

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

ZBORNIK RADOVA
X SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

KNJIGA III

OBRADA REZANJEM



X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA



**ZBORNIK RADOVA
X SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA**

KNJIGA III

OBRADA REZANJEM

BEOGRAD, 1975.

**ŠTAMPA: BIRO ZA GRAĐEVINARSTVO
BEOGRAD, Sremska 6**

POKROVITELJ X SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

SAVEZNO IZVRŠNO VEĆE

X Savetovanje proizvodnog mašinstva je stručno-naučna manifestacija Zajednice jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva

ORGANIZATORI X SAVETOVARJA

Institut za alatne mašine i alate IAMA i Mašinski fakultet Univerziteta, Beograd, 27. marta 80

ORGANIZACIONI ODBOR X SAVETOVARJA

Dr. Vladimir Šolaja, dipl.ing., red.profesor Mašinskog fakulteta, direktor Instituta IAMA, Beograd - PREDSEDNIK
Dr. Milisav Kalajdžić, dipl.ing., sam.saradnik Instituta IAMA, Beograd

Stevan Maksić, dipl.ecc., gen.direktor Poslovnog udruženja proizvodjača alatnih mašina Jugoslavije MAŠINOUNION, Beograd

Dr. Vladimir Milačić, dipl.ing., red.profesor Mašinskog fakulteta, Beograd

Dr. Joko Stanić, dipl.ing., vanr.profesor Mašinskog fakulteta, saradnik Instituta IAMA, Beograd

Alojz Šnajder, dipl.prav., direktor Poslovnog udruženja jugoslovenske industrije alata ALAT, Beograd

Dr. Sreten Uroševih, dipl.ing., rukovodilac Odjeljenja za tehnologiju Instituta IAMA, Beograd

Dušan Uskoković, dipl.ing., saradnik Mašinskog fakulteta, Beograd - SEKRETAR

Dr. Dušan Vukelja, dipl.ing., sam.saradnik Instituta IAMA, Beograd

Prvoslav Živković, dipl.ing., priredio materijale za štampu

Uporedo sa svakogodišnjim stručno-naučnim skupovima proizvodnog mašinstva, inače osnovnom zajedničkom akcijom Zajednice jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, iniciranom prvim savetovanjem oktobra 1965 godine u Beogradu, jačalo je partnerstvo Privrede i Nauke u okvirima metalopreradivačke industrije, na linijama proizvodne funkcije i specifične istraživačko-razvojne delatnosti.

Dinamika uspostavljanja veza i njihove sadržine su pritom uslovljeni nizom okolnosti - opštom društvenom klimom, uslovima uže sredine i rastom sopstvenog znanja, iskustva i kompetencija - te je Istraživanje i Razvoj u proizvodnom mašinstvu dobilo jasnije konture i prostor delovanja, zauzelo sadašnje mesto u sklopu privrednog i društvenog napredovanja, i pri datom nivou svoje zrelosti, razvilo niz značajnih naučnoistraživačkih i razvojno-unapredjivačkih linija u oblastima sredstava za proizvodnju metalne industrije i relevantnih proizvodnih postupaka i metoda, tehnologije metaloprade i tehnološke organizacije, upravljanja proizvodnjom i informacionih sistema, specifičnog tehnološkog transfera i prognoziranja.

Na dnevni red jubilarnog X savetovanja proizvodnog mašinstva su iznete tri tematske oblasti:

ALATNE MAŠINE,

OBRADA REZANJEM, i

PRIMENA KOMPJUTERA U PROIZVODNOM MAŠINSTVU,

pri čemu je ukupno 48 saopštenja, pripremljenih od strane autora iz istraživačkih i privrednih organizacija izneto u

tri knjige Zbornika radova X savetovanja, dok se u posebnoj svesci nalaze osnovni referati za svaku oblast, a takodje i uvodni referat za X savetovanje.

U trećoj knjizi Zbornika sadržano je 19 saopštenja iz tematske oblasti OBRADA REZANJEM, od čega 17 od strane autora iz istraživačko-razvojnih organizacija - članova Zajednice, a 2 iz Privrede. Saopštenja se odnose na pitanja:

- (i) teorija rezanja i metode ispitivanja (A.Perić, S.Sekulić, B.Jeremić, B.Ivković, Z.Seljak)
- (ii) operacije u obradi rezanjem (R.Kovačević, D.Banjac, D.Milutinović-N.Djordjević, B.Popović, E.Kuljanić-E.Lemaher, M.Jovičić, F.Roethel),
- (iii) kvalitet površina u obradi rezanjem (S.Trajkovski, D.Vukelja, V.Pavlovski, P.Leskovar-D.Ferlan), i
- (iv) tehnoeconomija u obradi rezanjem (M.Tomić, J.Stanić)

Iznoseći ovе informacije pred domaću stručno-naučnu javnost, organizatori jubilarnog X savetovanja - Institut za alatne mašine i alate IAMA i Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu - žele da odaju priznanje autorima saopštenja na saradnji, a izražavaju svoju veru u korisnost prezentovanog znanja i iskustva, koncipiranih ideja i realizovanih rezultata i podataka, za široki krug jugoslovenskih proizvodnih stručnjaka koji delaju u Privredi, Obrazovanju i u Istraživanju.

ORGANIZACIONI ODBOR
X SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, septembra 1975.g.

S A D R Ž A J

OBRADA REZANJEM

Strana

J.P.STANIĆ, Uticaj sistema tehnoekonoms-	
kih faktora na nivo rentabilnosti obradnog procesa	OR.1.1
M.M.JOVIČIĆ, Uticaj karakteristika to- cila i uslova obrade na samopobud- ne vibracije pri brušenju	OR. 2.1
B.Z.POPOVIĆ, Optimizacija geometrije ureznika	OR. 3.1
S.P.TRAJKOVSKI, Izvesni nabludovanja vrz rapavosta na obrabotena po- vršina pri obrabotkata so struže- nje na siluminski odlivci	OR. 4.1
V.PAVLOVSKI, Prilog identifikaciji medjuzavisnosti habanja glodala i kvaliteta obradjene površine	OR. 5.1
D.M.MILUTINović, N.Djordjević, Primer unapredjenja obrade primenom grupnog alata za bušenje.	OR. 6.1
D.VUKELJA, Obrada na strugu domaćih konstrukcijskih materijala u us- lovima malih preseka strugotine	OR. 7.1
B.M.JEREMIĆ, Uticaj vrste termičke obrade na obradivost čelika pri čeonom glodanju	OR. 8.1

Strana

P.P.BANJAC, Obrada poligonalnih otvora bušenjem - rezultati eksperimental- nih istraživanja	OR. 9.1
S.SEKULIĆ, Primena dimenzione analize na odredjivanje zavisnosti izmedju glav- nog otpora rezanja i primarnih uticaj- nih faktora	OR.10.1
R.B.KOVAČEVIĆ, Uporedjivanje reznih ka- rakteristika konusno i ravno naoš- trenih burgija	OR.11.1
A.PERIĆ, Prilog istraživanju temperatura pri periodičnom rezanju	OR.12.1
P.LESKOVAR,D.FERLAN, Integriteta povr- šine kot kriterij obdelovalnosti in obdelovalnega procesa	OR.13.1
F.ROETHEL, Prispevek k opisu sprememb površin pri procesu notranjega brušenja	OR.14.1
Z.SELJAK, Tehnološke informacije o trdi valjčni litini	OR.15.1
E.KULJANIĆ,E.LEMAHER, Metoda zakreta- nja alata - povećanje postojanos- ti alata za odvalno dubljenje (FELLOWS)	OR.16.1
E.KULJANIĆ,E.LEMAHER, Utjecaj broja početaka odvalnog glodanja na hra- pavost površine i ekscentričnost zupčanika	OR.17.1
M.TOMIĆ, Ekonomski aspekti tračnog piljenja	OR.18.1
B.IVKOVIĆ, Razvoj radioaktivnih meto- da za tribološka istraživanja u obradi metaala rezanjem	OR.19.1

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

J.Stanić^{x)}

UTICAJ SISTEMA TEHNOEKONOMSKIH FAKTORA NA NIVO
RENTABILNOSTI OBRADNOG PROCESA^{xx)}

1. Uvod

Istraživanje i razvoj optimizacionih modela obradnih procesa predstavlja, po značaju i obimu, jedan od ključnih segmenta u savremenoj proizvodnji mašinskih delova, komponenti i gotovih proizvoda. To je u osnovi vrlo složen sistem tehničkih, tehnoloških, organizacionih, matematskih i naučnoistraživačkih aktivnosti oko koga se, u modernim proizvodnim uslovima i koncepcijama razvoja, koncentrišu združene snage proizvodne prakse, naučnoistraživačkih i visokoobrazovnih institucija.

Razvijeni sistemi optimizacionih modela omogućuju da se, uz ostalo, optimiziraju skupovi obradnih procesa nekog složenog tehnološkog lanca a zatim upravljaju po optimalnim režimsko-tehnološkim trasama unutar definisanih optabilnih tehnoloških područja. Na ovim modelima, sem toga, zasnivaju se savremene koncepcije u gradnji i razvoju adaptivno upravljenih obradnih sistema sa graničnim i optimalnim regulisanjem.

To je razlog što je problematika istraživanja optimizacionih modela raznovrsnih obradnih procesa i sistema postala, posodavno, predmet mnogih ozbiljnih istraživačkih npora i programa Instituta za alatne mašine i alate i Katedre za proizvodno maši-

^{x)}Dr Joko P.Stanić, dipl.ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate , ul. 27. marta 80.

^{xx)}Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate kao deo projekta RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA - ROPOS u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica nauke SR Srbije i partneri iz industrije.

nstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu. Navodi se samo deo iz brojnih radova u kojima su izloženi postignuti rezultati iz ove oblasti [1] - [8].

Ranije je, na primeru obrade otvora, razvijen jedan od optimizacionih modela obradnih procesa čiji opšti oblik glasi

$$\begin{aligned} \Phi_c = \Phi_c(\vec{x}), \quad \vec{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) \\ x \in D \\ D \left\{ \begin{array}{l} a_i \leq x_i \leq b_i, \quad i=1,2,3,\dots,k \\ \alpha_j \leq g_{uj}(\vec{x}) \leq \beta_j, \quad j=1,2,3,\dots,n \end{array} \right. \end{aligned} \quad (1)$$

gde je Φ_c - funkcija cilja ili funkcija (kriterijum) optimizacije za k - dimenzioni prostor promenljivih x ograničenih optabilnim područjem D u kojem je sadržan optimum funkcije cilja i familija optimalnih linija upravljanja procesa (režimsko-tehnološke trase upravljanja).

Polazeći od postavljenog konkretnog oblika modela (1), u radu je najpre izvršeno strukturisanje a zatim sprovedena statistička analiza signifikantnosti pojedinih tehnoloških faktora (elemenata) skupa \vec{x} u sistemu (1).

2. Struktura tehnoekonomskog skupa faktora

Za jedan obradni proces može se kao funkcija cilja izabrati ekonomičnost, proizvodnost ili rentabilnost procesa ali pod pretpostavkom da je obezbedjena tačnost u toku celokupnog vremenskog i prostornog hoda procesa. Za razliku od proizvodnosti i ekonomičnosti, kojima se izražavaju proizvodni potencijal i akumulativnost procesa u obradnom sistemu, rentabilnost predstavlja u suštini brzinu ove akumulacije koja se ostvaruje u toku trajanja procesa, dakle, veličinu realizovane novostvorene vrednosti ili dobiti u jedinici vremena. Stoga je rentabilnost, u odnosu na prva dva, integralniji kriterijum efikasnosti pomoću kog se ocenjuje tehnoekonomski kvalitet nekog realnog obradnog procesa u reprodukcionom (obradnom) sistemu.

U slučaju procesa obrade bušenjem funkcija rentabilnosti, kao funkcija cilja, glasi [4]

$$\begin{aligned}
R_{zo} &= \frac{C_{pz} - A_1 - A_2 v_R^{-1} s^{-1} - A_3 v_R^{\frac{1}{q_1}-1} s^{\frac{q_2}{q_1}-1}}{B_1 + B_2 v_R^{-1} s^{-1} + B_3 v_R^{\frac{1}{q_1}-1} s^{\frac{q_2}{q_1}-1}}, \\
v_R &= Q \left(\frac{q_1}{1-q_1} \right)^{q_1} \left[t_s + \frac{a_A(t_p + \sum t_i)}{C_{pz}} \right]^{-q_1} s^{-q_2} D^{q_3}, \\
s &= s_{max}, \quad T_R = \frac{1-q_1}{q_1} \left[t_s + \frac{a_A(t_p + \sum t_i)}{C_{pz}} \right]
\end{aligned} \tag{2}$$

u kojoj su veličine A_i i B_i ($i = 1, 2, 3$) definisane izrazima

$$\begin{aligned}
A_1 &= a_{ML}(t_p + \sum t_i), & B_1 &= t_p + \sum t_i, \\
A_2 &= 10^{-3} \pi D L_o a_{ML}, & B_2 &= 10^{-3} \pi D L_o, \\
A_3 &= 10^{-3} \pi D L_o (Q D^{q_3})^{-\frac{1}{q_1}} (a_{ML} t_s + a_A), & B_3 &= 10^{-3} \pi D L_o t_s (Q D^{q_3})^{-\frac{1}{q_1}},
\end{aligned} \tag{3}$$

gde je: C_{pz} [din/z] - vrednost (cena) obradnog procesa (zahvata), v_R [m/min] - rentabilna brzina rezanja, s [mm/o] - korak, T_R [min] - rentabilna postojanost alata, (Q, q_1, q_2, q_3) - parametri obradljivosti, a_{ML} [din/min] - specifični troškovi obradnog sistema i ličnih dohodaka radnika, a_A [din/T] - specifični troškovi alata, t_p [min] - pomoćno vreme, t_s [min] - vreme postavljanja i skidanja alata, $\sum t_i$ [min] - vanciklusno vreme unanjeno za t_s , D [mm] - prečnik alata i L_o [mm] - ukupni mašinski hod alata.

Da bi se formirao optimizacioni model procesa sa optimabilnim područjem treba funkciji rentabilnosti (2) dodati još i funkcije stanja procesa i granične uslove [4].

Iz sistema (2) - (3) sledi da funkcija rentabilnosti R_{zo} obradnog procesa zavisi, izuzimajući vektor glavnih elemenata režima obrade $\vec{\xi}_r = (v, s)$, od deset faktora $\vec{\xi}_z = (C_{pz}, a_{ML}, a_A, t_p, t_s, \sum t_i, Q, q_1, q_2, q_3)$. Teorija statističkog višefaktornog metoda omogućuje, pored ostalog, da se utvrdi stepen uticaja ili signifikantnost svakog pojedinog faktora iz $\vec{\xi}_z$, odnosno signifikantnost osnovnih efekata i efekata uzajamnog dejstva u složenom višefaktornom sistemu

$$R_{zo} = R_{zo}(\bar{\xi}_r, \bar{\xi}_{\Sigma}), \quad (4)$$

što predstavlja prvi korak u analizi sistema radi upravljanja obradnih procesa po optimalnim tehnološkim trasama.

3. Analiza signifikantnosti tehnoekonomskog skupa faktora

Osnovu analize signifikantnosti osnovnih efekata i efekata uzajamnog dejstva prvog, drugog i viših redova čini ortogonalna parcijalna plan-matrica. Njena struktura za $k = 10$ definisana je u tablici 1. To je 2^{10-6} , $N = 16$ (replika tipa 1/64 od 2^{10}).

TABLICA 1. ZAVISNOST OBЛИKA REPLИКА OD BROJA FAKTORA

BROJ FAKTORA U SISTEMU	REPLIKA OBлиKA $\frac{1}{n}$ od 2^k	OZNAKA REPLИKE	BROJ EKSPERIMENTALNATA REPLИKE	INTEGRALNI VIŠEFAKTORNI PLAN	BROJ EKSPE-RIMENATA INTEGRALNOG VIŠEFAKTORNOG PLANA
5	$\frac{1}{4}$ od 2^5	2^{5-2}	8	2^5	32
6	$\frac{1}{8}$ od 2^6	2^{6-3}	8	2^6	64
7	$\frac{1}{16}$ od 2^7	2^{7-4}	8	2^7	128
5	$\frac{1}{2}$ od 2^5	2^{5-1}	16	2^5	32
6	$\frac{1}{4}$ od 2^6	2^{6-2}	16	2^6	64
7	$\frac{1}{8}$ od 2^7	2^{7-3}	16	2^7	128
8	$\frac{1}{16}$ od 2^8	2^{8-4}	16	2^8	256
9	$\frac{1}{32}$ od 2^9	2^{9-5}	16	2^9	512
10	$\frac{1}{64}$ od 2^{10}	2^{10-6}	16	2^{10}	1024

Kako ne postoje (u ovom slučaju) apriorne informacije o signifikantnosti bilo kog od efekata uzajamnog dejstva, to replika tipa 1/64 od 2^{10} nije u ovom slučaju pogodna za dotičnu analizu jer su pojedini osnovni efekti zdržani sa izvesnim efektima uzajamnog dejstva viših redova, naročito sa parnim efektima. Za odvajanje osnovnih efekata od parnih efekata uzajamnog dejstva može se, s obzirom na obim skupa respektivnih faktora $\bar{\xi}_{\Sigma}$, koristiti replika tipa 1/2 od 2^5 , tj. 2^{5-1} sa $N = 16$. Sa-

glasno ovome deli se skup na dve grupe sa po pet faktora sa suksesivnim ispitivanjem signifikantnosti faktora u grupama.

Višefaktorni ortogonalni parcijalni plan 2^{5-1} može se formirati na 22 načina saglasno respektivnim generatorima:

$$\begin{array}{lll}
 x_5 = x_1 x_2, & x_5 = x_2 x_4, & x_5 = -x_1 x_3 x_4, \\
 x_5 = -x_1 x_2, & x_5 = -x_2 x_4, & x_5 = x_1 x_2 x_4, \\
 x_5 = x_1 x_3, & x_5 = x_3 x_4, & x_5 = -x_1 x_2 x_4, \\
 x_5 = -x_1 x_3, & x_5 = -x_3 x_4, & x_5 = x_2 x_3 x_4, \\
 x_5 = x_1 x_4, & x_5 = x_1 x_2 x_3, & x_5 = -x_2 x_3 x_4, \\
 x_5 = -x_1 x_4, & x_5 = -x_1 x_2 x_3, & x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4, \\
 x_5 = x_2 x_3, & x_5 = x_1 x_3 x_4, & x_5 = -x_1 x_2 x_3 x_4, \\
 x_5 = -x_2 x_3, & &
 \end{array} \quad (5)$$

čiji su korespondentni kontrasti

$$\begin{array}{lll}
 J = x_1 x_2 x_5, & J = x_2 x_4 x_5, & J = -x_1 x_3 x_4 x_5, \\
 J = -x_1 x_2 x_5, & J = -x_2 x_4 x_5, & J = x_1 x_2 x_4 x_5, \\
 J = x_1 x_3 x_5, & J = x_3 x_4 x_5, & J = -x_1 x_2 x_4 x_5, \\
 J = -x_1 x_3 x_5, & J = -x_3 x_4 x_5, & J = x_2 x_3 x_4 x_5, \\
 J = x_1 x_4 x_5, & J = x_1 x_2 x_3 x_5, & J = -x_2 x_3 x_4 x_5, \\
 J = -x_1 x_4 x_5, & J = -x_1 x_2 x_3 x_5, & J = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5, \\
 J = x_2 x_3 x_5, & J = x_1 x_3 x_4 x_5, & J = -x_1 x_2 x_3 x_4 x_5, \\
 J = -x_2 x_3 x_5, & &
 \end{array} \quad (6)$$

koji definišu stepen i karakter medjusobne združenosti osnovnih efekata i efekata uzajamnog dejstva (dvojnih, trojnih itd.), pa, prema tome, i mogućnost nezavisnih (odvojenih) ocena signifikantnosti pojedinih efekata u sistemu.

Poslednja dva generatora $x_5 = x_1 x_2 x_3 x_4$, $x_5 = -x_1 x_2 x_3 x_4$ sistema (5) sa kontrastima $J = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$, $J = -x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$ predstavljaju glavne replike oblika $1/2$ od 2^5 . U dvema ortogonalnim plan-matricama koje odgovaraju ovim generatorima ocenjuje se signifikantnost osnovnih efekata odvojeno od dvojnih efekata uzajamnog dejstva što nije slučaj u ostalih 20 ortogonalnih plan-matrica, jer se iz $J = x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$ dobijaju strukture statističkih ocena signifikantnosti efekata

TABLICA 2. JEDNAČINE KODOVA NIVOA FAKTORA

GRUPE FAKTOARA (ξ_{Σ})	FAKTOR X_i	KOD FAKTOARA x_i	NIVOI FAKTOARA			INTERVAL VARIJACIJE $X_{gi} - X_{oi}$	JEDNAČINE KODOVA NIVOA FAKTOARA $x_i = \frac{X_i - X_{oi}}{X_{gi} - X_{oi}}$
			DONJI X_{di}	OSNOVNI X_{oi}	GORNJI X_{gi}		
PRVA GRUPA	C_{pz}	x_1	3,00	4,00	5,00	1,00	$x_1 = C_{pz} - 4,00$
	a_{ML}	x_2	0,42	0,56	0,70	0,14	$x_2 = (a_{ML} - 0,56) / 0,14$
	a_A	x_3	0,65	0,87	1,09	0,22	$x_3 = (a_A - 0,87) / 0,22$
	t_p	x_4	0,37	0,50	0,63	0,13	$x_4 = (t_p - 0,50) / 0,13$
	$\sum t_i$	x_5	1,12	1,50	1,88	0,38	$x_5 = (\sum t_i - 1,50) / 0,38$
DRUGA GRUPA	Q	x_6	2,25	3,00	3,75	0,75	$x_6 = (Q - 3,00) / 0,75$
	q_1	x_7	0,11	0,15	0,19	0,04	$x_7 = (q_1 - 0,15) / 0,04$
	q_2	x_8	0,53	0,71	0,89	0,18	$x_8 = (q_2 - 0,71) / 0,18$
	q_3	x_9	0,55	0,74	0,93	0,19	$x_9 = (q_3 - 0,74) / 0,19$
	t_s	x_{10}	0,37	0,50	0,63	0,13	$x_{10} = (t_s - 0,50) / 0,13$

TABLICA 3. PLAN-MATRICA PRVE GRUPE FAKTORA

RED. BR. TAČKE U FAKT. PROSTORU	PLAN - MATRICA										OPTIMALNA BRZINA v_F [m/min]	MAKSIMALNA VREDNOST RENTABILNOSTI R_{z0} [din/min]		
	FAKTOR					KOD FAKTOARA								
	C_{pz}	a_{ML}	a_A	t_p	$\sum t_i$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5				
1	3,00	0,70	0,65	0,37	1,12	-1	+1	-1	-1	-1	32,867	1,087155		
2	5,00	0,42	0,65	0,37	1,12	+1	-1	-1	-1	-1	33,982	2,556936		
3	3,00	0,42	0,65	0,63	1,12	-1	-1	-1	+1	-1	32,465	1,124791		
4	3,00	0,42	0,65	0,37	1,88	-1	-1	-1	-1	+1	31,778	0,807602		
5	3,00	0,42	1,09	0,37	1,12	-1	-1	+1	-1	-1	32,858	1,364486		
6	5,00	0,70	0,65	0,37	1,88	+1	+1	-1	-1	+1	33,104	1,350359		
7	3,00	0,70	1,09	0,63	1,12	-1	+1	+1	+1	-1	32,448	0,846903		
8	5,00	0,42	1,09	0,37	1,88	+1	-1	+1	-1	+1	33,094	1,628442		
9	3,00	0,70	0,65	0,63	1,88	-1	+1	-1	+1	+1	31,457	0,410450		
10	3,00	0,42	1,09	0,63	1,88	-1	-1	+1	+1	+1	31,450	0,689157		
11	5,00	0,70	1,09	0,37	1,12	+1	+1	+1	-1	-1	33,960	2,280074		
12	5,00	0,42	0,65	0,63	1,88	+1	-1	-1	+1	+1	32,846	1,430927		
13	5,00	0,70	0,65	0,63	1,12	+1	+1	-1	+1	-1	33,658	1,879969		
14	3,00	0,70	1,09	0,37	1,18	-1	+1	+1	-1	+1	31,763	0,529064		
15	5,00	0,42	1,09	0,63	1,12	+1	-1	+1	+1	-1	33,647	2,157318		
16	5,00	0,70	1,09	0,63	1,88	+1	+1	+1	+1	+1	32,827	1,152546		

$$\begin{aligned}
 b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{2345}, \quad b_{12} \rightarrow \beta_{12} + \beta_{345}, \quad b_{24} \rightarrow \beta_{24} + \beta_{135}, \quad b_{123} \rightarrow \beta_{123} + \beta_{45}, \\
 b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{1345}, \quad b_{13} \rightarrow \beta_{13} + \beta_{245}, \quad b_{25} \rightarrow \beta_{25} + \beta_{134}, \quad b_{124} \rightarrow \beta_{124} + \beta_{35}, \\
 b_3 &\rightarrow \beta_3 + \beta_{1245}, \quad b_{14} \rightarrow \beta_{14} + \beta_{235}, \quad b_{34} \rightarrow \beta_{34} + \beta_{125}, \quad b_{125} \rightarrow \beta_{125} + \beta_{34}, \quad (7) \\
 b_4 &\rightarrow \beta_4 + \beta_{1235}, \quad b_{15} \rightarrow \beta_{15} + \beta_{234}, \quad b_{35} \rightarrow \beta_{35} + \beta_{124}, \quad b_{134} \rightarrow \beta_{134} + \beta_{25}, \\
 b_5 &\rightarrow \beta_5 + \beta_{1234}, \quad b_{23} \rightarrow \beta_{23} + \beta_{145}, \quad b_{45} \rightarrow \beta_{45} + \beta_{123}, \quad \text{itd.}
 \end{aligned}$$

Strukture (7) odgovaraju postavljenom cilju pa se, konačno, dobija plan - matrica

$$PM = \left\{ b, a, d, e, c, abe, bcd, ace, bde, cde, abc, ade, abd, bce, acd, abcde \right\} \quad (8)$$

na kojoj se temelji analiza signifikantnosti efekata.

