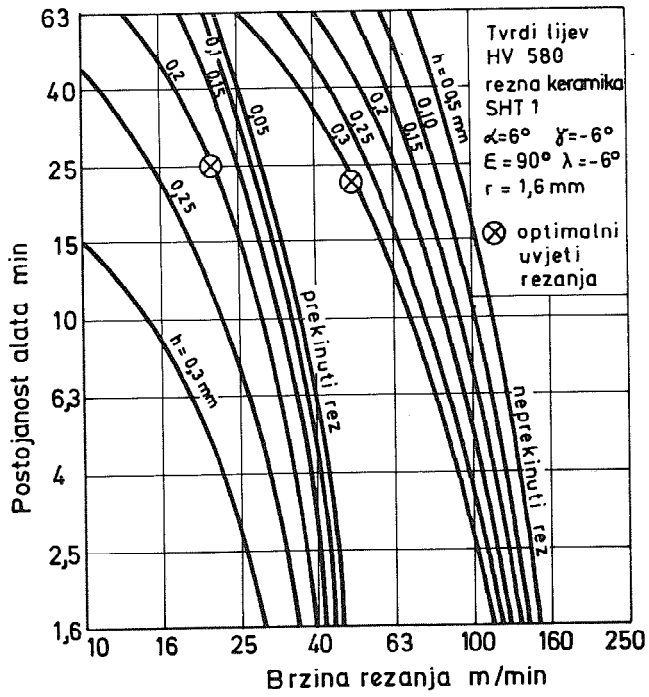
Uzmemo li u obzir troškove alata, nadnicu radnika, amortizaciju stroja, režiju i sl., te zavisnost postojanosti alata i brzine rezanja [38], poznato je da možemo odrediti brzinu rezanja i odgovarajuću postojanost alata kod kojih su troškovi obrade minimalni, tj. tzv. ekonomsku brzinu rezanja i ekonomsku postojanost. Ove veličine su također dane na slici 13, gdje se vidi da je ekonomska brzina rezanja s reznom keramikom više puta veća u odnosu na tvrdi metal.

Osjetljivost rezne keramike na udarce, tj. tokarenje s prekinutim rezom prikazano je na slici 14.

Kod primjene rezne keramike često se postavlja pitanje, da li treba upotrebiti sredstvo za hlađenje i podmazivanje. Nova miješana rezna keramika s titanovim karbidom (Feldmühle - SHT - 1) ima manja trošenja stražnje površine kod obrade čelika Č.1531 i SL 25, ako se upotrebi sredstvo za hlađenje i podmazivanje [63, 53]. Također, u ovim radovima su dane zavisnosti postojanosti alata o brzini rezanja za tokarenje čelika Č.1531 i SL 25 s reznom keramikom. B. Dallas [64] naveo je primjer primjene rezne keramike u SAD-u i u Engleskoj.

E. Krabacher i dr. [65] objavili su svoje rezultate o istraživanjima na primjeni rezne keramike kod glodanja već 1958. Zatim su slijedili radovi R. Eichlera [66], G. Bluma [67] i W. Schmita [68] na glodanju - završna obrada, dok je postojanost alata istraživao H. Kröher [69]. Rezultate istraživanja na području glodanja s reznom keramikom objavio je U. Klicpera [70], [71, 72].

Na kraju ovog razmatranja navest ćemo neke rezultate ankete izvršene u SAD [73] o primjeni rezne keramike i tvrdih metala. Potrošnja tvrdog metala u SAD je porasla za 50% samo za dvije godine, od 1972. do 1974, dok 70% otpada na primjenu klasičnog tvrdog metala. U ostalih 30% zastupljena je primjena tvrdih me-



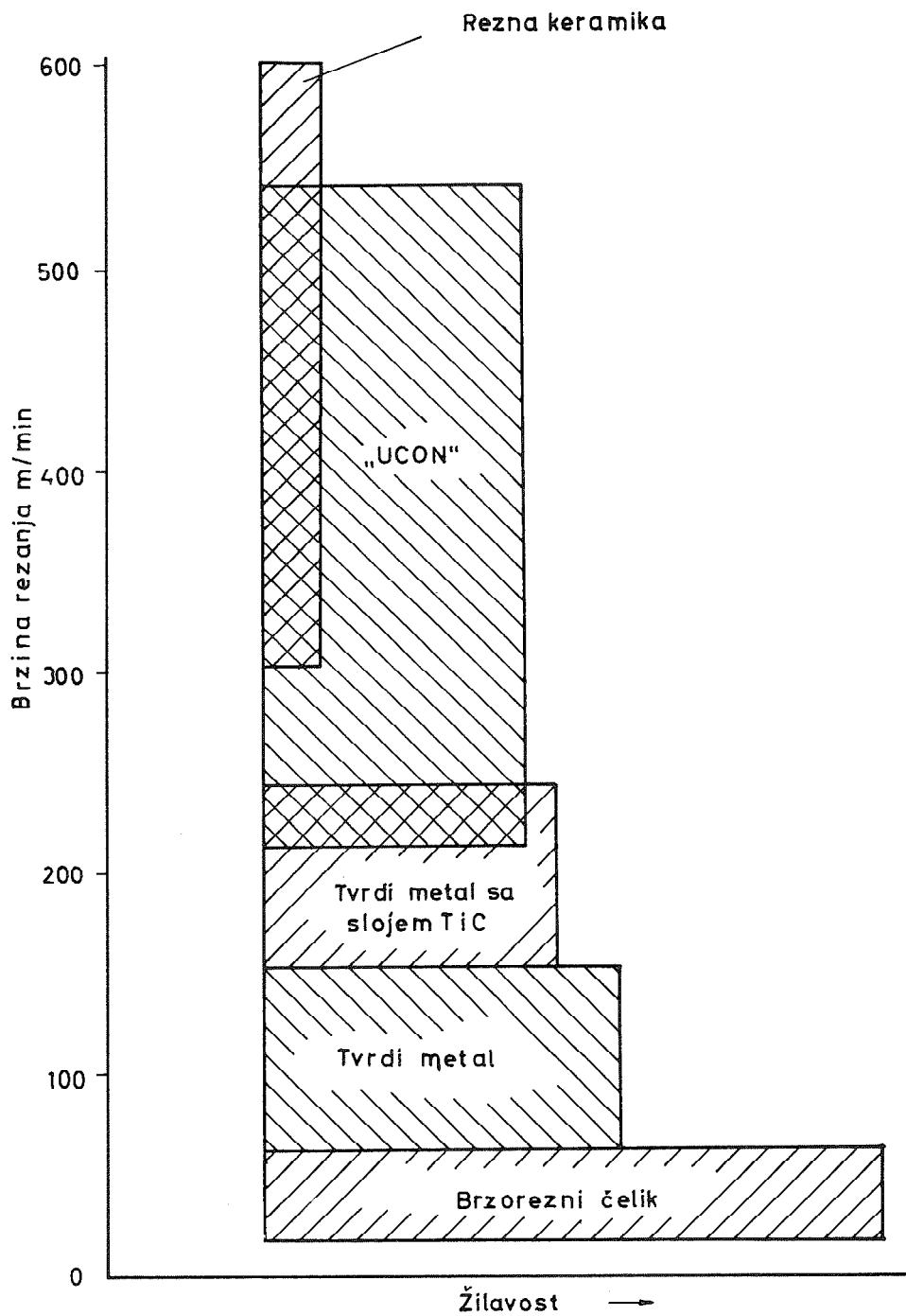
Slika 14 Zavisnost postojanosti alata o brzini rezanja kod tokarenja

tala sa slojem titanovog karbida, pločicama iz titanovog karbida i na pločice iz rezne keramike. Prema podacima M. Jovičića [74] najviše se upotrebljava brzorezni čelik - približno 66%, tvrdi metal - oko 32%, a na reznu keramiku otpada samo 2%. Međutim, najviše se volumski skine strugotine tvrdim metalom i to oko 68%, dok s alatima iz brzoreznog čelika znatno manje oko 28%. Za očekivat je da će se primjena rezne keramike nešto povećati.

UCON

Kod ove specijalne alatne slitine dobro su postignuta dva suprotna svojstva vrlo važna za reznu pločicu : žilavost i tvrdoća, tako da je unutarnji dio pločice mekši od kaljenog čelika s 60 HR_c, a površina pločice ima približno tvrdoću rezne keramike [53, 75] s postepenim prelazom tvrdoće od površine prema središtu. Sadašnja vrst izmjenljive pločice UCON 5671, koju proizvodi Union Carbide Corp. ima 50% kolumbija, 30% titana i 20% volframa. Međutim, patentirano je više sastava koji se mogu primijeniti za razne alate. Lijevanjem dobiveni trupac se valja da bi se dobio lim iz kojeg se izrezuju rezne pločice, koje se zatim nitriraju.

Na slici 15 su prikazana podesna područja brzina rezanja i odgovarajuća žilavost različitih materijala alata: brzoreznog čelika, tvrdog metala s i bez sloja titanovog karbida, UCON-a i rezne keramike. Ovdje vidimo da se UCON može primijeniti u području od $v = 200$ m/min do $v = 550$ m/min, te da ima žilavost nešto manju od tvrdog metala. Međutim iz rada kojeg je izvršila grupa autora Kuljanić, Lemaher i Kozlović [61] proizlazi da se s UCON-om postižu i kod nižih brzina od $v = 200$ m/min dobri rezultati. Npr. kod tokarenja čelika Č.4320 s brzinom rezanja $v = 167$ m/min, posmakom $s = 0,36$ mm/okr. i dubine rezanja $a = 2,5$ mm postojanost UCON-a je bila za 264% veća od postojanosti tvrdog metala P20. Također u usporedbi s reznom keramikom, kod veće brzine rezanja $v = 372$ m/min i navedenog posmaka i dubine rezanja, UCON je imao veću postojanost alata za 35 do 50% postojanosti .



Slika 15 Područje brzine rezanja i žilavosti nekih materijala alata

alata. Kod ovih pokusa je zapaženo jednoliko trošenje alata i vrlo mala rasipavanja postojanosti alata kod istih uvjeta obrade. Također, u ovom radu dane su zavisnost postojanosti i brzine rezanja UCON, tvrdi metal i rezna keramika od dva proizvođača.

S ovakvim razlikama postojanosti alata u odnosu na tvrdi metal i rezu keramiku, te s velikom pouzdanošću oštrice, očito je da je ekonomičnije upotrebiti UCON od ovdje promatranih materijala.

UCON 5671 je najpodesniji za obradu čelika i pokriva područje tvrdog metala P10 do P50.

Zbog velike otpornosti na trošenje relativno velike žilavosti, UCON pločice su podesne za grubo, polugrubo i za završno uzdužno i poprečno tokarenje, te za rastokarivanje. Za sada je još ograničena primjena UCON pločica kod glodanja, ali može se očekivati šira primjena i na ovom području obrade, kod alata za odrezivanje i kod fazonskih noževa. UCON nije podesan za obradu sivog lijeva, nerđajućeg čelika, ili za obradu "egzotičnih" materijala, kao što su: legure s velikom čvrstoćom na bazi titana, nikla ili kobalta. S ovim materijalom alata se može raditi kod manjih i kod većih posmaka, a slično je i s dubinama rezanja.

Kubični bornitrid (CBN)

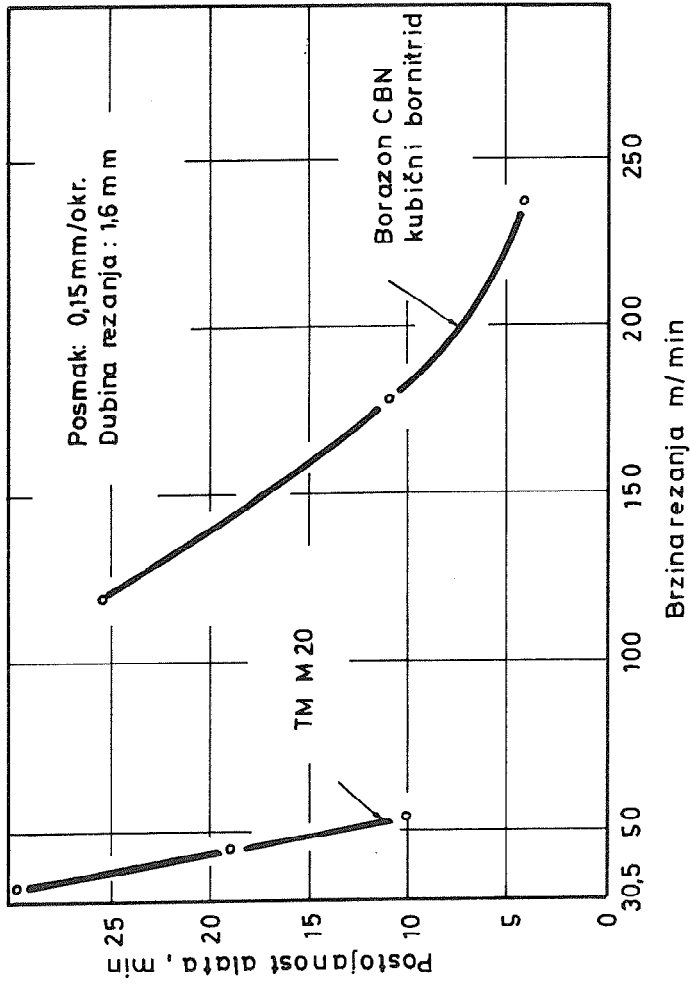
Kubični bornitrid je po tvrdoći drugi materijal poslije dijamanta i približno je dva puta tvrdi od tvrdog metala M20. Bitne osobine kubičnog bornitrida su da kemijski ne reagira s materijalom obratka, da ne oksidira na temperaturi do 1000^oC i da mu se ne smanjuje tvrdoća kod povišenih temperatura. Polikristalinični kubični bornitrid, ili kubični bornitrid, poznat je u SAD pod trgovačkim imenom BORAZON CBN proizveden u General Electric, dok u SSSR je poznat pod nazivom ELBOR. Kratica CBN dolazi od "Cubic Boron Nitride".

Veći kristali kubičnog bornitrida obično se tvrdo zaleme na čelični držač noža, te se nakon oštrenja upotrebljavaju za završno tokarenje i završno glodanje. Drugi noviji način je da se na rezne pločice tvrdog metala nanese sloj polikristalnog bornitrida debljine 0,5 mm. Prednost ovih okretnih pločica, koje su mehanički pričvršćene na držač je očita, budući da se pločica baca kad su sve oštrice istrošene pa nije potrebno dugo-trajno i skupo oštrenje. Navest ćemo neke primjene reznih pločica - BORAZON CBN za mehaničko pričvršćenje koje proizvodi General Electric u SAD.

Kubični bornitrid je podesan za obradu teškoobradivih materijala i za materijale tvrdoće od 50 do 70 HR_C, npr. za tokarenje valjaoničkih valjaka. Ovi se valjci mogu tokariti s BORAZON-om CBN primijenivši posmak $s = 0,6$ mm/okr., dubinu rezanja $a = 9$ mm i brzinu rezanja oko $v = 80$ m/min. Budući da je jezgro pločica žilavo, BORAZON CBN podnosi promjenu veličine sile rezanja koja nastaje zbog promjenljive dubine rezanja.

Za drugi primjer primjene ovog materijala navest ćemo obradu teškoobradive legure na bazi nikla Inconel 718, slika 16 [53, 76]. Ovdje vidimo da kubični bornitrid ima veliku prednost u odnosu na tvrdi metal pošto se za postojanost leta od $T = 10$ min može povećati brzina rezanja za 3,5 puta kod tokarenja s kubičnim bornitridom u odnosu na tvrdi metal.

Kod obrade s kubičnim bornitridom treba upotrebiti sredstvo za hlađenje i podmazivanje, npr. emulziju 20:1, kako ne bi došlo do zavarivanja strugotine na obradak zbog visoke temperature rezanja. Za uspješnu obradu obradni sistem (alatni stroj, alat, obradak, naprava i uređaj za upravljanje) trebaju biti što je moguće krući, kako ne bi došlo do pojave vibracija. Podesno područje režima obrade je : brzina rezanja od $v = 75$ do 280 m/min, posmak od $s = 0,08$ do 0,5 mm/okr. i dubina rezanja od $a = 1,5$ do 9 mm. Iako jedna pločica BORAZON-a CBN košta više od 100 dolara



Slika 16 Usporedba tvrdog metalai Borazon alata kod tokarenja Inconel 718

zbog navedenih prednosti, obrada tvrdih materijala i materijala s malom obradivošću je ekonomična s kubičnim bornitridom. Za očekivati je da će se sve više upotrebljavati kubični bornitrid za posebne svrhe kao zamjena tvrdog metala.

Dijamantni alati

U slučajevima kad se obrada nije mogla vršiti s drugim materijalima alata, najčešće zbog velike tvrdoće obratka, počeo se primjenjivati dijamant. Veći monokristal dijamanta bio je tvrdo zalemljen na držač noža.

Danas imamo rezne pločice tvrdog metala, kao i kod BORAZON-a, koje imaju sloj praška polikristalnog dijamanta debljine 0,5 mm [77, 78, 79], koje se leme na držač. Trgovački naziv ovih pločica je COMPAX, a proizvođač je General Electric u SAD Megadiamond Industries, također u SAD, proizvode rezne pločice koje su izrađene praškastom metalurgijom iz polikristalnog dijamantnog praška pod nazivom MEGADIAMOND [77, 80], a mehanički se pričvršćuju na držač noža, kao i okretne pločice tvrdog metala.

Veliki nedostatak dijamantnih alata je da kemijski reaguju s čelikom, te da dolazi do dezintegracije dijamanta kod viših temperatura od 700°C. Zbog ove karakteristike, dijamantni alati su podesni za obradu aluminijskih legura, bakra i drugih neželjeznih materijala kao što su keramika i staklo.

Navest ćemo nekoliko primjera primjene dijamantnih alata i usporedit ćemo ih s alatima iz tvrdog metala. Kod obrade provrta automobilskog klipa iz aluminijske legure obrađeno je s alatima iz tvrdog metala od 2000 do 2500 provrta do istrošenja alata. Međutim, s dijamantnim alatima obrađeno je od 20000 do 25000 - gruba obrada i 50000 provrta - završna obrada do istrošenja alata [81]. Kod obrade aluminijske legure s velikim postotkom silicija s MEGADIAMOND alatima brzina rezanja je oko 2,5 puta veća od brzine rezanja s tvrdim metalom za postojanost alata $T = 30$ min [76]. Režimi obrade za dijamantni alata - tokarenje i glodanje dan su u [53].

Iz ovog razmatranja proizlazi da za primjenu dijamantnog alata stroj treba imati mogućnost velike brzine rezanja i veliku krutost.

Cijena dijamantnog alata je znatno veća od alata iz tvrdog metala, ali su troškovi dijamantnog alata kao i kod alata iz kubičnog bornitrida, po radnom periodu manji u odnosu na druge alate.

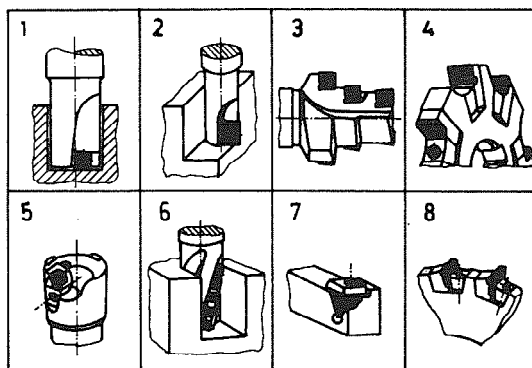
U bližoj budućnosti možemo očekivati da će kod nas doći do porasta proizvodnje i potrošnje prevučenih izmjenljivih pločica tvrdog metala i vjerojatno do povećanja primjene rezne keramike, posebno za obradu sivog lijeva i tvrdog lijeva. Prema nekim autorima [82] oko 80% izmjenljivih pločica tvrdog metala bit će prevučene s različitim tvrdim slojevima. Budući da se tvrdi metal izrađuje iz strateških materijala čije su rezerve ograničene u zemljinoj kori, za očekivati je da će ga postepeno zamjenjivati noviji materijali alata.

Osim podesnog materijala alata, tj. dobre oštrice, za povećanje produktivnosti potrebna je podesna geometrija i koncepcija alata, te mogućnost brze izmjene alata.

4. Noviji alati s izmjenljivim pločicama

Razvoj novih sistema za pričvršćivanje manjih izmjenljivih pločica iz tvrdog metala omogućio je primjenu ovih pločica na alatima, kao što su: alati za bušenje u puno, prstasta glodala, alati za duboko bušenje, noževi za odsjecanje i urezivanje, stepenasta svrdla i sl., slika 17 [84].

1. Alat za bušenje u puno
2. Prstenasto glodalo
3. Alat za stepenasto bušenje
4. Koturasto glodalo
5. Alat za duboko bušenje
6. Vretenasto glodalo
7. Nož za urezivanje
8. Glodalo za piljenje



Slika 17 Novi alati sa izmjenjivim pločicama

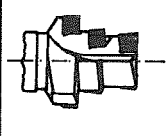
U usporedbi ovih alata s alatima iz brzoreznog čelika, uštede mogu biti vrlo značajne. Na slici 18 je prikazana, pored ostalih prednosti, moguća ušteda na troškovima alata i do približno 94%. Prednost ovih alata s mehanički pričvršćenim izmjenljivim pločicama je znatna i u odnosu na alate sa zalemljenim pločicama tvrdog metala, što je vidljivo na slici 19. Obradena dužina alatom s izmjenljivim pločicama je oko 7,5 puta veća od obrađene dužine alatom sa zalemljenim pločicama, a troškovi alata su smanjeni za 60%. Treba napomenuti da za glodanje utora dubine 85 mm i širine 63 mm u jednom prolazu s ovim alatom potrebna je snaga od 35 kW.

Kod čeonog glodanja se teži, tamo gdje je to moguće, manjem prislonom kutu, kako bi se izbjeglo lomljenje izlaznog brida obratka. Često je $\alpha = 45^\circ$, umjesto $\alpha = 75^\circ$, slika 20 [83]. Trokutasti oblik pločice je pogodniji za proizvođače izmjenljivih pločica od kvadratnog, budući da se dobije približno ista dužina oštrice s 50% manje volumena tvrdog metala kvadratne pločice, dok vršni kut ϵ može biti i 150° [83].

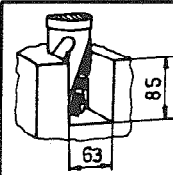
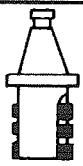
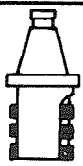
Poznato je da je volumen skinutog materijala obratka kod čeonog glodanja

$$V = B \cdot a \cdot s_z \cdot z \cdot n$$

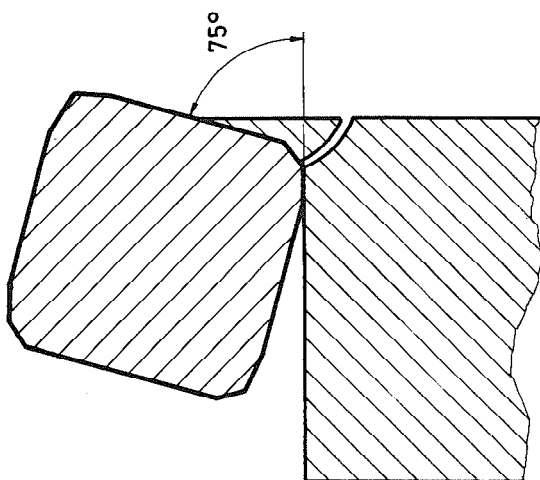
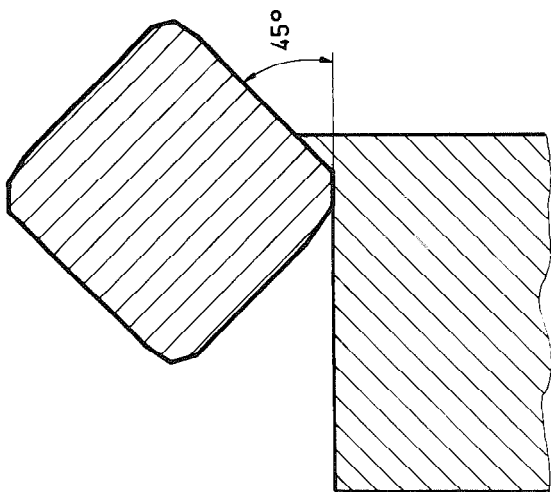
gdje je : V = volumen u mm^3/min , B = širina obratka i a = dubina rezanja u mm, s_z = posmak po zubu u mm/l z, z = broj zubi glodala i n = broj okretaja ok/min. Iz ove zavisnosti proizlazi da se konstrukcijom glodala može povećati volumen skinutog materijala povećanjem broja zubi u glodalu, što su neki proizvođači alata i napravili, npr. Sandvik-Coromant kod tzv. "Auto" glava [53].

		Brzorezni Č.	Izmjenjive pločice T.M.
	v	14 ... 16 m/min	60 ... 69 m/min
	s'	64 mm/min	144 mm/min
	s_z	0,20 mm/z	0,16 mm/z
Prevučeni T.M. Obradak : 28Cr4V	Ukupna količina strugotine	100%	575%
	Troškovi alata za 100 obradaka Osnova : 684 000 ob.	100%	6,3%

Slika 18 Usporedba obrade s B.Č. i T.M.

	T.M. P25	 zalemljene pločice	 mehanički pričvršćene	
	v	56 m/min.		
	s'	100 mm/min.		
	s_z	0,176 mm/z		
	Obradak : Č.0545 Snaga stroja : 35 kW	Broj oštrenja ili zamjena	7 8radnih per.	59 60radnih per.
	Obradena dužina	100%	750%	
	Troškovi alata po obrađenom 1m dužine	100%	40%	

Slika 19 Usporedba obrade s zalemljenim i izmjenljivim pločicama



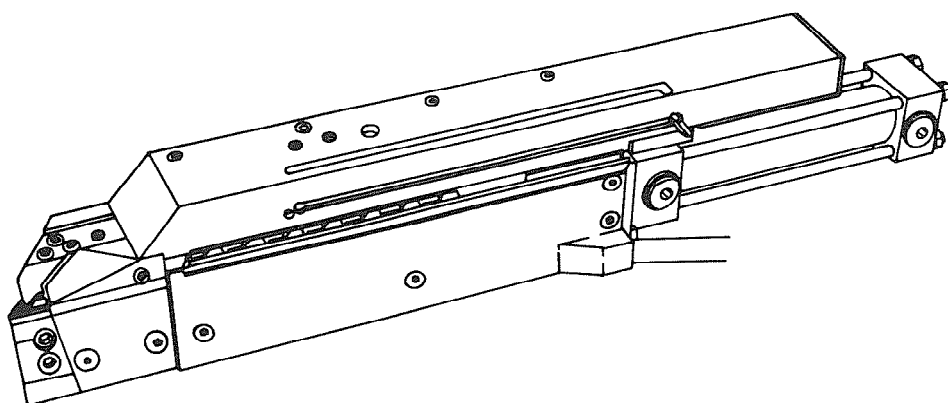
Slika 20 Usporedba $\alpha = 75^\circ$ i $\alpha = 45^\circ$

Kod primjene ovih visokoproduktivnih alata, treba posebno voditi računa o raspoloživoj snazi alatnog stroja. Iz iskustva autora, za glodaću glavu promjera $D = 200$ mm, glodalica bi trebala imati najmanje $P = 11$ kW, ako se želi donekle iskoristiti "Auto" glava za odnos $B/D = 06$.

Trend je kod alata s izmjenljivim pločicama da se smanji vrijeme potrebno za zamjenu pločica. U tu svrhu pričvrstni vijak pločice je zamijenjen oprugom, ili se osim toga, otpuštanjem jednog ili nekoliko vijaka skidaču odjednom sve pločice, npr. Sandvik CAP System [53]. Dakle, umjesto izmjene teške glodaće glave, skida se tanka ploča na kojoj se nalaze izmjenljive pločice, pa se na ovaj način smanjuje vrijeme potrebno za zamjenu alata za 50% u odnosu na klasične glodaće glave s izmjenljivim pločicama.

Zamjena izmjenljive pločice bez direktnog učešća čovjeka postignuta je kod tokarskog noža za kopiranje T-Max A, u čijem se držaču nalazi skladište za deset izmjenljivih pločica [55]. Izmjena pločice se izvrši na signal kojeg daje upravljački sistem stroja, slika 21, tj. izbací se istrošena pločica, a postavi se na određenu poziciju i pričvrsti nova pločica. Vrijeme potrebno za zamjenu pločice je samo nekoliko sekundi. Ovaj držač je podesan za obradu kad radnik nema direktan udio u procesu.

Budući da su istraživanja na ovom području u toku, mogu se očekivati nova rješenja za primjenu izmjenljivih pločica u bližoj budućnosti, a posebno za završnu obradu. Iz iznesenog proizlazi, da se s malim ulaganjima u alat mogu postići velike uštede i povećati produktivnost. Da bi se iskoristili noviji produktivni alati potrebna je često veća snaga nego što imaju alatni strojevi



Slika 21 Držač za automatsku izmjenu T - Max A

u našoj metaloprerađivačkoj industriji. Odavde proizlazi tendencija razvoja alatnih strojeva sa znatno većim snagama od današnjih strojeva.

5. Što treba riješiti u obradi skidanjem strugotine za primjenu NUS-a u našim uvjetima

Nakon izvršenog pregleda istraživanja na području obrade skidanjem strugotine i osvrta na primjenu novijih materijala alata, nameće se pitanje - što treba riješiti na području obrade skidanjem strugotine, da bi se mogli uspješno primijeniti numerički upravljani alatni strojevi u našim uvjetima. Posebno želimo naglasiti uspješnu primjenu, budući da se s uvođenjem NUS-a uvjeti prilično mijenjaju, pa nije rijedak slučaj da umjesto očekivanog uspjeha dođe do razočarenja. O nužnosti uvođenja NUS-a u našu metaloprerađivačku industriju ovdje ne bismo posebno govorili, budući da je ova potreba očita. Predviđa se da će biti 50% alatnih strojeva za obradu skidanjem strugotine u 1990. s numeričkim upravljanjem.

Ako analiziramo polazno stanje, vidimo da se u većem dijelu naše metaloprerađivačke industrije određuje radniku potrebno vrijeme za određenu operaciju, a da on treba odabrati režime obrade (brzinu, posmak i dubinu) prema svom nahođenju. Svakako, kod izbora režima obrade radnik koristi svoje iskustvo na određenom stroju i s određenim alatom, a kad se pojave vibracije ili neke druge smetnje, radnik mijenja parametre režima obrade, tj. vrši pokuse, dok ne nađe zadovoljavajuće rješenje. Kod NUS-a radnik nije uključen u izbor režima obrade, a budući da njegova saznanja nisu nigdje registrirana, programer ih ne može koristiti kod programiranja. Osim toga često je programer bolje upoznat s električkim računalom nego s obradom skidanjem strugotine, te zbog oskudnih i nepouzdanih podataka u podlogama režima obrade nije u

stanju predvidjeti neželjene posljedice, npr. da obrada nije uopće moguća s tako odabranim režimima obrade. Također programer ne može u ovakvim uvjetima izvršiti optimizaciju procesa obrade, koju bi trebalo izvršiti, tj. odabrati optimalne režime obrade za dani kriterij, već svu svoju pažnju posvećuje najosnovnijem zahtjevu, da je određenu operaciju moguće izvršiti. Najčešći kriteriji za optimizaciju procesa obrade su, kao što je poznato, minimalni troškovi obrade, ili maksimalna produktivnost (u slučaju "uskog grla", u ratu i dr.).

Međutim, isključivanje radnika iz procesa izbora režima obrade ima i dobre strane. Ovdje ćemo navesti samo neke primjere. Poznato je da se uvjeti brže mijenjaju nego način mišljenja radnika, npr. s uvođenjem novih strojeva i alata, kada njegovo iskustvo i njegovi kriteriji koče povećanje režima obrade, odnosno povećanje produktivnosti. Napomenut ćemo da kriteriji radnika za izbor režima obrade mogu biti znatno različiti od prije navedenih za optimizaciju. Npr. ako se u dotičnom pogonu radi u tri smjene, često radnici rade u prve dvije smjene s manjim režimima obrade, da bi mogli u trećoj smjeni raditi znatno većim režimima obrade i obraditi približno isti broj obradaka kao u prve dvije smjene, a da im ostane nekoliko sati za spavanje.

Kod NUS-a mogućnost povećanja produktivnosti je znatno veća upravo zbog isključivanja radnika iz vrlo važnog procesa izbora režima obrade pod uvjetom, da programer ima pouzdane podloge režima obrade i dovoljno znanja iz obrade skidanjem strugotine. Postoje još i drugi faktori koji utječu na povećanje produktivnosti kod NUS-a u odnosu na klasičan stroj, ali ćemo ih ovdje izostaviti, budući da su manje vezani za ovo područje. Podloge režima obrade trebaju proizaći iz istraživanja u laboratorijskim i pogonskim uvjetima. Ovo je jedan od primarnih zadataka istraživača na tom području.

Forma podloga režima obrade može biti različita, iako bi bila podesnija uniformnost podloga. Podloge trebaju sadržavati izraz koji identificira dotični proces obrade, npr. najjednostavnija je poznata Taylorova zavisnost postojanosti alata i brzine rezanja

$$T = Kv^{kv}, \text{ ili } vT^m = C,$$

odnosno prošireni Taylorovi izrazi, koji uključuju osim brzine rezanja i druge veličine režima obrade, kao što su posmak i dubina rezanja. Također, podloge režima obrade mogu pored navedenih izraza imati tabele i/ili dijagrame. Primjena Taylorovih izraza iz strane literature nije preporučljiva zbog manje pouzdanosti [32], pa je u slučaju primjene potrebno izvršiti provjeru. Svakako da za izradu podloga režima obrade treba biti definiran materijal obratka, alat i stroj.

U našoj zemlji, koliko je autoru poznato, na podlogama režima obrade, u formi projekta, radi se na: Fakulteti za strojništvo u Ljubljani, Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu, Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, u Prvomajskoj u Zagrebu i u Raši zajedno s Tehničkim fakultetom Rijeka. Kod izrade podloga režima obrade treba imati na umu, da je to dugotrajan posao, budući da postoji više obrada s različitim kombinacijama materijala alata i obratka, te da s upotrebom novih strojeva, alata i materijala obratka treba vršiti dopune.

Osim toga, treba dati podatke kako bi se mogla odrediti ograničenja za izbor režima obrade. Ta ograničenja su najčešće snaga kod grube obrade i hrapavost obrađene površine, odnosno geometrijska točnost, kod završne obrade. Podaci i načini za računanje snage rezanja mogu biti različiti. Za određivanje teoretske hrapavosti obrađene površine postoje podaci u literaturi. Međutim,

stvarna hrapavost se često značajno razlikuje od teoretske, pa je potrebno da se utvrde empirijske zavisnosti hrapavosti o sig-nifikantnim utjecajnim faktorima, npr. kao u autorovom radu [85].

Poznato je da numeričko upravljani alatni strojevi mogu imati veliki volumen skinute strugotine u jedinici vremena, te problem strugotine može postati vrlo značajan. Noviji alati imaju na sebi jedan ili više utora, posebne lomače, ili više plitkih provrta duž glavne oštrice na prednjoj površini alata za lomlje-nje strugotine. Međutim, oblik strugotine zavisi i o režimima obrade, pa bi trebalo da su u podlogama dani podaci kod kojih režima obrade se dobiva povoljno lomljena strugotina.

Iz prethodnog razmatranja proizlazi da programerima naj-češće nedostaju saznanja iz obrade skidanjem strugotine, pa se predlaže da im istraživači na području rezanja daju ne samo uput-stva o korištenju podloga režima obrade i ostalih podloga, već da im prenesu i osnovna saznanja iz ovog područja.

Ovdje su dani samo neki najosnovniji odgovori na postav-ljeno pitanje - što treba riješiti u obradi skidanjem strugotine za primjenu NUS-a u našim uvjetima. Međutim, ako ovo pitanje na-vede istraživače i korisnike istraživanja na ovom području na raz-mišljanje i potakne diskusiju, smatrat ćemo da je postignuta svrha zadnjeg dijela referata.

Reference

- [1] Šolaja V., Proizvodno mašinstvo 1965-1975. - mesto IR - delat-nosti u privrednom napredovanju, Zbornik X savetovanja proiz-vodnog mašinstva, Beograd, knj. I (1975)
- [2] Šolaja V., Obrada rezanjem - uvodni referat, Zbornik X saveto-vanja proizvodnog mašinstva, Beograd, knj. I (1975)

- [3] Peklenik J., Seljak Z., Leskovar P., Roethel F., Justin B., Sodobna tehnika odrezivanja in njene razvojne smeri, Strojniški vestnik, 13 (1967) 65
- [4] Šolaja V., Pregled istraživanja u oblasti reznih alata i rezanja u 1967., Zbornik IV savjetovanja proizvodnog mašinstva, Sarajevo, knj. I (1968)
- [5] Šolaja V., Obrada rezanjem - uvodni referat, Zbornik V savetovanja proizvodnog mašinstva, Kragujevac, knj. III (1969)
- [6] Sekulić S., Obrada rezanjem - uvodni referat, Zbornik VII savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad, knj. IV (1971)
- [7] Šolaja V., Stanje razvoja u tehnologiji rezanja i grupnoj tehnologiji, Simp. o Makroprojektu "Razvoj i optimizacija obradnih sistema za individualnu, maloserijsku i srednjeserijsku proizvodnju", Bled, knj. II (1970) 26
- [8] Peklenik J., Tehnologija strojne obdelave in njeni organizacijski prijemi - uvodni referat, Zbornik VIII posvetovanja proizvodnega strojništva, Ljubljana, (1973)
- [9] Rodič J., Razvoj orodnih jekl, Zbornik XII posvetovanja proizvodnega strojništva, Maribor, knj. I (1978)
- [10] Brown R.H., Luong H.S., The influence of microstructure discontinuities on chip formation, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 49
- [11] Dewhurst P., Is the machining process uniquely defined?, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 1
- [12] Bao H., Stevenson M.G., A basic mechanism for built-up edge formation in machining, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 53

- [13] Van Luttervelt C.A., The split shear-zone - mechanism of chip segmentation, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 33
- [14] Iwata K., Ueda K., The significance of dynamic crack behaviour in chip formation, CIRP Annals 25 (1976) 1, str.65
- [15] Van Luttervelt C.A., Chip formation in machining operations at small diameter, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 71
- [16] König W., Bouzakis K., Chip formation in gear - shaping, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 17
- [17] Nakayama K., Basic rules on the form of chip in metal cutting, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 17
- [18] Rasch F.O., Tonnessen K., Tool failure and chip form as restrictions when selecting cutting data, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 45
- [19] Venkatesh V.C., Raju A.S., Srinivasan K., On some aspects of wear mechanisms in coated carbide tools, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 5
- [20] Uehara K., Kanda Y., On the chipping phenomena of carbide cutting tools, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 11
- [21] Kuljanić E., An investigation of wear in single-tooth and multi-tooth milling, International journal of machine tool design and research, 14 (1974), str. 95
- [22] Kuljanić E., Effect of stiffness on tool wear and new tool life equation, Journal of engineering for industry, Transaction of the ASME, 97 (1975) 3, str. 939
- [23] Kuljanić E., Issledovanie iznosa instrumenta pri odnozubnom i mnogozubnom frezovanii, Rezušćie instrumenti, (1974) No. 33

- [24] Leskovar P., Investigation of the cutting edge in cemented carbide tools, CIRP Annals 25 (1976) , str. 111
- [25] Karapentev P., Investigation on some wear parameters of CVD layers on carbides by a scanning electron microscope, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 79
- [26] Loladze T.N., Tribology of metal cutting and creation of new tool materials , CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 83
- [27] Ber A., Feldman D., The influence of radial location on the wear behaviour of multi-tooth face milling cutter, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 1
- [28] Hastings W.F., Oxley P.L.B., Predicting tool life from fundamental work material properties and cutting conditions, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 33
- [29] Von Turkovich B.F., Henderer W.E., On the tool life of high speed steel tools, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 35
- [30] Samuels J., Tani M., Beiswenger C., Ham I., Measurements of crater wear using replica molds, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 77
- [31] Kuljanić E., Podloge režima obrade za horizontalno tračno piljenje, Savjetovanje "Prvomajska" (1978)
- [32] Kuljanić E., Tool wear and tool life equations in horizontal bandsawing, Manufacturing systems (1979) 3
- [33] Iwata K., Moriwaki T., An application of acoustic emission measurement to in-process sensing of tool wear, CIRP Annals 26 (1977) 1, str. 21

- [34] Cook N.H., Subramanian K., Micro-isotope tool wear sensor, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 73
- [35] Wager J.G., The use of statistical transformations in assessing life of cutting tools, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 29
- [36] Kuljanić E., Effect of tool life data analysis on tool life equation, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 105
- [37] Moisan A., Lapujoulade F., Selim I.H., Chabrely G., Determination experimentale de l'usure d'outils en carbures metalliques en fraisage de face, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 29
- [38] Kuljanić E., Application of random strategy method for optimization of machining conditions, Manufacturing systems, 3 (1974) 3, str. 205
- [39] Box G.E.P., Wilson K.B., On the experimental attainment of optimum conditions, Royal Stat. Soc. B. 13 I (1951)
- [40] Testing for face milling, CIRP - Paris, 1977.
- [41] Kanai M., Fujii S., Iwata K., Kanda Y., Statistical characteristics of drill wear and drill life for the standardized performance tests, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 61
- [42] Lindgren B., Constant feed force machinability testing - further development and industrial applications, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 39
- [43] Victor H.R., Schnittkraftberechnungen für das Räumen, CIRP Annals 25 (1976) str. 7
- [44] Kuljanić E., Cutting forces and surface roughness in broaching, CIRP Annals 24 (1975) 1, str. 77
- [45] Kuljanić E., Sili rezanija i šerohovatost obradotnoj poverhnosti pri protjagivanii, Rezušćii instrumenti (1976) 8

- [46] Kuljanić E., Lemaher E., Mjerenje sile razanja i trošenja alata kod provlačenja, Zbornik XIII savjetovanja proizvodnog mašinstva (1979)
- [47] Nakayama K., Arai M., On the storage of data on metal cutting forces, CIRP Annals 25 (1976) 1, str. 13
- [48] Pekelharing A.J., The exit failure in interrupted cutting, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 5
- [49] Bizeul D., Le Maitre F., Entrance angle in milling and dynamic stress waves propagation in the tool, CIRP Annals 27 (1978) 1, str. 11
- [50] Kuljanić E., Selected bibliography in milling, CIRP 1976
- [51] Kahles J.F. i dr., High speed machining possibilities and needs, CIRP Annals 27 (1978) 2, str. 551
- [52] The chipmaking revolution, American Machinist, 121 (1977) 11, str. J-1
- [53] Kuljanić E., Rezni alat - uvodni referat, Zbornik BIAM - 1976, Zagreb
- [54] Anschutz E., Schneidkeramik '72, Zerspanung und Werkzeug, Feldmühle
- [55] Coromant News - Internationa Mach. Tool Show 1978
- [56] Kalish H.S., Where solid titanium carbide stands, American Machinist, jan. 7 (1974)
- [57] Mayer J.E., Cowell S., Cemented titanium carbide cutting tools: their performance compared to TiC coated and uncoated cemented tungsten carbide tools, Manufacturing engineering transactions, SME (1972)

- [58] Kalish H.S., An evaluation of coatings on cemented carbides for machining applications, New developments in tool materials and applications - 1977, Symposium, IIT, Chicago
- [59] Leverenz R.V., Hafnium nitride coating for cutting tools, New developments in tool materials and applications - 1977 Symposium, IIT, Chicago
- [60] Klicpera U., Zerspanung von Hartguss mit Schneidkeramik, Werkzeugmaschinen Inter. Nr. 5, (1973), str. 25-30
- [61] Kuljanić, E., Lemaher E., Kozlović R., Usporedba novih materijala alata, XII Posvetovanje proizvodnega strojništva, Maribor (1978), I dio str. II-1
- [62] Kuljanić E., Kozlović R. i Vuletić V., Istraživanje novih materijala alata i alata, Prvomajska IAS (1977)
- [63] Anschütz E., Erweiterte Anwendungsbereiche für Schneidkeramik, Zerspanung und Werkzeug, Feldmühle
- [64] Dallas B., Getting serious about the ceramics, Manufacturing Engineering, Jan. (1976)
- [65] Krabacher E., Haggerty W., Performance characteristics of ceramic tools in turning and milling, ASTE Paper 145, 1958, American Society of Tool Engineers, Detroit
- [66] Eichler R., Feinfräsen von Führungsbahnen mit Keramikwendplatten, F+B - 14 (1964) 7, str. 386-400
- [67] Blum G., Einsatz der Schneidkeramik beim Fräsen, F+B - 14 (1964) 7, str. 404-406
- [68] Schmidt W., Feinstfräsen mit Schneidkeramik, F+B 18 (1968) 2, str. 91-95
- [69] Kröher H., Standzeituntersuchungen beim Fräsen mit Schneidkeramik, F+B (1964) 7, str. 401-403

- [70] Klicpera U., Verbesserte Schneidkeramikbefestigung zum Fräsen von Stahl, HGF-Kurzbericht, Blatt 75/34, Essen: Girardet-Verlag
- [71] Klicpera U., Standzeitverhalten von Schneidkeramik beim Fräsen von Stahl, HGF-Kurzbericht, Blatt 75/41, Essen: Girardet-Verlag
- [72] Klicpera U., Oberflächengüte beim Fräsen von Stahl mit Schneidkeramik, IA - 97 (1975) 77, str. 1666-1667
- [73] Mansfield F.M., Trends in use of carbide tools, American Machinist, july 22, (1974)
- [74] Jovičić M., Osnovne tendencije razvoja alatnih materijala i neki domaći naponi u toj oblasti, Zbornik XII Posvetovanja proiz. strojništva, Maribor (1978)
- [75] Rudness R., A new high speed tool - "UCON" indexable inserts, cemented carbide conference, febr. 6-8 (1973)
- [76] Christopher D., Zlatin N., New cutting tool materials, SME Technical paper, MR 74-101
- [77] Polycrystalline diamond tooling, American Machinist, nov. 25, (1974)
- [78] Spanitz F., Using compax tools in production, American Machinist, nov. 25, (1974)
- [79] Vandenkieboom J., Mitchell S., New diamond turning, grooving & boring improve efficiency of piston production systems, Cutting tool engineering, september/october (1975)
- [80] Morris F., Putting Megadiamond to work, American Machinist, nov. 25 (1974)
- [81] Bernard I., Le diamont outil de rectification a de coupe, Machine moderne, april (1974), 49
- [82] Milošević A., Razvoj prevlaka na tvrdom metalu depozicijom iz plinovite faze i njihova primjena u strojnoj obradi,

III savjetovanje proizvođača alata SFRJ - DDR, Dubrovnik
(1978)

- [83] Wirfelt S., Richtungweisende Fräser - Konzeptionen, Werkstatt und Betrieb 106 (1973) 8
- [84] 16. Aachener Werkzeugmaschinen - Kolloquium (1978)
- [85] Kuljanić E., Primjena planiranja pokusa i multiregresione analize za određivanje zavisnosti hrapavosti površine o najutjecajnijim faktorima obrade. Zbornik saopštenja VII savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad (1971), I dio, str. OR.25.01

E. Kuljanić

METAL CUTTING - SURVEY REPORT

This paper presents an international survey of the status of metal cutting as an introduction to the session "Metal Cutting" at the 13th Yugoslav Production Engineering Research Conference. The survey included a literature search in: metal cutting theory, tool wear, tool life, cutting forces, interrupted cutting, trends in metal cutting; tool materials as: coated and uncoated carbides, ceramics, UCON, cubic boron nitride, and diamond, with an emphasis on application. The paper also presents a new tools trend, and the following question was raised "What kind of metal cutting research should be done for useful application of numerical control machine tools in Yugoslav conditions. Also some answers on the question are given.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

S. Sekulić⁺)

IDENTIFIKACIJA PRIMARNIH PARAMETARA
OBRADJE REZANJEM NA OSNOVU ULAZNIH I
IZLAZNIH VELIČINA PROCESA⁺⁺)

1. Opšte

Proces rezanja je vrlo složen. Na njega utiče čitav niz faktora koji se odnose na: 1^o obradak, 2^o alat, 3^o mašinu alatku i 4^o uslove koji prate proces [4]. Obradak je karakterisan vrstom materijala i njegovim stanjem. Alat karakteriše vrsta materijala, oblik (pre svega geometrija reznog klina) i stanje površina koje obrazuju sečivo. Mašina alatka obezbedjuje spregu izmedju obradka i alata i prenosi neophodnu energiju do mesta procesa. Na slici Sl. 1 šematski su prikazani elementi procesa obrade, pri čemu se uočava, da su uslovi pri obradi, koji je karakterišu, nezavisni od načina obrade [1]. Pojedini parametri mogu se smatrati poznatim veličinama, ili promenljivim, u zavisnosti od načina rešavanja problema. Ako se ograničimo na posmatranje procesa obrade pri odredjenim nepromenjenim uslovima broj uticajnih parametara se znatno smanjuje.

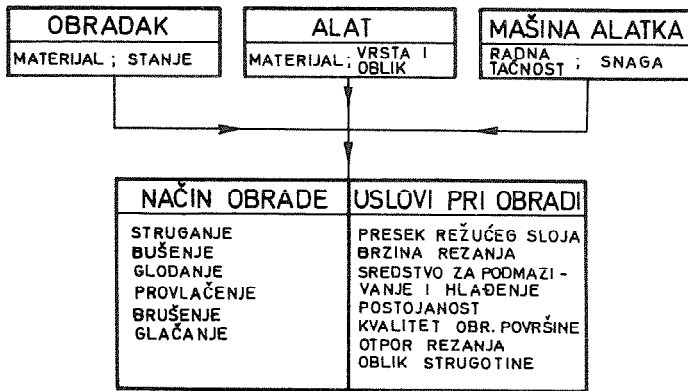
2. Uvod

Pojedine procese obrade možemo posmatrati kao sistem koji karakterišu ulazni x_i ($i=1,2,3,\dots,j$) i izlazni y_i ($i=1,2,3,\dots,k$) parametri (Sl. 2) [2,3,4,5,6].

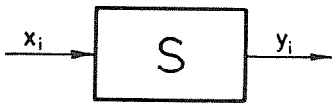
Ako odredjeni broj nezavisno promenljivih B_i ($i=1,2,3,\dots,l$) zadržimo konstantnim onda se broj ulaznih veličina smanjuje na $j-1$ (Sl. 3).

⁺) Dr. Sava St. Sekulić, dipl.ing., redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, V.Vlahovića 3.

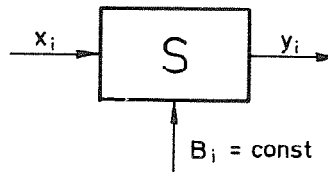
⁺⁺) Radjeno u Institutu za proizvodno mašinstvo, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, kao deo projekta ISTRAŽIVANJE TEHNOLOGIJE I SREDSTAVA RADA U INDUSTRIJI OBRADJE METALA koji finansira SIZ za naučni rad Vojvodine.



Sl. 1



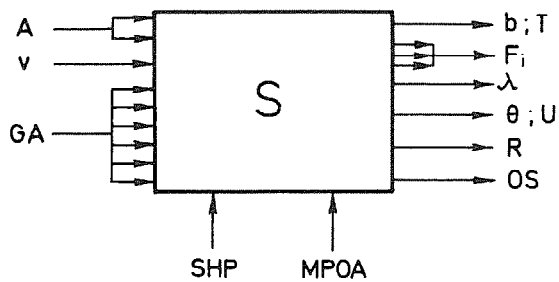
Sl. 2



Sl. 3

Neka su pri nekoj vrsti obrade ulazne veličine:

- presek režućeg sloja A (odredjen sa njegovu dva elementa),
- brzina rezanja v ,



Sl. 4

- geometrija alata ϕA (odredjena grudnim uglom γ , ledinim uglom α , napadnim uglom κ , uglom nagiba sečiva λ , uglom vrha ϵ i poluprečnikom zaboljenja vrha r, \dots ,

a konstantne veličine sledeće nezavisno promenljive:

- sredstvo za podmazivanje i hladjenje SPH,
- mašina alatka, tj. smatramo konstantnim njene dinamičke karakteristike (sistem MPOA:mašina alatka M - pribor P - obradak O - alat A),

dok su izlazne veličine:

- uslovno usvojena veličina habanja b , odnosno postojanost alata koja odgovara vrednosti $b=B$ za $t=T$,
- komponente otpora rezanja F_i ,
- faktor sabijanja strugotine λ ,
- temperatura rezanja θ , odnosno termonapon U , koji se javlja na mestu kontakta između alata i strugotine i obradka,
- uslovno usvojena veličina hrapavosti obradiene površine R ,
- oblik strugotine OS.

Na osnovu gore izloženog, prema slici 3, dobija se konkretniji radni model prema slici 4.

3. DEFINISANJE MATEMATIČKIH MODELA - IZLAZNI PARAMETRI U FUNKCIJI ULAZNIH

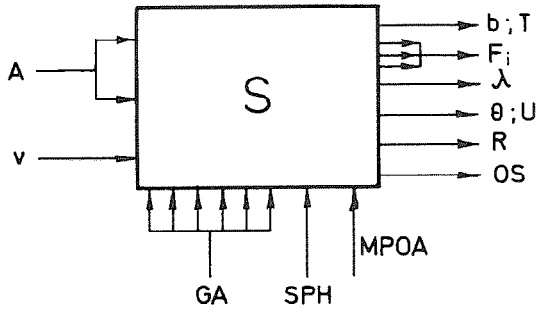
Na osnovu izloženog u predhodnom poglavlju modu se razmatrati veze koje proizilaze iz modela prema slici 4, tj. potražiće se zavisnosti za:

- uslovno usvojenu veličinu habanja

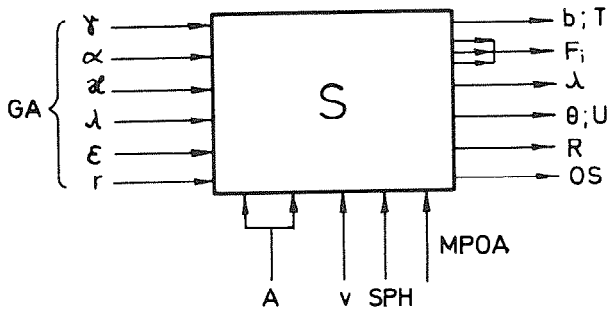
$$b = f_1(A, \phi, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (1)$$

odnosno postojanost alata

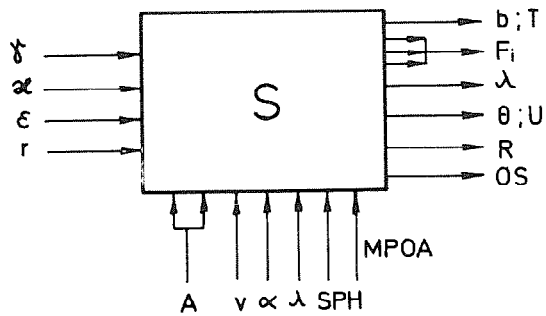
$$T = f_2(A, \phi, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (2)$$



Sl. 5



Sl. 6



Sl. 7

- Komponente otpora rezanja

$$F_i = \phi_i(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots); \quad i=1,2,3 \quad (3)$$

- faktor sabijanja strugotine

$$\lambda = f_4(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (4)$$

- temperaturu rezanja

$$\theta = f_5(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (5)$$

odnosno termonapon

$$U = f_6(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (6)$$

- uslovno usvojenu veličinu hrapavosti obradjene površine

$$R = f_7(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (7)$$

- oblik strugotine

$$OS = f_8(A, \sigma, v, \gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r, \dots) \quad (8)$$

gde je $g = \delta/s$ koeficijent vitkosti preseka režućeg sloja, koji ga bliže definiše.

Strukture funkcionalnih zavisnosti od (1) do (8), bile bi vrlo složene, pa se iz modela prema slici 4 mogu dobiti specifični radni modeli prilagodjeni potrebama istraživanja. Tako na primer pri istraživanju uticaja elemenata režima obrade na izlazne parametre rezanja, model prema slici 4 se transformiše u prostiji, jer je geometrija alata nepromenjena pa se dobija prostiji radni model prikazan na slici 5. Zavisnostima od (1) do (8) odgovaraju manje složene funkcije:

$$b = \psi_1(A, g, v) \quad (9)$$

$$T = \psi_2(A, g, v) \quad (10)$$

$$F_i = \chi_i(A, g, v); \quad i=1,2,3. \quad (11)$$

$$\lambda = \psi_4(A, g, v) \quad (12)$$

$$\theta = \psi_5 (A, \alpha, v) \quad (13)$$

$$U = \psi_6 (A, \alpha, v) \quad (14)$$

$$R = \psi_7 (A, \alpha, v) \quad (15)$$

$$OS = \psi_8 (A, \alpha, v) \quad (16)$$

Medjutim, pri istraživanju uticaja geometrije alata pri određenim režimima obrade slika 4 se transformiše u radni model prema slici 6, pa se za pojedine izlazne veličine dobijaju zavisnosti oblika:

$$b = \omega_1 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (17)$$

$$T = \omega_2 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (18)$$

$$F_i = \xi_i (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) ; \quad i=1,2,3 \quad (19)$$

$$\lambda = \omega_4 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (20)$$

$$\theta = \omega_5 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (21)$$

$$U = \omega_6 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (22)$$

$$R = \omega_7 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (23)$$

$$OS = \omega_8 (\gamma, \alpha, \kappa, \lambda, \epsilon, r) \quad (24)$$

Kako su i gornje zavisnosti u nekim slučajevima nepodesne, to se radni model prema slici 6 može dalje uprostiti usvajajući neke od geometrijskih elemenata konstantnim. Kao što je poznato, ledjni ugao menja se u uskim granicama i često je nepromenjen, takodje i ugao nagiba sečiva se često ne može menjati, jer je uslovljen pravcem koji mora imati strugotina. Za gore opisan slučaj dobija se radni model prema slici 7, kojem odgovaraju zavisnosti oblika:

$$b = \eta_1 (\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (25)$$

$$T = \eta_2 (\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (26)$$

$$F_i = \zeta_i (\gamma, \kappa, \epsilon, r) ; \quad i=1,2,3 \quad (27)$$

$$\lambda = \eta_4 (\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (28)$$

$$\theta = \eta_5(\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (29)$$

$$U = \eta_6(\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (30)$$

$$R = \eta_7(\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (31)$$

$$OS = \eta_8(\gamma, \kappa, \epsilon, r) \quad (32)$$

koje mogu korisno poslužiti za izbor odgovarajućih oblika matematičkih modela neophodnih za optimizaciju geometrijskog oblika reznih elemenata alata.

Kada to potrebe iziskuju može se i dalje vršiti uprošćavanje prethodnog modela, pa će se dobiti prostiji oblici za nabrojane zavisnosti.

Zavisnosti prema izrazima (1) do (32) treba potražiti u pogodnom obliku, pri čemu se primenom savremenih statističkih metoda mogu odrediti numeričke vrednosti u njima, uz zadovoljenje uslova vezanih za adekvatnost predloženih matematičkih modela, signifikantnost njegovih parametara i tačnost.

4. APLIKACIJA PRI OBRADI NA STRUGU

Napred izložena procedura primenjena je pri istraživanju uticaja elemenata režima obrade na strugu na izlazne parametre rezanja, pri čemu su dobijeni sledeći oblici zavisnosti za [4]:

- komponente otpora rezanja

$$F_i = C_i A^{x_i} q^{y_i} v^{z_i} \quad ; \quad i = 1, 2, 3. \quad (33)$$

- faktor sabijanja strugotine

$$\lambda = C_4 A^{x_4} q^{y_4} v^{z_4} \quad (34)$$

- termonapon rezanja
- maksimalni

$$U = C_5 A^{x_5} a^{y_5} v^{z_5} \quad (35)$$

- ustaljeni

$$U' = C_5' A^{x_5'} a^{y_5'} v^{z_5'} \quad (36)$$

- postojanost alata

$$T = C_6 A^{x_6} a^{y_6} v^{z_6} \quad (37)$$

odnosno brzinu rezanja

$$v = C_7 A^{x_7} a^{y_7} v^{z_7} \quad (38)$$

gde je $C_7 = C_6^{-1/z_6}$; $x_7 = -x_6/z_6$; $y_7 = -y_6/z_6$; $m_7 = 1/z_6$.

4.1. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNOM ISPITIVANJU

Ekperimentalna ispitivanja vršena su na dve vrste materijala obratka i to: 1) konstrukcioni čelik č.0545 i 2) konstrukcioni čelik za poboljšanje č.4732.

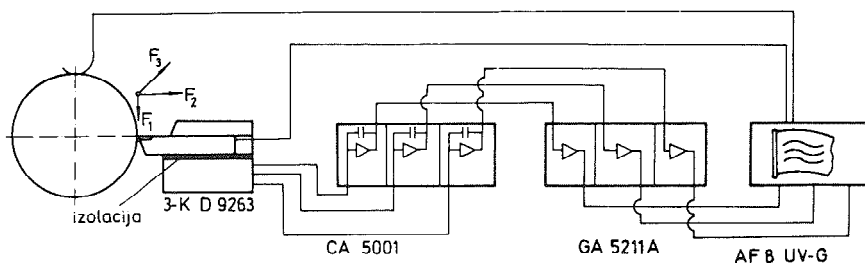
Pri ispitivanju korišćen je standardni struqarski nož za grubu uzdužnu obradu, pravi, sa pločicom tvrdog metala prema JUS K.C1.051 (ISO 1). Primarni grudni ugao iznosio je $\gamma' = 6^0$, fazeta primarne grudne površine $f_Y' = 2,0$ mm. Ostali geometrijski elementi su prema standardu. Kvalitet pločice je bio P30.

Ispitivanja su izvedena na univerzalnom struqu "Potisje-Morando" PA-22, razmaka šiljaka 750 mm i poqonske snage 10 kW.

Merenje komponentata otpora rezanja vršeno je pomoću trokomponentnog dinamometra na piezoelektričnom principu "Kist-

ler" type 3-KD 9263, sa kojeg su signali pojačavani, preko kapacitivnog pojačivača CA 5001 i galvanometarskog pojačivača GA 5211, uvođeni u svetlosni osmokanalni oscilograf "August Fischer" KG type AF8 UV-G.

Simultano sa komponentama otpora rezanja merena je i veličina termonapona, koji je uvođen direktno u svetlosni oscilograf bez pojačanja (slika 8).



Slika 8.

Faktor sabijanja struotine odredjivan je masenom metodom po obrascu

$$\lambda = \frac{m}{\rho A l_s} \quad (39)$$

gde je m - masa komada struotine dužine l_s .

Koeficijenti i eksponenti u izrazima (33), (34), i (35) i (36) odredjeni su primenom trofaktornog plana eksperimenta. Eksponenti x_7 i y_7 u izrazu za brzinu rezanja (38) odredjeni su iz izraza za ustaljenu vrednost termonapona (36) [4, 7, 8, 9]

$$x_7 = - \frac{x_5^2}{z_5^2}; \quad y_7 = - \frac{y_5^2}{z_5^2}$$

a eksponent $m_7 = -m$ klasično, kao eksponent u Taylor-ovoj jednačini $v T^m = C_T$ [4, 5, 7, 8].

Numeričke vrednosti dobijene obradom eksperimentalnih podataka svrstane su u tabeli T-1 [4].

TABELA T - 1

i	Parametar	Oznaka	Materijal obradka	
			Č.0545	Č.4732
1	Glavni otpor rezanja $F_1 = C_1 A^{x_1} g^{y_1} v^{z_1}$	C ₁	2673,350	2618,680
		x ₁	0,97014	0,82736
		y ₁	-0,00682	0,21748
		z ₁	-0,13271	-0,20326
2	Otpor prodiranja $F_2 = C_2 A^{x_2} g^{y_2} v^{z_2}$	C ₂	1906,40	2035,860
		x ₂	0,84602	0,59610
		y ₂	-0,03356	0,20135
		z ₂	-0,21959	-0,28679
3	Otpor pomoćnog kretanja $F_3 = C_3 A^{x_3} g^{y_3} v^{z_3}$	C ₃	1624,05	1492,04
		x ₃	0,87821	0,70550
		y ₃	0,20466	0,52709
		z ₃	-0,26199	-0,33596
4	Faktor sabijanja strugotine $\lambda = C_4 A^{x_4} g^{y_4} v^{z_4}$	C ₄	1,8852	6,25313
		x ₄	-0,00719	-0,23180
		y ₄	0,32473	0,29759
		z ₄	-0,02933	-0,34882
5	Termonapon (maksimalni) $U = C_5 A^{x_5} g^{y_5} v^{z_5}$	C ₅	3,38740	5,42026
		x ₅	0,11632	0,09725
		y ₅	-0,05871	-0,00478
		z ₅	0,30125	0,23581
5'	Termonapon (ustaljeni) $U' = C_5' A^{x_5'} g^{y_5'} v^{z_5'}$	C _{5'}	4,07899	5,90438
		x _{5'}	0,00313	0,017558
		y _{5'}	-0,08606	-0,06277
		z _{5'}	0,21710	0,19921
6	Postojanost alata $T = C_6 A^{x_6} g^{y_6} v^{z_6}$	C ₆	5,131·10 ⁸	1,522·10 ⁸
		x ₆	-0,05677	-0,23466
		y ₆	1,55067	0,84011
		z ₆	-3,937	-2,659
7	Brzina rezanja $v = C_7 A^{x_7} g^{y_7} T^{m_7}$	C ₇	163,000	88,929
		x ₇	-0,01442	-0,08825
		y ₇	0,39641	0,31595
		m ₇	-0,254	-0,376

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- određivanje zavisnosti za pojedine izlazne parametre rezanja, na osnovu ulaznih veličina, vrlo je pogodno za analizu njihovih međusobnih zavisnosti,
- osnovni matematički modeli, koji definišu izlazne parametre na osnovu ulaznih, zadovoljavaju u pogledu adekvatnosti i tačnosti [4],
- eksperimenti ukazuju da eksponenti x_7 i y_7 , u izrazu za brzinu rezanja (38), na osnovu ustaljenih vrednosti za termonapon U^* (36) daju visok stepen tačnosti [4],
- izrazi za izlazne parametre, koji sadrže ulazne veličine, obzirom na strukturu, omogućuju njihovo kombinovanje, iz kojih nastaju nove zavisnosti, proste i slične po strukturi kao i one iz kojih su nastale, a sadrže kombinovano ulazne i izlazne veličine [2, 3, 4, 5, 6],
- posredno izvedeni izrazi pružaju nove mogućnosti primene, jer se dobijaju nove zavisnosti koje mogu biti vrlo korisne.

LITERATURA

- [1] Opitz, H., *Moderne productionstechnik, Stand und tendenzen, 3. auflage, Verlag W. Girardet, Essen, 1970.*
- [2] Sekulić, S., *Glavni otpor rezanja u funkciji preseka, vitkosti i faktora sabijanja strugotine, Zbornik radova stručnog seminara BIAM'76, Zagreb, 1976.*

- [3] Sekulić, S., *Glavni otpor u funkciji preseka, vitkosti i termonapona pri obradi na strugu*, Zbornik radova MMA³76, Novi Sad, 1976.
- [4] Sekulić, S., *Identifikacija primarnih parametara obrade na strugu na osnovu plastične deformacije i termonapona rezanja*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1977.
- [5] Sekulić, S., *Postojanost alata u funkciji preseka, vitkosti i faktora sabijanja strugotine*, Zbornik radova stručnog seminara BIAM³78, Zagreb, 1978.
- [6] Sekulić, S., *Odredjivanje termonapona u zavisnosti od preseka, vitkosti i faktora sabijanja strugotine pri obradi na strugu*, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 11 (u štampi).
- [7] Vukelja, D., *Eksperimentalna termodinamika rezanja*, IAMA, Beograd, 1970.
- [8] Vukelja, D., Šolaja, V., *Utvrđivanje obradljivosti materijala pomoću temperaturske metode*, Zbornik saopštenja VII savetovanja proizvodnog mašinstva, Novi Sad, 1971.
- [9] Vukelja, D., Arsovski, S., *Neki rezultati ispitivanja presvučenih tvrdih metala preduzeća "Sintal"*, Zbornik radova MMA³76, Novi Sad, 1976.

S. Sekulić

IDENTIFICATION OF PRIMARY PARAMETERS IN MACHINING OPERATION
BY INPUT AND OUTPUT VALUES OF PROCESS

In the paper is given the application of the approach proposed above on the determination of the mutual dependence of the input and output parameters when investigate the influence of the cutting parameters of the turning operations on the output cutting parameters (the components of cutting forces, chip compression factor, thermal voltage, tool life and cutting speed). The mathematical models are also supplied with the numerical results that are obtained on the experiment. As a conclusion there are given some characteristic of the formulas and the possibilities of their usage.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

С.Трајковски *)

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ОБРАБОТЛИВОСТА СО РЕЖЕЊЕ ПО ПРОМЕНАТА НА ИНТЕНЗИТЕТОТ НА ИЗЛИЖУВАЊЕТО НА РЕЗНИОТ АЛАТ

1. УВОД

За определување на обработливоста со режење на металите, според дозволената резна брзина (V_T) сврзана за трајноста на резниот алат (T) покрај класичниот метод се користат и низа скратени методи, помеѓу кој се најпознати:

- Методот на челно стружење
- Методот на конусно стружење
- Методот на цилиндрично стружење со променлива резна брзина.

Скратените методи, во споредба со класичниот овозможуваат, побрзо и повтимо определување на обработливоста, но се одликуваат со значително помала сигурност во добивените резултати.

Методот на челно стружење е прост и T - V -зависноста, може да се добие за релативно кусо време. Методот може да се примени и во погонски услови т.е. не е потребен струг со континуелна промена на вртежите каков што е случај при класичниот метод. Меѓутоа овој метод има и низа недостатоци, меѓу кој се најважни:

- обработката се врши до полното затапување на резниот алат,
- обработката со променлива резна брзина, суштински се разликува

*) Инж.Стрезо Трајковски,редовен професор на Машинскиот факултет во Скопје и раководител на Институтот за производно машинство

од обработката со континуелна резна брзина, па споредувањето на обработливоста добивена по овој метод со класичниот не е адекватна,

- за испитување се потребни узорци на материјал со дијаметар поголем од 350 мм, при што можат да се јават и значителни разлики во механичките својства на материјалот во радијален правец.

Методот на конусно стружење е релативно брз метод но бара подготовка на конусно парче и употреба на копирен струг или специјален струг за остварување на автоматски помест по конусна површина. Како и претходниот метод определувањето на обработливоста може да се врши само со предмети со релативно голем дијаметар и обработка се врши со континуелно променлива резна брзина.

Методот на цилиндрично стружење со променлива резна брзина може да се примени само во лабораториски услови, бидејќи треба да се поседува струг со континуелна промена на вртежите и посебен уред за прогресивна промена на вртежите со изминатиот пат на резниот алат.

2. СУШТИНА НА МЕТОДОТ ЗА ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА ОБРАБОТЛИВОСТА ПО ПРОМЕНАТА НА ИНТЕНЗИТЕТОТ НА ИЗЛИЖУВАЊЕТО НА РЕЗНИОТ АЛАТ

Овој метод е предложен од Кондратов /1/, за скратено определување на обработливоста при високобрзинска обработка со стружење.

При обработката со високи резни брзини, промената на интензитетот на излижувањето не се многу разликува од интензитетот на почетното излижување, па може да се земе дека интензитетот на излижувањето за определен режим на обработка е константен и не зависи од големината на појасот на излижувањето по задната површина (се до заталувањето на ножот).

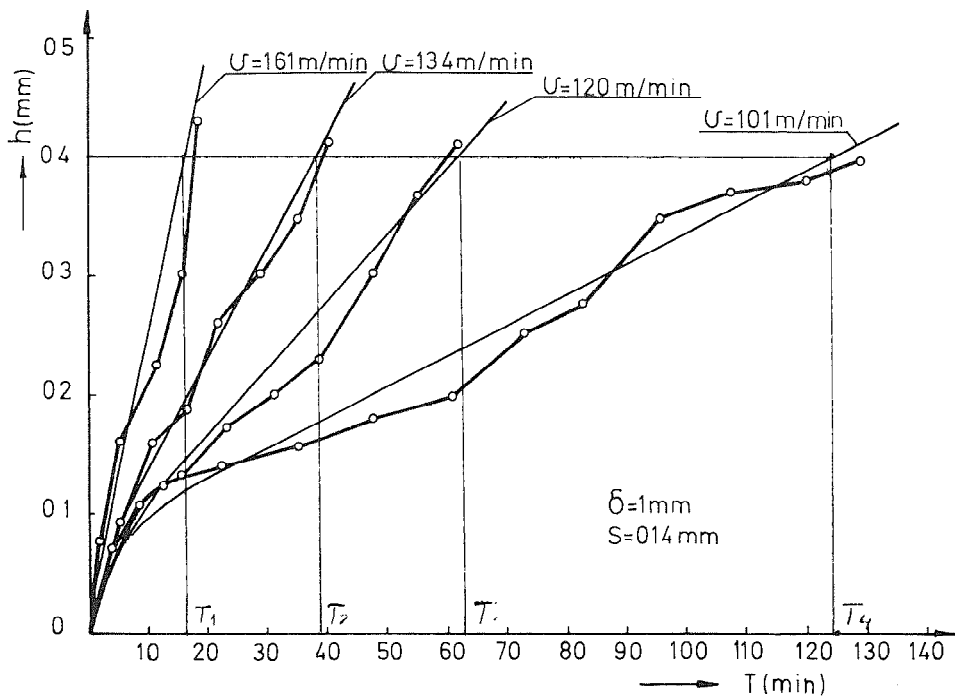
Според авторот на овој труд, овој метод може да се примени и за определување на обработливоста со нормални режими (вообичаена резна брзина) а и за повеќе различни видови на обработка, ако се применат извесни ограничувања, т.е. ако при анализата се земе во предвид само делот на периодот на режењето каде што практички имаме константен интензитет на излижувањето. Овака определената обработливост е поточна и при високобрзинското режење.