Na osnovu usvojenih granica varijacije $\pm 25\%$ svakog od faktora sistema Σ u odnosu na osnovni nivo X_{oi} ($i = 1, 2, 3, \dots, 10$) sačinjena je radna tablica 2. Korišćenjem ove tablice, strukture ortogonalne plan-matrice (8) i jednačina (2) – (3) formirana je, posle odgovarajućih proračuna na elektronskom računaru, tablica 3 za prvu grupu faktora (sličan je postupak i za drugu grupu faktora). U tablici su prikazani, pored operativne ortogo-

TABLICA 4. ANALIZA EFEKATA PRVE GRUPE FAKTORA

GRUPA FAKTORA (\sum_f)	FAKTOR	JEDNACINA OSNOVNOG EFEKTA	JEDNAČINA DVOJNOG EFEKTA UZAJAMNOG DEJSTVA	STEPEN UTICAJA FAKTORA x_i NA		STEPEN UTICAJA UZAJAMNOG DEJSTVA DVaju FAKTORA NA	
				BRZINU v_R	RENTAB. R_{zo}	BRZINU v_R	RENTAB. R_{zo}
PRVA GRUPA	C_{pz}	$A = \frac{C_{x_1}}{N/2}$	$AB = 2C_{x_1 x_2}/N$	1,254000	0,947117	-0,000500	0,000220
			$AC = 2C_{x_1 x_3}/N$			-0,001750	0,000068
	a_{ML}	$B = \frac{C_{x_2}}{N/2}$	$AB = 2C_{x_1 x_4}/N$	-0,004500	-0,277889	0,035500	-0,059752
			$AB = 2C_{x_1 x_5}/N$			0,101750	-0,165624
	a_A	$C = \frac{C_{x_3}}{N/2}$	$AB = 2C_{x_2 x_3}/N$	-0,013750	-0,000021	-0,008250	0,020192
			$AB = 2C_{x_2 x_4}/N$			0,0000001	-0,000193
	t_p	$D = \frac{C_{x_4}}{N/2}$	$BE = 2C_{x_2 x_5}/N$	-0,326000	-0,239011	0,000250	-0,000531
			$CD = 2C_{x_3 x_4}/N$			0,000250	-0,000032
	$\sum t_i$	$E = \frac{C_{x_5}}{N/2}$	$CE = 2C_{x_3 x_5}/N$	-0,945750	-0,662382	0,001000	-0,000004
			$DE = 2C_{x_4 x_5}/N$			0,036250	0,080907

TABLICA 5. REZULTATI ANALIZE SIGNIFIKANTNOSTI FAKTORA

GRUPE FAKTORA (ξ_{Σ})	FAKTOR X_i	SUMA KVADRAJA $S_{bi} = \frac{C_{xi}^2}{N}$	STEPEN f _{bi} SLOBODE	DISPERZIJE $s_i^2 = \frac{S_{bi}}{f_{bi}}$	DISPERZIONI ODNOŠI $F_r = \frac{s_i^2}{s_R^2}$
PRVA GRUPA	C_{pz}	3,35881191	1	3,35881191	236,337880
	a_{ML}	0,30888878	1	0,30888878	20,345508
	a_A	0,000000002	1	0,000000002	0,0000001
	t_p	0,22850486	1	0,22850486	15,050878
	$\sum t_i$	1,75499917	1	1,75499917	115,596135
DRUGA GRUPA	Q	0,03145334	1	0,03145334	43,193873
	q_1	0,00080114	1	0,00080114	1,100183
	q_2	0,01321479	1	0,1321479	18,147456
	q_3	0,12030053	1	0,12030053	165,204873
	t_s	0,00036287	1	0,00036287	0,498321
$S_R = \sum_{u=1}^N y_u^2 - N \sum_{i=0}^k b_i^2, \quad k=5, \quad f_R = N - k - 1$					

nalne plan-matrice, i rezultati stepena varijacije vektora režima obrade i rentabilnosti procesa u zavisnosti od $\pm 25\%$ – ne varijacije prve grupe faktora sistema ξ_{Σ} .

Konačni rezultati disperzije analize višefaktornih statističkih planova za ocenu signifikantnosti faktora sistema navedeni su u tablicama 4 i 5. Pri tome je korišćen metod kontarasta.

Rezultati izvedene statističke analize signifikantnosti faktora sistema u matematičkom modelu rentabilnosti obradnog procesa pokazuju:

1. Na vektor optimalnog režima obrade

$$\bar{V}_R = \bar{V}_R(C_{pz}, a_{ML}, a_A, t_p, \sum t_i, Q, q_1, q_2, q_3, t_s) = f(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J)$$

za $s = s_{\max}$ bitno utiču, od deset faktora sistema ξ_{Σ} , ukupno še-

st faktora: c_{pz} (A), t_p (D), $\sum t_i$ (E), Q (F), q_2 (H) i q_3 (I). Ostala četiri faktora a_{ML} (B), a_A (C), q₁ (G) i t_s (J) nisu bitna za uobičajne statističke pragove značajnosti.

2. Posmatrajući, medjutim, optimizaciju obradnog procesa (preko optimizacije faktora sistema ξ_Σ) sa stanovišta rentabilnosti procesa

$$R_{zo} = R_{zo} (c_{pz}, a_{ML}, a_A, t_p, \sum t_i, Q, q_1, q_2, q_3, t_s) = F(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J),$$

kao njegove integralne izlazne karakteristike, proizilazi iz rezultata analize u tablicama 4 i 5 da samo tri faktora: a_A (C), q₁ (G) i t_s (J) nemaju signifikantan uticaj na rentabilnost procesa. To praktično znači da nisu bitni oni pravci tehnoloških dejstava i intervencija u obradni proces čiji je cilj lociranje obradnih procesa bušenja (u okviru tehnološkog procesa) u više nivoi rentabilnosti s obzirom na ova tri faktora sistema. Bitno viši nivoi rentabilnosti postižu se, dakle, optimizacijom preostale grupe faktora sistema ξ_Σ : c_{pz} (A), a_{ML} (B), t_p (D), $\sum t_i$ (E), Q (F), q_2 (H) i q_3 (I).

4. Zaključak

Iz izloženih razmatranja slede dva osnovna zaključka:

1. Višefaktorni statistički metod može se vrlo uspešno primeniti u selektivnoj analizi signifikantne grupe faktora (upravljačkih dejstava) u optimizacionom modelu bilo kog obradnog procesa. To je, u modernim tehnologijama adaptivnog upravljanja sa optimalnim regulisanjem, pouzdanim i brži put ka formiranjem tehnološke banke podataka.

2. Izdvojeni sistem primarnih ulaza u proces, na prethodno pokazani način, dopušta, zajedno sa optimizacionim modelom, da se utvrdi optabilno područje svakog obradnog procesa i skup optimalnih linija upravljanja u njemu, koje obezbeđuju maksimalne tehn-ekonomske efekte obradnog procesa (rentabilnost, ekonomičnost, proizvodnost i tačnost) kako u konvencionalnim tako i u savremenim adaptivno upravljanim obradnim sistemima.

Reference

- [1] Šolaja, V., Prilog teoriji završne obrade na strugu, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1972
- [2] Milačić, V., Dinamika mašinskih sistema na primeru alatne mašine, Monografije IAMA, 1 (1969), Beograd 1969
- [3] Vukelja, D., Stanić, J., Ivković, B., Šolaja, V., Proračun optimalnih režima obrade metala rezanjem, Saopštenja IAMA, 13 (1971) 1975
- [4] Stanić, J., Istraživanje optimalnih nivoa izlaznih karakteristika procesa bušenja konstrukcijskih čelika pri simetričnim i asimetričnim formama alata, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1974
- [5] Popović, B., Optimizacija reznih mogućnosti urezničkog procesa urezivanja navoja, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1975
- [6] Jovičić, M., Prilog istraživanju procesa obrade bušenjem sa posebnim osvrtom na razvoj kriterijuma za definisanje postojanosti tocila, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1975
- [7] Makroprojekat RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA ZA INDIVIDUALNU, MALOSERIJSKU I SRĐNJE-SERIJSKU PROIZVODNJU, Program projekta, Prilog programu, IAMA, Beograd, 1970
- [8] JUPITER SISTEM, Opis sistema, Institut Mašinskog fakulteta Beograd, 1974.

J. Stanić

TECHNO-ECONOMICAL FACTORS AND PROFITABILITY LEVEL OF A MANUFACTURING PROCESS

The paper deals with an optimization model of drilling process. Set of teh influence factors has been singled out and an analysis of significance carried out by means of the Box-Wilson method. The analysis shows that seven of these factors have predominant influence upon the manufacturing process profitability.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9-10. oktobra 1975. godine

M. Jovičić^{x)}

UTICAJ KARAKTERISTIKA TOCILA I USLOVA OBRADE NA
SAMOPOBUDNE VIBRACIJE PRI BRUŠENJU^{xx)}

1. Uvod

Vibracije pri brušenju imaju znatan uticaj na proces rezanja i parametre za ocenu procesa (karakteristike tačnosti i kvaliteta obrade, postojanost tocila i ekonomičnost procesa), te im se poslednjih godina poklanja sve veća pažnja o čemu svedoči veliki broj informacija u literaturi. Međutim, postoji određen broj nerazjašnjenih fenomena i dosta kontradiktornih objašnjenja osnovnih problema vezanih za vibracije pri brušenju. Ovo se posebno odnosi na mehanizam nastanka i razvoja samopobudnih vibracija pri brušenju i ocene stepena uticaja karakteristika tocila i uslova obrade.

U ovom radu se najpre daje kratak osvrt na osnovne vidove i uzroke vibracija kod brusilica i u procesu brušenja bez ulaženja u analizu razvijenih teorija samopobudnih vibracija i stabilnosti procesa brušenja [1] - [11], a zatim se prikazuju i analiziraju odabrani rezultati naših ispitivanja dinamike procesa brušenja, koja su izvedena sa ciljem razjašnjenja uticaja karakteristika tocila i uslova obrade na nastanak i razvoj samopobudnih vibracija pri spoljnom kružnom uzdužnom brušenju [12].

^{x)}Dr. Milenko M. Jovičić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta u Beogradu i samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80

^{xx)}Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate kao deo projekta RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA - ROPOS u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica nauke SR Srbije i partneri iz industrije.

2. Osnovni vidovi i uzroci pojave vibracija pri brušenju

Pri brušenju se javljaju dva osnovna vida vibracija [1], [2], [3]: prinudne i samopobudne vibracije.

2.1 Prinudne vibracije nastaju usled spoljnih pobuda (izvan procesa brušenja), izazanih radom brusilice ili prenetih na nju od okoline. Osnovno obeležje prinudnih vibracija je što im se učestanost podudara sa učestanosti pobude, dok im je amplituda zavisna od veličine pobude i ne menjaju se u toku procesa brušenja. Amplituda prinudnih vibracija u procesu brušenja približno odgovara amplitudi vibracija na početku procesa brušenja, i može se odrediti snimanjem vibracija pri praznom hodu brusilice postepenim uključivanjem u pogon pojedinih pogonskih organa maštine [2]. Najvažniji uzroci za pojavu prinudnih vibracija kod brusilica su: neuravnoteženost tocila, glavnog vretena i pogonskih elektromotora, greške uležištenja glavnog vretena i greške gnezda za šiljke na radnom predmetu, greške zupčastih i kaišnih prenosnika, neravnomernost kretanja radnih organa i drugi poremećaji. Najveći uticaj na amplitudu prinudnih vibracija ima neuravnoteženost (debalans) tocila, koja može biti prouzrokovana usled grešaka oblika (ekscentričnost radne površine u odnosu na otvor i neparalelnost bočnih površina tocila), neravnomernosti strukture tocila (neravnomeren raspored zrna abraziva i veziva, odnosno neravnomerna tvrdoća i poroznost tocila) kao i radi neravnomernog zadržavanja sredstva za hladjenje i produkata brušenja u porama tocila.

2.2 Samopobudne vibracije nastaju u procesu brušenja usled sniženja radne sposobnosti tocila koja se javlja u toku perioda njegove postojanosti (habanje zrna abraziva, lepljenje čestica metala na zrna). Osnovna obeležja procesa brušenja sa samopobudnim vibracijama su sledeća [2], [4], [5], [6]: (i) amplituda relativnih vibracija izmedju radnog predmeta i tocila i varijacija otpora brušenja se povećavaju u toku perioda postojanosti tocila, a intenzitet njihovog porasta zavisi od uslova obrade i karakteristika tocila, materijala radnog predmeta, dinamičkih karakteristika maštine; (ii) učestanost samopobudnih vibracija je bliska sopstvenoj učestanosti određenog funkcionalnog elementa

mašine (koji ima najmanju krutost), i njena vrednost se neznatno smanjuje u toku perioda postojanosti tocila; (iii) na radnoj površini tocila se u velikom broju slučajeva pojavljuju talasi (valovitost), pri čemu njihova dubina raste u toku procesa brušenja a broj zavisi od učestanosti samopobudnih vibracija (proizvod broja obrtaja tocila u sekundi i broja talasa odgovara učestanosti samopobudnih vibracija); (iv) u toku procesa brušenja pogoršaga se kvalitet obrade, sa pojavom karakterističnih tragova vibracija u vidu talasa po obimu radnog predmeta.

Problemu razjašnjenja uzroka za pojavu samopobudnih vibracija pri brušenju posvećen je veliki broj radova. Međutim, još uvek ne postoji potpuno objašnjenje mehanizma i uslova njihove pojave a prisutna su i oprečna mišljenja o rangu uticaja pojedinih faktora.

Veliki broj autora [1], [4], [7], [8] pojavu samopobudnih vibracija objašnjavaju prisustvom primičnih vibracija brusilice, koje dovode do relativnog kretanja izmedju radnog predmeta i tocila i izazivaju slobodne vibracije sistema. Pri tome ove relativne vibracije uslovljavaju promenu dubine rezanja a time i promenu radikalne komponente otpora brušenja usled čega nastaje neravnomerno trošenje tocila i pojava talasa na njegovoj radnoj površini uz nastanak valovitosti obradjene površine radnog predmeta.

Postoji mišljenje da dominantan uticaj na pojavu samopobudnih vibracija pri bušenju ima efekat regeneracije, koji nastaje usled uzajamnog dejstva dve talasaste površine (radne površine tocila i brušene površine radnog predmeta), pri čemu se menjaju dubina brušenja koja izaziva promenu otpora rezanja i neravnomerno trošenje tocila [3], [5], [7], [9].

Neravnomerno trošenje tocila i obrazovanje talasa na njegovoj radnoj površini u toku procesa brušenja navodi se često kao uzrok za pojavu samopobudnih vibracija pri brušenju [3], [6]. Obrazovanje talasa na radnoj površini tocila nastaje usled relativnih vibracija izmedju radnog predmeta i tocila, radi čega se menjaju dubina i otpor rezanja. Talasi na radnoj površini tocila prema [10] ne nastaju radi neravnomernog trošenja već usled nejednakog habanja zrna abraziva, jer je dubina ovih talasa reda

veličine sloja habanja zrna.

Neravnomerno zatupljenje radne površine tocila po obimu (izazvano nejednakim habanjem zrna i neravnomernim lepljenjem čestica metala na površine zrna) uslovljava varijaciju otpora rezanja u toku jednog obrtaja tocila, usled čega dolazi do relativnog pomeranja između tocila i radnog predmeta a radi promene dubine brušenja dalje se povećava varijacija otpora rezanja [6], [11].

Čini se ipak da na pojavu i razvoj samopobudnih vibracija pri brušenju suštinski uticaj imaju promene na radnoj površini tocila, koje uslovjavaju sniženje radne sposobnosti tocila i njegovo zatupljenje (habanje zrna i lepljenje čestica metala). Pri tome prisustvo proručnih vibracija mašine znatno utiče na razvoj samopobudnih vibracija u toku procesa brušenja ako na radnoj površini dominiraju promene koje dovode do njegovog zatupljenja. Rezultati naših ispitivanja [12] o kojima će biti govora u narednom odjeljku u određenoj meri potvrđuju ovo mišljenje.

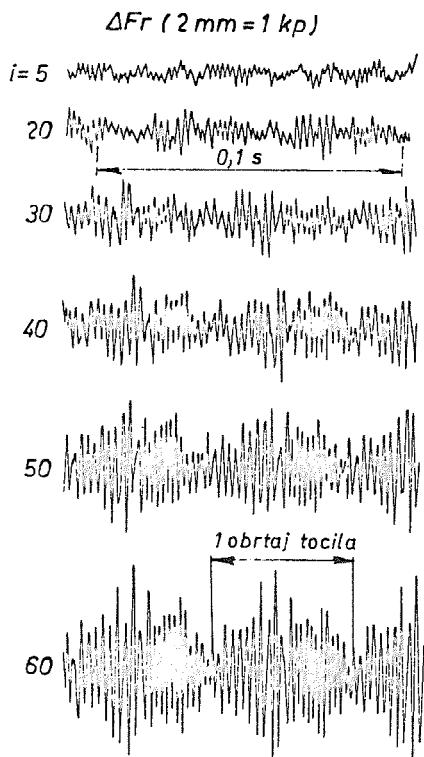
3. Uticaj karakteristika tocila i uslova obrade na samopobuđne vibracije pri brušenju

Ispitivanja su izvodjena pri spoljnem kružnom uzdužnom brušenju na brusilici domaće proizvodnje UFC-1000 pri variranju karakteristika tocila, elemenata režima brušenja, karakteristika materijala radnog predmeta i ostalih uslova obrade. Pri tome je praćena promena sledećih veličina u toku perioda postojanosti tocila: radijalna komponenta otpora brušenja F_r (njena srednja vrednost, odnosno statički deo), varijacija radijalne komponente otpora brušenja (dinamički deo) ΔF_r , makro promene na radnoj površini tocila (dubina i broj talasa) i valovitost na obimu brušene površine radnog predmeta (tragovi vibracije).

U našim ranijim ispitivanjima procesa brušenja u-
očeno je da se varijacija radijalne komponente otpora brušenja
povećava u toku perioda postojanosti tocila, te je ispitivan ka-
rakter njene promene u zavisnosti od karakteristika tocila i us-
lova obrade. Valja takođe naglasiti da se u poslednje vreme va-
rijaciji radijalne komponente otpora brušenja posvećuje znatna
pažnja, kao veličini koja najpotpunije karakteriše dinamiku pro-

cesa brušenja i u određenoj je zavisnosti sa postojanošću tocila [2], [6], [11].

Na Sl. 1 prikazani su zapisi varijacije radijalne komponente otpora brušenja ΔF_r u toku vremena (broj duplih hodova) pri brušenju pelika Č.4146 tocilom 2B60J6V.



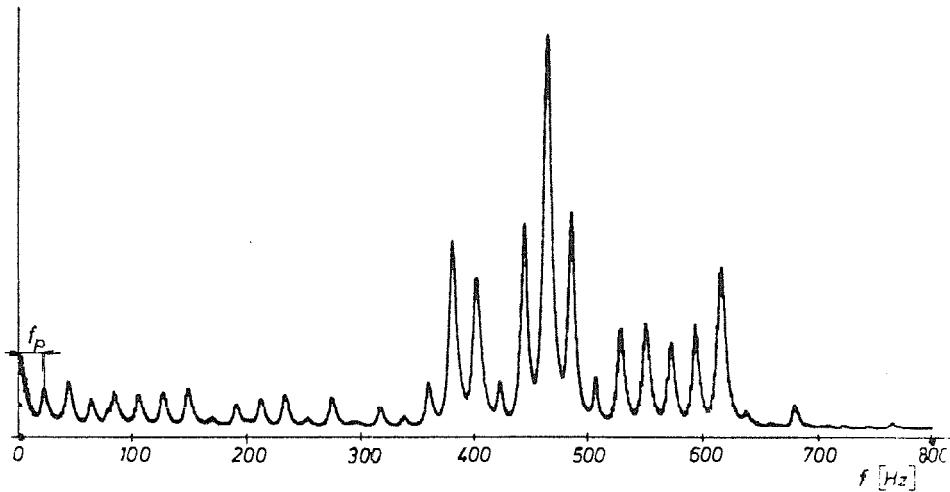
Slika 1 - Zapisi varijacije radijalne komponente otpora brušenja ΔF_r pri brušenju čelika Č.4146 tocilom 2B60J6V

ni tocila u toku perioda njegove postojanosti, te radi toga postoji i razlika u veličinama koje karakterišu dinamiku procesa brušenja.

U našim ispitivanjima je dobijeno da se pri radu tocila sa zatupljenjem radijalna komponenta otpora brušenja F_r znatnije

Statističkom obradom vremenske funkcije varijacije radijalne komponente otpora brušenja ΔF_r dobijena je interesantna zavisnost između učestanosti vibracija u procesu brušenja i prinudnih vibracija od debalansa tocila. Na Sl. 2 prikazan je amplitudno-frekventni spektar veličine ΔF_r odakle je vidljivo da svi viši harmonici varijacije ΔF_r imaju učestanost koja odgovara proizvodu učestanosti prinudnih vibracija od debalansa tocila i određenog prirodnog broja, kao i da se pojavljuju svi viši harmonici ovih prinudnih vibracija ($2f_p, 3f_p, \dots$).

U zavisnosti od karakteristika tocila i materijala radnog predmeta, režima brušenja i drugih uslova obrade različit je karakter i intenzitet promene na radnoj površini tocila u toku perioda njegove postojanosti, te radi toga postoji i razlika u veličinama koje karakterišu dinamiku procesa brušenja.



Slika 2 - Amplitudno-frekventni spektar veličine ΔF_r za kraj opita

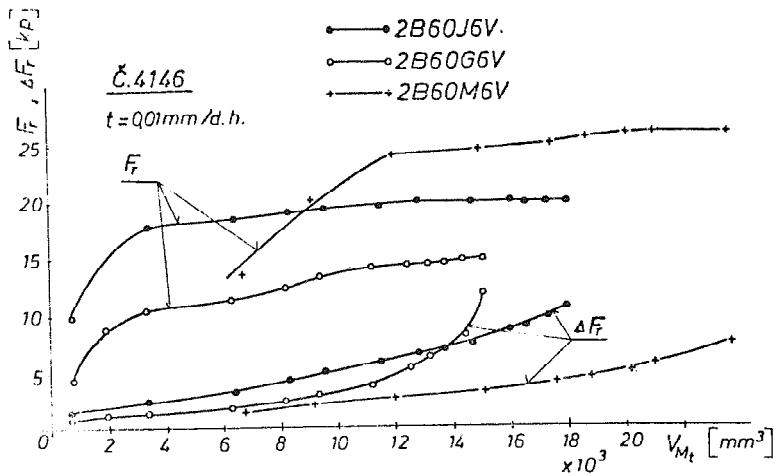
povećava u početku procesa brušenja s tim što se intenzitet njenog porasta u nastavku procesa brušenja smanjuje sa tendencijom ustaljenja njenе veličine na kraju perioda postojanosti tocila. Sa povećanjem tvrdoće tocila i elemenata režima brušenja v_r , v_u (s) i t povećava se apsolutna veličina radijalne komponente otpora brušenja.

Veličina varijacija radijalne komponente otpora rezanja ΔF_r imala je neznatan porast u početku procesa brušenja, dok se intenzitet njenog porasta naglo povećavao na kraju perioda postojanosti tocila. Međutim, njena veličina i intenzitet povećanja nisu bili u korelaciji sa tvrdoćom tocila i elementima režima brušenja, tj. postojale su neke optimalne vrednosti tvrdoće tocila i elemenata režima brušenja za koje je varijacija ΔF_r imala najmanju veličinu i najmanji intenzitet porasta u toku perioda postojanosti tocila.

Na slici 3 prikazana je promena veličine F_r i ΔF_r u zavisnosti od zapremine skinutog metala V_{Mt} (koja je srazmerna broju duplih hodova odnosno vremenu brušenja), dobijena pri brušenju Č.4146 tocilima različite tvrdoće - 2B60G6V, 2B60J6V i 2B60M6V (režim brušenja je bio: $v_t = 27 \text{ m/s}$, $v_r = 40-41 \text{ m/min}$,

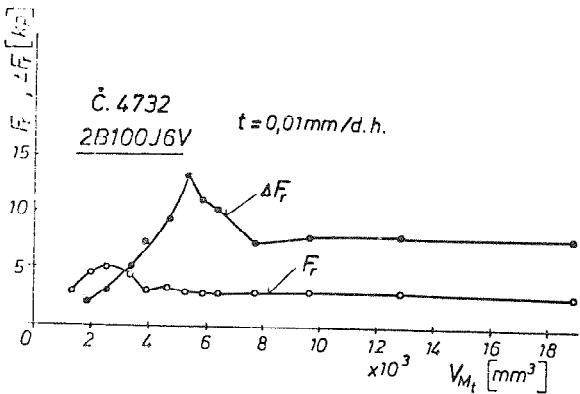
$v_u = 2 \text{ m/min}$, $s = 15,5 \text{ mm/o}$ i $t = 0,01 \text{ mm/d.h.}$, a režim poravnajna $s_d = 0,15 \text{ mm/o}$ i $t_d = 0,01 \text{ mm/d.h.}$.