Ако се анализираат кривите на зависноста на излижувањето на резниот алат од ТМ по задната површина на сечилото, којшто се добиваат при класичниот метод (сл.1) можеме да уочиме дека по почетното излижување на сечилото, па се до почетокот на критичното излижување (по кое

што брзо настапува тотално затапување), интензитетот на излижувањето (I), може да се земе за константен т.е.

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta T} = \text{const.} \quad (1)$$

При класичниот метод за усвоениот критериум на затапување на се-

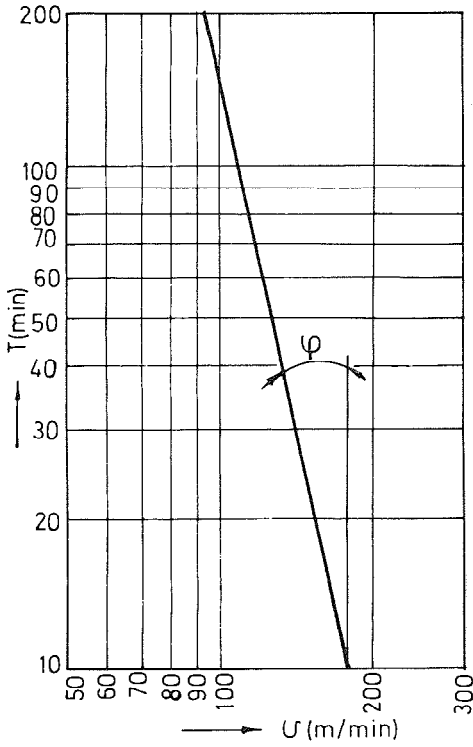


Сл.1

чилото (h_p) од кривите $h-T$ (сл.1) се определуваат соодветните трајности (T_1, T_2, \dots, T_n) со кој што се црта $T-V$ -зависноста во логаритамски координати (сл.2) од каде што се добива Гајлоровата равенка

$$T^{tg\varphi} \cdot v = C \quad \text{или} \quad T^m \cdot v = C \quad (2)$$

Додека при класичниот метод за добивање на $T-V$ -зависноста треба да се работи до определено гранично затапување на најмалку онолку сечила (или преострувања), со колку резни брзини се експериментира, при овој метод потребно е само едно сечило без преострување, со кое што се симнуваат повеќе слоеви со различни резни брзини (сл.3) се додека не се добие определено излижување (h_p) усвоено како критериум за затапување,



Сл. 2

Бидејќи интензитетот на излижувањето се менува со промената на резната брзина, дијаграмот на промената на излижувањето со времето на обработката ($h-T$) има изглед како на сл. 4. Интензитетот на излижувањето при определена резна брзина според равенката (1) и сл.4 изнесува

$$I_n = \frac{\Delta h_n}{T_n} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta h}{T} \quad (3)$$

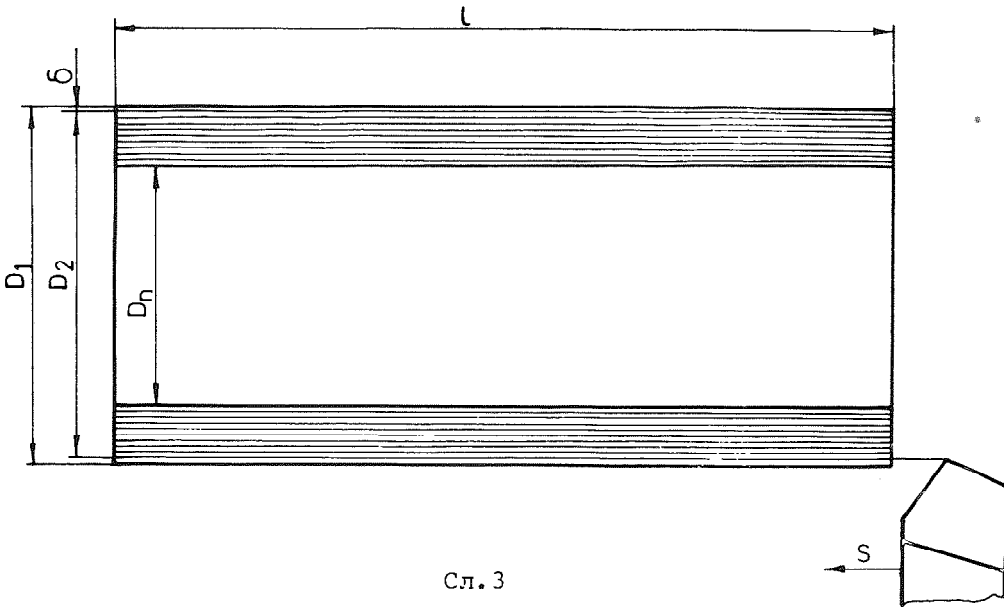
односно

$$I_1 = \frac{\Delta h_1}{T_1} = \frac{h_1 - h_0}{T_1}; \quad I_2 = \frac{h_2 - h_1}{T_2};$$

$$I_3 = \frac{h_3 - h_2}{T_3}; \quad I_4 = \frac{h_4 - h_3}{T_4};$$

Ако се нацрта дијаграмот за промената на интензитетот на излижувањето од резната брзина во логаритамски координати, се добива права линија наклонета под аголот φ_1 кон орди-

$$I_0 = \frac{h_0}{T_0} \neq \text{const.}$$



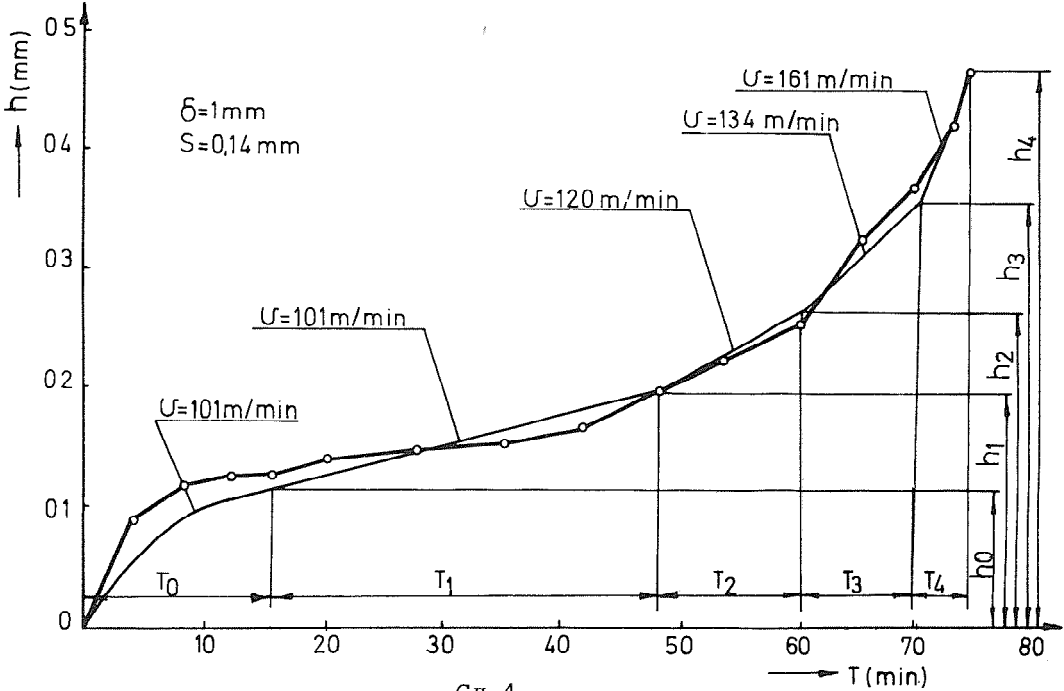
Сл. 3

II - 5

натата (сл.5) која што може да се изрази со равенката

$$I = C_1 \cdot v^{ctg\varphi_1} = C_1 \cdot v^z \quad \text{или} \quad I^m = C_1 v \quad (4)$$

каде што е $m_1 = \frac{1}{z} = tg\varphi_1$



Сл. 4

Со замена на вредноста за T од равенката (3) во равенката (2) се добива:

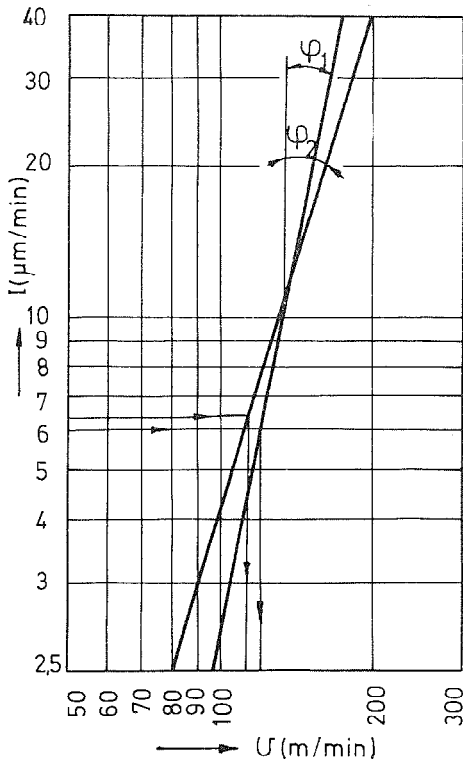
$$\left(\frac{\Delta h}{I}\right)^m \cdot v = C \quad \text{или} \quad I^m = C' \cdot v \quad (5)$$

каде што е $C' = \frac{\Delta h}{C}$.

Равенката 4 и 5 се разликуваат само по константата, а нивните експоненти се исти т.е. $m_1 = m$ односно $tg\varphi_1 = tg\varphi$.

Ако се нацрта дијаграмот на сл. 4 врз база на одсечките од дијаграмот на сл. 1 за определени временски интервали, каде што е $I = const$, а врз база на дијаграмот на сл. 4 нацрта дијаграмот $I-V$ во логаритамски координати (сл.5) а потоа врз база на дијаграмот на сл.1 и дијаграмот $T - v$ во логаритамски координати (сл.2), со мерење може да се утврди дека се φ_1 (сл.5) и φ (сл.2) исти, што практично ја потврдува горната ана-

лиза.



Сл.5

На овој начин експонентот m во Тајлоровата равенка, може да се определи од дијаграмот I-V (сл.5) кој што се црта врз база на мерењето на интензитетот на излижувањето при изведувањето на експериментите за обработливост при работа само со едно сечило

$$m = \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (6)$$

Константата C во Тајлоровата равенка се определува од равенката:

$$C = V_e \cdot T^{\operatorname{tg} \varphi_1} = V_e \cdot T^m \quad (7)$$

каде што е:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n = \sum_1^n T_i \quad (8)$$

сума од времињата на режењето со различни резни брзини, при што времето на почетното режење (T_0) не се зема во предвид.

Еквивалентната резна брзина V_e се определува од дијаграмот I-V (сл.5) за еквивалентниот интензитет на излижувањето I_e

$$I_e = \frac{\sum \Delta h}{\sum T_i} = \frac{h_p - h_0}{\sum T_i} \quad (9)$$

каде што се h_p - големина на појасот на излижувањето на крајот на експериментите, а h_0 - почетното излижување, а $\sum T_i$ - збир на времињата на режењето без времето на почетното излижување (T_0). Цртањето на правите на сл.2 и сл.5 се врши со помош на методот на најмали квадрати.

За да се добијат релативно точни резултати, според искуството на авторот, должината на режењето " l " треба да се определи така што да се добие прираст на излижувањето $\Delta h \geq 0,1 \text{ mm}$. Почетното излижува-

не треба да биде $h_o \geq 0,1$ мм за фина обработка а $h_o \geq 0,15$ за груба обработка и обработката да се врши до $h_p = 0,4 - 0,6$ мм за фина и $h_p = 0,8 - 1,0$ мм за груба обработка.

До колку при симнувањето на еден слој не се добие доволен прираст на излижувањето, тогаш при испитувањето во погонски услови треба да се симне втор, трет итн. слој со ист број на вртежите. Ова може да се случи при обработка со релативно ниски резни брзини на релативно лесни обработливи материјали. При ова при симнувањето на секој слој имаме различни резни брзини. За да се намали грешката од намалувањето на резната брзина, треба да се изврши извесна корекција во периодот на режењето (T_i) т.е. периодот на режењето што се зема во равенката (8) треба соодветно да се намали со множење со корекциониот фактор K_{vi} каде што е

$$T_i = T_{i1} + T_{i2} + T_{i3} + \dots + T_{ip} \quad (9)$$

$$а \quad T_{i2} = T_{i1} \cdot K_{v1}; \quad T_{i3} = T_{i2} \cdot K_{v2}, \dots, T_{ip} = T_{i(p-1)} \cdot K_{v(p-1)} \quad (10)$$

каде што се T_{i1} , време на симнувањето на првиот слој, T_{i2} - вториот итн.

Корекциониот фактор K_v се определува од равенката

$$K_{v1} = \left(\frac{V_{i1}}{V_{i2}} \right)^{1/m} = \left(\frac{D_{i1}}{D_{ip}} \right)^{1/m}$$

или

$$K_{vp} = \left(\frac{V_{i1}}{V_{ip}} \right)^{1/m} = \left(\frac{D_{i1}}{D_{ip}} \right)^{1/m} \quad (11)$$

каде се: D_{i1} и D_{ip} - дијаметрите на првиот и p -тиот слој што се симнуваат со ист број на вртежи n_i ($D_{i1} > D_{ip}$).

На пример: Ако со определен број на вртежи треба да се симнат два слоја, за да се добие прираст на излижувањето $\Delta h = 0,1$ мм тогаш периодот на режењето T_i изнесува:

$$T_i = T_{i1} + T_{i2}; \quad T_{i1} = \frac{t}{s \cdot n}, \quad T_{i2} = K_{v1} \cdot \frac{t}{s \cdot n}$$

$$K_{v1} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^{1/m}$$

Бидејќи експонентот "m" се уште не е познат, за обработка со сечила од тврд метал тој може да се земе приближно 0,2.

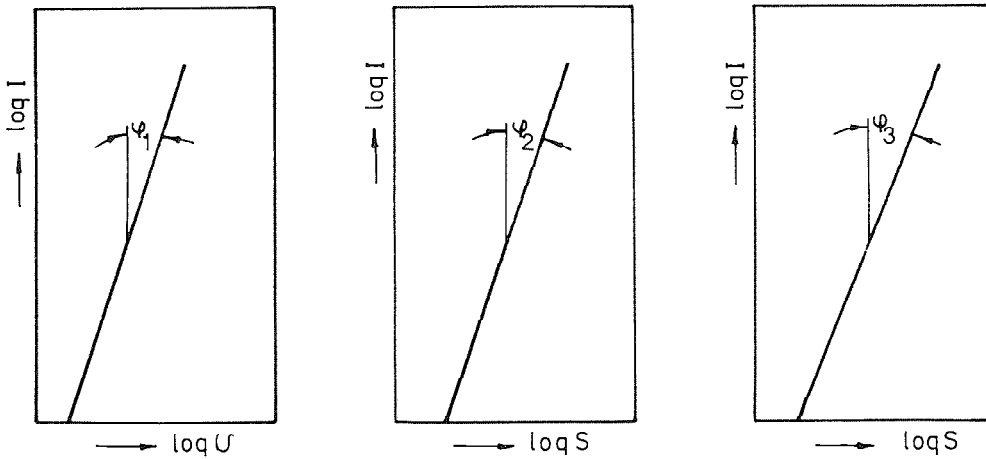
По овој метод може да се определи главно обработливоста со режење со сечила од ТМ или керамика, додека за обработка со алати од брзорезочен челик не е доволно сигурен. Испитувањата можат да се вршат и во погонски услови т.е. не е потребен струг со континуелна промена на вртежите.

Овој метод може да се примени и за определување на проширената Тајлорова равенка

$$v = \frac{C}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot \delta^{x_v}} \quad (12)$$

ако се извршат повеќе експерименти при различни услови и определи зависноста: $I = f(\delta)$, при $v = \text{const}$ и $s = \text{const}$.

$$\begin{aligned} I &= f(v) \quad \text{при} \quad S = \text{const.} \quad \text{и} \quad \delta = \text{const.} \\ I &= f(s) \quad \text{при} \quad U = \text{const.} \quad \text{и} \quad \delta = \text{const.} \\ I &= f(\delta) \quad \text{при} \quad V = \text{const.} \quad \text{и} \quad \delta = \text{const.} \end{aligned}$$



Сл. 6

при што се цртаат дијаграмите I-V, I-S и I-delta во двојно логаритамски координати (сл.6).

Од горните дијаграми може да се определат експонентите на равенката (12):

$$m = \text{tg} \varphi_1; \quad y_v = \text{tg} \varphi_2, \quad x_v = \text{tg} \varphi_3 \quad (13)$$

аналогно на равенката (7) се определуваат и константите

$$C_1 = v_e T^m, \quad C_2 = S_e \cdot T^y v, \quad C_3 = \delta_e \cdot T^x v \quad (14)$$

а потоа и парцијалните равенки:

$$T^m \cdot v = C_1, \quad T^y v \cdot S = C_2, \quad T^x v \cdot \delta = C_3 \quad (15)$$

По познатата постапка како и при класичниот метод се определува и константата "C" од проширената Тајлорова равенка (12).

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За да се провери степенот на точноста на овој метод за определување на обработливоста, вршени се споредбени испитувања со класичниот метод. Обработката е вршена со материјал Č4733-жарен. Димензиите на обработуваното парче $D \times l = 160 \times 400$ mm без корка. Како резачки алат користени се плочки од *TM Sintal SV-08(P-10) SPUN*, со пржач *Promax-A-2611-20 x 20.12N* ($\kappa=75^\circ$, $\gamma=-6^\circ$). Обработката е вршена на експериментален струг VDF со континуална промена на вртежите, без употреба на разладно средство. За покусо експериментирање како критериум за затапување на сечилото земено е излижувањето по задната површина од $h_p \approx 0,4$ mm.

На сл.1 и 2 прикажани се дијаграмите $h-T$ и $T-V$ за различни резни брзини добиени врз база на експериментите. Потоа беше извршена серија на испитувања со истите режими на обработка по овој метод ($S=0,14$, $\delta=1$ mm. и $v_1=101$, $v_2=120$, $v_3=134$ и $v_0=161$ m/min) и добиените се дијаграмите $h-T$ и $T-V$ (сл.4 и 5) од каде што беа определени експонентот m и константата C .

Според сл.2 Тајлоровата равенка определена по класичната постапка изнесува:

$$v = \frac{286}{T^{0,21}}$$

Тајлоровата равенка определена според сл. 2 и 5 ако се истите конструираат врз база на отсечките на правите од сл.1, за да се спореди методот со класичниот, добиена е следнава равенка:

$$v = \frac{282}{T^{0,208}}$$

Разликата помеѓу двете равенки е резултат на грешките во цртањето на

дијаграмите и заокружувањето на резултатите од пресметките.

При определувањето на "m" и "C" од Тајлоровата равенка, по овој метод, ако не се исклучи влијанието на почетното излижување (како што предлага Кондрадов) за условите според сл.4 се добива следнава равенка:

$$v = \frac{463}{T^{0,310}}$$

Со споредување на равенките (1) и (2) може да се види дека теоретската грешка која што се јавува ако се земе и почетното излижување за кое што не е I=конст. изнесува:

$$V_{20} = 32\%, V_{30} = 15\%, V_{40} = 12\%, V_{60} = 7,5\%, V_{120} = 0\%, V_{240} = -6,5\%$$

при што за $T < 120$ се добиваат поголеми резни брзини во однос на класичниот метод, а за $T > 120$ помали.

Според резултатите добиени од експериментите со примената на предложениот метод добиена е следнава равенка

$$v = \frac{260}{T^{0,2}}$$

која што од класичната се разликува:

$$V_{20} = 6,5\%, V_{30} = 6\%, V_{60} = 5,5\%, V_{120} = 5\%, V_{240} = 4\%$$

кое што е во границите на нормалното расејување на резултатите за овој вид експерименти.

4. ЗАКЛУЧОК

Примената на постапката за определување на обработливоста со режење со промената на интензитетот на излижувањето на резниот алат овозможува обработливоста да се определи во кусо време и во погонски услови. Времето за определувањето на обработливоста со примената на овој метод се скусува за 4 - 10 пати во споредба со класичниот.

Поради тоа што интензитетот на абењето при различни резни брзини се следи во покуси временски интервали, во принцип оваа метода во споредба со класичната е понесигурна. Меѓутоа оваа метода овозможува при сериско производство да се определи обработливоста на онаа машина и оној резачки алат со кој што ќе се врши обработката, со што дава поси-гурни резултати од класичниот метод со кој обработливоста е определе-

на во други услови (машина, алат и др.).

Методот може да се примени и за определување на обработливоста и при други видови на обработка (глодање, напречно стружење, одсечување, рендосување и сл.) и во споредба со другите скратени методи е нај-универзален.

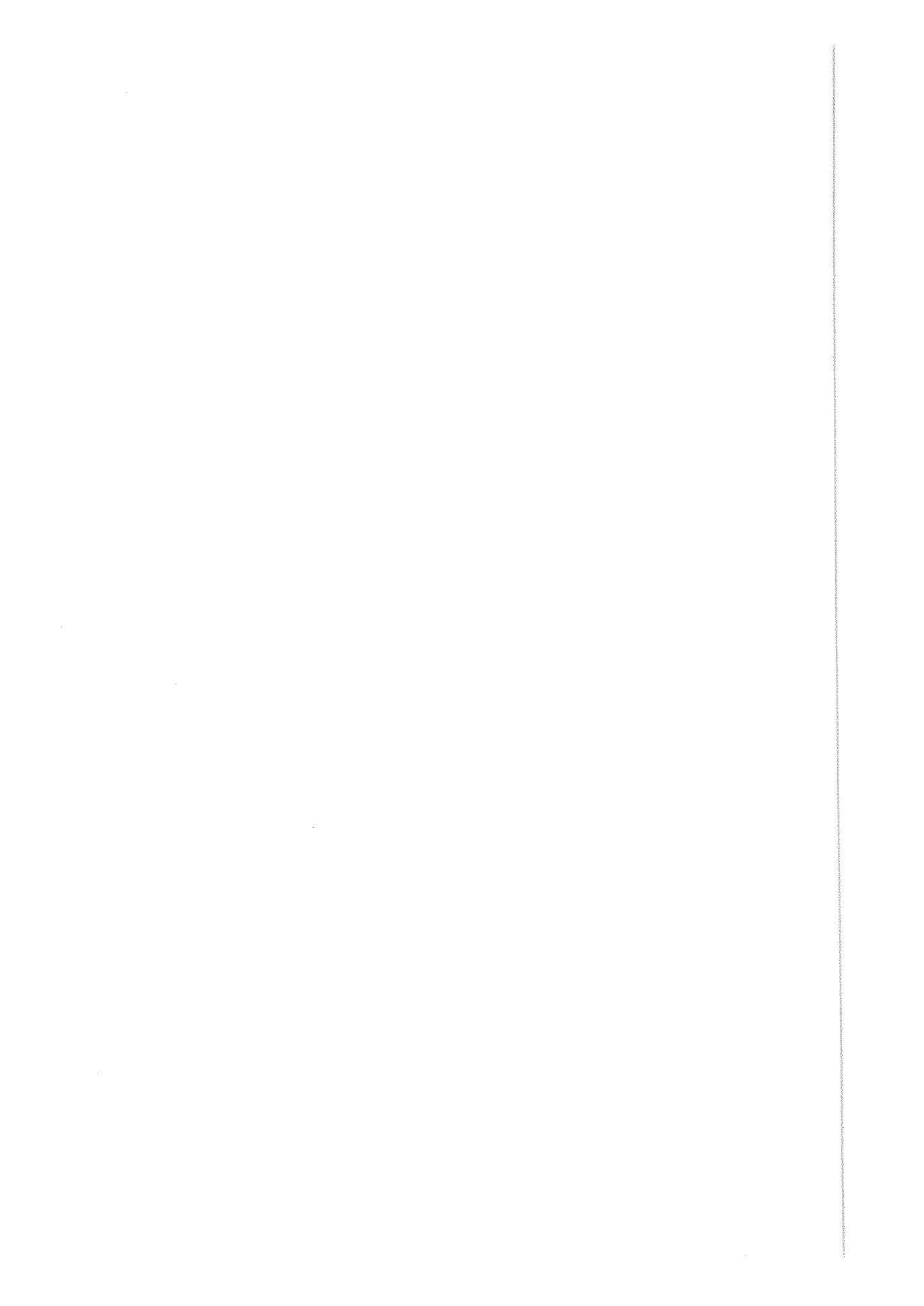
Л И Т Е Р А Т У Р А

- /1/ Кондратов А.С.: Методика експерименталног установленија режимов скоросного точенија в производствених условијох. В.Машиностроенија, бр.4, 1963, с.59-60.
- /2/ Andrej L.Skrawalność metali i metody jej okrešlania, Warszawa, 1962.
- /3/ Šolaja V: Tool life.testing by Facing in a Lathe. Wear Vol.1, p.512, 1955
- /4/ Hegginbotham W.B. and Pandey P.C. A Variable Rate Machining Test Tool. Life Evalaation. Proc.8th Int.MTDR Conference, Manchester, Sept.1967.

S.Trajkovski

DETERMINATION OF MACHINABILITY, ACCORDING TO THE INTENSITY OF FLANK WAR

In this work the outhor is introducing a new method of determination the machininbility of metals, based on the Kondratov's idea. This method allows fast evaluation of the Taylor exponent and constants in a workshop conditions. Farther more a comparative experimental testing is carried out in order to compare both methods (proposed and conventional). The results are showing a great agreement between the two methods.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

P. Leskovar, J. Grum*)

OBRABA ORODJA PRI OBDELAVI AL-ZLITINE ZA AVTOMATE RAZLIČNIH IZVOROV**)

1. Uvod

Moderna tehnologija prinaša v kovinsko predelovalno industrijo vrsto potreb, ki zahtevajo na eni strani večjo organiziranost, na drugi pa sistematično urejene informacijske centre. To so prav gotovo težke in odgovorne naloge, saj so vezane neposredno na povečanje produktivnosti ob zadovoljivi kvaliteti in ceni proizvodov, na razvoj novih proizvodov, strojev, orodij in materialov.

Novi obdelovalni stroji, ki so numerično krmiljeni zahtevajo od strokovnjakov globlje poznavanje materialov in tehnologije. Zahtevajo pa tudi od materialov za obdelavo določene specifične lastnosti, ki naj bodo čim bolj konstantne. To pa zahteva na drugi strani tudi določene spremembe pri proizvodnji materialov in to tako za orodja kakor za obdelovance. Zaradi tega je razumljivo, da so se v vseh naprednih in tehnično razvitih deželah začeli ustanavljati posebni informacijski centri, ki zbirajo podatke o strojih, orodjih, postopkih in materialih. Taki centri imajo na razpolago strokovnjake in računalniško opremo in pripravljajo podatke v obliki, ki jih zahtevajo določeni obdelovalni postopki oziroma sistemi.

Podoben informacijski center je bil ustanovljen pred leti tudi na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani v okviru LAKOS (Laboratorij za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo). V okviru tega centra posamezne raziskovalne skupine sis-

*) Polde Leskovar, dr. mag. ing., izredni prof., Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2
Janez Grum, dr. mag. ing., docent, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Murnikova 2

***) Raziskave opravljene v okviru raziskov. projekta "Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika" v laboratorijih LAKOS in LATEM na Fakulteti za strojništvo.

tematično raziskujejo domače materiale za orodja in obdelovance, pripravljajo klasifikacijske sisteme za stroje, tehnološke postopke, obdelovalne pripomočke, materiale in orodja in jih spravljajo v posebne oblike, ki so primerne za avtomatično obdelavo na računalnikih. Na ta način ustvarjamo lastno banko tehnoloških podatkov, ki tvori osnovo za uspešno uvajanje avtomatizacije in računalniške tehnologije v domačo industrijo.

2. Pregled dosedanjih raziskav o obdelovalnosti aluminijevih zlitin

Aluminij je med lahkimi kovinami prav gotovo najpomembnejši predvsem zaradi nekaterih njegovih izrednih lastnosti; majhne specifične teže, ugodnih mehanskih lastnosti, kemične obstojnosti, toplotne in električne prevodnosti ipd. Aluminij in njegove zlitine se ne glede na sestavo obdelujejo znatno lažje kakor jekla, siva litina, medi in bron. Zaradi relativno majhnega odpora pri odrezavanju jih lahko obdelujemo pri zelo velikih hitrostih rezanja.

Preizkusi o obdelovalnosti kovinskih materialov so pokazali, da so rezultati pri odrezavanju odvisni predvsem od stanja rezalnega roba in od elasto-plastičnih razmer v strižni coni. Elasto-plastična deformacija odrezka je odvisna od geometrije orodja in od razmer, ki so integralnega značaja med strojem, obdelovancem in rezalnim orodjem. Že najmanjša obraba rezalnega roba spreminja rezalne razmere do take mere, da se pojavijo večja odstopanja v kvaliteti površine /1, 2/.

Pogostokrat se poslabšajo razmere na rezalnem robu tudi zaradi nalepkov ali nastavkov, ki se tvorijo zaradi neposrednega delovanja orodja in obdelovanca. V tem primeru prevzame nalepek, ki je nastal na rezalnem robu nalogo samega rezalnega roba. Taki nastavki močno poslabšajo kvaliteto površine. Fundamentalne raziskave pa so tudi pojasnile, da je temperatura na odrezku neodvisna od rezalne hitrosti, dočim pa se lahko bistveno spreminja temperatura nalepka na rezalnem robu.

Pri dosedanjih raziskavah aluminijevih zlitin - predvsem zlitin za avtomate smo raziskovali kvaliteto površine, obliko odrezkov in rezalne sile v odvisnosti od geometrije orodja in pogojev rezanja (hitrosti rezanja, globine in podajanja). Iz vseh raziskav lahko na kratko izluščimo naslednje:

III - 3

- na kvaliteto površine ima največji vpliv podajanje, nato hitrost rezanja in geometrija orodja. Pri geometriji orodja sta najvplivnejši cepilni in nastavni kot. Globina rezanja praktično nima vpliva na kvaliteto površine.
- oblika odrezkov, ki je važna lastnost pri zlitinah za avtomate je odvisna predvsem od hitrosti rezanja, podajanja in geometrije orodja (cepilni kot). Najmanjši vpliv na obliko odrezkov ima globina rezanja, čeprav je tudi ta zaznambe vredna.
- na rezalne sile pa ima največji vpliv globina rezanja, sledi podajanje in geometrija orodja (cepilni kot). Najmanjši vpliv - pogosto celo regresivni ima na rezalne sile hitrost rezanja /1, 2, 4, 5/.
- na rezalne sile in kvaliteto površine ima razen navedenega poseben vpliv še toplotna obdelava, proces staranja, legirni elementi in stopnja plastične preoblikovalnosti.

Aluminijeve zlitine režemo lahko s hitrostmi nad 600 m/min, če uporabljamo orodja iz karbidnih trdin in do 300 m/min pri orodjih iz hitroreznega jekla. Karbidne trdine pa dopuščajo zgornjo hitrost rezanja tudi do 4500 m/min /3/. V splošnem velja pravilo, da režemo mehkejše zlitine z večjimi, trše pa z manjšimi rezalnimi hitrostmi. Obraba orodij iz karbidnih trdin je pri rezanju aluminijevih zlitin zelo majhna ali je pa sploh ni. Obraba se pojavi le pri rezanju nekaterih Al-zlitin, ki so obdelovalne z visokimi hitrostmi. To so predvsem zlitine s silicijem v evtektski matici v najrazličnejših strukturah in zrnatostih od fino dispergirane do velikosti 70 μm . Možno obrabo povzročajo predvsem velika silicijeva kristalna zrna /3/.

Zelo pomembna je pri obdelavi aluminijevih zlitin tudi geometrija rezalnega orodja. Raziskave /4/ so pokazale, da uporabljamo večje cepilne kote pri obdelavi aluminijevih zlitin, kot pri obdelavi železnih zlitin. V splošnem pa velja pravilo, da uporabljamo pri trših zlitinah manjše cepilne in proste kote.

3. Eksperimentalna zasnova

Namen naloge je bil raziskati obrabo aluminijeve zlitine domače proizvodnje z interno oznako D50 različnih surovinskih izvorov in različne toplotne obdelave in naknadne plastične preoblikovalnosti.

Al-D50 HT8 - izvor A

Al-D50 HT8 - izvor B

III - 4

Al-D50 HT3 - normalno

Al-D50 HT3 - deformacija (10 %)

Kemijsko sestavo in mehanske lastnosti posameznih vrst zlitine posredujeja tabeli 1 in 2.

Šarža	Material	% Fe	% Cu	% Si	% Pb	% Bi
Št. 8719	D50-HT8-A	0,27	5,35	0,12	0,47	0,47
Št. 9016	D50-HT8-B	0,23	5,33	0,11	0,44	0,44
Št. 9306	D50-HT3-N	0,24	5,40	0,08	0,45	0,44
Št. 9306	D50-HT3-D	0,24	5,40	0,08	0,45	0,44

Tabela 1 Kemijska sestava

Šarža	Material	σ_M N/mm ²	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	δ %	HB	
Št. 8719	D50-HT8-A	406	316	18,5	112	
Št. 9016	D50-HT8-B	387	303	19,0	107	
Št. 9306	D50-HT3-N	319	269	18,0	90,7	
Št. 9306	D50-HT3-D	335	299	13,7	92,8	

Tabela 2 Mehanske lastnosti

Pri vseh raziskavah smo uporabljali konstantne rezalne pogoje:

hitrost rezanja $v = 300$ m/min

podajanje $s = 0,078$ mm/vrt

globina rezanja $a = 2$ mm

in geometrijo orodja, ki je bila določena iz prejšnjih raziskav:

prosti kot $\alpha = 8^\circ$

cepilni kot $\gamma = 15^\circ$

kot nagiba $\lambda = 0^\circ$

nastavni kot $\kappa = 75^\circ$

III - 5

kot konice $\varepsilon = 90^\circ$

radij konice $r = 0,7 \text{ mm}$

Material za orodje je bilo hitrorezno jeklo BRW2.

Slika 1 kaže eksperimentalni stavek za merjenje kriterijev obdelovalnosti.

4. Rezultati raziskav in analiza

Obdelovalnost kovinskih materialov ocenjujemo z naslednjimi pokazatelji:

- kvaliteto površine
- velikostjo rezalnih sil
- stopnjo obrabe in
- obliko odrezkov

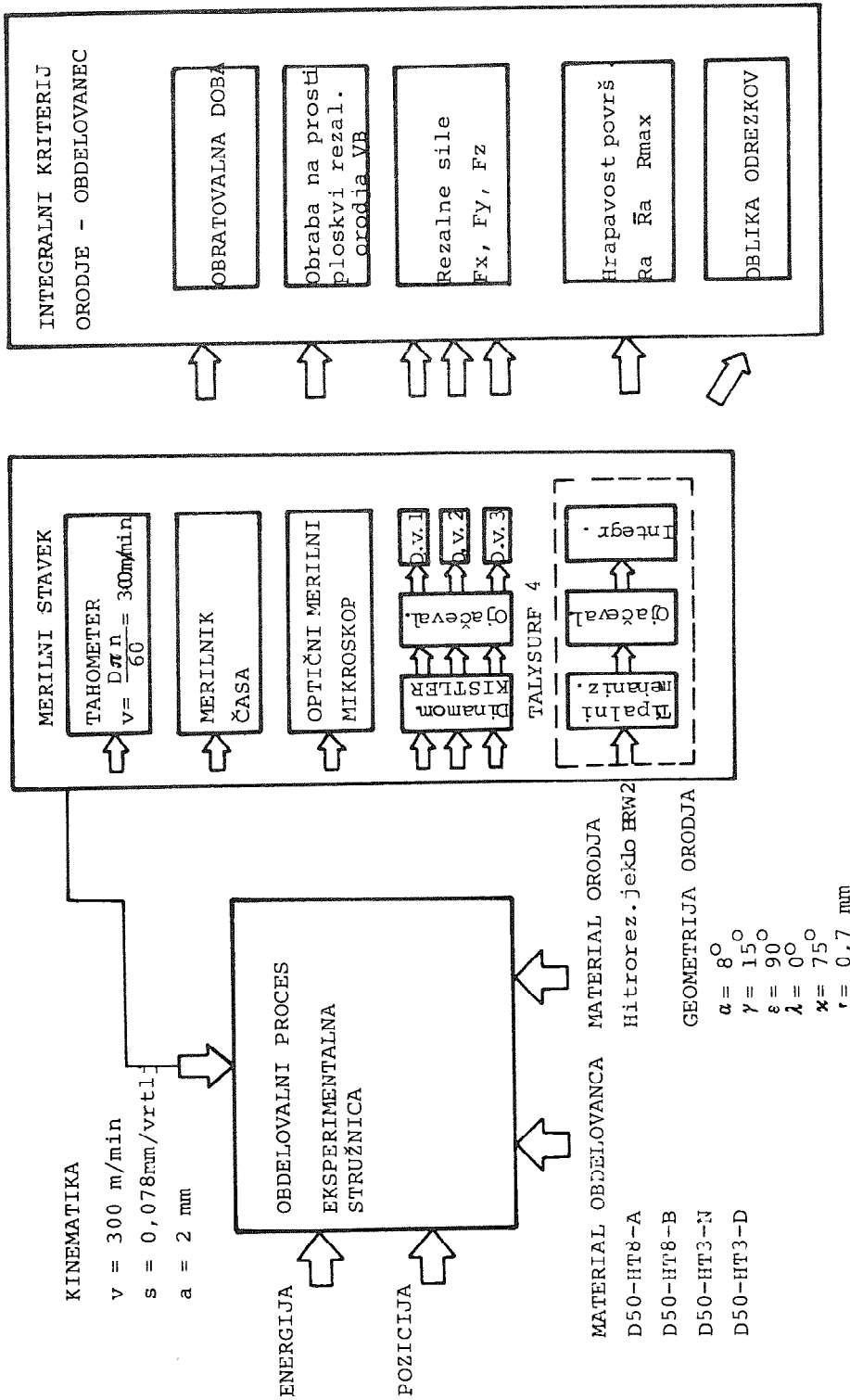
4.1. Kvaliteta površine

Zahteva po kvaliteti površine je vedno večja. Kvaliteta površine je posebno pri zlitinah neželeznih kovin glavni pokazatelj obdelovalnosti. Zaradi tega ima čisto funkcionalen pomen, saj so od nje v veliki meri odvisne mehanske in kemične lastnosti obdelovanca; to so: trdnost, žilavost, koeficient trenja, odpornost proti koroziji ipd.

Na stanje generirane površine obdelovanca vpliva stanje rezalnega robu na nožu. Ta je v začetku oster, med obdelavo pa se obrablja. Kvaliteta površine je odvisna tudi od rezalnih pogojev: hitrosti rezanja, podajanja, globine rezanja in od geometrije orodja, materiala orodja in materiala obdelovanca. Rezalni pogoji pa vplivajo razen na kvaliteto površine še na velikost rezalnih sil, obstojnost orodja in prav tako na obliko odrezkov.

Kvaliteto površine opisujemo s hrapavostjo, ki jo lahko merimo. Slika 2 prinaša odvisnost med povprečno hrapavostjo \bar{R}_a pri različni stopnji obrabe na prosti ploskvi (VB) za materiala D50 HT8-A in D50 HT8-B. Iz slike lahko povzamemo, da dobimo ugodnejše rezultate pri zlitini D50 HT8-B z izredno veliko razliko v hrapavosti pri vseh stopnjah obrabe.

Če analiziramo izmerjene rezultate za vse štiri materiale pri obrabi $VB = 0,0 \text{ mm}$ torej na začetku struženja, dobimo najugodnejše rezultate hrapavosti \bar{R}_a pri HT3-N ($0,83 \mu\text{m}$), sledi HT8-B ($0,89 \mu\text{m}$), HT3-D ($1,07 \mu\text{m}$) in HT8-A ($1,44 \mu\text{m}$). Pri analizi smo ugotovili tudi,



Slika 1 Eksperimentalni stavek za merjenje kriterijev obdelovalnosti

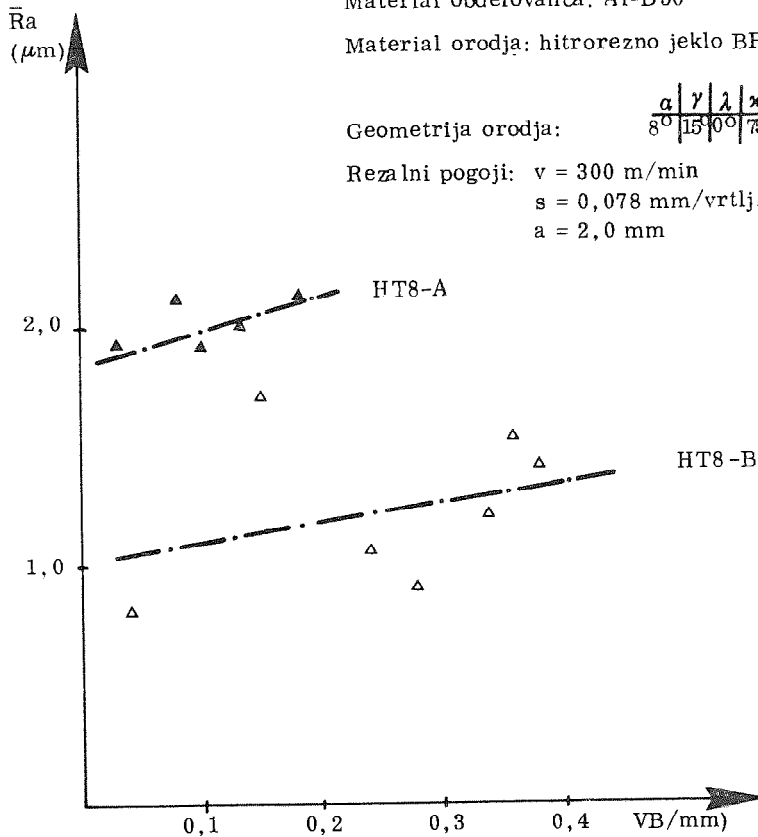
III - 7

Material obdelovanca: Al-D50

Material orodja: hitrorezno jeklo BRW2

Geometrija orodja: $\frac{a}{8^0} \left| \frac{\gamma}{15^0} \right| \left| \frac{\lambda}{0^0} \right| \left| \frac{\kappa}{75^0} \right| \left| \frac{\varepsilon}{90^0} \right| \left| \frac{r}{0,1 \text{ mm}} \right|$

Rezalni pogoji: $v = 300 \text{ m/min}$
 $s = 0,078 \text{ mm/vrtlj.}$
 $a = 2,0 \text{ mm}$



Slika 2 Dejanska in aproksimirana odvisnost srednjega odstopanja profila \bar{R}_a od obrabe na prosti ploskvi VB

da se kvaliteta površine spreminja glede na premer obdelovanca. Pri vseh preizkusih smo dobili boljše rezultate pri večjih, kot pri manjših premerih.

4.2. Rezalne sile

Rezalne sile rezultirajo odpor materiala proti rezanju in predstavljajo osnovo za študijo materiala. Rezalne sile predstavljajo obnem pomemben kriterij obdelovalnosti. Na velikost rezalnih sil vplivajo trdnost in trdota obdelovalnega materiala, velikost in oblika odrezkov, geometrija orodja, mazanje oz. hlajenje ipd. Rezalne sile, ki se pojavljajo pri rezanju jih razstavimo na tri komponente:

- glavna rezalna sila F_z
- podajalna sila F_y
- odrivna sila F_x

Material obdelovanca: Al-D50

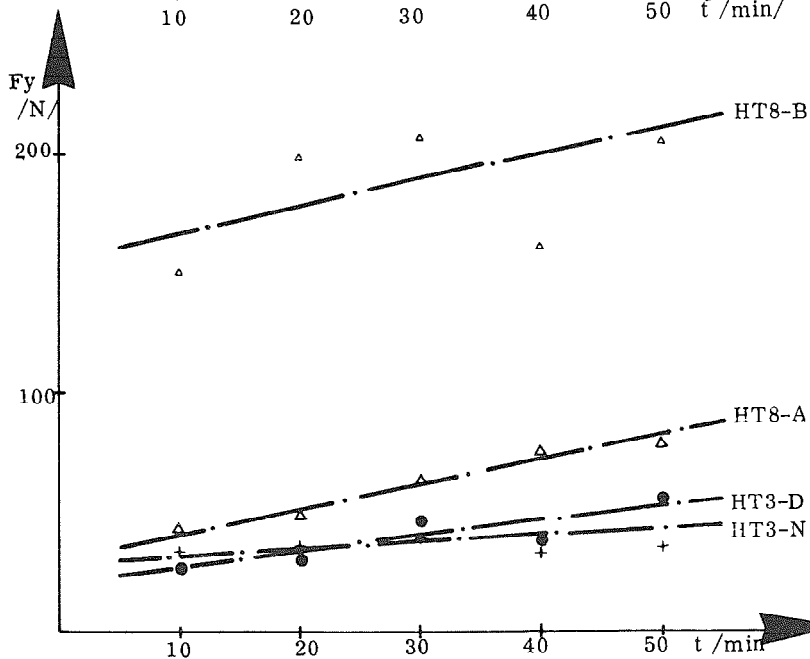
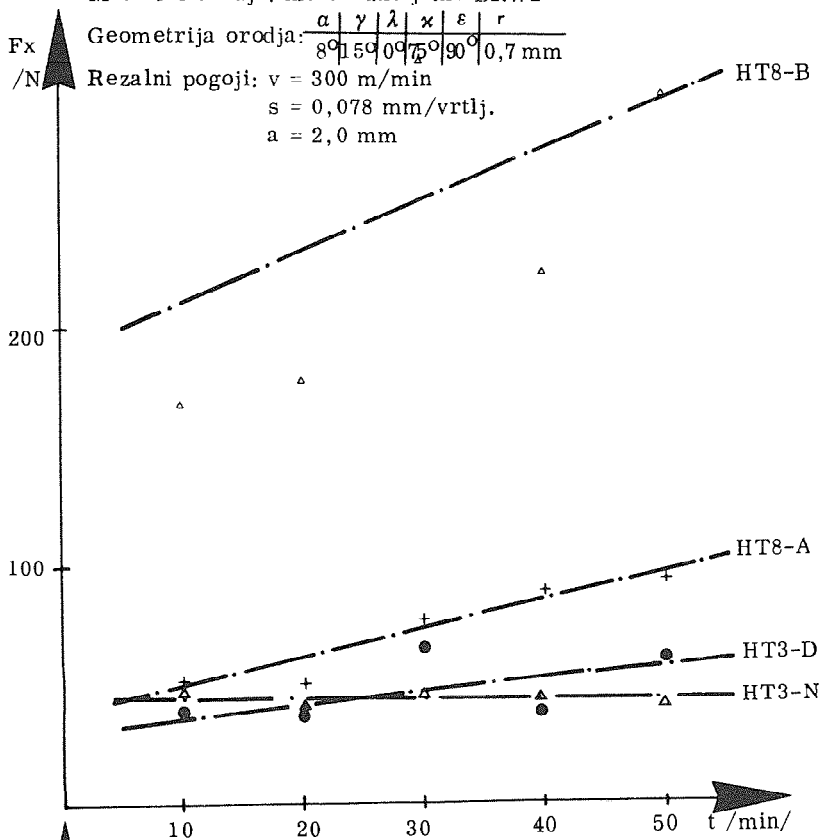
Material orodja: hitrorezno jeklo BRW2

Geometrija orodja: $\frac{\alpha}{8^\circ} \mid \frac{\gamma}{15^\circ} \mid \frac{\lambda}{0^\circ} \mid \frac{\kappa}{75^\circ} \mid \frac{\epsilon}{90^\circ} \mid \frac{r}{0,7 \text{ mm}}$

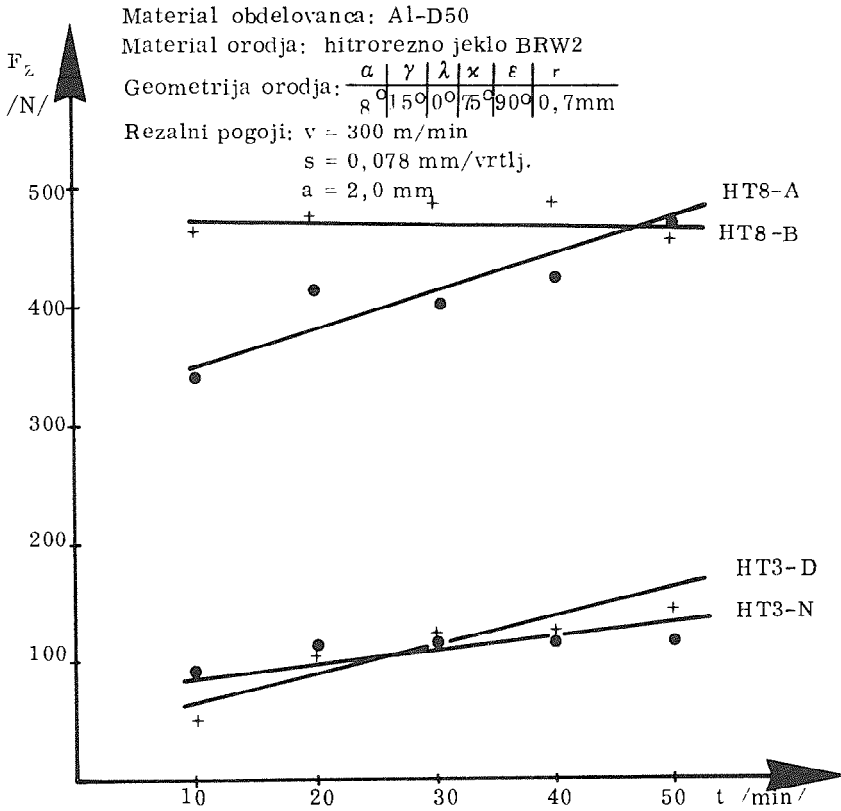
Rezalni pogoji: $v = 300 \text{ m/min}$

$s = 0,078 \text{ mm/vrtlj.}$

$a = 2,0 \text{ mm}$



Slika 3.1 in 3.2 Spreminjanje odrivne sile F_x in podajalne sile F_y od časa t



Slika 3.3 Spreminjanje glavne rezalne sile F_z od časa t

Slike 3.1, 3.2 in 3.3 kažejo rezultate raziskav rezalnih sil F_x , F_y in F_z v odvisnosti od časa struženja. Na osnovi analize rezultatov raziskav lahko ugotovimo, da so velikosti posameznih komponent pri vseh materialih v pričakovanem razmerju. Iz slik izhaja tudi zelo nazorno, da so velike razlike pri zlitinah HT8-A in HT8-B, dočim so razlike pri HT3-N in HT3-D le minimalne in se rezultati le-teh pogosto prekrivajo. Prav tako pa kažejo slike tudi zelo nazorno, da so največje sile F_x in F_y pri zlitinah HT8-B in HT8-A, znatno manjše pa pri ostalih zlitinah. Glavna rezalna sila F_z je po iznosu največja, vendar pri zlitinah HT3-D in HT3-N znatno manjša kakor pri ostalih dveh zlitinah HT8-A in HT8-B. Najbolj strmo narašča rezalna sila F_x in sicer pri zli-

tini HT8-B. Pri tej zlitini smo opazili pogosto nastajanje nalepka na rezalnem robu orodja. Iz raziskav smo lahko posneli, da ima nastavek na rezalnem robu velik vpliv na rezalne sile - predvsem na rezalno silo F_x . Nalepek, ki se je pojavljal pri zlitini HT8-B je povzročal tudi veliko trosenje rezultatov.

4.3. Obraba na prosti ploskvi

Orodja so med obdelovalnim procesom obremenjena z rezalnimi silami. Le-te pa povzročajo elasto-plastično deformacijo materiala v strižni coni in s tem nastajanje odrezka. Pogosto jemljemo kot merilo obstojnosti orodja obrabo na prosti ploskvi VB, ki se giblje v odvisnosti od zahtevane obdelave v naslednjem območju:

VB = 0,4 ... 0,5 mm za grobo obdelavo

VB = 0,1 ... 0,2 mm za fino obdelavo

Kriterij obrabljenega pasu na prosti ploskvi VB v mm pove kdaj je potrebno orodje nastrižiti oziroma zamenjati.

Na obrabo orodja in s tem na njegovo obstojnost vplivajo predvsem pogoji rezanja ter geometrija orodja in material orodja in obdelovanca. Iz opravljenih raziskav lahko ugotovimo, da se pojavlja občutna obraba samo pri materialih HT8-A in HT8-B, pri ostalih dveh materialih po enakem času struženja skoraj nismo zaznamovali obrabe na prosti ploskvi. Pri materialu HT8-B dobimo obrabo na prosti ploskvi dvakrat večjo pri znatno manjšem času rezanja t , kakor pri materialu HT8-A. To potrjuje strmo naraščanje krivulje obrabe (slika 4).

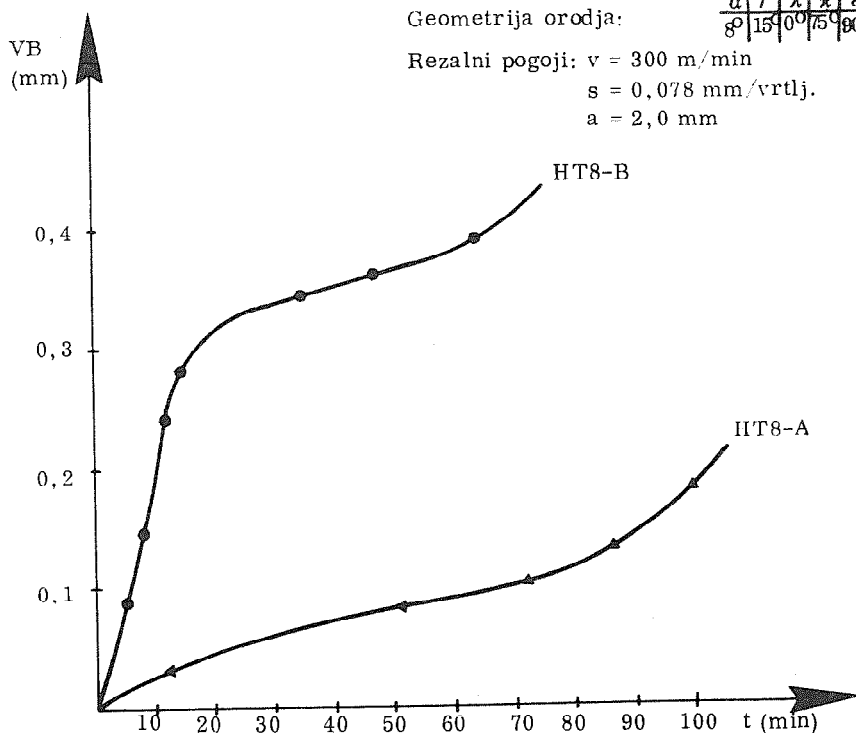
4.4 Oblika odrezkov

Oblika odrezkov je kot kriterij obdelovalnosti najlažje določljiv, je pa zelo pomemben posebno pri zlitinah za avtomate. Odrezki morajo biti kratki in lomljivi. Raziskave so pokazale, da dobimo pri aluminijevih zlitinah boljše odrezke pri manjših rezalnih hitrostih in velikih podajanjih, ali pa pri velikih hitrostih in velikih podajanjih. Zelene odrezke dobimo, če dodajamo aluminiju mehke kovine, ki so v njem delno topljive samo v tekočem stanju, v trdem stanju pa ležijo njihova kristalna zrna vložena v osnovni material. Pri odrezavanju ti vložki povzročajo lažjo lomljivost odrezka in s tem boljšo kvaliteto površine obdelovanca.

Iz analize oblike odrezkov, (glej sl. 5 in tabelo 3) lahko ugotovimo, da ne dobimo v vseh primerih primernih odrezkov za delo na av-

Material obdelovanca: Al-D50

Material orodja: hitrorezno jeklo BRW2

Geometrija orodja: $\frac{\alpha}{8^\circ} \left| \frac{\gamma}{15^\circ} \right| \left| \frac{\lambda}{0^\circ} \right| \left| \frac{\kappa}{75^\circ} \right| \left| \frac{\epsilon}{90^\circ} \right| \left| \frac{r}{0,7 \text{ mm}} \right|$ Rezalni pogoji: $v = 300 \text{ m/min}$ $s = 0,078 \text{ mm/vrtlj.}$ $a = 2,0 \text{ mm}$ 

Slika 4 Časovno spreminjanje obrabe na prosti ploskvi VB

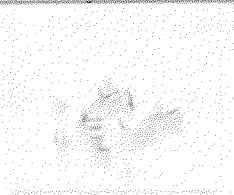
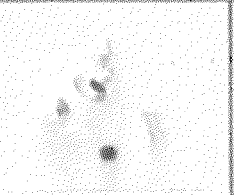
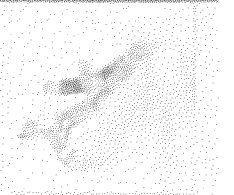
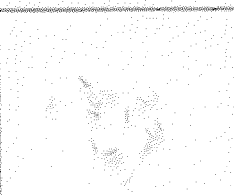
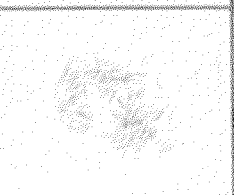
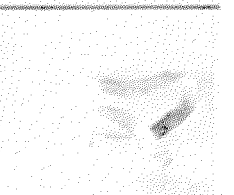
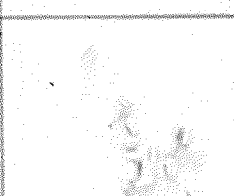
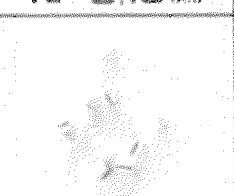
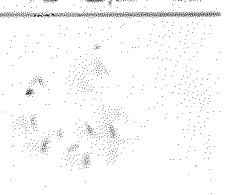
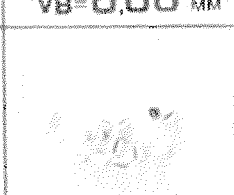

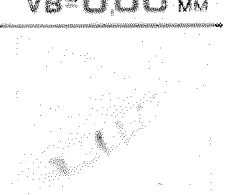
tomatih. Najugodnejše odrezke dobimo pri zlitini HT3-N. Na drugem mestu so odrezki pri zlitini HT8-A, sledi HT3-D in najslabše HT8-B.

5. Sklepi

Iz opravljenih raziskav in analize rezultatov lahko sklenemo naslednje:

- za obdelavo na avtomatih sta najbolj primerni zlitini HT3-N in HT8-A.
- zlitina HT3-N kaže najugodnejše rezultate z ozirom na kvaliteto površine in obrabo na prosti ploskvi. Tesno ji sledi v vseh ozirih zlitina HT3-D, kar je tudi razumljivo, saj se ti dve zlitini razlikujeta le po plastičnem preoblikovanju po toplotni obdelavi.
- zlitini HT8-A in HT8-B sta zelo podobni po sestavi in popolnoma enaki po toplotni obdelavi. Vendar se obnašata pri obdelavi s struženjem zelo različno. Pri vseh stopnjah obrabe izkazuje zlitina HT8-B ugodnejšo kvaliteto površine, dočim je z ozirom na stopnjo obrabe in ve-

III - 12

MATERIAL OBDELOVANCA	OBLIKE ODREZKOV		
HT8-A	 VB=0,00 MM	 VB=0,08 MM	 VB=0,10 MM
HT8-B	 VB=0,00 MM	 VB=0,15 MM	 VB=0,24 MM
HT3-N	 VB=0,00 MM	 VB=0,00 MM	 VB=0,00 MM
HT3-D	 VB=0,00 MM	 VB=0,00 MM	 VB=0,00 MM

Slika 5 Oblike odrezkov - časovno spreminjanje oblike odrezkov, komponent rezalnih sil F_x , F_y , F_z , obrabe na prosti ploskvi VB pri različnih kvalitetaht aluminijevih zlitin

Material obdelov.	t (min)	VB (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	t (min)	VB (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	t (min)	VB (mm)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)
HT8-A	1,25	0,00	43	35	286	56,26	0,08	132	100	446	80,25	0,10	149	113	451
HT8-B	1,56	0,00	78	59	289	7,18	0,15	139	150	458	12,01	0,24	188	132	459
HT3-N	1,15	0,00	32	21	94	15,18	0,00	38	31	128	49,18	0,00	54	48	106
HT3-D	1,15	0,00	27	16	104	26,08	0,00	58	47	114	42,30	0,00	71	61	113

Tabela 3 Podatki, ki pojasnjujejo sliko 5 o oblikah odrezkov

likost rezalnih sil znatno ugodnejša zlitina HT8-A.

- raziskave kažejo tudi vplive toplotne obdelave na kvaliteto površine, rezalne sile in stopnjo obrabe, saj so v vseh primerih ugodnejši rezultati pri zlitinah HT3.
- velike razlike, ki nastopajo pri zlitinah HT8-A in HT8-B bilo potrebno posebej raziskati bolj iz metalurškega vidika, saj so razlike v sestavi zelo majhne. Rezultati navajajo, da je verjetno nastala tolikšna razlika pri samem pridobivanju.

Literatura

1. Leskovar, P.: Eksperimentalne raziskave odrezovalnosti neželeznih zlitin za avtomate, Stroj.V. 1971, 4-5, Ljubljana
2. Leskovar, P.: Vpliv toplotne obdelave na obdelovalnost z odrezavanjem pri aluminijevih zlitinah za avtomate, Rudarsko-metalurški zbornik 1974/75, št. 2/3, Ljubljana
3. Trent, E.M.: Metal Cutting, Butterworths, 1977
4. Leskovar, P.: Kvaliteta površine pri obdelavi aluminijevih zlitin, V. svetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac 1969
5. Leskovar, P. in ostali: Prispevek k raziskavam o obdelovalnosti jekla, aluminijske in nodularne litine, IV. svetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo 1968
6. Hennermann, A.; Dix, N.: Kleine zerspanungslehre, Carl Hanser Verlag, München 1967
7. Magiljnjij, N.J.; Kosiljev, U.N.: Stanočnjiku-mašinstvo (spravočnoe posobije), Donbas 1977
8. Berichte zum Symposium der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, Bad Nauheim, 1973

IZVLEČEK

Prispevek posreduje rezultate raziskav obrabe orodja iz hitroreznega jekla pri obdelavi aluminijeve zlitine za avtomate v različnem stanju oziroma različnih šarž in različnih toplotnih obdelav. Razen obrabe prinaša prispevek tudi rezultate raziskav kvalitete površine v odvisnosti od stopnje obrabe in velikosti rezalnih sil. Iz opravljenih raziskav je razvidno, da lahko na rezultate obdelovalnosti odločujoče vplivajo izvori surovin in metalurški del priprave zlitine. Razen tega pa ima na obdelovalnost t.j. na kvaliteto površine, rezalne sile in stopnjo obrabe močan vpliv tudi toplotna obdelava predvsem staranje.

SUMMARY

This contribution presents the results of the research work on the wear of high speed steel tools at machining of aluminium alloys for free cutting in different state of condition, at different charges and different heat treatment. Besides wear this contribution brings also results of the surface quality investigation in dependence from degree of wear and the magnitude of the cutting forces. Out of this investigation it became evident that the raw material sources and the metallurgical part of the preparation of the alloy exert a deciding influence on machinability results. In addition machinability, i.e. surface quality, cutting forces and the degree of wear are very much influenced by heat treatment especially by aging.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

S. Zahar*

PRORAČUN PRESEKA STRUGOTINE PRI ODVALNOM GLODANJU U STVARNIM RAVNIMA REZANJA**

1. Uvod

Ozubljenje venca cilindričnih zupčanika sa pravim ili kosim zubima se u serijskoj proizvodnji vrši skoro isključivo metodama relativnog kotrljanja, pri čemu se usled veće ekonomičnosti uglavnom koristi postupak odvalnog glodanja. Nagli razvoj automobilske industrije u periodu posle II svetskog rata intenzivirao je i razvoj proizvodne opreme i alata za ozubljenje, ali još uvek stoji činjenica da se pri operacijama ozubljenja javljaju najviši troškovi obrade.

Nasuprot osnovnih postupaka obrade metala skidanjem strugotine - struganja i glodanja - gde su dosadašnja intenzivna istraživanja u mnogim slučajevima omogućila primenu optimalnih uslova obrade, kod odvalnog glodanja je ove ciljeve još uvek teško dostići. To je uslovljeno pre svega činjenicom da pri odvalnom glodanju znatno veći broj parametara utiče na proces rezanja. Složenost procesa rezanja u ovom slučaju se ogleda u prvom redu kroz različito dinamičko i termičko opterećenje reznih elemenata alata, nastalo usled različitog oblika i preseka strugotine koju pojedini rezni elementi režu.

Može se konstatovati da i oblik i veličina preseka strugotine zavisi od primenjenog postupka glodanja, režima rezanja i čitavog niza drugih parametara koji se odnose na alat i predmet obrade, što uslovljava da je nalaženje analitičke veze između ovih veličina nemoguće. Zbog toga se, za rešavanje ovog zadatka, pošlo drugim putem:

Pomoću elektronskog računara simulira se proces odvalnog glodanja na osnovu unapred razradjenog matematičkog modela, kojim se mogu uzeti u obzir svi stvarni uslovi rezanja. Osim toga, malom korekcijom programa, mogu se proračunati ne samo poprečni presek strugotine već i

* Dr Ing. Svetislav Zahar, docent na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu

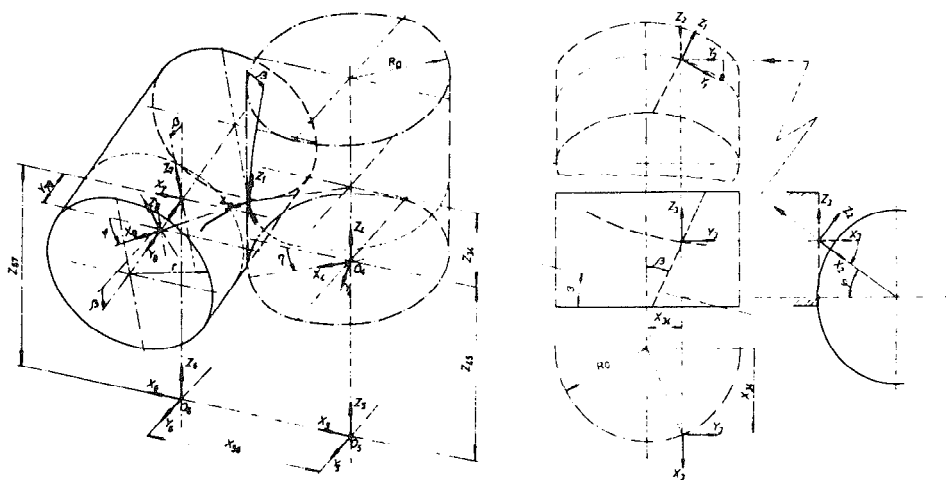
** Saopštenje proisteklo iz rada na doktorskoj disertaciji: "Analiza procesa odvalnog glodanja", odbranjenoj na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, novembra 1977. godine.

IV - 2

kontura obradjenog medjuzublja, greške evolvente boka, otpori rezanja, efektivni uglovi rezanja kao i sva relativna kretanja.

Za osnov je korišćena ideja Gerda Sulzera [1], koja je imala taj nedostatak da je proračun preseka vršen u "fiktivnim" ravnima pri punom rezanju, što je onemogućavalo da se nadje tačan poprečni presek strugotine u ravnima grudne površine reznog elementa po kojoj se ona i formira, a od koga zavise i veličine komponenti otpora rezanja.

Kinematski sistem mašina-alat-predmet obrade opisan je pomoću osam pojedinačnih koordinatnih sistema prikazanih na slici 1. spregnutih



Sl. 1. Položaj koordinatnih sistema 1 - 8

medjusobno utvrdjenim konstantnim i promenljivim vezama. Na ovaj način se složeno relativno kretanje izmedju odvalnog glodala i predmeta rastavlja na elementarna kretanja koja definišu translaciju i rotaciju oko pojedinih osa:

Koordinatni sistem 1 - je vezan za predmet obrade i služi za opisivanje konture obradjenog medjuzublja. Koordinatni početak ovog sistema leži na podeonom cilindru obradjivanog zupčanika u sredini medjuzublja. Koordinatna ravan $X_1 OY_1$ ovog sistema se poklapa sa "reznom" ravni u kojoj se želi vršiti proračun, sa osom OX_1 usmerenoj prema glodalu (normalno na njegovu osu).

Koordinatni sistem 2 i 3 - vezani za isti koordinatni početak (slika 2), služe za ostvarivanje veze koordinata tačaka medjuzublja definisanih u sistemu 1 (u ravni $X_1 OY_1$) sa sistemom 4 vezanim za osu predme-

IV - 3

ta obrade. Pri tome se sistem 2 dobija zaokretanjem sistema 1 oko OX_1 - ose za ugao postavljanja glodala β . Na sličan način, zaokretanjem sistema 2 oko OY_2 - ose za ugao položaja reznog elementa \emptyset prelazi se u sistem 3 čija je osa OZ_3 paralelna osi predmeta obrade a osa OY_3 paralelna projekciji ose glodala.

Koordinatni sistem 4 - vezan je za predmet obrade i obrće se zajedno sa njim. Osa OZ_4 ovog sistema, koji se dobija iz sistema 3 zaokretanjem oko ose OZ_3 za ugao λ i translacijom koordinatnog početka za X_{34} , Y_{34} i Z_{34} , poklapa se sa osom obradivanog zupčanika.

Koordinatni sistem 5 i 6 - nepokretni u odnosu na mašinu, su neophodni za opisivanje kretanja predmeta i alata. Pri tome se sistem 5 dobija iz sistema 4 zaokretanjem ovog zadnjeg oko ose OZ_4 za ugao obrtanja predmeta η i translatorsnim pomeranjem za vrednost Z_{45} , dok je sistem 6 samo translatorsno pomeren od sistema 5 u pravcu X-ose za veličinu X_{56} . Za aksijalno, tangencijalno, dijagonalno ili koso glodanje ova veličina ostaje neizmenjena i jednaka je medjuosnom rastojanju L , dok se pri radijalnom glodanju njom opisuje radijalni pomak.

Nepokretni koordinatni sistem 7 - vezan je za osu obrtanja glodala a dobija se iz sistema 6 zaokretanjem ovoga za ugao β oko ose OX_6 i pomeranjem koordinatnog početka za veličinu Z_{67} kojom se definiše aksijalni pomak i to tako da povećanje ovog rastojanja određuje istosmerno, a smanjenje suprotnosmerno glodanje.

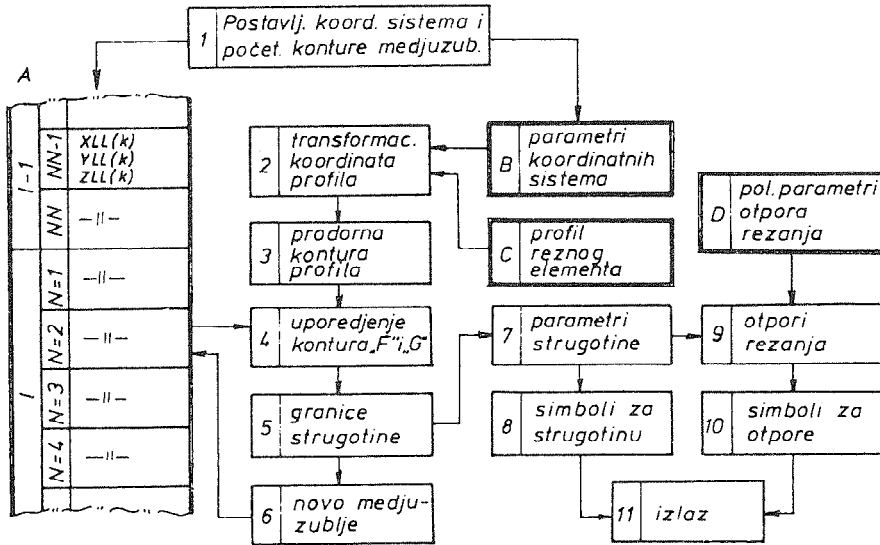
Najzad, koordinatni sistem 8 čvrsto vezan za glodalo, proizilazi iz sistema 7 zaokretanjem za ugao \emptyset oko ose OY_7 , i pomeranjem za veličinu Y_{78} , kojom se, pored opisivanja tangencijalnog pomaka, određuje i položaj posmatranog reznog elementa. Povećanje vrednosti X_{78} za veličinu $n \cdot \epsilon$ (n - broj reznog elementa) definiše desnohodo glodalo i obratno.

Iz napred opisane strukture ovih sistema, proizilazi da je ostvareno poklapanje $X_1 O Y_1$ sa $X_8 O Y_8$ ravni što je bio i cilj ovakvog razlaganja.

Osnova ovog proračuna leži u tome da se najpre u sistemu 1 memoriše kontura medjuzublja dobivena u prethodnom obrtaju predmeta obrade, da bi se, upoređujući je sa konturom reznog elementa, predstavljenoj u istom koordinatnom sistemu, u sledećem obrtaju dobilo "zadiranje" zuba u materijal koje predstavlja stvarni oblik strugotine.