Veličina radijalne komponente otpora brušenja F_r je srazmerna tvrdoći tocila (najmanja za tocilo tvrdoće G a najveća za tocilo tvrdoće M). Međutim, varijacija radijalne komponente otpora ΔF_r imala je najmanju veličinu i najmanji intenzitet porasta u toku vremena pri brušenju sa tocilom tvrdoće M. Svakako da je kod tocila tvrdoće M najpovoljniji odnos izmedju promena na radnoj površini tocila, koje uslovljavaju njegovo zatupljenje i samooštrenje te je radi toga bila njegova postojanost najduža.



Slika 3 - Promena veličina F_r i ΔF_r u toku vremena pri brušenju čelika Č.4146 tocilima različite tvrdoće

Osobenosti procesa brušenja pri radu tocila sa samooštrenjem su približno konstantna veličina otpora rezanja, kao i nepromenljiva amplituda vibracija i varijacija otpora rezanja u toku vremena brušenja. Pri tome se samo u početku procesa brušenja (sa poravnatim tocilom) povećavaju veličine radijalne komponente otpora brušenja F_r i njene varijacije ΔF_r , do trenutka ostvarenja samooštrenja tocila. Na slici 4 prikazan je karakter promene veličina F_r i ΔF_r u zavisnosti od zapreminе skinutog metala V_{Mt} pri brušenju Č.4732 tocilom 2B100J6V pri njegovom sam-



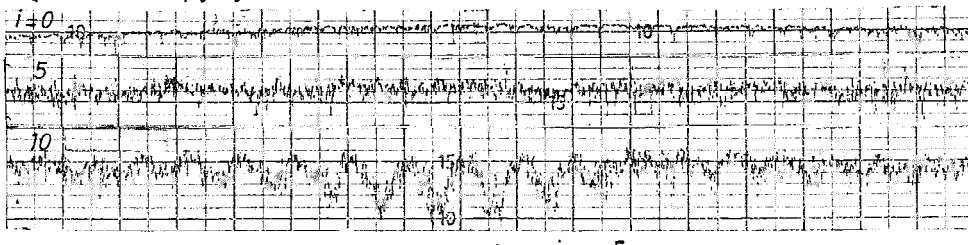
Slika 4 – Promena veličina F_r i ΔF_r u toku vremena pri brušenju Č. 4732 tocilom 2B100J6V sa samooštrenjem

zvoljavaju da se zaključi, da je za nastanak samooštrenja tocila uticajna varijacija radijalne komponente otpora brušenja ΔF_r pošto ona karakteriše dinamičko opterećenje radne površine tocila. Na slici 5 uporedo su prikazani zapisi valovitosti radne površine tocila 2B100J6V za slučajeve: a) brušenje čelika Č.4146 sa zatupljenjem tocila i b) brušenje čelika Č.4732 sa samooštrenjem tocila. U prvom slučaju talasi na radnoj površini tocila su ravnomerno rasporedjeni po obimu tocila i njihova dubina se povećava u toku vremena brušenja (naglo povećanje kod $i = 10$ duplih hodova), dok je u drugom slučaju dubina talasa na radnoj površini tocila relativno velika ali se ne povećava u toku vremena a raspored talasa je neravnomerni radi intenzivnog trošenja tocila.

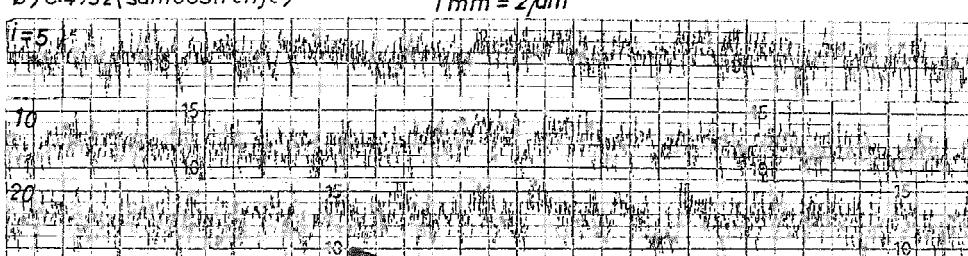
Na slici 6 prikazana je promena veličine ΔF_r u toku vremena pri brušenju Č.4146 tocilom 2B60G6V za dubinu brušenja $t = 0,003, 0,01$ i $0,018 \text{ mm/d.h.}$ (ostali elementi režima brušenja su bili približno isti). Vidi se da je najmanja veličina varijacije ΔF_r i najmanji intenzitet njenog porasta bio kod $t = 0,01 \text{ mm/d.h.}$ Posmatranjem radne površine tocila je uočeno, da se kod veće dubine brušenja na radnoj površini obrazuju talasi koji izazivaju porast intenziteta vibracija i samopobudne vibracije dok se kod male dubine brušenja ($t=0,003 \text{ mm/d.h.}$) javlja intenzivno

ooštrenju, odakle se uočava da se u početku procesa brušenja F_r neznatno povećava i dalje zadržava na relativno niskoj vrednosti dok se njena varijacija ΔF_r najpre naglo povećava a zatim smanjuje do ustaljene veličine. Naglo povećanje varijacije ΔF_r i njena velika veličina u trenutku nastanka samooštrenja tocila do-

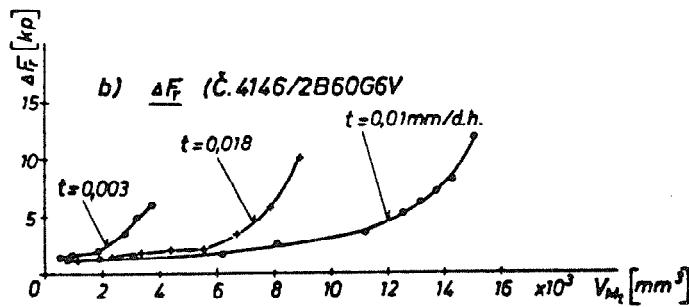
a) Č.4146(zatupljenje)



b) Č.4732(samoostrenje)



Slika 5 - Zapisi valovitosti radne površine tocila 28100J6V pri brušenju Č.4146 sa zatupljenjem (a), odnosno pri brušenju Č.4732 sa samoostrenjem (b)



Slika 6- Promena varijacije ΔF_r u toku vremena pri brušenju čelika Č.4146 tocilom 2B60G6V zavisno od dubine brušenja t

4. Zaključak

Rezultati naših ispitivanja ukazuju na složen uticaj karakteristika tocila i uslova obrade na veličine koje karakterišu dinamiku procesa brušenja. Pri tome veličina i intenzitet promene varijacije radikalne komponente otpora brušenja najpotpunije definišu dinamiku procesa brušenja.

lepljenje čestica metala na radnu površinu tocila (neravnomerno zatupljenje tocila i porast varijacije ΔF_r i amplitudе vibracija).

Varijacija ΔF_r se javlja usled promene dubine brušenja, izazvane prinudnim vibracijama sistema kao i radi neravnomernog zatupljenja tocila po obimu (nejednako habanje i neravnomerno za državanje čestica metala). Sa povećanjem varijacije ΔF_r raste i amplituda vibracija u toku procesa brušenja sa pojmom samopobudnih vibracija sistema.

Reference

- [1] Haberacker H., Rattermarken als Folge erzwungener Schwingungen beim Schleifen. Der Maschinenbau (1965) 3,106 - 110
- [2] Lur'e G.B., Šlifovanie metallov. Mašinostroenie, Moskva (1969)
- [3] Kalizszer H., Analysis of Chatter Vibrations during Grinding. Adv.Mach.Tool Des. and Res., 1970., Vol.A.
- [4] Pahlisch G., Cuntze E-O., Die Entstehung und Minderung von Ratterschwingungen beim Schleifen. VDI-Z, 108(1966)8, März(II)
- [5] Poláček M., Vanek J., Selbsterregte Schwingungen beim Schleifen. Werkstatt und Betrieb 106 (1973) 9, 725 - 732
- [6] Filimonov L.N., Stojkost' šlifoval'nyh krugov. Mašinostroenie, Leningrad (1973)
- [7] Ohno S-I., Self-Excited Vibration in Cylindrical Grinding. Pat I. Experimental Study. Bull.JSME, 13(1970)Nr.58, 616-622
- [8] Deacu L., Miller W., Fremd.-und selbsterregte Schwingungen beim Außenrundsteinsschleifen. Industrie Anzeiger, 95 (1973) Nr.51, 1084
- [9] Snoeys R., Brown D., Dominating Parameters in Grinding Wheel and Workpiece Regenerative Chatter. Adv.Mach.Tool Des. and Res., 1969, Oxford et al., 1970, 325 - 348
- [10] Inazaki I., Yonetsu S., Surface Waves Generated on the Grinding Wheel. Bull.JSME, 11 (1968), Nr. 47, 922
- [11] König W., i dr., Stabilitätsbetrachtungen beim Schleifen. Industrie-Anzeiger, 96 (1974) Nr.5, 90 - 93
- [12] Jovičić M.M., Prilog istraživanju procesa obrade brušenjem sa posebnim osvrtom na razvoj kriterijuma za definisanje postojanosti tocila. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd (1975)

M.Jovičić

Einfluss von Schleifscheibenhärtung und Schleifbedingungen auf die selbsterregte Schwingungen beim Schleifen

Es wurde der Einfluss von Schleifscheibenhärtung und Schleifbedingungen auf die selbsterregte Schwingungen beim Außenrundlängsschleifen untersucht. In Versuchen wurden der zeitliche Verlauf der statischen und dynamischen Normalkraftanteile sowie die Schleifscheibenwelligkeit ermittelt.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

B. Popović^{x)}

OPTIMIZACIJA GEOMETRIJE UREZNIKA^{xx)}

1. Uvod

Urezivanje unutrašnjeg navoja je završna obrada sa složenom obradjivanom površinom, u nepristupačnom otvoru, najčešće malog prečnika. Zato se ureznički izradjuje u jednom delu, sa velikim brojem zubaca, usled čega dolazi do lomova i to češće nego kod bilo kog drugog alata.

Poboljšanje reznih mogućnosti urezničkih pored smanjenja lomova obuhvata i urezivanje što većeg broja kvalitetnih navoja a to je osnovni zadatak postupka izrade (konstrukcije i tehnologije). Ostavljajući tehnologiju, do druge prilike, ovde će se razmotriti samo optimizacija geometrije urezničkih koja omogućava lakši pristup u konstruisanju urezničkih.

Analizirajući geometriju urezničku uočene su veličine statičke i kinematičke geometrije. Primenjujući specijalan instrumentarium za merenje došlo se do osnovnih uticaja koji se mogu objasniti samo korišćenjem kinematičkih vrednosti. Poredjenjem mogućih metoda ispitivanja izabran je najpogodniji, koji omogućava dobijanje pouzdanih rezultata. Primenjujući, konačno, specijalni postupak planiranja ogleda minimiziran je broj ogleda.

^{x)}Dr Branko Z. Popović, dipl.ing., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate (TAMA), Beograd, 27 marta 80

^{xx)}Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate kao deo projekta Optimizacija reznih mogućnosti urezničkih i procesa urezivanja navoja koji je finansirala Fabrika rezognih alata iz Čačka.

2. Statička geometrija

Geometrija u konstrukciji i izradi ureznika jeste statička jer nije vezana za kretanje alata pri obradi. Standardima je propisano samo nekoliko varijanata, koje predstavljaju kombinacije nekih geometrijskih elemenata dok je sve drugo prepušteno proizvodjačima i potrošačima ureznika.

Ranija proučavanja statičke geometrije u nas su teorijskog karaktera i obuhvatila su: uticaj ugla \varnothing na vrhu ureznika [3] kao i grešku reprodukcije profila sečiva zupca [6]. Međutim, počevši od 1966. godine, istraživanja geometrije se vrše na specijalnim instrumentarijumima i ogledima, koja omogućavaju sagledavanje svih uticaja. Instrumentarijum prikazan na Slici 1 je modernije konstrukcije, a omogućava snimanje oscilograma i merenje termonapona pomoću osetljivog dinamometra (sa mernim trakama i posrebrenim prstenovima) i nosača sa ugljenim četkicama. Oscilogram se snima na svetlosnom pisaču (na Slici: dole i levo) tako da je na ordinati nanesen obrtni momenat a na apscisi – predjeni put ureznika, što se podešava na višekanalnom pojačavaču (desno). Termonapon prirodnog termopara meri se pomoću kompenzatora sa Wheatstone-ovim mostom (gore i levo), koji je vezan jednim krajem za četkicu ureznika a drugim za izolovan predmet obrade.

Proučavajući uticaje pojedinih geometrijskih elemenata došlo se do važnih saznanja za konstrukciju i kontrolu ureznika. Izvesni problemi urezivanja rešavaju se primenom konstrukcije ureznika sa desnim ili levim spiralnim žljebom. Analizirajući spiralu žleba prema Slici 2 otkrivena je važna zavisnost koja će se ovde pokazati. Zavojnice žleba definisane su parametarskim jednacinama

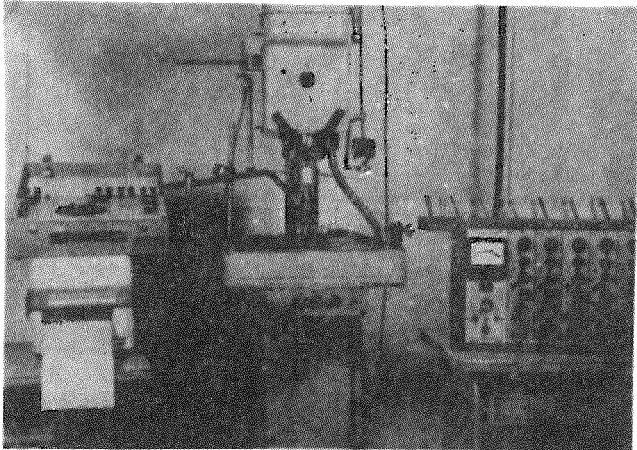
$$x = \frac{P_2}{2\pi} \omega_1$$

$$y = R \cos \left[\omega_1 + \frac{2\pi}{z} (i - 1) \right]$$

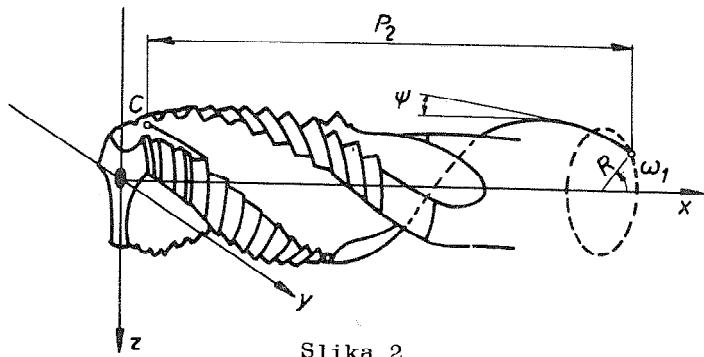
$$z = R \sin \left[\omega_1 + \frac{2\pi}{z} (i - 1) \right]$$

gde su: $z \dots$ broj žlebova i

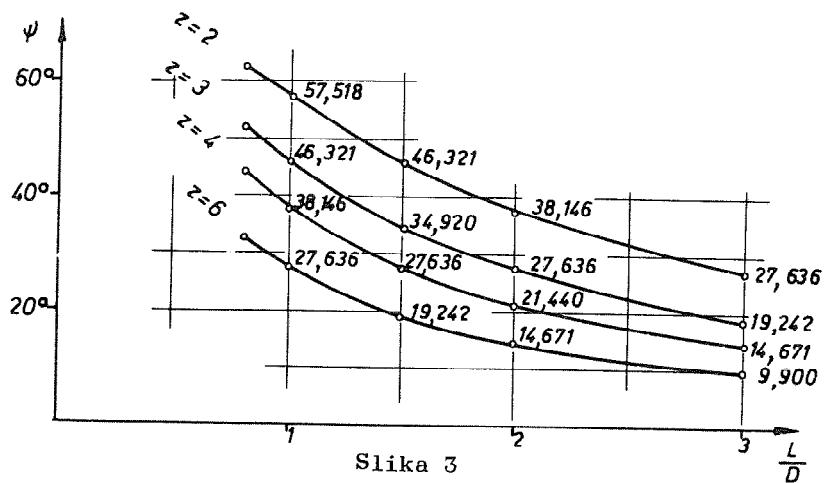
} (1)



Slika 1



Slika 2



Slika 3

OR. 3.3

i . . . redni broj zavojnice (žleba).

Tangenta na zavojnicu u tački C ima jednačinu

$$\frac{x - x_c}{\frac{P_2}{2\pi}} = \frac{y - y_c}{-R \sin \omega_1} = \frac{z - z_c}{R \cos \omega_1} \quad (2)$$

a njen ugao određuje izraz

$$\cos \psi = \frac{\frac{P_2}{2\pi}}{\sqrt{R^2 \sin^2 \omega_1 + R^2 \cos^2 \omega_1 + \left(\frac{P_2}{2\pi}\right)^2}} \quad (3)$$

odakle se lako dobija zavisnost

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{P_2}{2\pi R} \quad (4)$$

Detaljnija ispitivanja procesa urezivanja, sa ureznicima koji su imali razne uglove spirale, pokazala su izvesnu zavisnost ostvarene tačnosti obrade prema dužini obradjenog navoja. Naravno, ukoliko zupci jednog reda nisu rasporedjeni u otvoru, po celom obimu, dejstvo radijalnih sila stvara ekscentricitet, koji dalje pogoršava rezanje. Dakle, zupci ureznika treba da su rasporedjeni na zavojnici pod uglom ψ čiji je korak p_2 jednak dužini L otvora, ili je njen višekratnik tj.

$$x = \frac{P_2}{2\pi} \omega_1 = L \quad (5)$$

Kako je prema slici

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{z} \quad (6)$$

to se iz jednačine (5) dobija

$$L = \frac{P_2}{2\pi} \frac{2\pi}{z} = \frac{P_2}{z} \quad (7)$$

pa jednačine (4) i (7) daju konačno

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{P_2}{2\pi R} = \frac{L}{2\pi R} = \frac{z}{\pi} - \frac{L}{D} \quad (8)$$

Uzimajući najčešće vrednosti veličina z i L/D izračunate su vrednosti ugla ψ date u dijagramu koji je prikazan na Slici 3. Kako se geometrija (varijanta) ureznika bira, pored ostalog, i prema odnosu L/D to treba koristiti dobijene vrednosti ugla ψ .

Kinematicki uglovi		λ_k	δ^k							
			δ							
Staticki uglovi			6°	8°	10°	12°	14°	16°		
2°	20°	λ	0° 3° 2' 5"	5° 55' 38"	7° 55' 15"	9° 54' 51"	11° 54' 26"	13° 54' 00"	15° 53' 33"	
			10° 11° 9' 33"	52° 6' 16"	53° 58' 16"	55° 49' 28"	57° 39' 41"	59° 28' 47"	61° 16' 32"	
			20° 12° 28' 49"	67° 52' 46"	69° 24' 10"	70° 50' 28"	72° 10' 27"	73° 22' 36"	74° 25' 5"	
			30° 11° 57' 13"	73° 58' 50"	75° 2' 34"	75° 54' 12"	76° 31' 27"	76° 52' 14"	76° 55' 17"	
	5°	λ	0° 3° 1' 30"	6° 5' 12"	8° 4' 49"	10° 4' 26"	12° 4' 1"	14° 3' 35"	16° 3' 8"	
			10° 14° 9' 43"	28° 48' 32"	30° 43' 18"	32° 37' 49"	34° 32' 4"	36° 26' 1"	38° 19' 38"	
			20° 20° 50' 45"	44° 40' 1"	46° 23' 49"	48° 6' 28"	49° 47' 50"	51° 27' 45"	53° 6' 0"	
			30° 22° 57' 38"	54° 44' 40"	56° 14' 39"	57° 41' 50"	59° 5' 50"	60° 26' 10"	61° 42' 19"	
10°	10°	λ	0° 2° 59' 26"	6° 21' 10"	8° 20' 48"	10° 20' 24"	12° 20' 0"	14° 19' 34"	16° 19' 8"	
			10° 14° 46' 25"	17° 52' 52"	19° 48' 14"	21° 43' 29"	23° 38' 34"	25° 33' 30"	27° 28' 15"	
			20° 25° 2' 59"	27° 59' 40"	29° 45' 23"	31° 30' 35"	33° 15' 14"	34° 59' 15"	36° 42' 34"	
			30° 32° 15' 59"	36° 6' 43"	37° 39' 40"	39° 11' 26"	40° 41' 54"	42° 10' 56"	43° 38' 21"	
	20°	λ	0° 2° 51' 12"	6° 52' 44"	8° 52' 23"	10° 52' 1"	12° 51' 39"	14° 51' 15"	16° 50' 51"	
			10° 14° 18' 37"	12° 9' 33"	14° 5' 30"	16° 1' 23"	17° 57' 9"	19° 52' 49"	21° 48' 22"	
			20° 25° 36' 28"	17° 25' 24"	19° 12' 41"	20° 59' 42"	22° 46' 27"	24° 32' 52"	26° 18' 55"	
			30° 36° 19' 20"	22° 16' 52"	23° 51' 0"	25° 24' 34"	26° 57' 32"	28° 29' 49"	30° 1' 20"	
	30°	λ	0° 2° 37' 45"	7° 22' 54"	9° 22' 37"	11° 22' 18"	13° 21' 59"	15° 21' 39"	17° 21' 17"	
			10° 13° 13' 52"	10° 23' 32"	12° 20' 8"	14° 16' 40"	16° 13' 8"	18° 9' 31"	20° 5' 48"	
			20° 23° 59' 29"	13° 38' 32"	15° 27' 43"	17° 16' 45"	19° 5' 35"	20° 54' 13"	22° 42' 35"	
			30° 34° 58' 32"	16° 58' 32"	18° 35' 49"	20° 12' 46"	21° 49' 20"	23° 25' 28"	25° 1' 5"	

Slika 4

Ozn. geom.	H	M	di	di ²	p	T	di	di ²	p	H	di	di ²	p
IV	1	2	-1	1	3	1	0	0	4	1	0	0	4
III	2	1	1	1	3	2	0	0	3	2	0	0	3
VI	3	3	0	0	2	3	0	0	2	4	-1	1	1
I	4	5	-1	1	0	5	-1	1	0	5	-1	1	0
VII	5	4	1	1	0	4	1	1	0	3	2	4	0
			Σ	4	8		Σ	2	9		Σ	6	8

Ozn. geo.	M	T	di	di ²	p	Hr	di	di ²	p
III	1	2	-1	1	3	2	-1	1	3
IV	2	1	1	1	3	1	1	1	3
VI	3	3	0	0	2	4	-1	1	1
VII	4	4	0	0	1	3	1	1	1
I	5	5	0	0	0	5	0	0	0
			Σ	2	9		Σ	4	8

Ozn. geo.	T	Hr	di	di ²	p
IV	1	1	0	0	4
III	2	2	0	0	3
VI	3	4	-1	1	1
VII	4	3	1	1	1
I	5	5	0	0	0
			Σ	2	9

3. Kinematicka geometrija

U procesu urezivanja navoja usled većeg pomoćnog kretanja pomera se stvarna brzina i ravan rezanja, koji otkrivaju kinematicku geometriju ureznika. Kinematicka geometrija, dakle istinito predstavlja rezni klin u procesu rezanja i treba je definisati u cilju sagledavanja stvarnog uticaja pojedinih geometrijskih elemenata [1].

Proučavanje kinematike ureznika izvedeno je već ranije [7] a koristeći elektronsku računsku mašinu odredjene su [8] i vrednosti pojedinih uglova. Istina, izmedju vrednosti kinematickog i statičkog ledjnog ugla razlika nije velika (za M6 najviše 1°) ali je znatna kod ostalih uglova. U tablici prikazanoj na Slici 4 data je zavisnost kinematickih uglova λ_r i δ_k od statičkih uglova α , λ i δ za navoj M6 koji se u nas najčešće koristi. Kod ureznika varijante B ($\alpha = 10^{\circ}$) kinematicki ugao λ_r je veći od ugla λ samo za $2^{\circ}46'25''$ dok je δ_k veći od ugla δ za punih $11^{\circ}43'29''$, što svakako ima veliki značaj u procesu rezanja.

4. Metodi ispitivanja

Od mogućih metoda ispitivanja za određivanje optimalne geometrije ureznika u obzir dolaze (1) habanje, (2) momenti, (3) tačnost i (4) hrapavost, dok metod (5) termonapona nema veći značaj zbog malih brzina rezanja pri urezivanju [10]. Pri ispitivanju ne treba primenjivati samo jedan metod već je pouzdanoje is tovremeno korišćenje nekoliko metoda.

Izvodeći ispitivanje sa sva četiri moguća metoda dobiveni su interesantni podaci koji će se ovde pokazati. Ispitivano je 5 raznih geometrija ureznika u istim uslovima rezanja i utvrđeni su rangovi geometrija prema svakom od korišćenih metoda. Pomoću tablice prikazane na Slici 5 odredjene su korelacije između sva 4 dobijena ranga posmatranih geometrija, sa dva razna koeficijenta.