IV - 4

Sam program će u glavnim crtama biti objašnjen pomoću slike 2. Najpre se, na osnovu polaznih podataka koji definišu postupak i geometriju obrade (modul, broj zuba, ugao nagiba, broj hodova glodala,



Sl. 2. Šema odvijanja programa

profil reznog elementa i dr.), u delu I vrši postavljanje odgovarajućih koordinatnih sistema i određuje polazna kontura medjuzublja. Rezultati se privremeno memorišu u memorijama "A" i "B" odakle se po potrebi pozivaju i, ako treba, menjaju. Pri tome se veličine koje definišu položaj koordinatnih sistema i početnu konturu medjuzublja proračunavaju - određuju za trenutak kada se vrši proračun (drugi obrtaj predmeta obrade). Zatim se u delu programa II, pomoću napred određenih veličina vrši transformacija koordinata tačaka profila reznog elementa iz sistema 8 u sistem 1 za razne uglove obrtanja glodala pomoću kojih se u delu III nalazi prodor kroz ravan X_1OY_1 . Kontura ovog prodora (reznog elementa) upoređuje se u delu programa IV sa prethodnom konturom medjuzublja formiranom reznim elementima koji su već izišli iz zahvata, a čije su koordinate memorisane u memoriji "A". Ukoliko postoji "zador" konture reznog elementa sa konturom medjuzublja, u delu V se izračunavaju koordinate presečnih tačaka ovih kontura na osnovu kojih se u programskom delu VI formira nova kontura medjuzublja potrebna za rezne elemente koji slede. Isto-

vremeno se u delu VII određuje položaj, oblik i presek strugotine na konturi reznog elementa. Dok se koordinate novog medjuzublja memorišu u memoriji "A" na mesto starih, rezultata iz dela VII se, sa jedne strane šalju u deo programa VIII gde se vrši pridodavanje određenih grafičkih simbola za odgovarajući presek strugotine, a sa druge strane u deo IX, gde se na osnovu njih i konstanti iz memorije "D" (koja su unete učitavanjem) određuju elementarne komponente otpora rezanja za svaki element sečiva. U delu X se ovim vrednostima otpora dodeljuju odgovarajući grafički simboli slično kao i za debljinu strugotine u delu VIII.

Najzad se u programskom delu XI vrši izlaz rezultata na štampaču. Zbog obimnosti programa ovde će se opisati samo najvažniji elementi ovih programskih delova.

2. Postavljanje koordinatnih sistema i početna kontura medjuzublja

Kako je osnova proračuna debljine i preseka strugotine uporedjenje trenutne konture medjuzublja, oformljene od svih reznih elemenata koji su bili u zahvatu pre posmatranog a to znači i u prethodnom obrtaju predmeta, sa konturom posmatranog reznog elementa obrazovanoj u istoj ravni, to je neophodno da se najpre u "prvom" obrtaju od početne konture medjuzublja, koja predstavlja deo konture omotača, "formira" potpuno medjuzublje u odgovarajućoj ravni. Ovo se izvodi na taj način, što se postupak proračuna izvodi iz dva dela: u prvom se za sve aktivne rezne elemente obrazuje samo kontura medjuzublja, bez proračuna parametara strugotine, i to u koordinatnom sistemu I koji mora imati takav položaj da se njegova ravan X_1OY_1 poklopi sa reznom ravni (ravan X_8OY_8 sistema 8) tek u "drugom" obrtaju, kada se na osnovu trenutnog medjuzublja i konture reznog elementa proračunavaju i parametri strugotine.

Prema tome, neophodno je da se sve veličine koje definišu položaj koordinatnih sistema (λ , X_{34} , Y_{34} , Z_{34} , η i dr.) odrede za slučaj "drugog" obrtaja kada se alat pomerio za veličinu pomaka a predmet izvršio pun obrtaj.

Da bi se, pomoću slika 3 i 4, objasnio matematički model za iznalaženje nekih od potrebnih veličina, posmatraće se trajektorija j-tog reznog elementa. Imajući i u vidu da se proračun izvodi za "drugi" obrtaj predmeta obrade, ukupan broj reznih elemenata koji su prošli

IV - 6

kroz zahvat sa materijalom predmeta od početnog do posmatranog trenutka (j -ti rezni element u zahvatu sa reznom ravni pod uglom ϕ) biće jednak:

$$NZ = \frac{i \cdot z}{g} - NA - 1 + j \dots \dots \dots (1-0)$$

gde je:

NA - broj aktivnih reznih elemenata na ulaznoj zoni rezanja. Kako se tokom tog perioda rezanja vršilo kontinualno kretanje (obrtanje) i predmeta obrade i alata, ukupan broj obrtaja koji je glodalo napravilo je:

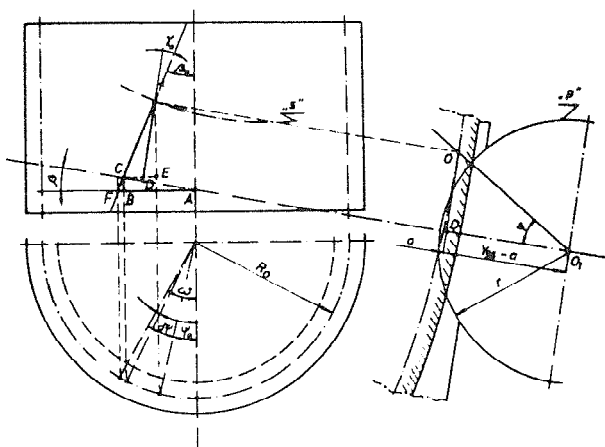
$$NG = \frac{NZ}{i} = \frac{Z}{g} + \frac{1}{i} \cdot (j - 1 - NA) \dots \dots \dots (1-6)$$

a ugao za koji se predmet obrade zaokrenuo (u odnosu na početni položaj):

$$\lambda = (2 \cdot \pi \cdot NZ + \phi) \cdot \frac{g}{i} \cdot (1 - DIF) \dots \dots \dots (2)$$

gde je: DIF - dodatno obrtanje predmeta preko diferencijala pri izradi kosih zuba.

Ovaj ugao odredjivao bi i položaj koordinatnog sistema 1 da nema zaokretanja nosača glavnog vretena za ugao postavljanja β . Kako se,



Sl. 3. Odredjivanje vrednosti ugla ψ_0

međutim, u praksi osa glodala uvek postavlja pod nekim uglom različiti-

IV - 7

tim od $\pi/2$ u odnosu na osu predmeta (izuzev u specijalnom slučaju da je $\beta_0 = \gamma_0$), to se ugao ψ_0 koji definiše stvaran položaj koordinatnog sistema mora izračunati u zavisnosti od uglova λ , ϕ , β_0 i γ_0 . Kao što se iz slike 3. vidi, koordinatni početak traženog sistema l (tačka 0) leži u preseku presečne konture "s" (nastale u preseku rezne ravni pod uglom ψ i podeonog cilindra obradjivanog zupčanika) i trajektorije središta reznog elementa "p". Koristeći oznake sa slike sledi da je:

$$\psi_0 = \omega - d\psi \dots \dots \dots (3)$$

Kako se medjuzublje (po kome se kreće rezni element) prostire po zavojnoj liniji, to se vrednost za $d\psi$ ne može eksplicitno naći, već se mora koristiti princip iteracije. Iz gornjeg dela slike, posmatrajući razvijeni omotač, biće:

$$CE = OC \sin\beta_0 = \frac{OD}{\cos \gamma_0} \cdot \sin \beta_0 = (X_{56} - a) \cdot \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos \gamma_0} \cdot \sin\beta_0$$

Sa druge strane je iz donjeg dela slike:

$$CE = R_0 \cdot d\psi$$

i:

$$BA = R_0 \cdot \omega = (d\psi + \psi_0) \cdot R_0$$

odnosno:

$$\psi_0 = \omega - d\psi$$

Zamenom se dobija:

$$\psi_0 = \omega - (X_{56} - a) \cdot \frac{\operatorname{tg}\psi \cdot \sin\beta_0}{R_0 \cdot \cos \gamma_0}$$

konačno:

$$\psi_0 = \omega + \left(\cos\psi_0 - \frac{X_{56}}{R_0}\right) \cdot \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos \gamma_0} \cdot \sin\beta_0 \dots \dots \dots (4)$$

Za odredjivanje ugla ω koristiće se ista slika, iz koje je:

$$\omega = \lambda - \omega \cdot \operatorname{tg}\beta_0 \cdot \operatorname{tg}\beta$$

odnosno:

$$\omega = \frac{\lambda}{1 + \operatorname{tg}\beta_0 \cdot \operatorname{tg}\beta} \dots \dots \dots (5)$$

IV - 9

$$Z_{(k)} = \frac{S_0 \lambda}{2 \cdot \pi} + (X_{56} - X_{(k)}) \cdot \frac{\operatorname{tg} \psi}{\cos} - Y_{(k)} \cdot \operatorname{tg} \beta$$

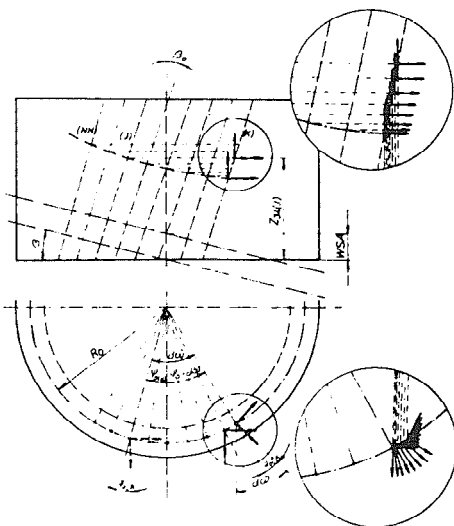
(za $k = 0, 1, 2, \dots, 5$)

pri čemu je:

$$d\psi = \frac{dt}{R} = \frac{\pi}{5 \cdot z}$$

Pri analizi "punog rezanja", tj. kada se posmatra predmet obrade dovoljne visine, sve izračunate koordinate početnog medjuzublja biće realne. Medjutim, u praksi je češći slučaj da je visina predmeta relativno mala, tako da praktično i nema "punog rezanja", što se odražava i na oblik, dužinu i poprečni presek strugotine koja se reže posmatranim reznim elementom. Zbog toga se, pre transformisanja koordinata tačaka nadjene konture medjuzublja iz sistema 4 u sistem 1, u kom obliku moraju biti memorisane u memoriji "A", treba proveriti da li koordinate $Z_{(k)}$ leže unutar intervala HG-HD (HD je na slici 4. jednako nuli, tj. XOY ravan sistema se poklapa sa donjom osnovom obradivanog zupčanika). Ukoliko neke tačke, koje su u tom slučaju fiktivne, leže van ovog intervala, to će se njihove koordinate $X_{(k)}$ i $Y_{(k)}$ najpre izjednačiti sa nulom pa ponovo naći koordinata $Z_{(k)}$. Ovo je neophodno učiniti da se, pri izvodjenju proračuna ne bi javio neograničen "zador" izmedju kontura medjuzublja i reznog elementa.

Na ovaj način definisani koordinatni sistem 1 i koordinate tačaka početne konture medjuzublja odgovaraju samo posmatranom trenutku, kad



Sl. 5. Odredjivanje položaja sistema 1

j-ti rezni element, koji je u zahvatu, zaklapa sa XOY ravni sistema 8 ugao ϕ . Za svaki drugi trenutak (drugi rezni element) doći će do relativnog pomeranja između alata i predmeta. Kad m-ti rezni element dodje u zahvat pod istim uglom ϕ , koordinatni sistem 1 koji je čvrsto vezan za predmet, zaokrenuće se zajedno sa njim za ugao d (slika 5.) tako da sada nije ispunjen početni uslov da se XOY ravan sistema 1 poklopi sa odgovarajućom ravni sistema 8. Ovo iziskuje potrebu da se u posmatranom medjuzublju postavi onoliki broj koordinatnih sistema 1 koliko ima aktivnih reznih elemenata koji formiraju medjuzublje. Broj aktivnih reznih elemenata proračunava se iz stvarnog radnog područja temenih i bočnih sečiva. Položaj svakog od ovih sistema mora biti takav, da, kad odgovarajući rezni element dodje u zahvat, koordinatni sistem 1 na koji se taj odnosi, mora imati zahtevani položaj. Zbog toga se u ovom delu programa moraju odrediti položaji sistema i koordinate tačaka početnog medjuzublja (k) za svaki aktivni element (n) i svaki položaj rezne ravni (l) na način definisan napred, i memorisati u memoriji "A".

3. Odredjivanje prodora trajektorije reznog elementa kroz ravan XOY

Transformisane koordinate tačaka konture proizvoljnog reznog elementa iz sistema 8, koji je zaokrenut za ugao ϕ oko Y-ose u odnosu na sistem 7, će ležati u XOY ravni samo onog sistema 1 koji odgovara tom reznom elementu i to za "drubi" obrtaj predmeta. Kako je za kasnije uporedjenje neophodno da se u svakom postavljenom koordinatnom sistemu 1 formira kontura trenutnog medjuzublja, to se mora tražiti prodor trajektorija tačaka konture reznog elementa kroz XOY ravni svakog sistema 1.

U tu svrhu se transformacija koordinata tačaka rezne konture ne vrši samo za jedan njegov položaj, koji odgovara uglu ϕ , već za šest različitih položaja rezne ravni, bliski jedan drugome, koji se tako izabiraju da se obezbedi siguran prodor uz što manje proračuna. Na ovaj način se ustvari vrši transformacija jednog dela trajektorije reznog elementa, koja se razlikuje od stvarne u tome što je, umesto kružnim lukom predstavljena poligonom sa pet stranica. Ova razlika (greška) će biti utoliko manja ukoliko je rastojanje između položaja reznih ravni manje.

Da bi transformisani deo trajektorije posmatranog reznog elementa (n) koji se nalazi u položaju definisanim uglom obrtanja ϕ , prodirao kroz

IV - 11

XOY ravan sistem 1 koji odgovara reznom elementu (j), transformacija koordinatnih tačaka njegove konture će se vršiti za položaje sistema 8 definisanim uglovima ϕ_1 koji su određeni relacijom:

$$\rho_i = \rho_0 + (3-i) \cdot d\rho + 0,5 \cdot d\rho \dots \dots \dots (9)$$

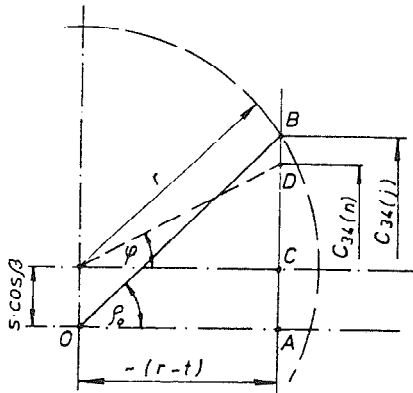
(za $i = 1, 2, 3, \dots, 6$)

uz:

$$d\rho = 0,4 \cdot d\rho$$

gde je:

$d\phi$ - ugao između dva susedna položaja reznog elementa, odnosno između dve rezne ravni (1) i (1+1).



Sl. 6. Određivanje vrednosti ugla ρ_0

Ugao položaja srednje tačke dela trajektorije ρ_0 dobija se geometrijskom analizom slike 6. iz koje sledi:

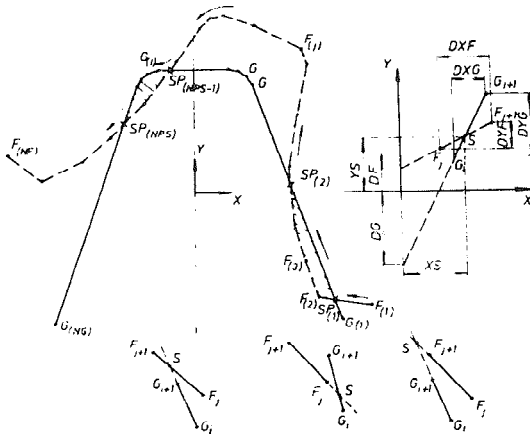
$$\text{tg } \rho_0 = \frac{S \cdot (NRU-NR) \cdot \cos\beta}{(r-t)} + \frac{C_{34}(n) - C_{34}(j)}{(r-t) \cdot \cos\beta} + \text{tg}\phi \dots \dots (10)$$

Na napred izneti način vrši se transformacija konture trenutnog međuzublja u svaki od NN postavljenih koordinatnih sistema 1 koristeći početne parametre položaja tih sistema ψ_0 , Z_{34} memorisane u memoriji "B" i nalazi prodor kroz XOY ravni tih sistema. Nalaženje prodorne konture vrši se jednostavno, određivanjem najmanje pozitivne i negativne vrednosti koordinate $Z_{(k)}$ šest dobivenih tačaka, pa se na osnovu koordinata tih dveju tačaka interpolacijom dolazi do koordinata $X_{(k)}$ i $Y_{(k)}$ tačke na dobivenoj duži za koju je $Z_{(k)} = 0$.

4. Uporedjenje kontura reznog elementa i trenutnog medjuzublja

Da bi se utvrdilo da li kontura reznog elementa, transformisana u odgovarajući sistem 1, "zadire" u konturu trenutnog medjuzublja, obe konture koje su predstavljene otvorenim poligonima se u ovom delu programa ispituju na presek. Kako se ovo ispitivanje izvodi, najbolje će biti objašnjeno pomoću slike 7.

Neka je prodor trajektorije reznog elementa kroz odgovarajuću ravan XOY predstavljen poligonom "G" definisanim tačkama $G_{(i)}$ ($i=1,2,3,\dots, NG$), a trenutna kontura medjuzublja u istoj ravni poligonom "F" sa tačkama $F_{(j)}$ ($j=1,2,3,\dots, NF$). Ispitivanje se izvodi tako što se svaka duž $G_{(i)}G_{(i+1)}$ poligona "G" ispituje sa svakom duži $F_{(j)}F_{(j+1)}$ i utvrđuje da li izmedju njih postoji presek. Koristeći oznake kao na slici, za prve dve duži $G_{(1)}G_{(2)}$ i $F_{(1)}F_{(2)}$ će biti:



Sl. 7. Odredjivanje presečnih tačkaka

$$XS = \frac{DF - DG}{\text{tg}\alpha_g - \text{tg}\alpha_f} \dots \dots \dots (11)$$

$$YS = DF + XS \cdot \text{tg}\alpha_f$$

uz

$$\text{tg}\alpha_f = \frac{FY(2) - FY(1)}{FX(2) - FX(1)} \quad \text{i} \quad \text{tg}\alpha_g = \frac{GY(2) - GY(1)}{GX(2) - GX(1)}$$

Nadjene vrednosti za XS i YS predstavljaju koordinate moguće tačke preseka. Ispitivanje da li se radi o stvarnom ili "fiktivnom" preseku vrši se na taj način da se koristi osnovno svojstvo presečnih tačaka: stvarna presečna tačka dve duži mora da leži kao između tačaka $G_{(1)}$ i $G_{(2)}$, tako i između $F_{(1)}$ i $F_{(2)}$ (donji deo slike 7). Ukoliko se radi o stvarnom preseku, pored memorisanja koordinata XS i YS ove tačke $SP_{(m)}$, memorišu se ujedno i vrednosti $NFS_{(m)}$ i $NGS_{(m)}$ koje predstavljaju broj tačaka na konturi "F", odnosno "G" pre m-te presečne tačke (u ovom primeru $m=1$).

Kada je završeno sa ispitivanjem prvih dveju duži, ispituje se dalje duž $G_{(1)}G_{(2)}$ sa dužima $F_{(j)}F_{(j+1)}$ (za $j=2,3,\dots,NF-1$) na isti način. Kada se ispituju sve duži poligona "F" sa prvom duži konture "G", tada se ispituje druga duž poligona "G" sa duži $F_{(k)}F_{(k+1)}$ ($k=NFS_{(m)}+1, NFS_{(m)}+2,\dots,NF-1$) gde je - broj do tada nadjениh stvarnih presečnih tačaka. Postupak se izvodi sve dok se iskoristi i zadnja duž poligona "G". Ukupan broj stvarnih presečnih tačaka mora biti paran. Ukoliko se na kraju ispitivanja dobije neparan broj preseka, to znači da je neka kontura bila pogrešna i da "zador" nije zatvoren.

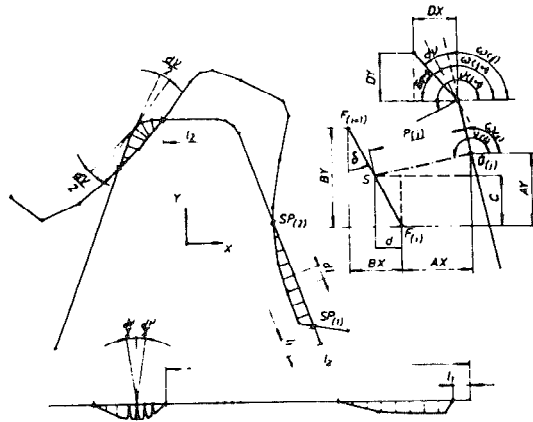
5. Odredjivanje nove konture medjuzublja i granica strugotine

Ovaj programski deo ima dve funkcije: najpre se na osnovu presečnih tačaka $SP_{(m)}$ i kontura reznog elementa i prethodnog medjuzublja formira nova trenutna kontura medjuzublja u svakom koordinatnom sistemu 1. Nova kontura se formira od delova stare kao i delova konture reznog elementa po kojoj se javio "zador" i to tako da se do prve presečne tačke zadržavaju koordinate tačaka prethodne konture. Od prve presečne tačke do druge, umesto tačaka stare konture, deo nove konture čine tačke konture reznog elementa na tom delu uključujući i presečne tačke, da bi posle drugog preseka ponovo prešli na prethodnu konturu itd. (Sl. 7). Na taj način će ova kontura biti definisana nizom tačaka:

$$F_{(1)}-F_{(2)}-\dots-F_{(NFS_{(1)})}-SP_{(1)}-G_{(NFS_{(1)}+1)}-\dots-G_{(NFS_{(2)})}- \\ - SP_{(2)}-F_{(NFS_{(2)}+1)}-\dots-F_{(NF)}$$

čije se koordinate memorišu u memoriji "A" kao nova trenutna kontura medjuzublja umesto starih koordinata.

Druga funkcija ovog dela programa koja se izvodi samo za posmatrani rezni element (tj. kada je $n=j$), je da se odrede granice strugotine i njen položaj na konturi reznog elementa. U tu svrhu se najpre svaki deo rezne konture po kojoj se prostire strugotina (deo između neparne i parne presečne tačke) deli na elementarne delove dl čija veličina zavisi od željenog razlaganja. Za svaki od ovih elementarnih delova, kako to pokazuje i slika 8, nalaze se koordinate graničnih tačaka, ugao pravca kao i ugao normale na taj element sečiva. Ukoliko je oblik rezne ivice krivolinijski, kao što je to slučaj na prelaznim radijusima sa bočnih ka temenom sečivu, pravci normale dva susedna elementa se neće poklapati. U tom slučaju se umesto normale, povlači srednja linija između pravaca normala tih elemenata. Vrednost uglova pravaca segmenata $\omega(k)$ i normala na segment $v(k)$ nalazi se na osnovu slike 8, pri čemu se javljaju dva slučaja:



Sl. 8. Odredjivanje granica i debljine strugotine

(a) za $DX > 0 \rightarrow \omega(k) = 2 \cdot \pi + \epsilon(k)$ (12)

(b) za $DX < 0 \rightarrow \omega(k) = \pi + \epsilon(k)$

Na osnovu gornjih vrednosti iz slike sledi da je:

$$v(k) = \frac{\omega(k-1) + \omega(k) + \pi}{2} \dots \dots \dots (13-a)$$

sa izuzetkom prve i zadnje tačke za koje je:

$$v_{(e)} = \omega_{(e)} + \frac{\pi}{2} \dots \dots \dots (13-b)$$

$$v_{(NG)} = \omega_{(NG-1)} + \frac{\pi}{2}$$

Pored toga se u ovom programskom delu izračunavaju i dužine razvijeno-
nog dela sečiva do početka strugotine ($l_{(k)}$) koje su potrebne za
grafičko predstavljanje dobivenih rezultata duž konture reznog ele-
menta.

6. Odredjivanje debljine i poprečnog preseka strugotine

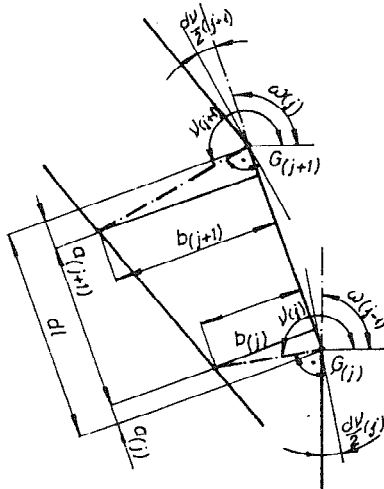
Proračun debljine strugotine, koji se izvodi za svaki elementarni deo
strugotine dužine dl , biće objašnjen pomoću desnog dela slike 8.

Iz tačke $F_{(j)}$ povlače se sukcesivno normale na j -ti element rezne
konture do preseka sa pravcem duži $F_{(1)}F_{(2)}, F_{(2)}F_{(3)} \dots F_{(i)}F_{(i+1)}$
i traži presečna tačka S . Duž $G_{(j)}S$ predstavlja moguću debljinu stru-
gotine $P_{(j)}$ a nalazi se na sledeći način:

Iz slike 8. koristeći iste oznake, sledi

$$P_{(j)} = \frac{AX - AY \cdot \operatorname{tg} \delta}{\sin v \cdot \operatorname{tg} \delta - \cos v} \dots \dots \dots (14)$$

Od svih dobivenih vrednosti za $P_{(j)}$ (za svaku duž $F_{(i)}F_{(i+1)}$) samo
je jedna realna i to ona za koju je $S \in F_{(i)}, F_{(i+1)}$, odnosno



Sl. 9. Odredjivanje poprečnog preseka strugotine

$$SX \propto FX_{(i)}, FX_{(i+1)}$$

$$SY \propto FY_{(i)}, FY_{(i+1)}$$

Da bi se odredio poprečni presek elementa strugotine $Q_{(j)}$ koji odgovara elementu $dl_{(j)}$, a ograničen je debljinama strugotine $P_{(j)}$ i $P_{(j+1)}$ u tačkama $G_{(j)}$ i $G_{(j+1)}$, duži između tih dveju tačaka i dela konture "F" između $S_{(j)}$ i $S_{(j+1)}$, počinje se od opšteg slučaja da se normale dva susedna elementa ne poklapaju. Pri tome, kao što se vidi iz slike 9, element strugotine ima oblik nepravilnog četvrougaonika koji se može izdeliti na dva pravougla trougla čije su hipotenuze $P_{(j)}$ i $P_{(j+1)}$ i jedan pravougli trapez sa osnovicama $b_{(j)}$ i $b_{(j+1)}$.

Koristeći oznake sa slike biće:

$$b_{(j)} = P_{(j)} \cdot \sin\{\nu_{(j)} - \omega_{(j-1)}\}$$

$$b_{(j+1)} = P_{(j+1)} \cdot \sin\{\nu_{(j+1)} - \omega_{(j)}\}$$

$$a_{(j)} = -P_{(j)} \cdot \cos\{\nu_{(j)} - \omega_{(j-1)}\}$$

$$a_{(j+1)} = -P_{(j+1)} \cdot \cos\{\nu_{(j+1)} - \omega_{(j)}\}$$

i konačno:

$$Q_{(j)} = \frac{1}{2} \cdot dl_{(j)} \cdot \{b_{(j)} + b_{(j+1)}\} - a_{(j)} \cdot b_{(j)} - a_{(j+1)} \cdot b_{(j+1)} \dots \dots \dots (15)$$

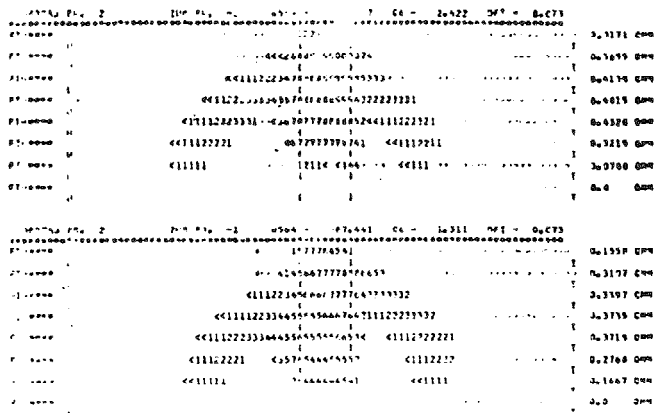
7. Dodeljivanje simbola i izlaz rezultata

Na gore opisani način nadjene vrednosti debljine strugotine na svakom elementarnom delu sečiva reznog elementa, prenose se u programski deo VIII gde im se dodeljuju odgovarajući simboli, koji se zatim štampaju na izlaznoj jedinici-štampaču. Ovakav način izlaza rezultata usvojen je zbog preglednosti u situaciji kad ne postoji "ploter" za grafičku interpretaciju rezultata. Sam postupak pridodavanja odgovarajućih simbola vrlo je jednostavan.

IV - 17

Brojne vrednosti debljine strugotine dele se sa razmerom i dobijeni rezultat se zaokružuje na ceo broj, koji predstavlja redni broj simbola u jednodimenzionalnoj matrici simbola, ranije memorisanoj. Veličina razmere zavisi od očekivane maksimalne vrednosti za debljinu strugotine i broja raspoloživih simbola (u konkretnom slučaju 50). Na slici 10. prikazan je jedan primer izlaza rezultata.

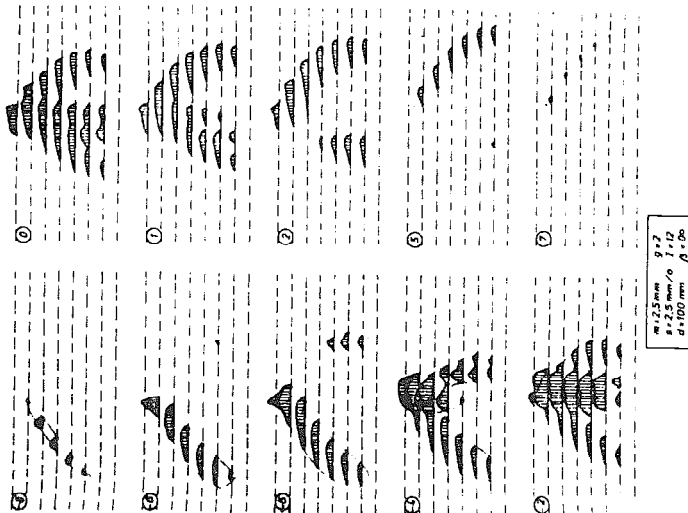
Istovremeno sa izlazom (štampanjem) simbola debljine strugotine na odgovarajućem rastojanju od početka sečiva definisanom razmerom za konturu reznog elementa, štampa se i ukupni presek strugotine koja se u tom položaju reznog elementa javlja. Vrednost ukupnog poprečnog preseka izračunat je prethodno, jednostavnim sumiranjem površina $Q(j)$ svakog elementarnog delića sečiva.



Sl.10. Primer izlaza rezultata

Napred opisani način proračuna i štampanja vrednosti za debljinu strugotine, omogućava analizu opterećenja pojedinih delova sečiva reznog elementa za razne ulazne parametre koji definišu stvarne proizvodne uslove (geometrija obrade i režim) u cilju izbora optimalnih uslova obrade zadatog predmeta.

Pored simboličnog prikazivanja rezultata, program omogućava da se po potrebi odštampaju stvarne vrednosti debljine elementarne strugotine i njen položaj u odnosu na sečivo. Na osnovu ovih rezultata formirana je i slika 11. koja ilustruje raspored, oblik i veličinu strugotine duž reznog elementa.



Sl. 11. Oblik i raspored strugotine na sečivu

8. Literatura

- [1] Sulzer G., Leistungssteigerung bei der Zylinderradherstellung durch genaue Erfassung der zerspankinematik, Disertation TH Aachen (1973.).
- [2] Zahar S., Analiza procesa odvalnog glodanja, Disertacija MFK, Kragujevac (1977.).
- [3] Zahar S., Toplotne pojave pri odvalnom glodanju, Seminar: "Problemi obrade cilindričnih zupčanika", Trstenik, (1974.).
- [4] Zahar S., Termička opterećenja reznih elemenata odvalnih glodala, BIAM 76, Zagreb (1976.).
- [5] Zahar S., Tribološke pojave na reznim elementima odvalnih glodala, Jugoslovenski Simpozijum o tribologiji i primeni goriva i maziva, Ohrid(1976.).

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

Z. Seljak, J. Kopač⁺⁾

OBDELOVALNOST SFEROLITINE ZA IZDELAVO VALJEV V METALURŠKI INDUSTRIJI

1. Uvod

Tradicija izdelave valjev za valjarne sega pri nas v leto 1899, ko so na Jesenicah pričeli z litjem prvih valjev. Leta 1948 je bila prenešana ta proizvodnja v Železarno Štore. Dobršen del te proizvodnje odpade na izdelavo trdih valjev /1/. Pomemben delež pa predstavlja izdelava sferolitnih valjev /valjev iz nodularne litine/.

Razen poltrdih valjev so sferolitni valji nadomestili tudi trde in jeklene valje. Valji KGR zavzemajo v proizvodnji Železarne Štore približno 40 % vseh valjev. Namenjeni so za ogrodja blooming za težke, srednje in fine proge; predogrodja za valjanje pločevine, kolute za valjanje cevi itn. Glavni problemi pri izdelavi valjev kvalitete KGR so:

- doseganje primerne trdote na površini valjev,
- padec trdote od površine proti globini
- optimizacija vložka.

Valji KGR imajo lahko perlitno ali acirkularno strukturo s kroglastim grafitom. Taka oblika grafita daje litini zelo ugodne mehanske lastnosti. Valji z večjo trdoto imajo v strukturi tudi cementit, katerega delež se od površine proti sredini valja zmanjšuje. Tako imamo razmeroma trdo površino, ki je odporna proti obrabi. Osnovna struktura nodularne litine daje razmeroma ugodne mehanske lastnosti, ki jih dosežemo s primerno livarsko tehniko, z dodatkom niklja, molibdena in kroma, kakor tudi s primerno toplotno obdelavo.

V našem poročilu obravnavamo obdelovalnost valjev iz litine KGR 380-P in KGR 460-P. Za poskuse so bili uliti valji $\varnothing 260 \times 750$ mm. V tabeli 1 je podana kemična analiza za obravnavani kvaliteti litine:

<sup>+) Dr. Zoran Seljak, dipl.ing.stroj., docent na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2.
Janez Kopač, dipl.ing.stroj., asistent na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2.</sup>

Tabela 1

legirni elementi	Sestava [%]						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
%	3,20	1,8	0,75	<0,20	<0,02	0,5	1,25

Tabela 2

litina	delež cementita	delež perlita	trdota glob. 10-15 mm/
KGR 380-P	40 %	60 %	350-420 HB
KGR 460-P	50 %	50 %	420-480 HB

Iz tabele 2 je razviden delež cementita in perlita v strukturi vrhnjega sloja valjev. Tako je kvaliteta valjev iz nodularne litine okarakterizirana z deležem cementita in perlita v strukturi vrhnjega sloja. Proti jedru se struktura postopoma spreminja in s tem tudi trdota.

Prí obdelavi valjčne litine so uporabljene le karbidne trdine in v novejšem času se postopoma uvajajo keramične ploščice. Pred leti so še bile v uporabi nalotane ploščice iz karbidne trdine, dandanes pa je uporaba takih orodij močno zmanjšana. Uporabljena so orodja z mehansko vpetimi ploščicami, ki jih lahko obračamo. Ploščice z obrabljenimi rezalnimi robovi lahko obnovimo z ostrenjem in jih ponovno vrnemo v držalo.

Poseben pomen dobivajo v zadnjem času oplastene karbidne trdine. Na ta način dobimo zelo dolgo žilavo vrsto rezalnega materiala, ki ima veliko obrabno odpornost na površini in žilavo jedro. Na površino karbidne trdine bolj žilave vrste je nanešena zelo tanka plast 4 do 8 μm TiC ali TiN z zelo fino strukturo. Posebnosti tako nanešene plasti so v naslednjem:

- velika obrabna trdnost (trdota HV za TiC = 3200 in za TiN = 2450)
- dobra kemična obstojnost, predvsem odpornost proti oksidaciji do temperatur prek 1000^o C
- majhna nagnjenost k difuziji z obdelovalnimi materiali

– spremenjena torna razmerja med odrezkom in orodjem in tako imamo tudi ugodnejše temperature v coni odrezovanja

Ob vsem moramo upoštevati, da veljajo prednosti zmanjšane obrabe le dokler ni izrabljena trda plast. Ko je trda plast lokalno obrabljena, se obrablja orodje tako hitro kot neoplastena karbidna trdina odgovarjajoče skupine.

Pri obdelavi valjev smo razen karbidnih trdin uporabili tudi oksidno in mešano keramiko. Že rezultati raziskav obdelovalnosti trde valjčne litine so nas navedli na to, da je možno s keramičnimi rezalnimi materiali /2/ doseči dosti boljšo obstojnost kakor s karbidnimi trdinami. Ugotoviti moramo, da je v zadnjih letih bil dosežen znaten razvoj keramičnih rezalnih materialov. To se odraža posebno še pri obrabni odpornosti, povečani žilavosti in povečani ponovljivosti poteka obrabe pri vseh stružnih operacijah.

Trenutno smo se še izogibali obdelavi skorje ulitkov s keramičnimi ploščicami, čeprav so poskusi pokazali kar zadovljivo obstojnost tudi teh orodij. Pri kontinuiranem struženju je bila ponovljivost obstojnosti zelo dobra. Zelo ugodni rezultati so pričakovani pri gladilnem struženju.

V naslednjih izvajanjih bomo skušali v skrčeni obliki podati nekaj rezultatov raziskav obdelovalnosti valjev iz litine KGR 380-P in KGR 460-P.

Za primerjavo obstojnosti orodja pri struženju litine KGR smo izbrali naslednje orodne materiale:

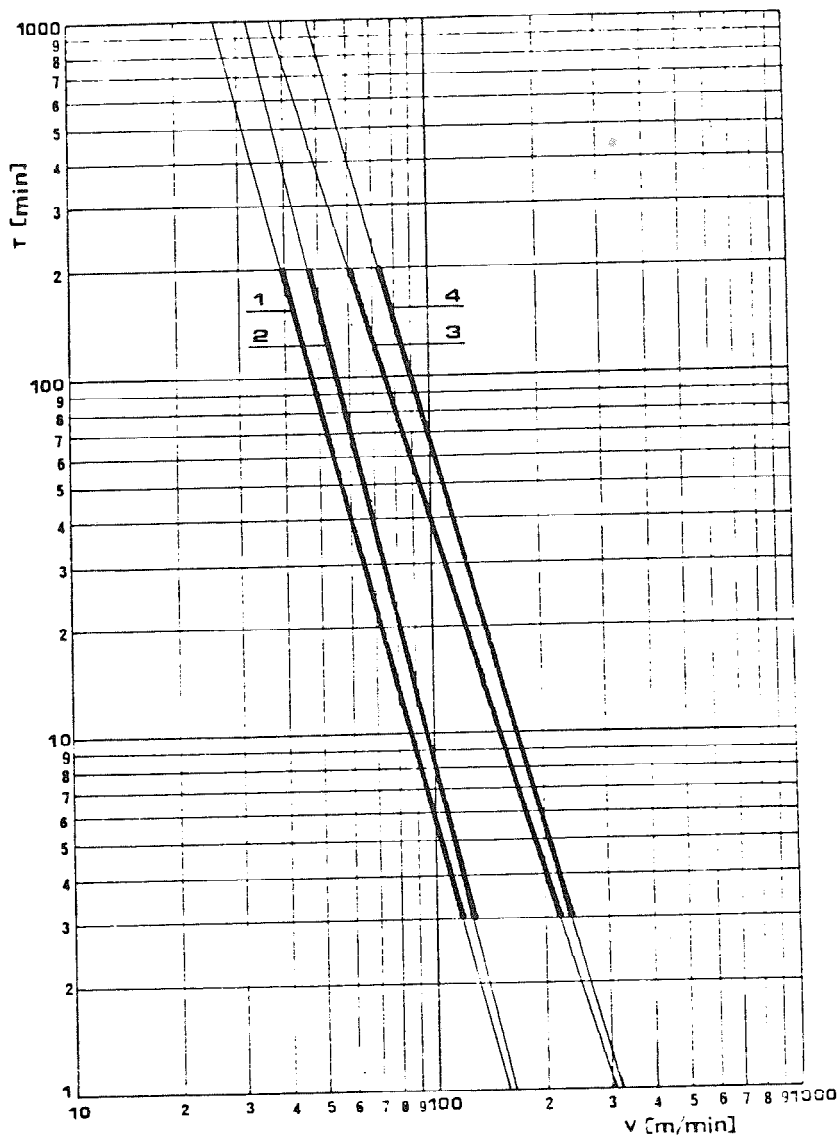
- karbidna trdina SNMG 120408 kvaliteta K 10
- karbidna trdina SNMG 120408 kvaliteta K 15
- bela keramika SNGN 120812 kvalitete SN 56
- mešana keramika SNGN 120812 kvalitete SH 1

Na sliki 1 je podana obstojnost orodij pri struženju litine KGR 380-P. V dvojno logaritemskem diagramu je prikazana odvisnost časa obstojnosti T /min/ na y osi, od rezalne hitrosti v (m/min) na osi x.

Kot obrabni kriterij smo vzeli vrednost $VB = 0,4$ mm, krivulje pa veljajo le za podajalno hitrost $s = 0,2$ mm s pomočjo Po Taylorjevih enačbah, ki so bile izračunane za vse našete rezalne materiale pri struženju litine KGR-380-P in KGR-460-P nam računalnik lahko izriše obstojnostne krivulje za vsako želeno podajalno hitrost.

Geometrija orodja je podana v razpredelnici v diagramu. Karbidna trdina ima v obeh primerih pozitivni cepilni kot $\gamma = 6^\circ$, medtem ko pri keramiki delamo z negativnim cepilnim kotom $= -6^\circ$.

V - 4



obdelovalni material: KGR 380-P

geometrija:

orodje: 1 - SNMG 120408 K 10

2 - SNMG 120812 K 15

3 - SNGN 120812 SN 56

4 - SNGN 120812 SH 1

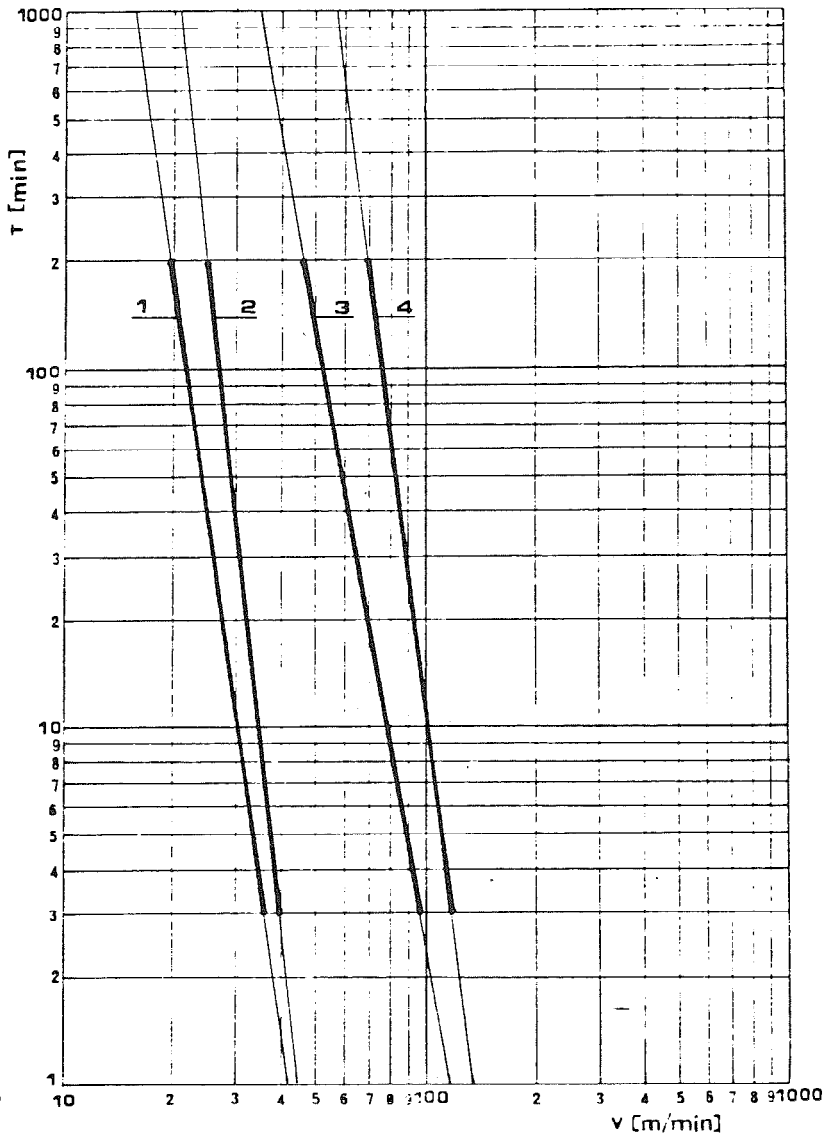
	α	γ	λ	κ	ε	r	a
1,2	6	6	-6	75	90	0,8	2
3,4	6	-6	-4	70	90	1,2	2

obdelovalni pogoji:

$s = 0,2 \text{ mm/vrt}$; $VB = 0,4 \text{ mm}$

Slika 1: Primerjalni diagram obstojnosti orodij pri struženju litine KGR 380-P

V-5



obdelovalni material: NL 460 - P

geometrija

orodje: 1 - SNMG 120408 K 10

	α	γ	λ	κ	ϵ	r	a
1, 2	6	6	-6	75	90	0,8	2
3, 4	6	-6	-4	70	90	1,2	2

2 - SNMG 120408 K 15

3 - SNGN 120812 SN 56

obdelovalni pogoji:

4 - SNGN 120812 SH 1

$s = 0,2 \text{ mm/vrt}$; $v_B = 0,4 \text{ mm}$

Slika 2: Primerjalni diagram obstojnosti orodij pri struženju litine KGR 460-P

Iz diagrama vidimo, da krivulja obstojnosti z oznako 1 velja za orodje iz karbidne trdine, kvalitete K 10. Od vseh leži ta krivulja najnižje, torej lahko pri struženju s to kvaliteto orodja za doseg istega časa obstojnosti delamo z najnižjo rezalno hitrostjo od vseh štirih primerjanih rezalnih materialov in znaša $v_{60} = 54$ m/min.

Za lažjo primerjavo navajamo rezalno hitrost v_{60} , ki pove s kakšno rezalno hitrostjo lahko stružimo, da bo nož vzdržal 60 minut in se pri tem obrabil na prosti ploskvi do 0,4 mm.

Pri uporabi orodja iz karbidne trdine kvalitete K 15 pri struženju litine KGR 380-P je $v_{60} = 62$ m/min. Dosti boljši so rezultati pri obdelavi litine z orodjem iz keramike. Tako velja krivulja obstojnosti z oznako 3 za orodje iz bele keramike in znaša $v_{60} = 88$ m/min. Krivulja z oznako 4 pa se nanaša na orodje iz mešane keramike kvalitete SH 1 in znaša rezalno hitrost $v_{60} = 105$ m/min.

Slika 2 prikazuje primerjalni diagram obstojnosti različnih orodij pri struženju litine KGR 460-P. Premica 1 podaja obstojnost karbidne trdine kvalitete K 10 in znaša vrednost $v_{60} = 23$ m/min, medtem ko pri karbidni trdini kvalitete K 15 že dobimo nekaj višjo rezalno hitrost $v_{60} = 28$ m/min.

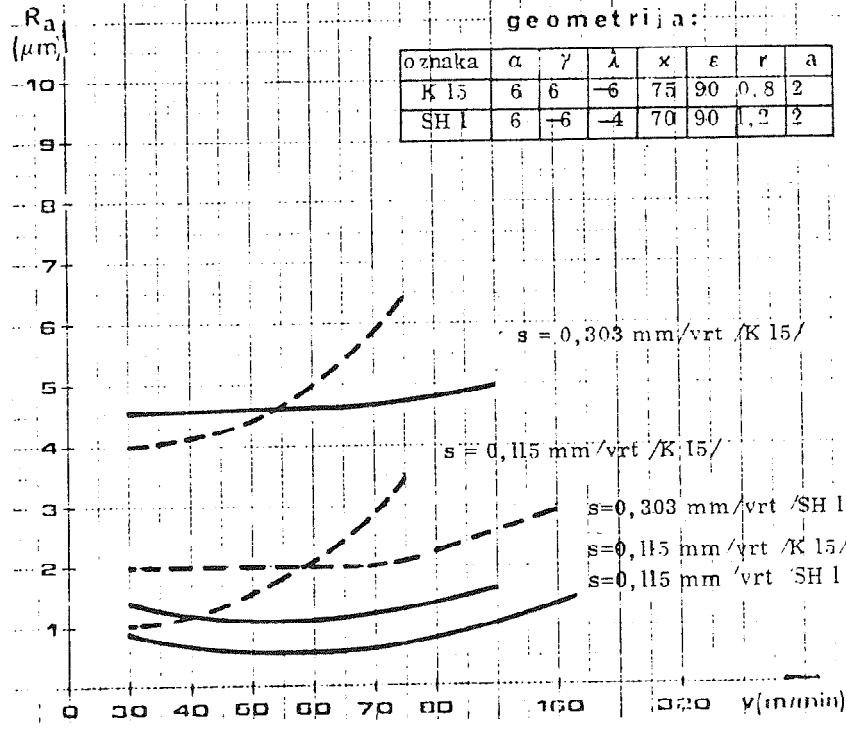
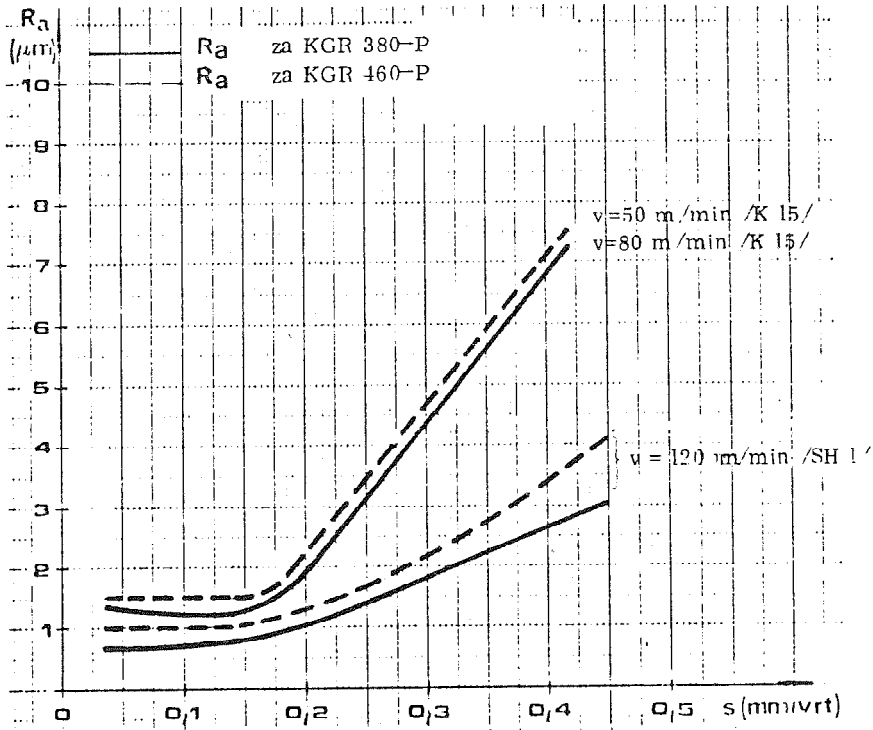
Procentualno bolj občutna je razlika obstojnosti pri struženju med orodji iz karbidne trdine in orodji iz keramike pri obdelavi litine KGR 460-P kot pri litini KGR 380-P. To potrjujejo tudi rezultati dobljenih rezalnih hitrostih pri orodju iz bele keramike SN 56 označene na sliki s številko krivulje 3. Rezalna hitrost $v_{60} = 55$ m/min, pri orodju iz mešane keramike kvaliteta SH 1 pa znaša $v_{60} = 80$ m/min in je obstojnostna krivulja v diagramu označena s številko 4.

Do zdaj obravnavana obstojnost orodja je vsekakor najvažnejši faktor obdelovalnosti materiala. Druga lastnost, ki pa je za oceno obdelovalnosti materiala zelo pomembna, je hrapavost obdelane površine.

Na sliki 3 je prikazana hrapavost litine, dobljene pri struženju. Diagram Ra/š nam pokaže vpliv podajalne hitrosti na hrapavost površine pri struženju z različnimi rezalnimi orodji. Z orodjem iz mešane keramike SH 1 dobimo bolj gladko površino kot z orodjem iz karbidne trdine K 15. Vzrok temu je večji radij konice orodja, večja rezalna hitrost in orodni material. Iz slike je razviden tudi vpliv obdelovanca, ki je v enem primeru litina KGR 380-P označena v diagram z neprekinjeno črto, v drugem pa litino KGR 460-P in je označena z prekinjeno črto.

Iz poteka diagramov na sliki 3 je razvidno, da se pri podajanju do približno

V-7



Slika 3: Hrapavost površine v odvisnosti od podajalne hitrosti

Slika 4: Hrapavost površine v odvisnosti od rezalne hitrosti

$s = 0,20$ mm hrapavost površine ne spreminja. Posamezni poskusi so pokazali celo večjo hrapavost pri podajalni hitrosti pod $s = 0,10$ mm/vrt, kar nas vodi do sklepa, da odrezovalni proces ni tekoč in imamo pojav drsanja orodja po površini obdelovanca. Pri podajalni hitrosti nad $0,20$ mm/vrt prehaja krivulja v enakomerno naraščanje hrapavosti v odvisnosti od podajalne hitrosti.

Na sliki 4 je hrapavost površine stružene litine podana v odvisnosti od rezalne hitrosti. Iz diagrama je razvidno, da je z izbiro manjše podajalne hitrosti in orodja iz keramike možno doseči dokaj gladke površine s hrapavostjo $R_a = 1,0$ do $2 \mu\text{m}$. Dobro razvidna je razlika v hrapavosti pri uporabi različnih orodij pri podajalni hitrosti $s = 0,303$ mm/min, kjer dobimo pri struženju z orodjem iz karbidne trdine kvalitete K 15 za 100 % večjo hrapavost kakor pri struženju z orodjem iz mešane keramike kvalitete SH 1.

Rezultati meritev hrapavosti površine /slika 4/ kažejo, da pri struženju litine KGR 380-P rezalna hitrost v območju med 40 in 80 m/min nima bistvenega vpliva. Večja hrapavost pri rezalnih hitrostih pod 40 m/min je pogojena s tvorbo nastavka in trganja materiala pri rezalnem procesu. Pri hitrostih nad 80 m/min so bili obdelovalni pogoji tako neugodni, da je obraba zelo hitro naraščala in s tem tudi hrapavost površine.

Negativni vpliv hitre obrabe orodja je razviden pri struženju litine KGR 460-P s karbidnimi trdinami. To jasno ilustrirata tudi krivulji hrapavosti pri struženju s ploščicami K 15 s podajalno hitrostjo $s = 0,115$ in $s = 0,303$. Hrapavost v teh dveh primerih izrazito hitro narašča.

Sklepne ugotovitve

Rezultati poskusov kažejo, da je uporaba rezalne keramike pri obdelavi valjev iz nodularne litine tem bolj priporočljiva, čim večja je trdota obdelancev.

Poskusi so pokazali, da je kljub povečani žilavosti rezalne keramike še vedno priporočljivo, da vrhno plast vlitkov posnemamo s karbidnimi trdinami. Žal moramo pri tem uporabljati zelo majhne hitrosti rezanja.

Prednost uporabe rezalne keramike se je pokazala tudi pri kvaliteti obdelane površine, ki je v vseh primerih znatno boljša, kakor pri struženju s karbidnimi trdinami.

Literatura

- 1 Seljak, Z.: Obdelava trde valjčne litine, SV 1976/9-10, str. 260 - 266.
- 2 Seljak, Z.: Tehnološke informacije o trdi valjčni litini, X. Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 9 - 10 okt. 1975., 15.1.
- 3 Informacijski sistem za tehnološke informacije, poročilo FS štev. 102/78. 59

Z. Seljak, J. Kopač

SOME MACHINING DATA FOR NODULAR CAST

This study deals with the problems of machinability of nodular cast cylinders. Tools made of sintered carbides and cutting ceramics were used at machining. Experimental results have shown that due to longer tool life, the use of cutting ceramics is more conformable to the purpose when machining nodular cast.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

A. Mišković *)

PREGLED METODA ZA DEFINISANJE NAPONSKOG STANJA U ELEMENTIMA SJEČIVA ALATA **)

1. Uvod

Najvažniji faktori smanjenja i gubljenja reznih sposobnosti alata su: habanje, krzanje, lom alata i tačnost obrade.

Habanje alata odvija se u vrlo složenim uslovima. Krzanje i lom alata dovodi do trenutnog gubljenja reznih sposobnosti alata, a nastaje kod preopterećenja sječiva alata usljed toplotnih i mehaničkih naprezanja. Veličina postojanosti alata sa stanovišta tačnosti obrade povezana je sa veličinom pohabanosti alata.

U radu se obrađuju osnovni uzroci koji dovode do gubljenja reznih sposobnosti alata i pregled metoda za definisanje naponskog stanja u elementima sječiva alata.

Na ovim problemima radilo je više autora koji su razvili niz metoda pomoću kojih se definišu naprezanja u elementima sječiva o kojima je riječ u ovom radu. Modeli koji se predlažu u pojedinoj metodi imaju za cilj izbor optimalne geometrije reznog elementa da bi postojanost bila što veća.

2. Postojanost alata

U toku procesa rezanja na površinama alata vladaju veoma složeni uslovi: visoki pritisci strugotine na grudnu površinu alata, visoke temperature rezanja i trenje na kontaktnim površinama strugotine i alata i alata sa predmetom obrade.

Navedene pojave izazivaju postepeno oštećenje - habanje grudne i ledne površine. Određena vrijednost širine pojasa habanja na lednoj površini uzima se kao kriterij zatupljenja.

*) Mr Anto Mišković, dipl.ing.docent Mašinskog fakulteta u Mostaru.

**) Rađeno u Zavodu za mašinstvo Mašinskog fakulteta u Mostaru kao dio projekta: ANALIZA NAPONSKOG STANJA U REZNIM ELEMENTIMA ALATA METODOM KONACNIH ELEMENATA u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za naučni rad BiH i Industrija alata Trebinje.

Vrh zatupljenog alata gubi mehaničke osobine, deformiše se i klizi po materijalu.

Jednačina kojom je predstavljena vjerovatnoća procesa koji teče neometano ima oblik:

$$P_i(t) = 1 - \int_0^t [a_1 f_1(t) + a_2 f_2(t) + a_3 f_3(t) + a_4 f_4(t)] dt \quad (1)$$

a_1, a_2, a_3, a_4 , - koeficijenti koji uzimaju u obzir smanjenje odnosno gubljenje reznih sposobnosti alata (habanje, tačnost, krzanje ili lom). $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$ i $f_4(t)$ - funkcija distribucije habanja, tačnosti, krzanja ili loma respektivno.

Ako bi otkazivanje alata bilo prouzrokovano habanjem onda bi se vjerovatnoća raspodjele postojanosti mogla iskazati jednačinom:

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}6} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{T - T_{sr}}{6} \right)^2} \quad (2)$$

T_{sr} - srednja vrijednost postojanosti alata

6 - distribucija

Ako alat ima grešaka ili se događaju lomovi što dovodi do trenutne neispravnosti alata onda se raspodjela vjerovatnoće postojanosti opisuje jednačinom:

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}6} e^{-\lambda T} e^{-\left(\frac{T - T_{sr}}{6} \right)^2} \quad (3)$$

Valja istaći da komponenta (tačnost obrade) ima funkcionalnu zavisnost od veličine pohabanosti alata. Kod alata za obradu otvora riječ je o prečniku alata.

3. Analiza pouzdanosti rada alata

Pouzdanost rada alata prema [1] se iskazuje jednačinom:

$$P(t) = \frac{N_0 - n_{sr} \frac{t}{\Delta t}}{N_0} \quad (4)$$

gdje je:

$P(t)$ - vjerovatnoća rada alata bez otkazivanja

N_0 - broj alata na početku ispitivanja

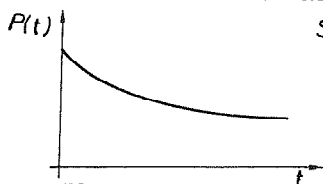
Δt - vrijeme za koje se određuje $P(t)$

n_{sr} - prosječan broj alata otkazalih u vremenskom intervalu Δt .

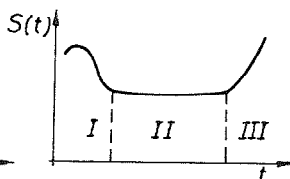
Karakteristična kriva promjene vjerovatnoće rada alata bez otkaza po vremenu data je na sl.1., dok je karakteristična kriva promjene intenziteta otkaza po vremenu data na sl.2.

$$S(t) = \frac{n(t)}{N_{SR}(t) \Delta t} \quad (5)$$

$n(t)$ - broj alata koji je otkazao u vremenskom intervalu $t - \Delta t$.
Intenzitet otkaza $S(t)$ sačinjavaju otkazi vezani za habanje i otkazi vezani za razaranje alata.



Sl.1.

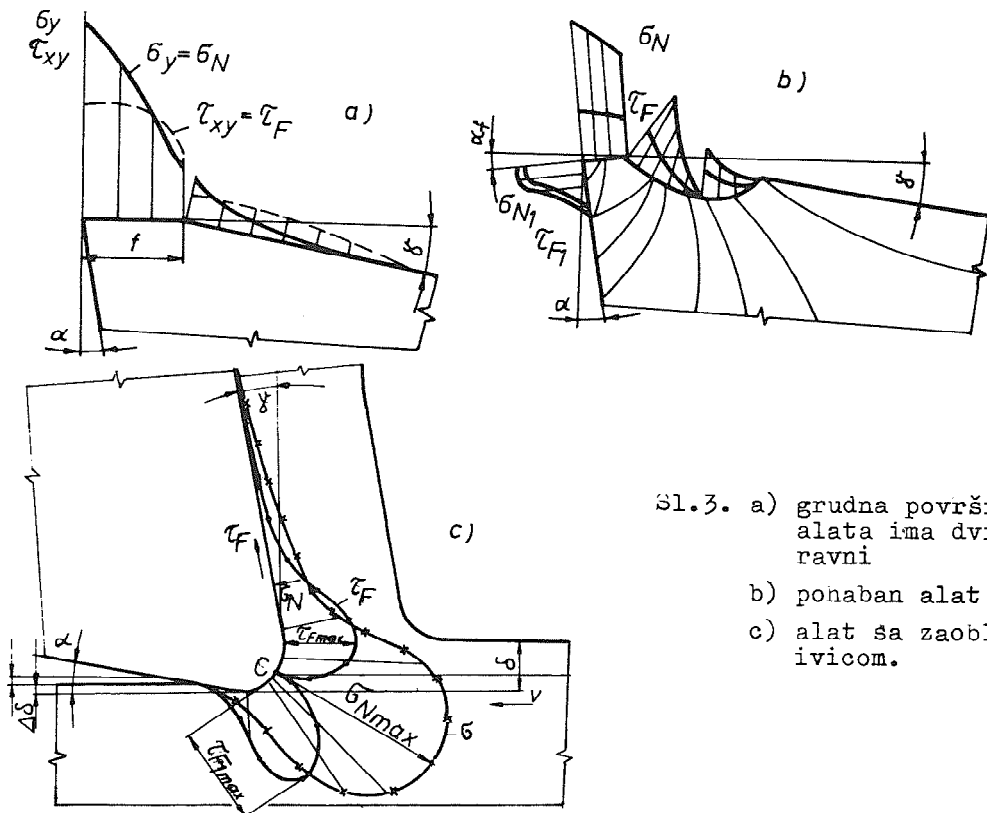


Sl.2.

- I - zona raznih otkaza
- II - zona slučajnih otkaza
- III - zona otkaza usljed istrošenosti alata.

4. Raspored kontaktnih napona na alatu

U cilju postizanja što veće postojanosti alata i rada bez otkaza neophodno je definisati naponska stanja na reznim elementima sječiva i vršiti dimenzionisanje alata prema istim. Za eksperimentalno određivanje napona razrađena je metoda i prema [11] raspored napona ima oblik, Sl.3. pri obradi bez hlađenja.



- Sl.3. a) grudna površina alata ima dvije ravni
b) ponaban alat
c) alat sa zaobljenom ivicom.

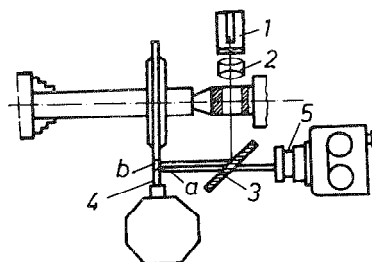
5. Puzanje i razaranje reznog klina

Na osnovu analize prema [12] dobivena je zavisnost deformacije reznog klina od vremena rezanja za različite režime obrade. Utvrđeno je da deformacija reznog klina predstavlja za sebe poseban proces koji može biti svrstan u kategoriju procesa puzanja. Pri određenim uslovima zagrijavanja i opterećivanja reznog klina može da dođe do procesa aktivnog toka određenih zapremina tvrdog metala. Prema tome proces habanja u takvim uslovima nalazi se u tijesnoj vezi sa procesom puzanja deformisanog tvrdog metala, jer je redog varajuća razmjera aktivne površine habanja na leđnoj površini i ravni određene veličinom radijalnog habanja i leđnog ugla.

6. Definisanje naponskog stanja

6.1. Interferometrijski metod za definisanje naponskog stanja

Prema [13] ispitivanje naponskog stanja reznog dijela alata može da se odredi pomoću interferometrijskog uređaja sl.4 koji se sastoji iz optičkog generatora, optičkog i mehaničkog sistema dinamometarske i kino kamere.



1 - optički generator

2 - sistem sočiva

3 - ogledalo

4 - alat

5 - kino kamera

a i b - bočne strane instrumentalnog materijala

Sl.4

Promjena debljine modela povezana je sa veličinom zbira glavnih napona $\sigma_1 + \sigma_2$ u tačkama ravni modela u oblasti elastičnih deformacija izražava se zakonom:

$$\sigma_1 + \sigma_2 = \frac{E \Delta t}{\mu_i} \quad (6)$$

E - modul elastičnosti

 Δt - promjena debljine modela.

Proračun komponenata napona σ_x , σ_y , τ_{xy} , po zbiru glavnih napona svodi se ka rješavanju diferencijalnih jednačina drugog reda metodom konačnih razlika.

Rješenje ravanskih problema iz teorije elastičnosti svodi se ka nalaženju funkcije F kao rješenja sistema dviju jednačina drugog reda.

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = S(x, y); \quad \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} = 0 \quad (7)$$

Veličina komponentata napona izražava se kroz funkciju napona sljedećim jednačinama:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = - \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \quad (8)$$

Veličina geometrijske funkcije određuje se eksperimentalno interferometarskom metodom tj. rješavanjem Laplasove jednačine (7).

Interferometrijski metod dozvoljava primjenu kao instrumentalnog materijala optički "neaktivni" materijal koji ima visoku čvrstoću i tvrdoću u obliku smole koji se primjenjuje pri polarizaciono-optičkoj metodi. Interferometrijski metod je pogodan za modelska ispitivanja pri čemu alat i režimi obrade na kojima se vrši ispitivanja nemaju praktičnu primjenu u proizvodnim uslovima.

6.2. Proračun toplotnih naprezanja

Rezni elementi pri obradi metala izlaže se značajnim mehaničkim i toplotnim naprezanjima. Analitičke metode ispitivanja toplotno-fizičkih uslova procesa rezanja iziskiva izračunavanje zakonitosti i čvrstoće reznog alata pri djelovanju toplotnih napona. Toplotna naprezanja (opterećenja) dostižu maksimalnu vrijednost pri nestacionarnom - prekidnom rezanju.

Veličina deformacije [10] koje izaziva termo naprezanje određuje se pomoću jednačina:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E_T} (\sigma_x - \sigma_y \mu) + \alpha_T (T - T_0) \\ \epsilon_y &= \frac{1}{E_T} (\sigma_y - \sigma_x \mu) + \alpha_T (T - T_0) \\ \gamma_{xy} &= \frac{1 + \mu_T}{E_T} \tau_{xy} \end{aligned} \quad (9)$$

gdje je:

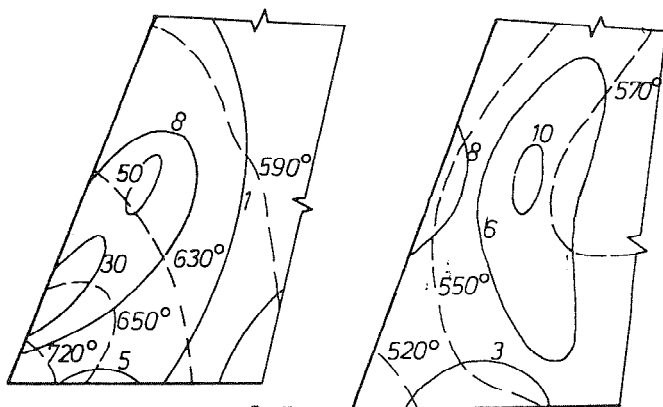
$T - T_0$ - razlika temperatura prilikom zagrijavanja ili hlađenja.

$$E_T = \frac{E}{1 - \mu^2}; \quad \nu_T = (1 + \mu); \quad \mu_T = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (10)$$

E_T, μ_T i α_T - nalaze se u funkcionalnoj zavisnosti od temperature.

Veličina odgovarajućih toplotnih naprezanja se određuje konačnim razlikama pomoću funkcija Ojlera.

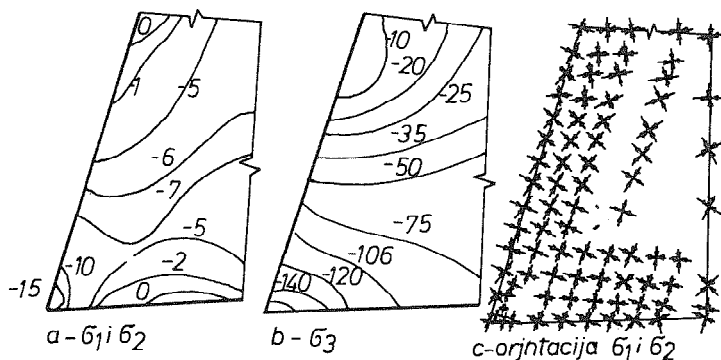
Brzina promjene toplotnih napona zavisi od brzine kretanja ohlađene zone. Raspored toplotnih napona (pune linije σ_T i isprekidane linije - temperature) date su na slici 5.



Sl.5

6.3. Proračun reznih elemenata na zamor

Metode proračuna napona u reznom alatu koje postoje su uglavnom analitičke koje dozvoljavaju učešće raznovrsnih oblika reznih dijelova i oblast kontaktnih opterećenja. Proračun pokazuje da se u reznom dijelu alata pojavljuju složena naponska stanja, prema tome ocijeniti vjerovatnoću razaranja moguće je samo pomoću kriterijuma opšte teorije pojedinog dijela stanja materijala. Raspored napona u reznom alatu i orijentacija prema [12] data je na slici 6.



Sl.6

Ako se površine opišu analitički dobije se sljedeća jednačina za proračun ekvivalentnog napona.

$$\sigma_{\eta} = x\sigma_1 + (1-x)AP \quad (11)$$

$x = \frac{\sigma_p}{\sigma_e}$ - stepen mogućnosti razaranja pri promjeni deformacije koja daje uslove za plastično tečenje materijala i obrazovanje pukotina;

A - strukturni parametar koji je povezan koeficijentom homogenosti materijala;

P - funkcija uticaja koja obuhvata statističke aspekte čvrstoće s obzirom na različite defekte.

$$P = A \left(1 - \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i} \right)$$

σ_i - intenzitet naprezanja

Ekvivalentni napon može da se predstavi kao suma dva složena i to:

- napon koji određuje veličinu plastične deformacije i karakteriše uslove obrazovanja pukotina;
- napon koji karakteriše razvijanje i raspored pukotina.

Ocjena čvrstoće alatnog čelika po kriterijumu Mizesa, Kulona - Mora i prema jednačini (11) dolazi se do skoro identičnih rezultata. Mogu da se ustanove kriteriji čvrstoće na zamor koji traže različitu promjenu amplitude promjenom oscilacija i srednjeg napona ciklusa za složeno naponsko stanje reznog elementa alata. Porastom srednjeg napona kontaktne zone koji ima karakter pritiska se povećava amplituda promjene napona. Čvrstoća na zamor brzoreznog čelika prema [12] definisana je sa:

$$0,15 \sigma_a + \left(\frac{\sigma_n}{185} \right)^{3\alpha_y} = 1 \quad (12)$$

σ_a - veličina amplitude,

σ_n - veličina srednjeg napona u složenim naponima,

α_y - koeficijent koji zavisi od stanja površine.

Na osnovu zavisnosti mogu se sačiniti dijagrami koji dozvoljava ju brzo određivanje količine ciklusa N koje podnosi rezni dio do rezanja.

6.4. Proračun naponsko deformacionog stanja reznog alata metodom konačnih elemenata

Pri proračunu metodom konačnih elemenata rezni dio alata potrebno je podijeliti zamišljenim linijama na konačne elemente koji mogu imati različite oblike i dimenzije. Primjeri podjele reznog di-

jela alata dati su na slici 7. Otpori rezanja iskazani preko napona u zoni rezanja mogu se pisati u obliku:

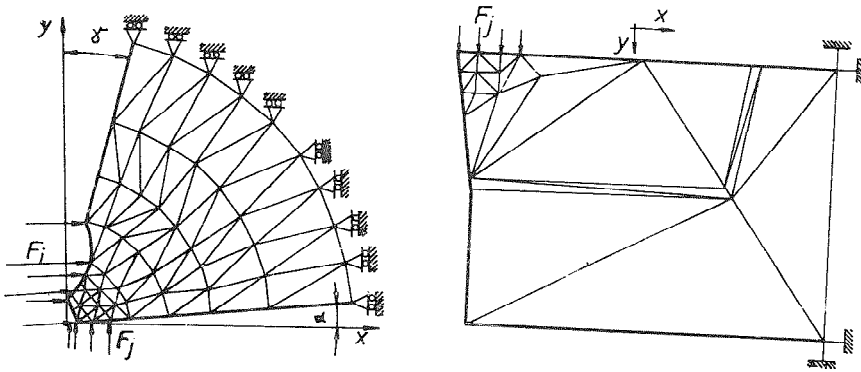
$$R = \iiint_V \bar{\sigma}_n dV \quad (13)$$

pri čemu je:

R - rezultujući otpor rezanja,

$\bar{\sigma}_n$ - veličina napona u posmatranoj tački,

V - zapremina.