Korelaciju između rangova dobijenih prema metodu habanja (H) i momenata (M) određuje Spearman-ov koeficijent

$$S_{H,M} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} = 1 - \frac{6 \cdot 4}{5^3 - 5} = 0,8 \quad (9)$$

gde je: n... broj rangovanih geometrija, kao i Kendall-ov koeficijent korelacije ranga [4]

$$\tau_{H,M} = \frac{4 \sum_{i=1}^n p_i}{n(n-1)} - 1 = \frac{4 \cdot 8}{5(5-1)} - 1 = 0,6 \quad (10)$$

gde je: p... broj rangovanih geometrija nižeg ranga, prema dole.

Metod habanja i tačnosti (T) daje koeficijente $S_{H,T} = 0,9$ i $\tau_{H,T} = 0,8$, metod habanja i hrapavosti (H_r) $S_{H,Hr} = 0,7$ i $\tau_{H,Hr} = 0,6$ i metod momenata i tačnosti $S_{M,T} = 0,9$ i $\tau_{M,T} = 0,8$, metod momenta i hrapavosti $S_{M,Hr} = 0,8$ i $\tau_{M,Hr} = 0,6$ i konačno metod tačnosti i hrapavosti $S_{T,Hr} = 0,9$ i $\tau_{T,Hr} = 0,8$. Uočava se da najjaču korelaciju daje samo metod tačnosti ($S_{H,T} = S_{M,T} = S_{T,Hr} = 0,9$) odakle sledi da je to i najpouzdaniji metod za ispitivanje optimalne geometrije ureznika.

5. Planiranje ogleda

Svi pomenuti metodi ispitivanja lako obezbedjuju dobre rezultate, zahtevaju veći broj ogleda što opet iziskuje veća sredstva. Zbog toga treba težiti ka planiranju koje će dati dobre rezultate sa minimalnim brojem ogleda.

U novijoj teoriji planiranja ogleda otkriveno je više postupaka [9] koji su zapaženi u širem krugu istraživanja. U ispitivanju geometrije ureznika posebnu pažnju privlači Box-Wilsonov [2] ili još bolji Spendley-Hext-Himsworth-a [5], koji će se detaljnije objasniti u primeni na konkretnom primeru.

Za urezivanje navoja u sivom livu trebalo je odrediti optimalne vrednosti za tri ($n=3$) ugla δ , p^α i λ . Uzet je veći uzorak od 100 ureznika na kome su prethodno izmereni svih geometrijski elementi, koji usled tehničkih propusta imaju

šira odstupanja. Postupak se dalje odvija uz respektovanje 7 dатих algoritama tako da svakih $n + 1$ ogleda predstavlja jedan simpleks. Birajući osnovne vrednosti $\delta'_0 = 10^\circ$, $p'_0 = 0,2 \text{ mm}$ i $\lambda'_0 = 9,5^\circ$ kao i intervale merenja $\Delta\delta = 2^\circ$, $\Delta p^\alpha = 0,02 \text{ mm}$ i $\Delta\lambda = 0,5^\circ$ određuju se kodovi

$$\begin{aligned}\dot{\delta} &= \frac{\delta_A - \delta'_0}{\Delta\delta} = \frac{9 - 10}{2} = -0,5 \\ p^\alpha &= \frac{0,19 - 0,20}{0,02} = -0,5 \\ \lambda &= \frac{9 - 9,5}{0,5} = -1 \text{ itd.}\end{aligned}\tag{11}$$

gde su δ_A , p_A^α i λ_A stvarne vrednosti uglova za proizvoljno odabrana četiri prva ureznika, što je pregleđeno dano u tablici na Slici 6.

Izvodjenjem ogleda sa ovim ureznicima i primenom odgovarajućeg metoda ispitivanja dobijene su postojanosti $T_A = 84$, $T_B = 117$, $T_C = 93$ i $T_D = 125$ navoja pa se prema algoritmu 1 prelazi iz simpleksa ABCD na novi simpleks BCDA, određujući kodne vrednosti

$$\begin{aligned}\dot{\delta}'_{A'} &= \frac{2}{n} (\dot{\delta}'_B + \dot{\delta}'_C + \dot{\delta}'_D) - \dot{\delta}'_A = \frac{2}{3} (0,5 + 0 + 0) - (-0,5) = 0,83 \\ p'^\alpha_{A'} &= \frac{2}{3} (-0,5 + 0,5 + 0) - (-0,5) = 0,5 \\ \lambda'_{A'} &= \frac{2}{3} (-1 - 1 + 1) - (-1) = 0,3\end{aligned}\tag{12}$$

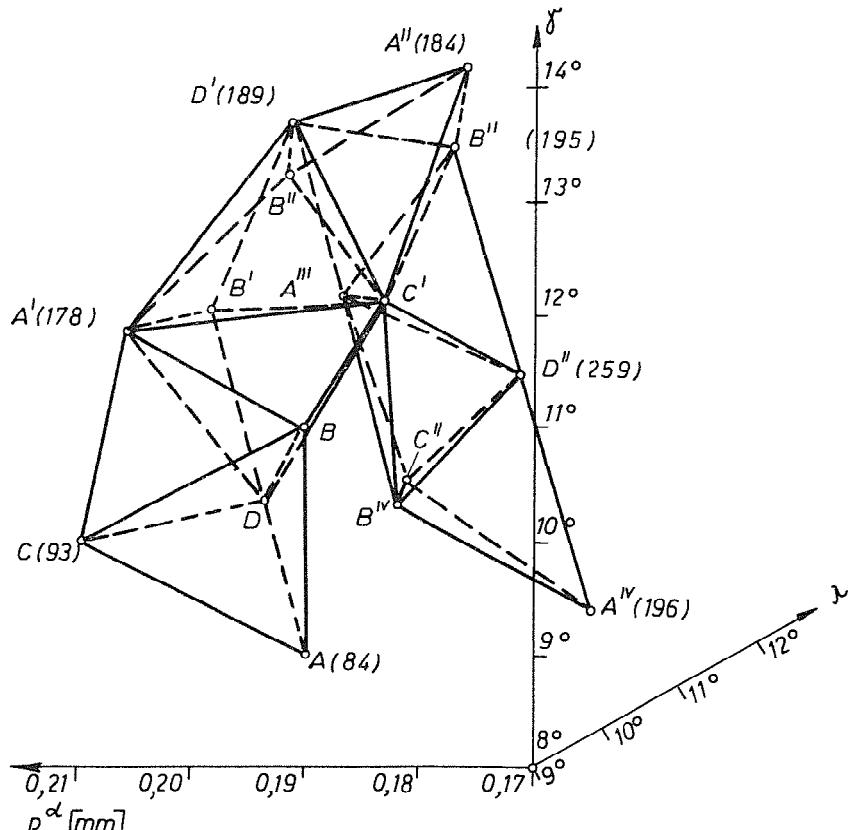
a zatim i stvarne vrednosti geometrijskih elemenata ureznika za 5. ogled, pomoću jednačina (11)

$$\begin{aligned}\delta'_{A'} &= \dot{\delta}'_{A'}, \quad \Delta\delta + \delta'_0 = 0,83 \cdot 2 + 10 = 11,6^\circ \\ p'^\alpha_{A'} &= 0,5 \cdot 0,02 + 0,2 = 0,21 \text{ mm} \\ \lambda'_{A'} &= 0,3 \cdot 0,5 + 9,5 = 9,6^\circ\end{aligned}\tag{13}$$

Primenjujući i ostale algoritme, uz ovu empirijsku povratnu spregu, došlo se do optimalne geometrije ureznika $\delta'_{\text{opt}} = 10,697^\circ$, $p'_{\text{opt}} = 0,183 \text{ mm}$ i $\lambda'_{\text{opt}} = 11,082^\circ$ koja daje najveći broj urezanih navoja i postojanost $T_{D''} = 259$. Kako je u ovom

Red. br. e.	Simplex	Vrh	$\delta = 8^\circ - 14^\circ$ $p^\alpha = 0,17 - 0,21 \text{ mm}$				$\lambda = 9^\circ - 12^\circ$		T [hav]	Upr.
			γ	$\dot{\gamma}$	p^α	\dot{p}^α	λ	$\dot{\lambda}$		
1	ABCD	A	9	-0,5	0,19	-0,5	9	-1	84	
2	ABCD	B	11	0,5	0,19	-0,5	9	-1	117	
3	ABCD	C	10	0	0,21	0,5	9	-1	93	
4	ABCD	D	10	0	0,20	0	10	1	125	
5	BCDA'	A'	11,6	0,83	0,21	0,5	9,6	0,3	178	+
6	BDA'C'	C'	11,7	0,8	0,19	-0,5	10,1	1,2	204	+
7	DA'C'B'	B'	11,296	0,6481	0,21	0,5	10,84	2,58	160	+
8	A'C'B'D'	D'	13,16	1,58	0,206	0,3	10,407	1,814	189	+
9	A'C'D'B''	B''	13,106	1,55	0,194	-0,3	9,271	-0,456	171	+
10	C'D'B''A''	A''	13,696	1,84	0,1837	-0,87	10,18	1,37	184	+
11	C'D'A''B'''	B'''	12,64	1,32	0,192	-0,37	11,19	3,38	195	+
12	C'D'B'''A'''	A'''	11,36	0,68	0,204	0,237	10,94	2,89	251	+
13	C'B'''A'''D''	D''	10,69	0,34	0,185	-0,72	11,08	3,16	259	opt
14	C'A'''D''B''	B''	9,90	-0,04	0,190	-0,48	10,22	1,45	201	+
15	A'''D''B''C''	C''	9,53	-0,23	0,197	-0,14	11,40	3,80	190	-
16	D''B''C''A''	A''	8,73	-0,63	0,177	-1,14	10,86	2,72	196	-

Slika 6



Slika 7

OR.3.9

primeru $n + 1 = 4$ simpleks ima oblik tetraedra a celo planiranje se može prikazati u troosnom koordinatnom sistemu, Sl. 7.

Simpleksni postupak karakteriše: (1) istovremeno ispitivanje više veličina, (2) neosetljivost na absolutne vrednosti, (3) manji broj ogleda i (4) nije potrebna posebna izrada ureznika a primena omogućava efikasno odredjivanje geometrije.

Reference

- [1] G.I. Granovskij, Kinematika rezanija, Mašgiz, Moskva (1948)
- [2] G.E.P.Box, K.B.Wilson, On the Experimental Attainment of Optimum Conditions, Journ. Roy. Stat.Soc.Ser.B,13 (1951)
- [3] P.Stanković, Uticaj geometrijskog oblika ureznika na njegovo opterećenje, Zbornik Mašinskog fakulteta, Beograd (1952-1953)
- [4] M.G.Kendall, A.Stuart, The Advanced Theory of Statistics, Volume I and II, C. Griffin, London (1961)
- [5] W.Spendley, G.R.Hext, F.R.Himsworth, Sequential Application of Simplex Designs in Optimization and Evolutionary Operation Technometrics, 441 (1962) 4
- [6] M.Kalajdžić, Matematička analiza geometrije ureznika, Mašinstvo, 15 (1965) 2, M25 - M28
- [7] B.Z.Popović, Kinematika mašinskih ureznika, Zbornik saopšt. V Sav.proizv.maš., II knjiga, Beograd (1969)
- [8] B.Z.Popović, Odredjivanje vrednosti kinematickih uglova kod ureznika, Saopštenja IAM, 9 (1969) 1283 - 1296
- [9] D.M. Himmelblau, Process Analysis by Statistical Methods, John Wiley and Sons, Inc. (1970)
- [10] B.Z. Popović, Optimizacija reznih mogućnosti ureznika i procesa urezivanja navoja, Elaborat IAM, 274 (1975)

B.Popović

Optimization of Tap-Geometry

Owing to its form and to the number of teeth, a tap is the most complicated among cutting tools. Distinction is made between static and kinetic geometry, and the optimum angle of helical flute is determined analytically. The difficulties arise in planning experiments with one parameter varying at one time. Therefore different methods have been tried, including evolutionary planning, thus enabling the experiments to be carried out with several parameters varying simultaneously.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

С.Трајковски⁺)

ИЗВЕСНИ НАБЛУДУВАЊА ВРЗ РАПАВОСТА НА ОБРАБОТЕНАТА ПОВРШИНА ПРИ ОБРАБОТКАТА СО СТРУЖЕЊЕ НА СИЛУМИНСКИ ОДЛИВЦИ

1. Увод

Спрема [1] теоретската рапавост на обработената површина може да се изрази со равенката:

$$R_a = 31,2 \frac{S^2}{R} [\mu\text{m}] \quad (1)$$

каде што се S и R во [mm]

Како што е уочено во трудот [2], и во низа други трудови, поради влијанието на низа фактори резултатите пресметани спрема горната равенка не се поклопуваат со измерените вредности за средното аритметичко одстапување на профилот R_a .

Спрема трудовите [3] [4] стварната рапавост може да се определи од изразот

$$R_a = k(R/S^2)^n \quad (2)$$

при што "k" и "n" се исто така зависни од низа фактори врзани за процесот на режењето.

Во овој труд направен е обид да се определи влијанието на различните фактори врз рапавоста на обработената површина, и дадат соодветни изрази за стварната рапавост при обработката на силумински одливци со стружење.

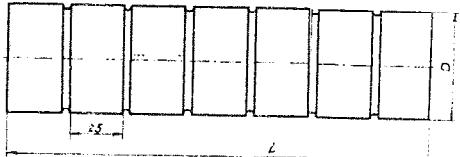
2. Анализа на влијанието на резната брзина врз рапавоста

За да се испита влијанието на резната брзина врз рапавоста, спроведени беа низа експерименти. Како обработуван материјал беа ползувани силумински одливци со следниов состав: 12,6% Si, 0,4% Mg, 0,3% Mn, 0,44% Fe, 0,05% Cu останало Al. Трупците беа модифицирани и одлеани во кокили, а потоа термички обработени со калење на различна тврдост. За да се отстрани кората од леењето и термичката обработка тие беа претходно обработени со стружење како што е прикажано на сл.1 ($D = 80 \text{ mm}$, $z = 290 - 312 \text{ mm}$). Обработката е вршена на паралелен струг РА-30, Ада - Потисје, со ножеви со механичко крепење на плочките. При ова беа ползувани плочки од тврд метал Р-30 со $\gamma = 15^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $k = k_1 = 45^\circ$, $\lambda = 0$ и различни радиуси на врвот. Мерењата беа вршени на Хомел-Тестер T1, со игла со радиус на врвот од $5 \mu\text{m}$ и конус од 60° .

Првата серија експерименти беше извршена на одливци со тврдост од околу $H_B = 90 \text{ кр}/\text{mm}^2$ со нож со $R = 1,5 \text{ mm}$ и помест $S = 0,04 \text{ mm}$ при различни резни

⁺) Стрезо П.Трајковски, дипл.инж., редовен професор на Електротехнички и машински факултет во Скопје.

брзини од 13,6 до 506 m/min. и употреба на петролеј како разладно средство.



Сл.1. Форма на обработените одливци

на врвот на ножот, напреднаведените експерименти беа добиени со $R_a = 0,5 \text{ mm}$ и $R = 1,0 \text{ mm}$ со што беа вкупно 150 различни обработени површини. На секоја обработена површина беа вршени повеќекратни мерења на рапавоста.

На сл.2 и 3. се прикажани дијаграми за промената на R_a од v . Од овие дијаграми може да се уочи дека во областа на ниските резни брзини имаме знатни осцилации во квалитетот на обработената површина, а потоа кривите на промената за R_a од v се стабилизираат. Во областа на ниските резни брзини се наблюдува големо расејување на измерените вредности за R_a . Почнувајќи од една определена резна брезина чија што вредност зависи од големината на поместот и геометриските параметри на резниот алат, рапавоста почнува брзо да опаѓа со пораста на резната брзина, добивајќи асимптотски карактер кон некоја минимална вредност на R_a карактеристична за дадениот режим на обработка. Границната вредност на резната брзина до која што имаме изразито расејување на резултатите на мерењето претставува резна брзина при која што практички го сменува налепот, односно неговото влијание врв рапавоста станува минимално. Оваа е долна критична брзина и е дотолку поголема доколку е помал поместот. За $S = 0,04 \text{ mm}$, за дадениот случај оваа брзина се движи од 150 до 200 m/min. за $S = 0,08 \text{ mm}$, од 130 - 170 m/min за $S = 0,16 \text{ mm}$ од 100 до 160 за $S = 0,32 \text{ mm}$ од 80 - 120 и за $S = 0,64 \text{ mm}$ од 80 - 100 m/min.

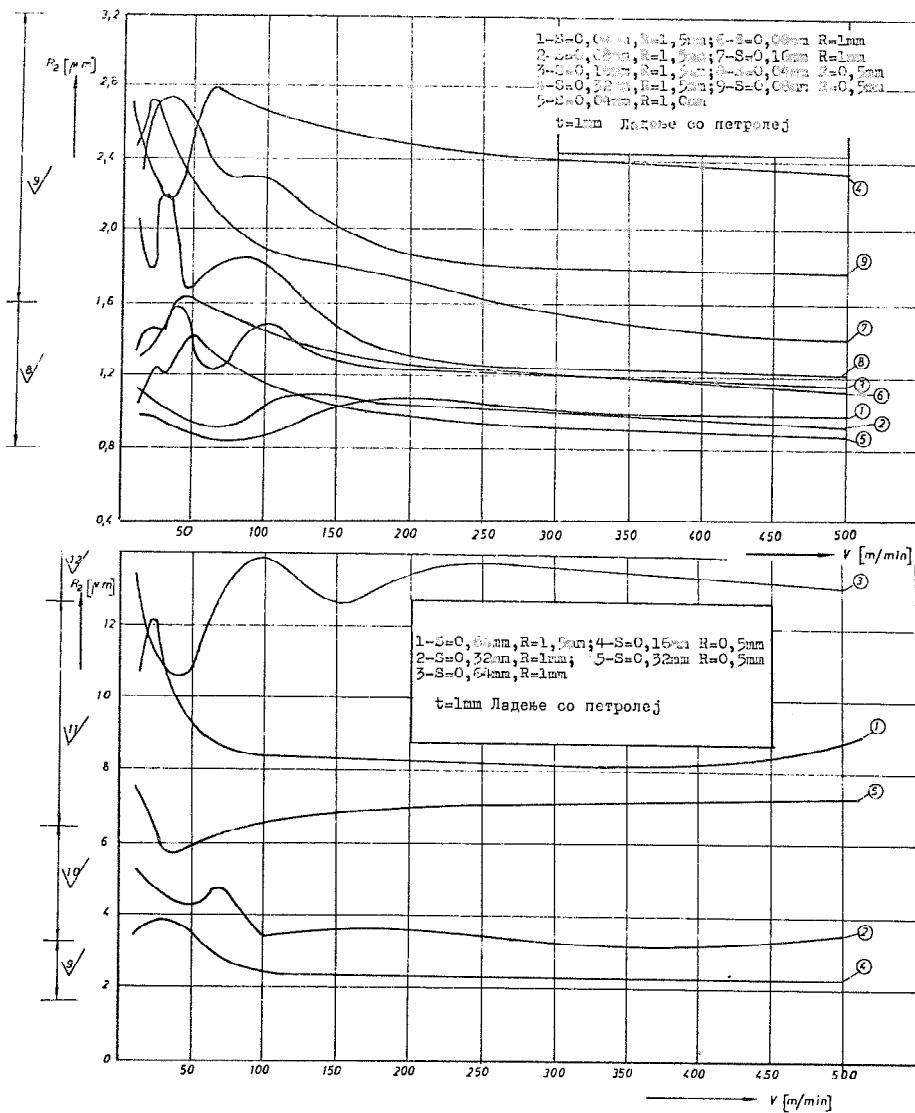
Поместувањето на "критичната" резна брзина кон помалите вредности, со пораста на поместот може да се објасни со тоа што со пораста на поместот расте и температурата на режењето, па определената критична температура при која што го снемува налепот настапува при пониски резни брзини. Од кривите 1 и 2 на сл.26, може да се забележи и извесен пораст на рапавоста со пораста на резната брзина при нејзиното наголемување преку некоја определена вредност (преку 330 до 350 m/min). Ова се должи главно на појавата на поинтензивни вибрации со понатамошното наголемување на резната брзина, преку некоја горна "критична брзина". Доколку е системот машина - обработувано парче, алат, покруг, дотолку е и оваа брзина поголема.

Ако вредноста за R_a која што се добива при некоја определена резна брзина ја означиме со R'_a а со R_a текуштата вредност, тогаш релативната рапавост во зависност од резната брзина изнесува

$$K_v = \frac{R_a}{R'_a} \quad (3)$$

а одавде

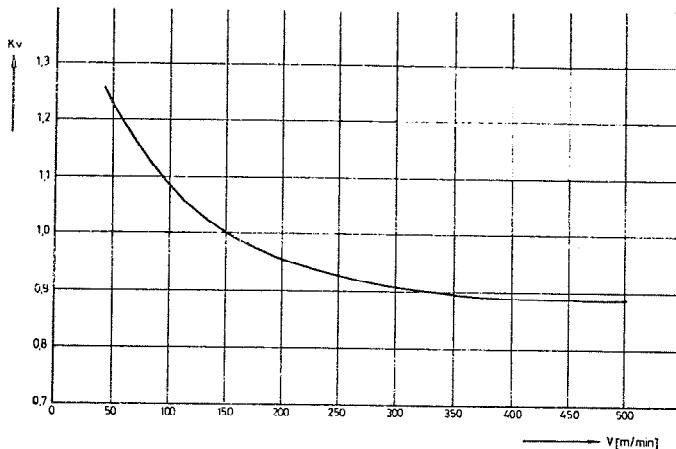
$$R_a = K_v \cdot R'_a \quad (3a)$$



Сл.2. Дијаграми за промената на R_a од V

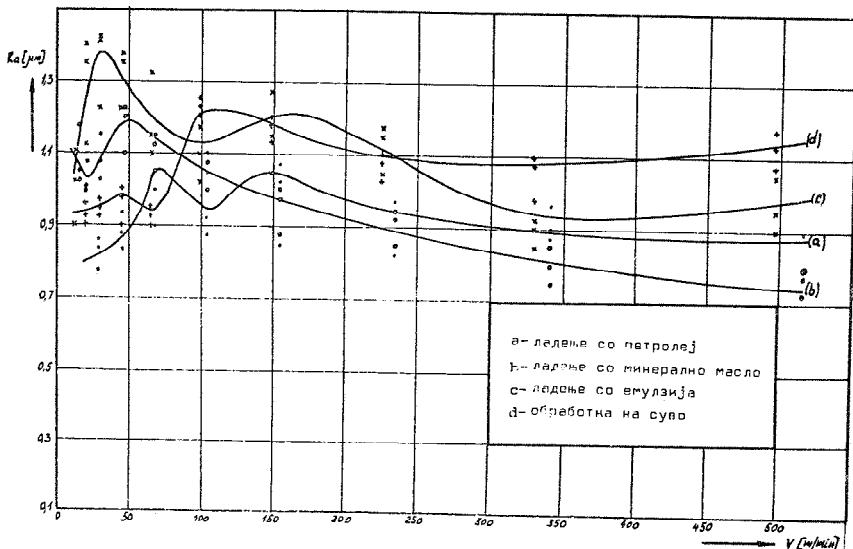
На сл.3. прикажана е промената на релативната рапавост при што како единична рапавост земена е рапавоста која што се добива при $v = 150 \text{ m/min}$. Оваа крива претставува апроксимирана крива на релативната рапавост добиена за различни помести и радиуси на врвот на ножот.

Втората серија на експерименти извршена е при $S = 0,06 \text{ mm}$ $t = 1 \text{ mm}$ при различни резни брзини ($v = 13,9$ до 515 m/min) при употреба на различни разладни средства (петролеј, минерално масло, емулзија и на суво).



Сл.3. Дијаграм на промената на R_a од v

На сл.4. прикажана е промената на R_a од v при употреба на различни разладни средства.



Сл.4. Дијаграм за промената на R_a од v при обработка со различни разладни средства

Разладните средства имаат различно дејство при различни резни брзини. Во областа на релативно ниските брзини ($v < 120$ m/min) највисок квалитет беше постигнат при употребата на петролеј, додека при релативно големите резни брзини добиени се подобри резултати при употребата на минерално масло. При употребата на емулзија се добиваат знатно полоши резултати, нарочно во областа на ниските резни брзини, дури полоши одошто при обработка на суво.

3. Влијание на поместот и радиусот на врвот врз рапавостта

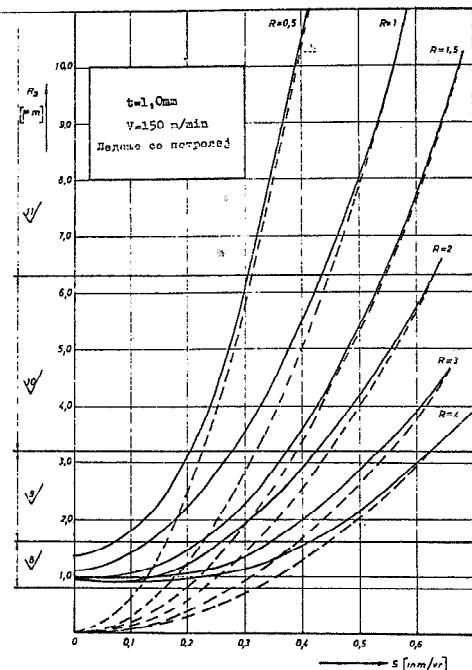
За да се испита влијанието на радиусот на врвот на ножот врз рапавостта извршена беше уште една серија на експерименти со константна резна брзина ($v = 150 \text{ m/min}$) при различни помести ($0,08 - 0,64 \text{ mm}$) и со различни резни плоочки со $R = 2,0, 2,5, 3,0$ и $4,0 \text{ mm}$.