Sl.7

Komponente otpora rezanja dobivene su iz uslova ravnoteže sila u zoni smicanja.

$$\begin{aligned} F_1 &= \int (\bar{\sigma}_z a_z + \bar{\tau}_{xz} a_x + \bar{\tau}_{yz} a_y) dV \\ F_2 &= \int (\bar{\tau}_{xy} a_x + \bar{\sigma}_y a_y + \bar{\tau}_{yz} a_z) dV \\ F_3 &= \int (\bar{\tau}_{xz} a_z + \bar{\tau}_{xy} a_y + \bar{\sigma}_x a_x) dV \end{aligned} \quad (14)$$

a_x ; a_y ; a_z - koeficijenti smjera normale na ravan smicanja u koordinatnom sistemu O_{xyz} .

Elementarna otpornost deformacije je:

$$d\bar{\sigma} = \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \dot{\varepsilon}} d\dot{\varepsilon} - \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \theta} d\theta \quad (15)$$

gdje je:

$d\bar{\sigma}$ - elementarna otpornost deformacije

θ - temperatura

ε - deformacija

$\dot{\varepsilon}$ - intenzitet deformacije.

U polarnom koordinatnom sistemu diferencijalne jednačine ravnoteže napona reznog dijela alata, pri zanemarenim zapreminskim sila-

ma, imaju oblik:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + 2 \frac{\tau_r}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

gdje su:

$\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$ - komponente normalnog napona

$\tau_{r\varphi}, \tau_{rz}, \tau_{\varphi z}$ - komponente napona smicanja.

Diferencijalne jednačine ravnoteže temperaturnih napona u reznom dijelu alata imaju oblik:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= \frac{E}{1-2\nu} \frac{\partial \theta}{\partial x} \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= \frac{E}{1-2\nu} \frac{\partial \theta}{\partial y} \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= \frac{E}{1-2\nu} \frac{\partial \theta}{\partial z} \end{aligned} \quad (17)$$

gdje su:

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - komponente normalnog napona

$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ - komponente napona smicanja

α - koeficijent temperaturnog širenja

θ - temperatura

E - modul elastičnosti.

Pod uticajem opterećenja elementi se deformišu usljed čega se pomjeraju čvorovi. Rezultujuće pomjeranje može se pisati u obliku:

$$\{q\} = \{u, v, w\} \quad (18)$$

Komponentne veličine pomjeranja iskazuju se pomoću koordinata u linearno aproksimiranom obliku:

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z \\ v &= \alpha_5 + \alpha_6 x + \alpha_7 y + \alpha_8 z \\ w &= \alpha_9 + \alpha_{10} x + \alpha_{11} y + \alpha_{12} z \end{aligned} \quad (19)$$

Nepoznate veličine $\alpha_1, \dots, \alpha_{12}$ određuju se primjenom varijacionog principa na deformaciju elastičnog tijela što možemo pisati u matricnom obliku:

$$\{\delta q\} \{R\} = \int_V \{\delta q\} \{\sigma\} dV$$

pošto je $\{\varepsilon\} = [D]\{q\}$ i $\{\sigma\} = [E]\{q\}$ možemo napisati da je

$\{R\} = \left[\int [D]^T \{\varepsilon\} dV \right]$ ili $\{R\} = [K]\{q\}$
 pri čemu je: $[K] = \int [D][E] dV$ - matrica krutosti elementa.

Veza između pomjeranja i koeficijenta α data je jednačinom:

$$\{q\} = [B]\{\alpha\} \quad (20)$$

a veličina naprežanja: $\{\sigma\} = [E]\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}$

pri čemu je $\{\varepsilon_0\}$ - temperaturna deformacija.

Pri analizi naponskog stanja promjenljivog opterećenja polazi se od jednačine:

$$[M]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{P(t)\} \quad (21)$$

M - matrica masa slobodnog dijela noža

P - poremećajna sila.

Za formiranje matrice krutosti sistema treba u njoj odrediti mjesto svakog elementa matrice konačnog elementa. Pri dimenzionisanju reznog dijela alata dovoljno je naći samo napone u opasnim tačkama koje se nalaze na grudnoj površini na udaljenosti r od sječiva.

Ekvivalentni napon možemo da pišemo u obliku:

$$\sigma_e = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + \tau_{xy}^2 \quad (22)$$

i u opasnim tačkama on je jednak maksimalnom:

$$\sigma_e \max = \sigma_1 \max \leq |\sigma| = \frac{\sigma_y}{\nu} \quad (23)$$

7. Zaključak

Na osnovu iznijetog daju se sljedeći zaključci:

1. Dimenzionisanje reznih elemenata alata treba da se sprovodi po kriterijumu maksimalne postojanosti alata što bi omogućilo ostvarivanje većih tehnoeekonomskih efekata.
2. Definisane naponskih stanja ima za cilj optimizaciju alata s obzirom na pouzdanost, koja predstavlja najvažnije svojstvo kvaliteta alata i uklanjanje iznenadnog otkaza alata.
3. Napouzdaniji način proračuna naponskog stanja je pomoću metode konačnih elemenata jer se prostor u kome se vrši proračun dijeli na konačne elemente i tako dobije naprežanje od tačke do tačke.
4. Poznavajući raspored naponskih stanja na reznom dijelu alata omogućava provjeru stepena sigurnosti reznog dijela i upoređivanje sa preporučenim vrijednostima

8. Literatura

- [1] D.Vukelja S.Gajić Prilog optimizaciji reznih elemenata alata, Tehnika br.2, Beograd 1978.
- [2] V.Bobrov Osnovii teorii rezania metallov, Moskva 1975.
- [3] T.Loladze Iznos režušeg instrumenta, Moskva Mašgiz 1958.
- [4] D.Vukelja Analiza naprežanja u sječivima alata metodom konačnih elemenata, Zbornik radova BIAM Zagreb 1976.
- [5] V.Ekimov Verovatnostnie metodi v stroilelnoj mehanike korablja, Sudostroenie, Leningrad 1966.
- [6] B.Hoffmeister, Uber den Verscheibam Walzfraser. TH Aachen 1957.
- [7] W.Kattwinkel, Untersuchung an Schneiden spaneder Werkzege mit Hilfe der Spannungsoptik. TH Aachen 1957.
- [8] H.D.Klein Eigenspannungen in metallischen Werketucken durch ein- und mehramalige spanende Bearbeitung. Technische Universitat 1971.
- [9] V.Šolaja Korelacija habanja alata, dimenzijska tačnost i kvalitet površine. Beograd 1971.
- [10] A.N.Vestfalj Rasčot termičeskih naprežanij u rježušćem kline instrumenta. Zbornik, Nadežnost režušeg instrumenta. Kiev 1975.
- [11] M.H.Utješav Kontaktne napreženija na okruglenoj režušćej kromke i dvojnoj pjerednjoj pavarhnosti instrumenta, Zbornik štatej, Nadežnost režušeg instrumenta, Kiev 1972.
- [12] V.A.Ostafev Ustalosnaja pročnost instrumentalnih materijalof pri složenom urprjaženom sastajnu, Zbornik štatej, Nadežnost režušeg instrumenta, Kiev 1972.
- [13] R.E.Novinski M.H.Utešev E.V.Artamanov, Instrumenta interferometričaskim metodom pri rezanii s permeni tolcini sreza, Zbornik štatej, Nadežnost režušeg instrumenta, Kiev 1972.

A. Mišković

LES MÉTHODES POUR LA DÉFINITION DE L'ÉTAT DE TENSION DANS LES OUTILS DE COUPAGE

La définition de l'état de tension dans les outils de coupage est d'une grande importance. Il existe plusieurs méthodes à l'aide desquelles on peut définir cet état de tension. Les modèles proposés ont pour but de choisir la géométrie optimale de l'élément de coupage pour que l'endurance soit la plus grande possible.

Dans le présent travail on a donné les explications des facteurs fondamentaux qui causent la perte de diverses facultés des outils comme aussi un aperçu des méthodes servant de pouvoir plus facilement faire un choix de la méthode de calcul et de comparer des résultats avec les valeurs recommandées.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

D. Vukelja^{*)}

PRILOG STUDIJI PRACENJA VELIČINE POHABANOSTI ALATA PRI OBRADI METALA REZANJEM^{**)}

1. Uvod

U radu se daje korišćenjem metode konačnih elemenata, proračun priraštaja temperature u temperaturskom polju, pločice alata od tvrdog metala, preko kojih je praćena veličina pohabanosti, kontaktnih površina pločice sa radnim predmetom i strugotinom, pri obradi metala rezanjem.

U vezi s tim, veličina pohabanosti pratila bi se direktno i neprekidno u toku izvođenja procesa rezanja, a da se pri tome ne prekida sam proces rezanja metala.

Dobiveni rezultati mogu da se koriste za adaptivno upravljanje, a u jednostavnijim slučajevima za procenu veličine zatupljenosti alata.

2. Prethodna razmatranja

Već duže vremena radi se na identifikaciji veličine pohabanosti alata u procesu rezanja, a za potrebe uvođenja adaptivnog upravljanja i optimizacije procesa rezanja, u cilju postizanja maksimalnih tehnoeekonomskih efekata.

Tako i ovaj prilog predstavlja logičan nastavak ranijih napora datih u [1]. Tu je pokazano, preko većeg broja izvedenih eksperimenata

*) Dr Dušan Vukelja, dipl.ing, red. prof. Mašinskog fakulteta u Mostaru.

***) Raćeno u Zavodu za mašinstvo Mašinskog fakulteta u Mostaru kao deo projekta: ANALIZA NAPONSKOG STANJA U REZNIM ELEMENTIMA AKATA METODOM KONAČNIH ELEMENATA u čijem finansiranju učestvuje Republićka zajednica za naućni rad BiH i Industrija alata Trebinje.

menata, da se sa povećanjem pohabanosti temperature u temperaturnom polju povećava, dok srednja koja se meri preko prirodnog termopara ostaje približno konstantnom.

Do povećanja temperatura u pločici dolazi usled povećanja kontaktnih površina reznih elemenata pločice (alata) preko kojih prelaze veće količine toplotne energije u alat u odnosu na oštar alat.

Š obzirom da je proces habanja nepovratan proces modeliranje veličine pohabanosti izvršeno je izbacivanjem pojedinih elemenata (onih koji usled habanja nestaju).

3. Proračun temperatura i njihovih priraštaja

Pri proračunu temperatura u temperaturnom polju pločice pomoću metode konačnih elemenata vrši se najpre podela pločice zamišljenim linijama na elemente, sl.1, koji se numerišu. Numerišu se takođe i čvorovi kojima se za potrebe proračuna određuju koordinate. Pri tome oblici elemenata mogu biti različiti [2], tu je data i opširna teorija za primenu metode konačnih elemenata.

Dalje se formira funkcional pomoću jednačine kojom se opisuje prenos toplotne energije i rubnih uslova u vidu:

$$\chi = \iiint_V \left\{ \frac{1}{2} [\lambda_x \left(\frac{\partial \theta}{\partial x}\right)^2 + \lambda_y \left(\frac{\partial \theta}{\partial y}\right)^2 + \lambda_z \left(\frac{\partial \theta}{\partial z}\right)^2 - (q - c \frac{\partial \theta}{\partial t}) \theta] \right\} dV + \iint_A q \theta dA + \iint_A \frac{1}{2} \alpha (\theta - \theta_0)^2 dA$$

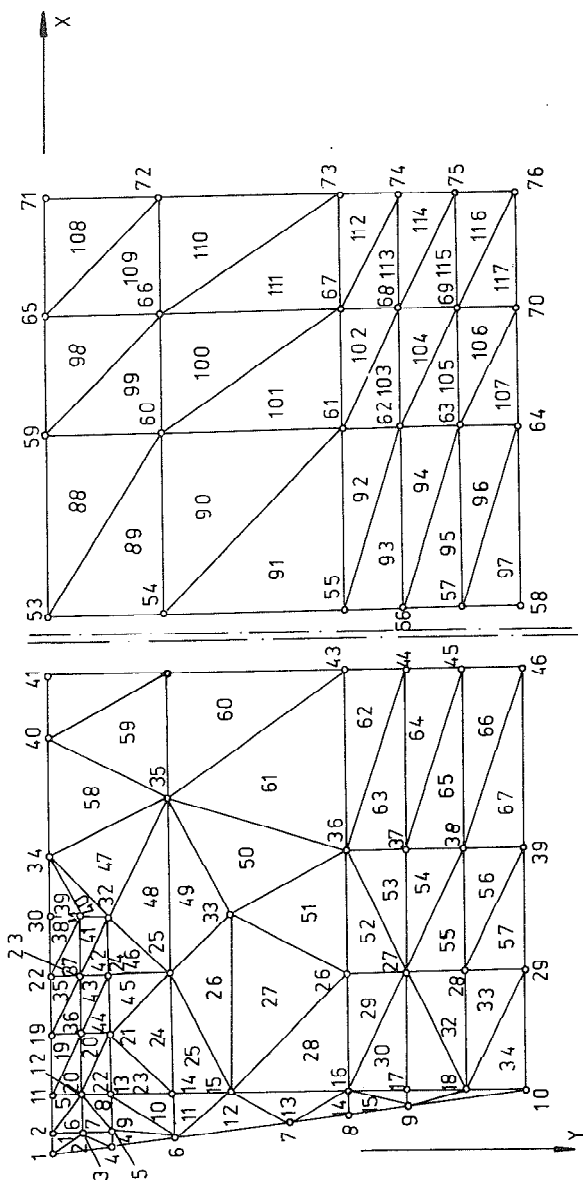
Polazeći od pretpostavke da je temperatura u elementu linearna funkcija koordinata:

$$\theta = [N_i, N_j, N_k, N_e] \{\theta\}$$

i minimizacijom funkcionala, te integriranjem i sabiranjem, nalazi se rešenje za temperaturno polje u vidu:

$$\frac{\lambda}{4\Delta} \begin{bmatrix} b_i^2 + c_i^2 & b_i b_j + c_i c_j & b_i b_k + c_i c_k \\ & b_j^2 + c_j^2 & b_j b_k + c_j c_k \\ & & b_k^2 + c_k^2 \end{bmatrix} + \frac{\alpha L}{3} A + \frac{\rho c \Delta}{3\Delta T} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ & 1 & \frac{1}{2} \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \\ \theta_k \end{Bmatrix} \tau + \frac{\Delta T}{2}$$

$$\frac{Q\Delta}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + (\alpha \theta - q) B + \frac{\rho c \Delta}{3\Delta T} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ & 1 & \frac{1}{2} \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_i \\ \theta_j \\ \theta_k \end{Bmatrix} \tau$$



Sl.1

(za dvodimenzionalni problem - važi za operaciju odsecanja, proračun za uzdužnu obradu je u toku),

pri čemu je:

$$N_i = (a_i + b_i x + c_i y) \frac{1}{2\Delta}$$

$$a_i = x_j y_k - x_k y_j$$

$$b_i = y_j - y_k$$

$$c_i = x_k - x_j$$

$$a_j = x_k y_i - x_i y_k$$

$$a_k = x_i y_j - x_j y_i$$

$$b_j = y_k - y_i$$

$$c_j = x_i - x_k$$

$$b_k = y_i - y_j$$

$$c_k = x_j - x_i$$

λ - koeficijent prenosa toplotne energije,

L - dužina stranice,

Δ - površina elementa,

λ - koeficijent toplotnog provođenja,

τ - vreme.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad A_{jk} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}, \quad A_{ki} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^T, \quad B_{jk} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T, \quad B_{ki} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$

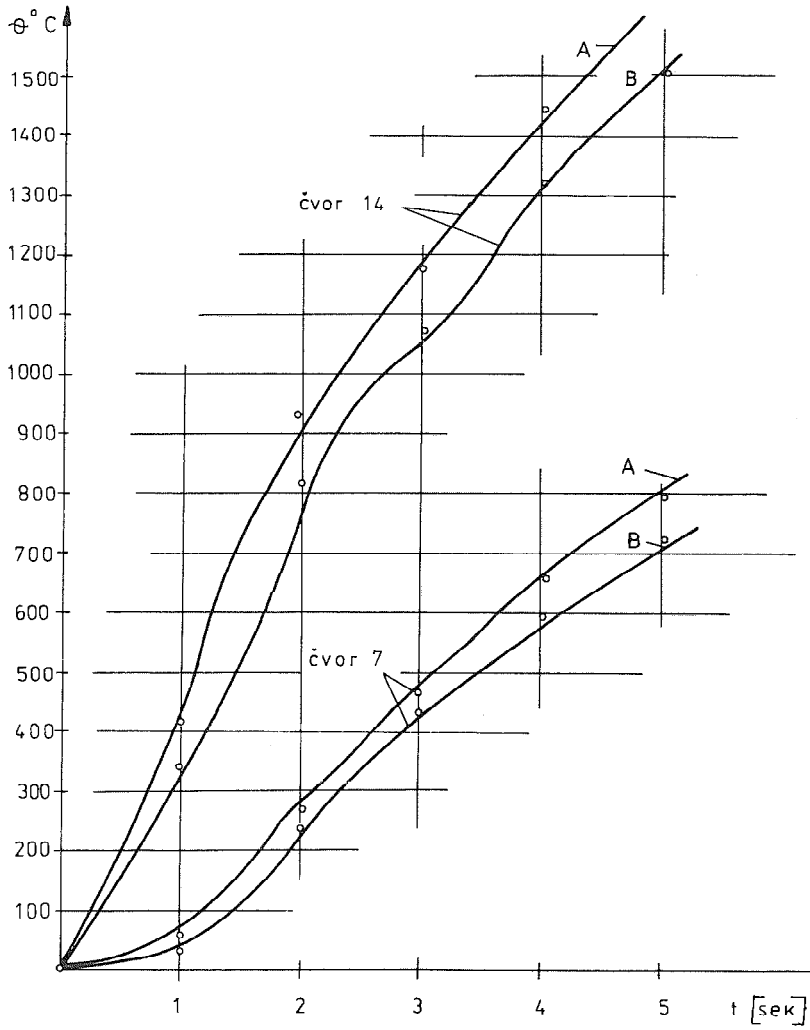
S obzirom da se analizira nestacionarno temperatursko polje priraštaji temperatura proračunavaju se pomoću metode konačnih razlika za koje važi:

$$\theta(\tau + \Delta\tau) = 2\theta\left(\tau + \frac{\Delta\tau}{2}\right) - \theta(\tau)$$

Sistem jednačina za element glasi:

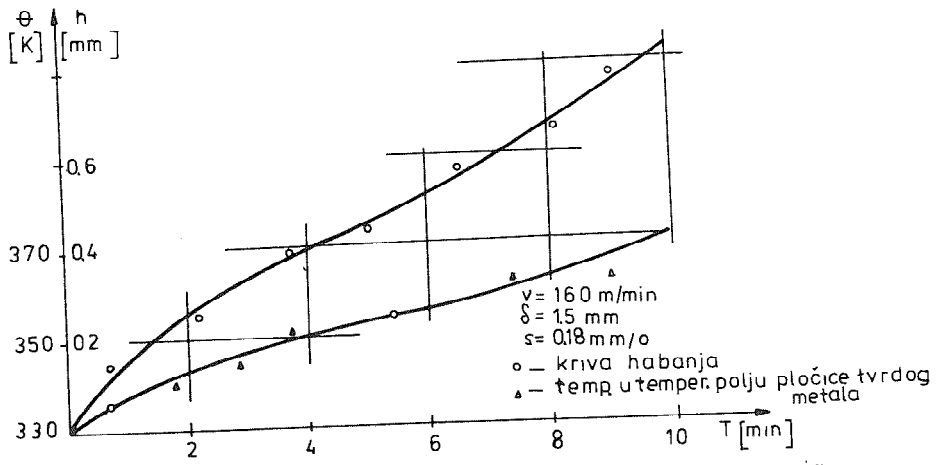
$$\left(H_e + \frac{2}{\Delta\tau} C_e\right)\theta_{\tau + \frac{\Delta\tau}{2}} = P_e + \frac{2}{\Delta\tau} C_e \theta_{e\tau}$$

VII - 5

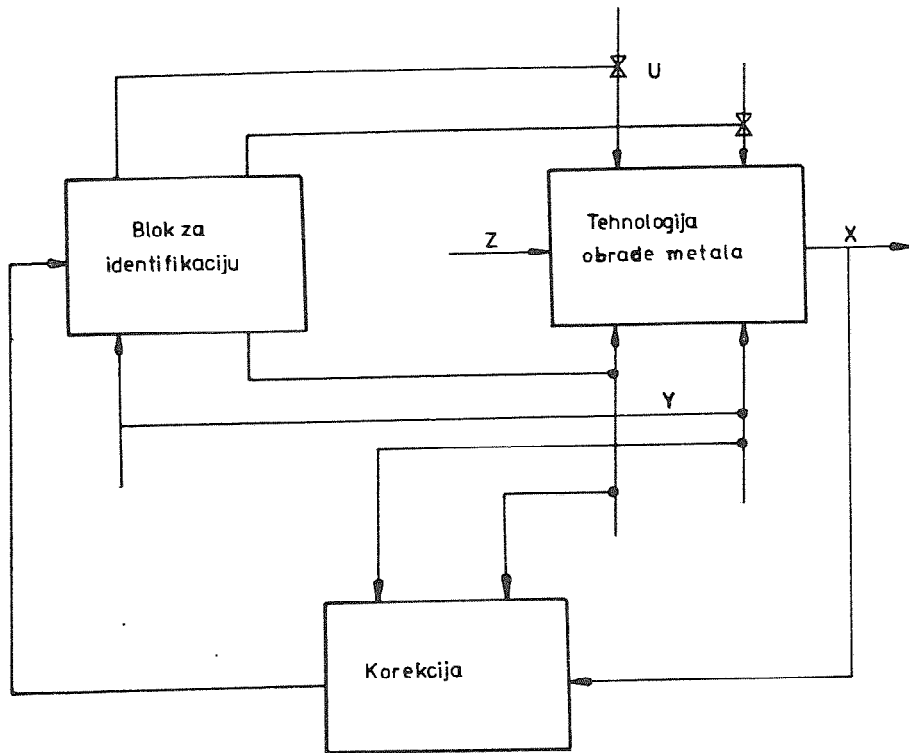


Sl.2

VII - 6



Sl.3 Ovisnost postojanosti alata, habanja i temperature rezanja



Sl.4 Shematski prikaz adaptivnog upravljanja pri obradi metala rezanjem

- Z - spoljašnji poremećaj
- Y - opis sistema
- U - upravljanje
- X - izlazne veličine procesa

pri čemu je:

H_e - matrica provođenja elementa,

Θ_e - matrica temperatura u čvorovima elementa,

P_e - desna strana sistema jednačina.

Iz slike se vidi da je priraštaj temperatura već u prvoj sekundi veći za 80°C kod pohabanog alata u odnosu na oštri nepohabanj (odnosi se na čvor 14).

Kod izvođenja proračuna uzeto je da se toplotna energija dovodi preko stranica 1-2; 2-11; 11-19; 19-22; 22-30; 30-34, i na leđnoj površini preko 1-4; 4-6. Ostala površina pločice posmatra se kao adijabatska.

Za proračun temperatura na pohabanom alatu izbacuju se elementi: 1, 2, 3, 4, 5, 19, 20, 21, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44.

Primećeno je da u toku izvođenja proračuna da veličina elementa utiče na tačnost proračuna.

eksperimentalni rezultati su dati na sl.3, a mogućnost za optimalno upravljanje na sl.4.

autoru je poznato da su metodu konačnih elemenata u svojim proračunima koristili i drugi istraživači. Tako je u radu [2] dat proračun i analiza toplotnih deformacija alata u procesu rezanja.

U radu [3] dat je proračun temperatura u zoni rezanja gde je posmatran uprošćen stacionaran slučaj.

U radu [4] vršen je međutim proračun pomoću metode konačnih elemenata naprezanja u zoni rezanja.

4. Zaključak

Na osnovu iznetog daju se ovi zaključci:

1. Izvršen je proračun priraštaja temperatura u temperaturskom polju pločice od tvrdog metala, a koja nastaje pod uticajem generisane toplotne energije pri obradi metala rezanjem.
2. Na osnovi proračuna proizilazi da se pohabana pločica u odnosu na nepohabanu brže zagreva. Veći su priraštaji što omogućava praćenje veličine pohabanosti merenjem temperature u nekoj tački pločice alata. Svakako da su rezultati tačniji, ako se meri

temperatura u tački koja se nalazi u blizini zone rezanja. Ovi rezultati su verifikovani ranije, videti [1].

3. Proračun je izveden za operaciju koja je slična operaciji odsecanja.

Literatura

- [1] V. Šolaja, D. Vukelja:
The determination of tool wear via the temperature increments in the process of cutting.
- [2] T. Akiyama, H. Kakuchi, 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 No 3 Sept. 1977.
- [3] A. Tay, M. Stevenson, G. De Vahl Davis, P. Oxley:
A numerical Method for calculating temperature distributions in machining, from force and shear angle measurements, Int. J. Mach. Tool Des. Res Voll 16 pp. 335-348, 1976.
- [4] V. Ostafejev, A. Ponomavenko:
Obrabotka točnih otverstij v priborostroenii "Tehnika", Kiev, (1972.)
- [5] O.C. Zienkiewicz:
The Finite Element Method in Engineering Science, M Graw - Hill, London, 1971.

D. Vukelja:

THE DETERMINATION OF TOOL WEAR VIA THE TEMPERATURE INCREMENTS IN THE PROCESS OF CUTTING

The authora apply the finite elements method to determining the temperature increments in a carbide - tool tip when cutting, as related to the tool - tip wear - Their intention is to develop facilites for the continuous in easurement of wear parametres without interrupting the cutting process. The issues might provide a reliable signal for adaptive control, and or in some simple casse they can be applied to the evaluation of tool blunting.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

A. Perić *)

PERIODIČNO REZANJE TEMPERATURE I POSTOJANOST ALATA **)

1. Uvod

U saopštenju se daju kraća izlaganja obimnog istraživanja postojanosti alata u uslovima periodičnog rezanja kao i rezultati rada, koja rješenja su posebno ispitivanja na tačnost i valjanost. Objekat istraživanja bili su postupci struganja i bušenja alatom sa tačno definisanom geometrijom oštrice, u uslovima podobnim serijskoj proizvodnji. Obim istraživanja obuhvatao je dvije vrste čelika za obradak i dvije vrste reznih materijala alata, te obradu bez upotrebe rashladno-mazivih sredstava. Cilj istraživanja bio je utvrđivanje uticaja učestalosti rezanja, izazvane uzastopnom promjenom obratka, na fizičke i tehnološke veličine u procesu rezanja. Istraživanja su vršena teoretskim putem a verifikacija putem opita [1 - 8]. Tačnost i valjanost dobijenih rješenja ispitivana je i naknadnom analizom prema rješenjima i metodi drugih autora [9, 10].

2. Pojam periodičnog rezanja i učestalosti rezanja

Proces rezanja može da se izvodi kao prekidno ili obično rezanje (sl. 1).

Pod prekidnim rezanjem općenito se podrazumjeva slučaj rezanja sa prekidima u rezanju oštrice alata u toku ili iza svakog obrta obratka ili alata. Prekidi u rezanju mogu biti uslovljeni kinematikom mašine, geometrijom alata ili obratka pa se mogu pojaviti različiti slučajevi prekidnog rezanja.

Svako prekidno rezanje sastoji se iz četiri ponavljajuće faze: urezivanja oštrice alata, stacionarnog procesa rezanja, izlaza oštrice alata iz obratka i praznog hoda oštrice alata.

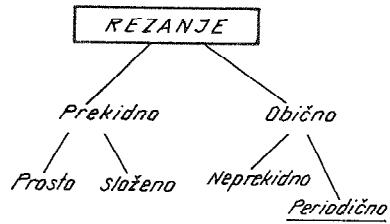
*) Dr Aristid Perić, dipl.inž., vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu, ul. Omladinsko šetalište bb.

**) Radjeno u Zavodu za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu kao dio projekta ISTRAŽIVANJE USLOVA KOMPLEKSNE OPTIMALIZACIJE OBRADE REZANJEM u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za naučni rad SRBiH.

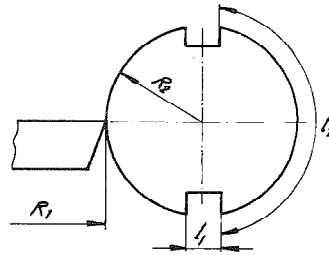
Medjutim, osnovna karakteristika prekidnog rezanja koja ga izdvaja od običnog rezanja je momentalni prekid reza i strugotine pri izlazu oštrice alata i znatan sudar oštrice alata i obratka pri vrlo čestom urezivanju. Rezanje i prekid traju kratko, od nekoliko sekunda do nekoliko desetih sekunda. Sudar izaziva znatan skok sile i temperature u odnosu na obično rezanje. Izazvana mehanička i toplotna opterećenja prouzrokuju kod alata od

tvrdog metala sitne pukotine na alatu što dovodi do ubrzanog loma i smanjenja postojanosti alata. Prekidno rezanje svojstveno je rendisanju usljed kinematike mašine i eventualno geometrije obratka, glodanju usljed geometrije alata i redje struganju pri obradi otkivaka ili zavarenih dijelova usljed geometrije obratka. Opšti slučaj prekidnog rezanja kod spoljašnje obrade može se dati kao na slici 2, dok se konkretni slučajevi mogu dobiti određenim variranjem kinematskih odnosa R_1 , R_2 , broja žljebova i dužina l_1 i l_2 . Iz proizvodne prakse poznato je da se mogu pojaviti i složeni slučajevi prekidnog rezanja, npr. rendisanje niza obradaka ili obratka sa žljebovima.

U proizvodnoj praksi mnogo češće se susreće obično rezanje koje može da bude uslovno neprekidno, dugovremeno i kratkovremeno. Uslovno neprekidno rezanje predstavlja granični slučaj običnog rezanja kada se neprekidno vrši obrada jednog komada u periodu jedne postojanosti alata sa nepokretnom oštricom. Ovo rezanje se predstavlja kao proces stacionarnog provodjenja toplote kada je teoretski vrijeme procesa $t \rightarrow \infty$. Takav slučaj rezanja je rijedak u praksi. U proizvodnji se češće pojavljuje obično dugovremeno i kratkovremeno rezanje tj. periodično rezanje (tabl. 1).



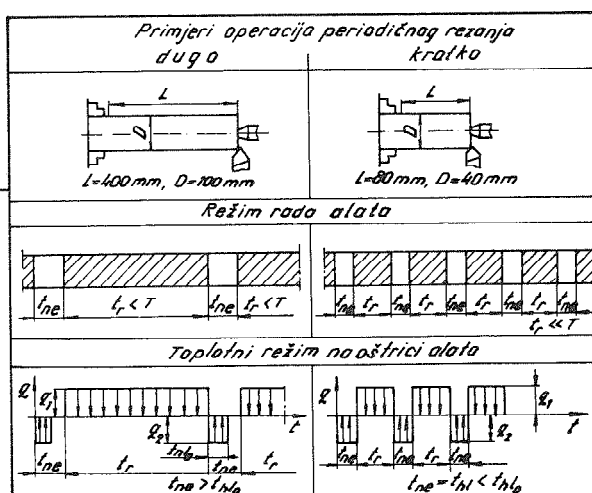
Sl. 1.- Načelni prikaz načina rezanja



Sl. 2.- Opšti slučaj prekidnog rezanja

Pod periodičnim rezanjem općenito se može smatrati slučaj običnog rezanja sa prestankom rezanja oštrice alata uslovljenim uzastopnom promjenom obratka odnosno alata po redosljedu ili okretanjem dijela oštrice alata. I periodično rezanje posmatrano sa stanovišta jedne rezne oštrice općenito se sastoji od četiri faze kao i prekidno rezanje. Medjutim, kod periodičnog rezanja dobija se kontinualna strugotina u toku svakog hoda rezanja i normalan je ulaz i izlaz oštrice alata bez značajnijeg sudara, skoka sile i temperature, što je karakteristika običnog rezanja. Periodično rezanje pojavljuje se kod struganja (jednoalatna i višeealatna obrada) i obrade otvora. Pri periodičnom rezanju bitan značaj za proces rezanja ima radni t_r i neradni hod alata t_{ne} (tabl.1). Režim rada alata pri periodičnom rezanju uslovljava i odgovarajući toplotni režim na oštrici alata. Stoga na kolebanje temperatura bitno utiče dužina radnog hoda alata t_r i vrijeme hladjenja alata t_{hl} .

TABLICA 1. PERIODIČNO REZANJE (ŠEMA)



Taj uticaj može se izraziti stepenom učestalosti rezanja [2-4]

$$I = \frac{1}{1 + \frac{t_{hl}}{t_r}}$$

definisano u intervalu $0 < I \leq 1$, uz uslov da je $t_{hl} \leq t_{hlo}$ gdje je t_{hlo} - granično vrijeme hladjenja alata do temperature okoline. Svakom periodičnom rezanju odgovara odredjeni stepen učestalosti rezanja a za granični slučaj neprekidnog rezanja $I = 1$.

3. Temperature pri periodičnom rezanju

Na osnovu teoretskih proračuna baziranih na termodinamici rezanja [2,3,4,11] utvrđeno je da je pri istom režimu rezanja (v, δ, s) nivo temperatura pri periodičnom rezanju niži od temperature rezanja pri neprekidnom rezanju (sl.3). Isto tako je utvrđeno da se tok kolebanja temperatura pri periodičnom rezanju

ustaljuje nakon nekoliko rezanja i da kolebanje temperatura zavisi od stepena učestalosti rezanja. Daljim teoretskim razmatranjima [3,4,6] dobijen je tzv. testerasti dijagram (sl. 4) te izrazi za mjerodavnu temperaturu rezanja u odnosu na proces habanja alata

$$\theta_p = \frac{1}{T} \int_0^T \theta(t) dt \text{ ili } \theta_p = \frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} \theta(t) dt$$

gdje je T -postojanost alata pri periodičnom rezanju, t_r - hod zagrijavanja alata,

$\theta(t)$ - temperaturna funkcija toka temperatura.

Konačno rješenje za mjerodavnu temperaturu rezanja pri periodičnom rezanju dobijeno je rješavanjem integrala, upotrebom određenog metoda [3,4,6].

Teoretski proračuni vršeni su na računaru rješavanjem određenog modela jednačina. Numeričkom integracijom određena je zavisnost mjerodavne temperature rezanja

za razne stepene učestalosti rezanja u intervalu $0 < I \leq 1$ (sl. 5). Dalje je grafička zavisnost $\theta_p - I$ aproksimirana jednačinom elipse

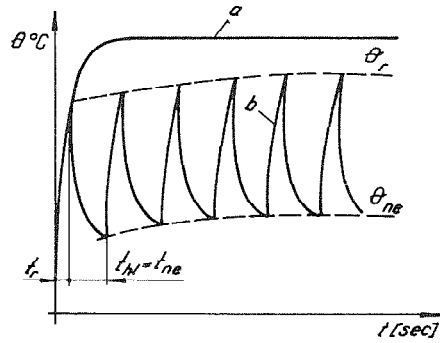
$$\frac{(I - a)^2}{a^2} + \frac{(\theta_p - p)^2}{b^2} = 1$$

gdje je a i b - poluose elipse, a p - koordinate središta elipse u odnosu na koordinatni sistem θ, I . Konačno je dobijeno da je

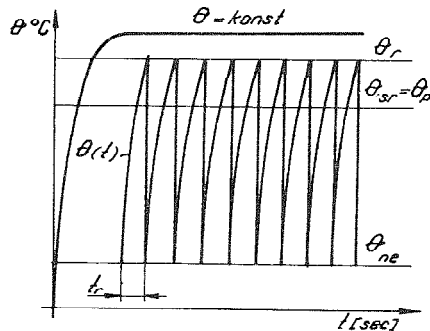
$$\theta_p = \theta \left[1 - \frac{b}{\theta} \left(1 - \sqrt{1 - (I - a)^2} \right) \right]$$

odnosno

$$\theta_p = u \theta$$



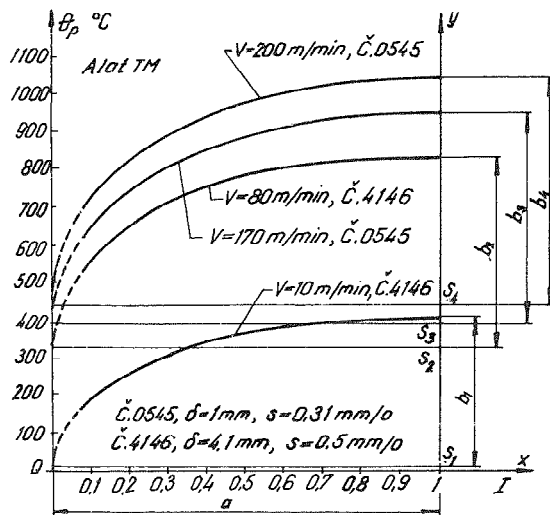
Sl. 3.- Temperature pri neprekidnom (a) i periodičnom rezanju (b) (šema)



S. 4.- Testerasti dijagram i mjerodavna temperatura rezanja (šema)

gdje je I - stepen učestalosti rezanja, θ - temperatura rezanja pri neprekidnom rezanju, b -konstanta (ovisno od uslova rezanja), u -uticaj učestalosti rezanja.

Temperatura rezanja pri periodičnom rezanju sa konstantnim režimom rezanja i ostalim konstantnim uslovima u opštem slučaju zavisi od učestalosti rezanja. Funkcijska zavisnost $u = f(I)$ data je u tablici 2. za normalno primjenjene režime rezanja u intervalu $0 < I \leq 1$.



Sl. 5.- Veza θ_p - I i odgovarajuće elipse za razne brzine rezanja

TABLICA 2. ZAVISNOST $u = f(I)$

4. Postojanost alata pri periodičnom rezanju

Alat	I	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Tvrdi metal	u	0,53	0,6	0,76	0,83	0,88	0,93	0,95	0,97	0,99	1	1
Brzorezni čelik	u	0,36	0,49	0,64	0,74	0,82	0,88	0,92	0,96	0,98	1	1

Temperatura rezanja mo-

že se smatrati glavnim uticajnim faktorom na postojanost alata pri neprekidnom rezanju, u području praktično primjenjenih pomaka, brzina i dubina rezanja za određeni materijal i alat. To važi i za periodično rezanje ako se uzme u obzir mjerodavna temperatura rezanja.

Pošto temperaturi θ pri neprekidnom rezanju odgovara neka postojanost alata T , to će i svakoj temperaturi $\theta(t) > 0$ u početnom periodu nestacionarnosti procesa provođenja toplote (sl. 3 i 4), odnosno zagrijavanja alata odgovarati neka postojanost T_p .

U opštem obliku ta zavisnost može se dati izrazom

$$\frac{T}{T_p} = \left(\frac{\theta(t)}{\theta} \right)^{s_1}$$

gdje je $0 < \theta(t) \leq \theta$, s_1 - eksponent.

VIII - 6

Naime, može se smatrati da će svaka temperatura $\theta(t) > 0$ biti jednaka nekó j mjerodavnoj temperaturi rezanja za neki slučaj periodičnog rezanja i stoga će

biti
$$T_p \geq T$$

Pošto je $\theta = C_1$ i $T = C_2$ to se dalje dobija

$$T_p = \frac{C_2 C_1^{s_1}}{\theta^{s_1}(t)} = \frac{C_3}{\theta^{s_1}(t)}$$

gdje je $C_3 = C_2 C_1^{s_1} = \text{const.}$

Prema [9], [10], [12] mjera habanja alata za alat sa tačno definisanom oštricom u opštem slučaju je

$$g = \frac{t}{T}$$

gdje je $0 \leq t \leq T$.

Uvrštavanjem izraza za T_p u izraz za g dobija se da je mjera habanja u svakom momentu vremena t

$$g = \frac{1}{C_3} \theta^{s_1}(t) t$$

Intenzivnost odnosno brzina habanja pri periodičnom rezanju u svakom momentu vremena t je

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{C_3} \theta^{s_1}(t)$$

Mjera habanja u momentu vremena postojanosti alata T_p pri periodičnom rezanju je

$$g = 1 = \int_0^{T_p} \frac{1}{C_3} \theta^{s_1}(t) dt = \frac{T_p}{C_3}$$

pa je

$$T_p = \frac{C_3}{\frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} \theta^{s_1}(t) dt}$$

Pošto je ranije uzeto da je $\theta(t) = \theta_p = \text{konst.}$ za neki slučaj periodičnog rezanja, to se uz uslov $s_1 = 1$ rješavanjem integrala u prethodnom izrazu za imenilac dobija θ_p pa je

$$T_p = \frac{C_3}{\theta_p}$$

VIII - 7

To je u skladu sa ranijom konstatacijom da i kod periodičnog rezanja na postojanost alata najbitnije utiče temperatura. Dokaz da je $s_1 = 1$ može se dati i na drugi način.

Pošto je proces rezanja periodičan to se funkcija $\theta(t) = \theta_p = \text{konst.}$ može zamijeniti odgovarajućom funkcijom kolebanja temperatura $\theta(t)$ u toku radnog hoda alata t_r pa se srednja vrijednost podintegralne funkcije sada može odrediti na dužini jednog radnog hoda alata pa je

$$\bar{T}_p = \frac{C_3}{\frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} \theta s_1(t) dt}$$

Budući da na postojanost alata pri određenom periodičnom rezanju ($C_3 = \text{konst}$) bitan uticaj ima mjerodavna temperatura θ_p to moraju biti zadovoljene jednakosti

$$\frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} \theta s_1(t) dt = \frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} \theta(t) dt = \theta_p ; s_1 = 1$$

Ukoliko ne bi važile ove jednakosti onda pri graničnom slučaju periodičnog rezanja ($I = 1, u = 1$) tj. pri neprekidnom rezanju važila nejednakost

$$\theta_{p, I=1} = \frac{1}{t_r} \int_0^{t_r} \theta s_1(t) dt \neq \theta$$

Pošto takav granični slučaj nije moguć [3,4], to ostaju kao važeće date jednakosti pa se dobija

$$\bar{T}_p = \frac{C_3}{\theta_p}$$

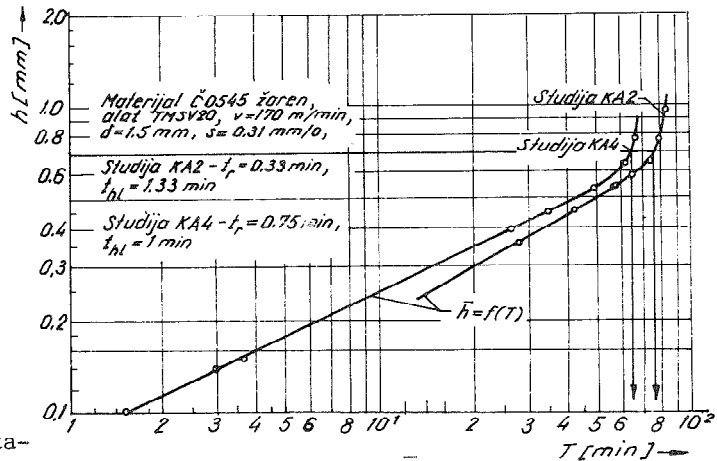
Za $s_1 = 1$ je $C_3 = \theta T$ a pošto je $\theta_p = u \theta$ to se konačno dobija

$$\bar{T}_p = \frac{T}{u}$$

Ovim teoretski izvedenim izrazom data je zavisnost postojanosti alata pri periodičnom rezanju od uticaja učestalosti rezanja. Ova zavisnost važi za periodično rezanje tj. za obično rezanje u uslovima intermitirajućeg rada uslovljenog uzastopnim promjenama obratka na mašini odnosno alata po redoslijedu te za područje praktično primjenjenih režima rezanja i alat sa tačno definisanom oštricom od tvrdog metala, brzoreznog i ugljeničnog čelika. Izvedena zakonitost ne važi za alate sa nedefinisanom oštricom (tocila). Za keramičke materijale alata ovu zakonitost bi trebalo posebno ispitati.

5. Eksperimentalno provjeravanje

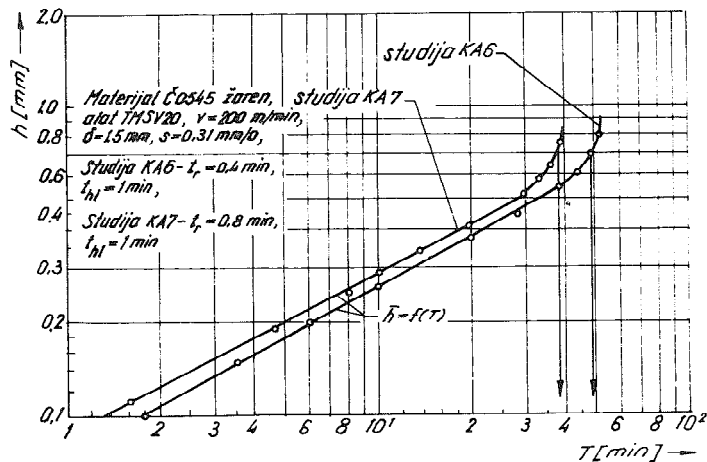
Eksperimentalno provjeravanje zakonitosti $T_p = f(u)$ izvršeno je u okviru obimnog eksperimentalnog istraživanja na struganju i bušenju čelika Č. 4146 i Č. o545 alatom od tvrdog metala i brzoreznog čelika.

Sl. 6. - Krive habanja $\bar{h} = f(T)$ (struganje)

Pri tome su vršena mjerenja sila, temperatura i habanja alata [1 - 8].

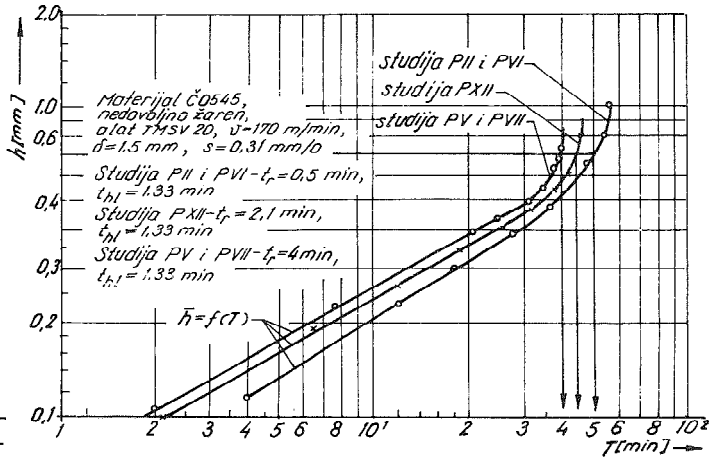
Dio rezultata istraživanja koji se odnose na habanje alata pri periodičnom struganju ukratko je dat u ovome saopštenju.

Na slikama 6, 7 i 8 dati su dobijeni uporedni dijagrami krivih habanja pri struganju alatom od tvrdog metala bez upotrebe rashladno-mazivog sredstva. Dijagrami habanja alata dobijeni su posebnom tehnikom i praćenjem prosječnog habanja alata za razne slučajeve učestalosti rezanja. U dijagramima je uočljivo, da se pri ostalim konstantnim uslovima a pri promjeni učestalosti rezanja dobijaju uvijek druge krive habanja alata sa drugom postojanosti alata. Za svaki opit može se na osnovu zadatih vrijednosti t_r i t_{hl} odrediti veličina I i u . Skup tačaka T , u za

Sl. 7. - Krive habanja $\bar{h} = f(T)$ (struganje)

grupu pripadajućih opita prikazan na sl. 9 u većini slučajeva pada blizu prave koja ima nagib od 45° u odnosu na ose. Iz sl. 9 dobija se da je jednačina tih pravaca

$$\log T_p = \log T - \log u \text{ ili } T_p = \frac{T}{u}$$



Sl. 8.- Krive habanja $\bar{h} = f(T)$ (struganje)

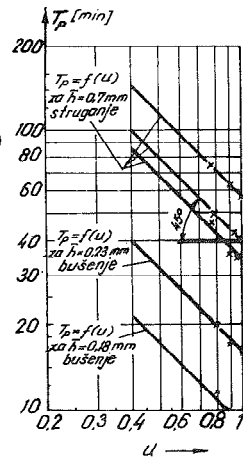
Ovaj eksperimentalno dobijeni izraz jednak je teoretski izvedenoj zakonitosti za postojanost alata pri periodičnom rezanju. Odstupanja opitom dobijenih tačaka od pravaca su relativno mala i iznose od 1 - 10%.

6. Uporedna analiza valjanosti i tačnosti

Uporedna analiza valjanosti i tačnosti zakonitosti $T_p = f(u)$ izvršena je i prema rješenjima i metodi drugih autora [9, 10]. Prema [9] formula za postojanost alata glasi

$$T_p = \frac{C_{v\theta} t_r}{v^x \int_0^{t_r} \theta^y(t) dt}$$

gdje je v - brzina rezanja u m/min; $\theta(t)$ - temperaturna funkcija u °C, određena analitički ili eksperimentalno, t_r - radni hod alata u min, $C_{v\theta}, x, y$ - vrijednosti određene na osnovu opita i metode [10] date u tabeli 3.



Sl. 9.- Opitno dobijena veza $T_p = f(u)$

Proračun I i II

a) Opitni podaci (sl. 6)

TABLICA 3. OPITNI PODACI I FORMULE

KA2 - $T_p(t_1) = 75 \text{ min}, t_r = 0.33 \text{ min}$
 $= 19.8 \text{ s}, t_{h1} = 1.33 \text{ min} = 79.8 \text{ s}$
 $I \approx 0.2, u = 0.76$

Opitni podaci	Formule za proračun
$T_p(t_1), T_p(t_2), T = \frac{C_v}{v^{1/m}}$	$y = \frac{\log \frac{T_p}{T_2}}{b \log \left(\frac{1}{t_1} \right)}$
$\theta = C_\theta v^n; \theta(t) = dt^b$	$x = \frac{1}{m} - ny$
	$C_{v\theta} = C_1^y C_v$

VIII - 10

$$KA4 - \bar{T}_p(t_{r2}) = 64 \text{ min}, t_{r2} = 0,75 \text{ min} = 45 \text{ s}, t_{hl2} = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}, I \approx 0,43, u = 0,9$$

$$T = 75 \text{ min}$$

$$C_v = T \cdot \frac{1}{m} = 57 \cdot 170^{0,666} = 7 \cdot 170^{0,666}; C_\theta = \frac{\theta}{\sqrt{x_1 s^4 \cdot d^{x_2}}} = \frac{961}{170^{0,23} \cdot 0,31^{0,14} \cdot 1,5^{0,04}} = 341$$

$$C_1 = C_\theta s^4 d^{x_2} = 341 \cdot 0,31^{0,14} \cdot 1,5^{0,04} = 294; d' = \frac{\theta(t)}{t^b} = \frac{923}{45^{0,5}} = 138$$

Temperature $\theta = 961 \text{ }^\circ\text{C}$ i $\theta_{rmax} = \theta(t) = 923 \text{ }^\circ\text{C}$ dobijene su računski [3]

b) Proračun eksponenata i konstanti

$$y = \frac{\log \frac{75}{64}}{b \log \frac{0,75}{0,33}} = 0,386; x = \frac{1}{m} - z, y = \frac{1}{0,15} - 0,23 \cdot 0,386 = 6,58; C_{v\theta} = 294^{0,386} \cdot 1770^{0,666};$$

c) I - proračun postojanosti alata na osnovu krive KA4

$$\int_0^{t_r} \theta^y(t) dt = \int_0^{t_r} (dt^{0,5})^{0,386} dt = 138^{0,386} \frac{t_r^{1,193}}{1,193} \Big|_0^{45} = 527$$

$$T_p = \frac{294^{0,386} \cdot 1770^{0,666} \cdot 45}{170^{6,58} \cdot 527} = 1,185T = 67,5 \text{ min ili } T_p = \frac{T}{0,85} \text{ tj. } u = 0,85$$

Eksperimentalnim putem dobijeno je $T_p = 64 \text{ min}$, $u \approx 0,9$, a odstupanja postojanosti alata iznose cca 5%.

d) II - proračun postojanosti alata na osnovu krive KA2

$$\int_0^{t_r} \theta^y(t) dt = \int_0^{t_r} (dt^{0,5})^{0,386} dt = 138^{0,386} \frac{t_r^{1,193}}{1,193} \Big|_0^{19,8} = 197,5$$

$$T_p = \frac{294^{0,386} \cdot 1770^{0,666} \cdot 19,8}{170^{6,58} \cdot 197,5} = 1,285T = 73,2 \text{ min ili } T_p = \frac{T}{0,78} \text{ tj. } u = 0,78$$

Eksperimentalnim putem dobijeno je $T_p = 75 \text{ min}$, $u = 0,76$, a odstupanja postojanosti alata iznose cca 2,5%.

Proračun III

Za $I = 0,11$ tj. $t_r = 10 \text{ s}$ i $t_{hl} = 80 \text{ s}$ na osnovu teoretskih izvoda je $u = 0,65$ pa pošto je $T = 57 \text{ min}$, prema teoretskom izrazu dobija se da je $T_p = \frac{T}{u} = \frac{57}{0,66} = 86,4 \text{ min}$.

Proračunom postojanosti alata prema ranije datoj formuli i metodi [9,10] uzimajući u obzir nepromijenjene konstante i eksponente dobija se

$$\int_0^{t_r} \theta^y(t) dt = \int_0^{t_r} (dt^{0,5})^{0,386} dt = 138^{0,386} \frac{t_r^{1,193}}{1,193} \Big|_0^{10} = 87,58$$

$$T_p = \frac{294^{0,386} T^{170^{0,666}} 10}{170^{0,58} 87,58} = 1,5877T = 90,4 \text{ ili } T_p = \frac{T}{0,63} \text{ tj. } u = 0,63$$

Eksperimentalnim putem dobijeno je $T_p = 86,4$ min i $u = 0,66$, a odstupanja postojanosti alata iznose cca 4,4%.

Na osnovu izvedene analize valjanosti i tačnosti može se konstatovati da je teoretski izvedena i eksperimentalno potvrđjena zakonitost

$$T_p = \frac{T}{u}$$

važea jer se isti karakter zakonitosti dobija uporednom analizom prema metodi drugih autora [9, 10]. Isto tako može se konstatovati da je izvedena zakonitost dovoljno tačna jer su odstupanja postojanosti alata dobijena proračunom po obe metode veoma mala (do 5%).

7. Zaključak

Na osnovu teoretskih i eksperimentalnih istraživanja te uporedne analize valjanosti i tačnosti dobijenih teoretskih rješenja može se dati slijedeći zaključak:

Uticao učestalosti rezanja prisutan pri periodičnom rezanju bitno utiče na temperaturu i postojanost alata pa se temperatura rezanja pri periodičnom rezanju, koja biva manja, može u zavisnosti od uticaja učestalosti rezanja izraziti jednačinom prave $\theta_p = u \theta$, dok se postojanost alata pri periodičnom rezanju, koja biva veća, može u zavisnosti od uticaja učestalosti rezanja izraziti jednačinom hiperbole $T_p = \frac{T}{u}$.

Dobijene zavisnosti važe za periodično rezanje tj. za obično rezanje u uslovima intermitirajućeg rada uslovljenog uzastopnim promjenama obradka u proizvodnji, te za područje praktično primjenjenih režima rezanja i alat sa tačno definisanom oštricom od tvrdog metala, brzoreznog i ugljeničnog čelika.

$$T_p = \frac{294^{0,386} T^{170^{6,666}} 10}{170^{6,58} 87,58} = 1,587T = 90,4 \text{ ili } T_p = \frac{T}{0,63} \text{ tj. } u = 0,63$$

Eksperimentalnim putem dobijeno je $T_p = 86,4$ min i $u = 0,66$, a odstupanja postojanosti alata iznose cca 4,4%.

Na osnovu izvedene analize valjanosti i tačnosti može se konstatovati da je teoretski izvedena i eksperimentalno potvrđena zakonitost

$$T_p = \frac{T}{u}$$

važea jer se isti karakter zakonitosti dobija uporednom analizom prema metodi drugih autora [9, 10]. Isto tako može se konstatovati da je izvedena zakonitost dovoljno tačna jer su odstupanja postojanosti alata dobijena proračunom po obe metode veoma mala (do 5%).

7. Z a k l j u č a k

Na osnovu teoretskih i eksperimentalnih istraživanja te uporedne analize valjanosti i tačnosti dobijenih teoretskih rješenja može se dati slijedeći zaključak:

Uticao učestalosti rezanja prisutan pri periodičnom rezanju bitno utiče na temperaturu i postojanost alata pa se temperatura rezanja pri periodičnom rezanju, koja biva manja, može u zavisnosti od uticaja učestalosti rezanja izraziti jednačinom prave $\theta_p = u \theta$, dok se postojanost alata pri periodičnom rezanju, koja biva veća, može u zavisnosti od uticaja učestalosti rezanja izraziti jednačinom hiperbole $T_p = \frac{T}{u}$.

Dobijene zavisnosti važe za periodično rezanje tj. za obično rezanje u uslovima intermitirajućeg rada uslovljenog uzastopnim promjenama obradka u proizvodnji, te za područje praktično primjenjenih režima rezanja i alat sa tačno definisanom oštricom od tvrdog metala, brzoreznog i ugljeničnog čelika.

Reference

- [1] Perić A., Neke osobenosti krive habanja kod struganja, Zbornik radova, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1972
- [2] Perić A., Istraživanje kolebanja temperatura pri periodičnom rezanju, Zbornik radova, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1973
- [3] Perić A., Uticaj različitog toplotnog režima na alatu na fizičke veličine u procesu rezanja, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1974
- [4] Perić A., Istraživanje postojanosti alata pri radioničkim uslovima intermitirajućeg rada uslovljenog promjenom izradka u proizvodnji, Disertacija, 1974
- [5] Perić A., Prilog istraživanju temperatura pri periodičnom rezanju, Zbornik saopštenja, X savjetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1975
- [6] Perić A., Učestalost rezanja i njen uticaj na temperaturu, Zbornik radova, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1976
- [7] Perić A., Istraživanje tehnoloških faktora u procesu rezanja u uslovima obrade podobnim proizvodnoj praksi, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1977
- [8] Perić A., Prilog istraživanju uticaja učestalosti rezanja i hladiva pri bušenju, Zbornik radova, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo, 1977
- [9] Poduraev V.N., Jaroslavcev V.M., Stoikost instrumenta pri prerivistom rezanii, Stanki i instrumenti, 1969
- [10] Poduraev V.N., Obrabotka rezaniem s vibracijami, Mašinostr., Moskva 1970
- [11] Reznikov A.N., Teplofizika rezanija, Mašinostroenie, Moskva, 1969
- [12] Granovskij G.I., O stoikosti instrumenta kak ob ishodnom parametre dlja rasčetov režimov rezanija, Vestnik mašinostroenija, 1965

A. Perić

PERIODICAL CUTTING, TEMPERATURE AND TOOL-LIFE

This paper contains extract of theoretical and experimental research of temperature and tool-life in the conditions of periodical cutting. Periodical cutting is defined like a cutting with interruptions caused by changing the workpiece. At periodical cutting appears the rate of intermitence which influences as a relevant factor on temperature and tool-life. The influence of intermitence on cutting temperature, which becomes lower, can be expressed by a straight line equations $\theta_p = u \theta$. However, the influence of intermitence on tool-life, which becomes higher, can be expressed by hyperbolic equations $T_p = \frac{T}{u}$. This equations are valuable for carbides, high-speed steel and carbon steel tools. Experimental verification and test of validity and accuracy have shown that the above analysis is accurate.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

Mr Velimir Todić*
Milorad Rodić*

VERIFIKACIJA FUNKCIJE POSTOJANOSTI ALATA U OKOLINI OPTIMALNE TAČKE REŽIMA REZANJA

1. U v o d

Savremeni zahtevi tržišta u pogledu raznovrsnosti, kvaliteta i cena proizvoda, traže neprekidno razvijanje savremenih i prilagodjavanje postojećih proizvodnih, odnosno tehnoloških sistema. U uslovima nižih tipova proizvodnje kakvi su u najvećem delu domaće industrije, prilagodjavanje takvim zahtevima omogućiće uvodjenje savremenih tehnoloških procesa kao i usavršavanje i racionalizaciju tehnološke pripreme proizvodnje. Iznalaženjem najracionalnijih rešenja pri projektovanju i razvoju novih tehnoloških procesa ili sistema, moraju se obezbediti najveći tehnoekonomske efekti. Zbog tih zahteva, pri projektovanju tehnoloških procesa moraju se koristiti i metode tehnoekonomske optimizacije.

2. Iterativni model optimizacije obradnih procesa

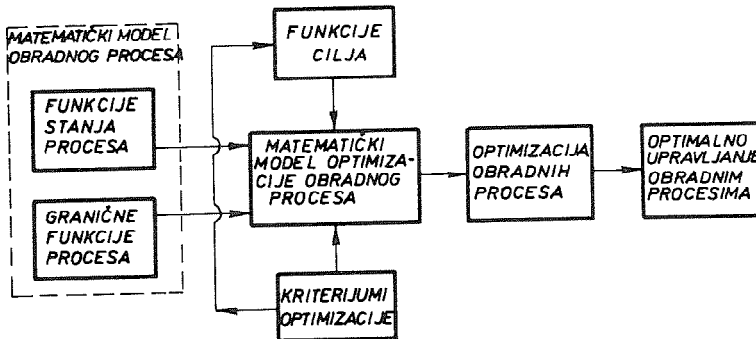
Matematički model optimizacije obradnih procesa zahteva poznavanje karakteristika stanja i ograničenja procesa kao i usvojene kriterijume optimizacije ili funkcije cilja, sl.1.

Optimalno rešenje obradnog procesa biće ono koje daje najveće tehnoekonomske efekte, odnosno najveće vrednosti proizvodnosti, ekonomičnosti, rentabilnosti i dohotka.

Ovakvi zahtevi koji se postavljaju pri izboru optimalne varijante obradnog procesa, usloveli su razvoj i proveru iterativ-

*1) Mr Velimir Todić, dipl.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu

*2) Milorad Rodić, dipl.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad



Slika 1. Matematički model optimizacije obradnih procesa [1]

nog modela optimizacije obradnih procesa [5,6,7]. Iterativni model optimizacije bazira na pouzdanim parametrima i funkcijama obradljivosti. Najznačajnije mesto u skupu funkcija obradljivosti pripada funkciji koja opisuje proces habanja alata, tj. funkciji postojanosti alata koja je u pomenutom modelu optimizacije procesa obrade na strugu korišćena u obliku:

$$T^m = \frac{C_v}{v s^y \delta^x} \quad (1)$$

Za primer uzdužne obrade na strugu kao kriterijumi optimizacije ili funkcije cilja usvojeni su vreme i troškovi obrade kao ekvivalenti proizvodnosti i ekonomičnosti, odnosno:

$$t_k = \frac{L \Delta D}{320} \left(\frac{1}{v s \delta} + \frac{t_1}{\frac{1}{C_v} v^{\frac{1}{m}} - 1 s^{\frac{y}{m}} - 1 \delta^{\frac{x}{m}} - 1} \right) + \frac{\Delta}{\delta} t_{p1} + t_p + t_d + t_{p2} \left| \frac{min}{kom} \right| \quad (2)$$

$$U_o = \frac{L \Delta D}{320} \left(\frac{M + B_1 + K_1}{v s \delta} + \frac{A}{\frac{1}{C_v} v^{\frac{1}{m}} - 1 s^{\frac{y}{m}} - 1 \delta^{\frac{x}{m}}} \right) + B \left| \frac{din}{kom} \right| \quad (3)$$

gde je:

D, L, Δ - prečnik, dužina i dodatak za obradu

v, s, δ - brzina rezanja, pomak i dubina rezanja

t_1 - vreme zamene i podešavanje alata

t_{p1}, t_p, t_d, t_{p2} - vreme povratnog hoda, pomoćno, dodatno i pripremno-završno vreme

M - troškovi amortizacije mašine

B_1 - dodatni troškovi obrade

IX - 3

- K_1 - bruto dohodak poslužioca i reglera svedeni na posmatranu mašinu
B - troškovi čekanja
A - troškovi alata

Iterativni model omogućuje određivanje optimalnih parametara režima rezanja minimiziranjem funkcija cilja (2) ili (3) u trodimenzionalnom režimskom prostoru koji je u svakom posmatranom slučaju definisan skupom tehničkih ograničenja procesa obrade [5,6]. Skup pomenutih ograničenja čine kako ograničenja vezana za mašinu alatku, tako i ograničenja u kojima se pojavljuju parametri i funkcije obradljivosti za posmatrani slučaj alata, obradka i uslova obrade.

Pouzdanost optimalnih parametara režima rezanja (v, s, δ) određenih minimiziranjem funkcija (2) ili (3) u pomenutom prostoru mogućih rešenja, u prvom redu zavisi od pouzdanosti parametara i funkcija obradljivosti medju kojima najznačajnije mesto pripada funkciji (1).

Tako, na primer, ako se parametri režima rezanja koji su dobijeni minimiziranjem izraza (2) uvrste u (1) dobiće se postojanost alata pri kojoj je proizvodnost najveća.

Ako se vrednosti za v, s, δ koje se dobijaju minimiziranjem troškova obrade (3) uvrste u izraz za postojanost (1) dobiće se ona postojanost alata pri kojoj su troškovi obrade najmanji, odnosno ekonomičnost najveća.

Polazeći od ispitane funkcije postojanosti alata [4], u uslovima jednog proizvodnog sistema određeni su optimalni parametri režima uzdužne obrade na strugu stepenaste osovine od č.4732 za slučaj obrade alatom sa reznom pločicom P20. [6]. Pri tome je kriterijum optimizacije bila funkcija troškova obrade (3) u sledećim uslovima:

Strug: "VEBOTS" čelakovice, model SU SS63/A, snage $P = 18$ KW

Alat: Rezna izmenljiva pločica SNMM 120408 P20

Materijal obradka: č.4732, $\sigma_M = 80$ kp/mm²

Uslovi obrade: sa hladjenjem, SPH-10%, BU4

Minutna cena obrade: $M+B_1+K_1=3,29$ din/min, $A=22,50$ din/sečivu.

Primenom iterativnog postupka dobijeni su optimalni parametri režima rezanja: $v_0 = 183$ m/min, $s_0 = 0,312$ mm/ob, $\delta_0 = 3$ mm. Vrednost op-

timalnog pomaka odredilo je ograničenje zahtevanim kvalitetom obradjene površine, IT 13, za koji je prema JUS M.A1.021 hrapavost

$$R_a = 50 \mu m, R_z = 200 \mu m.$$

3. Ispitivanje funkcije postojanosti alata

U cilju dobijanja pouzdane funkcije postojanosti alata u ovom radu se iznose rezultati ispitivanja te funkcije u okolini optimalne tačke režima rezanja u istim uslovima eksperimenta.

Usvojen je trofaktorni ortogonalni plan eksperimenta, sl.2, sa srednjim nivoom koji odgovara napred odredjenim optimalnim parametrima režima rezanja.

Praćenje habanja alata za sve kombinacije režima rezanja prema planu eksperimenta, omogućilo je i crtanje krivih habanja za sva sečiva, sl.2. Kriterijum zatupljenja sečiva bila je širina pojasa habanja na ledjnoj površini jer se nije mogla registrovati značajnija pojava kratera na grudnoj površini.

Obradom rezultata eksperimenta na računaru po programu za trofaktorni eksperiment dobijena je funkcija postojanosti alata

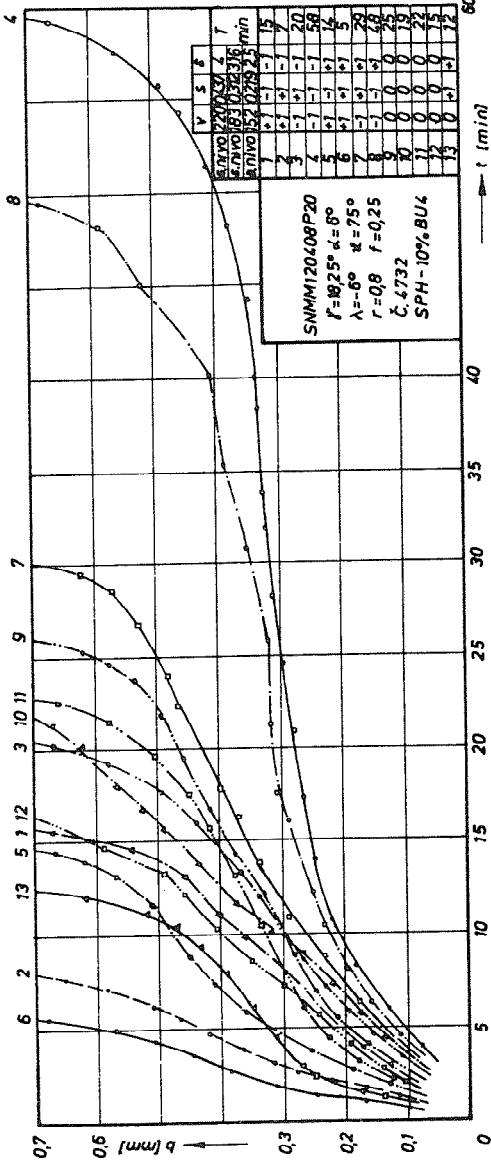
$$T^{0,278} = \frac{286}{v \cdot s^{0,34} \cdot \delta^{0,03}} \quad (4)$$

koja za iste uslove minimiziranjem izraza (3) daje vrlo bliske vrednosti optimalnih parametara režima rezanja u odnosu na režime koji su usvojeni za srednji nivo plana eksperimenta, tj. dobija se $v_0 = 182 \text{ m/min}$, $s_0 = 0,342 \text{ mm/ob}$, $\delta_0 = 3 \text{ mm}$.

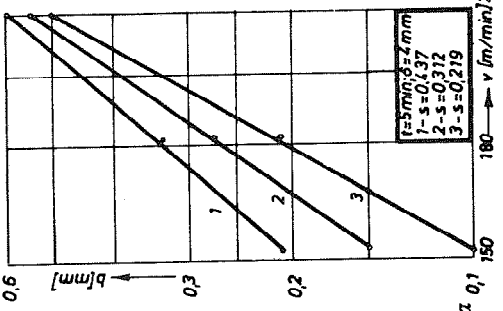
Uticaj pomaka na širinu pojasa habanja na ledjnoj površini pri dubini rezanja $\delta = 4 \text{ mm}$ dat je na sl.3a, odakle se vidi da pri nižim brzinama rezanja pomak ima veći uticaj na širinu pojasa habanja, dok se na sl.3b vidi da posle pet minuta rezanja brzina rezanja znatno više utiče na širinu pojasa habanja alata pri manjim pomacima.

Postojanosti alata koje su postignute režimima rezanja na srednjem nivou plana eksperimenta imaju prosečnu vrednost $\bar{T} = 20 \text{ min}$. Ako se, pak, vrednosti $v_0 = 182 \text{ m/min}$, $s_0 = 0,342 \text{ mm/ob}$, $\delta_0 = 3 \text{ mm}$

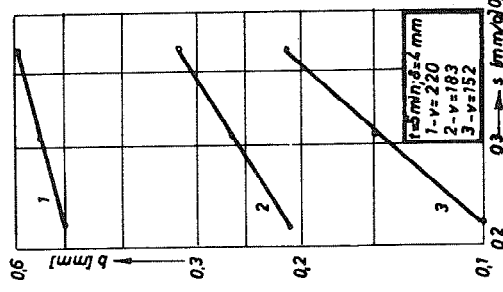
Sl. 2. Krive habanja i planmatrica eksperimenta.



Sl. 3a. Uticaj pomaka 0,1 na habanje alata.



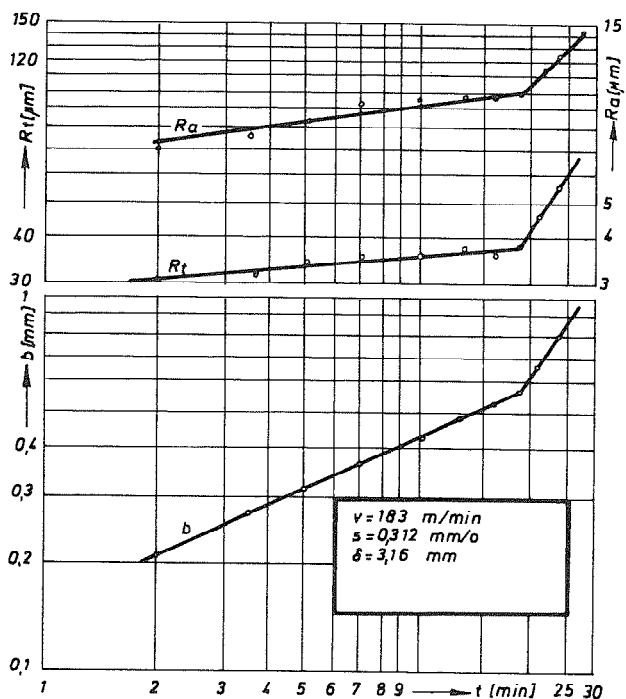
Sl. 3b. Uticaj brzine reza- nja na habanje alata.



uvrste u izraz za postojanost alata (4) dobiće se postojanost, $T = 18 \text{ min}$, što navodi na zaključak da su polazna saznanja o funkciji (4) bila u dovoljnoj meri tačna za date uslove eksperimenta.

4. Ispitivanje kvaliteta obradjene površine

U toku obrade eksperimentalnih uzoraka uzimani su otisci obradjene površine za slučaj obrade režimima na srednjem nivou eksperimenta. Rezultati merenja hrapavosti otisaka dati su na sl.4, odakle se vidi da i u trenutku zatupljenja sečiva pri širini poja-sa habanja $b = 0,8 \text{ mm}$ maksimalna hrapavost iznosi $R_z = 38 \mu\text{m}$. Ovo navodi na zaključak da u posmatranom slučaju hrapavost $R_z = 200 \mu\text{m}$ ne može biti ograničenje koje je odredilo pomak, $s_0 = 0,312 \text{ mm/ob}$, prema nejednačini u skupu ograničenja za pomak [5,7].



Slika 4. Uticaj vremena rezanja na kvalitet obradjene površine

5. Z a k l j u č a k

Izloženi rezultati pokazuju da je iterativni postupak optimizacije obradnih procesa dovoljno efikasan uz uslov primene pouzdanih funkcija stanja i ograničenja procesa obrade.

Polazeći od literaturnih podataka moguće je dobiti pouzdane funkcije stanja i ograničenja proizvodnim ispitivanjima u okolini optimalne tačke režima rezanja.

Reference

- [1] Stanić, J., Matematičke osnove tehnokonomske optimizacije obradnih procesa, Mašinski fakultet, Beograd, 1976.
- [2] Velikanov, K., M., Novožilov, V., I., Ekonomičnie režimi rezanja metalov, Mašinostroenie, 1972, Lenjingrad.
- [3] Degenhardt, U., Grundlagen zur Optimierung der Zerspanungsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung des Werkzeugverschleisses, Dissertation, 1968, Aachen.
- [4] Vukelja, D., Šolaja, V., Utvrđivanje obradljivosti materijala preko temperaturske metode, VII savetovanje proizvodnog mašinstva, Novi Sad, 1971.
- [5] Todić, V., Banjac, D., Primena iterativne metode za određivanje optimalnih parametara režima rezanja pri obradi na strugu, Cavtat, 1977.
- [6] Banjac, D., Todić, V., Izbor i primena merodavnih funkcija cilja u optimizaciji tehnoloških procesa, Prvi naučnostručni skup, PPS'77, Novi Sad.
- [7] Todić, V., Određivanje optimalnih parametara režima rezanja pri obradi na strugu, Magistarski rad, Novi Sad, 1968.

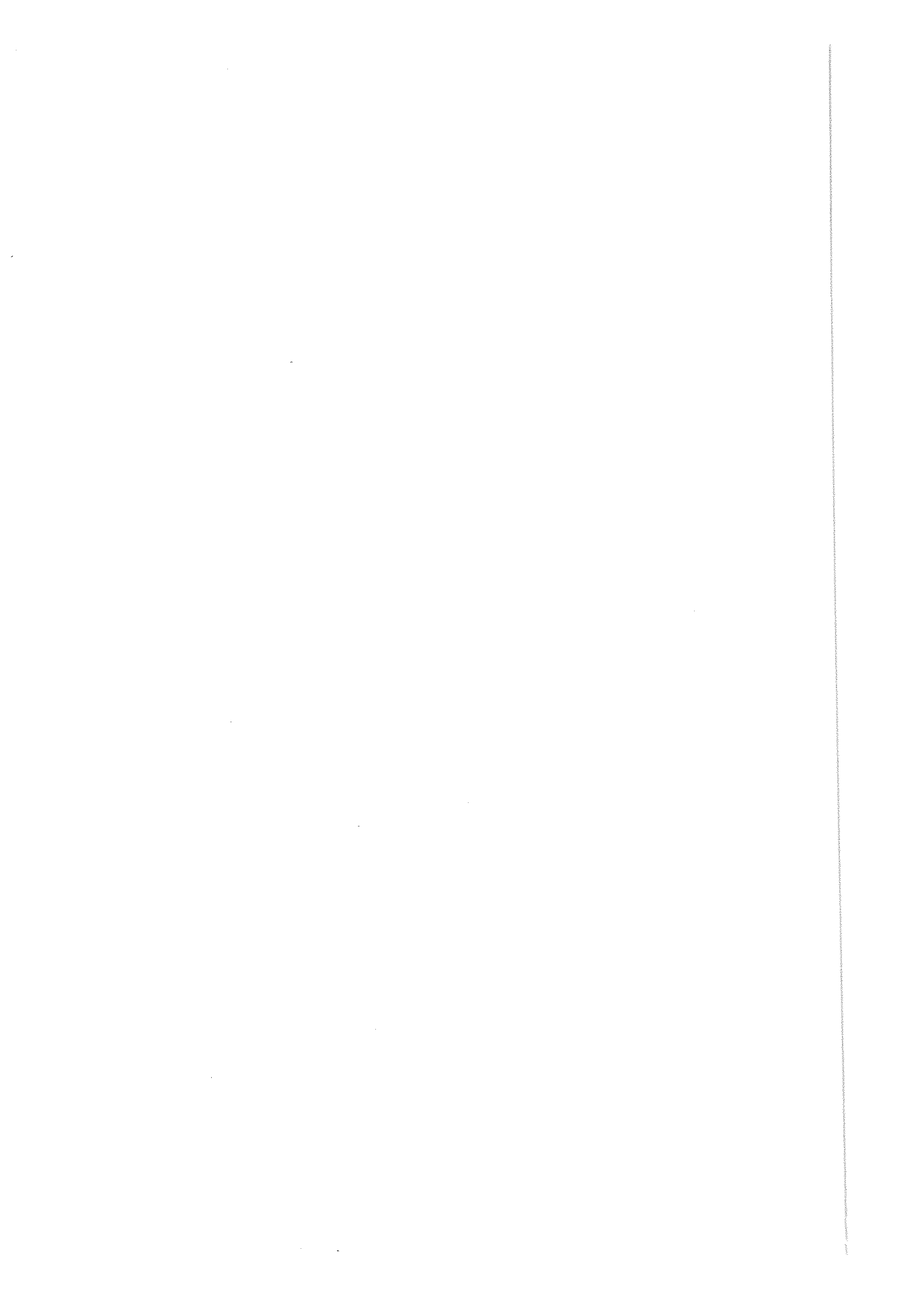
V. Todić
M. Rodić

Zusammenfassung

In dem mathematischen Modell der Optimierung von Bearbeitungsprozess, das auf bekannten Funktionen und Bearbeitungsparametern begründet ist, die Funktion die Standzeitfunktion ist von besonderer Bedeutung. Sie stellt eine der wichtigsten Funktionen des Bearbeitungsprozesses dar.

Höbe Zuverlässigkeit dieser Funktion ermöglicht eine optimale Steuerung wie auch eine Qualität-Bewertung in jedem Bearbeitungsprozess.

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Untersuchung von Standzeitfunktion für ein konkretes Bearbeitungsprozess präsentiert.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

E. Kuljanić, E. Lemaher^{+/}

MJERENJE SILE REZANJA I TROŠENJA ALATA KOD PROVLAČENJA^{++/}

1. Uvod

Postupak provlačenja dobiva sve veći značaj u strojogradnji, a posebno u automobilskoj industriji zbog sve većih zahtjeva za povećanu proizvodnost i kvalitetu, te za smanjenje troškova izrade. Pored toga jednostavno se može primjeniti automatizacija i potrebna je mala obučenost radnika. Jedna provlakačica može zamjeniti više alatnih strojeva, te s time bitno utječemo na smanjenje investicionih troškova. Medjutim, uprkos tim činjenicama uliteraturi nedostaju podaci o provlačenju. Provedena istraživanja kod provlačenja od proizvođača strojeva i alata nisu u dovoljnoj mjeri objavljena. Koliko je nama poznato, izradjen je samo jedan doktorski rad o provlačenju u TH u Achenu [1].

Povećanje proizvodnosti i smanjenje troškova izrade kod provlačenja zahtjevaju istraživanja o mogućnostima povećanja brzine rezanja, smanjenju hrapavosti obradjene površine i o brižljivoj predobradi obradaka.

^{+/} Dr Elso Kuljanić, dipl.inž. Izv. prof. Tehničkog fakulteta Rijeka, Sveučilište u Rijeci, 51000 Rijeka, Narodnog ustanka 58

Mr Ernest Lemaher, dipl.inž. viši stručni suradnik "Prvomajska" OOUR Istraživanje i razvoj, 41000 Zagreb, Žitnjak b.b.

^{++/} Radjeno u Prvomajskoj" OOUR Istraživanje i razvoj u okviru projekta "Istraživanje provlačenja skidanjem strugotine"

Utjecaj brzine rezanja na silu rezanja i hrapavosti obradjene površine istražen je u radu [2], dok na ovom mjestu dajemo dobivena saznanja o mjerenju sile rezanja, načinu trošenja i kriteriju istrošenja alata za provlačenje.

2. Uvjeti izvodjenja pokusa

2.1. Alatni stroj

Pokusi su vršeni na 20 Mp provlakačici A.Klink, RISZ 20x1500x400 s mogućnostima bestepene promjene brzine rezanja do maksimalno $v = 6$ m/min.

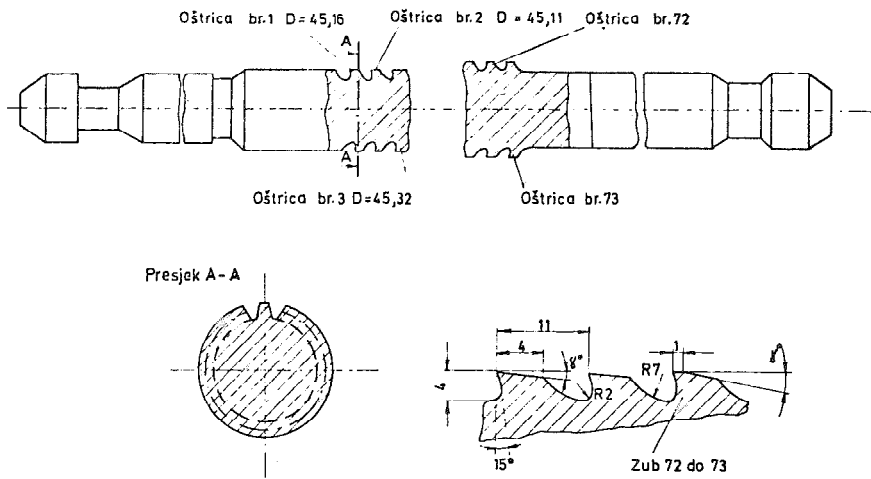
2.2. Alat

Alat za provlačenje je bio od visokokvalitetnoga brzoreznoga čelika Č. 6880 /B 18 po DIN-u/. Geometrijske karakteristike alata su slijedeće: prednji kut $\gamma^* = 15^\circ$, stražnji kut $\alpha = 2^\circ$ od 1. do 64. zuba, stražnji kut $\alpha = 1^\circ 30'$ do 65. do 67. zuba, stražnji kut $\alpha = 1^\circ$ od 68. do 70. zuba i stražnji kut $\alpha = 30'$ do 71. do 73. zuba. Alat za provlačenje i dubina rezanja po zubu prikazana je na slici 1, a konstantan promjer od $D_1 = 50,035$ mm je između 65. do 73. zuba.

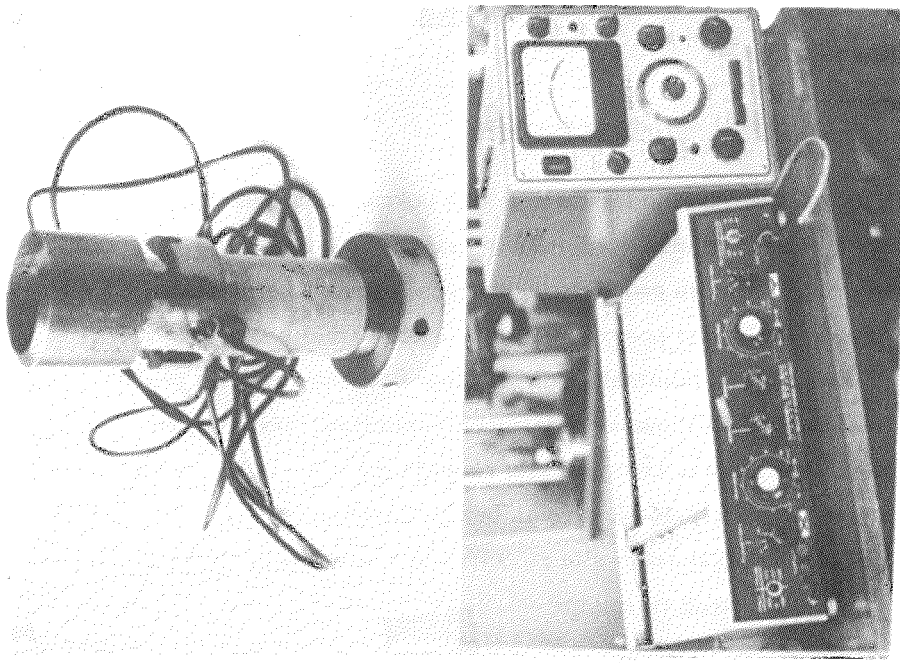
2.3. Obradak

Obradak je bio u obliku diska iz čelika za cementaciju Č.4320 /16 MnCr 5 po DIN-u/, poboljšan na zateznu čvrstoću 700 do 800 N/mm². Geometrijske karakteristike obratka su slijedeće: modul $m = 2,5$ mm, broj zuba $z_2 = 18$, zahvatni kut $\alpha_o = 30^\circ$, širina $B_2 = 27$ mm, unutarnji promjer $D_{2u} = 45$ mm i vanjski promjer provlačenja $D_{2v} = 50$ mm.

Provedena metalografska analiza uzorka obradaka pokazala je, da su šarže materijala pripremača neujednačene u pogledu čistoće, uključaka i strukture materijala.



Slika 1: Iгла za provlačenje



Slika 2: Jednocomponentni dinamometar, mjerni most i pisac

2.4. Mjerni uređaji

Za mjerenje sile rezanja izradjen je jednokomponentni dinamometar s mjernim trakama, koji se koristi s mjernim mostom Hottinger Baldwin i pisačem Honeywell, slika 2.

2.5. Plan pokusa

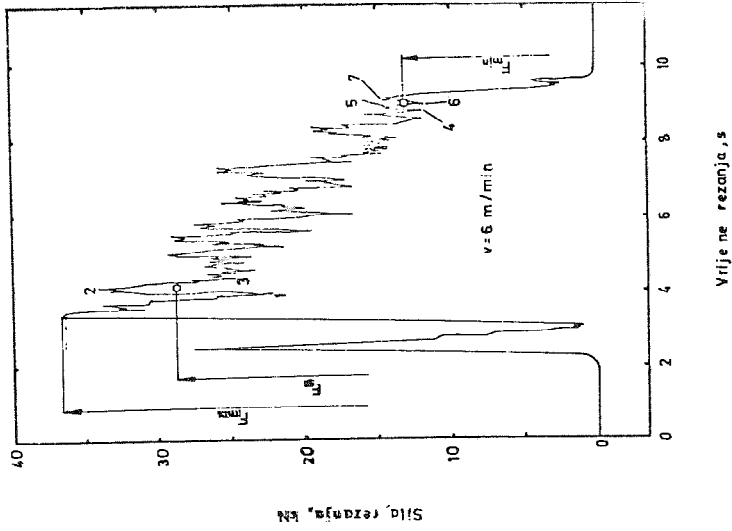
Budući, da je bila svrha ovoga istraživanja, da se odredi utjecaj brzine rezanja na silu rezanja, hrapavost površine i trošenja alata, primjenjene su brzine rezanja u području od $v = 1$ do 6 m/min. Iste su varirane na jedanaest nivoa, kako slijedi: $1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5$ i $6,0$ m/min.

Pokusi su izvršeni u proizvodnim uvjetima na obratcima iz redovne proizvodnje, te su više puta ponovljeni. Za hladjenje i podmazivanje primjenjeno je mineralno ulje UNIPLUS 3-35, Rafinerije - Modriča. Količina ulja bila je 10 l/min. Sila rezanja mjerena je u smjeru vektora brzine rezanja.

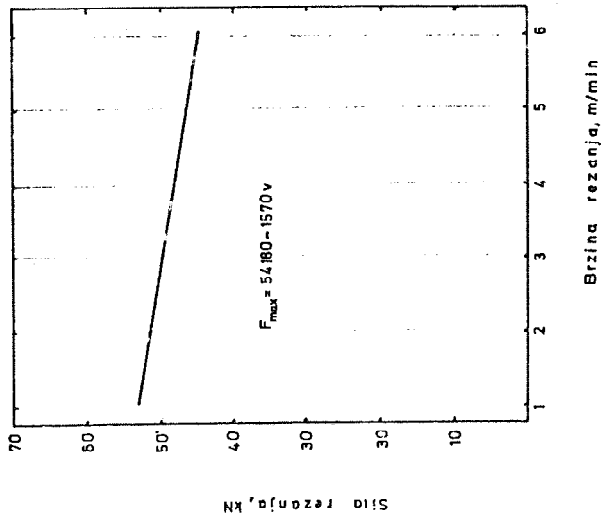
3. Sila rezanja i hrapavost obradjene površine

U ovom istraživanju izvršeno je 470 pokusa. Sila rezanja u zavisnosti o vremenu rezanja za $v = 6$ m/min prikazana je na slici 3. Općenito uočavamo tendenciju padanja sile rezanja s povećanjem brzine rezanja. Međutim, pri tome postoji razlika u dijelu krivulje između srednje sile rezanja F_{sr} i minimalne sile rezanja F_{min} za različite brzine rezanja. Nastala razlika može se objasniti s različitom diferencijom vremena rezanja Δt za približno istu silu rezanja $\Delta F = F_{sr} - F_{min}$, budući da je vrijeme rezanja manje kod većih brzina rezanja.

Zavisnost maksimalne sile rezanja i brzine rezanja slika 4, određena je pomoću linearne regresije



Slika 3: Sila rezanja u ovisnosti o vremenu rezanja za $v = 6 \text{ m/min}$



Slika 4: Maksimalna sila rezanja u ovisnosti o brzini rezanja

$$F_{\max} = 54180 - 1570 v \quad (1)$$

Testiranje varijanci izvršeno je pomoću F - testa [3]. Iz ove analize proizlazi da je $F = 81,2 > F_0 = 6,8$. Budući, da je $F \gg F_0$ možemo zaključiti, da je ova regresija vrlo signifikantna odnosno da je izrazom (1) dobro protumačena zavisnost sile rezanja i brzine rezanja.

Osim toga utvrđena je zavisnost srednje i minimalne sile rezanja o brzini rezanja

$$F_{sr} = 40720 - 1374 v \quad (2)$$

i

$$F_{\min} = 27060 - 1068 v \quad (3).$$

Iz ove analize proizlazi, da se mogu primjeniti veće brzine rezanja kod provlačenja, a da se sila rezanja ne poveća. Budući, da je u ovom slučaju provlačenje završna obrada, hrapavost obradjene površine je vrlo značajna. Hrapavost obradjene površine istražena je u radu [2] i objavljena u [4]. Iz ovih radova proizlazi saznanje, da je hrapavost obradjene površine najveća u području $v = 2,5$ do $4,0$ m/min. Budući, da sile rezanja padaju s povećanjem brzine rezanja, a trošenje nije bilo intenzivno kod brzina rezanja većih od $v = 4,5$ m/min, proizašao je prijedlog za povećanje brzine rezanja u području $v = 4,0$ do $5,0$ m/min. Naime, prije ovog istraživanja brzina rezanja bila je $v = 2,5$ m/min.

Primjenom ovog prijedloga povećanja brzine rezanja riješen je problem uskog grla u proizvodnji, povećana je proizvodnost i sniženi su troškovi po obratku.

4. Trošenje alata i metoda za mjerenje trošenja alata za provlačenje

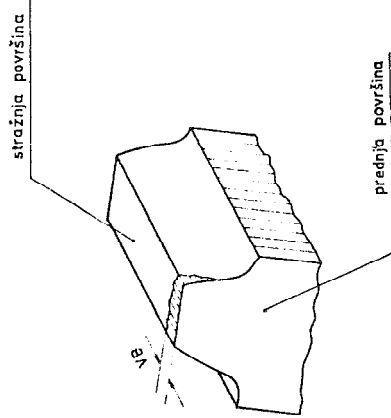
Kod svih postupaka obrade skidanjem strugotine veoma zna-

čajna je otpornost alata na trošenje. Mjerenje trošenja je jedan od bitnih problema u eksploataciji alata za provlačenje. Naime, činjenica je, da alat za provlačenje ima veliki broj zubi, te da se u jednom prolazu vrši gruba i završna obrada.

Način trošenja zuba alata prikazan je na slici 5, a na slici 6 snimka trošenja stražnje površine vrha zuba. Zapaženo je ravnomjerno trošenje vrha zuba, te manje trošenje stražnje površine boka zuba. Pored toga, zorno se vidi lažna oštrica, koja namjerno nije skinuta. Nije primjećeno trošenje bilo kojeg dijela stražnje površine zuba. Kod eksploatacije alata za provlačenje do kriterija istrošenja, nije primjećeno trošenje prednje površine u obliku kratera, što se pripisuje malim brzinama rezanja.

Posljedice lošega kriterija istrošenja alata mogu biti pucanje alata, krhanje pojedinih zubi, gubitak mjere (škart) i drugo. To prouzrokuje vrlo skupo i dugotrajno oštrenje alata i s time smanjuje se ukupni broj obradjenih obradaka do njegovog potpunog istrošenja. Pored toga praksa je pokazala, da su velika istrošenja alata jedan od uzroka "spaljivanja" oštrice alata, budući da oštrač nema dovoljno "strpljenja" za uzimanje normalne dubine oštrenja. Iz ovog razmatranja proizlazi, da je mjerenje i značenje trošenja bitno za pravilan rad s alatom za provlačenje, pa predlažemo slijedeću metodu za mjerenje trošenja alata.

Treba ustanoviti promatranjem, koji se vijenac ili red najviše troši i izmjeri se trošenje svih zubi toga vijenca ili reda. Naime, velika je vjerojatnost, da će se on i dalje intenzivnije trošiti u odnosu na ostale vijence ili redove alata. Iz našeg iskustva proizlazi, da zub ili zubi na vijencu ili u redu s većim trošenjem, u odnosu na ostale zube, nakon određenog broja obradaka imaju veće trošenje sve do postizavanja kriterija istrošenja. Dakle, ovom metodom trošenje alata za provlačenje predstavljeno je srednjim trošenjem na stražnjoj površini zubi na vijencu ili u jednom redu s



Slika 5: Trošenje zuba alata za providženje



Slika 6: Slika stražnje površine vrha zuba

$$VB_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^z VB_i}{z} ,$$

gdje je z broj zubi na vijencu ili u redu s najvećim trošenjem. Međutim, kod svakog mjerenja trošenja treba pregledati stanje i ostalih zubi alata. Trošenje se može mjeriti malim pokretnim mikroskopom ili lupom s podjelom.

Na osnovi dugotrajnih pokusa provlačenja navedenog obratka s opisanim alatom preporuča se kriterij istrošenja $VB_{sr} = 0,20$ do $0,25$ mm ili maksimalno istrošenje jednog zuba $VB_{max} = 0,35$ mm. VB_{max} predstavlja trošenje bilo kojeg zuba igle za provlačenje, koji ima maksimalno trošenje. Dakle, ako je na jednom zubu trošenje dostiglo vrijednost od $0,35$ mm, treba izvršiti oštrenje alata, bez obzira na trošenje ostalih zubi.

5. Zaključci

Na osnovi iznesenog proizlaze slijedeći zaključci:

1. Sila rezanja se malo smanjuje s povećanjem brzine rezanja kod unutarnjeg provlačenja u području brzine rezanja $v = 1$ do 6 m/min.
2. Maksimalna sila rezanja $/F_{max}/$ se najviše smanjuje s povećanjem brzine rezanja.
3. Maksimalna vrijednost hrapavosti obradjene površine dobivena je u području brzine rezanja $v = 2,5$ do 4 m/min.
4. Najpodesnija brzina rezanja kod provlačenja za promatrani materijal obratka i provlakačicu je $v = 5$ do $5,5$ m/min. Primjenom ove brzine rezanja smanjilo se vrijeme rezanja za 50% vremena rezanja prije ovog istraživanja.
5. Za modul $m = 2,5$ mm preporuča se kriterij istrošenja alata $VB_{sr} = 0,20$ do $0,25$ mm ili $VB_{max} = 0,35$ mm.

Prikazano istraživanje je karakterističan primjer, kako se može s malo ulaganja u istraživanje /200.000,00 din/, riješiti problem uskog grla u proizvodnji, pa nije trebalo nabaviti novi stroj i osigurati prostor za stroj. Nabavna vrijednost provlakačice je $\approx 900.000,00$ din. Ako se uzme u obzir potrebno vrijeme od približno dvije godine za nabavu stroja i za njegovo postavljanje i puštanje u rad, vidimo da je ušteda znatno veća od 700.000,00 din.

Daljnji rad treba usmjeriti na istraživanje različitih konstrukcija alata i alatnih strojeva za provlačenje s većim brzinama rezanja i na istraživanje toplinske obrade za dobivanja podesne strukture materijala obratka.

6. Oznake

D	-	Promjer, mm
F	-	Varijabla F - testa u statistici
F_{\min}	-	Minimalna sila rezanja, N
F_{\max}	-	Maksimalna sila rezanja, N
F_{sr}	-	Srednja sila rezanja, N
Lbz	-	Lijevi bok zuba
m_n	-	Normalni modul, mm
R_{ab}	-	Hrapavost površine na boku zuba, μm
R_{au}	-	Hrapavost površine na unutarnjem promjeru, μm
v	-	Brzina rezanja, m/min
VB_{\max}	-	Maksimalno istrošenje alata, mm
VB_{sr}	-	Srednje istrošenje alata, mm
z_1	-	Broj zubi alata
α	-	Zahvatni kut, stupanj
α_0	-	Prednji kut oštrice alata, stupanj

7. Rezime

MJERENJE SILE REZANJA I TROŠENJA ALATA KOD PROVLAČENJA

U ovom radu prikazana su dobivena saznanja o mjerenju sile rezanja, načinu trošenja i kriterij istrošenja alata za provlačenje.

SCHNITTKRAFT - UND VERSCHLEISSMESSUNG BEIM RÄUMEN

In diesem Vortrag sind Versuchserkenntnise über Schnittkraftmessung, Verschleissbildung und ein Verschleisskriterium für Räumwerkzeuge dargestellt.

8. Literatura

- [1] M. SCHUTTE, Räumen mit erhöhter Schnittgeschwindigkeit, WTH Aachen, Aachen 1965.
- [2] E. KULJANIĆ, E. LEMAHHER, R. KOZLOVIĆ, D. ROKSANDIĆ, Istraživanje provlačenja skidanjem strugotine, "Prvomajska" - Istraživanje i razvoj, Zagreb 1977.
- [3] I. PAVLIĆ, Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb 1970.
- [4] E. KULJANIĆ, Cutting Forces and Surface Roughners in Broaching, "Prvomajska" - Istraživanje i razvoj, Zagreb 1975.

7. Rezime

MJERENJE SILE REZANJA I TROŠENJA ALATA KOD PROVLAČENJA

U ovom radu prikazana su dobivena saznanja o mjerenju sile rezanja, načinu trošenja i kriteriju istrošenja alata za provlačenje. Također, predložena je metoda za mjerenje trošenja alata za provlačenje. Primjenom dobivenih rezultata udvostručena je produktivnost ove operacije s povećanjem brzine rezanja.

MEASUREMENTS OF CUTTING FORCES AND TOOL WEAR IN BROACHING

This paper presents the results obtained in cutting forces and tool wear measurements. Also, a method for measuring tool wear in broaching is proposed. The productivity was increased for two times by applying higher cutting speed.

8. Literatura

- [1] M. SCHUTTE, Räumen mit erhöhter Schnittgeschwindigkeit, WTH Aachen, Aachen 1965.
- [2] E. KULJANIĆ, E. LEMAHHER, R. KOZLOVIĆ, D. ROKSANDIĆ, Istraživanje provlačenja skidanjem strugotine, "Prvomajska" - Istraživanje i razvoj, Zagreb 1977.
- [3] I. PAVLIĆ, Statistička teorija i primjena, Tehnička knjiga, Zagreb 1970.
- [4] E. KULJANIĆ, Cutting Forces and Surface Roughness in Broaching, Annals of the CIRP 24 (1975) 1

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

M. Kulenović^{x)}

UTJECAJ INTERMITIRAJUĆE OBRADNE KOD MAŠINA TRANSLATORNOG RADA NA OPTIMALNU RADNU BRZINU I POSTOJANOST OŠTRICE ALATA

1. Uvod

U procesima obrade rezanjem stalno je prisutno nastojanje da se istovremeno ostvare dva oprečna pojma, što duže postojanosti alata i što bržeg rada. Negdje se ističe pronalaženje najpovoljnije radne brzine, a negdje najpovoljnije postojanosti alata. U suštini problem je potpuno isti. U ovom području postoje dva pojma koji se mogu razmatrati u slijedu jedan iza drugog, a to su: optimalna brzina rada ili brzina, pri kojoj se postiže najkraće vrijeme za obradu jednog izradka i ekonomska brzina rada ili brzina, pri kojoj se postiže najmanja cijena koštanja za obradu jednog izradka na jednom radnom mjestu. Prikazivanje ovih pojmova preko odredjenih obrazaca i njihova analiza počinje još u periodu Taylor-ovih ispitivanja (1909) i nastavlja se sve do danas prolazeći kroz već poznate etape. Treba naglasiti da se pomoćno vrijeme operacije pojavljuje u konačnim izrazima tek pred dvije decenije, što je bilo uslovljeno neslaganjem izračunatih rezultata prema dotadašnjim izrazima sa praktičnim preporukama. To se naročito odnosi na operacije kod kojih je pomoćno vrijeme znatno veće od mašinskog, odnosno glavnog vremena obrade. Danas se još uvijek intenzivno radi na razrješavanju veličine i oblika utjecaja pomoćnog vremena na optimalnu i ekonomsku brzinu rezanja. Osim toga, sva razmatranja koja su vršena do danas u ovoj oblasti, odnose se u glavnom na rotacione obrade kontinuiranog režima rada, dok za obrade na mašinama translatornog rada nema pouzdanih podataka.

^{x)} Mr. Malik Kulenović, dipl. inž., asistent Mašinskog fakulteta u Sarajevu, saradnik Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu.

Prije nego se prikaže analiza utjecaja intermitirajuće obrade na mašinama translatorsnog rada na optimalnu brzinu i postojanost alata, potrebno je dati prikaz elemenata vremena izrade.

2. Vremena izrade

Polazna osnova za dalja razmatranja je odredjivanje vremena izrade po jednom komadu na odredjenom radnom mjestu. Poći će se od analize osnovnih izraza za elemente vremena izrade. Vrijeme trajanja obrade jednog komada je [1] :

$$t_1 = t_n + t_g + t_a \quad [\text{s/kom}] \quad (1)$$

gdje je:

t_1 [s/kom] - ukupno komadno vrijeme

t_n [s/kom] - komadno pomoćno vrijeme (osnovno podešavanje mašine i manipulacije oko izradka i naprava)

t_g [s/kom] - komadno glavno vrijeme izrade, tj. stvarno vrijeme obrade na mašini.

t_a [s/kom] - komadno vrijeme manipulacije alatom (skidanje iztupljenog te stavljanje i podešavanje novog alata)

Da bi se t_1 moglo izraziti u funkciji brzine rezanja ili postojanosti alata potrebno je razmotriti svaki od pojedina tri člana sume iz izraza (1).

2.1. Pomoćno vrijeme

Pomoćno vrijeme t_n je vrijeme u kome je prekinut neposredni zahvat alata i komada, tj. vrijeme kada se alat hladi dok se vrši izmjena izradka i odgovarajuće manipulacije oko naprava. Ako se za vrijeme postojanosti alata može obraditi veći broj komada, tada se govori o tzv. periodičnom rezanju. Suma svih vremena u kojima je alat u zahvatu sa materijalom sve do zatupljenja, predstavlja postojanost alata.

Periodično rezanje se može zgodno karakterizirati stepenom učestalosti rezanja ili intermitencom [4] :

$$I = \frac{t_r}{t_r + t_n} \quad (2)$$

t_r [s] - vrijeme reznog hoda ili zagrijavanja alata

t_n [s] - vrijeme neradnog hoda ili hladjenja alata

Prema (2) se može zaključiti da je: $0 < I < 1$

Pokazano je, a i eksperimentima potvrđeno da su mjerodavne temperature rezanja pri periodičnom rezanju manje od mjerodavnih

temperatura pri neprekidnom rezanju i da se smanjuju sa smanjenjem intermitence I. Zavisnost mjerodavne temperature pri periodičnom rezanju od intermitence može se prikazati sljedećim izrazom [4] :

$$\theta_p = \theta \cdot U \quad (3)$$

gdje je:

$$U = 1 - \frac{b}{\theta} (1 - \sqrt{1 - (I-1)^2}) \quad (4)$$

θ_p [°C] - mjerodavna temperatura rezanja pri periodičnom rezanju

θ [°C] - mjerodavna temperatura rezanja pri neprekidnom rezanju

($\theta = \theta_p$ za $I=1$)

U - posebna funkcija koja se naziva: UTJECAJ UČESTALOSTI REZANJA ($0 < U \leq 1$)

b [°C] - mala poluosa elipse koja predstavlja funkciju $\theta_p = f(I)$ u koordinatnom sistemu $\theta_p - I$

Pošto se mjerodavna temperatura rezanja može smatrati glavnim utjecajnim faktorom na postojanost alata, kako pri neprekidnom, tako i pri periodičnom rezanju, tada se izvodi relacija [4] :

$$T_p = T/U \quad (5)$$

T_p [s] - postojanost alata pri periodičnom rezanju

T [s] - postojanost alata pri neprekidnom rezanju

Očigledno je zbog $0 < U \leq 1$ postojanost alata pri periodičnom rezanju veća od postojanosti alata pri neprekidnom rezanju pri svim ostalim jednakim uslovima rada.

Iz ovog izlaganja se vidi da pomoćno vrijeme t_n ima utjecaja na postojanost alata preko intermitence, a to znači da postoji neka funkcionalna veza između t_n i brzine rezanja. Iznalaženje te veze je veoma kompleksan i osjetljiv problem. Na sadašnjem nivou saznanja moram se zadovoljiti sa pretpostavkom da je t_n neovisno od brzine rezanja, kako bi se kasnije mogli izvesti konačni rezultati za optimalnu brzinu rezanja i postojanost koji su potrebni za dalju analizu. Predhodno izvedene, tj, prikazane relacije će biti korištene kod iznalaženja izraza za t_a , jer tu neće biti nekih većih prepreka.

2.2. Radna vremena obrade

U okviru odredjivanja glavnog vremena obrade t_g potrebno je voditi računa o tome, da tokom tog cijelog vremena alat ne mora biti u zahvatu sa materijalom. To je vrijeme između kinematskog početka i završetka radnog zahvata. Unutar t_g nalazi se tzv. režno vrijeme ošttrice t_r , koje predstavlja samo ono vrijeme u kojem je

oštrica u zahvatu sa materijalom, odnosno samo u tom periodu je ona izložena trošenju. Odnos između t_g i t_r može biti samo: $t_r \leq t_g$

U jednom opštem rezonovanju može se zaključiti da je glavno vrijeme obrade odnos između predjenog puta i brzine u tom pravcu, te broja alata i broja prolaza.

$$t_g = \frac{S_s \cdot i}{V_s \cdot Z_a} \quad (6)$$

Pošto je brzina posmaka:

$$V_s = n \cdot s \quad (7)$$

a radna brzina:

$$V_r = S_{lr} \cdot n \quad (8)$$

tada se smjenom (8) preko (7) u (6) dobiva:

$$t_g = \frac{S_s \cdot i \cdot S_{lr}}{s} \cdot \varphi_g \cdot V_r^{-1} \quad (9)$$

ili

$$t_g = K \cdot \varphi_g \cdot V_r^{-1} \quad [\text{s/kom}] \quad (10)$$

Parametar φ_g je korekcionni faktor za t_g , koji uzima u obzir broj alata istovremeno u zahvatu, zatim utjecaj odnosa broja obrtaja alata i izradka (kružno obodno glodanje) i odgovarajuće povećanje vremena obrade kod postupka gdje postoji prazni hod (blanjanje). Veličina K je izdvojena kao vrijednost, koja je za određeni slučaj konstantna, neovisna od brzine obrade.

Rezno vrijeme oštrice t_r je veoma jednostavno izraziti preko glavnog vremena obrade:

$$t_r = t_g \cdot I_k \quad [\text{s/kom}] \quad (11)$$

Da bi dobili t_r potrebno je t_g pomnožiti sa korekcionim faktorom I_k koji eliminiše iz t_g sva vremena hoda alata ili izradka u kojima rezna ivica nije u zahvatu sa materijalom, a što je uslovljeno kinematikom obrade. Pošto faktor I_k predstavlja odnos vremena kontakta oštrice i materijala komada naspram ukupnog vremena zahvata, to se on može nazvati KINEMATSKA INTERMITENCA. Da bi se jednostavno moglo preći sa opštim izrazom (9) u posebna područja obrada formirana je tablica 1.

Značenje pojedinih oznaka je:

S_s [m] - dužinska dimenzija u smjeru posmaka

S_{lr} [m] - dužinska dimenzija jednog radnog hoda izradka ili alata na koju se odnosi V_r (npr. obim ili hod)

i - broj prolaza

- s - posmak, izražen u [m/o] ili [m/hod]
 τ_g - vremenski faktor glavnog vremena obrade
 V_r [m/s] - brzina rezanja, odnosno radna brzina
 Z_a - broj alata istovremeno u zahvatu na dužini S_s
 d [m] - prečnik izradka
 D [m] - prečnik alata
 H [m] - dužina hoda kod translatorskih mašina
 n_a [s⁻¹] - broj obrtaja alata
 n_i [s⁻¹] - Broj obrtaja izradka
 ψ [rad] - ugao rada po čijoj lučnoj dužini su zubi glodala u zahvatu.
 V_p [m/s] - brzina povratnog hoda (blanjalica)

$$\psi = \left(1 + \frac{V_r}{V_p}\right)$$

Tablica 1

Obrada po vrsti i kinematici rada	Faktori za izraze (9) i (11)		S_s	S_{lr}	τ_g	I_k
Rotaciono radno i koaksijalno posmačno kretanje						
Tokarenje i ljuštenje	L	$d\pi$			$1/Z_a$	1
Bušenje i upuštanje	L	$D\pi$			$1/Z_a$	1
Kružno obodno glodanje	L	$D\pi$			$n_a/Z_a \cdot n_i$	$\psi/2\pi$
Rotaciono radno i radijalno posmačno kretanje						
Čeono tokarenje i ubadanje nožem	L	$d\pi$			$1/Z_a$	1
Ubadanje kružnim obodnim glodanjem	L	$D\pi$			$n_a/Z_a \cdot n_i$	$\psi/2\pi$
Rotaciono ili translatorsko radno kretanje sa translatorskim posmakom sa ili bez pomoćnog poprečnog kretanja						
Glodanje plošno, obodno ili čeono	L	$D\pi$			$1/Z_a$	$\psi/2\pi$
Blanjanje ili dubljenje	B ili L	H			ψ/Z_a	$L/\psi \cdot H$
Provlačenje	L	H			1	L/H

2.3. Alatno vrijeme

Alatno vrijeme t_a je vrijeme reducirano na jedan komad proizvoda, a odnosi se na skidanje iztrošenog alata i ponovno namještanje naoštrenog ili novog alata, uključujući sve kontrolne radove povezane sa tom izmjenom do ponovne spremnosti za rad.

Ako je poznato ukupno vrijeme za jednu manipulaciju alatom T_a i broj komada x_k koji se mogu obraditi između dvije izmjene alata, tj. za vrijeme postojanosti, tada je:

$$t_a = \frac{T_a}{x_k} \cdot Z_a \quad [\text{s/kom}] \quad (12)$$

Kada se dalje bude govorilo o postojanosti alata, podrazumijevat će se postojanost pri obradi kratkih dužina, gdje se za jedno trajanje oštrice može obraditi veći broj komada, što je najčešći slučaj u praksi. Prema tome, riječ je o postojanosti alata T_p , gdje se javlja naizmjenično zagrijavanje i hladjenje alata.

Broj komada x_k se može izraziti kao odnos postojanosti T_p i reznog vremena t_r :

$$x_k = \frac{T_p}{t_r}$$

Imajući u vidu odnos (5) i (11) slijedi:

$$x_k = \frac{T}{U \cdot t_g \cdot I_k} \quad (13)$$

Postojanost pri neprekidnom rezanju T možemo izraziti u funkciji radne brzine preko Taylor-ovog izraza:

$$V_r \cdot T^m = C_t \quad (14)$$

Kada se u (13) zamijeni t_g sa svojim izrazom (10) i T izrazi preko V_r , tada je:

$$t_a = Z_a \cdot \frac{T_a}{C_t^{1/m}} \cdot U \cdot K \cdot \zeta_g \cdot I_k \cdot V_r^{\frac{1}{m} - 1} \quad [\text{s/kom}] \quad (15)$$

C_t - Taylor-ova konstanta, zavisna od materijala izradka i alata, te od presjeka odrezivanog sloja materijala

m - Taylor-ov eksponent, zavisan od materijala izradka i alata

Izraz (15) predstavlja obrazac za t_a , gdje kao utjecajan faktor egzistira utjecaj učestalosti rezanja U , koji se za tokarenje izračunava na osnovu intermitence izmjene izradka, a za blanjanje na osnovu kinematske intermitence I_k , jer je tu intermitenca izmjene izradka, uglavnom bliska jedinici. Ako pretpostavimo da se C_t u (15) odnosi na tokarenje, a željeli bi izračunati t_a za blanjanje sa korištenjem m i C_t od tokarenja, tada zbog $m_t \approx m_b$ slijedi veza $C_b = K_v \cdot C_t$

što daje:

$$t_a = Z_a \cdot \frac{T_a}{(C_t \cdot K_v)^{1/m}} \cdot U \cdot K \cdot \zeta_g \cdot I_k \cdot V_r^{\frac{1}{m} - 1} \quad [\text{s/kom}] \quad (16)$$

K_v - faktor udara, koji govori koliko puta se mora smanjiti radna brzina blanjanja u odnosu na tokarenje da bi postojanost alata ostala ista pri svim drugim istim uslovima rada ($0 < K_v < 1$)

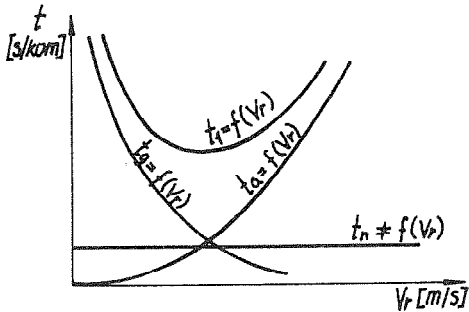
C_b - Taylor-ova konstanta; odnosi se na blanjanje

m_b - Taylor-ov eksponent; odnosi se na blanjanje

3. Optimalna brzina obrade i optimalna postojanost alata

Sada je moguće prikazati vrijeme t_1 u funkciji radne brzine, kada se izvrše odgovarajuće zamjene u izrazu (1) sa izrazima (10) i (16).

$$t_1 = t_n + K \cdot C_g \cdot V_r^{-1} + Z_a \cdot \frac{T_a}{(C_t \cdot K_v)^{1/m}} \cdot U \cdot K \cdot C_g \cdot I_k \cdot V_r^{\frac{1}{m} - 1} \text{ [s/kom]} \quad (17)$$



Zavisnost t_1 od brzine V_r je predstavljena sa krivuljom koja ima svoj minimum (sl.1). Računski se ta vrijednost dobiva diferenciranjem izraza (17) po V_r i njegovim izjednačavanjem sa nulom. Ako se ima u vidu diskusija u odjeljku 2.1., te ako se uzme da je veličina U konstantna i nezavisna od brzine rezanja, što važi za određene in-

Sl.1 Principijelni tok krivulja

tervale brzina, a pogotovu za interval 0,3 m/s do 1 m/s, koji je karakterističan za blanjanje, tada se u izrazu (17) može sprovesti diferenciranje po V_r do kraja. Kada se izdvoji radna brzina, slijedi:

$$V_o = \frac{C_t \cdot K_v}{\left[\left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T_a \cdot Z_a \cdot I_k \cdot U\right]^m} \text{ [m/s]} \quad (18)$$

Primjenom Taylor-ovog zakona, slijedi:

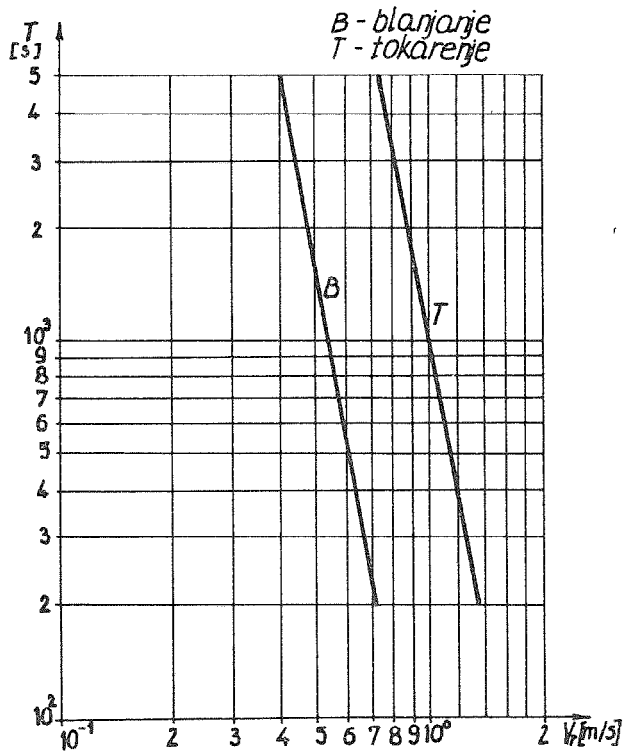
$$T_o = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot T_a \cdot Z_a \cdot I_k \cdot U \text{ [s]} \quad (19)$$

Izrazi (18) i (19) predstavljaju optimalnu brzinu rezanja i optimalnu postojanost alata.

4. Analiza utjecaja intermitirajuće obrade na V_o i T_o

U izrazima (18) i (19) najznačajniji su parametri C_t i m , koji se mogu odrediti tačno jedino eksperimentom. Da bi se mogle izvesti određene analize i upoređivanja, snimljeni su pravci postojanosti kod tokarenja i kod blanjanja pod jednakim uslovima rada (Sl.2). Moguće je na prvi pogled uočiti znatne razlike u postojanosti alata i efikasnosti ove dvije vrste obrada. Vrlo je ilustrativan primjer porasta pohabanosti ledjne površine alata pri tokarenju i blanjanju koji je prikazan na Sl.3.

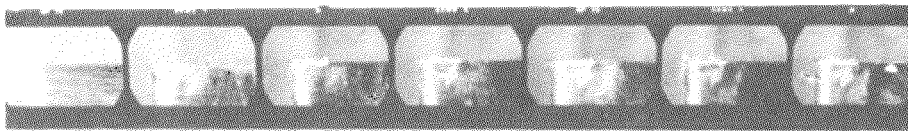
U sljedećim odjeljcima će se razmatrati posebno utjecaj prekidnosti rada, utjecaj praznih povratnih hodova i utjecaj udara.



Sl.2 Dijagrami pravaca postojanosti
(Č.0545, alat B.Č. E18Co10,
 $\sigma = 0,0015$ [m], $s = 0,00031$ [m/o])



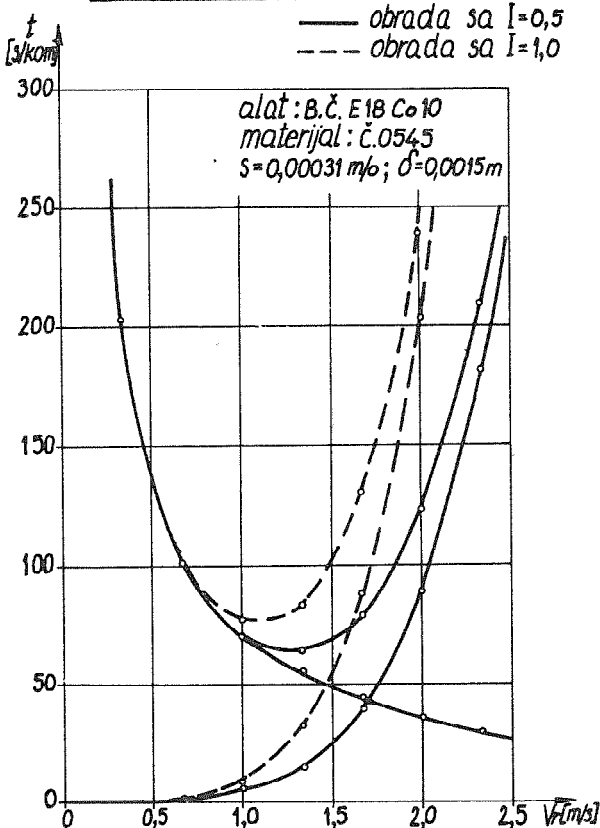
Porast pohabanosti ledjne površine alata kod blanjanja ($v_{sr} = 0,6$ [m/s])



Porast pohabanosti ledjne površine alata kod tokarenja ($v = 0,85$ [m/s])

Sl.3 (Č.0545, alat B.Č. E18Co10, $\sigma = 0,0015$ [m], $s = 0,00031$ [m/o])

4.1. Utjecaj prekidnosti rada



Sl.4 Utjecaj prekidnosti rada

Prekidnost rada povoljno djeluje na trajnost alata, bilo da je izazvana izmjenom izradka (slučaj kod tokarenja), ili kinematskim prekidom (povratni hod kod blanjanja). Njen utjecaj se pojavljuje u obliku funkcije utjecaja učestalosti rezanja (4). Predpostavka za analizu je, da se obrada jedan put vrši u uslovima neprekidnog rezanja ($I=1, U=1$ - moguće kod tokarenja), a drugi put u uslovima intermitirajućeg rada. Apostroфом su označena vremena obrade u uslovima intermitirajućeg rada. Pošto se u izrazu (10) za glavno vrijeme obrade ne pojavljuje utjecaj postojanosti alata, to slijedi:

$$t'_g = t_g$$

(15) pojavljuje se funkcija U . Pošto je $U=1$ za neprekidno rezanje, a $U < 1$ za neko intermitirajuće, slijedi odnos:

$$\frac{t'_a}{t_a} = U \cdot \left(\frac{C_t}{C'_t} \right)^{1/m}$$

Zbog $U < 1$ i $C_t < C'_t$ je: $t'_a < t_a$

Kada se uporede optimalne brzine obrade i optimalne postojanosti, dobiva se:

$$\frac{V'_o}{V_o} = \frac{C'_t}{C_t} \cdot \frac{1}{U^m} \quad i$$

$$\frac{T'_o}{T_o} = U$$

Zbog $C_t < C'_t$ i $U < 1$ je: $V'_o > V_o$ i $T'_o < T_o$

Izvedeni odnosi se mogu lijepo vidjeti na slici 4 gdje su sve vri-

jednosti izračunate za jedan konkretan primjer. Zbog jasnoće slike, vrijeme t_n nije prikazano jer se smatra nezavisnim od V_r .

4.2. Utjecaj praznih povratnih hodova

Sada će se analizirati blanjanje obzirom na prazni povratni hod alata. Pošto je intermitenca usljed izmjene izradka vrlo često bliska jedinici, tada preostaje analiza prekidnosti rada koja je uslovljena kinematikom obrade i čiji se utjecaj izražava kinematskom intermitencom. Kod blanjanja je jasno da kinematska intermitenca treba imati najmanju vrijednost $I_k=0,5$ (za $V_p=V_r$). Medjutim teži se da brzina povratnog hoda bude što veća, a ograničena je inercijom pokretnih translatorskih masa. Sa povećanjem brzine povratnog hoda, povećava se I_k od 0,5 prema jedinici, čime se paralelno smanjuje povoljan utjecaj I_k na povećanje postojanosti. Zbog toga ćemo ispitati, šta se dešava kada se brzina povratnog hoda poveća za tri puta u odnosu na radnu brzinu.

Ako je $V_p=V_r$, tada je $I_k=0,5$, što daje $U=0,88$. Poveća li se V_p do odnosa $V_p=3V_r$, tada je $I_k=0,75$ i $U=0,97$. Ako se želi zadržati ista postojanost alata u oba slučaja, tada se postavlja pitanje, koliko smije radna brzina biti veća u slučaju $I_k=0,5$ od one kada je $I_k=0,75$? Taj podatak se može izračunati iz odnosa:

$$\frac{V_{ro,5}}{V_{ro,75}} = \left(\frac{U_{0,75}}{U_{0,5}} \right)^m \quad (20)$$

Kada se u (20) smijene brojni podaci za U i ako je $m=0,2$, tada je:

$$\frac{V_{ro,5}}{V_{ro,75}} = 1,0197 \quad (21)$$

Zaključuje se, da pri blanjanju sa $V_p=V_r$ radna brzina može biti za oko 2% veća od radne brzine, kada je $V_p=3V_r$ uz održanje iste postojanosti alata u oba slučaja. Nadalje će se analizirati glavno vrijeme obrade kod blanjanja za oba slučaja:

$$t_{go,75} = \frac{K}{Z_a} \cdot \frac{\psi_{0,75}}{V_{ro,75}} \quad \text{i} \quad t_{go,5} = \frac{K}{Z_a} \cdot \frac{\psi_{0,5}}{V_{ro,5}}$$

Pošto je za $I_k=0,75$, $\psi_{0,75}=1,333$ i za $I_k=0,5$, $\psi_{0,5}=2$, to će odnos $t_{go,5}$ i $t_{go,75}$ zbog (21) biti:

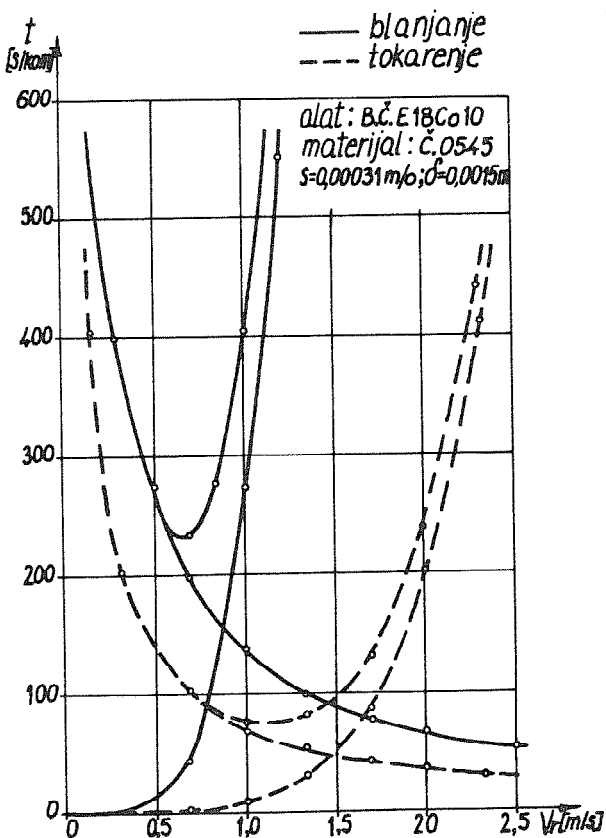
$$\frac{t_{go,5}}{t_{go,75}} = 1,471 \quad (22)$$

Iz (22) se vidi da je $t_{go,5} > t_{go,75}$, što nameće zaključak da povećanje brzine povratnog hoda ima veliku ulogu u povećanju proizvodno-

sti, te da ima značajniji utjecaj od prekidnosti, koja sa smanjenjem brzine povratnog hoda dozvoljava odgovarajuće povećanje radne brzine, ako se održava ista postojanost alata. Prema tome, kod blanjanja treba i dalje težiti što većem skraćanju trajanja povratnih hodova, tj. povećanju povratne brzine.

4.3. Utjecaj udara

Da bi se izvršila analiza utjecaja udara, potrebno je izvršiti odgovarajuća poredjenja blanjanja i tokarenja. To su veoma slični postupci obrade, kako u geometriji alata, tako i u odrezivanom sloju materijala. Predpostavka je da su kod oba postupka svi parametri obrade isti (V_r, δ, s), materijal izradka i alata, te odgovarajuće dimenzije u smjeru radne brzine i posmaka. Veličine koje su označene apostrofofom, odnose se na blanjanje. Treba još spomenuti da je uzeto u obzir tzv. neprekidno tokarenje, gdje je $I=1$.



Sl.5 Usporedba blanjanja i tokarenja

Kod blanjanja je uzeto da je

U posljedica samo I_k .

Poredjenjem vremena t'_g slijedi:

$$\frac{t'_g}{t_g} = \psi$$

gdje je zbog $1 < \psi < 2$

$$t'_g > t_g$$

Ovo je logičan rezultat, a uzrok mu je prazni hod kod blanjanja.

Kada se uporede vremena t'_a ,

slijedi:

$$\frac{t'_a}{t_a} = \frac{U}{K_v^{1/m}}$$

Pošto je $K_v^{1/m}$ sigurno manje od U ($K_v=0,5-0,75$) to je:

$$t'_a > t_a$$

Uzrok ovom rezultatu je pojava udara, tako da i pored praznih hodova, koji povoljno utječu na postojanost alata, alatno vrijeme kod blanjanja je veće od onog kod tokarenja.

Odnos optimalnih brzina za blanjanje i tokarenje je:

$$\frac{V'_0}{V_0} = \frac{K_v}{(I_k \cdot U)^m}$$

Pošto ima smisla da I_k bude najmanje 0,5 što povlači $U=0,88$ i kada se njihov proizvod potencira sa $m=0,2$, dobiva se veličina koja je još uvijek veća od najveće vrijednosti K_v , pa je zato:

$$V'_0 < V_0$$

Poredjenjem optimalnih postojanosti, dobiva se:

$$\frac{T'_0}{T_0} = \frac{U}{\psi}, \quad \text{a zbog } 0 < U < 1 \text{ i } 1 < \psi < 2 \text{ je:}$$

$$T'_0 < T_0$$

Predhodno izvedeni odnosi se mogu dobro uočiti na slici 5, gdje su krivulje dobivene na osnovu konkretnih veličina i eksperimentalno određenih m , C_t , C_b . Vrijeme t_n nije prikazano na Sl.5 iz istih razloga kao kod slike 4.

Može se konstatovati da je blanjanje manje produktivan postupak od tokarenja, te da je veoma značajan udar alata, koji svojim djelovanjem tako snižava postojanost, da je povoljni utjecaj prekidnosti rada skoro neznatan, odnosno u potpunosti anuliran.

5. Zaključak

Prikazani izrazi u prvom dijelu ovog rada, kao i tablica 1 izvedeni su na bazi razmatranja raznih obrada alatima definirane geometrije rezne ivice, što potvrđuje njihovu laku primjenu na sve te obrade.

Prekidnost rada ima povoljan utjecaj na postojanost alata i brzinu rezanja preko funkcije U . Ona se pojavljuje i u konačnim izrazima za optimalnu brzinu rezanja i optimalnu postojanost alata, te djeluje u smislu povećanja V_0 i smanjenja T_0 .

Na osnovu analize u odjeljku 4.2. konstatuje se, da utjecaj kinematske prekidnosti rada ne prevazilazi svojim pozitivnim djelovanjem na postojanost alata, težnju ka povećanju brzine povratnih hodova, te zato i dalje treba nastojati da se ona poveća što je moguće više, ili da se na neki pogodan način potpuno izbjegne. Slična analiza bi se mogla sprovesti kod tokarenja, gdje bi se ispitalo, da li postoji granica smanjivanja vremena t_n određenim sredstvima u odnosu na određene posljedice u smanjenju postojanosti alata.

Obrade blanjanjem su sporije u odnosu na tokarenje, te su

optimalne vrijednosti radne brzine manje. Bez obzira na pojavu praznog hoda alata, koji u odredjenoj mjeri povećava postojanost, utjecaj udara pri ulasku alata u materijal je tako snažan da anulira i prevazilazi pozitivni utjecaj kinematske intermitenca. Zbog toga bi bilo veoma značajno proučiti još temeljitije pojavu udara sa stanovišta dinamike procesa i pokušati naći rješenje za njegovu ublažavanje ili odklanjanje, tim prije što je udar pojava i kod nekih drugih obrada.

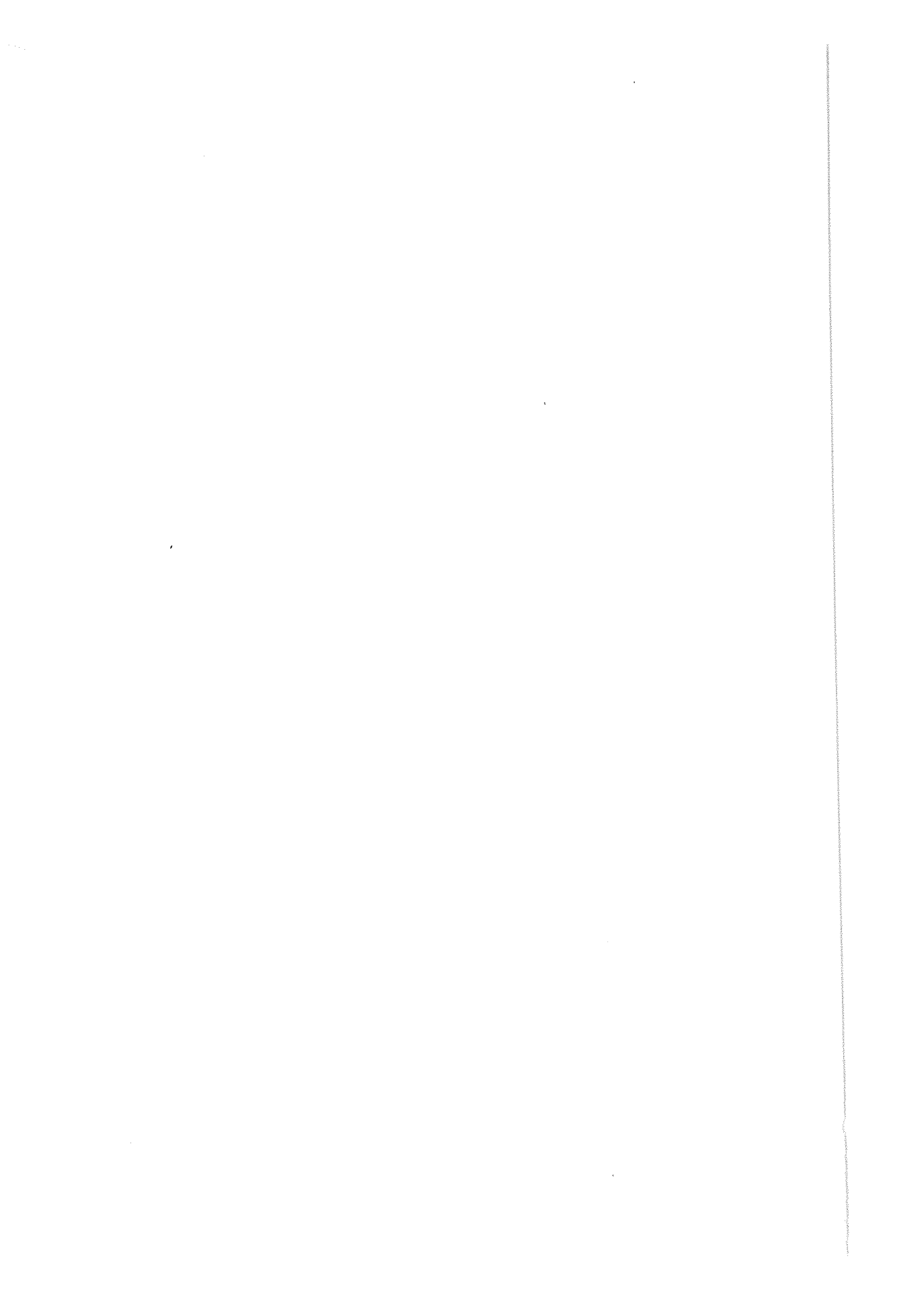
6. Literatura

- 1 Zdenković R., Pregled analiza optimalnih i ekonomskih brzina rezanja za razne obrade, Zbornik saopštenja, Beograd (1965)
- 2 Zdenković R., Obrada metala skidanjem strugotine, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb (1970)
- 3 Stanković P., Mašinska obrada, Beograd (1967)
- 4 Perić A., Učestalost rezanja i njen utjecaj na temperaturu rezanja, Zbornik radova 1, Zavod za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu, Sarajevo (1975)
- 5 Perić A., Obrada metala rezanjem, Mašinski fakultet u Sarajevu, Sarajevo (1977)
- 6 Kulenović M., Analiza optimalnih i ekonomskih brzina rada za intermitirajuće translatorne obrade, Magistarski rad, Zagreb (1978)
- 7 Bobrov V.F., Osnovi teoriji rezanja metallov, Mašinstroenije, Moskva (1975)

M. Kulenović

EINFLUSS DER INTERMITIERENDEN BEARBEITUNG AUF DIE OPTIMALE ARBEITSGESCHWINDIGKEIT UND WERKZEUGSCHNEIDEBESTÄNDIGKEIT BEI TRANSLATORISCHEN MASCHINEN

In dieser Arbeit wurden die Probleme des Rückleerlaufes bei Maschinen der translatorischen Type und des Stossvorkommens beim Eindringen des Werkzeugs in das Material, sowie ihr Einfluss auf die optimale Schneidgeschwindigkeit und Werkzeugbeständigkeit erörtert. Hierbei wurden die Untersuchungsergebnisse des Schneidunterbrechungseinflusses auf die Werkzeugverbesserung auf entsprechende Weise eingeschlossen. Die Analyse hat gezeigt, dass man auch weiterhin nach Leerlaufkürzungen trotz ihren guten Einflüssen auf die Werkzeugbeständigkeit trachten soll. Da der Werkzeugstoss ein grosses Problem darstellt, ist es notwendig eine Lösung für seine Minderung oder Beseitigung zu finden, denn derselbe kommt auch bei einigen anderen Behandlungsarten vor.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

M. Milošević^{x)}

UTICAJ NEKIH FAKTORA NA EKSPLOATACISKE KARAKTERISTIKE ALATA ZA UNUTRAŠNJE PROVLAČENJE

1. Uvod

Obrada provlačenjem je danas veoma značajna u serijskoj i masovnoj proizvodnji zbog svoje visoke produktivnosti i tačnosti i ima tendenciju sve šire primene. Zbog relativno velikih troškova alata za unutrašnje provlačenje, koji nastaju u slučaju male postojanosti alata, potrebno je posvetiti veliku pažnju njihovoj optimalnoj eksploataciji. Na optimalnu eksploataciju alata za unutrašnje provlačenje utiče više faktora:

- termičko stanje otkovka predmeta obrade i njegove mehaničke karakteristike
- konstruktivne karakteristike i tačnost izrade alata
- brzina rezanja
- sredstvo za hladjenje i podmazivanje
- kriterijum zatupljenja
- način oštrenja

U ovom radu je prikazan uticaj materijala alata, primene sredstva za hladjenje i podmazivanje, kriterijuma zatupljenja i načina oštrenja na eksploataciske karakteristike alata. Rezultati ispitivanja su dobijeni u proizvodnim uslovima OOUR-a Mehanička obrada, Zavoda "Crvena zastava" u Kragujevcu.

2. Program i uslovi ispitivanja

Predmet ispitivanja eksploataciskih karakteristika alata za unutrašnje provlačenje bila su:

- a) Četiri alata za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora zupčanika druge brzine za menjač vozila "101" koji su izradjeni

x) Miodrag Ž Milošević, dipl. ing., asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, ulica Sestre Janjića br. 6

XII - 2

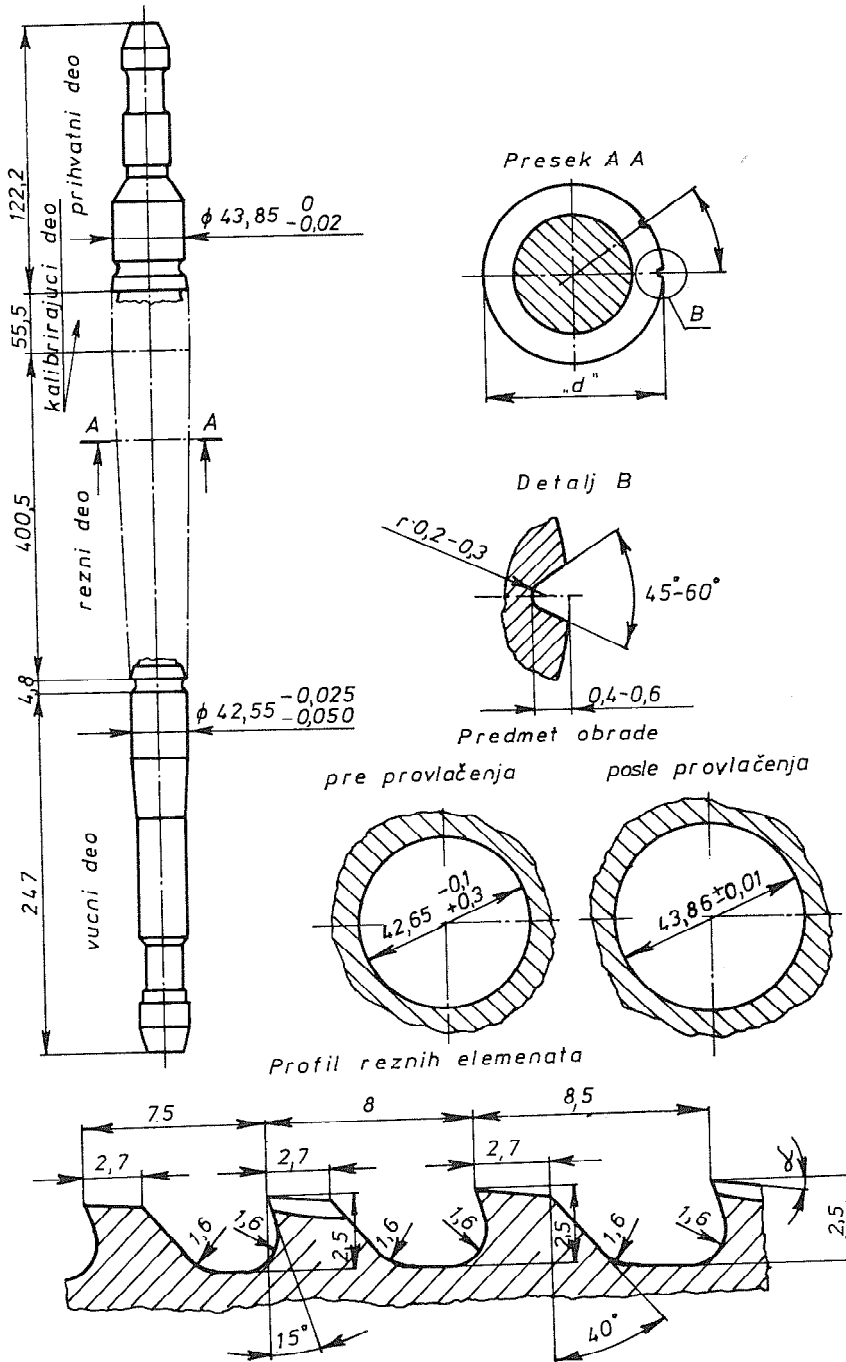
prema istom konstruktivnom crtežu (sl.1).Dva su izradjena od brzoreznog čelika Č.6880 (označeni su brojevima 1 i 3) , a druga dva od Č.7680 (označeni su brojevima 2 i 4).Polufabrikat predmeta obrade je otkovak od Č.7422 , izotermički žaren , tvrdoće 179 do 210 kN/cm².Otkovak se pre provlačenja obradjuje na osmovretenom automatskom strugu Minganti tip MTM.208 pri čemu se ostvaruje prečnik otvora $42,65^{+0,3}_{-0,1}$.Brzina rezanja pri provlačenju je 6 m/min a dužina provlačenja 27 mm .

- b) Tri alata za unutrašnje provlačenje žljebastog otvora prirubnice za vozilo "1300" izradjenih prema istom konstruktivnom crtežu (sl.2) od brzoreznog čelika Č.6880.Alati su označeni slovima A , B i C .Polufabrikat predmeta obrade je otkovak od Č.1531 tvrdoće 223 kN/cm² .Otkovak se pre provlačenja obradjuje na osmovretenom automatskom strugu Gildemajster pri čemu se ostvaruje prečnik otvora 25,5 H13.Brzina rezanja pri provlačenju je 3 m/min a dužina provlačenja 36 mm.