На база на претходно извршениите и горните експерименти на сл.5 е прикажана промената на R_a од S за различни R и промената на R_a пресметана спрема равенката 1 (испекината линија), а на сл.6. промената на R_a од R за различни помести.

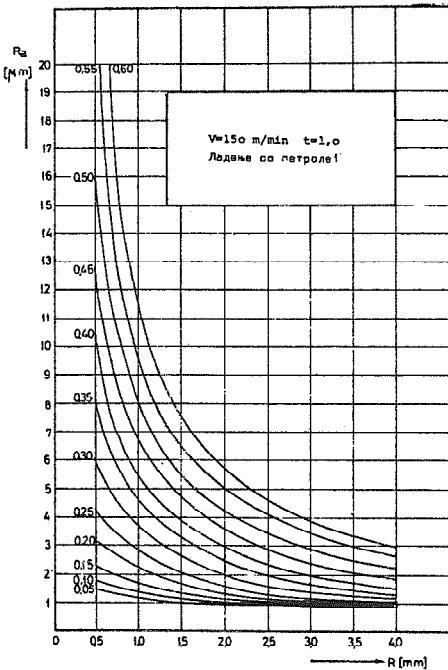
Земајќи ја како единична вредност, вредноста на R_a која што се добива при $S = 0,2 \text{ mm}$ и $v = 150 \text{ m/min}$. определена е релативната рапавост K_s чији што вредности се дадени во таблициа бр.1.

Таблициа бр.1. Вредности за K_s

$S (\text{mm})$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6
K_s	0,54	0,65	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,5	3,0	3,6	5,0



Сл.5. Дијаграм за промената на R_a од S (- измерени вредности .--- пресметани вредности спрема равенка 1)



Сл.6. Дијаграм за промената на R_a од R за различни помести

Од кривите на сл.5., ако се земе како единична рапавост K_S која што се добива за $R=1\text{ mm}$ и $v=150\text{ m/min}$. се добива релативна рапавост зависна од радиусот на врвот на ножот K_r чии што апроксимирани вредности се прикажани во таблициа бр.2.

Ако се земе во предвид влијанието на ломестот резната брзина и радиусот на врвот, стварната рапавост може да се изрази со равенката:

$$R_a = 2,25 \cdot K_v \cdot K_S \cdot K_r \quad [\mu\text{m}] \quad (4)$$

Таблициа бр.2. Вредности за

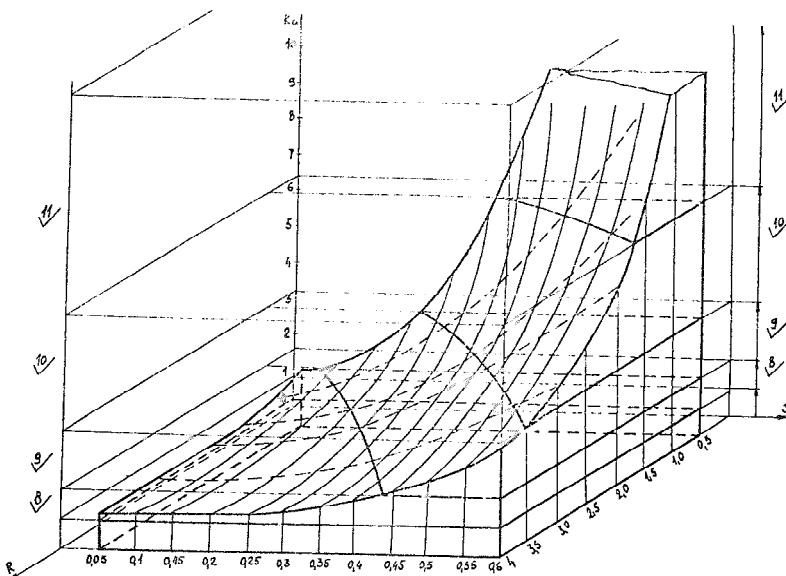
R (mm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
K_r	1,4	1,0	0,75	0,60	0,52	0,48	0,46	0,46

Вредностите добиени спрема оваа равенка добро се совпаѓаат со измерените, само за $S < 0,3\text{ mm}$ и $R < 1,5\text{ mm}$. Несовпаѓањето на вредностите за R_a при поголемите радиуси и помести се должи на меѓусебното влијание на ломестот и радиусот на врвот врз карактерот на струшката и со тоа и на самата рапавост. Затоа овие два фактора треба да се набљудуваат истовремено. На сл.7 даден е просторен дијаграм за промената на R_a од S и R при $v=150\text{ m/min}$. На база на овој дијаграм стварната рапавост може да се изрази со равенката

$$R_a = 2,25 \cdot K_v \cdot K_{Sr} \quad (5)$$

каде што е K_{Sr} релативна рапавост од S и R .

Вредностите за K_{Sr} дадени се во таблициа бр.3.



Стварната рапавост може да се определи и од анализата на разликата помеѓу стварната и теоретската рапавост во форма

$$R_{as} = R_{at} + \Delta R_a \quad (6)$$

каде што е $R_{at} = R_a$ пресметано спрема равенката (1), при што на база на експерименталните вредности за ΔR_a се добива:

$$R_a = \frac{1,4}{R^{0,25}} - \frac{2,55}{R^{0,5}} \quad (7)$$

Табела бр.3. Вредности за

$\frac{S}{R}$	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
0,5	0,66	0,8	1,00	1,42	1,9	2,7	3,68	4,65	5,7	7,2	-	-
1,0	0,53	0,65	0,8	1,00	1,26	1,6	2,0	2,45	3,0	3,66	4,3	5,1
1,5	0,45	0,49	0,55	0,67	0,82	1,05	1,3	1,62	2,0	2,4	2,9	3,4
2,0	0,42	0,42	0,47	0,55	0,71	0,89	1,10	1,34	1,60	1,9	2,25	2,55
2,5	0,42	0,42	0,46	0,51	0,61	0,74	3,90	1,10	1,34	1,58	1,85	2,15
3,0	0,42	0,42	0,45	0,48	0,53	0,62	0,73	0,89	1,10	1,29	1,53	1,73
3,5	0,42	0,42	0,43	0,46	0,49	0,56	0,65	0,75	0,92	1,15	1,38	1,62
4,0	0,42	0,42	0,42	0,44	0,47	0,51	0,58	0,69	0,82	0,98	1,17	1,33

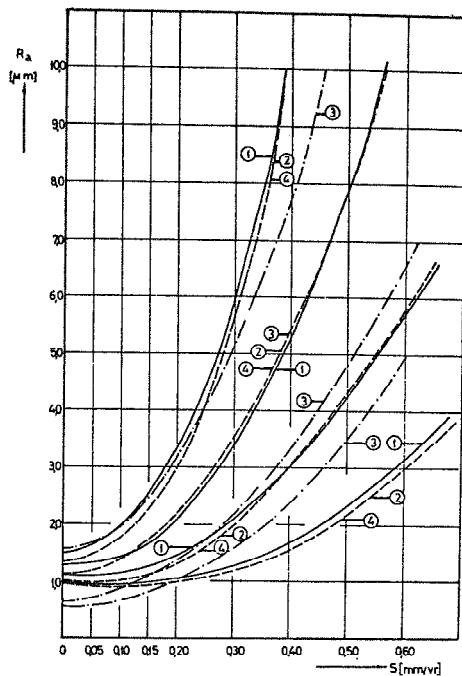
На сл.8 прикажани се споредбени криви за промената на R_a од S , спресметани спрема равенките 4, 5 и 6 и стварната рапавост на база на измерените резултати. Од овсј дијаграм може да се види дека кривите (2) и (4) кои одговараат на стварната рапавост и рапавоста спрема равенката (5) практично се поклопуваат. Равенката (7) кривата 1), дава исто така добри резултати при што во областа на малите помести се добиваат нешто поголеми вредности за R_a . Кривата 3 (равенка 5) во областа на големите помести и при големи радиуси на врвот знатно отстапува од стварната рапавост. Равенката 7 добиена е при $v = 150$ м/min. и за други резни брзини треба да се помножи со корекционен фактор K_v .

$$R_a = |R_{at}| + 1,4 \cdot R^{-0,25} - 2,5 \cdot S \cdot R^{-0,5} |K_v \quad (8)$$

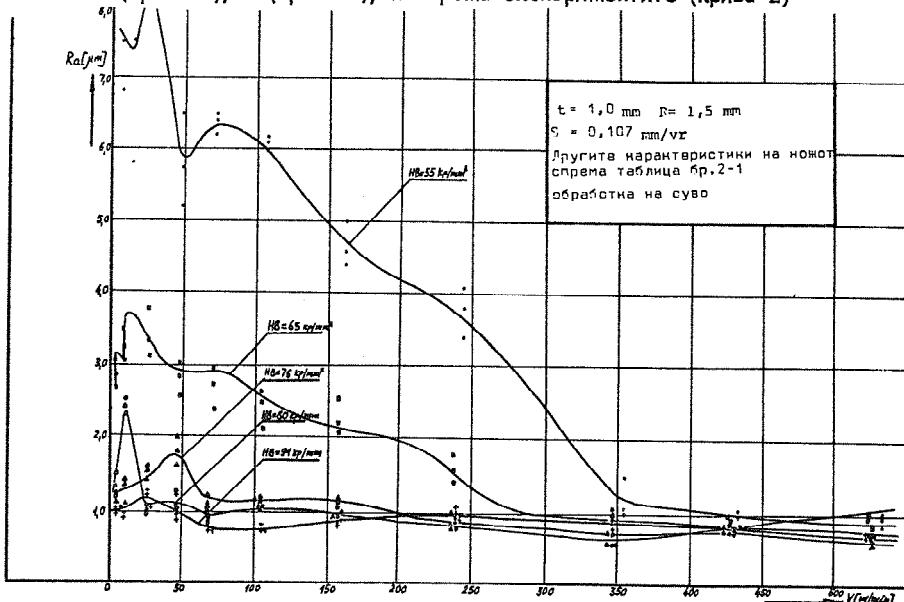
4. Влијание на тврдоста на силуминот врз рапавоста

За да се испита тврдоста на силуминот врз рапавоста на обработената површина, обработувани се одливци со различна тврдост и тоа со $H_B = 90, 80, 75, 65$ и 55 кН/м². Првата партија на експерименти беше извршена со нож со $R=1,5$ мк и $S = 0,107$ мк на суво, со варирање на резната брзина од 5,3 до 524 м/min (сл.9 и 10). Тврдоста на силуминот има големо влијание врз рапавоста, нарочито при релативно ниските резни брзини. При повисоките резни брзини влијанието на тврдоста врз рапавоста практички се губи.

Втората серија на експерименти беше извршена при константна резна брзина ($v = 238$ м/min) и со варирање на поместот ($S = 0,04$ и до $0,64$ мк). Добиените резултати прикажани се на сл.11.



Сл.8. Споредбени криви за ствартната рапавост спрема равенките: 5 (крива 3), 6 (крива 4), 7 (крива 1), и спрема експериментите (крива 2)

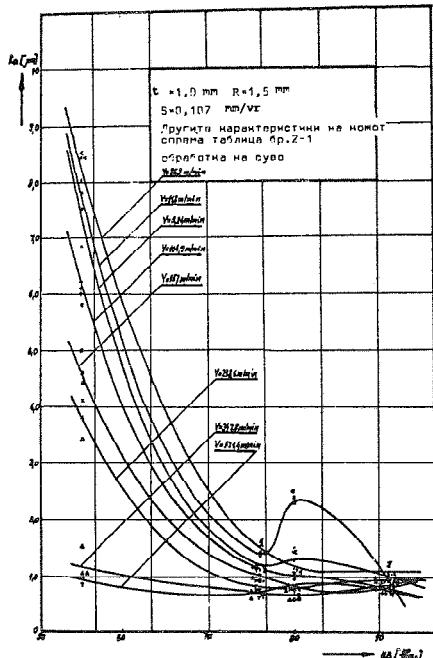


Сл.9. Дијаграм за промената на R_a од v при различни тврдости на обработуваниот материјал

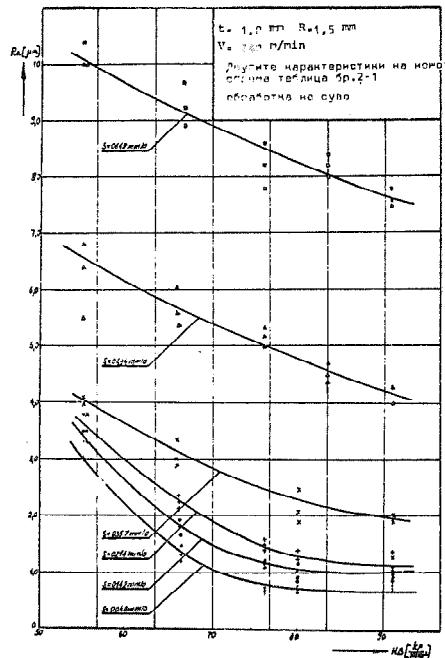
OR.4.8

Од овој дијаграм може да се види дека при релативно малите помести за $H_B > 75$, рапавоста не зависи од тврдоста, додека за $H_B < 75$ со намалувањето на тврдоста рапавоста нагло се влошува.

При релативно големите помести ($S > 0,5 \text{ mm}$) рапавоста линеарно се менува со промената на тврдоста.



Сл.10. Дијаграм за промената на R_a од H_B при различни резни брзини



Сл.11. Дијаграм за промената на R_a од H_B за различни помести.

4. Заклучок

Врај основа на добиените резултати, се видува дека влијанието на резната брзина доаѓа до израз во областа на релативно ниските резни брзини, каде што имаме "наалеп" по предната површина на ножот. При наголемувањето на резната брзина преку некоја критична вредност, рапавоста благо опаѓа. Влијанието на резната брзина е нарочно големо при обработката на релативно меки силумини ($H_B < 70$).

При многу големите резни брзини, поголеми од некоја критична брзина тврдоста на силуминот практички не влијае врз рапавоста, што значи дека со примената на големи резни брзини може да се добие квалитетна обработена површина и при обработката на меки материјали. Влијанието на тврдоста врз рапавоста условена е и со големината на поместот. Во областа на релативно малите помести влијанието на тврдоста врз рапавоста е поголема.

При обработката на силумини со тврдост $H_B > 75 \text{ kp/mm}^2$ (какви што се практически најчесто употребуваат), стварната рапавост може многу поточно да се определи спрема равенките 5 и 6, односно 8, одшто спрема равенките 1 или 4.

Со употребата на петролеј како разладно средство рапавоста на обработената површина може за извесна вредност да се намали, нарочно во областта на релативно ниските резни брзини, додека при релативно високите резни брзини по-добар ефект имаме при употребата на минерални масла.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- /1/ С.Трајковски, Теоретска анализа на зависноста на рапавоста на обработената површина од геометријата на резниот алат и поместот, Зборник на ЕМФ-Скопје, 1974 год.
- /2/ С.Трајковски, Определување на влијанието на различни фактори на рапавоста на обработената површина при обработка на силумински делови со стружење, ЕМФ-Скопје, 1973
- /3/ В.Шолаја, Прилог проучавању утицаја на стругања на храпавост површине. Зборник Машинског факултета, Београд, 1953-54 год.
- /4/ В.Шолаја, Испитивање завршне обраде неких челика на стругу, Зборник Машинског факултета, Београд 1954-55 г.
- /5/ Olsen K.V., Surface roughness as a function of cutting conditions when turning steel. Mach. Tool and Product. Trends. Univ.Park, Pa 1965
- /6/ M.Kazuki, Some obeservations of the surface roughness of mild steel finished by turning, "Ball ISME", 1970
- /7/ Hovinga H.J., The damage caused by the built-up edge. Ann.CIRP, 1971 g.

S.Trajkovski

SOME OBSERVATIONS OF THE SURFACE ROUGHNESS OF CAST - ALUMINUM ALLOY - SILUMIN, FINISHED BY TURNING

In this work an analysis of surface finish in turning of cast-alloy-silumin is made. A special attempt is made to find the influence of cutting speed and hardness of material on surface finish. It is found that the influence of cutting speed is very high if machining at low speeds, and by machining of soft materials. It is also found that for every hardness of material exist a critical speed above which, the hardness of material no influence on surface finish.

Farther some empirical equations for arithmetical mean deviations R_a based on the experimental results were derived.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

V.Pavlovski⁺)

PRILOG IDENTIFIKACIJI MEDJUZAVISNOSTI HABANJA
GLODALA I KVALITETA OBRADJENE POVRŠINE⁺⁺)

1. Uvod

Kvalitet površine kao mera usaglašavanja topografije omotača nekog fizičkog tela sa idealnim geometrijskim oblikom odnosi se na tri zasebne grupe pitanja: identifikacija u pogledu mikro i makro-nepравилности, ostvarenje zahteva u tehnologiji obrade i uticaj na funkcionalne performanse [1]. Do sada razvijeni konvencionalni sistem parametara za definisanje stanja kvaliteta površine preko R_a , R_z i ostalih geometrijskih parametara pruža nepotpunu informaciju iz razloga što iste brojne vrednosti parametara mogu opisati veoma različitu topografiju, ne uzimajući u obzir pri tom način generisanja posmatrane površine niti njeno ponašanje u uslovi ma klizanja, presovanim sklopovima, strujanja i prenošenja toplote. Ove činjenice nalažu potrebu za razvijanje novih kompleksnijih kriterijuma za opisivanje topografije površina, što se ogleda u konstatacijama i pokušajima [2], [3] i u radovima u kojim je učinjen neposredni pokušaj postavljanja novih merila, realnije karakterizacije i poređenja različitih stanja. Jedan u novije vreme aktu-

⁺) M-r.Vladimir Pavlovski, dipl.ing., docent Elektrotehničkog i mašinskog fakulteta u Skopju, nas.Karpoš IV, B-11 ul.I/5, Skopje

⁺⁺) Radjeno na Elektrotehničkom i mašinskom fakultetu u Skopju i Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu, a rezultati su deo Magistarskog rada i teme VLIJANIE NA RAZLIČNI FAKTORI NA KVALITETOT NA OBRABOTENATA POVRŠINA SO STRUŽENJE I GLODANJE u čijem finansiranju je učestvovao i Republički fond za koordinaciju naučnih delatnosti SR Makedonije.

elan pristup definisanju stanja topografije obradjene površine je primenom teorije stohastičkih proseca [4], [5], [6], [7], [8], koja je ušla u praktičnim ispitivanjima brojnih naučnih disciplina.

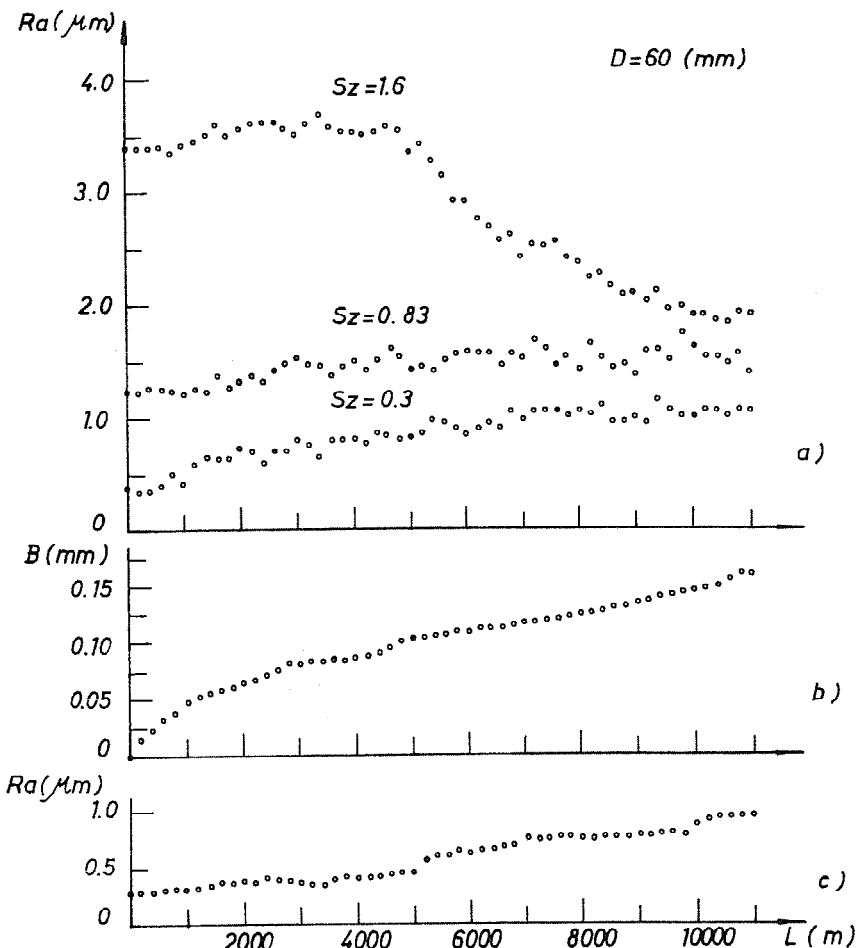
Paralelno sa usavršavanjem postojećih konvencionalnih kriterijuma i razvijanjem novih za definisanje topografije površine razvijaju se metode [9], [10] za ispitivanje pod površinskog sloja, koje mogu dati dopunske informacije za sticanje kompletne slike stanja obradjene površine i njenog ponašanja u eksploatacijskim uslovima.

U ovom radu koji predstavlja deo obimnijeg zahvata tokom poslednjih godina učinjen je pokušaj kompleksnijeg prikaza stanja obradjene površine glodanjem u zavisnosti od stepena zatupljenosti reznog alata. Analiza eksperimentalnih uzoraka je išla u tri pravca: identifikacija medjuzavinosti konvencionalnim sistemom, merenjem R_a , ispitivanje mikrotvrdoće pod površinskog sloja i pokušaj primene teorije stohastičkih procesa za analizu tražene medjuzaviniosti. Eksperimenti su izvedeni sa legurom aluminijskog siluminija (silumin) i čelikom. Usled ograničenosti prostora prezentiran je samo deo rezultata dobijen obradom silumina.

2. Uticaj stepena zatupljenosti glodala na hrapavost površine

Da postoji korelacija kvaliteta obradjene površine i stepena zatupljenosti reznog alata kod obrade rezanjem konstatovano je mnogo ranije, a za neke vidove obrade razradjeni su i matematički modeli za predikciju kvaliteta u funkciji od stepena pohabanosti reznog alata, pored ostalih parametara [11]. Slučaj glodanja sa cilindričnim glodalom je specifičan jer za razliku od nekih obrada kao na primer struganje gde se samo mali deo oštice unutar koraka reproducuje na obradenoj površini, sečivo zuba glodala utiče na hrapavost celom svojom dužinom. U konkretnom slučaju eksperimenti su izvodjeni jednozubim glodalom čime su neki faktori kao ekscentričnost i netačnost izrade glodala eliminisani, a sama analiza uprošćena. Analiza uticaja stepena zatupljenosti alata je sprovedena na tri različita režima pri čemu je variran pomak: $S_z = 1,6$; $0,83$ i $0,3 \text{ mm/z}$. Rezultati merenja veličine R_a i širene pojasa habanja na ledjnoj površini su dati na slici 1. Na slici 2 je dat izgled obradjene površine oštrim i zatupljenim alatom, a na slici 3 izgled ledjne

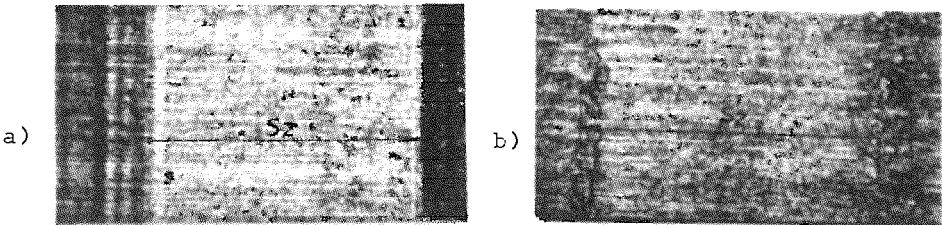
površine alata u različitim fazama opita. Rezna pločica je K 10.



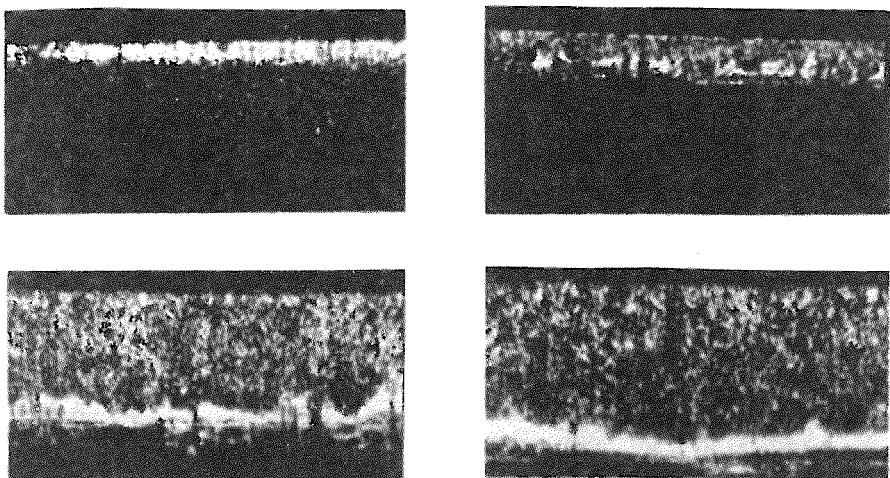
Sl.1.-Zavisnost kvaliteta obradjene površine R_a od širine pojasa habanja B :a) u uzdužnom pravcu b) u poprečnom pravcu.

Na osnovu izmerenih rezultata zapaža se da kod relativno manjih koraka hrapavost u uzdužnom pravcu raste, dok za velike opada sa povećanjem stepena zatupljenosti glodala, tako da na kraju opita R_a se približava nekoj vrednosti nezavisno od izabranog koraka. Međutim hrapavost u poprečnom pravcu raste mnogo brže nego u uzdužnom

pravcu i na kraju eksperimenta vrednost hrapavosti u oba ortogonalna pravca se izjednačuje. Ova pojava se može objasniti pojmom mikro lomova oštrice koja se celom dužinom reprodukuje na obradjenu



Sl.2.- Izgled obradjene površine dobijene a) oštrim b) zatupljenim alatom.



Sl.3.- Ledjna površina karbidne pločice u različitim fazama opita.

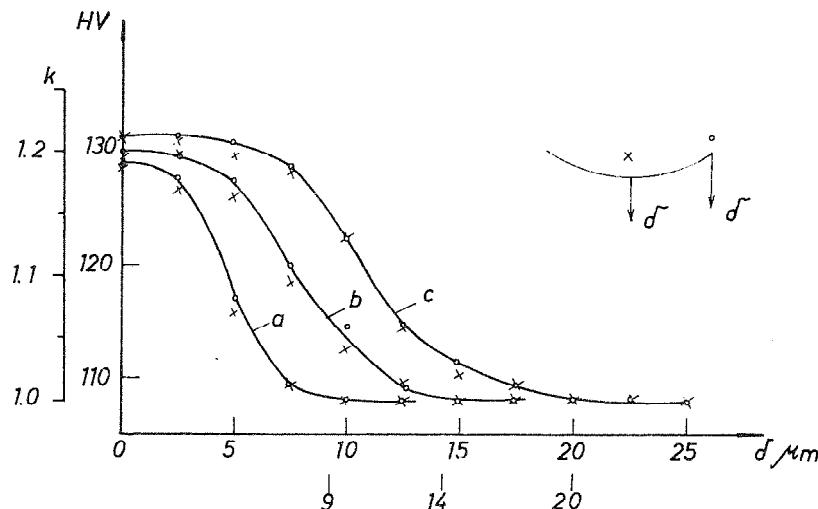
površinu, a oblik profila u ovom pravcu ima isključivo karakter slučajne funkcije, za razliku od profila u uzdužnom pravcu gde se i na kraju eksperimenta zapaža periodičnost koja proizlazi od koraka po zubu. Obzirom na varijaciju veličine hrapavosti u dva ortogonalna pravca što se javlja i kod drugih vidova obrada jedan parametar definisan kao:

$$R_a^* = \sqrt{aR_{au}^2 + bR_{ap}^2}$$

možda bi bio pogodniji za opisivanje hrapavosti, pri čemu poseban problem bi pretstavljalo određivanje koeficijenata k, a i b.

3. Zavisnost debljine defektnog sloja od stepena zatupljenosti alata

Promene u pod površinskom sloju koje nastaju tokom obrade mogu se grupisati na sledeći način: makrolomovi, mikrolomovi, naslaga, krateri, hemijske promene kao oksidacija i dekarbonizacija, promena mehaničkih osobina kao promena mikrotvrdoće i slično. Rezultati merenja mikrotvrdoće pod površinskog sloja u ovom primeru ukazuju na povezanost veličine debljine poremećenog sloja od stepena zatupljenosti glodala, dok maksimalna vrednost mikrotvrdoće koja se javlja na samoj površini se ne menja tokom eksperimenta i iznosi +20% u odnosu na osnovnu masu (Sl.4.).

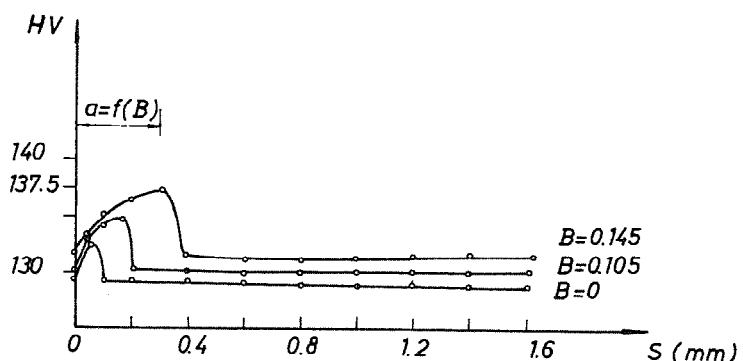


Sl.4.- Uticaj širine pojasa habanja na dubinu poremećenog sloja: a) $B=0$, b) $B=0.105$, c) $B=0.145$ mm.

Konstatacija izgleda sasvim logična jer sa postepenim zatupljivanjem reznog alata dolazi do intenzivnije plastične deformacije tokom rezanja, što se reflektuje u proširivanju zone strukturnih promena na većoj dubini, izduživanjem kristala i stvaranjem zaostalih napona. Od izmerenih rezultata zaključuje se da dubina poremećenog sloja iznosi $9 \mu\text{m}$ a za zatupljeni alat $20 \mu\text{m}$ ili povećanje za oko 110%.

Još jedan zaključak je izведен merenjem mikrotvrdoće na samoj površini u pravcu pomaka, a to je da položaj mesta sa maksimalnom tvrdoćom koji se nalazi iza početne teorijske tačke početka rezanja, odgovara putu klizanja reznog alata po površini pre nego što počne samo rezanje. Iz dijagrama na slici 5 se vidi da dužina puta klizanja oštice po površini koji na početku eksperimenta iznosi $a=1$ mm na kraju eksperimenta se povećava na $a=0,3$ mm, gde se dobija i maksimalna mikrotvrdoća: $HV=137,5$,

Put klizanja čija dužina je uslovljena stepenom zatupljenosti reznog alata zavisi i od drugih faktora: geometrija alata, krutosti sistema, rashladnog sredstva. Put klizanja unosi izvesnu neregularnost samog procesa i u najvećoj meri doprinosi otstupanju stvarnog profila od teorijskog.



S1.5.- Uticaj širine pojasa habanja B na dužinu puta klizanja i tvrdoće u pravcu pomaka na površini.

4. Pokušaj uspostavljanja veze topografije obradjene površine i stepena zatupljenosti glodala pomoću teorije stohastičkih procesa

Teorija stohastičkih procesa je razradjena u mnoga fundamentalna dela [12]. U konkretnom primeru analiza je sprovedena pod pretpostavkom da je slučajna funkcija stacionarna i ergodična. U opštem slučaju analizu je moguće sprovesti u tri domena.

- u amplitudnom domenu preko funkcije verovatnoće:

$$P(x) = P_R[x(t) \leq x]$$

odnosno funkcije gustine verovatnoće

$$p(x) = dP(x)/dx$$

- u vremenskom domenu preko korelaceone funkcije

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt$$

- i u frekventnom domenu preko funkcije gustine spektra koja sa korelacionom funkcijom čini par Fourier-ovih transformacija ili preko amplitudnog spektra razlaganjem slučajne funkcije na harmonike.

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{k=n} a_k \sin \omega_k t + \sum_{k=1}^{k=n} b_k \cos \omega_k t$$

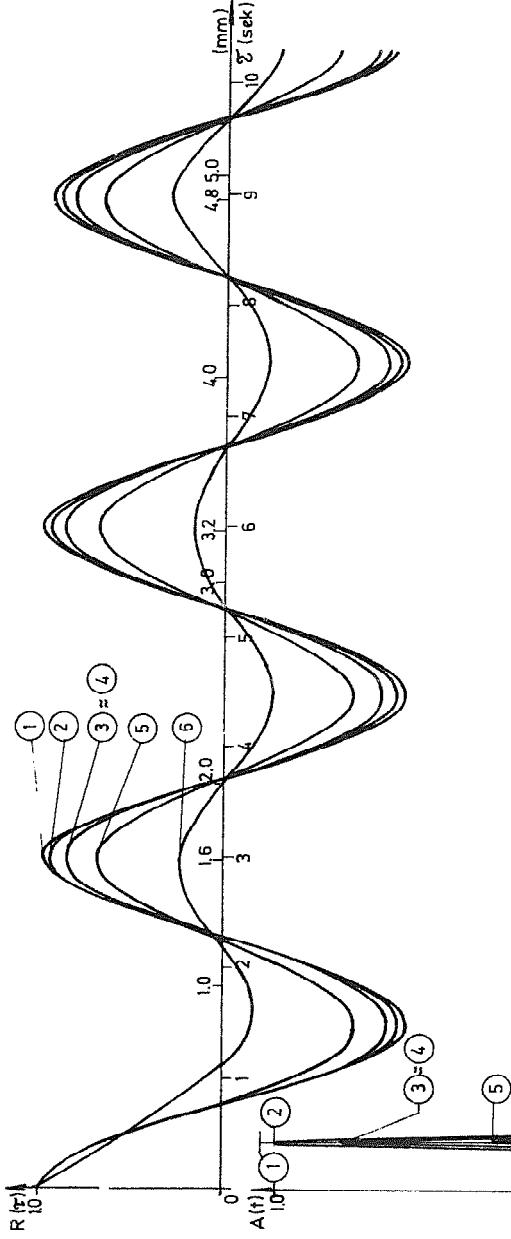
Primenom navedenih osnovnih obrazaca i prethodno definiranim analitičkim izrazom teorijskog profila obradjene površine, posle dužeg izvodjenja dobijaju se obrazci za proračun teorijske korelaceone funkcije

$$R(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_k^2}{2} \cos k\omega t$$

$$\text{pri čemu je } \omega = \frac{2\pi}{S_z}$$

i teorijski amplitudni spektar

$$A(k) = \frac{1}{k^2} \frac{S_z^2}{2\pi r^2}$$



OBRADIVANI MATERIJAL - SILUMIN

PREČNIK GLODALA $D = 60\text{mm}$.

KORAK PO ZUBU $S_z = 1.6\text{mm/z}$

- ① TEORIJSKA KOR. FUNKCIJA I AMPLITUDNI SPEKTAR
 - ② KOR. FUNKCIJA I AMPL. SPEKTAR $L = 0\text{ m}$ $B = 0\text{ mm}$.
 - ③ " " "
 - ④ " " "
 - ⑤ " " "
 - ⑥ " " "
- $L = 2500\text{ m}$ $B = 0.075\text{ mm}$
- $L = 5000\text{ m}$ $B = 0.105\text{ mm}$
- $L = 7500\text{ m}$ $B = 0.120\text{ mm}$
- $L = 10000\text{ m}$ $B = 0.145\text{ mm}$.

Sl.6.-Korelacije funkcije i amplitudni spektari

pri čemu je

$$a_k = \frac{s_z^2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{k^2} \cos k\pi$$

Poredjenja radi na dijagramu sa korelacionim funkcijama i amplitudnim spektrima ucrtani su teorijska korelaciona funkcija i amplitudni spektar (Sl.6.). Posmatrajući promenu oblika korelacione funkcije i amplitudnog spektra obradjene površine, tokom jednog eksperimenta praćenjem habanja rezognog alata za opit sa $S_z=1,6$ mm/z dolazi se do zaključka, da na početku rezanja pri oštem alatu korelaciona funkcija i spektar imaju gotovo teorijski oblik. Sa postepenim zatupljivanjem rezognog alata i uzimanjem uzoraka za analizu u odredjenim jednakim razmacima $\Delta L=2500$ m rezanja primećuje se postepeni pad periodičnog dela korelacione funkcije u odnosu na slučajni, dok dominantna frekvencija u amplitudnom spektru uslovljena korakom po zubu se postepeno smanjuje. Na kraju eksperimenta dolazi do naglog porasta slučajnog dela korelacione funkcije u odnosu na periodični, što sa svoje strane uslovljava i pad vrednosti dominantne komponente u spektru. Navedena analiza pokazuje tesnu povezanost pojave habanja rezognog alata i oblika korelacione funkcije i amplitudnog spektra obradjene površine što navodi na ideju o primeni navedene analize za definisanje momenta zatupljenosti rezognog alata.

5. Zaključak

Na osnovu sažetog prikaza deo rezultata dobijenih uporednom analizom može se zaključiti da uticaj stepena zatupljenosti rezognog alata, glodala ima bitan uticaj na veličinu i oblik hrapavosti obradjene površine, što se potvrđuje analizom, merenjem R_a , kao i primenom teorije stohastičkih procesa, koja je pogodna za kontinuirano kvalitativno praćenje procesa.

Merenje mikrotvrdće podpovršinskog sloja se pokazalo kao relevantni pokazatelj promene stanja ispod same površine, što se mora posmatrati kao sastavni deo istraživanja integriteta kod završnih obrada.

Reference

- [1] Šolaja V., Tomašević M., Prilog analizi geometrijskih parametara obradjene površine, saopštenja, Treći kongres za teoriju mašina i mehanizama, Kupari 1971.
- [2] Whitehouse D.J., Typology of manufactured surfaces. Annals of CIRP Vol.19/3 1971
- [3] Van Hasselt R. , The need for developing a typology of surfaces. Annals of CIRP Vol.15/4 1967
- [4] Kubo M., Peklenik M., An Analysis of Micro-geometrical Isotropy for random surfaces structures. Annals of CIRP Vol.16/3 1968
- [5] Ber A., Braun B., Spectral analysis of surface finish. Annals of CIRP Vol.16/1 1968
- [6] Jiro Nara., Two-Dimensional representation of surface roughness. Annals of CIRP Vol.17/4 1969
- [7] Jiro Nara., About the standardization and spectral measurement of surface Waviness Annals of CIRP Vol.19/4 1971
- [8] Peklenik J., Kubo M., Basic study of a three-Dimensional assesment of the surface generated in manufacturing system Annals of CIRP Vol.16/3 1968
- [9] Field M., A Review of surface integrity of machined components Annals of CIRP Vol.20/2 1971
- [10] Field M., A Review of measuring Methods for surface intergity Annals of CIRP 21/2 1972
- [11] Šolaja V., Problemi završene obrade na strugu, Mašinski fakultet Beograd, 1959
- [12] Bendat J., Measurement and Analysis of random data N.York 1966.

V. Pavlovski

CONTRIBUTION TO THE IDENTIFICATION OF CORRELATION BETWEEN THE WEAR OF MILLING CUTTER AND SURFACE FINISH

In this work the author has made an attempt to give more complex analysis of the machined surface by milling process, taking into consideration the wear of carbide tool.

The investigations are gone into three directions: the investigation into texture of the machined surface with conventional method, measuring R_a ; the investigation into microhardness of the sub-surface zone; and the investigation of the texture of the machined surface using a theory of stochastic process. The experiments have been carried out with aluminium alloy.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

D. Milutinović, N. Đorđević⁺⁾

PRIIMER UNAPREĐENJA OBRADE PRIMENOM GRUPNOG ALATA ZA BUŠENJE⁺⁺⁾

1. Uvod

U dosadašnjoj fazi rada na unapredenuju proizvodnje pumpi, što je došlo u jednom od predhodnih radova^{++*)}, te na osnovu datih zaključaka moguće je primena grupnih alata. Sem toga postojeća oprema u fabriци je tehnički zastarela, kapacitet i sobzicom na proširenje obima proizvodnje nedovoljni. To nameće moderni zadaci opreme, pre svega za obradu rezanjem, koja je zastupljena preko 80%. Tako se potvrđuje opravdanost uvodenja novih alata, u ovom slučaju grupnog alata za bušenje, tj. za delove iste tehničke grupe - klase koji zajednički - glavni deo alata uz dodavanje promenljivih elemenata - adaptera za konkretnе delove. Ovim se izbegava izrada pojedinačnih alata za svaki deo odnosno izrada vrlo sličnih alata.

2. KONSTRUKCIJA GRUPNOG ALATA ZA BUŠENJE

Pre nego što se prišlo razradi koncepcije grupnog alata, izvršena je dimenziona analiza grupe delova - kućiца centrifugalnih pumpi tipa CVNO, i 2, i došlo se do zaključka da dimenzije navedenih delova pumpi gabaritno zadovoljavaju tj. da nema većih dimenzionalnih skokova, i da po težini omogućuju nesmetanu manipulaciju. Ali zbog konstrukтивnih razlika/usis-potis/stvorenene su dve podgrupe. Jedna od njih je podgrupa potisnih kućiца pumpi tipa CVNO, i 2. Tako je nešto sužen assortiman delova, ali su stvoreni realni uslovi za primenu alata. Alat je prilagođen za rad na postojecim mašinama - jednovremeno bušili cama, a moguće je i primena viševretene glave za bušenje, čijim se uvođenjem skraćuje mašinsko vreme.

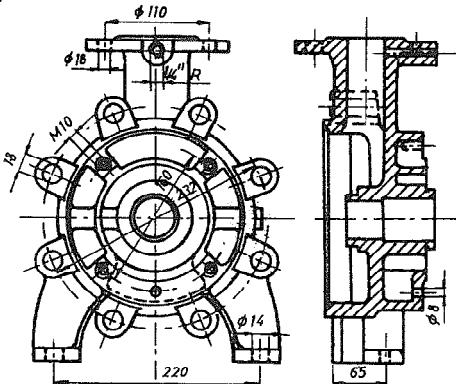
Konstrukcija alata rešena je na principu ručnog stezanja, a za obradu bušenja potisne kućice navedenih tipova pumpi i to bušenje potisne prirubnice, šapa i bušenje sa strane, što se vidi sa slike 1. Radni predmet se ubaci u alat, pritegne i najpre buši potisna prirubnica preko ploče pozicija 9. Zatim se radni predmet okreće za 180° zajedno sa obrtnim delom alata, tako što se navrtka pozicija 13. otpusti i pomeri obrtni deo alata za veličinu fi-

<sup>+) Dragoslav M. Milutinović, dipl. inž., šef Tehničke pripreme fabrike pumpi "Jastrebac" - Niš, 12. februar 1975.
Nenad B. Đorđević, dipl. inž., konstruktor fabrike pumpi "Jastrebac" - Niš
++) Radeno u okviru projekta RAZVOJ I UNAPREĐENJE PROIZVODNJE PUMPI u ciljem finansiranju učešćuju fabrika pumpi "Jastrebac".
++*) Rad naveden u referenci /3/, a objavljen na NAUČNO STRUČNOM SKUPU "MASINSIVO 1973".</sup>

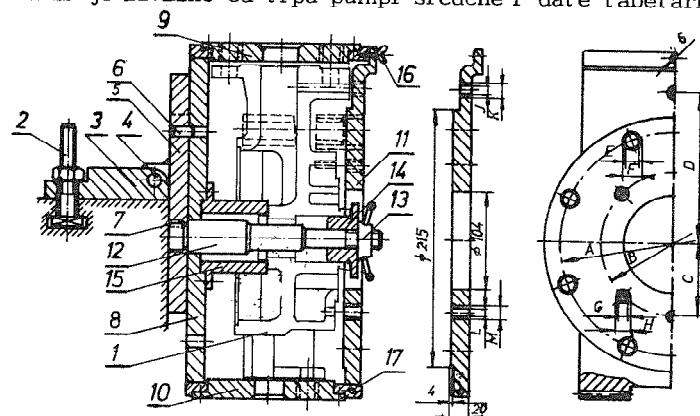
-ksi ranja granični kom pozicija 6. i obavlja bušenje šapa preko ploče pozicija 10. Zaokretanjem alata oko osovini -ce pozicija 4. za 90° i pritezanjem pomoću dva zavrtinja -pozicija 2., koji u-laze u razrez na nosaču alata-pozicija 5., dovodi se u radnu poziciju bušenje preko ploče-pozicija 11.-slika 2.

Skidanje radnog predmeta moguće je tako što se odvije navrtka pozicija 13., skine podmetać pozicija 14., odvije zavrtanj -pozicija 16.i ploča pozicija-11. se zaokrene oko osovine pozicija 17-slika 2.

Kao promenljivi delovi alata ja vlijaju se ploče za čaurama za vodenje burgija, elementi za oslanjanje, vodenje i pritezanje radnog predmeta. To su pozicije 9,10,14 i 15, za koje su promenljive dimenzije zavisno od tipa pumpi sredene i date tabelarno.



SLIKA 1. POTISNA KUĆICA PUMPE TIPO CVN 2/102

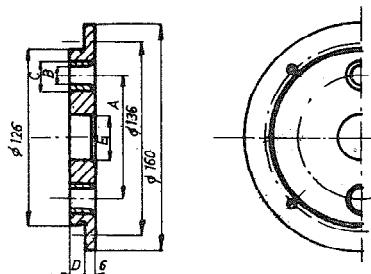
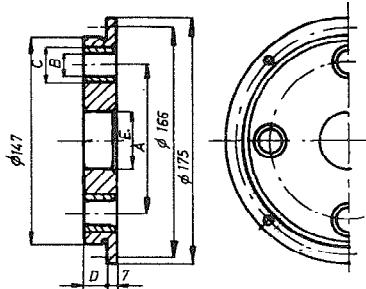


DEO	PROMENLJIVE DIMENZIJE POZICIJE 11											
	φA/n	φB/h	C	D	EF7	Fn6	GH7	Hn6	JF7	Kn6	LF7	Mn6
CVN-0/3	175/4	120/4	-	-	12	18	6,8	12	-	-	-	-
CVN-0/4	175/4	120/4	-	115	12	18	6,8	12	11,5	18	-	-
CVN-1/2	195/4	140/4	70	-	8	12	6,8	12	-	-	8	12
CVN-1/102	215/4	160/4	80	136	14	22	8,6	15	11,5	18	8	12
CVN-2/2	220/4	140/4	70	-	8	12	6,8	12	-	-	8	12
CVN-2/102	232/8	160/4	80	138	18	26	8,6	15	11,5	18	8	12

Slika 2. Grupni alat za bušenje potisnih kućica pumpi tipa CVNO, i i 2

- 1.Radni predmet,2.Zavrtanj ,3.Postoljna ploča, 4.Osovina, 5.Nosač alata, 6.Grančnik, 7.Osigurač, 8.Nosač ploča za vodenje, 9,10 i 11. Ploče za vodenje, 12.Osovina, 13.Navrtka, 14.Čaura za fiksiranje i pritezanje, 15.Čaura za oslanjanje, 16.zavrtanj , 17.Osovina.

Spoljne dijmenzije ploča za vodenje-pozicije 9., kao i pozicije 10. su iste za date tipove kućica pa se mogu ubacivati u odgovarajuće siceve na nosećim pločama odnosno menjati prema potrebi. Osi guravaju se zavrtnjevima. Debljina ploča varira zavisno od visine kućica, pa se predviđa i zvezno olakšanje debljih ploča.

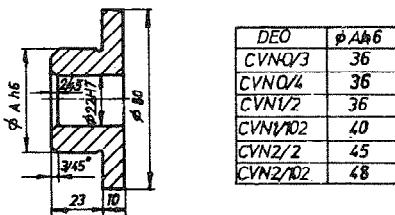


DEO	DIMENZIJE				
	φ A	φ B	CH7h6	D	φ E
CVN0/3	85	14	22	63	26
CVN0/4	85	14	22	63	26
CVN1/2	100	18	26	53	35
CVN1/102	100	18	26	33	35
CVN2/2	110	18	26	43	40
CVN2/102	110	18	26	13	40

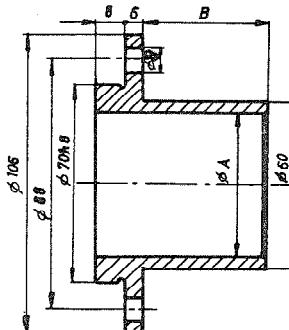
SLIKA 3. PLOČA ZA VODENJE - POZICIJA 9

DEO	DIMENZIJE				
	φ A	φ B	CH7h6	D	φ E
CVN0/3	60	12	18	50	20
CVN0/4	60	12	18	50	20
CVN1/2	85	12	18	30	26
CVN1/102	62	14	22	30	26
CVN2/2	88	12	18	25	32
CVN2/102	88	14	22	16	32

SLIKA 4. PLOČA ZA VODENJE - POZICIJA 10



SLIKA 5. ČAURA ZA FIKSIRANJE - PRITEZANJE
POZICIJA 14.



DEO	DIMENZIJE	
	φ A	B
CVN 0/3	43	68
CVN 0/4	43	68
CVN 1/2	53	64
CVN 1/102	53	64
CVN 2/2	53	60
CVN 2/102	53	60

SLIKA 6. ČAURA ZA OSLANJANJE - POZICIJA 15

3. TROŠKOVI I ZRADE POJEDINAČNIH I GRUPNOG ALATA

U troškove izrade odnosno cenu alata užeće se materijalni troškovi i troškovi izrade. Neće se uzimati troškovi na konstrukciju istih, jer se rad na određivanju koncepcije alata preklapa sa radom na grupi sanju i analizi delova, koja se obavlja ne samo u cilju izrade grupnog alata, već služi i za izradu grupnog tehničkog postupka, dok direktni konstruktivni rad nema znatnog udelu u odnosu na materijalne i troškove izrade.