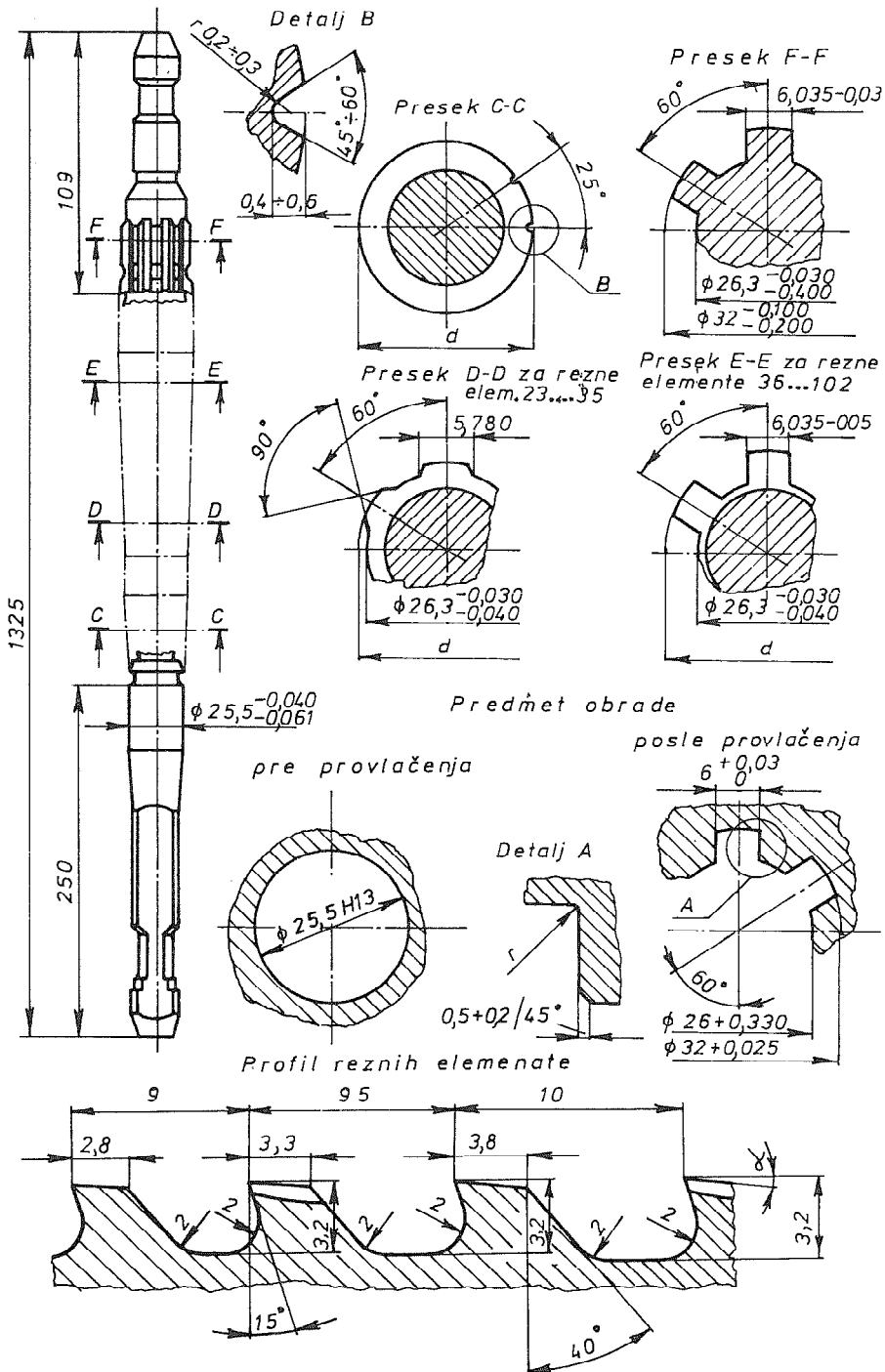
Alati sa kojima je izvedeno ispitivanje proizvedeni su u OOUR-u Alatnica Zavoda "Crvena zastava" po konstruktivnoj i tehnološkoj dokumentaciji koja je ranije izradjena u saradnji sa Laboratorijom za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu. Sa obzirom da alat za unutrašnje provlačenje ima veliki broj reznih elemenata , praćenje razvoja procesa habanja na svim reznim elementima zahtevalo bi mnogo vremena i nebi bilo opravdano.Rezni elementi koji rade pod sličnim uslovima imaju medjusobno približan razvoj procesa habanja.Zbog toga je iz svake grupe izabran odredjeni broj reznih elemenata na kojima je praćen razvoj procesa habanja:

- U operaciji provlačenja cilindričnog otvora zupčanika za menjač vozila "101" na alatu broj 1 izabrani su rezni elementi broj 10 , 11 , 12 ,13 , 36 , 37 , 38 , 39 , 51 , 52 i 54 a na alatima broj 2 , 3 i 4 rezni elementi broj 10 i 36 .
- U operaciji provlačenja žljebastog otvora na prirubnici vozila "1300" na alatima A , B i C izabrani su rezni elementi broj 70 i 91 .

Veličina pojasa habanja merena je na svakom izabranom reznom elementu na dva dijametralna mesta.Merenje pojasa habanja izvodjeno je na univerzalnom alatnom mikroskopu UIM 21.Za merenje otpora rezanja korišćen je specijalno konstruisan dinamometar sa tenzometarskim elementima.Dinamometar je izradjen u OOUR-u Alatnica i Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.Kao pojačivač korišćen je jednokanalni most KWS/T proizvodnje HOTTINGER



Sl.1 Alat za unutrašnje provlačenje cilindričnog otvora zupčanika za menjač vozila "101"



Sl.2 Alat za unutrašnje provlačenje žljebastog otvora prirubnice

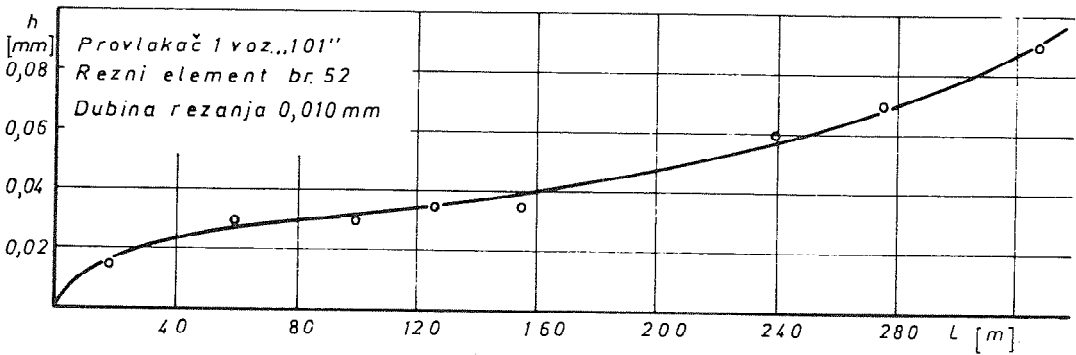
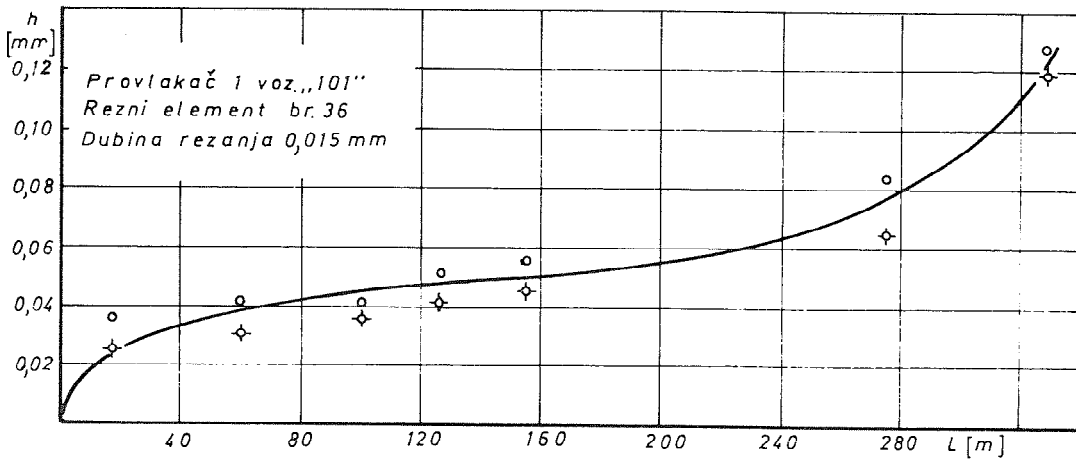
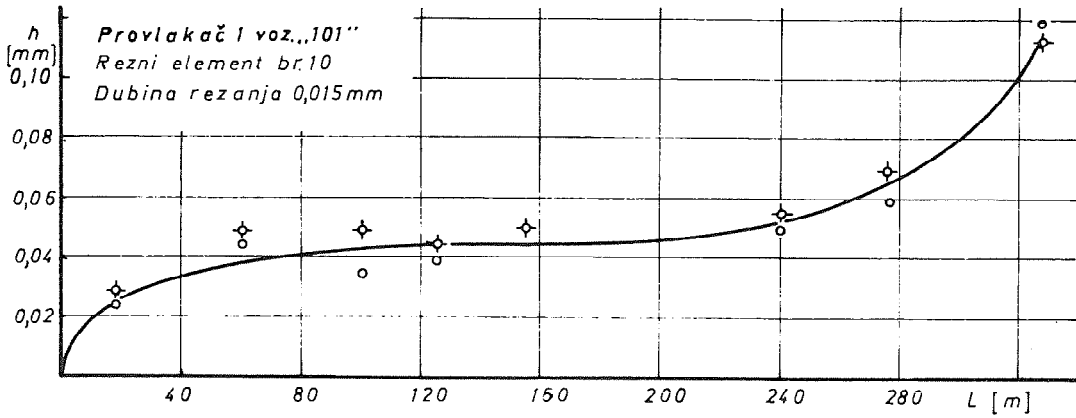
BALDWIN MESSTECHNIK , dok je za zapisivanje signala upotrebljen jednokanalni pisač [1] .Za merenje srednjih temperatura rezanja pri provlačenju korišćena je metoda merenja prirodnim termoparovima [2].Ova metoda se zbog svoje jednostavnosti i tačnosti vrlo mnogo primenjuje pri složenim uslovima obrade kakva je to naprimer obrada unutrašnjim provlačenjem.Za registrovanje malih termoparova koje daje prirodni termopar alat-predmet obrade korišćen je četvorokanalni pisač HELIGE HE - 17 sa odgovarajućim pojačivačima koji obezbeđuju veliku osetljivost.Predmet obrade je bio izolovan od mase mašine pomoću specijalno konstruisanog nosača koji je izradjen u OOUR-u Alatinica.Ispitivane operacije su izvodjene na vertikalnim provlakačicama VARINELI tipa BV 16/1300 a kao sredstvo za hladjenje i podmazivanje korišćeno je ulje za provlačenje.Postavljanje predmeta obrade kao i njegovo skidanje izvodi se ručno , dok je vodjenje alata za provlačenje pri radnom i povratnom hodu automatsko.Na mašinama se istovremeno obradjuju po dva predmeta.

3. Rezultati ispitivanja

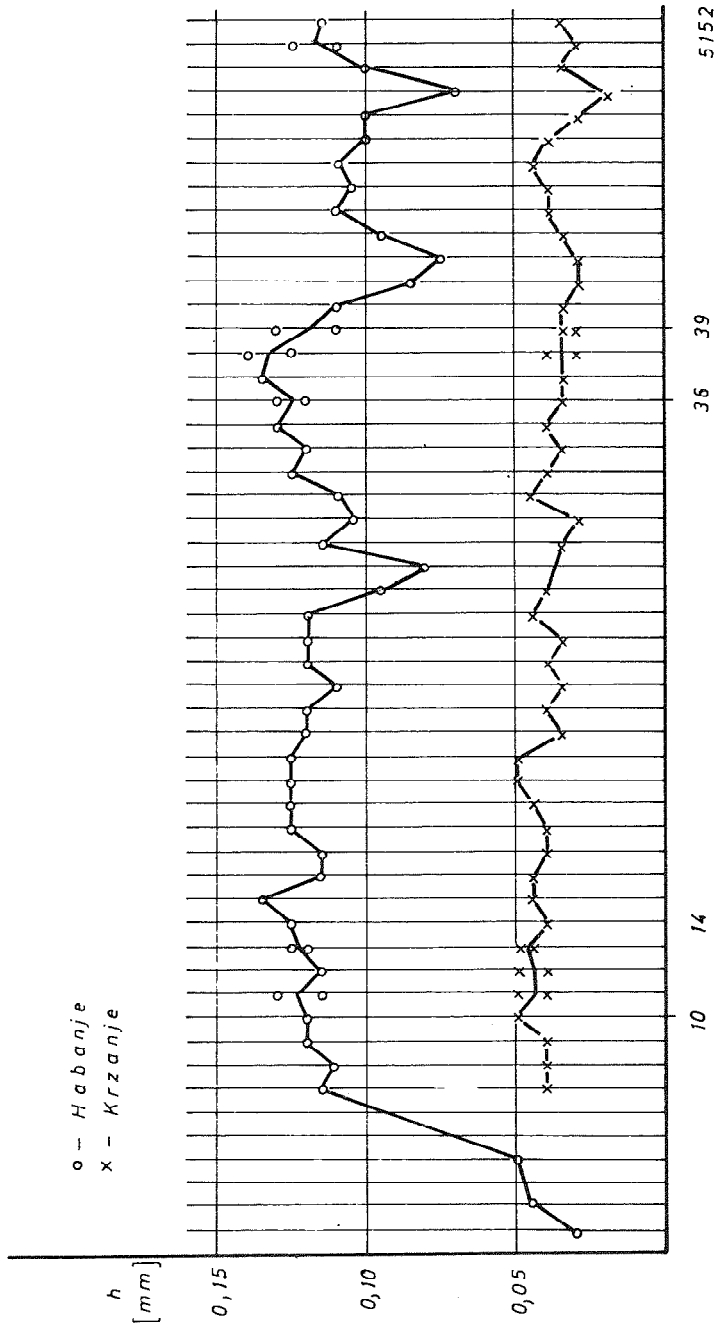
Na slici 3 prikazane su krive habanja ispitivanih reznih elemenata alata broj 1 za provlačenje cilindričnog otvora zupčanika za menjač vozila "101".Stanje pohabanosti svih reznih elemenata istog alata posle 328 m provučene dužine prikazano je na slici 4.Na osnovu ovih rezultata može se zaključiti da je razvoj procesa habanja sličan na reznim elementima koji vrše rezanje pod istim uslovima. Pema tome rezultati koji se dobijaju praćenjem razvoja procesa habanja na izabranim reznim elementima predstavljaju razvoj procesa habanja kompletnog alata za unutrašnje provlačenje

Na slici 5 prikazane su krive habanja reznog elementa broj 10 alata broj 1 (Č.6880) i broj 2 (Č.7680) i krive habanja reznog elementa broj 36 alata 1 i 3 (Č.6880) i 2 i 4 (Č.7680) .Uzimajući u obzir da su moguće greške merenja pojasa habanja $\pm 0,005$ mm uporedjivanjem prikazanih krivih habanja može se doneti zaključak o uticaju materijala alata na njegove eksploatacijske karakteristike.

Na slici 6 prikazan je uticaj primene sredstva za hladjenje i podmazivanje na veličinu otpora rezanja , a na slici 7 na veličinu srednjih temperatura rezanja pri provlačenju.Uticaj veličine protoka sredstva za hladjenje i podmazivanje na srednje temperature rezanja pri provlačenju prikazan je na slici 8.Ispitivanja otpora i srednjih temperatura rezanja su izvršena na proizvodnoj operaciji provlačenja cilindričnog otvora zupčanika za menjač vozila "101"



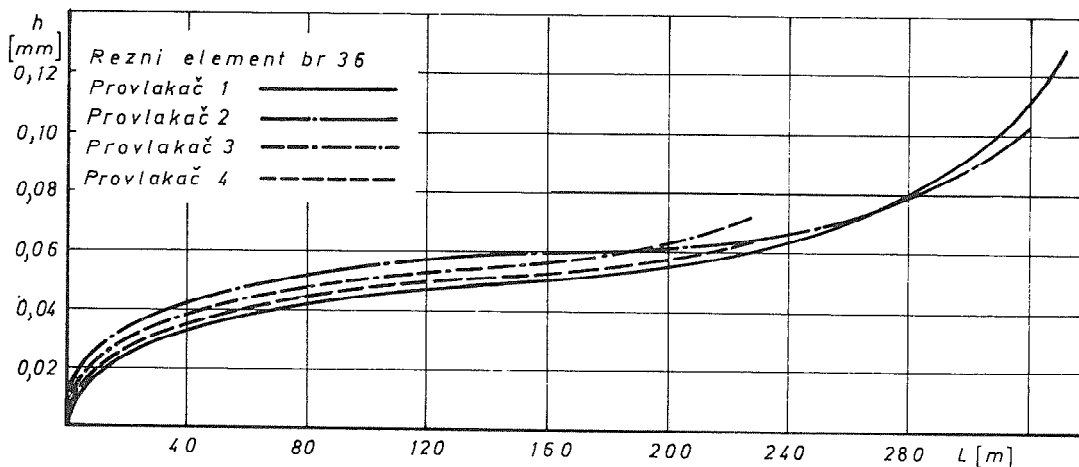
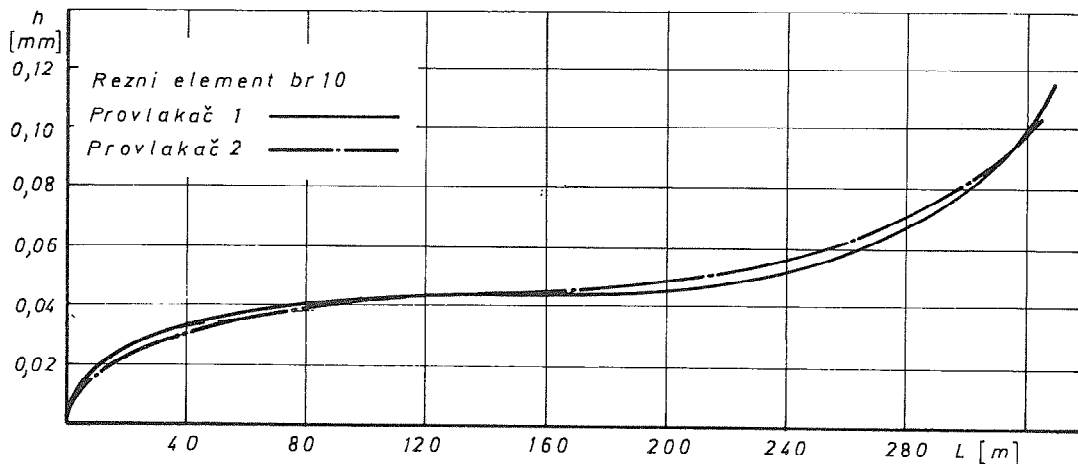
Sl.3 Krive habanja ispitivanih reznih elemenata



Sl.4 Stanje pohabanosti reznih elemenata rezućeg dela alata broj 1
posle 328 m provučene dužine

alatom broj 1.

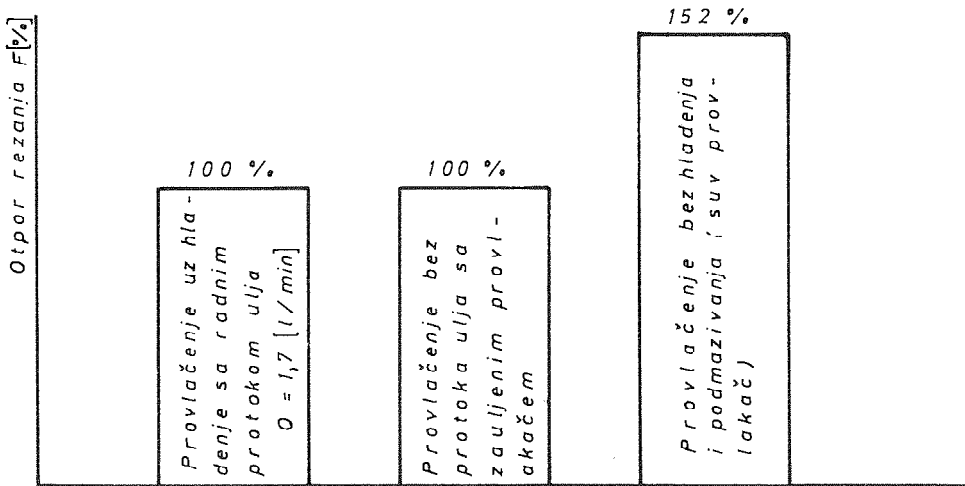
Na slici 9 prikazano je povećanje otpora rezanja u zavisnosti od provučene dužine, a na slici 10 smanjenje mere provučenog profila predmeta obrade (zupčanik za menjač vozila "101") u zavisnosti od veličine pojasa habanja.



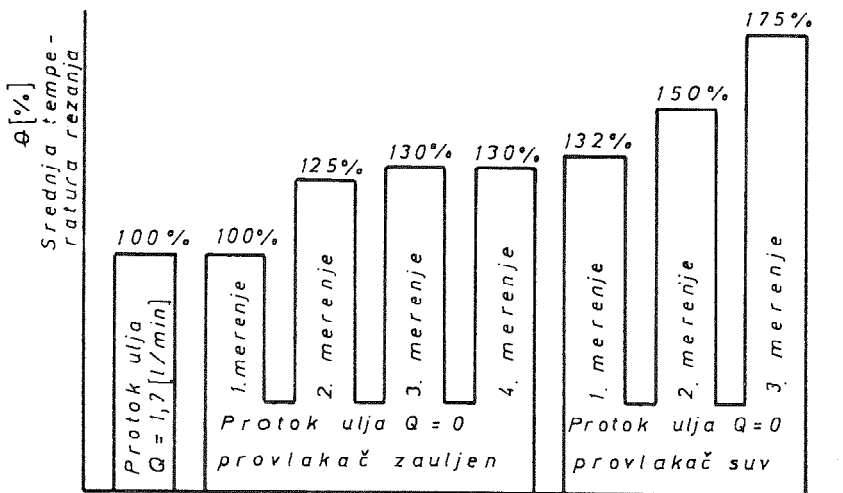
Sl.5 Uticaj brzoreznih čelika Č.6880 i Č.7680 na habanje alata

Na slici 11 prikazana je kriva habanja kalibrirajućeg reznog elementa broj 54 alata 1.

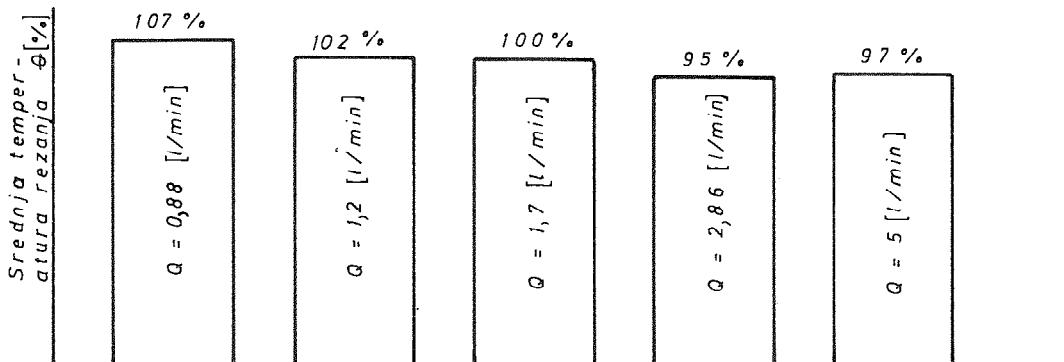
Na slici 13 prikazane su krive habanja reznog elementa broj 70 alata A, B i C za provlačenje žljebastog otvora prirubnice vozila "1300". Alati A i B su oštreni posle 77 m provučene dužine dok je sa alatom C nastavljeno provlačenje bez oštrenja. Upoređujući krive habanja ovog reznog elementa može se doći do zaklj-



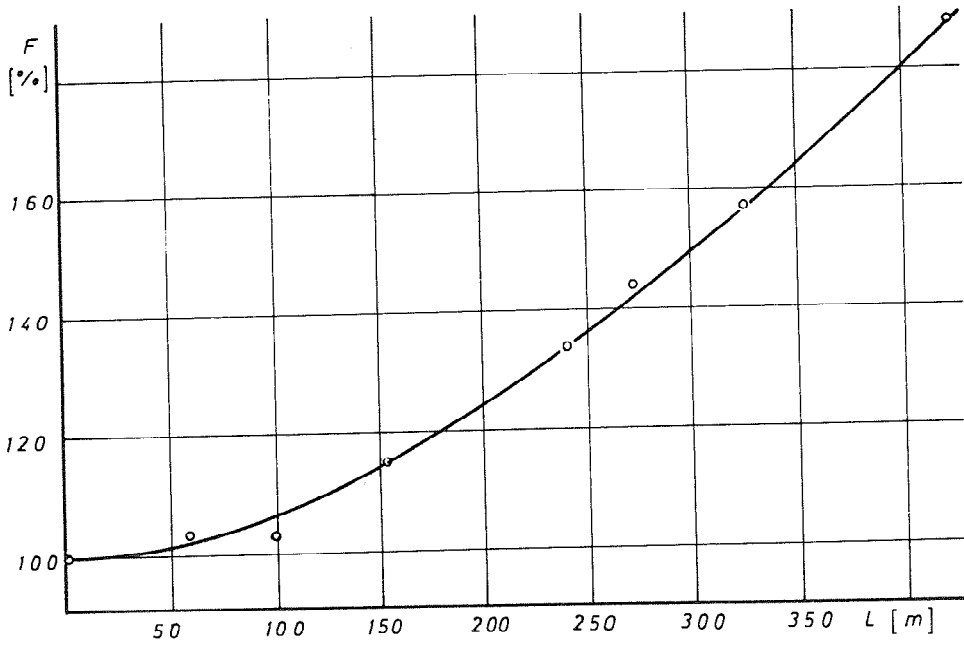
S1.6



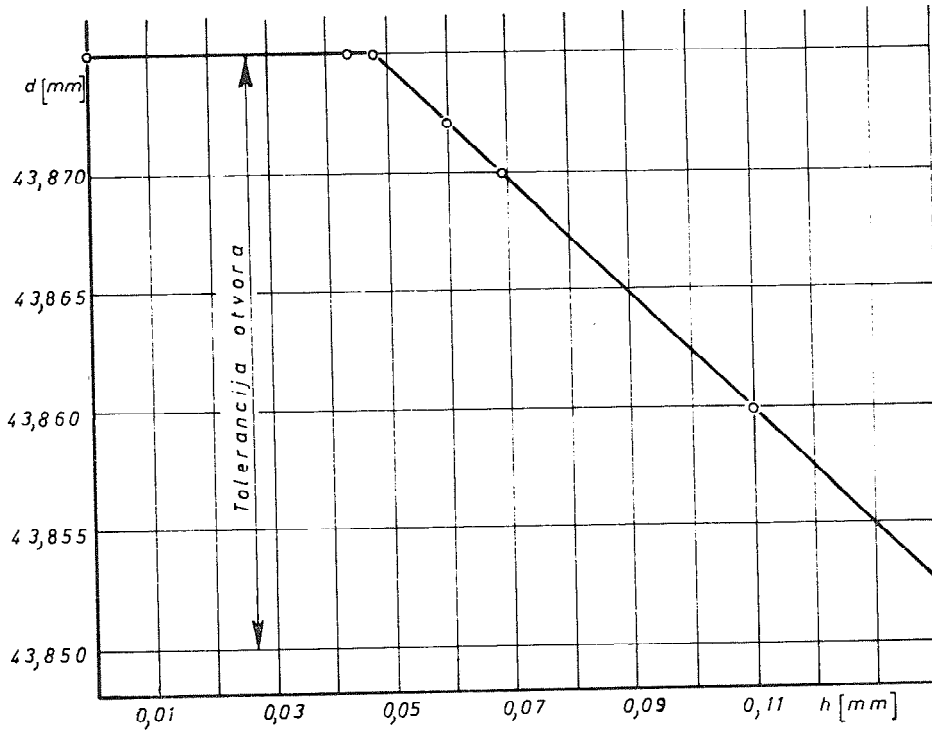
S1.7



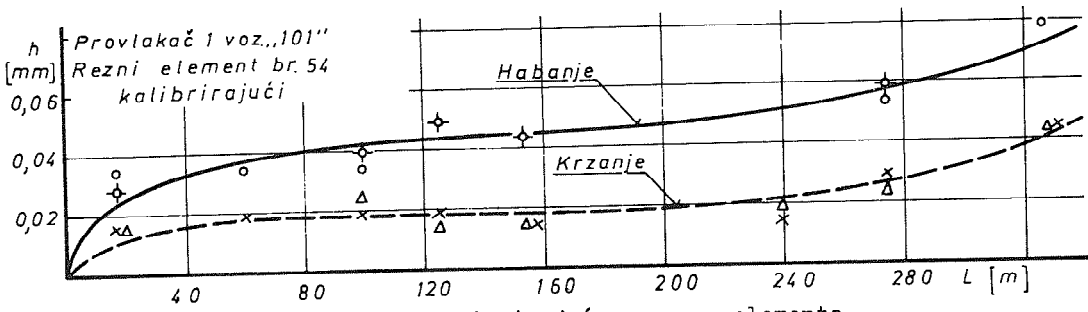
S1.8



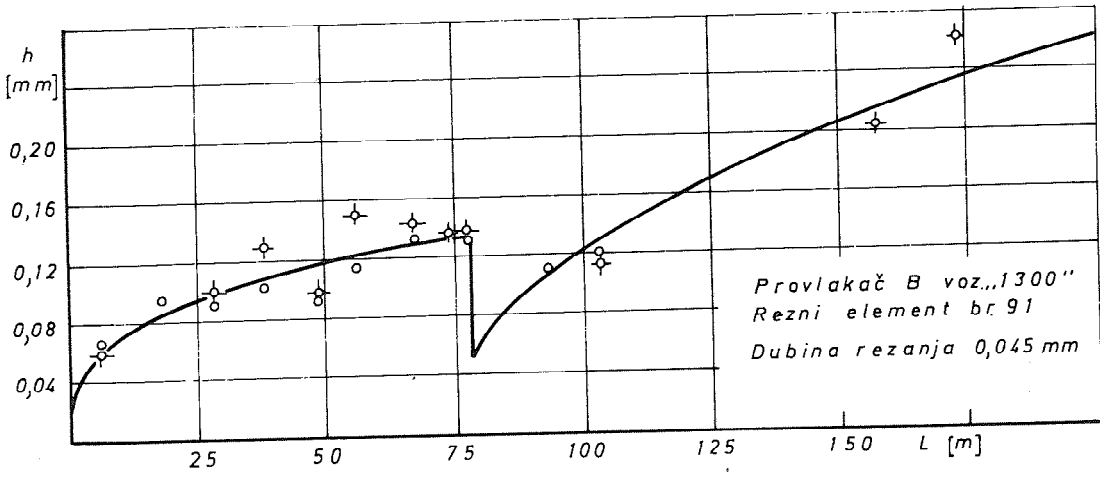
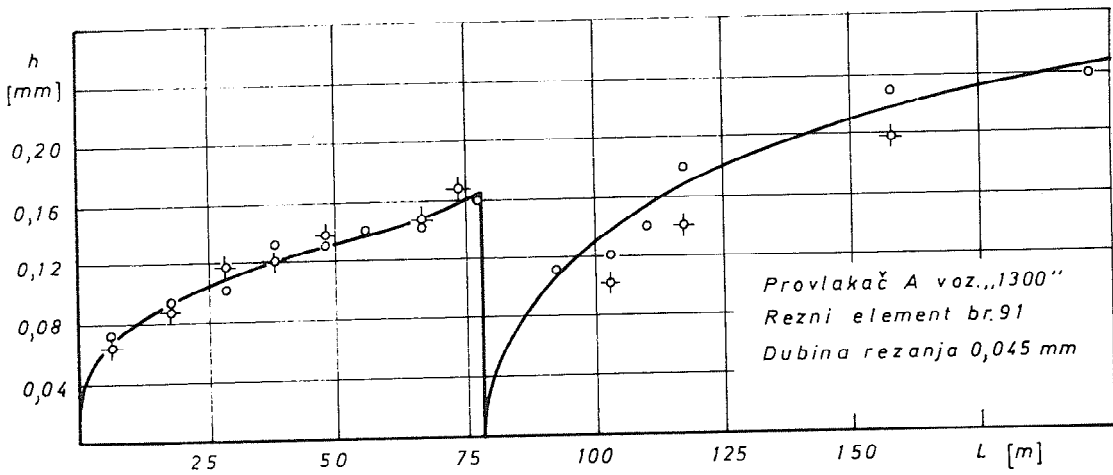
Sl.9 Povećanje otpora rezanja u zavisnosti od provučene dužine



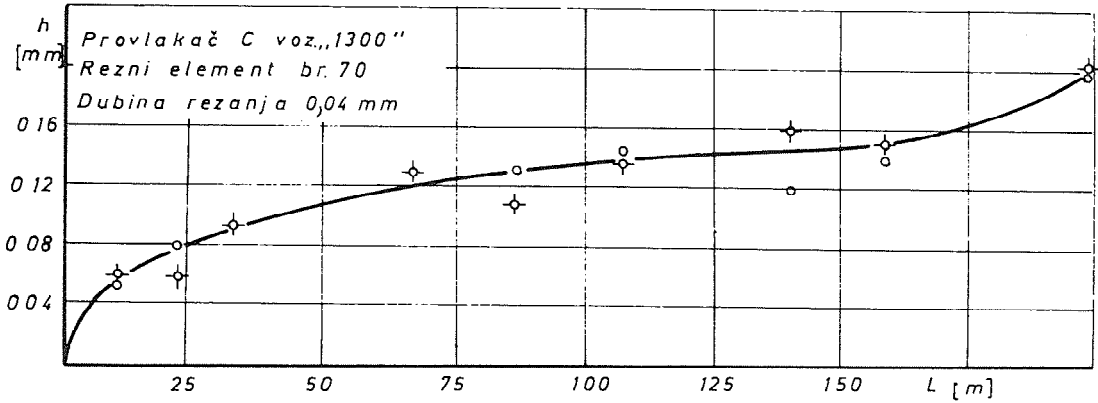
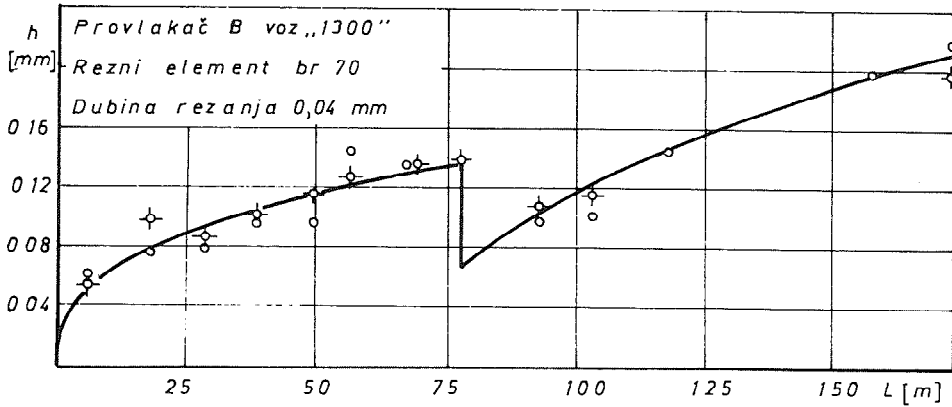
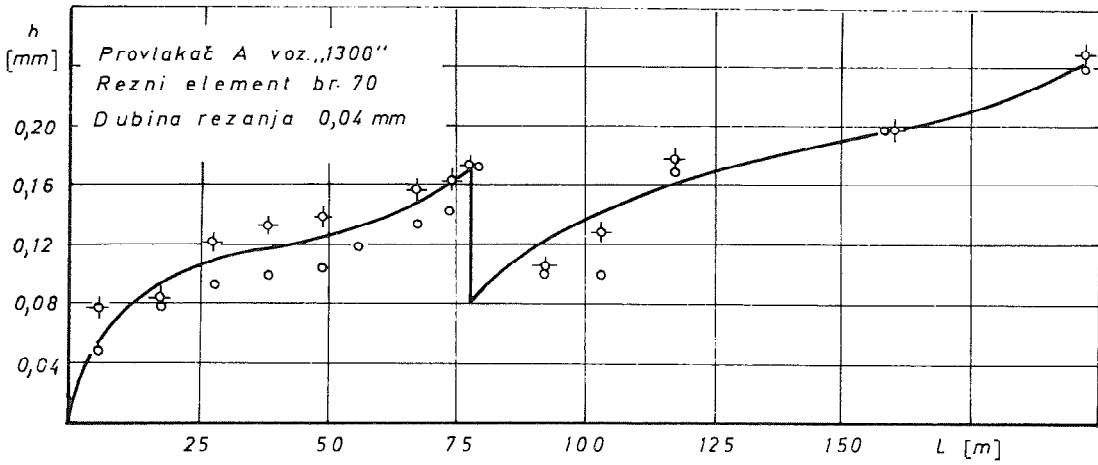
Sl.10 Smanjenje mere provučenog otvora u zavisnosti od veličine pojasa habanja



Sl.11 Kriva habanja kalibrirajućeg reznog elementa



Sl.12 Uticaj načina oštrenja na razvoj procesa habanja



Sl.13 Uticaj prevremenog oštrenja na postojanost alata

učka o uticaju prevremenog oštrenja na eksploatacijske karakteristike alata. Na reznom elementu broj 91 pojas habanja je potpuno uklonjen oštrenjem na alatu A dok je na alatu B delimično uklonjen (sl.12) Upoređujući ove dve krive habanja može se doći do zaključka koji način oštrenja daje bolje rezultate.

4. Zaključak

Alati za unutrašnje provlačenje izradjeni od brzoreznih čelika Č.6880 i Č.7680 imaju slične eksploatacijske karakteristike. Zbog velikih dimenzija alata za njihovu izradu su potrebne veće količine materijala. Ovo je naročito izraženo kod alata većih prečnika. Cena brzoreznog čelika je dosta visoka pa znatan deo cene alata potiče od troškova vezanih za materijal. Cena brzoreznog čelika Č.7680 je 1,5 do 2 puta manja od cene Č.6880 pa bi se primenom Č.7680 učinile značajne uštede.

Primenom sredstva za hladjenje i podmazivanje znatno se smanjuju otpori i srednje temperature rezanja a time i habanje alata. Sa povećanjem protoka sredstva za hladjenje i podmazivanje srednje temperature se vrlo malo smanjuju a otpor rezanja ostaje konstantan. Protok ne treba smanjivati ispod određene granice zbog lakšeg odvodjenja strugotine sa alata. Zbog malih brzina rezanja pri unutrašnjem provlačenju od sredstva za hladjenje i podmazivanje se zahteva prvenstveno podmazujuće svojstvo, pa se za provlačenje koriste načešće ulja za rezanje kojima se dodaju aditivi aktivnog ili neaktivnog tipa. Izbor optimalne vrste ulja koja će dati najveću postojanost alata biće predmet daljeg ispitivanja.

Sa povećanjem pojasa habanja povećava se i otpor rezanja. Usled delovanja otpora rezanja predmet obrade se elastično deformiše što dovodi do pojave smanjenja mere provučenog profila. Ova pojava je naročito izražena kod predmeta sa tanjim zidovima. Smanjenje mere provučenog profila jeste često kriterijum zatupljenja alata.

Kvalitet površine provučenog profila ostvaruju kalibrirajući rezni elementi. Na mestima gde dolazi do odvaljivanja (krzanja) rezne ivice nastaje naglo pogoršanje kvaliteta obradjene površine. Oštrenje kalibrirajućih reznih elemenata treba izvoditi tako da se uklone samo tragovi krzanja rezne ivice.

Prevremenim oštrenjem smanjuje se postojanost i povećavaju troškovi alata za unutrašnje provlačenje. Prilikom oštrenja ne treba

uklanjati ceo pojas habanja reznog elementa da bi se izbegla zona početnog habanja .

Reference

- [1] M. Milošević , "Merenje otpora rezanja pri provlačenju", Obrada metala i tribologija 4 (2), 63 (1974)
- [2] S. Zahar, M. Milošević, S. Karalazić, "Srednje temperature rezanja pri obradi čelika Č.7422", Obrada metala i tribologija 4(1), 61 (1974)

M. Milošević

Influence of Some Factors on Working Characteristics of Internal Broaching Tools

Because of relatively high costs of the internal broaching tools which are present in a case of small tool life, it is necessary to pay strong attention to the tools optimal use. In this paper it is presented the influence of the tool material , the coolants and cutting and lubrication fluids , the wear criteria and the way of sharpening , on the working characteristics of internal broaching tools

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

F. Dakić*

PROBLEMATIKA UREZIVANJA NAVOJA U NAVRTKE NA AUTOMATIMA**

1. Uvod

U procesu urezivanja navoja u navrtke na automatima, vrlo često se javlja problematika koju možemo svrstati u četiri grupe:

- a) mašina
- b) alat
- c) predmet obrade
- d) pomoćni pribor

Svaka od ovih grupa sadrži niz faktora koji opet svaki od njih, na sebi svojstven način, utiču na problematiku urezivanja. Obzirom da proizvođača navrtki interesuje maksimalan broj kvalitetno urezanih navrtki uz što manju potrošnju ureznika, bilo da se je okrazio, slomio, zaglavio, iskrivio ili pohabao, to je i neophodno bilo iznaći uzrok otkaza i naći njegovo rješenje. Sve ove pojave na urezniku bile su vrlo česte, pa se urezivanje navoja na automatima u serijskoj proizvodnji smatralo uskim grlom i mjestom gdje se stvaraju veliki troškovi. Ispitujući uzroke otkaza ureznika u procesu rada, višegodišnjim praćenjem i analizom, dolazi se do zaključka da ureznik kao alat nije jedini krivac za nastale probleme u procesu urezivanja. Proizvođači navrtki koji posjeduju automate ruske proizvodnje tipa A2o62, A2o63, A2o64, smatraju da je glavni uzročnik otkaza ureznika pomoćno kretanje - uređaj za dovodjenje navrtki na urezivanje - ureznik.

*Mr. Pantelija Dakić, dipl.ing., direktor OOUR-a FSU-a "ČAJAVEC" Banja Luka, Braće Pavlić br. 25.

** Radjeno u Tvornici vijaka "Mrkonjić Grad" kao dio projekta "Analiza problema urezivanja navoja u navrtke na automatima dimenzija do M30" u čijem finansiranju je učestvovao Metalurški institut "H. Brkić" Zenica.

Mehanički sistem dovodjenja navrtki na ureznik koji posjeduju napomenuti automati ima niz nedostataka, te svojim osobinama dovodi da ureznik bude izbačen iz procesa urezivanja, bilo da se iskrivio, okrzao, zaglavio i sl. Iz tog razloga morao se ovaj sistem dovodjenja navrtki na ureznik zamijeniti nekim drugim sistemom ili izvršiti rekonstrukcija postojećeg.

2. NAČIN RADA AUTOMATA

Sa funkcionalne šeme na sl. 1 vidi se da mašina ostvaruje dva kretanja:

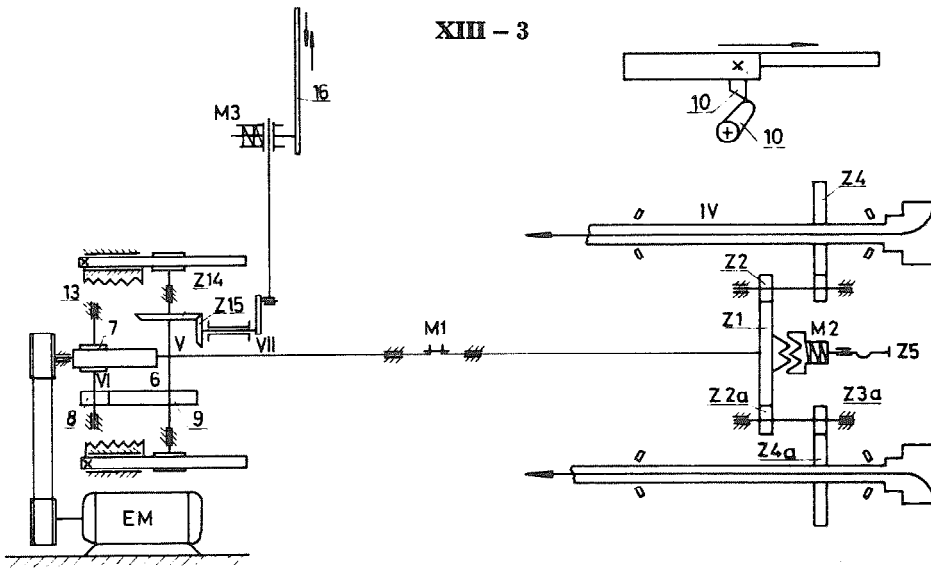
- glavno kretanje
- dva pomoćna kretanja

Glavno kretanje mašine je obrtno kretanje ureznika i ono se ostvaruje na sljedeći način.

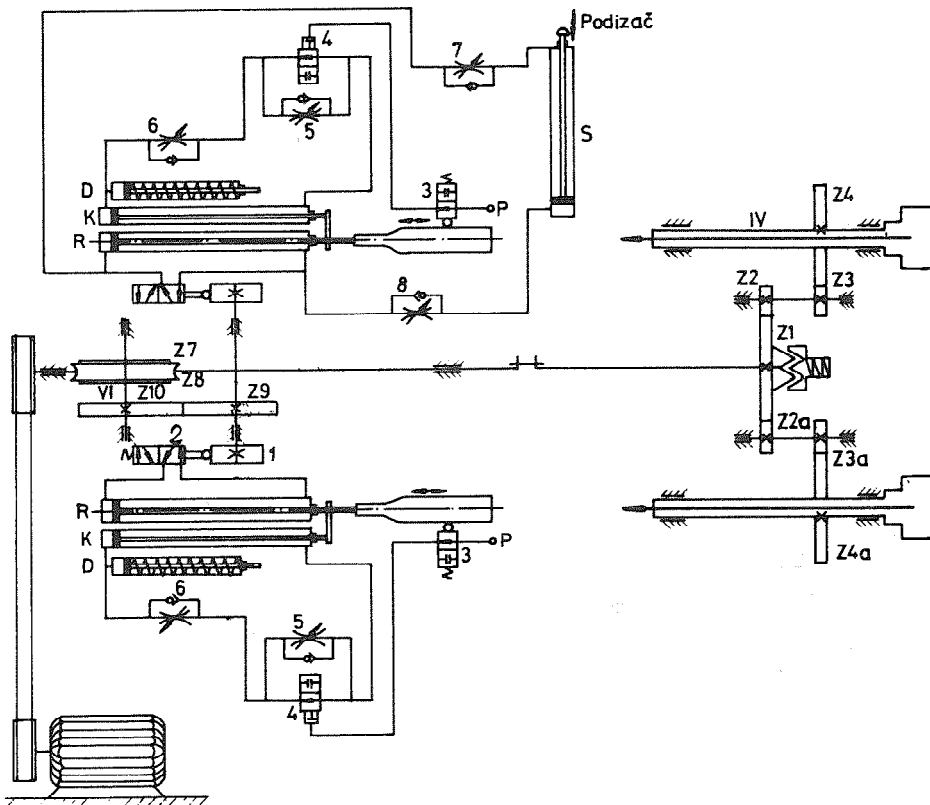
Obrtno kretanje sa elektromotora, a preko remenice D1 i D2 se prenosi na vratilo I. Sa vratila I preko spojnice M1 na vratilo II, na kome se nalazi zupčanik Z2 i Z2a čiji je zadatak da obrtno kretanje sa vratila II prenesu na vratila III i IIIa. Na njima se nalaze zupčanici Z3 i Z3a koji preko zupčanika Z4 i Z4a daju obrtno kretanje za obje glave koje u sebi nose ureznike kako je na šemi prikazano. Obrtna brzina zupčanika Z4 i Z4a je ujedno i obrtna brzina ureznika.

Pomoćno kretanje čiji je zadatak da ne dozvoli zaglavljivanje navrtki koji padaju iz doboša u kanal za automatsko doziranje i pomoćno kretanje ostvaruje se sa vratila I. Vraćanje potiskivača 12 u zadnji položaj (kao na šemi) ostvaruje se sa vratila I na kome je puž 7 i prenosi kretanje na pužni točak 6 koji obrće vratilo VI na kome je zupčanik Z8 i Z9 i obrće vratilo V na čijim krajevima se nalaze bregovi 10 koji zakačuju za N 11 i vraćaju potiskivač 12 u zadnji položaj. Time se omogućuje da navrtka propadne ispred potiskivača 12, a pri oslobadjanju bregova od zuba, opruga 13 donosi navrtku na ureznik i pritiskuje potrebnom aksijalnom silom za urezivanje.

Drugo pomoćno kretanje čiji je zadatak da ne dozvoli zaglavljivanje ispred kanala za doziranje navrtki ostvaruje se tako što se na vratilu V nalazi konični zupčanik Z14 spregnut sa koničnim zupčanicom Z15 koji je radjen izjedna sa vratilom VII, a ono je na drugom

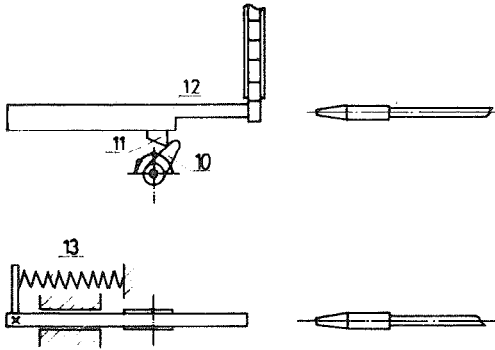


SLIKA 1

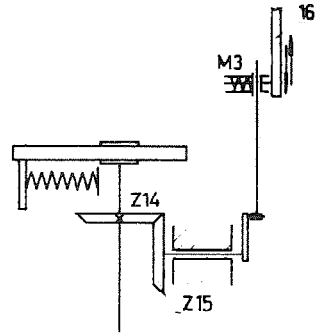


SLIKA 2

kraju preko poluge vezano za letvu koja na sebi nosi izdizač koji se kreće pravolinijski, što omogućuje kretanje poluge (sl. 3). Spojnica M3 ima zadatak da u slučaju preopterećenja odvoji letvu od izdizača 16.



SLIKA 3

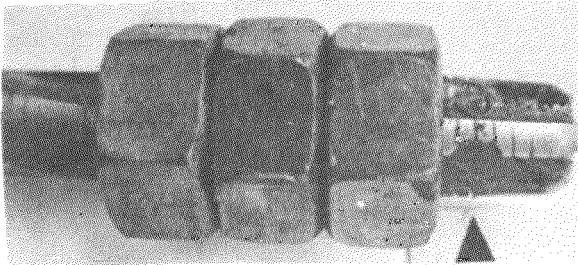


SLIKA 4

3. NEDOSTACI AUTOMATA

Na osnovu iskustvenih podataka i ispitivanja uzroka loma ureznika glavni nedostaci automata koji su se mogli uočiti, su pomoćna kretanja. Pomoćno kretanje za donošenje navrtki na ureznik i potiskivanje odredjenom aksijalnom silom da bi se mogao urezati navoj vršeno je oprugom. U procesu rada opruga je naglo potiskivala navrtku na ureznik, prosto je "nabijala" na ureznik, što je uzrokovalo vrlo često krzanju ureznika na reznom uzanom dijelu sl. 5.

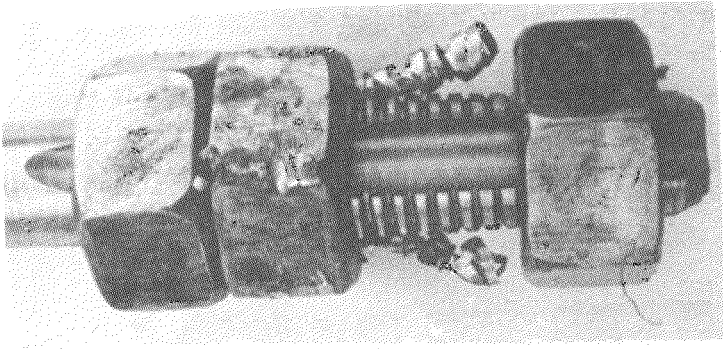
Ovaj problem postebno je aktuelan kod urezivanja navoja u navrtke većih dimenzija, gdje su potrebne veće aksijalne sile za urezivanje, a samim tim i jače opruge, pa je i udar bio daleko veći, naglo bi opterećivao prve navoje na urezniku i često dovodio do loma istog.



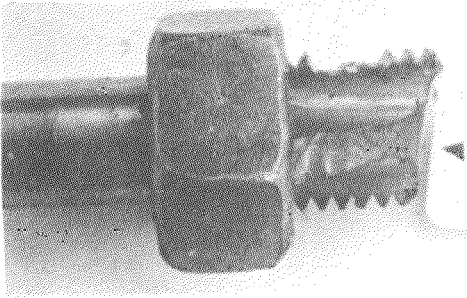
Sl. 5

Osim toga vrlo bi brzo oslobodio rad opruge, pa ne bi bila u stanju da dovoljno jakom aksijalnom silom potisne navrtku na ureznik, tako da bi u međuvremenu naišla i sledeća navrtka za urezivanje navoja.

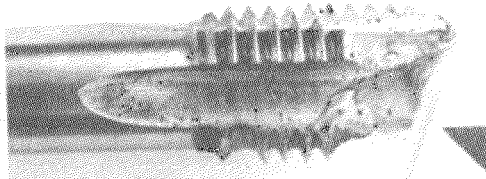
XIII - 5



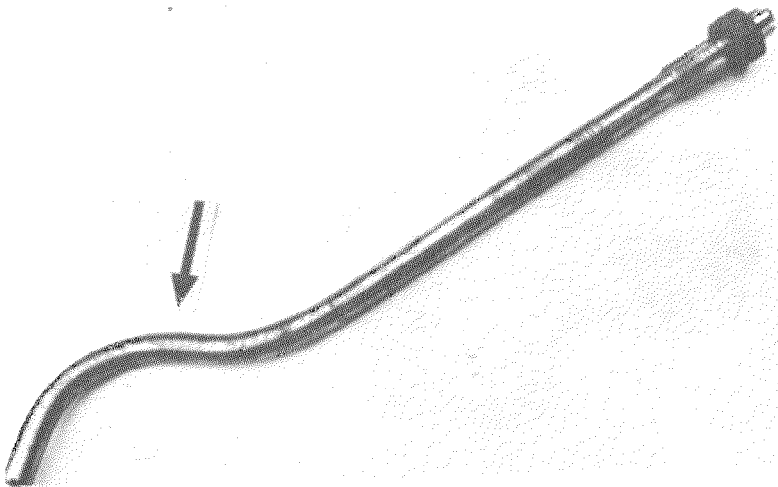
Sl. 6.



Sl. 7



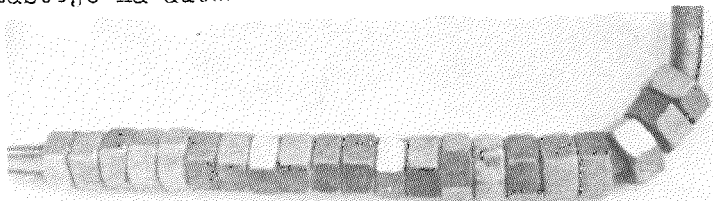
Sl. 8



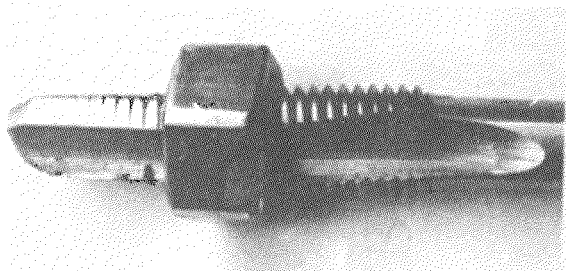
Sl. 9

XIII - 6

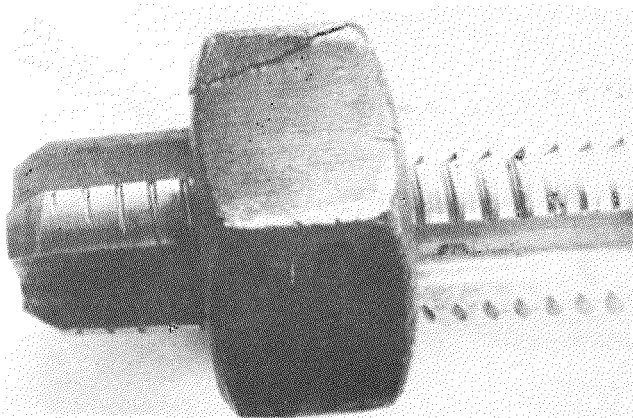
Ova druga stigla bi prvu sl. 5 i sl. 6, pa bi došlo do zaglavljivanja na ureznom dijelu, što u krajnjem slučaju dolazi do loma ureznika sl. 7, sl. 8, zatim krivljenja drške ureznika sl. 9 ili drugih elemenata u samoj mašini. Lom, krzanje, krivljenje i zaglavljivanje ureznika kao i kvar nekog drugog elementa iziskivao bi velike troškove i zastoje na automatu.



Sl. 10.



Sl. 11.



Sl. 12.

Vrlo često ima pojava vezanih za izbacivanje ureznika iz procesa rada urezivanja koje nisu uzrok konstruktivne slabosti automata već nepravilno savijanje drške ureznika (sl. 10), uvijanje reznog dijela ureznika (sl. 11), zbog nepravilno definisane rupe u otkivku navrtke, greške u materijalu navrtke (sl. 12) i td.

Isto tako jedan od nedostataka koji nije direktno vezna za lom ureznika, ali je uzročnik vrlo čestih zastoja i većih materijalnih šteta na automatu je podizač za doziranje navrtki u dovodni kanal gdje se redaju, padaju jedna po jedna ispred potiskivača koji ih nosi na ureznik za urezivanje.

Prema sl. 1 spojnica M3 nije pravo rješenje za ovakav slučaj, zato što nije u stanju da iskopča letvu blagovremeno ako bi došlo do zaglavljivanja navrtki u odvodnom žljebu. Zaglavljivanje navrtki na ulazu u odvodni žljeba uzrokovalo bi lom koša automata što dovodi do velikih zastoja i materijalnih gubitaka.

4. REKONSTRUKCIJA AUTOMATA

Mehanički sistem pomoćnih kretanja nije bio adekvatan ovakvom tipu automata pa je i slijedila zamjena mehaničkog u pneumatski sistem što će se na kraju uporednom analizom i pokazati.

4.1. NAČIN RADA PNEUMATSKOG SISTEMA

Pomoćno kretanje dotura polufabrikata na ureznik i njihovog laganog pomicanja da se urežu navoji neophodno je povezati sa obrtnim kretanjem vratila III čiji je broj obrtanja ravan broju komada koji se urade na jednom urezniku u toku jednog minuta. Ovo vratilo predstavlja upravljačko, jer veza između ova dva kretanja ostvaruje se pomoću bregastih ploča koje su pričvršćene na krajevima ovog vratila i imaju zadatak da aktiviraju pneumatske instalacije u odgovarajućem momentu. Automatski dovod polufabrikata na ureznik i njihovo lagano pritiskivanje da se urežu navoji, vrši se pomoću pneumatske radne jedinice za posmak, koja ima mogućnost regulacije radnog hoda u dva dijela, kao brzog primicanja i radnog dijela čija je brzina kretanja daleko manja.

Brzina povratnog hoda također se da regulisati sa podesivom prigušnicom. Šema pneumatske instalacije tada je na sl. 2 i njen princip rada je sljedeći:

Bregasta ploča 1 koja se nalazi na upravljačnom vratilu aktivira razvodnik 2 koji propušta vazduh u lijevi dio radnog cilindra R i klip koji nosi pritiskivač P, počinje da vrši brzo primicanje, jer razvodnik 3 aktivira vazduhom razvodnik 4 koji propušta slobodno ulje iz desnog dijela kočionog cilindra preko ventila 6 u lijevi dio kako je na slici prikazano. Kada pritiskivač P predje put brzog primicanja zatvara se razvodnik 3, a automatski i razvodnik 4, te ulje iz desnog dijela kočionog cilindra K ne prelazi kroz razvodnik 4 već ide preko podesivog prigušnog ventila u jednom smjeru 5, a odatle kroz ventil 6 u lijevi dio kočionog cilindra. Na ventilu 5 vršimo regulaciju brzine kretanja radnog dijela hoda u toku koga se narezuje navoj. Povratni hod se ostvaruje tako što bregasta ploča čim predje put radnog hoda aktivira razvodnik 2 koji vazduh propušta u desni dio radnog cilindra i pritiskivač vrši praćanje unazad. Brzina ovog hoda se reguliše pomoću kočionog cilindra prigušnim ventilom 6, jer ulje iz lijevog dijela prolazi kroz prigušni ventil 6 gdje se reguliše brzina kretanja pritiskivača, a odatle slobodno kroz ventil 5 u desni dio kočionog cilindra. Sa pneumatskog sistema za dotur navrtki na urezник priključen je vazduh koji dolazi pod pritiskom i preko prigušno-nepovratnog ventila 8 vodi se u donji, a preko isto takvog ventila 7 u gornji dio cilindra 5. Kako se od podizača ne traži strogo brzina dizanja, ona se reguliše preko prigušnih ventila 7 i 8 i ima širok dijapazon. Podizač navrtki ostvaruje svoje kretanje, tako što vazduh doveden iz razvodnika 2 prelazi kroz ventil 8 u donji dio cilindra i podzač se kreće naviše. Brzina kretanja se reguliše prigušno-nepovratnim ventilom 7, pomoću količine vazduha koja izlazi iz gornjeg dijela cilindra, dok se brzina povratnog hoda naniže reguliše ventilom 8, pomoću količine vazduha koja izlazi iz donjeg dijela cilindra. U cijeloj ovoj instalaciji nalazi se i cilindar za dotur debljine D. Pošto zaptivanje hidrauličnog cilindra uvijek nije potpuno, to se gubitak ulja nadoknađuje iz ovog cilindra. Ugrađena pneumatska instalacija funkcionalno zadovoljava, a tačnost pojedinih brzina pritiskivača zavisit će od kvaliteta pneumatske opreme.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženih uporedbi starog mehaničkog sistema pomoćnog kretanja kod automata ruske proizvodnje tipa A2062, A2063 i A2064 i novouvedenog pneumatskog sistema pomoćnog kretanja može se izvući sledeći zaključak:

1. Smanjen je broj potrošnje ureznika 70% (Prema tabeli 1)
2. Poboljšan je kvalitet ureznog navoja
3. Eliminirani su troškovi održavanja za izbačene elemente u sistemu (9 elemenata prema tabeli br. 1).
4. Eliminirani su zastoji izazvani kvarovima uređaja za doturanje navrtki prema tabeli br. 1.
5. Smanjen je broj posužica za 50% (poslužiooci + radnici održavanja).

Reference

1. P. Dakić. Analiza problema urezivanja navoja na automatima u navrtke dimenzija M3-M30.
Magistarski rad 1977. godine.
2. Katalog GAJKONAREZNIJE AVTOMATI 2062, 2063, 2064, MOSKVA 1972.

In der Arbeit ist die Aenderung an Automaten fuer Einschneidung der Windungen am System fuer Hilfsbewegung gegeben. Statt mechanisches Systems der Hilfsbewegungen wurde Pneumatik eingefuehrt, was seine Rechtfenstigung nach der Tabelle Nr. 1 und Schluss am Ende des Referats hatte.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

Z.Nikić^{*})

UREZIVANJE NAVOJA SA VELIKIM BRZINAMA REZANJA^{**})

1. Uvod

Urezivanje navoja je veoma složen proces obrade metala. Alat - urezник radi u veoma teškim uslovima. Pored toga što je urezivanje dosta raširen postupak i što posedujemo dva velika proizvodjača navojnog alata, velika u svetskim razmerama (FRA-Čačak i Alat - Trebinje) proučavanju ovog postupka obrade se poklanja znatno manje pažnje nego drugim.

Upoznavanjem i sistematizacijom proizvodnih uslova stvaraju se mogućnosti za optimizaciju procesa. Na osnovu toga se dolazi do novnog kvaliteta ureznika (uvodjenjem nove konstrukcije i tehnologije izrade), pravilnog izbora i primene SHP, novih podataka na osnovu kojih se izvodi rekonstrukcija radnih elemenata mašina za urezivanje, racionalnog postupka regeneracije i sl. Proučavanje ove vrste obrade povezano je sa nizom teškoća i problema. Poseban problem je to što su veličina koraka i debljina strugotine determinisane konstrukcijom ureznika i oblikom rupe u kojoj se urezivanje izvodi (korak navoja i ugao ulaznog konusa).

Urezivanje se izvodi sa relativno malim brzinama rezanja. Brzine rezanja, koje su proizvodjači alata do nedavno preporučivali i koje se korišćené u proizvodnji, su se kretale maksimalno do 15-20 m/min., zavisno od materijala predmeta obrade.

Radi optimizacije i mini^{mi}žiranja troškova u obradi urezi-

^{*}) Z.Nikić, Mr dipl.ing., stručni savetnik Pedagoško tehničkog fakulteta u Čačku, ul. Cara Dušana br. 1

^{**}) Rad je nastao u okviru rada na doktorskoj disertaciji i kao deo projekta OPTIMIZACIJA PROCESA UREZIVANJA u čijem finansiranju učestvuju FRA - Čačak i "Gradac" - Valjevo.

vanjem bilo je potrebno, prvo, sistematizovati probleme koji se javljaju pri obradi u proizvodnji a zatim definisati metodologiju i parametre pomoću kojih je bilo moguće optimizaciju realizovati. Problemi koji se javljaju u uslovima serijske i masovne proizvodnje pri urezivanju sistematizovani su i objašnjeni u radovima [1,2]. Razradjujući novu metodologiju [3] za praćenje triboloških procesa na radnim površinama zuba ureznika rešeno je niz pitanja u vezi sa kriterijumom zatupljenja, oblikom i razvojem habanja, razvojem otpora i temperatura, izborom SHP i sl. Sve to je poslužilo za optimizaciju procesa urezivanja u uslovima masovne proizvodnje [2,4]. Pri radu se često nametalo pitanje, posebno obzirom na neke pojave o kojima će biti reči kasnije, uvođenja i primene većih brzina rezanja pri urezivanju u konstruktivnim ugljeničnim čelicima.

Ovim radom se prezentiraju eksperimentalni podaci o uticaju brzine rezanja na razvoj triboloških procesa na radnim površinama zuba ureznika koji se koriste u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji.

2. Kratak pregled pojava i podataka u vezi sa urezivanjem u masovnoj proizvodnji

Poseban problem pri urezivanju navoja u navrtkama JUS.M.31.601, 6H-Čv50-80 je često krzanje zuba i lepljenje materijala predmeta obrade na radne i neradne površine ureznika. Na sl. 1. je prikazano lepljenje materijala predmeta obrade na grudnu i ledjnu površinu ureznika. Dokazano je [1,4] da je maksimalno iskorišćenje ureznika otežano i ograničeno, u znatnoj meri, ovim pojavama. Dešava se često u proizvodnji da usled, pri ostalim istim uslovima, neznatne promene materijala predmeta obrade (male promene zatezne čvrstoće, upotreba nominalno istog materijala drugog proizvođača ili čak promena šarže istog materijala) dolazi do pomenutih neželjenih pojava.

Urezivanje se izvodi brzinama rezanja pri kojima u drugim, sličnim uslovima obrade, u zoni vrha noža, nastaju pojave: jako izražene zone primarne i sekundarne deformacije i naslage. Osnovni uslov za bilo kakvu optimizaciju procesa urezivanja je dovođenje ureznika u radno stanje normalnog procesa rezanja i habanja. Otuđa se nametalo pitanje da li je opravdano preći sa relati-

vno malih brzina na veće, pri kojima bi se urezivanje vršilo bez pomenutih teškoća. Konsultovanjem oskudnih podataka iz literature [5,6] nije se moglo doći do potvrde o opravdanosti takvog postupka.



Sl.1. Pojava lepljenja materijala predmeta obrade na grudnu (levo) i ledjnu (desno) površinu radnog dela ureznika M12 tip 0. Alatni mikroskop, 4x.

Gropp [5] navodi da je pri urezivanju sa ureznicima M 27x1 (normalni pravi žljeb) eksperimentisao sa brzinama rezanja do 30m/min. Tada je prekidao eksperimente zbog "nepovoljnog formiranja strugotine".

U literaturi su opisane pojave "nemotoni" promena postojanosti u funkciji brzine rezanja za neke druge vrste obrade nekih metala alatom od brzoreznog čelika i tvrdog metala [7,8,9,10,11,17,18]. Pojave "nemonotonosti" promene intenziteta habanja u funkciji brzine rezanja se javljaju i u uslovima trenja i habanja pri klizanju [12,13].

Ne ulazeći dalje u razradu ovog problema, ističe se da ne postoji jedinstvena teorija kojom se može objasniti, verovatno, jedinstvena priroda fizičke pojave. U tumačenju pojave "nemonotonosti" pri radu sa alatom od brzoreznog čelika (struganje i glodanje pužnim glodalima) najviše pristalica ima teorija koja promene intenziteta habanja na ledjnoj površini alata obrazlaže postojanjem, razvojem i nestajanjem naslaga na grudnoj površini alata.

Prema osnovnim postavkama teorije trenja, dva taruća spregnuta metalne tela se dodiruju u odredjenom broju tačaka vrhovima pikova neravnih površina. U odredjenim uslovima između njih dolazi do mikroadhezionih veza [14,15]. Polazeći od činjenice da na različitim rastojanjima od radne površine reznog alata postoje i različiti uslovi, da ti raznoliku uslovi mogu dovesti do promene meha-

ničkih osobina materijala, moguće je pomenute pojave makro lepljenja dovesti u vezu sa unutrašnjim trenjem. Takav oblik trenja nastaje ukoliko je ispunjen uslov da je gradijent mehaničkih osobina materijala negativan [16] .

Brzina rezanja je veličina koja u znatnoj meri određuje uslove kontakta. Promenom brzine menjaju se, pored ostalog, brzina deformacije deformišućih slojeva materijala predmeta obrade i temperatura pri kojoj se ta deformacija izvodi. Obzirom da se nalazimo u oblasti brzina kojima odgovaraju relativno niske izmerene temperature rezanja (pri radu sa klasičnim brzinama urezivanja), to je moguće, što se tiče kriterijuma temperature, rezati sa većim brzinama. Moguće je da, pri nekim brzinama, postoje takvi uslovi koji u znatnoj meri definišu takav oblik trenja, unutrašnjeg ili spojnog, koji je povoljan za nesmetan rad (u vezi sa lepljenjem) i optimalno habanje. Za date uslove, za dati materijal predmeta obrade i alata postoji neki sticaj povoljnih uslova, u procesu trenja i habanja koji uslovljavaju optimalno habanje [12] . Polazeći od takvih podataka i postavki prešlo se na ispitivanje uticaja brzine rezanja na habanje radnih površina ureznika i pojave makrolepljenja materijala predmeta obrade na radne i neradne površine alata.

3. Promena habanja u funkciji brzine rezanja

3.1. Metodologija istraživanja i uslovi eksperimenata

Ispitivanja su izvodjena u dve vrste uslova. U prvoj etapi je, za ureznike M12 za navrtke (uslovno od sada nazvan M12tip 0) i za ureznike M12tip A, po određenom programu, vršeno urezivanje sa različitim brzinama rezanja. Eksperimenti su izvodjeni u laboratorijama FRA - Čačak. Eksperimentalne brzine sa kojima je vršeno urezivanje su: $v_1 = 2,7\text{m/min}$, $v_2 = 4,5\text{m/min}$, $v_3 = 6\text{m/min}$, $v_4 = 9\text{m/min}$, $v_5 = 17\text{m/min}$, $v_6 = 27\text{m/min}$, $v_7 = 36\text{m/min}$, $v_8 = 55\text{m/min}$, $v_9 = 75\text{m/min}$. Urezivanje je vršeno na mašinama "Gewinomat - WTW", DDR (do $n=400\text{ O/min}$, $v_5 = 17\text{m/min}$,) i na stubnoj bušilici. Pri radu na stubnoj bušilici ureznik je postavljen i stezan u podešljivu steznu glavu "Kowo", ČSSR. Sredstvo za hladjenje i podmazivanje: SOI 40-5% rastvor, $Q=4\text{ lit/min}$. Karakteristike ureznika: ureznik M12 tip 0 izradjen od Č.9780, tvrdoće 64+1. Geometrijski elementi

su: $\gamma = 12^\circ$, $\varphi = 1^\circ 45'$. Ureznik M12 tip A izradjen je od č. 9780, tvrdoće 64+1 HRC. Geometrijski elementi ureznika su: $\gamma = 12^\circ$, $\varphi = 4^\circ 40'$. Ureznici iz jedne šarže (istog tipa), sistematski su prekontrolisani prema uobičajenom postupku kontrole.

Materijal predmeta obrade: navrtka JUS M. Bl. 601. M12 6H ČV60, od č. 1430 (C-0,35%, $\sigma_n = 60+5 \text{ KN/cm}^2$). Visina navrtke je 10mm. Kontrola mera navoja predmeta obrade je izvodjena kontrolnim i mernim alatom. Kontrolisan je svaki deseti komad. Prećenje promena na obradjennoj površini je izvodjeno tako što su navrtke sečene i površina posmatrana na mikroskopu.

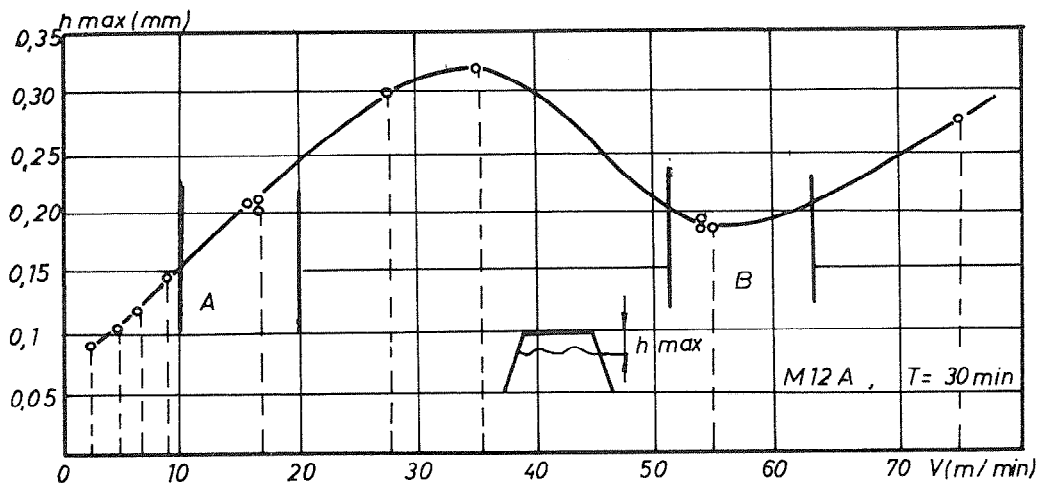
Razvoj procesa habanja je praćen preko reprezentnog zuba prema postupku koji je obradjen u radovima autora [1,2]. Pri eksperimentima praćene su promene habanja na sva tri reda zuba ulaznog konusa. Ovde su prezentirani podaci dobijeni merenjima na reprezentnom zubu. Za ureznik M12 tip O to je 6. zub a za ureznik M12 tip A to je 4. zub. Broj ureznika sa kojima je eksperimentisano je od 6 do 9 komada po jednoj brzini rezanja i dimenziji. Po završenom urezivanju i merenju u laboratorijskim uslovima, po sredjivanju rezultata, vršeno je urezivanje sa ureznicima M12 tip O u uslovima masovne proizvodnje. Pri ovim ispitivanjima nisu varirane brzine već je radjeno sa optimalnom brzinom dobijenom eksperimentalno u laboratoriji. Ovaj broj obrta (n_o), koji je bio prema dalje izloženom kriterijumu optimalan, uziman je za radni u proizvodnim uslovima. Većim brojem eksperimenata u proizvodnji potvrđivane su postavke predhodnih eksperimenata. Manje izmene brojeva obrta n_o nastajale su ili zbog razlike u uslovima ili zbog neslaganja n_o sa brojem obrta na proizvodnim mašinama (raspoloživim). Tako je dobijen optimalni radni broj obrta n_{or} . Za druge dimenzije do M27, optimalni radni broj je definisan na osnovu preračuna poznate optimalne brzine rezanja reprezentne dimenzije ureznika M12.