Cena za pojedinačne i grupni alat izračunava se prema relacijama 1 i 2.

$$C_1 = \sum_{i=1}^m C_{pri} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$C_2 = C_{glod} + \sum_{i=1}^m C_{pri} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

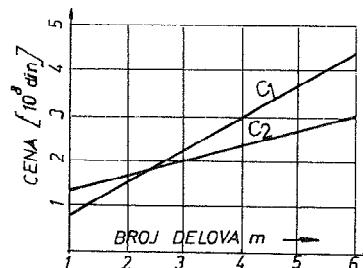
gde je

m-Broj pozicija za koje važi grupni alat /u ovom slučaju m=6/
 C_1 -Zbir cena svih pojedinačnih alata, C_{pri} -Cena pojedinačnog alata, C_2 -Ukupna cena grupnog alata, C_{glod} -Cena glavnog dela grupnog alata, C_{pri} -Cena promenljivih delova /adaptera/

Sračunate cene pojedinačnih alata date su tabelarno-Tablica-1, za potisne kućiće pumpi tipa CVNO, li 2, kao i uporedne cene grupnog alata-promenljivih delova/adaptera/i glavnog dela alata.

TABLICA 1. TROŠKOVI I ZRADE ALATA

Pozicija	Cene pojedinačnih Alata	Cene promenljivih delova-Adapte
CVNO/3	700	432
CVNO/4	704	432
CVN1/2	721	378
CVN1/102	741	345
CVN2/2	765	351
CVN2/102	772	286,5
Glavni deo grupnog alata		822,60



SLIKA 7. DIJAGRAM UŠTEDE

Zbir cena svih pojedinačnih alata je $C_1=4.403,00$ din., a ukupna cena grupnog alata $C_2=3.047,10$ din.

Na osnovu ovih vrednosti nacrtan je dijagram slike 7., te se može videti da ušteda u izradi grupnog alata nije beznačajna. Takođe, cena grupnog alata je opravdana za broj pozicija većim od dve/m>2/.

4. OSTVARENI EFEKTI

Grupnim alatom eliminisu se šest pojedinačnih alata, koji su radeni varijantno, tj. alat za bušenje pri rubnici i šapa na istom principu kao i grupni alati poseban alat za bušenje sa strane. Tako se u odnosu na period kada su korišćeni čisto pojedinačni alati /ploče za vodenje, bez mogućnosti stezanja radnog komada/, može da napravi poređenje sa periodom /od 1972 god./ kada su uvedeni pojedinačni /varijantni/ alati i periodom kada se uvede grupni alat. Ostvareni efekti su za sada u skraćenju pripremno završnog vremena.

OR.6.4

Ukupna ušteda u 1974 god., za šest pozicija /potisne kućice/za koje je namenjen grupni alat data je u tablici 2.

TABLICA 2. UŠTEDA U PRIPREMNOM VREMENU U / min /

Pozi cija	Broj koma za 1974 god	Pojedinačan Alat		Grupni Alat	
		Ušteda /t/	Ukupno	Ušteda /t/	Ukupno
CVNO/3	300	5	1500	9	2700
CVNO/4	200	5	1000	9	1800
CVN1/2	120	6	720	11	1320
CVN1/102	400	6	2400	11	4400
CVN2/2	350	8	2800	14	4900
CVN2/102	500	8	4000	14	7000
Ukupno godišnje	1870		12420		22120

Tako je primenom pojedinačnih /varijantnih/ alata, koji su bili u eksplotaciji u 1974 god.dobijena ušteda od 12420 min.,odnosno 207 časova.Uvođenjem grupnog alata ostvariće se ušteda od 22120 min.,odnosno 368,6 č. Ako se ove vrednosti uporede sa godišnjim fondom časova po radniku 2070č. onda su uštede primenom pojedinačnih alata $207/2070 \cdot 100\% = 10\%$, a uvođenjem grupnog alata $368,6/2070 \cdot 100\% = 17,7\%$

Zatim ako se uporedi pojedinačan i grupni alat po efektu i troškovima za navedene tipove pumpi prema relaciji

$$M = \frac{C_2' - C_1'}{(U_2 - U_1) S_R} = \frac{(822,60 + 286,5) - 772}{(7000 - 4000) S_R} = \frac{337,1}{50 \cdot 12,00} = 0,56$$

gde je

N -kritični broj komada koji odgovara jednakosti ekonomskog efekta alata koji se porede, C_1' i U_1 -Troškovi i uštede odgovarajućeg pojedinačnog alata, C_2' i U_2 -Troškovi i uštede odgovarajućeg grupnog alata, $S_R=12,00$ -satnina radnika

Dobija se $N=0,56$, primenjeno na najmasovnije rađenu prema Tablici 2.-CVN2/102 i uzetih odgovarajućih troškova izrade alata iz Tablice 1. što znači da je u potpunosti svrhodnija primena grupnog alata.

Troškovi alata svedeni na jedan deo su za pojedinačne i grupni alat

$$T_p = \frac{C_1}{N_{UR}} = \frac{4.403,00}{1870} = 2,35 \text{ din.}$$

$$T_g = \frac{C_2}{N_{UR}} = \frac{3.047,10}{1870} = 1,62 \text{ din.}$$

gde je

$N_{UR}=1870$ -Ukupan broj komada godišnje prema tablici 2.
te i jedinačni troškovi idu u prilog primene grupnog alata.

Sem toga grupni alat olakšava uvođenje viševretenih glava, što je

OR.6.5

istaknuto u odeljku 2., a samim tim i smanjenje mašinskog vremena 3-4 puta/moguća je primena četvorovretene glave/.

I najzad u pogledu tačnosti prednost grupnog alata je u ostvarivanju uzajamno povezanih-uslovljenih mera,kao što je položaj rupa sa strane,tačan raspored rupa na prirubni ci ,na šapama preko kojih se ostvaruje veza sa postolnjom pličicom.

5. ZAKLJUČAK

Iz izloženog materijala može se zaključiti ,da je primena prikazanog grupnog alata potpuno opravdana.Njegovom primenom smarjuje se broj pojedinačnih alata a samim tim i troškovi izrade.Unosi se sigurnost u pogledu tačnosti i ostvaruju znatne uštede.Postiže se unifikacija i standarizacija elemenata alata na fabričkom nivou,lakše čuvanje i evidentiranje istih.

Izvedeni zaključci i prikazani efekti u radu,delimično ostvareni i u praksi,jer primena grupnog alata tek predstoji ,idu u prilog unapredjenja OBRADE REZANJEM tj.bušenja i podižu ga na jedan viši nivo.

Reference

- [1] Mitrofanov, S., Naučni temelji grupne tehnologije, Privreda, Zagreb 1964g
- [2] Urošević, S., Tipska i grupna tehnologija u metalnoj industriji, IAMA, Beograd 1977 god.
- [3] Milutinović, D., Neka iskustva u primeni grupnog tehničkog postupka kod familija pumpi CVNO, 1 i 2 i 3, Naučno Stručni skup, Mašinstvo 1873-1973, Beograd, 1973 god., strana E 81-91

D. Milutinović, N. Đorđević

DAS BEISPIEL DER BEFÖRDERUNG BEARBEITUNG DER ANWENDUNG GRUPPEN Werkzeuge für Bohren

In der Schrift ist beführen die Bemerkungen an Rechtfertigen die Anwendungen, die eKonstruktion gruppen Werkzeuges für bohren verdränger Gehäuse der Rapp Typen CVNO, 1 und 2 gegeben. Nachdem haben die Spesen der Ausführung gerechnen, mit dem Vergleichlichen gesamten Preises einzelnen und gruppen Werkzeuges. Es verwirkliche die Ersparnis abkürze Vorberäteiter Abschliesser Zeiten für jahrer Produktion anführer Pumpen und betrage 17,8%.

Nach dem Grund tragte völlig ist rechtfertige die Anwendung gruppen Werkzeuges aus.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

D. Vukelja^{x)}

OBRADA NA STRUGU DOMAĆIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA
U USLOVIMA MALIH PRESEKA STRUGOTINE^{xx)}

1. Uvod

U ovom radu daju se rezultati ispitivanja obradljivosti domaćeg poboljšanog Č 4732 pri obradi sa domaćim alatima pri završnoj obradi, a u okviru V etape Projekta SIO.

Pre izvodjenja opita utvrđena je optimalna veličina vrha i optimalni način pritezanja mehanički držače pločice od tvrdog metala. Na osnovu tih rezultata konstruisani su nomogrami za proračun parametara režima i kvaliteta obrade koji mogu da se koriste u praksi. U uvodnom razmatranju daju se jednačine kretanja radnog predmeta.

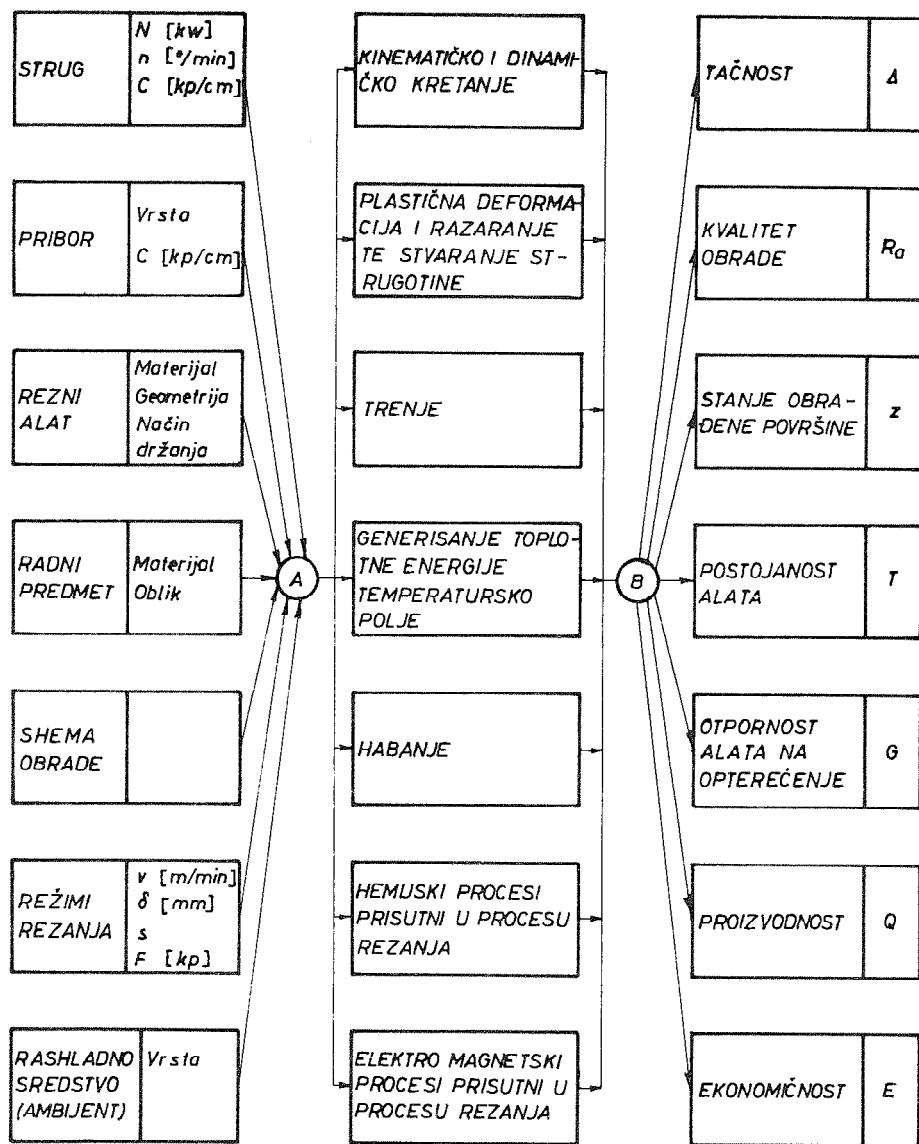
2. Uvodna razmatranja

Obrada metala rezanjem na strugu pri završnoj obradi odvija se u složenim uslovima. Prisutan je uticaj većeg broja faktora.

U ovim uslovima radni deo sečiva je više opterećen u odnosu na grubu obradu. Detaljna podela uticajnih faktora uz prikaz strukture procesa rezanja pri završnoj obradi procesa na strugu, kao sistema, data je na Slici 1. Korišćenjem strukturne sheme (Sl.1) pojednostavljuje se izučavanje i analiza pojedinih međusobnih uticaja u sistemu.

^{x)}Dr Dušan Vukelja, samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate i vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

^{xx)}Radjeno u Institutu za alatne mašine i alate kao deo projekta "RAZVOJ I OPTIMIZACIJA OBRADNIH SISTEMA-ROPOS" u čijem finansiranju učestvuje Republička zajednica za nauku SR Srbije i partneri iz industrije.



SI.1 STRUKTURNΑ SHEMA ZAVRŠNE OBRADE NA STRUGU

OR. 7.2

Veoma je teško da se odredi koji od faktora u sistemu (srednji blok) ima najveći uticaj. Ipak, može se sigurno reći, da kinematika i dinamika radnog predmeta bitno utiču na kvalitet obrade i druge značajne izlazne veličine.

Mogućno je, pri tome, da se njegovo kretanje posmatra na dva načina: kao kretanje krutog tela (pojava žiroskopskog efekta, usled različitih krutosti oslonaca radnog predmeta i u vezi s tim nastajanja precesionog kretanja – jednostavniji način posmatranja) i kao kretanje elastičnog tela (potpuno korektno).

Za prvi slučaj (sistem sa četiri stepena slobode) jednačine kretanja dobivaju se na osnovu posmatranja precesionog kretanja krutog tela (Sl. 2).

Za slučaj da oba oslonca radnog predmeta, imaju iste krutosti, precesiono kretanje nije prisutno. Međutim, ako je predmet oslonjen na oslonce nejednakih krutosti doći će do nejednakog pomeranja ose pod uticajem opterećenja, a time i do precesionog kretanja.

Osa predmeta zauzima položaj O_1 , O_2 (Sl. 2). Ako su mase veće uticaj na pojavu žiroskopskog efekta je veći.

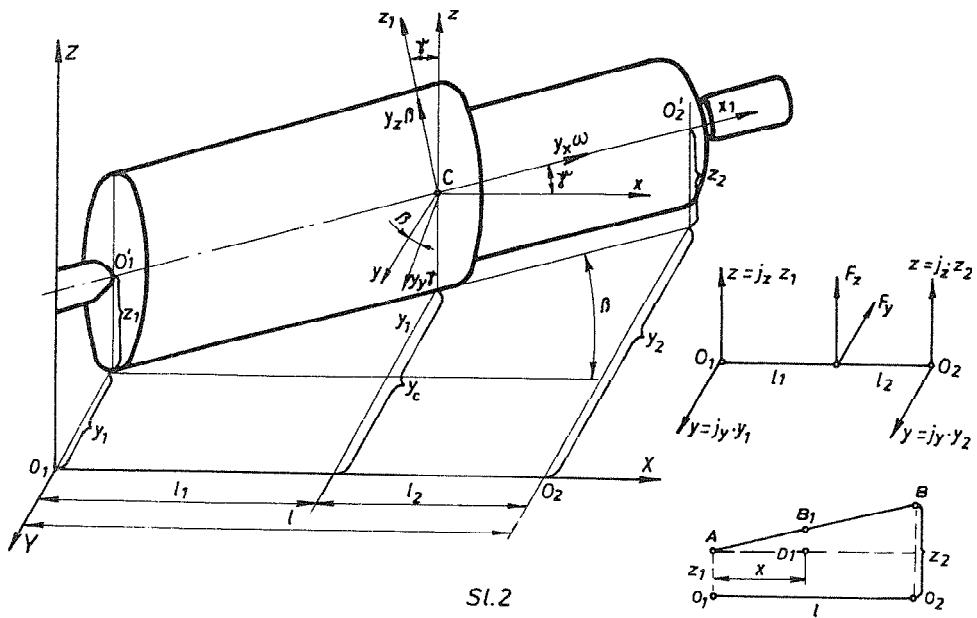
Na slici 2. obeleženi su koordinantni sistemi pri čemu je

xyz – koordinate nepokretnog sistema,
 $x_1y_1z_1$ – koordinate pokretnog sistema
 x_c, y_c, z_c – koordinate težišta,
 β i γ – veličine uglova precesionog kretanja

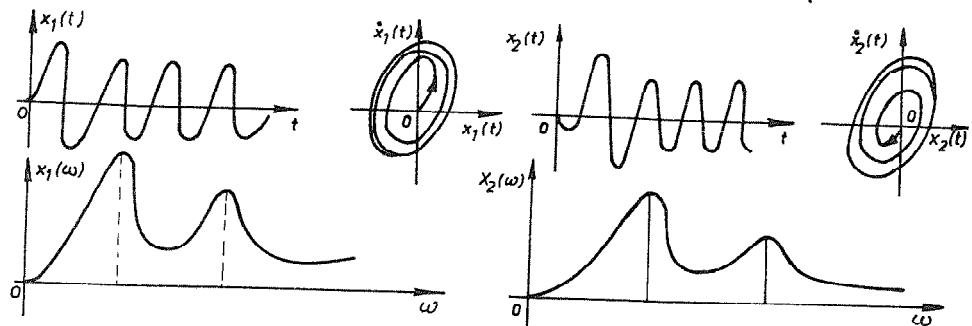
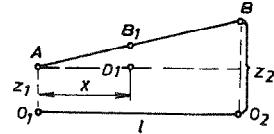
} funkcije vremena

U vezi sa nastajanjem pojave žiro-efekta, predmeti će se obradjivati sa izvesnom greškom, a doći će i do pogoršanja kvaliteta obrade. Da bi se mogla proračunati veličina pogreške i veličina koja istovremeno utiče na pogoršanje kvaliteta neophodno je da se utvrdi kretanje ose predmeta i njegovog težišta.

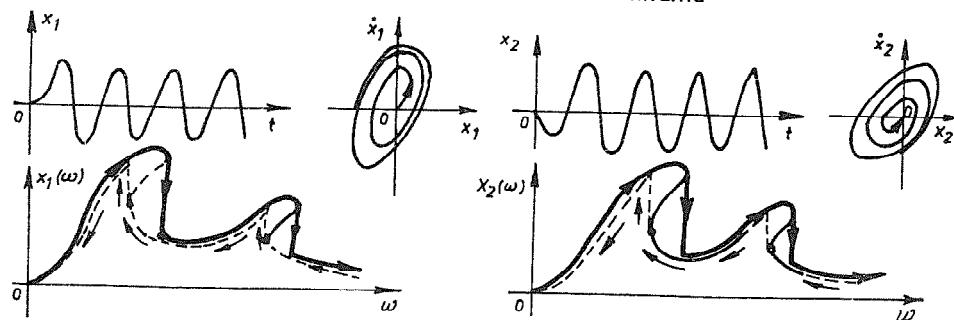
S obzirom da su u toku obrade mala pomeranja u odnosu na x_c mogućno je da se položaj težišta definiše pomoću dve koo-



Sl.2



Sl.3 - Oslonci sa linearnim karakteristikama



Sl.4 - Oslonci sa nelinearnim karakteristikama

OR.7.4

$$\text{rdinate} \quad y_c = y_1 \frac{l_2}{l} + y_2 \frac{l_1}{l} \quad i \quad z_c = z_1 \frac{l_2}{l} + z_2 \frac{l_1}{l} \quad (1)$$

Na osnovu poznatih principa mehanike došlo se do jednačina kretanja. Treba istaći da je uzeta u obzir i ekcentričnost radnog predmeta

$$\frac{Q}{g \cdot l} (l_2 \ddot{y}_1 + l_1 \ddot{y}_2) - j_{y_p s} \cdot y_1 - j_{y_z s} \cdot y_2 = J_m \cos \omega t \quad (2)$$

$$\frac{Q}{g \cdot l} (l_2 \ddot{z}_1 + l_1 \ddot{z}_2) - j_{z_p s} \cdot z_1 - j_{z_z s} \cdot z_2 = J_m \sin \omega t \quad (3)$$

$$J_{y_1} \omega \frac{\dot{y}_2 - \dot{y}_1}{l} - J_{y_1} \frac{\ddot{z}_2 - \ddot{z}_1}{l} = Z_{p s} l_1 - Z_{z s} l_2 + J_m \sin \omega t \quad (4)$$

$$J_{z_1} \omega \frac{\dot{z}_2 - \dot{z}_1}{l} + J_{z_1} \frac{\ddot{y}_2 - \ddot{y}_1}{l} = Y_{p s} l_1 + Y_{z s} l_2 + J_m \cos \omega t \quad (5)$$

Rešavanjem sistema jednačina od (2) do (5) dobijaju se frekvencije i amplitude kretanja. Pri kretanju ose predmet opisuje površinu

$$Y = f_1(t) \quad Z = f_2(t)$$

Opšte rešenje jednačina u matričnom obliku je

$$Y = e^{Ex} C + e^{Ex} \int_{x_0}^x e^{-E\tau} F(\tau) d\tau \quad (6)$$

Izrazi za maksimalne vrednosti bile bi (Sl. 2)

$$Y_{\max} = A + \frac{B - A}{l} \cdot x \quad (7)$$

$$Z_{\max} = C + \frac{D - C}{l} \cdot x, \quad A, B, C, D - \text{konstante.}$$

Korišćenjem prethodno dobivenih rešenja mogućno je da se izvrši proračun greške obrade odnosno moguće je da se odredi položaj ose radnog predmeta u svakom trenutku (Sl. 3 i 4).

Projekcija putanje ose predmet kod sistema sa dva stepena slobode data je na slici 3 (linearni sistem) i na Slici 4 (u osloncima su prisutne nelinearnosti).

Za drugi slučaj prema [10] rešenje je

$$Y(s,t) = \frac{F}{gvl \cdot \omega} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{\cos \frac{n^2 \pi^2 a^2}{l^2} t - \cos(1 + \frac{n \pi v_0}{\omega l}) \omega t}{\left(\frac{n^2 \pi^2 a^2}{\omega l^2} \right)^2 - \left(1 + \frac{n \pi v_0}{\omega l} \right)^2} - \frac{\cos \frac{n^2 \pi^2 a^2}{l^2} t - \cos(1 - \frac{n \pi v_0}{\omega l}) \omega t}{\left(\frac{n^2 \pi^2 a^2}{\omega l^2} \right)^2 - \left(1 - \frac{n \pi v_0}{\omega l} \right)^2} \right\} \sin \frac{n \pi v_0}{l} t \quad (8)$$

Dati izraz predstavlja harmonijsko oscilovanje, koja nastaju u toku kretanja radnog predmeta pri struganju. Ova bitno utiču na formiranje mikroprofilna obradjene površine. Svakako da tome treba dodati oscilovanje noža koje se opisuje pomoću jednačine

$$E \cdot I \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = q(x) f(x, t) \quad (9)$$

Sem ovog uticaja utvrdjeno je prema [1] da značajno utiče način držanja pločice koji se iskazuje preko funkcije date jednačinom (desni deo jednačine).

Stoga je pre izvodjenja eksperimenta utvrdjen optimalan način držanja pločice.

Ovde nije analizovan kvalitet obrade sečiva i tragovi koji njegovim delovanjem nastaju pri obradi, dok su, međutim, radovi u toku na istraživanju pograničnog sloja i stanja obradjene površine (pojava mikrokratera na obradjenoj površini ili zadebljanja u zavisnosti od vrste materijala alata sa kojim se izvodi obrada, što je veoma značajno za delove koji su opterećeni cikličnim i topotnim opterećenjima).

Valja istaći, da se u ovim uslovima u odnosu na ono što je ranije davano za grubu obradu, postojanost drugačije određuje. Naime, pri gruboj obradi alati otkazuju zbog krzanja, loma ili pohabanosti, međutim, kod završene obrade, otkazivanje alata je druge prirode, te se rezultati dobiveni pri gruboj obradi ne mogu da koriste ovde, pri završnoj obradi. Kod završne obrade kriterijum zastupljenja definiše se sa stanovišta ostvarivanja zadate tačnosti i kvaliteta obrade.

Na osnovu toga predložen je model za kvalitet obrade u obliku

$$R_a = \frac{C_{ra} \delta^P s^q}{v^r} \cdot \prod_{n=1}^N k_n \quad (10)$$

a za brzinu rezanja

$$v = \frac{C_v}{T^m \delta^x s^y} \cdot \prod_{i=1}^m k_i \quad (11)$$

pri čemu je

s - korak, v - brzina rezanja, $-$ dubina rezanja, $k_{i,n}$ - popravni faktori koji uzimaju u obzir druge uslove obrade (oslanjanje, mašina, poluprečnik zaobljenja, stanje materijala, veličina po-habanosti i td.), C_v , x , y , z , C_{ra} , P , r , q konstante.

Praćenjem istovremeno veličine pohabanosti i kvaliteta, a preko statističke obrade dolazi se do jednačine (10) i (11). Pomoću ovih jednačina moguće je da se predviđi i proračuna kvalitet obrade i postojanost alata, kod projektovanja tehnologije. Za brže obavljanje proračuna sačinjeni su (za proračun u praksi) kolinearni monogrami (videti odeljak 4).

3. Ispitivanje obradljivosti u uslovima malih preseka strugotine domaćih materijala domaćim alatima od tvrdog metala

Za ispitivanje obradljivosti korišćena je metoda habanje, a praćen je i kvalitet obrade.

Pošlo se od modela datih sa (10) i (11).

Ispitivanja su izvedena sa optimalnom veličinom poluprečnika vrha [12] dok je radni predmet bio pritegnut na način kako je to dato na Sl. 2.