Danas u fabrici vijaka "Gradac", gde je izvedena druga faza eksperimenata, urezivanje se izvodi sa "povišenim" brzinama rezanja na mašinama "Nutap MAS-8,14,20,33" sa neuporedivo bojim rezultatima.

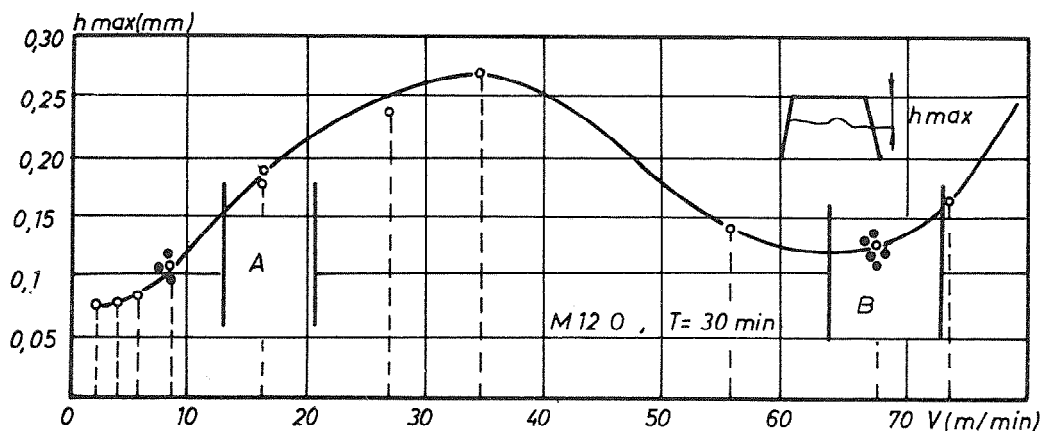
3.2. Rezultati eksperimenata

Na izloženi način, prateći razvoj procesa habanja, dobijene su krive: širina pojasa habanja-postojanost. Uobičajenim postupkom, pola-

zeći od krivih habanja, konstruisane su krive koje pokazuju promenu širina pojasa habanja u funkciji brzine rezanja. Na sl.2 data je ta veza za ureznik M12 tip A. Za ureznik M12 tip O veza između habanja i brzine rezanja data je na sl.3. Za obe krive postojanost ureznika je $T=30$ min.



Sl.2. Promena širine pojasa habanja u funkciji brzine rezanja za ureznik M12 tip A



Sl.3. Promena širine pojasa habanja u funkciji brzine rezanja za ureznik M12 tip O

Na dijagramu na sl.3. unete vrednosti širina pojasa habanja, koje su dobijene pri radu u proizvodnim uslovima (područje A i B), obeležene su punim tačkama. Urezivanje sa brzinama iz područja A vršeno je na automatima "Nurka 5086 A" i iz područja B na automatu "MAS14".

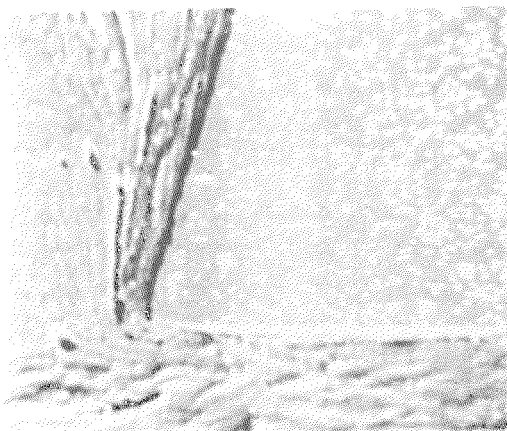
Kriva koja pokazuje predmetnu funkcionalnu vezu ima valovit oblik sa maksimumom i minimumom habanja. Minimum habanja pada u područje B (uslovno označeno) koje odgovara brzinama rezanja $v=50\text{m}/\text{min}$ za ureznik tipa A i $v=70\text{m}/\text{min}$ za ureznik tip C. Signirano područje A (oblast primene-predhodno stanje), za oba tipa ureznika, je i oblast malih brzina rezanja koje se uobičajeno primenjuju. Područje B (oblast primene-sadašnje stanje) je područje "povišenih" brzina rezanja kojima odgovara smanjeno habanje.

Pri rezanju sa "povišenim" brzinama nisu zapažene razmatrane pojave lepljenja materijala predmeta obrade ni kod jednog tipa ureznika. Tolerancija navoja predmeta obrade se, pri svim eksperimentima, nalazila u dozvoljenom opsegu. Uočeno je da je obradjena površina pri rezanju sa "povišenim" brzinama rezanja znatno bolja od površine dobijene pri manjim brzinama. Nema mikro pukotina ni kratera. Prećenjem rada velikog broja ureznika dimenzija M4-M27 u proizvodnim uslovima, u trajanju više meseci, uočeno je potpuno odsustvo pojava krzanja i lomova zuba ureznika.

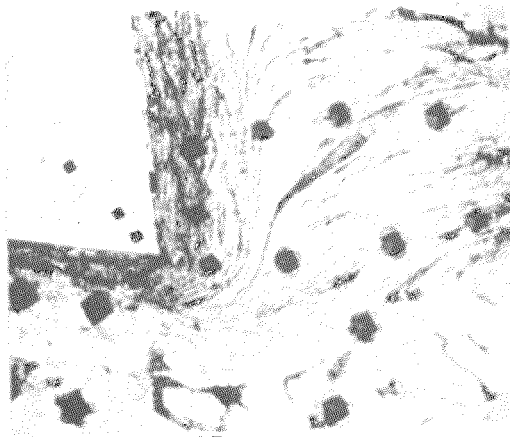
4. Neki rezultati u vezi sa tumačenjem prirode pojave "nemonotone" promene habanja u funkciji brzine rezanja

Uporedo sa radom na definisanju promena habanja u funkciji brzine rezanja izvodjena su opsežna ispitivanja u vezi sa upoznavanjem prirode pojave "nemonotonosti". Posebno razradjenim postupkom, koristeći elektronski mikroskop ARL SEMQ (skanirajući elektronski mikroskop) definisan je oblik i veličina deformacione zone u okolini vrha zuba. Karakterističan oblik deformacije materijala predmeta obrade u okolini vrha zuba prikazan je na sl. 4. i 5. Snimak na sl. 4. je dobijen skaniranjem uzorka koji je nagrizan 4% rastvorom azotne kiseline pri uvećanju 1000 puta. Na sl. 5. je dat snimak dobijen na klasičnom metalografskom mikroskopu (Carl Zeiss) uz odgovarajuću pripremu. Na oba snimka je prikazan 4. zub ureznika M12 tip A koji su rezali sa različitim brzinama rezanja. Na oba snimka se uočava jako izražena deformacija materijala predmeta obrade. Uz deo grudne i ledjne površine se jasno uočava zona zastoja materijala. Ispitivanjima se došlo do podataka da je predmetna zona najviše razvijena u oblasti brzina kojima odgovara maksimum na krivoj koja pokazuje promenu habanja u zavisnosti od brzine rezanja.

Razvijen je postupak, radi određivanja stvarne površine kontakta, konstrukcije krivih površinskih otpornosti [16,19] preko merenja submikroskopskih veličina na radnim površinama zuba ureznika.



Sl.4. Deformacija materijala predmeta obrade u okolini vrha zuba pri $v=75\text{m/min}$ i $h=0,20\text{mm}$. SEMQ, uvećanje 1000 puta



Sl.5. Deformacija materijala predmeta obrade u okolini vrha zuba pri $v=17\text{m/min}$ i $h=0,22\text{mm}$. Metalografski mikroskop, uvećanje 200 puta.

Na osnovu ovih krivih došlo se do uporednih podataka o veličini stvarne površine kontakta za različite brzine rezanja. Području brzina ($h-v$ dijagram) u oblasti minimuma habanja odgovaraju veće vrednosti relativne kontaktne površine.

Posebna pažnja je posvećena istraživanjima promena na ledjnoj radnoj površini zuba. Registrovane su karakteristične pojave (po obliku i veličini) submikroadhezija i kratera. Istraživanjem se došlo do podataka da se njihov oblik i razvoj dovodi u vezu sa integritetom habanja i pojavom zone zastoja u mikro i makro obliku.

5. Zaključak

Na osnovu iznetog se može zaključiti:

- Opravdano je i moguće izvoditi urezivanje navoja sa znatno većim brzinama rezanja nego što je to do nedavno bilo uobičajeno u našoj proizvodnoj praksi. Za date uslove, objašnjene u radu, zavisno od tipa ureznika, te brzine su u dijapazonu 50-70 m/min.

- Obzirom na definisani oblik $h-v$ krive moguće je i potrebno pristupiti definisanju ekonomičnog režima obrade (pri radu sa povišenim brzinama rezanja).

- Objašnjenje pojave "nezmonotone" promene habanja u funkciji brzine rezanja, obzirom na postavke opšte teorije trenja u habanja i tumačenja prirode habanja reznog alata, zahteva obima i sistematska istraživanja novim metodologijama koje se baziraju na savremenim znanjima više naučnih disciplina.

R e f e r e n c e

- 1 Nikić Z., Problemi optimizacije uslova obrade pri urezivanju navoja u masovnoj proizvodnji sa aspekta minižacije troškova proizvodnje, Projekat, MF Kragujevac (1976)
- 2 Nikić Z., Troškovi obrade pri urezivanju navoja u masovnoj proizvodnji, Obrada metala i tribologija, 5(1976) str. 37-54.
- 3 Nikić Z., Razvoj radioaktivne metode za tribološka ispitivanja reznih elemenata ureznika, Magistarski rad, MF Kragujevac (1976)
- 4 Nikić Z., Tribološki procesi na reznim elementima ureznika, BIAM, Zagreb (1976)
- 5 Gropp N., Untersuchungen beim Gewindebohren mit hohen Schnittgeschwindigkeiten, Fertigungstechnik und Betrieb, 7(1973)-Pregled u RI 43(73)
- 6 Zahrenko I., Vlijanje SO₂ na radu gaečnih metčikov, SI, 6(1960)
- 7 Avakov A., Fizičenkije osnovi teoriji stojkosti režuščih instrumentov, Mašgiz, Moskva, 1960
- 8 Loladze N., Iznos režuščego instrumenta, Mašgiz, Moskva, 1958
- 9 Klušin M., Rezani metalov, Mašgiz, Moskva 1958
- 10 Koenig W., Verschleiss am Walzfraser-Einfluss der Fräserauslegung und der Schnittbedingungen, VDI-2, 117(175)-Pregled u RI 13(1976)
- 11 Schilling W., Untersuchungen über der Verschleiss von Drehwerkzeuge aus Snellarbeitsstahl, Ind-anz., 76(1966)-Pregled u RI 2 (1967)
- 12 Krageljskij I., Osnovni rasčotov na trenie i iznos, M-stroenie, Moskva, 1977
- 13 Kosteckij I., Tpenie, smazka i iznos v mašinah, Tehnika, Kiev, 1970
- 14 Bowden P., Tabor D., The Friction and Lubrication of solids, Oxford, 1964
- 15 Rabinowicz E., Friction and wear of materials, dep. of M.E. Massachusetts, 1965
- 16 Krageljskij I., Trenie i iznos, M-stroenie, Moskva, 1968
- 17 Koenig W., Der Werkzeugverschleiss bei der spanenden Bearbeitung von Stahlwerkstoffen, Werkstattstechnik, 5(1966).
- 18 Kress D., Reiben mit hohen Schnittgeschwindigkeiten, Vogel-Verlag, Würzburg, 1975
- 19 Makušok M., Massoperenos v procesah trenija, Nauka i tehnika, Moskva, 1978

3. Никич

НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ РЕЗАНИЯ

Нарезание резьбы в условиях массового производства, сегодня у нас выполняется относительно низкими скоростями резания (до 20 м/мин). При этом наступает ряд проблем вызванных неблагоприятными условиями резания. В работе показываются результаты экспериментов (в лабораторных и производительных условиях) о влиянии скорости резания на износ рабочей поверхности метчика. Оптимальная скорость нарезания резьбы у конструкционных углеродистых сталей бывают значительно выше (около 75 м/мин) и обоснованность их применения подтверждается в массовом производстве. Рассматриваются, на основе собственных экспериментов, некоторые предположения, объясняющие физическую природу явлений немонотонности.

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

B.Popović, B.Prohaska *)

TEMPERATURA REZANJA PRI UREZIVANJU NAVOJA**)

1. Uvod

Ako u savremenom proizvodnom mašinstvu značajno mesto pripada obradi otvora, onda i obrada navoja ureznikom ima važnu ulogu. Ispitivanje H.Opitz-a (1960-1961) u Zapadnoj Nemačkoj pokazala su na 45000 predmeta obrade iz 25 fabrika, da se najčešće obradjuju manji predmeti (\emptyset 20...50 mm) pri čemu se dosta vremena (21,6%) troši na obradu navoja. Kako je poznato da se spoljnji navoji mogu obradljivati većim brzinama to neposredno proizlazi da je neophodno stalno poboljšavanje procesa urezivanja navoja, gde su još uvek ne moguće veće brzine rezanja od 20 m/min.

Nastavljajući istraživanje procesa urezivanja navoja, započeto još 1965.godine, posle provedenih ispitivanja /15/: mehanike rezanja, habanja zubaca ureznika i tačnosti urezanog navoja, ovde se iznose neki važniji rezultati dobijeni pri ispitivanju temperature rezanja. Naime, iskustvo je pokazalo da povećanje brzine urezivanja stvara naslage na zupcima, usled toplotnog uticaja, pa je očekivano da će se sa ispitivanjem temperature rezanja otkriti mogućnost za povećanje brzine urezivanja. Na kraju je dat zaključak a navedena je i korišćena literatura.

*) Dr Branko Popović, dipl.inž., vanredni profesor i Branislav Prohaska, dipl.inž., asistent Univerziteta u Novom Sadu.

***) Rad prikazuje deo istraživanja u okviru projekta "Poboljšanje procesa obrade otvora", koji obuhvata višegodišnji rad na nekoliko izabраних procesa obrade materijala.

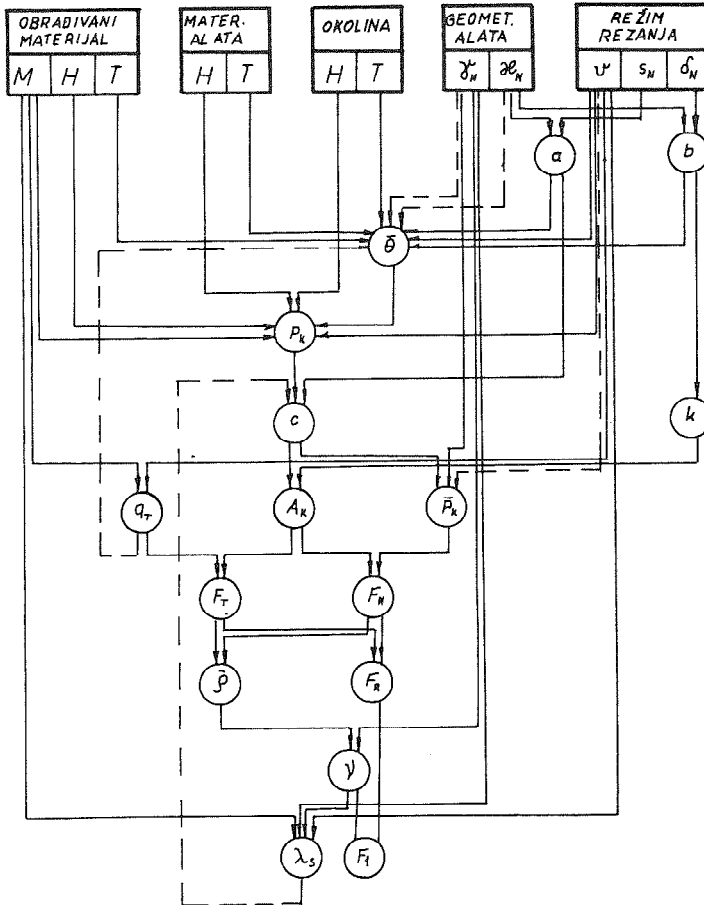
2. Toplotni uticaj pri rezanju

U procesu rezanja javljaju se izvori toplote kao rezultat pretvaranja mehaničke energije u toplotnu. Prema P.A. Rebinder-u i G.I. Etifanov-u preko 99,5% rada rezanja prelazi u toplotu, pri obradi konstrukcijskih materijala. Dakle, neophodno je odredjivanje: 1. zakona rasporeda i intenzivnosti toplote u zoni rezanja, 2. zakona rasporeda temperature na kontaktnim površinama alata (A) sa strugotinom i predmetom obrade (PO) i 3. temperaturnih polja u PO, A i strugotini. Ovim se razrešavaju mnoga pitanja u opštoj teoriji habanja i razaranja reznih površina i definišu zakoni postojanosti A u uslovima ekonomičnog rezanja.

U procesu rezanja nastaju složene fizičke pojave koje su međusobno veoma povezane. Toplota i temperatura rezanja nastaju kao rezultat deformacije i trenja a utiču na tok procesa deformacije obradjivanog materijala kao i na trenje kontaktnih površina. Prema tome temperatura rezanja ima istaknutu ulogu medju ostalim faktorima, koji odredjuju: uslove stvaranja i isčezavanja naslage, kvalitet obradjene površine /14/, zaostale napone, pukotine u površinskim slojevima materijala itd.

Medjusobna veza izmedju spoljnjih uticajnih faktora, kontaktnih karakteristika i faktora formiranja strugotine može se kvalitativno prikazati /9/ na slici 1. Shema je sastavljena na osnovu novije teorije i eksperimentalnih istraživanja kontaktnih naprezanja na grubnoj površini alata a obuhvaćene su samo glavne veze medju osnovnim delujućim faktorima u procesu rezanja. Spoljnji nezavisni faktori deluju preko mehaničkih (M), hemijskih (H) i toplotnofizičkih (T) svojstava: 1. obradjivanog materijala, 2. materijala alata, 3. okoline, 4. geometrijskih elemenata alata i 5. elemenata režima rezanja. Unutrašnji zavisni faktori obuhvataju: 1. osnovne kontaktne karakteristike (p_c ... granični kontaktni pritisak, Θ_c ... srednju temperaturu kontakta, C ... dužinu kontakta strugotine sa alatom, q_F ... specifičnu silu trenja i $\frac{1}{P_k}$... srednji kontaktni pritisak) i 2. izvedene kontaktne karakteristike (A_k ... površina kontakta na grubnoj površini, F_T ... sila trenja, F_N ... normalna sila i μ ... srednji koeficijent trenja). Kao glavni faktor procesa formiranja strugotine uzet je λ_s ... faktor sabijanja strugotine.

Prema shemi se lako uočava mehanizam uticaja spoljnih faktora na kontaktne karakteristike a zatim i na faktor λ_s odnosno na glavnu komponentu F_1 sile rezanja.



SL.1

Toplotni proces u zoni rezanja obično se opisuje pomoću dveju jednačina /5/. Prva jednačina:

$$Q = Q_d + Q_{tg} + Q_{tl} = Q_{p0} + Q_A + Q_s + Q_o \quad (1)$$

opisuje toplotni bilans između izvora toplotne energije, nastalih usled radova deformacije rezanog sloja i trenja po grudnoj i ledjnoj površini alata, i ponora toplotne energije u: PO, A, strugotinu i okolinu. Druga diferencijalna jednačina:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} c_f = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] \quad (2)$$

opisuje rasprostiranje toplotne energije u zoni rezanja putem toplotne provodnosti, gde PO, A i strugotina imaju temperaturu u tački sa koordinatama (x,y,z) posle vremena t uz: c_f ... toplotni kapacitet tela i $\lambda(\theta)$... koeficijent provodjenja toplote. Obe jednačine su jednostavne ali je ipak njihovo rešavanje znatno teže zbog složenih međusobnih veza svih pojava razmene toplote u zoni rezanja. Novija istraživanja /8/, uz primenu digitalnih elektronskih računara, znatno su doprinela razrešavanju ovog problema kod strugarskih noževa ali se kod drugih alata još uvek mora da is tražuje pomoću makotrpnih oglada.

3. Naslaga na sečivu

Toplotni uticaj pri urezivanju navoja nije značajan, kao kod drugih obrada, za habanje alata i površinski defektni sloj. Kod ovih (malih) brzina rezanja temperatura rezanja ima presudni uticaj na proces stvaranja naslaga na sečivu ureznika, koji menja uglove rezanja i otežava formiranje strugotine tako da prvo nastaje povećanje površinske hrapavosti navojaka a zatim i lom ureznika.

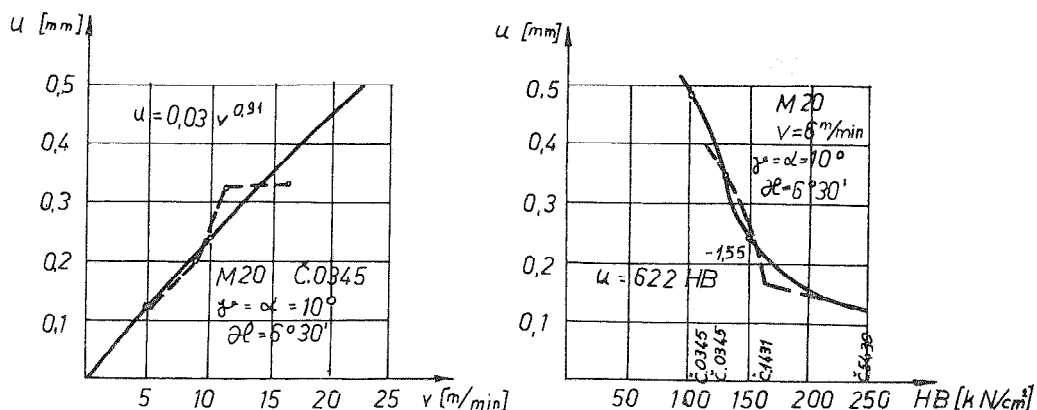
Naslaga na sečivu alata javlja se u obliku metalnih slojeva materijala PO i oksida čija je tvrdoća za 2,5 ... 3 puta veća od obradivanog materijala. Učestanost pojave i isčezavanje naslage raste sa povećanjem brzine rezanja a kod 40 ... 50 m/min iznosi 3000 ... 4000 ciklusa u minutu. Naslaga se javlja kada je: 1. grudna površina alata potpuno očišćena od adsorbovanih uljnih i oksidnih slojeva i kada su 2. postignute odgovarajuće temperature i normalni kontaktni naponi na grudnoj površini za neplastično naponsko stanje u strugotini. Adhezione sile prijanjaju kontaktni sloj strugotine na grudnu površinu pa nastaje čvrsti nepomični sloj, temelj buduće naslage. Visina naslage raste sve dotle dok vladajući napon može da izdrži klizanje strugotine a onda naslaga otpada ali njen

temelj i dalje ostaje i proces se i dalje nastavlja. Naslaga najviše zavisi od materijala PO pa se prema sklonosti ka naslagama mogu razlikovati: pozitivni (ugljenični i legirani čelici, sivi liv, aluminijum i silumin) i negativni materijali (bakar, mesing, bronza, olovo, kalaj, većina titanovih legura, beli liv, zakaljeni čelik, legirani čelici sa većim sadržajem hroma i nikla). Dimenzije naslage kod pozitivnih materijala rastu sa smanjenjem tvrdoće i povećanjem plastičnosti materijala.

Na dimenzije naslaga najviše utiče brzina rezanja. Kod manjih brzina nisu još postignute neophodne temperature a kod većih brzina naslaga gubi svoju čvrstoću. Naslagama pogoduju srednje brzine rezanja koje kod srednjeugljeničnih konstrukcijskih čelika obuhvataju dijapazon 1...80 m/min. Tu su najveće naslage kod 15 ... 30 m/min kada je postignuta temperatura od oko 300 °C.

Kod urezivanja navoja teži se za što većom brzinom rezanja pa se redovno javlja lom ureznika zbog postignutih naslaga. Kolika je najveća brzina urezivanja uz podnošljive naslage, biće svakako važno pitanje, na koje treba dati tačan odgovor.

Provedeno ispitivanje naslaga /11/, pomoću mikrofotografija zalomljenih ureznika, daje rezultate prema slici 2.



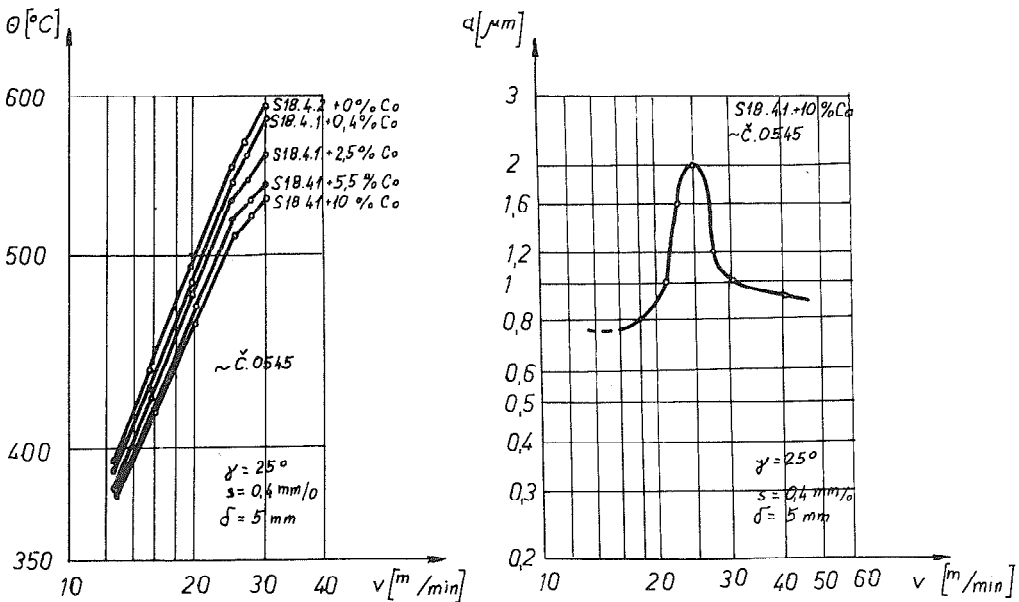
SL.2

Dobijene promene daju zakonitosti prema punim linijama, tako da je visina naslaga (metodom srednjih kvadrata):

$$u = 0,03 v^{0,91} \quad /mm/ \quad (3)$$

$$u = 622 HB^{-1,55} \quad /mm/ \quad (4)$$

gde su: v /m/min/ ... brzina rezanja i HB ... Brinell-ova tvrdoća materijala PO. Dalja ispitivanja /3/ su pokazala da naslaga zavisi samo od svojstava materijala PO a ne i od materijala A. Naslaga se intenzivno stvara pri obradi čelika sa većim sadržajem ugljenika pri čemu se najveće naslage pomeraju sa područja brzina od 30 m/min na brzine od 10 m/min. Ispitivanja /6/ obavljena pomoću elektronskog mikroskopa otkrila su difuzijsko habanje A od brzoreznog čelika i pri manjim brzinama od 15 ... 30 m/min. Prema slici 3. postižu se više temperature a kod 25 m/min nastaje na grudnoj površini alata, usled difuzije ferita, najdeblji "beli" sloj koji omogućava adheziono prijanjanje.



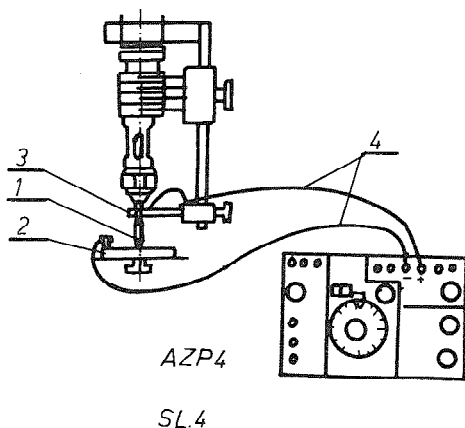
SL.3

Konačno potvrđena je i mogućnost matematičkog modeliranja mehanizma rezanja sa naslagama /10/, merenjem temperature rezanja.

4. Ispitivanje prirodnim termoparom

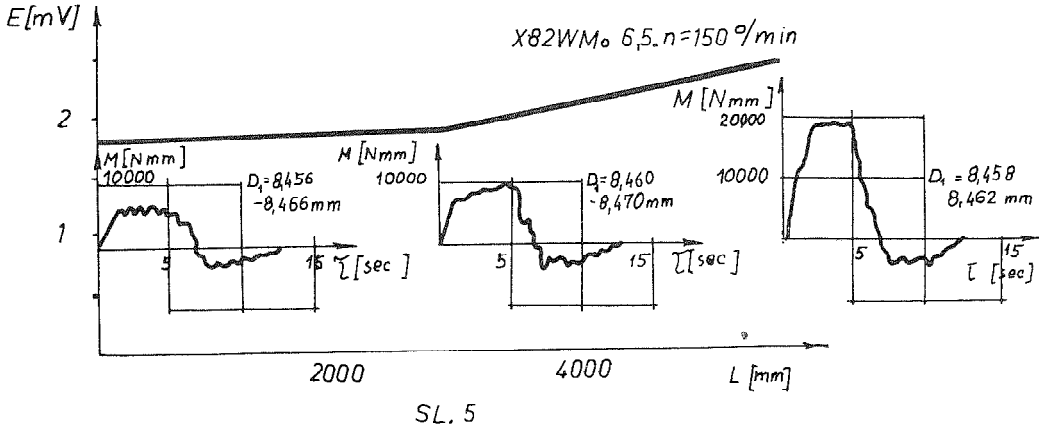
Merenje temperature rezanja može se izvesti pomoću različitih metoda. Najsporiji je kalorimetrijski metod (H.Friedrich, 1914.god) koga je zamenio znatno jednostavniji metod termo - elektromotorne sile (E.G.Herbert, K.Gottwein /1/, 1926.god.). Zatim je primenjen metod osetljivih premaza (H.Schallbroch, M.Lang, 1943.god.) a u poslednje vreme se sve češće primenjuje i fotoelektrični metod /13/.

Merenje temperature pri urezivanju može da koristi samo drugi metod sa postupcima prirodnog i veštačkog termopara. Iz literature je poznat uredjaj sa prirodnim termoparom /12/ ali nisu objavljeni rezultati ovih ispitivanja /18/. Naša ispitivanja /15/ sa prirodnim termoparom koriste uredjaj prema slici 4., gde se umesto namotavanja vodiča koristi grafitna četkica.



Ovde ureznik 1 i PO 2 čine "vrući" spoj koji je preko četkice 3 i vodiča 4 vezan za kompenzator AZP4 (Hartman Braun), čiji se Wheatstone-ov most ručno uravnotežava. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 5. gde je, za tri različita stanja u procesu urezivanja u SL 26, snimljen oscilogram promene obrtnog momenta i izmeren termonapon. Potvrđeno je /16/ da termonapon raste sa pove -

ćanjem habanja ali i da je značajnije merenje obrtnog momenta.



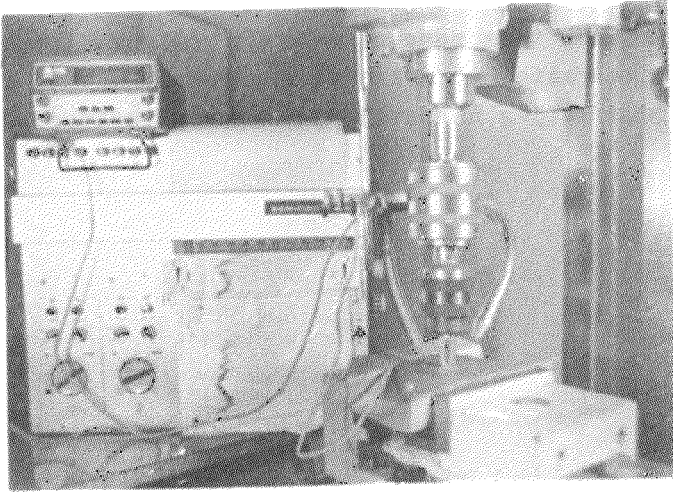
SL. 5

Primena prirodnog termopara efikasnija je pri obradi struganjem /2/ gde se ne koristi SHP zbog upotrebe noževa sa TM. Kod urezivanja navoja primena prirodnog termopara moguća je jedino kod obrade sivog liva gde se takodje ne koristi SHP, koje bi poništilo Peltier-ov efekt na kome se zasniva pojava termonapona. Obrada sivog liva, za razliku od čelika, je veoma specifična i mora uvek da se definiše i mikrostruktura /7/ i dubina rezanja /4/, što predstavlja posebnu teškoću.

5. Ispitivanje veštačkim termoparovima

Primena veštačkih termoparova naročito se razvila posle izrade mikro termoparova (K.Küsters, 1954.god.). U nas je poznata primena mikro termoparova pri obradi brušenjem /17/.

Ispitivanje temperature rezanja obavljeno je pomoću instrumentacije prikazane na slici 6. Započeto je ispitivanje raznih oblika (A,B,C,D) mašinskih ureznika sa navojem M10, M12 i M16 u materijalima Č.1221, Č.1530 i Č.1730. Kao pomoćni pribor korišćeni su specijalna glava GB - tehla Mehlis i mašinski stezač. Obrada je izvedena na mašini BDK-4 (Dalmastroj - Split) sa koordinatnim stolom a u zonu rezanja dodavano je SHP.



Mikro termopar NiCr-Ni (Degussa) ima vodiče prečnika 0,1 mm i zavareni loptasti završetak prečnika oko 0,5 mm, ubačen u keramičku cevčicu prečnika 0,8 mm. Cevčica mikro termopara uvučena je u otvor prečnika 1,5 mm koji je radijalno izbušen u odnosu na otvor u kome se urezuje navoj. Prethodnim ispitivanjem sa 4 mikro termopara utvrđeno je da je najpogodnije mesto merenja na 2/3 dubine navoja. Termopapon je očitavan na digitalnom voltmetru Hewlet Packard a sniman je i zapis pomoću 2-kontaktnog pisača BBC-Goerz.

Dobijeni rezultati omogućavaju određivanje: 1. najpogodnije brzine urezivanja i 2. optimalnu postojanost ureznika, u pogledu pojave naslaga na sečivu. Ispitivanje materijala Č.1530 brzinama rezanja od $v_1 = 3,2$ m/min, $v_2 = 6,3$ m/min i $v_3 = 12,1$ m/min pokazuje da su izmerene temperature veoma različite (79,2 °C; 150,8 °C i 230 °C) i da se relativno jednostavno mogu pratiti uslovi obrade sa minimalnim naslagama. Nastavak istraživanja će verovatno dati kompletnu sliku o ovoj pojavi.

6. Zaključak

Toplotni uticaj pri urezivanju navoja neposredno je vezan za štetno stvaranje naslaga na sečivu urezivača. Kako je obrada navoja čest proizvodni zadatak ostaje da se odrede najveće brzine rezanja,

koje još ne stvaraju maksimalne naslage.

Primena prirodnog termopara ne može da reši ovaj problem pa je primenjena tehnika veštačkih mikro termoparova. Početni rezultati ukazuju na potrebu daljeg nastavljanja ovih istraživanja.

L i t e r a t u r a

- /1/ K.Gottwein, Die Schneidtemperatur beim Drehen in Abhängigkeit von der Form des Spanquerschnittes, Maschinenbau, 3(1926) 505
- /2/ V.Šolaja, O nekim električnim pojavama pri obradi rezanjem, Mašinstvo, 7 (1959) 7, 1158-1162
- /3/ M.Gappisch, W.Schilling, Untersuchungen über die Aufbanschneidbildung und deren Ursachen, Ind.-Anz., 87(1965)87, 2065 - 2074
- /4/ W.Patterson, H.Opitz, P.Coppeti, Zerspanbarkeit von Grangus, Forschungsber. Landes Nordrhein-Westfalen (1965) 1491, 109
- /5/ A.N.Reznikov, A.V.Podzej, Teplovyje javlenija pri rezanii metallov, Razvitie nauki o rezanii metallov, Mašinstroenie, Moskva (1967) 114 - 156
- /6/ V.C.Venkatesh, Diffusion wear of high - speed steel tools, Advances Mach.Tool Design and Res.(1967) 401-413
- /7/ R.L.Carden, A.D.Lomb, The machining of cast iron, Machinability, Iron and Steel Inst., London (1967) 115-122, Discuss.163-169
- /8/ D.Vukelja, Temperatursko polje strugarskog noža s obzirom na kompleksnu analizu toplotnih izvora i distribuciju toplotne energije, Elaborat br.95, IAMA, Beograd (1968)
- /9/ M.F.Poletika, Kontaktnye nagruzki na režušćih poverhnostajah instrumenta, Mašinstroenie, Moskva (1969)
- /10/ K.Hoshi, T.Hoshi, On the Metal Cutting Mechanism nith the Built-up Edge, Mem.Fac. Engng., Hokkaido Univ., 12(1969)3, 241-271
- /11/ S.A.Voroš'ev, P.V.Krupenja, Vlijonie narastvoobrazovanja na srednij diametr rez 'by narezaenioj mašinnyimi metčikami, Stanki i instrument., 5(1969) 32 - 33
- /12/ V.I.Šagun, E.S.Brankevič, E.B.Kalareba, Novoe ustrojstvo dlja izmerenija temperatury rezanija metodom Estestreunoj termopary, Progressivnaja tehnologija mašinstroenija, Vypusk I, Vyšejšaja škola, Minsk (1970) 161-162
- /13/ V.A.Nikolaev, Ustrojstva dlja izmerenija temperatury v zone rezanija, stanki i instrument, 11(1972) 25-27

- /14/ A.A.Avetov, F.Z.Afomaš év, B.A.Bobrovskij, O vlijanii termoto-
kov, vznikajuših pri rezanii metallov na šerohovatost' ob-
rabortannoj poverhnosti, Izvestija VUZ, 3(1973) 54-57
- /15/ B.Popobić, Optimizacija reznih mogućnosti ureznika i procesa
urezivanja navoja, Elaborat br. 274, IAMA, Beograd (1975)
- /16/ B.Popović, Optimalizacija procesa urezivanja navoja, Zbornik
radova BIAM, Zagreb (1976) 131-134
- /17/ D.Milikić, Prilog analizi temperatura u temperaturskom polju
pri obradi brušenjem, Zbornik radova MMA, Novi Sad (1976) 163-
181
- /18/ Ju.L.Frumin, Vysokoproizvoditel'nyj rez'boobrazujušij instru-
ment, Mašinstroenie, Moskva (1977)

B.Popović, B.Prohaska

DIE TEMPERATUR DES SCHNEIDENS BEIM GEWINDEBOHREN

Nach den durchgeführten Untersuchungen der Mechanik Schneidens, Zahnverschleisses und der Genauigkeit des geschnittenen Gewindes wurden die Untersuchungen des Gewindeschneidenvorgans fortgesetzt, und hier werden die wichtigeren, gewonnenen Ergebnisse über die Temperaturen und über die thermischen Spannungen gegeben. Verschiedene Formen der Gewindebohrer wurden genutzt und neben dem Messen mit künstlichen Thermoelement, wurde auch ein natürliches Thermo-
element angewandt. Die Veränderungen der thermischen Spannung wurde an einem Spezielschreiber gefolgt.

D.Banjac, M.Rodić *)

KINEMATSKA GEOMETRIJA KRUŽNIH
SAMOBRITNIH NOŽEVA **)

1. UVOD

Povećanje postojanosti alata pretstavlja jedan od osnovnih faktora podizanja nivoa kvaliteta obradnih procesa. Tu činjenicu permanentno potvrđuju obimna istraživanja mehanike i ekonomije procesa rezanja, kao i napori i rezultati u usavršavanju materijala alata.

Imajući u vidu izneto u radu se izlaže deo rezultata istraživanja kinematike rezanja sa kružnim samoobrotnim noževima i pokazuje mogućnost povišenja kvaliteta obradnih procesa.

Kod obrada struganjem, rendisanjem i glodanjem, značajno povećanje postojanosti alata ostvaruje se primenom kružne rezne pločice, kojoj se u toku obrade saopštava dodatno obrtno kretanje, kretanje se čiva duž sopstvene izvodnice $|1,6|$. Proces obrade se izvodi na konvencionalnim mašinama alatkama sa osnovnim glavnim i pomoćnim kretanjem, a obrtno kretanje kružne pločice ostvaruje se zahvaljujući specijalnom držaču alata. Vreteno držača alata, na koje je centrično postavljena kružna pločica preko odgovarajućeg kliznog ili kotrljajnog uležištenje, može da se obrće oko sopstvene ose. Kontinualno obrtanje rezne pločice u toku procesa obrade može se ostvariti na dva načina:

*) Mr Dragan Banjac, dipl.inž., predavač Fakulteta tehničkih nauka,
Novi Sad, V.Vlahovića 3

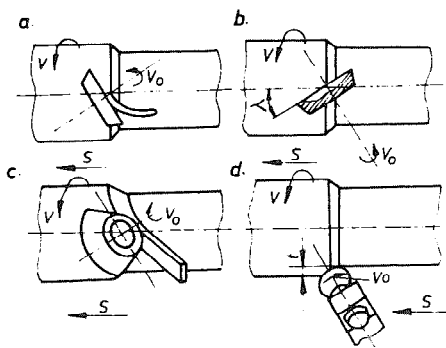
Milorad Rodić, dipl.inž., asistent Fakulteta tehničkih nauka,
Novi Sad, V.Vlahovića 3

**) Radjeno u Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu u okviru projekta ISTRAZIVANJE TEHNOLOGIJE I SREDSTAVA RADA U INDUSTRIJI OBRADE METALA u čijem finansiranju učestvuje SIZNR Vojvodine

- prinudno, putem posebnog pogonskog uređaja i
- samoobrtanjem, izazvanim dejstvom sila na kontaktnim površinama alata.

Kružne pločice standardnog oblika u ovom obradnom procesu mogu se koristiti na dva načina, zavisno od njenog radnog položaja u odnosu na površinu rezanja (Sl.1):

- 1) statička, ravna ili konična, grudna površina pločice je istovremeno i njegoa radna grudna površina u procesu rezanja (sl.1a, 1b),
- 2) statička ledjna površina pločice, konična ili cilindrična, je radna grudna površina alata (sl.1c, 1d).



Slika 1. Kinematske šeme rezanja kod obrade struganjem

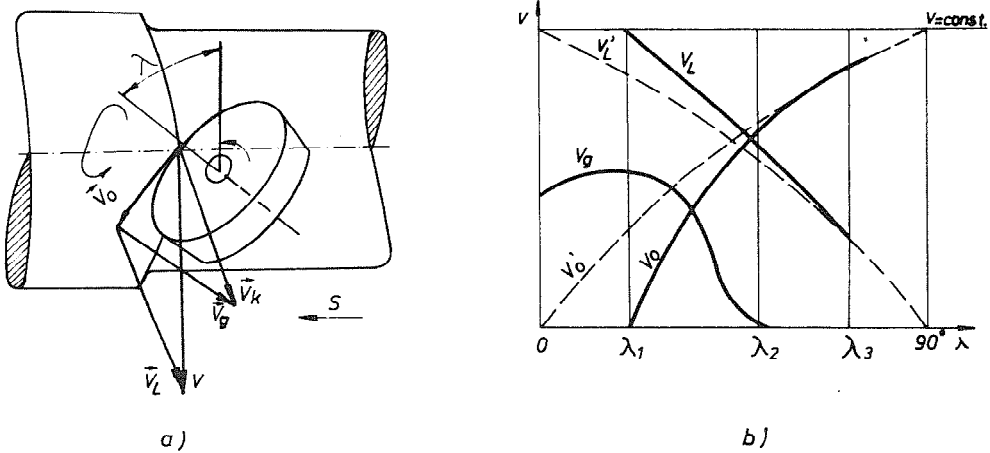
Dosadašnja istraživanja su pokazala kod samoobrotnih noževa, da stabilnost i brzinu obrtanja kružnog sečiva (V_0) određuje uglavnom statički ugao nagiba sečiva λ . Zavisno od smera zakretanja ose kružne pločice moguće su dve principijelne kinematske šeme rezanja: suprotnosmerno, $\lambda < 0$, (sl. 1a, 1c) i istosmetno, $\lambda > 0$, (sl. 1b, 1d).

Samoobrtanje noža je rezultat dejstva sila trenja između kontaktnih površina alata, grudne i ledjne, obradjene površine i strugotine. Otpori rezanja, pa prema tome i sile trenja, značajno se menjaju promenom statičkog ugla nagiba sečiva λ . Otuda proizilazi i zavisnost samoobrtanja noža i ugla λ i potrebe za njenim teorijskim i eksperimentalnim istraživanjem.

S druge strane promene ugla λ i brzine samoobrtanja noža V_0 izazivaju velika odstupanja kinematskih od statičkih uglova sečiva. Zbog toga se u radu izlaže analiza zakona kretanja i kinematske geometrije sečiva, koja pretstavlja osnovu za dalja istraživanja.

2. ANALIZA RELATIVNIH KRETANJA OBRADKA I NOŽA

Ako se posmatra slučaj obrade na strugu kružnim noževima, kod kojih se statička i radna grudna površina poklapaju, lako se može utvrditi najpre razlika u kinematičci rezanja u odnosu na prizmatične noževe (sl.2). Pored glavnog kružnog kretanja obradka (V) i pomoćnog kretanja alata (ζ) vrši se i dopunsko obrtno kretanje noža, brzine V_0 .



Slika 2. Kinematska šema rezanja (a) i odnosi merodavnih brzina (b)

Usled toga mogu se utvrditi novi odnosi kretanja, izraženi merodavnim relativnim brzinama (sl.2a):

- V_k - brzina klizanja strugotine,
- V_1, V_g - relativne brzine kretanja između obradka i ledjne, odnosno grudne površine alata.

Brzina samoobrtanja sečiva V_0 odgovara minimumu energije rezanja $|5|$. Uzimajući da energiju rezanja čine tri osnovne komponente:

- Q_1 - deformacioni rad,
- Q_2 - rad trenja na kontaktnim površinama i
- Q_3 - rad trenja u ležištima držača alata,

dobija se iz uslova $(Q_1 + Q_2 + Q_3)_{\min}$

$$V_0 = K V \sin \lambda \tag{1}$$

gde je $K \leq 1$ - popravni koeficijent koji zavisi od konstrukcije držača noža, trenja u njegovim ležištima i trenja na kontaktnim površinama sečiva [4].

Utvrđivanje zakona promene brzine V_0 očigledno zahteva eksperimentalno istraživanje. Zbog toga su u Institutu za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu izvršena ispitivanja, koja pokazuju da brzina samoobrtanja zavisi pre svega od statičkog ugla nagiba sečiva λ , trenja u držaču noža, trenja na kontaktnim površinama sečiva, konstrukcije držača i režima rezanja. Ispitivanja su vršena na dve varijante konstrukcije držača alata, sa koničnim, odnosno igličastim, kotrljajnim uležištenjem. Za obe varijante konstrukcije dobijena je identična slika odnosa brzina, pri čemu je utvrđen neznatan uticaj režima rezanja.

Brzinu samoobrtanja noža određuju brzina glavnog kretanja (V) i ugao nagiba sečiva λ , što pokazuju grafički pretstavljeni eksperimentalni rezultati (sl.2b). Za datu brzinu rezanja $V = \text{const.}$ i ostale nepromenljive uslove ispitivanja vidi se da se V_0 menja približno po sinusnom zakonu (linija V_0), tj. da je linija promene stvarne brzine V_0 vrlo bliska liniji promene idealizovane brzine V_0' . Idealizovana brzina samoobrtanja $V_0' = V \sin \lambda$ dobija se ako se zanemare pomenuta trenja u držaču alata, pa je navedena podudarnost moguća zbog vrlo malog trenja u kotrljajnim ležištima držača.

Samoobrtanje noža sa istosmernim rezanjem počinje već kod vrlo malih uglova $\lambda (\lambda_1 = 2-6^\circ)$, a njegovim daljim povećanjem povećava se i stabilnost samoobrtanja. Povećanjem ugla λ opada relativna brzina V_L i dolazi do izražaja trenje između ledjne površine alata i površine rezanja, pri čemu dolazi do izražaja relativno velika vrednost radialne komponente otpora rezanja (otpor prodiranja). Tako, povećanjem ugla λ do $\lambda = \lambda_2$ dolazi do izjednačenja brzina V_0 i V_K , poništavanja brzine $V_g (V_g = 0)$ i zbog toga do smanjenja klizanja strugotine po grudnoj površini.

Izloženo omogućava da se u odnosu na obradu sa prizmatičnim noževima, utvrdi niz značajnih efekata, kao što su: smanjenje relativnih brzina kretanja na kontaktnim površinama, smanjenje sabijanja strugotine, sniženje temperature rezanja i smanjenje habanja alata. Uzimajući u obzir i to da se zbog samoobrtanja sečiva, višestruko po-

većava dužina aktivnog dela sečiva i da se poboljšavaju uslovi hlađenja, očigledno je da su moguća značajna povećanja postojanosti alata, proizvodnosti i ekonomičnosti obrade.

Ostvarivanje takvih optimalnih uslova obrade u velikoj meri zavisi od mogućnosti obezbedjenja odgovarajuće racionalne kinematske geometrije sečiva alata. Naime, utvrđeno je da se za određene vrednosti ugla nagiba sečiva λ kinematska i statička geometrija sečiva u velikoj meri razlikuju, te da kinematska geometrija sečiva najčešće predstavlja ograničenje za izbor celishodne vrednosti ugla λ . Otuda i značaj analize kinematske geometrije sečiva za sve navedene varijante kinematskih šema rezanja i svaki poseban slučaj obrade.

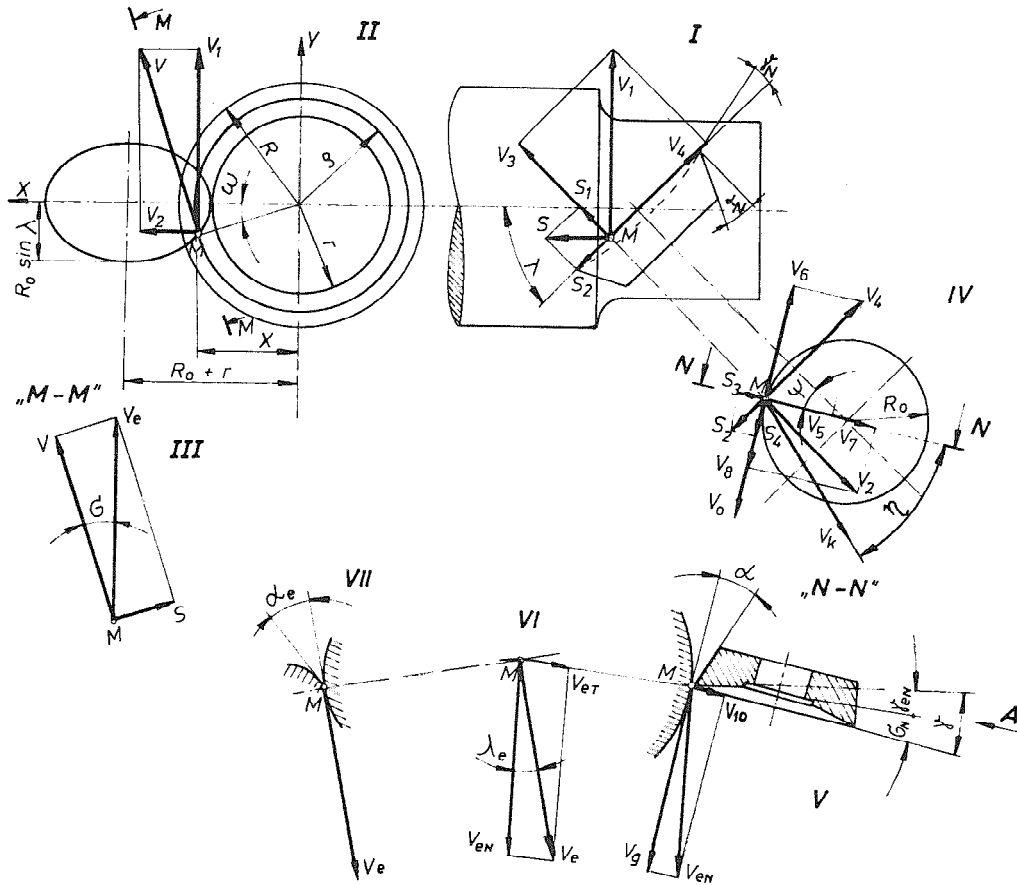
3. KINEMATSKA GEOMETRIJA KRUGNOG SAMOBRITNOG NOŽA

Proces deformisanja reznog sloja i njegovog pretvaranja u strugotinu, kao i habanja kontaktnih površina, nije određen veličinom uglova oštrenja (dobijenih pri izradi toga alata) već veličinom radnih (kinematskih) uglova, obrazovanih pri relativnom kretanju noža i obradka u procesu rezanja.

Za analizu kinematske geometrije kružnih samoobrtnih sečiva prikladan je kinematski metod S.S. Petruhina [8], a sastoji se u definisanju vektora svih merodavnih brzina kretanja alata i obradka i njihovom projektovanju u ravni u kojima se definišu kinematski uglovi sečiva.

Brzine glavnog i pomoćnog kretanja proizvoljne tačke sečiva M, koja se nalazi na poluprečniku ρ obradka, su \vec{V} i \vec{S} , pa je stvarna brzina rezanja (sl.3) $\vec{V}_e = \vec{V} + \vec{S}$ i vidi se u ravni III.

Kinematski uglovi sečiva prema opštem modelu definišu se u odnosu na površinu rezanja. Da bi se to ostvarilo određuju se prvo kinematske vrednosti grudnog i ledjnog ugla u preseku normalnom na sečivo M-N (projekcija V). Pošto \vec{V}_e leži u ravni rezanja njena projekcija na ravan V je \vec{V}_{eN} - tangenta na trag površine rezanja u toj ravni. Projekcija kinematskog ugla σ (ugao između V i V_e u ravni kretanja) biće ugao σ_N - ugao između tangente na površinu rezanja i obradenu površinu u ravni V, pa su tražene kinematske vrednosti uglova



Slika 3. Šema odredjivanja kinematske geometrije sečiva

odredjene izrazima

$$\gamma_{eN} = \gamma_N - \gamma_N$$

(2)

$$\alpha_{eN} = \alpha_N + \alpha_N$$

Efektivna vrednost ledjnog ugla biće odredjena u ravni kretanja (projekcija VII) i iznosiće

$$\operatorname{tg} \alpha_e = \operatorname{tg} (\alpha_N + \sigma_N) \cos \lambda_e$$

Efektivna vrednost ugla nagiba sečiva λ_e je ugao između normale na sečivo i \vec{V}_e , odnosno brzine \vec{V}_e i \vec{V}_{eN} i meri se u ravni rezanja (ravan VI). Ona iznosi

$$\operatorname{tg} \lambda_e = \frac{V_{eT}}{V_{eN}} \quad (4)$$

Efektivna vrednost grudnog ugla γ_e će se odrediti u ravni vektora toka strugotine \vec{V}_k i vektora \vec{V}_e pomoću izraza:

$$\sin \gamma_e = \sin \gamma_{eN} \cos n \cos \lambda_e + \sin n \sin \lambda_e \quad (5)$$

Primena izraza (5) izaziva određene teškoće, jer je potrebno odrediti ugao pravca toka strugotine n koji, pored ostalog, zavisi od ugla λ , koeficijenta sabijanja strugotine, pomaka s , dubine rezanja t i prečnika noža. Međutim, prethodna ispitivanja pokazuju da je ugao n vrlo mali, pa se sa velikom sigurnošću, kod primene samoobrotnog noža, kao merodavni grudni ugao može uzeti γ_{eN} .

Za zadate vrednosti statičkih uglova sečiva ($\alpha_N, \gamma_N, \lambda$), vektora brzine glavnog i pomoćnog kretanja (\vec{V} i \vec{S}) i ugla pravca toka strugotine moguće je odrediti efektivne vrednosti uglova sečiva ($\alpha_e, \gamma_e, \lambda_e$) ako se prvo odrede nepoznate vrednosti σ_N, V_{eN}, V_{eT} .

Kinematski metod Petruhina sastoji se u ortogonalnom projektovanju datih brzina \vec{V} i \vec{S} i odsečaka koji karakterišu grudnu i ledjnu površinu. U datom slučaju pravac vektora \vec{V} u projekciji II razlaže se na V_1 i V_2 , koje se prenose u projekcije I i IV. U projekciji I vektor V_1 razlaže se na V_3 i V_4 , a zatim vektor V_4 prenosi u projekciju IV i razlaže na komponente V_5 i V_6 . Na isti način postupa se i sa pomakom S .

U projekciji V vektori V_9 i V_{10} se dobijaju kao zbir vektora iz projekcije I i IV, odnosno

$$V_9 = V_3 + S_1 \quad V_{10} = V_5 + V_7 - S_3 \quad (6)$$

Prema slici traženi vektori u projekciji VI su

$$V_{eN} = V_9 / \cos \sigma_N, \quad V_{eT} = V_6 - V_8 - V_0 - S_4 \quad (7)$$

Za zadate vrednosti \hat{V} i \hat{S} i označene uglove, navedene njihove projekcije mogu se dobiti u obliku:

$$\begin{aligned} V_3 &= V \cos \omega \cos \lambda & V_8 &= V \sin \omega \sin \psi \\ V_5 &= V \cos \omega \sin \lambda \sin \psi & S_1 &= S \sin \lambda \\ V_6 &= V \cos \omega \sin \lambda \cos \psi & S_3 &= S \cos \lambda \sin \psi \\ V_7 &= V \sin \omega \cos \psi & S_4 &= S \cos \lambda \cos \psi \\ V_{10} &= V \cos \omega \sin \lambda \sin \psi + V \sin \omega \cos \psi - S \cos \lambda \sin \psi \\ V_9 &= V \cos \omega \cos \lambda + S \sin \lambda \end{aligned} \quad (8)$$

$$V_{eN} = \frac{V \sin \omega \cos \lambda + S \sin \lambda}{\cos \sigma_N}$$

$$V_{eT} = V \cos \omega \sin \lambda \cos \psi - V \sin \omega \sin \psi - V_0 - S \cos \lambda \cos \psi$$

Na osnovu izraza (8), posle odredjenih skraćivanja, izraz za projekciju kinematskog ugla σ_N i efektivnu vrednost ugla nagiba sečiva λ_e imaće oblik:

$$\operatorname{tg} \sigma_N = \frac{V_{10}}{V_9} = \frac{\pm \sin \omega \cos \psi + \cos \omega \sin \lambda \sin \psi + p \cos \lambda \sin \psi}{\cos \omega \cos \lambda \pm p \sin \lambda} \quad (9)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_e = \pm \frac{(\sin \omega \sin \psi - \cos \omega \sin \lambda \cos \psi + \tau \pm p \cos \lambda \cos \psi) \cos \sigma_N}{\cos \omega \cos \lambda \pm p \sin \lambda}$$

gde su:

$$\tau = \frac{V_0}{V}$$

$p = \frac{S}{2\pi p}$ - kinematski parametar obrade

S (mm/ob) - pomak

$\omega |^{\circ}$ - ugao proizvoljne tačke sečiva na površini rezanja prema
 $\cos \omega = \frac{x}{\rho}$

$\psi |^{\circ}$ - ugao kontakta i iznosi $\cos \psi = 1 - \frac{x-r}{R_0}$

Plus u formulama (9) odgovara istosmerno rezanju, a minus suprotnosmerno.

Apscisu proizvoljne tačke sečiva, koja odgovara poluprečniku ρ površine rezanja, možemo naći preko koordinata tačke preseka kruga ρ i elipse sa poluosama R_0 i $R_0 \sin \lambda$ preko izraza

$$x = \frac{-\sin^2 \lambda (R_0 + r) + \sqrt{R_0^2 \sin^2 \lambda (R_0 \sin^2 \lambda - 2r) + \rho^2 \cos^2 \lambda + r^2 \sin^2 \lambda}}{\cos^2 \lambda} \quad (10)$$

Vrednosti kinematskih (radnih) uglova za razne dubine rezanja i različite veličine statičkog ugla λ variraju u širokim granicama. Tako za praktičan primer obrade lim paketa rotora elektromotora struganjem sa parametrima: prečnik obradjene površine $D=79,3$ mm; prečnik noža $D_0=31,75$ mm; grudni ugao $\gamma_N=12^\circ$; ledjni ugao $\alpha_N=7^\circ$; pomak $S=0,4 \left| \frac{\text{mm}}{\text{ob}} \right|$, vrednosti tih uglova iznose prema sledećoj tabeli (tab.1).

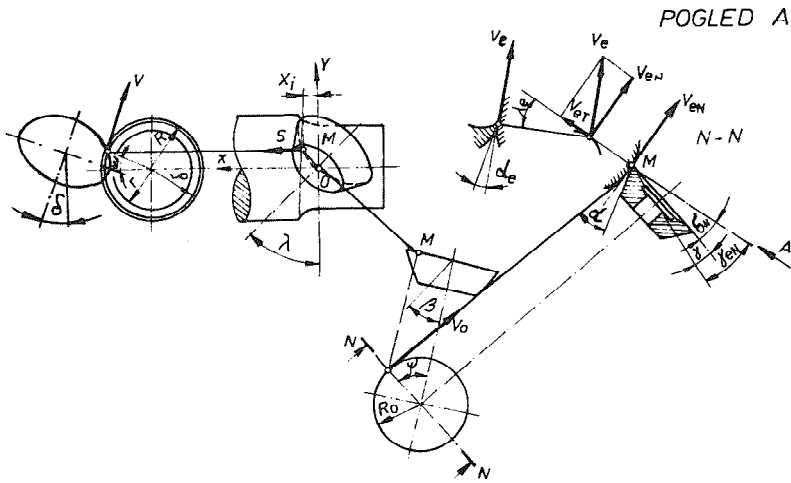
Kao što se iz tabele 1 vidi pri povećanju negativnog ugla λ kinematski ugao se neprestano smanjuje, a ledjni povećava. Pri pozitivnom uglu λ je obrnuto, pri povećanju λ raste kinematski grudni ugao, a smanjuje se kinematski ledjni ugao.

Obrada sa pozitivnim uglom λ (suprotnosmerno rezanje) je povoljnije zbog poboljšanja uslova deformisanja reznog sloja i smanjenja sila rezanja. Međutim, primeni ovog načina rezanja prepreka je veliko smanjenje kinematskog ledjnog ugla (za dati primer je već za $\lambda=15^\circ$ ugao α_e negativan), što onemogućuje postizanje optimalnih odnosa brzina. Da bi se u ovom slučaju mogao povećati ugao λ , uz zadovoljavajuću ledjni ugao, neophodno je osu noža dopunski nagnuti u površini normalnoj na osu obradka za ugao δ (sl.4.).

Tablica 3. VREDNOSTI KINEMATSKIH UGLOVA

$\lambda [^\circ]$	$t [mm]$	d_e	γ_{eN}	λ_e	$\lambda [^\circ]$	$t [mm]$	d_e	γ_{eN}	λ_e	
0	0	7°	12	0° 06'						
	1	6° 59'	12° 01'	0° 05'						
	2	6° 58'	12° 02'	0° 05'						
	3	6° 57'	12° 07'	0° 05'						
15	0	7°	12°	- 0° 06'	-15	0	7°	12°	0° 06'	
	1	- 0° 21'	19° 22'	- 1° 36'			1	14° 16'	4° 43'	1° 47'
	2	- 2° 54'	21° 55'	- 3° 11'			2	16° 45'	2° 13'	3° 21'
	3	- 4° 38'	23° 39'	- 4° 42'			3	18° 28'	0° 28'	4° 50'
30	0	7°	12°	- 0° 06'	-30	0	7°	12°	0° 06'	
	1	- 8° 08'	27° 11'	- 3° 16'			1	21° 14'	- 2° 19'	3° 27'
	2	- 13° 01'	32° 08'	- 6° 20'			2	27° 01'	- 8° 09'	6° 26'
	3	- 16° 09'	35° 24'	- 9° 06'			3	29° 58'	- 11° 16'	9° 14'
45	0	7°	12°	0° 06'	-45	0	7°	12°	0° 06'	
	1	- 16° 54'	36° 03'	- 5° 05'			1	30° 42'	- 11° 56'	5° 08'
	2	- 24° 10'	43° 27'	- 9° 23'			2	37° 58'	- 19° 18'	9° 31'
	3	- 28° 38'	47° 58'	- 13° 05'			3	42° 21'	- 23° 49'	13° 11'
60	0	7°	12°	- 0° 06'	-60	0	7°	12°	0° 06'	
	1	- 29° 37'	48° 46'	- 7° 21'			1	43° 06'	- 24° 28'	7° 29'
	2	- 38° 10'	57° 24'	- 12° 34'			2	52° 02'	- 33° 32'	12° 39'
	3	- 43° 18'	62° 40'	- 16° 43'			3	57° 54'	- 38° 28'	16° 47'
75	0	7°	12°	- 0° 06'	-75	0	7°	12°	0° 06'	
	1	- 50° 12'	69° 31'	- 10° 16'			1	63° 49'	- 45° 10'	10° 19'
	2	- 57° 49'	77° 11'	- 15° 38'			2	81° 21'	- 52° 53'	15° 41'
	3	- 61° 16'	80° 48'	- 18° 41'			3	84° 58'	- 56° 34'	18° 43'

Kinematske vrednosti uglova sečiva noža, za posmatranu tačku M, mogu se odrediti prema izrazima (3) i (5) s tim da su sada kinematski ugao σ_M i ugao nagiba sečiva λ_e određeni izrazima (izvedenim na isti način):



Slika 4. Sema odredjivanja kinematske geometrije sečiva kod suprotno-smernog rezanja pri dopunskom uglu nagiba sečiva δ .

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \sigma_N = & \frac{\cos \psi (\cos \omega \cos \lambda \sin \beta - \sin \omega \cos \beta) - \cos \omega \sin \lambda \sin \psi}{\cos \omega \cos \lambda \cos \beta + \sin \omega \sin \beta - p \sin \lambda \cos \beta} \\ & - \frac{p (\sin \lambda \sin \beta \cos \psi + \cos \lambda \sin \psi)}{\cos \omega \cos \lambda \cos \beta + \sin \omega \sin \beta - p \sin \lambda \cos \beta} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_e = & \frac{|\sin \psi (\cos \omega \cos \lambda \sin \beta - \sin \omega \cos \beta) + \cos \omega \sin \lambda \cos \psi - \xi| \cos \sigma_N}{\cos \omega \cos \lambda \cos \beta + \sin \omega \sin \beta - p \sin \lambda \cos \beta} \\ & + \frac{p (\cos \lambda \cos \psi - \sin \lambda \sin \beta \sin \psi) \cos \sigma_N}{\cos \omega \cos \lambda \cos \beta + \sin \omega \sin \beta - p \sin \lambda \cos \beta} \end{aligned}$$

gde su sada nove vrednosti poluprečnika i uglova?

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{x \sin \lambda}{r \cos \lambda + \cos \beta (R_0 \cos \lambda - \sqrt{R_0^2 \cos^2 \lambda - x^2})}$$

$$\rho = \frac{r \cos \lambda + \cos \beta (R_0 \cos \lambda - \sqrt{R_0^2 \cos^2 \lambda - x^2})}{\cos \omega \cos \lambda}, \quad (15)$$

$$\sin \phi = \frac{x}{R_0 \cos \lambda}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos \lambda}$$

Proračuni kinematskih uglova sečiva, za ovu varijantu položaja kružnog sečiva i navedeni primer obrade, pokazuju da se već kod $\delta = 10-15^\circ$ dobijaju njihove zadovoljavajuće vrednosti uz povoljan ugao nagiba sečiva λ .

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izložene analize može se zaključiti sledeće:

1. Neophodna i stabilna vrednost brzine samoobrtanja kružnog noža obezbedjuje se pre svega zakretanjem sečiva za odgovarajući ugao nagiba sečiva λ .
2. Zahvaljujući samobrtanju noža i specifičnoj kinematskoj šemi rezanja značajno se smanjuju brzine relativnih kretanja između radnih površina alata, površine rezanja i strugotine što dovodi do smanjenja temperature rezanja i habanja alata i konačno do povećanja njegove postojanosti.
3. Promene ugla nagiba sečiva i brzine samoobrtanja izazivaju značajne promene kinematskih uglova sečiva, što zahteva njihov proračun i analizu za svaki konkretan slučaj obrade.

REFERENCE

- | 1 | Bobrov, V.F., Ierusalimskij, D.E., Rezanje metallov samovraščajuščimisja rezcami, Mašinostroenie, Moskva, 1972
- | 2 | Granovskij, G.I., Kinematika rezanija, Mašgiz, Moskva, 1948
- | 3 | Zigalko, N.I., Kiselev, V.V., Proektirovanie i proizvodstvo režuščih instrumentov, Viš.škola, Minsk, 1975
- | 4 | Zemljanskij, V.A., Kinematika rezanija i strojkost kruglih samovraščajuščih rezcov, Vestnik mašinostroenija, 1968, N⁰⁶
- | 5 | Zemljanskij, V.A., Zakonomernost samovraščeniija kruglih rezcov, Vestnik mašinostroenija, 1966, N⁰⁹

- |6| Töllner, K., Drehen mit kreisförmiger umlaufender Schneidscheibe, VDI-Zeitschrift, 114, 1972, N^o17
- |7| Staudinger, H., Drehwerkzeug mit umlaufender Schneide in Elektromaschinenbau, VDI-Zeitschrift, 104, 1962, N^o19
- |8| Borov, V.F., Osnovi teorij rezanija metallov, Mašinstroenie, Moskva, 1975

D. Banjac, M. Rodić

KINEMATIK DES SCHNEIDENS DER SELBSTDREHENDEN KREISMESSER

Die selbstdrehende Kreismesser verwendet man zur Bearbeitung der Flächen ohne stufenartige Übergänge, durch Hobeln, Drehen und Fräsen. In der Arbeit, am Beispiel des Drehens, ist eine Analyse der Bewegung beim Selbstdrehen der Messer und auch Berechnung der Kinematikgeometrie gegeben. Für die Experimentálnachprüfung theoretischer Gründe wurde ein Behälter des Messers konstruiert, der die Änderung aller wesentlichen Parameter des Schneidensprocesses ermöglicht.

Der Zweck der Analyse des Schneidenkinematik ist Annehmen und Nachprüfung der optimalen statischen geometrie, der Geschwindigkeit Selbstdrehens des Messers und dynamischen Stabilität des Schneidens.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

B. Kršljak*)

KVALITET BRUŠENE POVRŠINE SA STANOVIŠTA UTICAJA KARAKTERISTIKA TOCILA I REŽIMA OBRADJE PRI RAVNOM BRUŠENJU BRZOREZNOG I ALATNOG ČELIKA**)

1. Uvod

Kvalitet površinskog sloja brušenih komada se karakteriše mikrorgeometrijom (hrapavošću) i stanjem materijala u površinskom sloju (strukturuom, tvrdoćom, zaostalim naprezanjima, naprslinama i dr.). Navedene karakteristike kvaliteta brušene površine zavise od karakteristika tocila i materijala radnog predmeta, uslova obrade (režim brušenja, hladjenje, uslovi poravnavanja tocila i dr.), i znatno se menjaju u toku procesa brušenja. Pri zatupljenju tocila uvećava se razvijena količina toplote u zoni rezanja i povećavaju vibracije sistema, što dovodi do pojave defekata brušenja ("opaljenja", naprsline i dr.) i povećanja hrapavosti brušene površine [1].

Medju najuticajnije parametre na kvalitet brušene površine ubrajaju se karakteristike tocila i režim brušenja. U većini slučajeva defekti brušenja se mogu izbeći pravilnim izborom karakteristika tocila i režimom rada, pa hrapavost površine, pored tačnosti obrade, ostaje kao najvažnija karakteristika za ocenu procesa brušenja kao postupka završne obrade [2]. U radu je analiziran uticaj karakteristika tocila i režima obrade na hrapavost i kvalitet brušene površine.

*) Mr. Bogoljub S. Kršljak, dipl. inž., profesor Više tehničke škole u Čačku, viši stručni saradnik Pedagoško-tehničkog fakulteta u Čačku, ul. Cara Dušana br. 34

***) Radjeno u laboratoriji Više tehničke škole u Čačku u okviru istraživačkih radova autora.

2. Uslovi izvodjenja ispitivanja

2.1. Karakteristike mašine

Ispitivanja su vršena na brusilici za ravno brušenje sa pravougaonim radnim stolom tip 3G71 sovjetske proizvodnje koja je namenjena za završno (fino brušenje). Radni predmet je postavljen u uređaju (dinamometar) kojim su registrovane promene komponenata otpora rezanja.

2.2. Karakteristike tocila

Za ispitivanje su korišćena tocila od elektrokorunda sa keramičkim vezivom proizvodnje "8 mart" Ada dimenzija 250x76x25 mm različite strukture, tvrdoće, zrnoće i brusne sirovine i to: 2B54K6V, 2B54G6V, 2B54N6V, 2B70K6V, 2B36K6V, 4B54K6V i 5A54K6V [5].

2.3. Karakteristike probnih uzorka

Uzroci za ispitivanje su bili od brzoreznog alatnog čelika Č9780 (0,82 C; 6,5 W; 4,0 Cr; 5,0 Mo; 1,9 V; 5,5 Co)%, prizmatičnog oblika dimenzija 100x42x20 mm, termički obradjeni na tvrdoću 64 H_{RC}, svi iz iste šipke i od alatnog čelika Č4750 (1,65 C; 12,0 Cr; 0,5W; 0,6 Mo; 0,1 V)%, takodje primatičnog oblika dimenzija 90x49x15 mm, termički obradjeni na tvrdoću 60 H_{RC}, i iz iste šipke.

2.4. Režim brušenja

Plan eksperimenta je zasnovan na bazi jednofaktornog sistema sa konstantnom teorijskom zapreminom skinutog materijala u jedinici vremena $V_{Mt} = S \cdot v_{rp} \cdot \delta$ /mm³/sec/ = const, gde je S=(0,8; 1,6; 3,2)mm/h - poprečni pomak, $v_{rp} = (10; 20)$ m/min - brzina stola i $\delta = (0,01; 0,02)$ mm - dubina brušenja. Pre svakoga eksperimenta tocilo je poravnavano dijamantskim poravnjačem pri dubini poravnavanja $\delta_1 = (0,02 \pm 0,05)$ mm. Kod svih eksperimenata je korišćeno rashladno sredstvo, vodeni rastvor "brusogrinda" 2%.

2.5. Instrumentacija za merenje hrapavosti

Merenje hrapavosti, formiranje zapisa hrapavosti i valovitosti brušene površine je vršeno na uređaju za merenje hrapavosti PERTH -O-METER W5A, proizvodnje firme Mahr Perthen.

2.6. Instrumentacija za merenje mikrotvrdoće i snimanje strukture

Merenje mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja i snimanje strukture je vršeno pomoću uređaja mikrotvromera PMT-3, sovjetske proizvodnje.

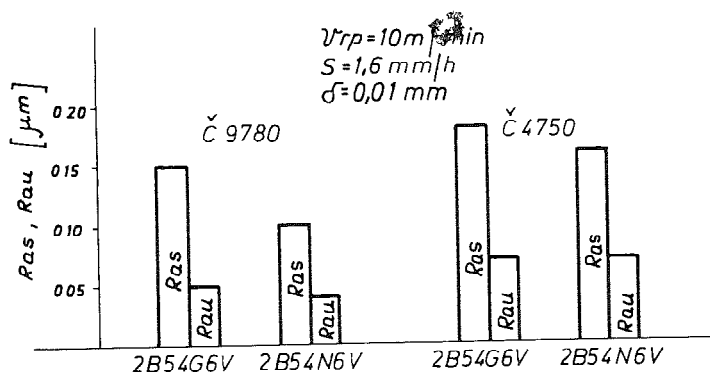
3. Uticaj karakteristika tocila i režima brušenja na veličinu hrapavosti brušene površine

Usled dejstva zrna sa radne površine tocila, na radnoj površini predmeta se formira mikrogeometrija. Hrapavost brušene površine se može definisati kao skup udubljenja nastalih od reznih ivica zrna sredstava za brušenje [1], ili kao geometrijski trag abrazivnog alata izražen u rezultatu elastične i plastične deformacije koji se suprotavlja procesu rezanja vibracijom tehnološkog sistema [3]/[4]. Pošto hrapavost, kao karakteristika kvaliteta brušene površine zavisi od karakteristika tocila i materijala radnog predmeta i uslova obrade to će u narednom izlaganju biti prikazani neki od tih rezultata dobijeni ispitivanjem. Kod svih eksperimenata hrapavost je merena u uzdužnom pravcu R_{au} (pravcu kretanja stola mašine) i poprečnom pravcu R_{as} (pravcu bočnog pomaka).

3.1. Uticaj karakteristika tocila

Poznato je da karakteristike tocila bitno utiču na veličinu hrapavosti brušene površine. Na sl.1 prikazane su veličine izmerene hrapavosti u uzdužnom R_{au} i poprečnom R_{as} pravcu u zavisnosti od tvrdoće tocila za različite materijale radnog predmeta. Sa slike se vidi, da je za oba materijala hrapavost manja pri radu sa točilom tvrdo-

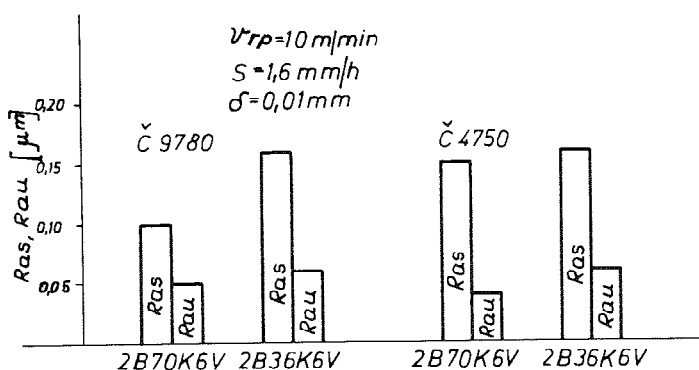
će N (srednja tvrdoća) u odnosu na tvrdoću G (vrlo mekana), pri datim režimima rezanja. Povoljnost je, u pogledu veličina hrapavosti, još



Sl. 1. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od tvrdoće tocila za razne materijale radnog predmeta

izražajniya kod brzoreznog čelika Č9780.

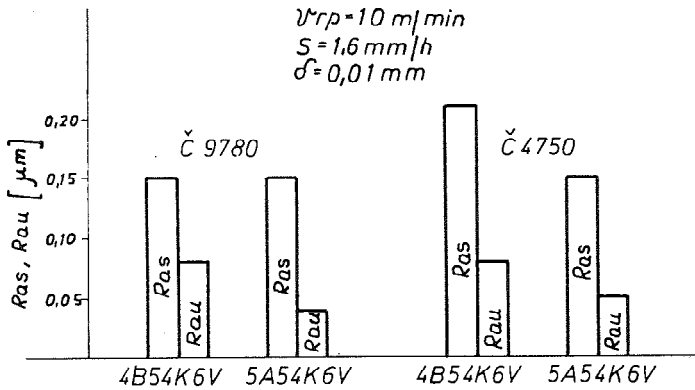
Uticaj zrnocē na veličinu hrapavosti brušene površine dat je na sl. 2. Prema veličinama na sl. 2. povoljnija su za rad tocila veće



Sl. 2. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od zrnocē tocila za razne materijale radnog predmeta

zrnocē (sitnozrnastija), jer se sa većim brojem zrna na radnoj površini tocila ostvaruje češći kontakt sa površinom radnog predmeta i tako dobija kvalitetnija površina (površina sa manjim veličinama hrapavosti). I u ovom slučaju, kao i u prethodnom povoljnost je izražajniya kod brzoreznog čelika Č9780, u odnosu na poredjeni alatni čelik.

Kako vrsta brusne sirovine utiče na veličinu hrapavosti kod posmatranih materijala prikazano je na sl.3.



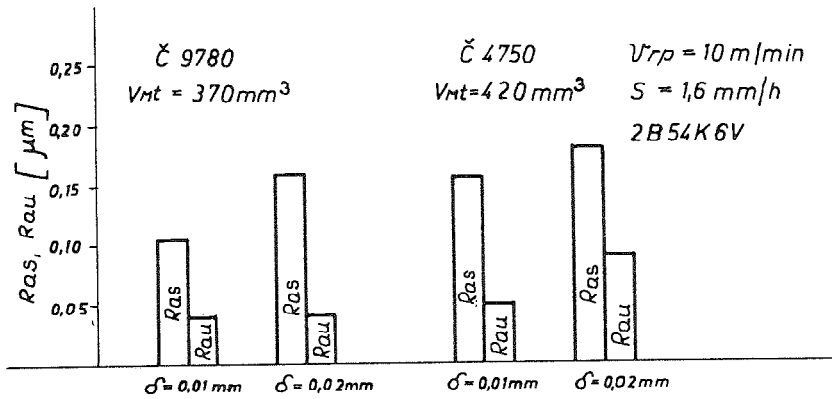
Sl.3. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od vrste brusne sirovine za razne materijale radnog predmeta

Kod čelika Č9780 imamo približno iste vrednosti hrapavosti za obe posmatrane brusne sirovine, dok su kod čelika Č4750 manje vrednosti hrapavosti površine dobijene pri brušenju točilom sa brušenom sirovinom 5A (mešavina normalnog i plemenitog (korunda)).

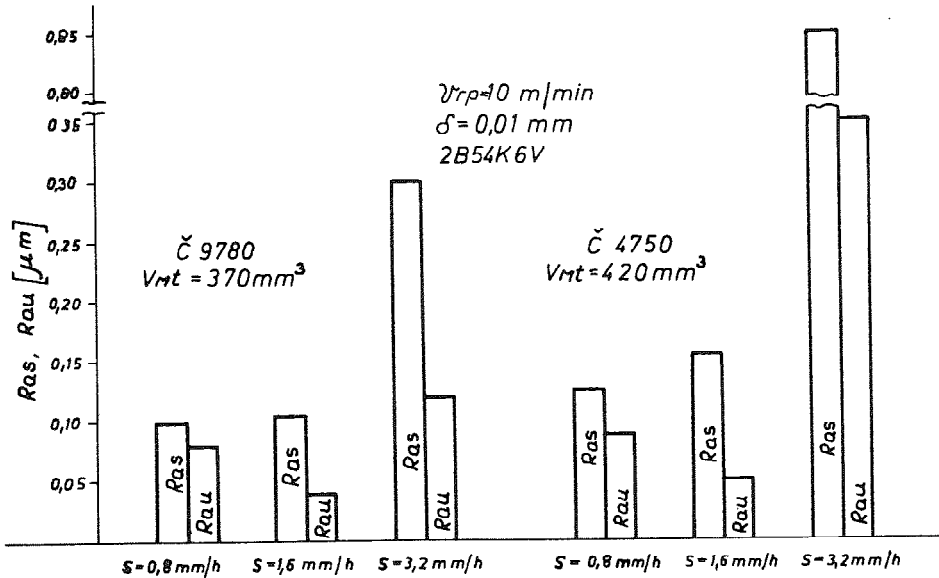
3.2. Uticaoje režima brušenja

Režimi brušenja (dubina, brzina stola i pomak) svojim intenzitetom direktno utiču na veličinu hrapavosti brušene površine. Povećanjem bilo koga od navedenih režima rastu komponente otpora brušenja i njihove varijacije a sa njihovim porastom povećava se hrapavost brušene površine. Na priložima sl.4; sl.5 i sl.6 vidimo i potvrdu navedenog. Iz priloga se vidi da je uticaj pomaka S na veličinu hrapavosti daleko uticajniji od ostala posmatrana dva parametra režima rezanja. Za posmatrane režime rada povećanjem pomaka S najviše su se uvećavale komponente otpora rezanja i njihove varijacije, što se odražava na reznu sposobnost točila i hrapavost površine.

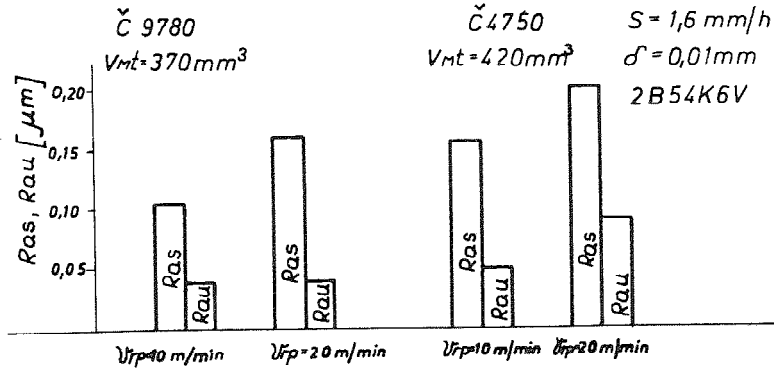
ada se posmatra vrsta materijala radnog predmeta manje vrednosti veličina hrapavosti su kod brzoreznog čelika Č9780. Materijal Č4750 brže se lepi na rezne ivice zrna, čime se smanjuje rezna sposobnost točila (točilo se vremenski pre zatupi) što doprinosi pogoršanju kvaliteta brušene površine, odnosno porastu veličina hrapavosti.



Sl. 4. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od dubine brušenja za razne materijale radnog predmeta

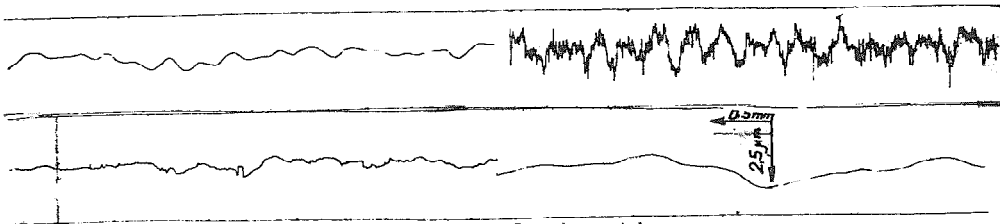


Sl.6. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od pomaka za razne materijale radnog predmeta



Sl. 5. Zavisnost veličina R_{as} i R_{au} od brzine radnog predmeta za različite materijale radnog predmeta

Na sl.7. prikazani su zapisi hrapavosti i valovitosti za uslove rada prema sl.4.



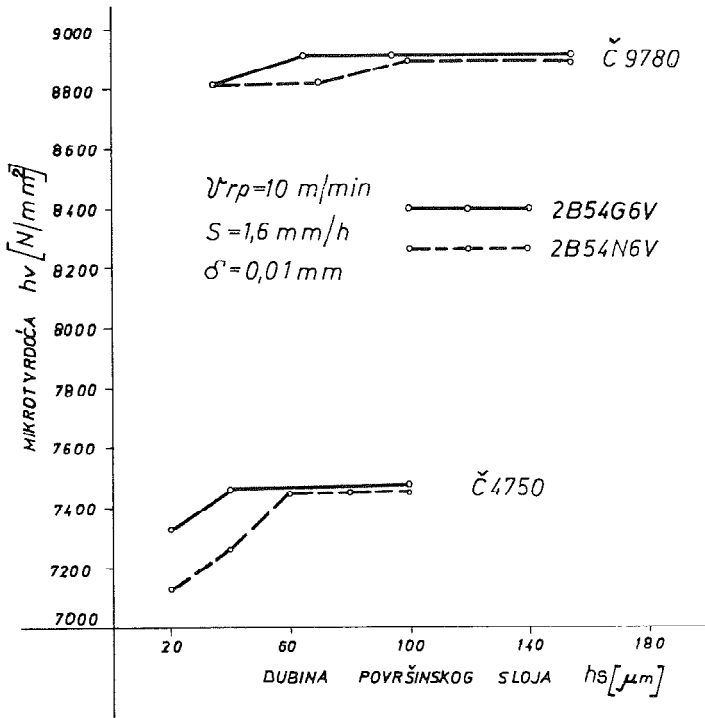
Sl.7. Zapisi hrapavosti i valovitosti

4. Uticaoj karakteristika tocila i režima brušenja na promenu mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja

Kvalitet površinskog sloja brušenih komada praćen je stanjem tvrdoće. Tvrdoća kao karakteristična stanja materijala zavisi od karakteristika tocila i režima brušenja. U narednom izlaganju biće prikazani neki od rezultata dobijeni ispitivanjem a posmatraće se promena mikrotvrdoće po dubini površinskog sloja.

4.1. Uticaoj karakteristika tocila

Na sl.8. data je zavisnost promene mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja u zavisnosti od tvrdoće tocila za različite materijale radnog predmeta.



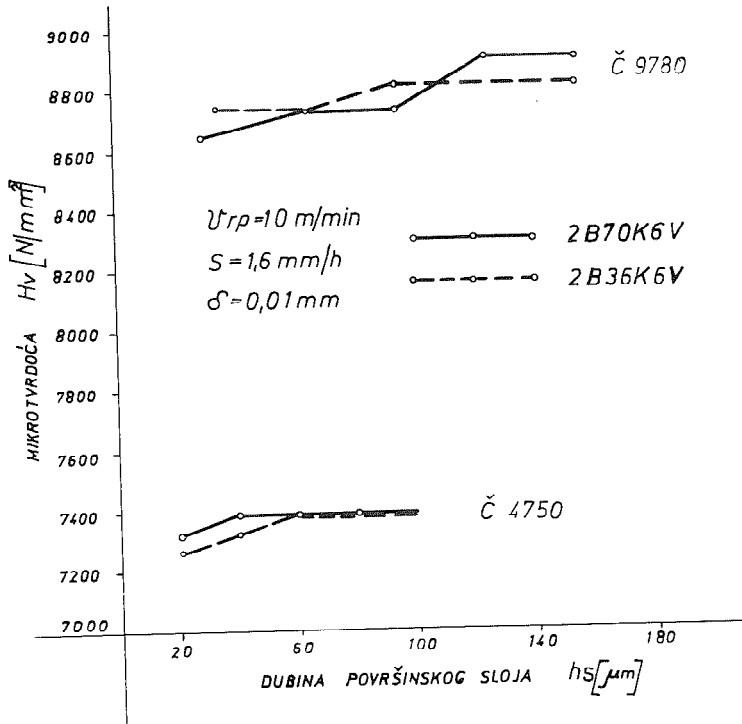
Sl.8. Promena mikrotvrdoće po dubini brušenog komada u zavisnosti od tvrdoće tocila

Znatnije promene mikrotvrdoće su na samoj površini brušenog sloja. Na dubini sloja $100 \mu\text{m}$ za Č9780 i $60 \mu\text{m}$ za Č4750 imamo ustaljeno stanje (tvrdoću osnovne mase uzorka). Manje promene tvrdoće su nastupile pri radu sa točilom tvrdoće N za oba posmatrana materijala.

Uticaj zrnaće tocila na primenu mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja prikazan je na sl.9. Sa slike se vidi da su razlike neznatne a da je ipak mikrotvrdoća nešto veća pri radu sa točilom veće zrnaće (finoće). Povećanjem zrnaće povećava se broj zrna po jedinici radne površine tocila, a time i broj površina na kojima se slažu (deponuju) čestice metala, čime se otežava rezanje, a time stvara veći uticaj na promenu stanja u površinskom brušenom sloju.

Uticaj vrste brusne sirovine na promenu mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja prikazan je na sl.10. Razlike u veličini mikrotvrdoće su neznatne ali je nešto povoljnije točilo sa vrstom brusne sirovine 5A za Č9780 a 4B za Č4750. Kod brušenja materijala Č4750 točilom sa brusnom sirovinom 4B nije nastupila promena mikrotvrdoće u površinskom

sloju, što je vrlo povoljno sa gledišta eksploatacijskih svojstava takve površine.



Sl.9. Promena mikrotvrdoće po dubini brušenog komada u zavisnosti od zrnaće točila

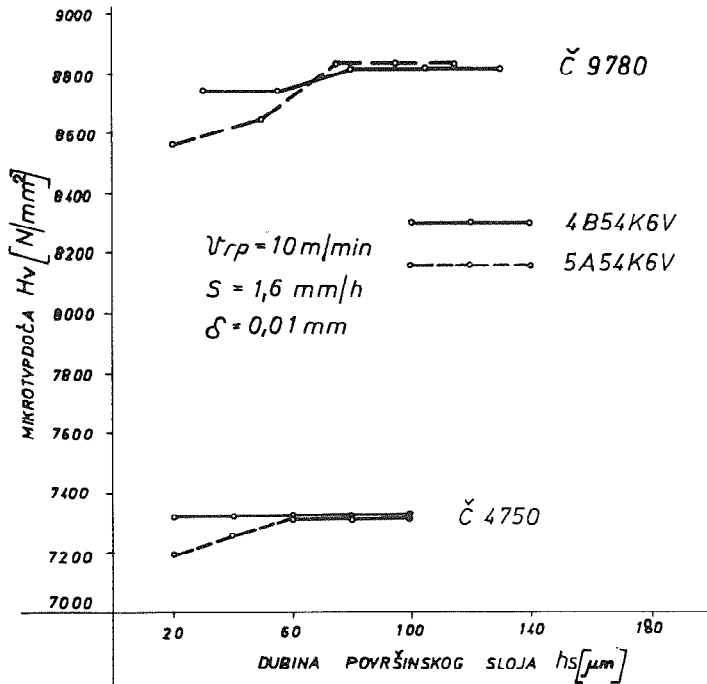
4.2. Uticaj režima brušenja

Režimi brušenja (dubina, pomak) svojim veličinama utiču na promenu mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja. Na sl.11 data je promena mikrotvrdoće u zavisnosti od dubine brušenja. Pri radu sa većom dubinom u površinskom sloju nastaju i veće promene mikrotvrdoće, jer se otežavaju uslovi rezanja zbog uvećanja otpora brušenja.

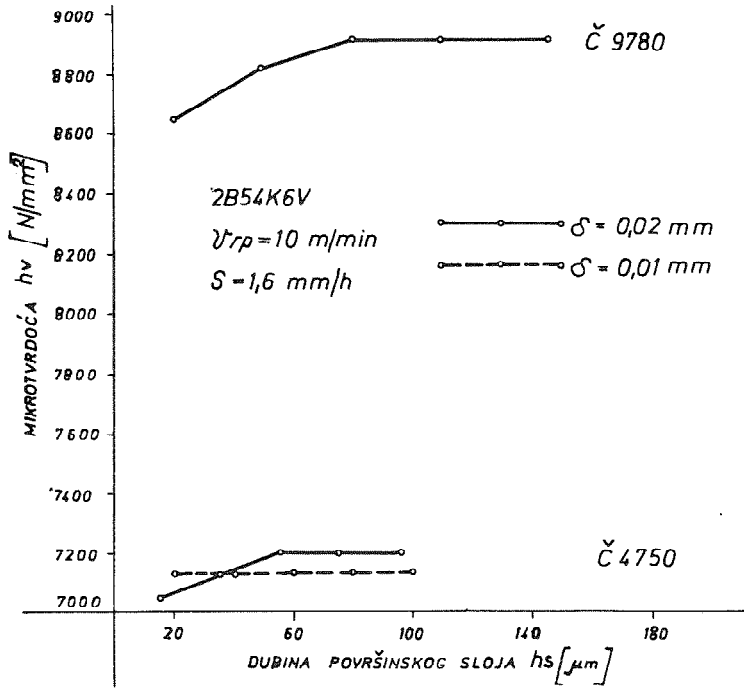
Uticaj pomaka na promenu mikrotvrdoće po dubini brušenog sloja dat je na sl.12. Kod Č9780 promene u površinskom sloju su izražajnije kod većeg pomaka. Kod Č4750 promena nije bilo pri brušenju sa pomakom $S = 3,2 \text{ m/h}$ i $S = 1,6 \text{ mm/h}$. Neznatna promena mikrotvrdoće je nastupila pri brušenju sa $S = 0,8 \text{ mm/h}$ usled dužeg vremena rada.

Na sl.13 prikazani su snimci strukture za uslove rada prema sl.12.

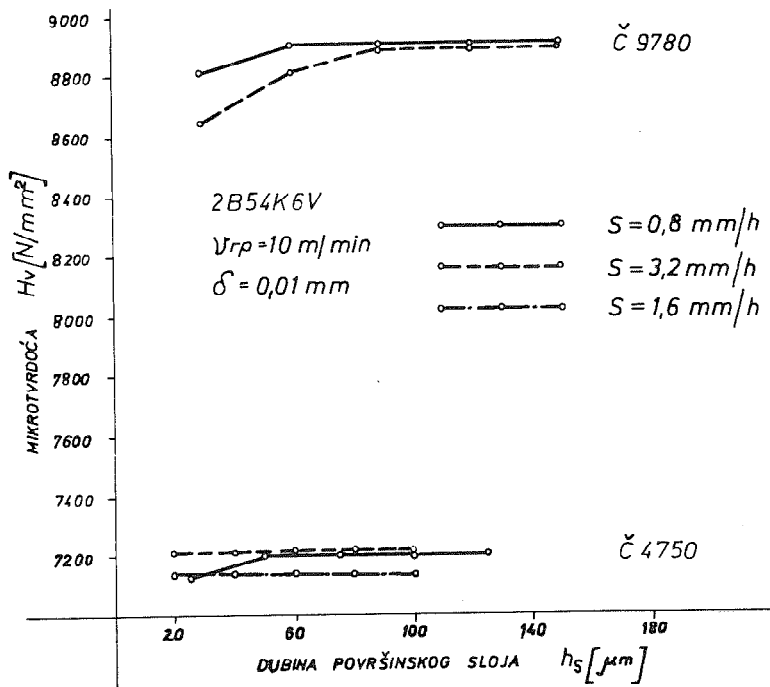
XVII - 10



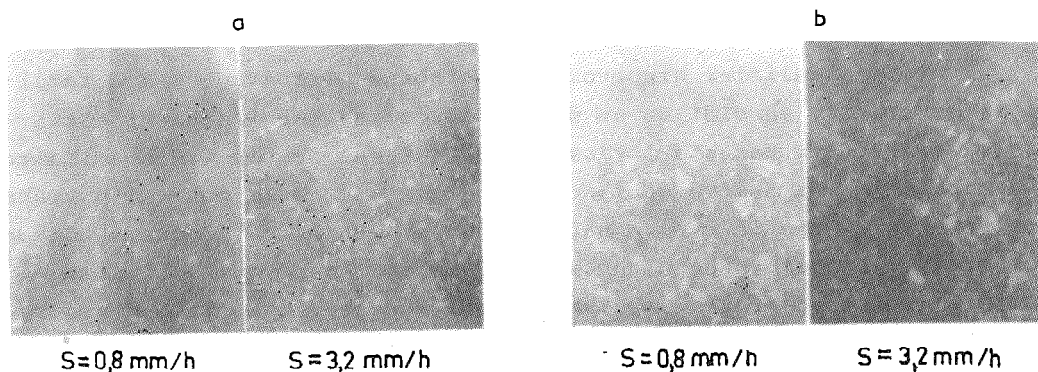
Sl.10. Promene mikrotvrdoće po dubini brušenog komada u zavisnosti od brusne sirovine



Sl.11. Promena mikrotvrdoće po dubini brušenog komada u zavisnosti od dubine brušenja



Sl. 12. Promena mikrotvrdoće po dubini brušenog komada u zavisnosti od pomaka



Sl. 13. Snimci strukture; a-Č9780, b-Č4750

5. Zaključak

Iz priloga u radu se vidi da karakteristike tocila i režim brušenja imaju različit uticaj na veličinu hrapavosti i stanje u površinskom sloju brušene površine. Na veličinu hrapavosti od posmatranih karakteristika tocila najveći uticaj ima vrsta brusne sirovine kod Č4750 a zrnača kod čelika Č9780. Od elemenata režima brušenja najveći uticaj na veličinu hrapavosti ima poprečni pomak za oba posmatrana materijala. Posmatrajući dalje veličine hrapavosti vidi se da je hrapavost manja kod uzorka od brzoreznog čelika Č9780 i pri uticaju karakteristika tocila i režima brušenja nego kod uzorka od alatnog čelika Č4750. Stanje u površinskom sloju brušene površine posmatrano preko promene mikrotvrdoće je najviše izraženo uticajem tvrdoće tocila kod uzorka od Č4750 a kod Č9780 uticajem brusne sirovine. Od posmatranih režima brušenja na promenu stanja u površinskom sloju skoro isti uticaj imaju kod Č9780 pomak i dubina brušenja, a kod Č4750 dubina brušenja. Dubina sloja izmenjenog stanja kod svih prikazanih opita je veća pri brušenju Č9780, usled čvoga Č4750 ima određenu prednost jer je manja debljina sloja brušene površine koja trpi izmene stanja pa je sigurno takva površina, postojanija pri eksploataciji. Najveća debljina izmenjenog sloja je kod Č9780 pri brušenju tocilom 2B70K6V i iznosi $125 \mu\text{m}$, sa režimima brušenja, $v_{rp} = 10 \text{ m/min}$, $S = 1,6 \text{ mm/h}$ i $\delta = 0,01 \text{ mm}$.

Prateći veličine hrapavosti i veličine mikrotvrdoće kod različitih materijala se vidi da se odgovarajuće najveće vrednosti ostvaruju sa različitim karakteristikama tocila i različitim vrednostima režima brušenja. Na osnovu dobijenih podataka otvara se put kojim treba ići pri izboru tocila i elemenata režima brušenja, za odgovarajuće materijale, pri obezbedjenju zahtevane veličine hrapavosti ili stanja u površinskom sloju brušene površine, definisanog vrednostima mikrotvrdoće i dubinom izmenjenog stanja brušenog sloja.

Reference

1. Jovičić M., Kvalitet obradjene površine pri spoljnom kružnom bruše-

nju, Tehnika brušenja III specijalistički seminar, Skopje, 26.-28. V-1976.

2. Kršljak B., Kvalitet površinskog sloja obradjene površine, seminarski rad, Mašinski fakultet Beograd 1976.
3. Kršljak B., Ispitivanje procesa ravnog brušenja alatnih čelika, magistarski rad, Mašinski fakultet Beograd 1977.
4. Sulima A.M, M.I.Evetigneu, Kačestvo poverhnosti sloja i ustalostnaja pročnost detalej, "Mašinostroenie" Moskva 1974.
5. "8 Mart" Ada, brusevi - katalog.

B.Kršljak

THE QUALITY OF GROUND SURFACE ACCORDING TO THE GRINDSTONE CHARACTERISTICS AND WORKING REGIME DURING THE PLANE GRINDING OF HIGH-SPEED AND TOOL STEEL

Taking into consideration that the quality of ground surface is one of the factors which determines its exploitation characteristics, it is necessary to establish the influence of working conditions on it. This is of primary importance with the high-speed steel tools, intended for harder working conditions in order to provide better steadiness of cutting edge after the treatment or sharpening is finished. During the grinding, as well as during other operations of machine cutting treatment, there are vibrations which a relative moving between the tools and the working article, so that the working preciseness is lessened and the quality of the given surface is made worse. This work deals with the influence of the grindstone characteristics and working regime on the quality of ground surface during the plane grinding of high-speed steel and tool steel, by means of grindstones with grinding means of electrocorundum with ceramic connective tissue.



XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

R. VUKASOJEVIĆ, W.B. ROWE^{x)}

MIKRO GEOMETRIJA POVRŠINE BRUSEVA I NJENI EFEKTI NA REZULTATE BRUŠENJA^{xx)}

1. Uvod

Poslednjih godina svedoci smo nagle ekspanzije primjene procesa brušenja za sve vrste obrade radnih predmeta. Razvoj tehnologije brušenja sa ciljem povećanja ostranjene zapremine materijala u jedinici vremena kreće se u dva pravca:

1. Povećanje kontaktne površine brusa i radnog predmeta

2. Povećanje brzine brusa

Brzina brusa povećava se postepeno od 15 - 20 m/s na 45- 60m/s šezdesetih godina da bi danas dostizala vrednosti od 120m/s.

Slučajan raspored zrnaca po površini brusa i veliki broj promjenljivih parametara čini ovaj proces vrlo težak za razumijevanje. Sistemska analiza ovako kompleksnog procesa obuhvata :

1. Strukturne uslove brusa. Karakteristike brusa date preko standardne specifikacije nijesu dovoljne za opis stvarnog zbivanja u zeni rezanja, te kao takve ne daju adekvatnu sliku reznih sposobnosti brusa.

2. Razmatranje makro i mikro geometrije bruseva.

Za dobijanje optimalnih rezultata potrebno je poznavanje mikro geometrije profila zrna njihove gustine kao i makro geometriju.

3. Analiza formiranja strugotine i njeno praćenje.

Ovi problemi zajedno sa osnovnim kinemackim parametrima obrade brušenjem i uslovima i načinom poravnjavanja sveobuhvatno definišu reznu sposobnost određenog brusa

x)

Mr. Radomir Vukasojević, dipl.inž., predavač Mašinskog fakulteta u Titogradu ul.Dure Salaja bb.

Dr. W.B. Rowe Head of Department Mechanical Engineering
Liverpool Polytechnic

xx)

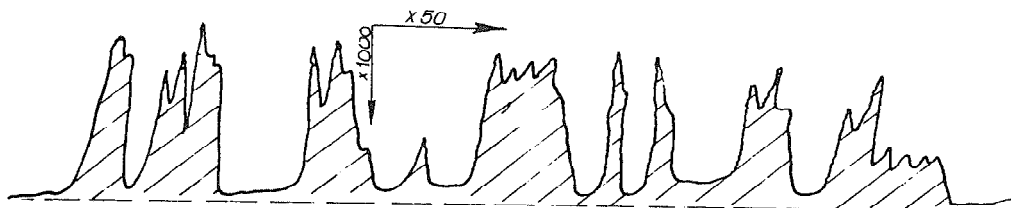
Radeno na liverpul Politehnici kao dio projekta S.R.C. u Engleskoj.

XVIII - 2

2. Analiza obradne površine brusa

Brusni procesi su rezni procesi pomoću zrna slučajno raspoređenih po površini brusa. Obradna površina radnog predmeta i sile rezanja su posledica zajedničkog efekta svih individualnih zrna.

Tipičan izgled površine brusa dat je na sl. 1.



sl. 1

U prošlosti pretpostavljalo se da su sva zrna u zoni rezanja na površini brusa aktivna i da leže na istom prečniku. Međutim, slučajno raspoređena zrna po dubini brusa zajedno sa kinemackim parametrima čine da samo jedan dio zrna aktivno učestvuje u skidanju strugotine. Radi prepoznavanja, takva zrna se nazivaju dinamička rezna zrna. Analiza obradne zone rezanja obuhvata određivanje:

- Ukupnog broja zrnaca
- Broj statičkih reznih ivica
- Ukupnog broja dinamičkih ivica

2.1 Eksperimentalni rezultati

Eksperimentalni rezultati dobijeni su na brusilici bez šiljaka model 2K Wickman-Serivener, locirana u Liverpulu na Liverpool Politehnici gdje su izvršene potrebne modifikacije standardne mašine. Korišćen je brus WA60MV specijalno proizveden za velike brzine rezanja. Izgled površine dobijen je putem replika. Trase površina brusa dobijene su korišćenjem Talyauf 5.

2.2.1 Određivanje ukupnog broja zrnaca

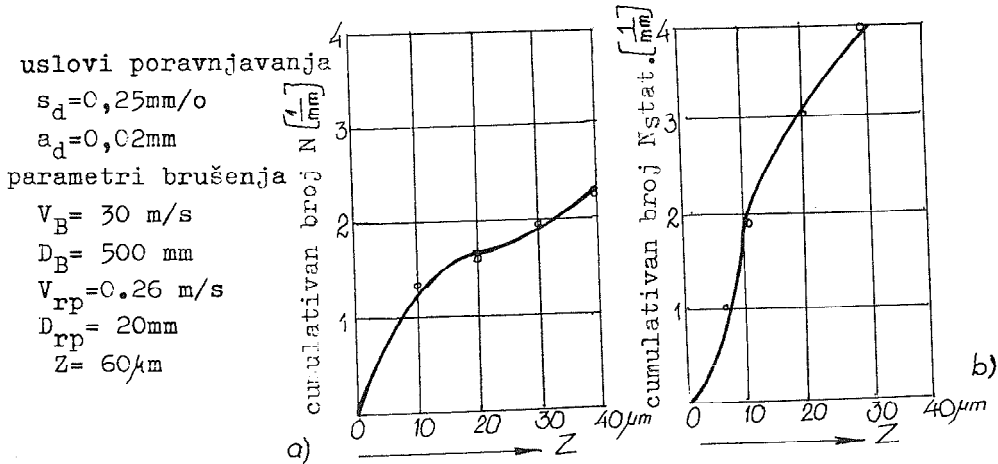
Ukupan broj zrnaca dobijen je kumulativnim sbrajanjem svih zrnaca u zavisnosti od dubine rezanja z na dužini $L=400\text{mm}$.

Matematička definicija ukupnog broja zrnaca data je

formulom

$$N(z) = \frac{1}{L} \sum N_1(z)$$

Za uslove naznačene na sl.2 daje se grafički prikaz ukupnog broja zrnaca



sl.2

2.2.2 Određivanje statičkog broja reznih ivica

Sa sl.3 vidi se svako zrno ima nekoliko reznih ivica. Svaka rezna ivica vrši nezavisnu obradu. Ove rezne ivice se kumulativno sabiraju na dužinu L. Funkcija $N_{\text{stat.}}(z)$ koja definiše statički broj ivica po obradnoj zoni

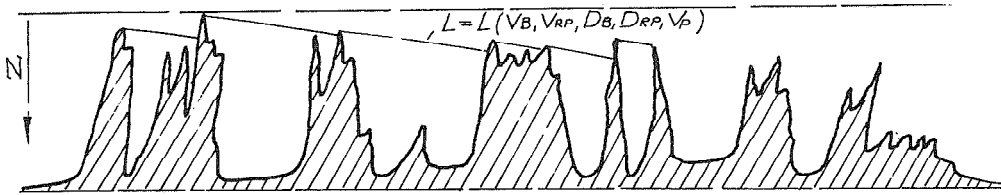
$$N_{\text{stat.}}(z) = \frac{1}{L} \sum N_1(z)$$

prikazana je na sl.2 (b).

Sa slike se da primijetiti da je statički broj ivica za $z=40 \mu\text{m}$ oko 3 puta veći nego ukupan broj zrnaca za istu dubinu.

2.2.3 Određivanje dinamičkog broja ivica

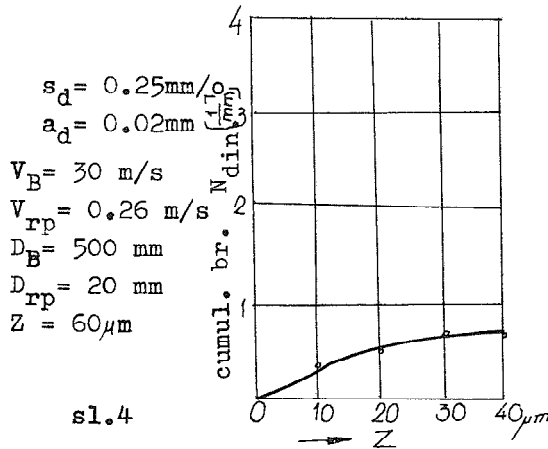
Utoku brušenja samo određen broj ivica dolazi u kontakt sa radnim predmetom i taj broj zavisi od kinemackih i geometričkih parametara procesa. Slika 3 pokazuje dio površine brusa na koju su simuliranjem stvarnog procesa određene dinamičke ivice. Kinematizacija statičke slike površine brusa vrši se ucrtavanjem putanje zrna $L = L(V_B, V_{RP}, D_B, D_{RP}, V_P)$ do presjeka sa profilom novog zrna čime se definiše dinamička ivica koja sigurno dolazi u zahvat sa radnim predmetom.



sl.3

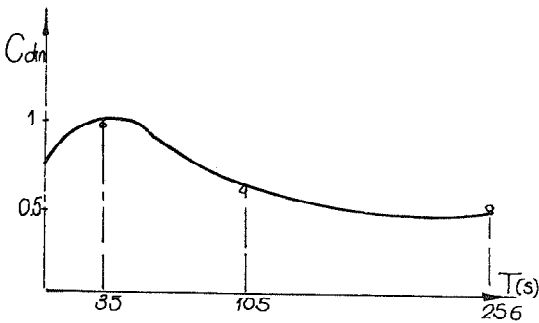
Kinemacka analiza kretanja zrna kroz radni predmet data je u prilogu a grafički prikaz putanje dobijen je preko kompjuter programa na ploteru.

Kao rezultat kompletne analize svih trasa eksperimentalno dobijenih na sl.4 data je zavisnost kumulativnog broja dinamičkih ivica od z .

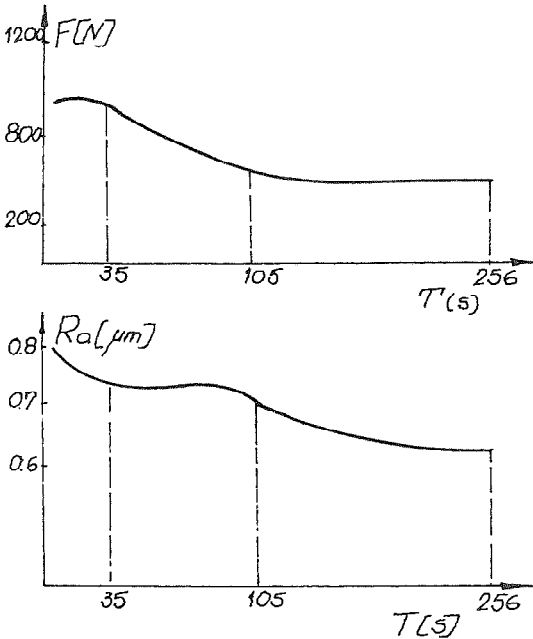


sl.4

3. Uticaj mikro geometrije na rezultate brušenja



Današnja istraživanja u ovoj oblasti usmjerena su obuhvatanjem svih ulaznih parametara preko jednog realnog parametra i nalaženje zavisnosti između takvog parametra i rezultata brušenja. Čine se napori da se parametri strugotine uzmu za ocjenu uticaja svih ulaznih parametara. Ovaj rad parcijalno posmatra



sl.5

ovaj problem dajući uticaj mikro geometrije na rezultate brušenja sl.5. Sa slike se vidi da se broj dinamičkih ivica u početku povećava a onda se postepeno smanjuje. Ovaj fenomen se objašnjava pojavama da zrna posle izvjesnog vremena ulaze u fazu samo oštrenja što rezultira u veći broj dinamičkih ivica. Kriva normalne sile F sasvim dobro prati krivu dinamičkih ivica. Sila uzima najveću vrednost za najveći broj dinamičkih ivica što se moglo očekivati a dalje praćenje rezultata brušenja potrebno je sve ovo proveriti na drugim brusevima i za druge materijale da bi se davali neki

sigurniji zaključci.

Prilog 1

Putanja zrna kroz radni predmet kod brušenja bez šiljaka prikazana je na sl.6

U tački A pri $t=0$ zrno dolazi u kontakt sa radnim predmetom. Položaj zrna u bilo kom vremenu t posle kontakta definisan je vektorom \vec{r} vezanim za pokretni sistem koordinata u tački O_2 .

$$\vec{r} = x \vec{i} + y \vec{j} = [-(R_B + R_{RP} - s \cdot t) + R_B \cos \phi] \vec{i} + R_B \sin \phi \vec{j}$$

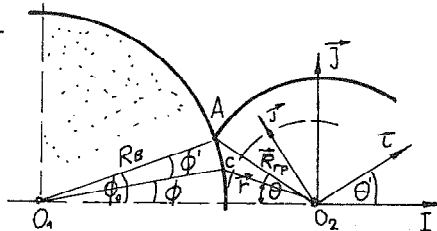
Zamjenom vektora nepokretnog sistema vektorima pokretnog sistema \vec{i} i \vec{j} dobija se

$$\vec{r} = [R_B \cos \phi - (R_B + R_{RP} - s \cdot t)] (\vec{i} \cos \theta - \vec{j} \sin \theta) + R_B \sin \phi (\vec{i} \sin \theta + \vec{j} \cos \theta) = [R_B \cos \phi \cos \theta - (R_B + R_{RP} - s \cdot t) \cos \theta + R_B \sin \phi \sin \theta] \vec{i} + [(R_B + R_{RP} - s \cdot t) \sin \theta - R_B \cos \phi \sin \theta + R_B \sin \phi \cos \theta] \vec{j}$$

Koristeći trigonometrijske relacije izraz prelazi

$$\vec{r} = [R_B \cos(\phi - \theta) - (R_B + R_{RP} - s \cdot t) \cos \theta] \vec{i} + [(R_B + R_{RP} - s \cdot t) \sin \theta + R_B \sin(\phi - \theta)] \vec{j}$$

Kako je $\phi' = \omega_B t$ $\theta = \omega t$ $\phi = \phi_0 - \phi'$ dobija se putanja zrna



sl.6

kroz radni predmet u funkciji vremena t

$$\vec{r} = \left[R_B \cos(\phi_0 - (\omega_B + \omega_{RL})t) - (R_B + R_{RL} - s) \cos \omega_{rp} t \right] \vec{i} + \left[(R_B + R_{RL} - s) \sin \omega_{rp} t + R_B \sin(\phi_0 - (\omega_B + \omega_{RL})t) \right] \vec{j}$$

Reference

1. H.Cpitz, W.Ernst Grinding at high cutting speeds, 6th International M.T.D.R. Conference, Manchester, september 1965
2. J.R.Chalkley, C.R.Jennings Some observations on the working surfaces of grinding wheels, International Conference London, 1977
3. V. Konig, W. Lortz Three Dimensional Measurement of the Grinding Wheel surface Evaluation and Effect of Cutting Behaviour Annals of CIRP 25 (1976)
4. W.B.Rowe, D. Brough High speed centreless grinding, Progress report for the meeting of the S.R.C. grinding panel on 16th december 1977 London
5. D.Brough W.B. Rowe Aspects of high speed centreless grinding, 1st joint Polytechnic symposium on manufacturing engineering, Leicester, 1977
6. W.Scott R.Baul Grindingwheel surface topography, Leeds, 1977
7. I.Brecker, M.Shaw Effective number of cutting points on the face of grinding wheel, CIRP- Paris 1973
8. N. Eiss, J.Warren Current advances in surface characterization, The American society of Mechanical engineering, New York 1977

XIII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

V.Mečanin †)

PRILOG ANALIZI OBRADNE SLOŽENIH STRUKTURA NA NUMERIČKI UPRAVLJANIM MAŠINAMA

1.UVOD

Alatne i produkcione mašine u svom sastavu pored ostalih djelova sadrže i noseće obično složene strukture kao što su:Postolja, kući - šta određenih prenosa, nosači pojedinih uređaja i niz drugih elemenata koji po svojoj geometriji i složenosti predstavljaju problem za projektovanje i optimizaciju procesa obrade.

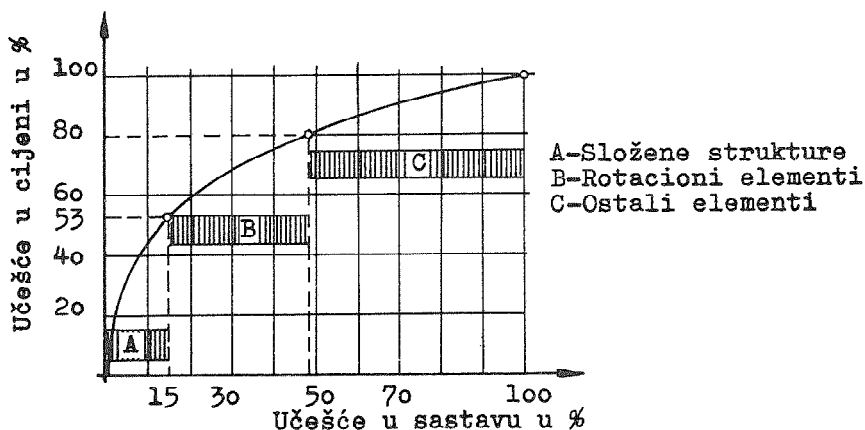
Cilj proizvodnog procesa je, da svaki elemenat koji se ugrađuje u određeni sklop ili sistem obradnog stroja bude kvalitetno urađen uz što manje troškove obrade.Ovo posebno važi kada se radi o nosećim strukturama mašina gdje se istovremeno traže tačnost izrade i kvalitet obrađene površine.

Kako pomenute strukture u cijeni mašine čine najznačajniju stavku, kako je to prikazano na slici /1.1/,to se projektovanju i optimizaciji procesa njihove obrade mora posvetiti posebna pažnja.

Pomenute strukture moguće je obrađivati na jedan od sledećih načina:

- da se obrada vrši kombinacijom nekoliko klasičnih alatnih mašina kada se u procesu obrade pojavljuje nekoliko većih glodalica, bušilica i drugih mašina
- da se obrada složene strukture obavlja na alatnoj mašini koja predstavlja kombinaciju bušilice i glodalice
- da se složena struktura obrađuje na sličnoj ali numerički upravljanoj mašini, i
- da se proces obrade vrši na numerički upravljanim /NC ili CNC/, mašinama specijalno projektovanim za obradu složenih struktura koje nazivamo obradnim centrima

†) Mr Vučko Mečanin dipl.inž.,docent Mašinskog fakulteta u Mostaru



SLIKA/1.1/, DIJAGRAM PROCENTUALNOG UČEŠĆA SLOŽENIH STRUKTURA U SASTAVU I NJIHOV UTICAJ NA CIJENU MAŠINA [1].

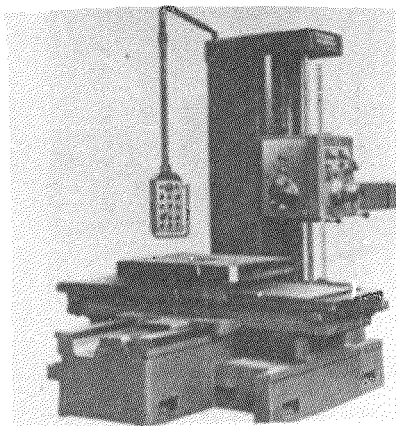
Na dijagramu prikazanom na slici /1.1/, dato je procentualno učešće nosećih struktura na mašinama, sa koga se vidi, da iste, i ako čine svega oko 15% svih djelova mašine, učestvuju u ukupnoj cijeni sa preko 50%.

Ako se obrada vrši na klasičnim alatnim mašinama kao što je to kombinacija bušilice-glodalice slika /1.2/, ili pak kombinacijom više mašina, proces obrade sadrži određene probleme koji se iskazuju preko:

- dovođenja alata u tačno određenu poziciju obrade, jer se isto u završnoj fazi obrade mora vršiti ručno, što utiče na tačnost obrade
- pojave grešaka pri zauzimanju koordinata, jer poslužilac iste zauzima ručno upravljajući mašinom
- korekcije pomjeranja radi tražene tačnosti obrade, uslijd grešaka pri postavljanju i podešavanju alata
- zauzimanja elemenata za izbor režima rezanja
- izmjene alata za pojedine operacije, koje poslužilac izvodi koristeći se pomoćnim alatima, što iziskuje fizički i psihički zamor a moguće su i greške
- kontrole obrađenih komada, za koju je potrebno relativno veliko vrijeme
- veće potrošnje alata u procesu obrade i veći uticaj subjektivnih faktora u proizvodnom procesu

Svi ovi elementi o kojima smo govorili, utiču na vrijeme obrade slo -

žene strukture, čijim se povećanjem ,povećava i ukupna cijena mašine. Treba istaći, da je ovakav tip mašina koje se koriste za obradu slo - ženih struktura, još uvijek najviše zastupljen u našim proizvodnim organizacijama, te treba učiniti mnogo više napora da se takvo stanje što prije prevazide.



SLIKA /1.2/, KLASIČNA ALATNA MAŠINA ZA OBRADU NOSEĆIH STRUKTURA
PROIZVODNJE INDUSTRIJE "IVO LOLA RIBAR" BEOGRAD

Razvoj određenih naučnih disciplina, a naročito računara, omogućio je da se u poslednje vrijeme priđe razvoju i proizvodnji novih tipova mašina prikladnih za obradu pomenutih struktura, koje na osnovu upravljanja u procesu obrade nazivamo numerički upravljane /NC/ mašine.

Ove mašine eliminišu nedostatke klasičnih alatnih mašina o kojima smo ranije govorili. Kod ovih mašina, u procesu obrade sva kretanja su programirana, izvode se a utomatski i dovođenje alata u predviđenu poziciju za obradu ne predstavlja problem, jer su sva kretanja električno kontrolisana.

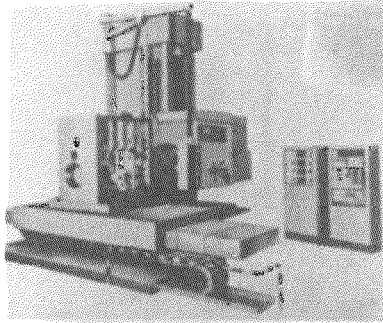
Numerički upravljane mašine imaju više prednosti u odnosu na klasične. Te prednosti sastoje se ukratko: u:

- kraćim vremenima obrade
- nije potrebna kontrola svakog komada
- omogućena je obrada sa ekonomskim režimima obrade
- smanjenju škarta u procesu obrade
- smanjenju fizičkog i psihičkog naprežanja radnika
- povećanju produktivnosti i po nekoliko puta itd.

Ovakve mašine proizvode sve razvijenije zemlje a kod nas, Industrija

XIX- 4

alatnih mašina "Ivo Lola Ribar" iz Beograda i Tvornica alatnih strojeva "Prvomajska" iz Zagreba. Na slici /1.3/, prikazana je jedna od niza sličnih numerički upravljanih mašina za obradu nosećih struktura.



SLIKA /1.3/, NUMERIČKI UPRAVLJANA MAŠINA FIRME WMW,DDR

I kod ovog tipa numerički upravljanih mašina, javljaju se određeni problemi, koji se prije svega odnose na:

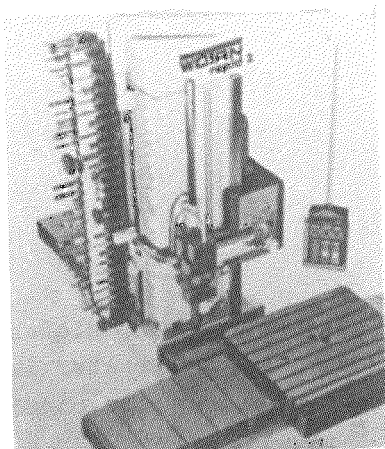
- izmjenu alata nakon završetka obrade na određenoj operaciji, koja se obavlja ručno i povećava vrijeme obrade
- moguće su greške pri postavljanju alata po planu i programu obrade i ako su ovdje moguće intervencije sa kabinetima alata
- potreban je veći prostor oko mašine za smještaj većeg broja alata
- dosta veliki obim intervencija operatera u toku obrade itd.

Svi ovi zahvati utiču na povećanje ukupnog vremena obrade, a time i na ukupnu cijenu mašine u koju se složena struktura ugrađuje.

Imajući u vidu ove i još neke probleme, istraživanja su išla dalje na razvijanju još savremenijih oblika mašina za obradu nosećih struktura i kao rezultat proizvedena je nova generacija numerički upravljanih /NC ili CNC/ mašina, koje nose naziv obradni centri slika /1.4/.

Kod obradnih centara, alati koji učestvuju u obradi, složeni su prema planu i programu obrade, u nosače, koji mogu biti u obliku doboša ili redenika, odakle ih specijalna ruka stavlja u radno vreteno obradnog centra. Znači, izmjena alata vrši se automatski, bez intervencije rad -

nika. U ovom kao i u predhodnom slučaju podešavanje alata vrši se na specijalnoj mašini u službi alata. Ovako "unaprijed" podešeni alati, slažu se po programu obrade u nosače, kako je to na slici prikazano.



SLIKA /1.4/, OBRADNI CENTAR PROIZVODNJE WOTAN-"IVO LOLA RIBAR"

Iz osnovne koncepcije razvoja centara obrade, proizilaze i određene prednosti u odnosu na numerički upravljane bušilice - glodalice koje se isto tako koriste za kompleksne probleme obrade kao što su noseće strukture alatnih i produkcionih mašina. Te prednosti su:

- znatno manja vremena obrade
- dalji porast kvaliteta izrade
- porast obima proizvodnje
- smanjenje troškova obrade po komadu
- obrada djelova veoma složenih geometrijskih oblika
- dalji porast produktivnosti

Treba istaći, da uvođenje numerički upravljanih mašina i razvoj NC tehnologije, zahtijeva i jedan sasvim novi prilaz projektovanju i optimizaciji procesa obrade, sistematskom ispitivanju obradivosti materijala, te razvoju modela za optimizaciju parametara obrade. Isto tako, potrebna su i nova znanja iz oblasti programiranja, obrade rezanjem, razvoja tehnološke banke podataka itd. Međutim, visoka produktivnost NC mašina, posebno obradnih centara, opravdava sva ova ulaganja.

2. MODEL I STRUKTURA TROŠKOVA OBRADE

Projektovanje i optimizacija procesa obrade složenih struktura na obradnim centrima, ima svoje specifičnosti kako sa stanovišta vrijednosti rezanja, tako i sa stanovišta izbora odgovarajuće opreme. Pošto se pri obradi pojavljuju skoro sve vrste obrade kao naprimjer:

- struganje
- bušenje
- glodanje
- proširivanje
- razvrtanje
- rezanje navoja i
- upuštanje

a neke i po nekoliko puta pri obradi jedne složene strukture, to optimizacija vrijednosti rezanja poprima karakter iznalaženja optimalnih vrijednosti za svaki alat, odnosno vrstu obrade pojedinačno.

Optimizaciju procesa obrade moguće je sprovesti sa stanovišta minimalnih troškova obrade, ili pak maksimalne proizvodnosti. Optimizacija se češće izvodi sa stanovišta minimalnih troškova.

Troškovi obrade složenih struktura na obradnim centrima mogu se izraziti kao funkcija pojedinih troškova u obliku,

$$K = F(k_1, k_2, k_3, \dots, k_n) \quad /2.1/.$$

Gdje su:

K- ukupni troškovi obrade složene strukture

k_1, k_2, \dots, k_n - pojedinačni troškovi

Pojedinačni troškovi, koji ulaze u model ukupnih troškova, treba da obuhvate troškove opreme, alata, programiranja, podešavanja alata "unaprijed", te troškove pripreme i posluživanja obradnog centra. Pod troškovima opreme podrazumijevamo: Troškove obradnog centra, opreme za programiranje, mašine za podešavanje alata i mašine za podoštavanje alata. Ostali troškovi vezani za opremu kao naprimjer, transport, postavljanje, puštanje u rad itd., neka za sada budu obuhvaćeni cijenom opreme. Uvodeći pojedinačne troškove koje ovdje usled obima rada nemožemo razvijati u model /2.1/, isti poprima oblik;

$$K = \text{CMR} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n \left[(t_i + t_{pi})_s + (t_i + t_{pi})_b + (t_i + t_{pi})_g \right] + \sum_{i=1}^D \left[\frac{t_i}{T_i} (t_{zi} + \frac{\text{Coi}}{\text{CMR}})_s + \frac{t_i}{T_i} (t_{zi} + \frac{\text{Coi}}{\text{CMR}})_b + \frac{t_i}{T_i} (t_{zi} + \frac{\text{Coi}}{\text{CMR}})_g \right] \right\} / 2.2/.$$

Iii, uvrštavanjem analitičkih izraza za vrijednosti rezanja, predloženi model poprima oblik;

$$K = \text{CMR} \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i \cdot \Delta_i}{1000 V_i \cdot S_i \cdot d_i} + t_{pi} \right)_s + \left(\frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i \cdot \Delta_i}{1000 V_i \cdot S_i \cdot d_i} + t_{pi} \right)_b + \dots \right] + \sum_{i=1}^D \left[\frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i \cdot \Delta_i}{1000 V_i \cdot S_i \cdot d_i} + \dots \right] \right\} / 2.3/.$$

$$+ \frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i}{1000 V_i \cdot S_i} \cdot \frac{Y_i / m_i \cdot S_i / l \cdot m_i}{(C_{vi} \cdot n_{ki}) / m_i} \cdot (t_{zi} + \frac{\text{Coi}}{\text{CMR}})_s + \frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i \cdot \Delta_i}{1000 V_i \cdot S_i \cdot d_i} + \frac{D_i \cdot \bar{u} \cdot L_i \cdot \Delta_i}{1000 V_i \cdot S_i \cdot d_i} \cdot \frac{Y_i / m_i \cdot S_i / l \cdot m_i \cdot X_i / m_i}{(C_{vi} \cdot n_{ki} \cdot D_{zi} \cdot Z_i) / m_i} \cdot (t_{zi} + \frac{\text{Coi}}{\text{CMR}})_g \left. \right\} / 2.4/.$$

XIX - 7

Diferenciranjem funkcije troškova po parametrima obrade (v_i, s_i, d_i), i rešavajući sistem dobijenih jednačina, u mogućnosti smo, da odredimo optimalne režime rezanja za sve alate koji učestvuju u obradi.

$$\frac{\partial k}{\partial v_{ij}} = 0 ; \frac{\partial k}{\partial s_{ij}} = 0 ; \frac{\partial k}{\partial d_{ij}} = 0 ; \Rightarrow (v_{ij} \cdot \text{opt} ; s_{ij} \cdot \text{opt} ; d_{ij} \cdot \text{opt}.)$$

/2.4/.

U modelu troškova CMR obuhvata ukupne troškove opreme, rada, pripreme i posluživanja svedene na period obrade a C_{ai} troškove alata po periodu postojanosti /T/.

$$CMR = \sum_{j=1}^S \left(\frac{C_0 \cdot A_0}{F \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60} \right)_j + \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i (1 + k_d) \quad /2.5/.$$

$$C_{ai} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{na}}{a_1} + \frac{C_{nos}}{a_2} + \frac{C_{dr}}{a_3} + \dots \right)_i \quad /2.6/.$$

U gornjim izrazima su:

C_0 - cijena pojedine vrste nove opreme u din/min.

A_0 - godišnja stopa amortizacije opreme u %

F - godišnji fond sati pri radu u dvije smjene u %

η - stepen iskorištenja opreme

c_i - vrijednost pojedinih oblika rada u din/min.

t_i - vrijeme pojedinih oblika rada u min.

C_{na} - cijena novog alata u din/per.postojanosti.

C_{nos} - cijena nosača alata u din.

C_{dr} - cijena držača alata u din.

a_1 - broj podoštavanja alata.

a_2 i a_3 - amortizacija nosača i držača alata /ekviv.rez.rubova/.

k_d - koeficijent dodatnih troškova.

U jednačini /2.2/, t_i predstavlja aktivno vrijeme rezanja i-tog alata j-te vrste obrade, a t_{pi} sumu pomoćnih vremena i-tog alata, takode j-te vrste obrade u min. Nomenklatura za vrijednosti iz jednačine /2.3/, je radi obimnosti izostavljena. Ista je uobičajena u našoj literaturi.

$$t_{pi} = (t_{uim} + t_{bp} + t_{sp} + t_{izmj.al.} + t_{int.pr.} + \dots)_i \quad /2.7/.$$

Gdje su:

t_{uim} - vrijeme uključivanja i isključivanja stroja

t_{bp} - vrijeme brzog primicanja alata u min.

t_{sh} - vrijeme sporog primicanja alata /puzajući hod/ u min.

$t_{iz.al.}$ - vrijeme automatske izmjene alata u min.

$t_{int.pr.}$ - vrijeme intervencija u programu u min.

3. IZBOR I OBLICI OBRADNIH CENTARA

Kako smo ranije istakli, za obradu nosećih struktura obzirom na njihovu složenost, potrebno je koristiti obradne centre.

Postavlja se pitanje, na koji način vršiti izbor mašine, koja će pri obradi ostvariti najveće tehnokonomske efekte. Kod razrešavanja ovog potrebno je poći od pretpostavke, da će izabrana mašina iz grupe sličnih, pokriti za nas interesantno područje složenosti i veličina struktura koje želimo obrađivati.

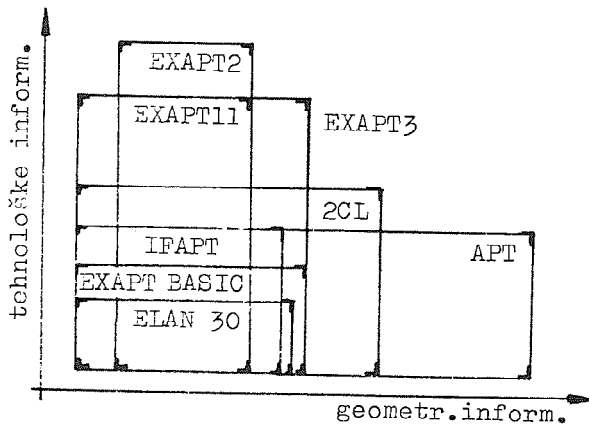
Kada govorimo o izboru mašine obzirom na dimenzije, mislimo na veličine pomjeranja u pravcu odgovarajućih koordinatnih osa (x,y,z). Prije odluke, za pravilan izbor, neophodno je izvršiti analizu geometrijskih veličina i oblika, djelova koji će se obrađivati. Drugi deo analize treba da sadrži informacije o složenosti struktura. Ovaj deo informacija igra presudnu ulogu pri izboru NC upravljanja, kapaciteta memorije i konfiguracije obradnog centra.

Pod pojmom složenosti djelova podrazumijevamo geometrijsku složenost (složenost oblika), dimenzijsku tačnost obrade, vrste obrade (bušenje, glodanje, razvrtnanje, rez. navoja, ..), te broj potrebnih alata za obradu.

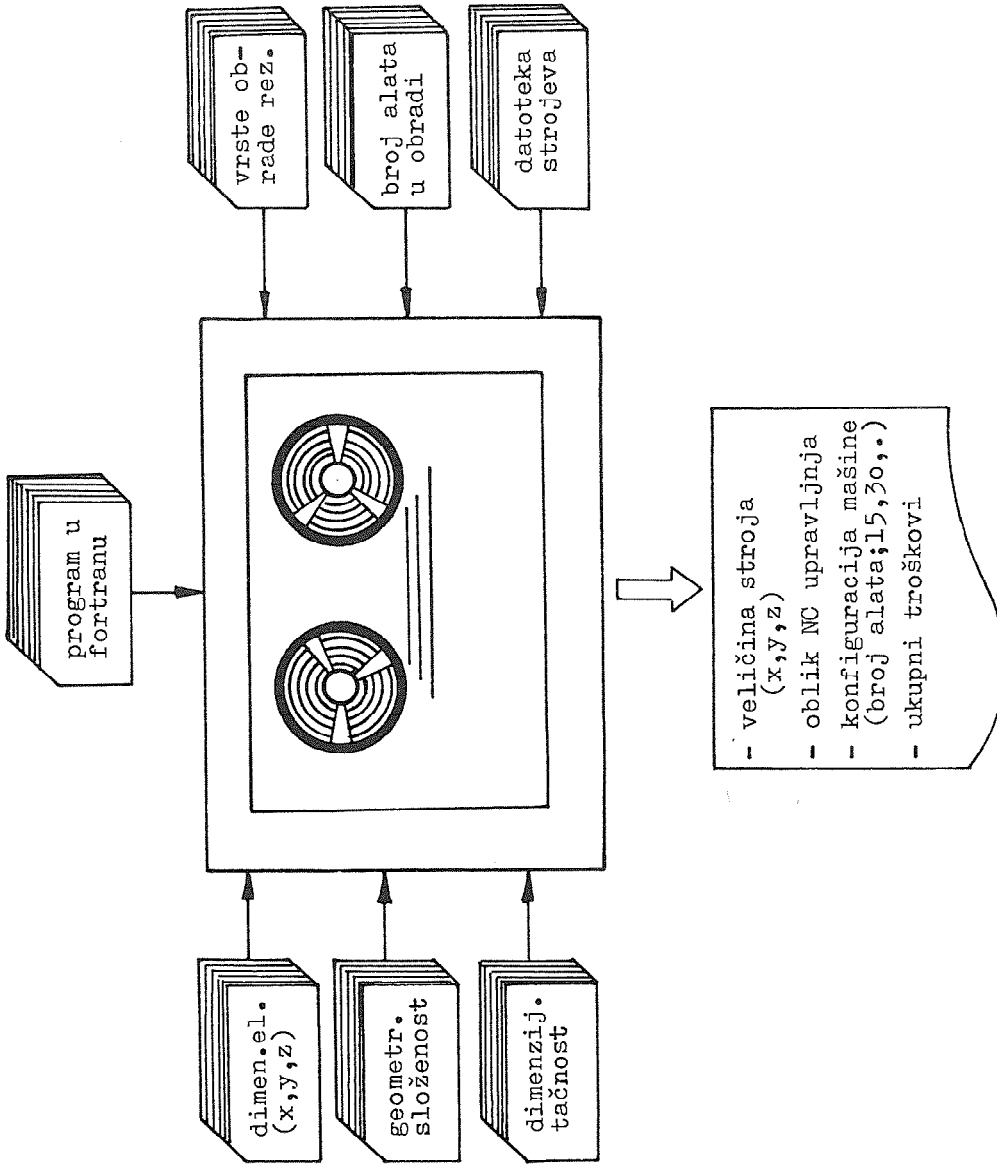
Isto tako, potrebno je voditi računa o veličini serija koje će se raditi, o broju radnih naloga u toku jedne godine itd.

Analizu za izbor odgovarajuće mašine moguće je izvršiti pomoću računara, gdje za to postoje uslovi, kako je to prikazano na slici /3.2/.

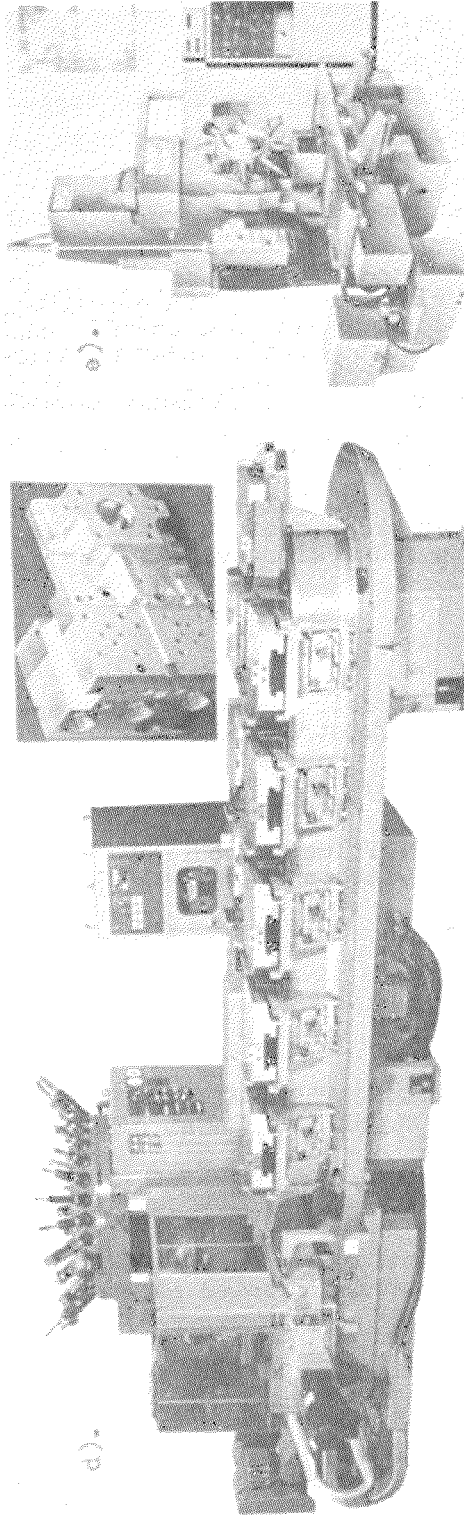
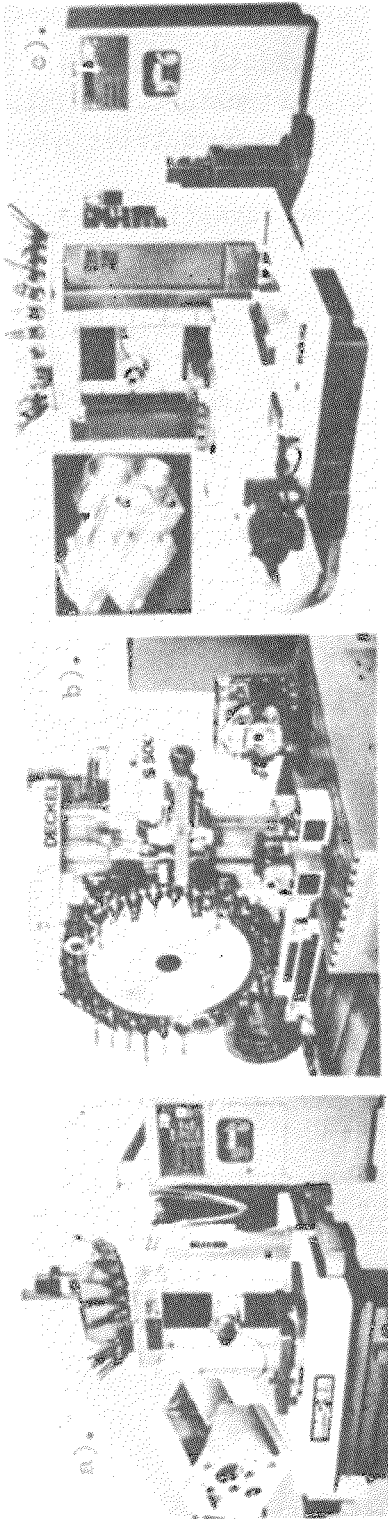
Upravo, vodeći računa o ovim činjenicama, do sada je razvijen čitav niz obradnih centara koji prekrivaju cjelokupno područje obrade složenih struktura, kao i niz programskih sistema, kako je to prikazano na slici /3.1/.



SLIKA /3.1/. OPSEG INFORMACIJA NEKIH NC PROGRAMSKIH SISTEMA [2].



SLIKA /3.2/. ALGORITAM ZA IZBOR NC MAŠINE POMOĆU RAČUNARA



SLIKA /3.3/. PREGLED OBRADNIH CENTARA NEKIH PROIZVOJACA, a-TOSHIBA, b-DECKEL,
c i d-MAKINO I e-VERTIKALNA VARIJANTA FIRME WADKIN.

Na slici /3.3/, prikazano je nekoliko tipova obradnih centara, koji su namenjeni za obradu različitih tipova složenih struktura. Sa slike se takođe naziru i pravci daljeg razvoja ovih visoko produktivnih mašina.

Na osnovu razmatranja iznesenih u radu, mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Obradu složenih struktura potrebno je vršiti na obradnim centrima, jer isti imaju više prednosti u odnosu na klasične mašine i obezbeđuju visoku produktivnost i kvalitet obrade.
2. Predloženi matematički model troškova, obuhvata više uticajnih faktora i njegovom se transformacijom mogu odrediti optimalni režimi obrade.
3. Potrebno je učiniti više napora kako bi se ove savremene mašine u što većem broju, našle u našim radnim organizacijama, kao što je to slučaj u tehnički razvijenim zemljama.

Reference

- [1] Puš E.V., "Konstruirovanie metallorėžušćih stankov", "Mašinostroenie", Moskva 1977., str.43, sl.29.
- [2] Peklenik J., "Savetovanje proizvodnog mašinstva u Mariboru 1978. god.", uvodni referat, str.43, sl.28.
- [3] Mečanin V., "Primena i održavanje NC mašina pri obradi složenih struktura", "Terotehnologija alatnih mašina", Zadar 1978. god.

V. Mečanin

THE SUPPLEMENT TO THE ANALYSIS THE PROCESS OF THE COMPOUND STRUCTURES ON THE NUMERICAL DIRECTED MACHINES

Tool and manufacture machines in their structure contain, besides other parts, usually the compound structures which represent the problem for designing and optimisation of the working process.

The above mentioned structures can be worked on the classical as well as on the numeric directed machines. This work deals with the advantage working on the NC-machines - the working centers.