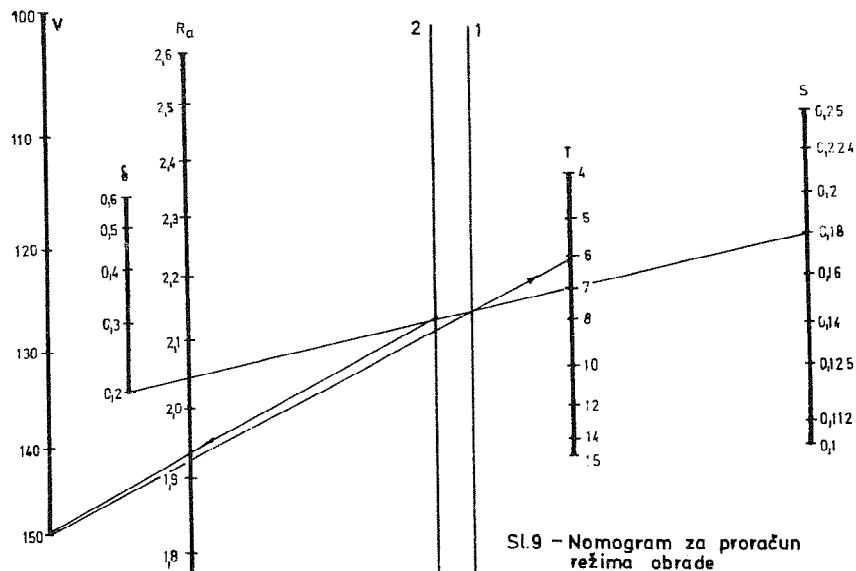
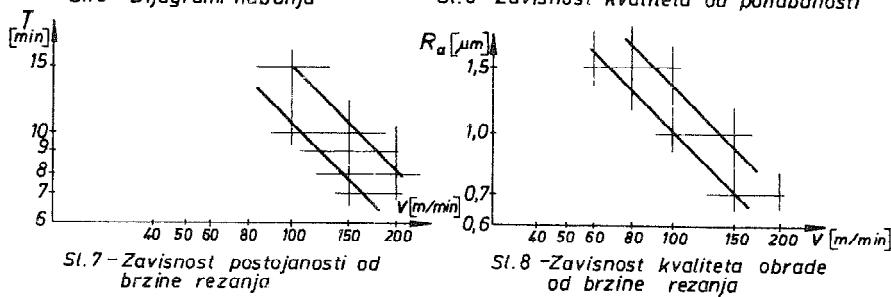
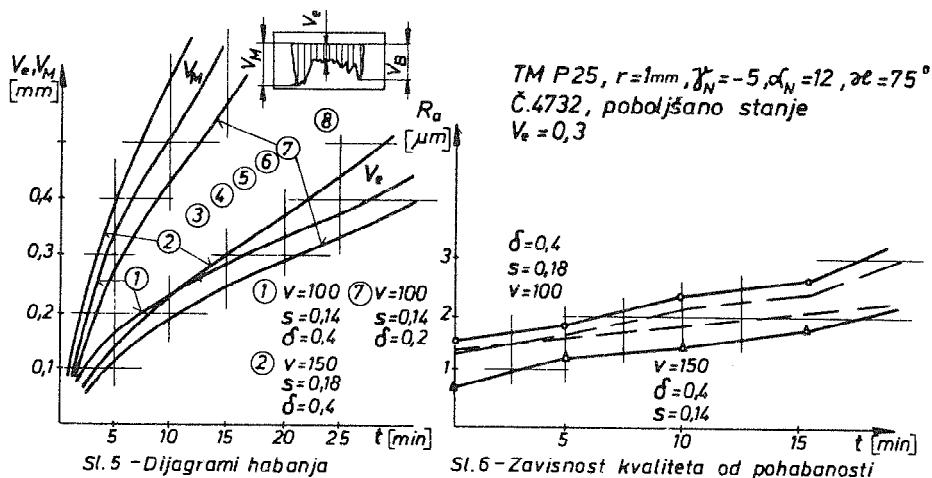
Ispitivanja su izvedena pri obradi konstrukcijskih čelika domaće proizvodnje (u ovom slučaju Č 4732).

Utvrđivanje veličina nekih popravnih faktora vršeno je ranije i dato u [12].

Detaljnije o uslovima ispitivanja videti u [10].

4. Eksperimentalni rezultati

Korišćenjem date eksperimentalne tehnike služeći se iz-



OR.7.8

netom metodom izvedeni su eksperimenti (Sl. 5 krive habanja, Sl. 6 kvalitet obrade, T-v i Ra-v krive Sl. 7 i 8) preko kojih se došlo putem statističke obrade do proširenog obrasca za brzinu rezanja i kvalitet obrade

$$v = \frac{80}{T^{0,685} \cdot \delta^{0,385} \cdot s^{0,752}} \quad R_a = \frac{37,8 \cdot \delta^{0,110} \cdot s^{0,185}}{v^{0,498}}$$

Na osnovu ovih jednačina konstruisanje nomogram za brzi proračun režima i kvaliteta u uslovima završne obrade Sl.9.

5. Zaključak

U vezi sa iznetim daju se ovi zaključci:

1. Završna obrada rezanjem na strugu je vrlo složen proces. Prisutno je udruženo dejstvo slučajnih i sistematskih faktora.
2. Način baziranja radnog predmeta bitno utiče na kvalitet obrade.
3. Kod različitih krutosti oslonaca radni predmet u toku obrade izvodi precesiono kretanje, što nepovoljno utiče na kvalitet.
4. Adekvatnost predloženih modela za brzinu i kvalitet proverena je statistikom Fišera [10]. Rezultati su korektni i mogu se u uslovima koji su navedeni da u praksi koriste.

Reference

- [1] Pekelharing, A.I., Schuerman, R.A. 1953 Tool Engg., vol 31, br. 4, str. 51 "Wear of Crbide Tools"
- [2] Pekelkaring, A.J. Schuermann, R.A. 1955 Werkstattst. Maschbau, vol 45, str. 49 "Der Verschleiss and den Nebenschneiden von Hartmetalldermheiseln und die erzeugte Oberflächenrauheit"
- [3] Pekelharing, A.J. 1959 CIRP Preprint "Finish Turing"
- [4] Peklenik, J. 1964 Annals of the CIRP, vol. 12, str. 173 "Contribution to the Theory of Surface Sharacterisation"
- [5] Peklenik, J. 1967 Annals of the CIRP, vol. 15, str. 381 "Investigation of the Surface Topology"

- [6] Paul-Heinz Brameretz, Deie Entstehung der Oberflachenrauheit beim Feindrehen, W. ind B., (1961) № 10
- [7] Šolaja, V. 1957a Zbornik MISAM, vol. 54, br. 7 str. 185 "Prilog proračunavanju problema pri završnoj obradi na strugu"
- [8] Šolaja, V. 1958 b Mašinstvo, vol. 7, str. 83 "Prilog studiji koncentrisanog habanja alata pri obradi čekanja na strugu"
- [9] Šolaja V., Prilog teoriji završne obrade na strugu, Elaborat 166/72 IAMA (1972)
- [10] Vukelja D., Tehnološka informacija za obradu na strugu, .V Simpozijum JUPITER, Beograd (1975)
- [11] Vukelja D., Uporedna analiza strugarskih noževa s obzirom na način pritezanja pločica od tvrdog metala Elaborat IAMA 166/72 Beograd (1972)
- [12] Vukelja D., Rezultati ispitivanja TM za izbor poluprečnika zaobljenja vrha pločice, Elaborat IAMA 282/75, Beograd, (1975)
- [13] Priručnik I IAMA, Režimi rezanja(kolektiv), Beograd (1969)

D. Vukelja

Turning of Yugoslav Steels under Conditions of Small Chip Cross-Section Area

The author describes the experimental results in turning Yugoslav brands of steel with Yugoslav cutting tools, under conditions of small chip cross-section area. A model is proposed for surface quality equivalent to that for cutting speed. A nomogram is proposed for practical use when conditions are present similar to those used in the author's experiments.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

B. Jeremić,*)

UTICAJ VRSTE TERMIČKE OBRADE NA OBRADIVOST ČELIKA PRI ČEONOM GLODANJU **)

1. Uvod

Potreba za sve većom racionalizacijom postupka obrade čelika rezanjem zahteva proučavanje uticaja različitih režima termičke obrade kao i metalurških faktora na poboljšanje obradivosti.

U okviru naučno istraživačkog projekta "RAZVOJ RADIOAKTIVNIH METODA ZA TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA NA ELEMENTIMA ALATA I MAŠINA" vršena su ispitivanja obradivosti čelika Č.7422 u izotermalno žarenom stanju sa različitim sadržajem sumpora. Razvoj radioaktivnih metoda za proučavanje procesa habanja, kao i mogućnost površinskog ozračivanja dela mase reznog elementa koji učestvuje u procesu rezanja, iskorisćeni su za uporedno definisanje obradivosti čelika Č.7422. Ovakav postupak ispitivanja, koji je razvila Laboratoriјa za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu treba da omogući brzo definisanje uticaja različitih stanja termičke obrade kao i metalurških faktora na obradivost konstrukcijskih čelika pri različitim režimima obrade.

2. Program i uslovi ispitivanja

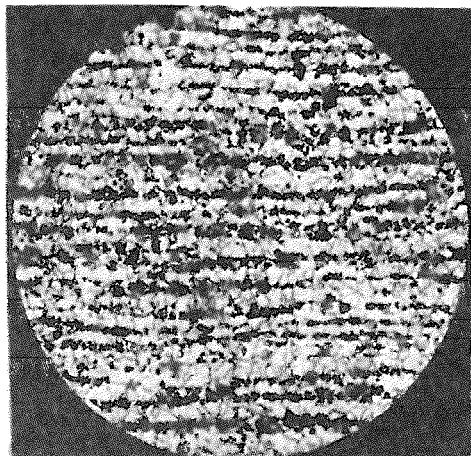
Programom je predviđeno ispitivanje obradivosti (radioaktivnim metodom) pri čeonom glodanju čelika Č.7422 koji je izotermalno žaren sa različitim režimima.

*) Branislav M. Jeremić, dipl. inž., asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, Ulica Sestre Janjića br. 6.

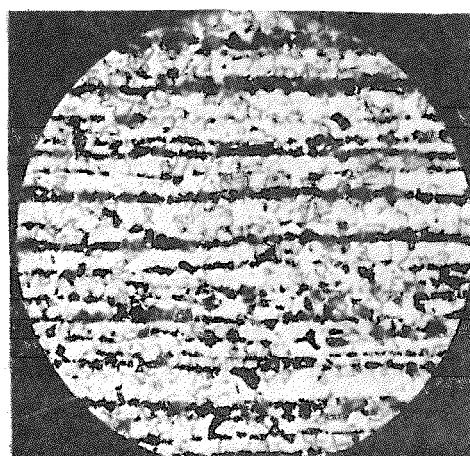
**) Saopštenje je proizašlo iz rada na naučno istraživačkom projektu "RAZVOJ RADIOAKTIVNIH METODA ZA TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA NA ELEMENTIMA ALATA I MAŠINA" u čijem finansiranju učestvuje više OOUR-a iz metaloprerađivačke industrije, Republička zajednica za nauku SR Srbije i Međunarodna agencija za atomsku energiju.

Tabela 1: Režimi izotermalnog žarenja

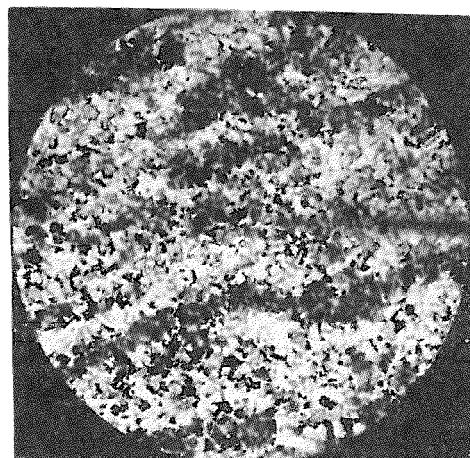
MATERIJAL Č.7422 0,02%SIZOTERMALNO ŽAREN					
Režim	Temperatura austenitizacije (°C)	Vreme austenitizacije (h)	Vreme hlađenja (min)	Temperatura izotermalnog preobražaja (°C)	Vreme izotermalnog preobražaja (h)
1.	940	2	20	640	2
2.	940	3	10	640	3
3.	940	4	20	640	4



Režim 1.



Režim 2.



Režim 3.

Sl. 1: Mikrostrukture otkovaka u izotermalno žarenom stanju (100 x)

OR.8.2

Na sl. 1 jasno se uočavaju različite trakavosti strukture u zavisnosti od prime-
njenog režima izotermalnog žarenja.

Osim toga pri ispitivanju analiziran je i uticaj sadržaja sumpora u čeliku
Č.7422 (0,01%S, 0,02%S i 0,03%S) na njegovu čvrstost.

Brzina rezanja pri izvođenju eksperimentalata kretala se u intervalu 110 ± 180
(m/min), korak od 0,09 (mm/z) do 0,14 (mm/z) a dubina rezanja je bila 2,5 mm.

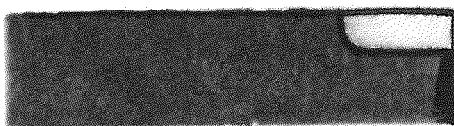
Širina rezanja iznosila je 90 (mm).

Kompletan program ispitivanja izведен je na univerzalnoj glodalici PGU-3 si-
stem HECKERT. Mašina je velike krutosti, ukupno instalisane snage od 10 (kw).

Kao alat upotrebljena je rezna glava firme "FAGERSTA BRUKS AB" prečnika
100 (mm) sa pločicom od tvrdog metala domaće proizvodnje ("SINTAL" iz Zagreba).

Ozračena pločica od tvrdog metala, dimenzija $12,7 \times 12,7 \times 3,18$ i kvaliteta
SV 30 učvršćena je na reznu glavu mehaničkim putem, pri čemu je rezna geometrija de-
finisana oblikom pločice i konstrukcijom rezne glave.

Ozračivanje pločice od tvrdog metala je izvršeno po ledjnoj površini na dužini
sečiva 3 (mm) i po širini od 1,1 (mm).



Sl. 2: Autoradiografski snimak pločice od tvrdog metala

Aktiviranje pločice je izvršeno u BIRMINGHAM-u u Velikoj Britaniji pod sle-
dećim uslovima:

- čestice snopa: protoni
- energija snopa: 10 MeV
- struja ozračivanja: $2,5 \mu A$
- vreme ozračivanja: 0,5 h

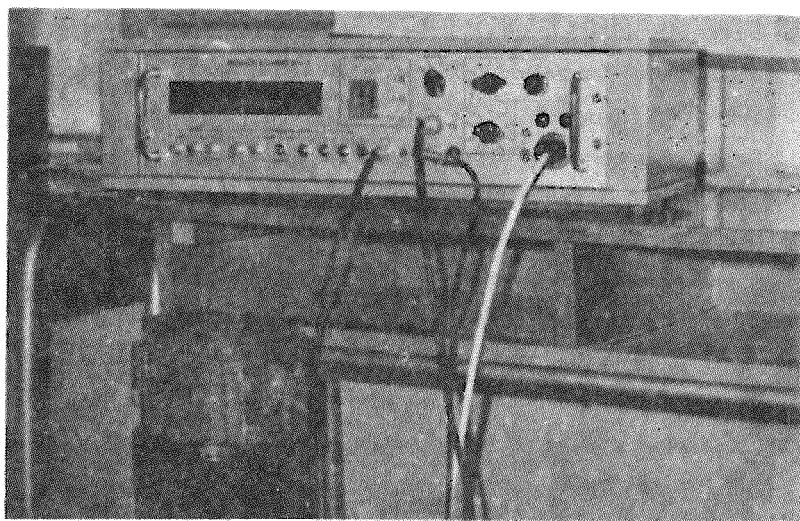
Pri pristupanju izvođenju eksperimentalnog programa izvršeno je skidanje kore-
kovanih epruveta sa neozračenom pločicom, kao i testiranje merne instrumentacije sa stan-
dardnim radioaktivnim izvorom.

U toku izvođenja opita posle određenog vremena rezanja ozračenom pločicom
a pri usvojenom režimu obrade merena je veličina pojasa habanja po ledjnoj površini uni-
verzalnim alatnim mikroskopom, a neposredno posle toga i ostatak radioaktivnosti ozračene

pločice.

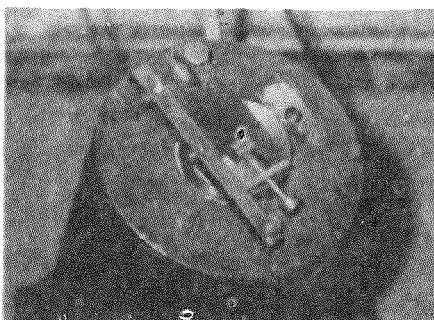
Za merenje radioaktivnosti korишćen je scintilacioni detektor i brojački komplet STV-1 izradjen u Institutu "Boris Kidrič" u Vinči.

Merni punkt je prikazan na slici 3.



Sl. 3: Punkt merenja

Posebna pažnja pri merenju radioaktivnosti pločice je posvećena zadržavanju iste geometrije merenja, pa je u tu svrhu konstruisan pomoći pribor (sl. 4) koji je fiksiran za nosač sonde.



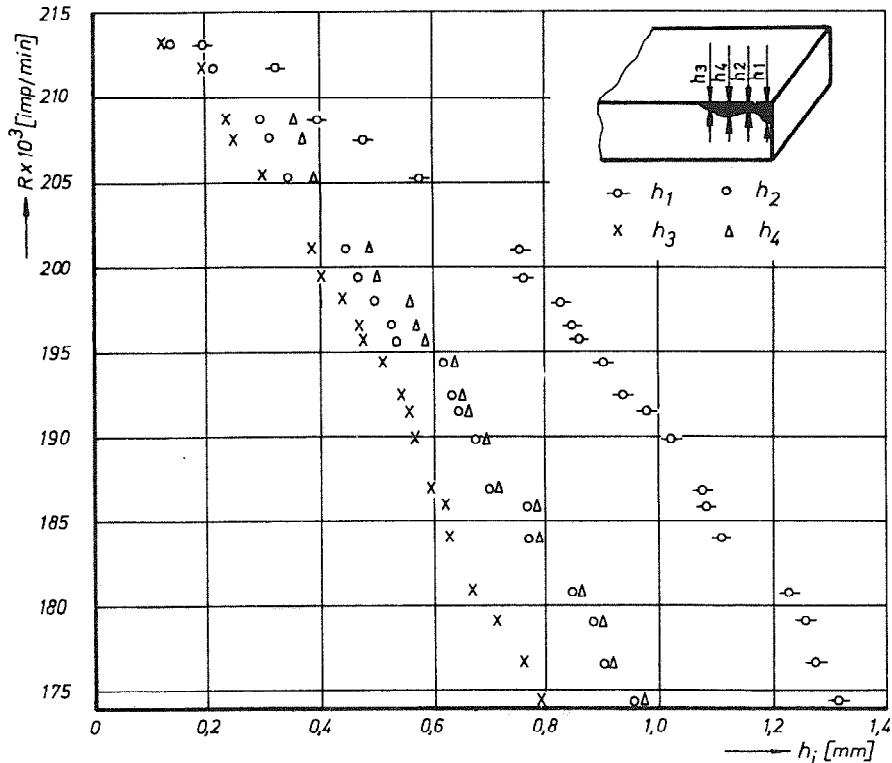
Sl. 4: Pločica od T.M. u steznom priboru

Pločica od tvrdog metala se uvek pri merenju ostatka radioaktivnosti posle rezanja postavljala u tačno određen položaj, tako da se ozračena površina oslanjala na čelo sonde.

OR. 8.4

3. Rezultati ispitivanja

U toku izvođenja opita uporednim merenjem parametara habanja na ledjnoj površini ozračene pločice i radioaktivnosti iste dolazi se do eksperimentalne zavisnosti $R = f(h_i)$ - sl. 5.

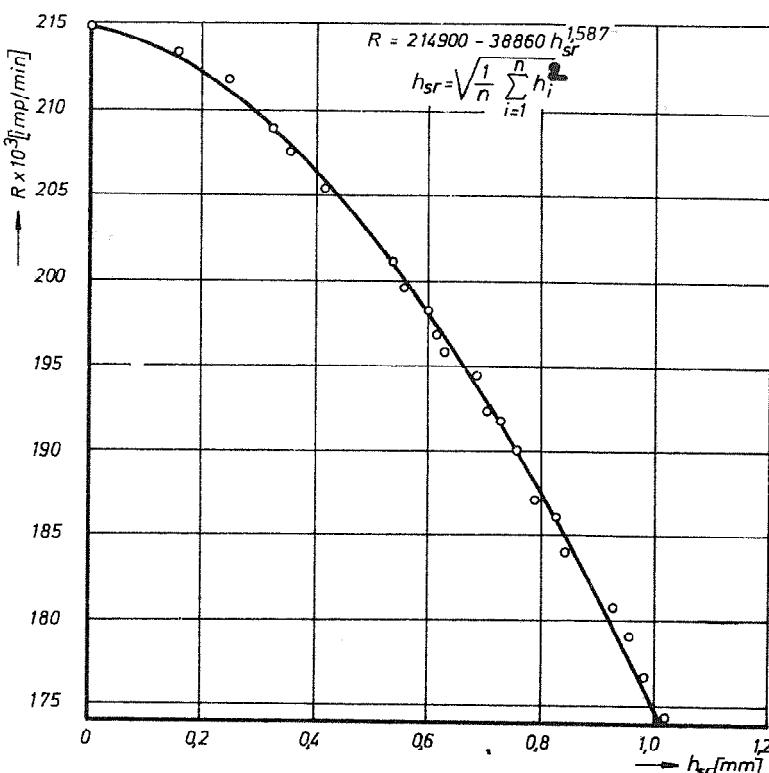


Sl. 5: Eksperimentalna zavisnost razvoja habanja pločice od promene radioaktivnosti

Merenjem karakterističnih vrednosti habanja na ledjnoj površini pločice od tvrdog metala može se izračunati srednja geometrijska vrednost pojasa habanja - h_{sr} .

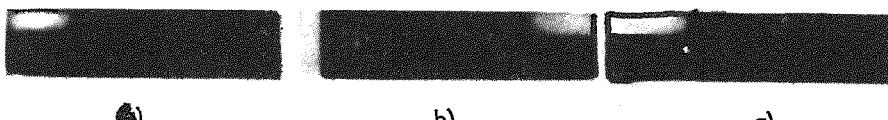
Primenom numeričke metode najmanjih kvadrata dobija se funkcionalna zavisnost $R = f(h_{sr})$ - sl. 6, koja omogućava proračun otpornosti reznog klina na habanje u svim opitnim operacijama.

Poznavanjem veličine otpornosti na habanje mogu se donositi zaključci o uporednom ispitivanju obradivosti različitih materijala.



Sl. 6: Funkcija $R = f(h_{SR})$

Autoradiografskim snimanjem ozračene pločice posle određenog vremena rezanja može se po leđnoj površini uočiti habanje – tamni trag (sl. 7).



Sl. 7: Autoradiografski snimci razvoja habanja pločice od T.M.

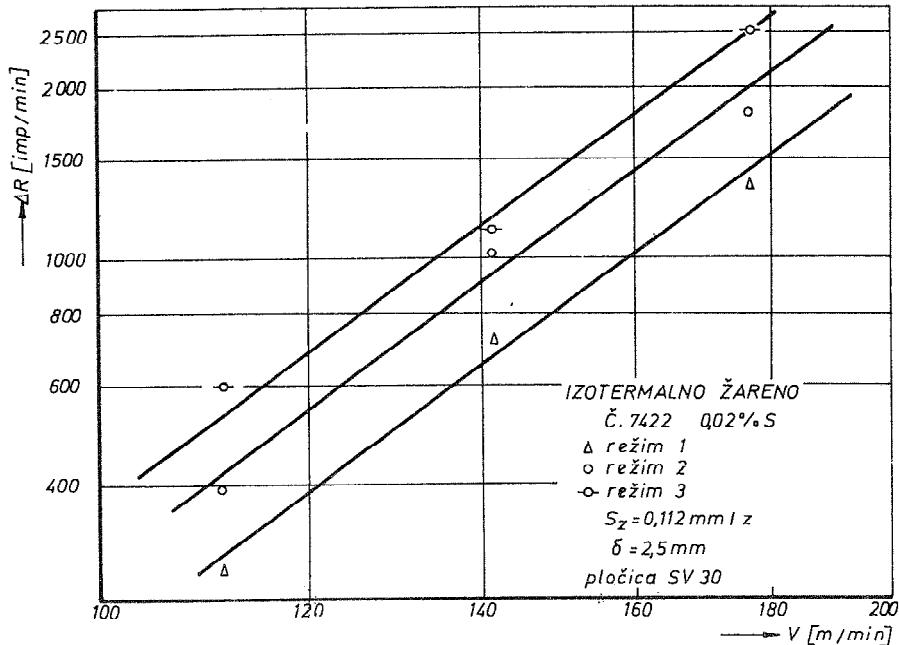
Na slici 7. je prikazano:

- a) autoradiograf pločice pre rezanja,

OR.8.6

- b) autoradiograf posle 20 (min) rezanja, i
 c) autoradiograf posle približno 60 (min) rezanja.

Pri ispitivanju uticaja režima izotermalnog žarenja na obradivost srednjii pojas habanja se povećao sa $h_{sr} = 0,5$ (mm) na $h_{sr} = 0,7$ (mm). Obradom podataka dobijenih eksperimentalno dolazi se do zavisnosti prikazane u logaritamskim koordinatama na slici 8.

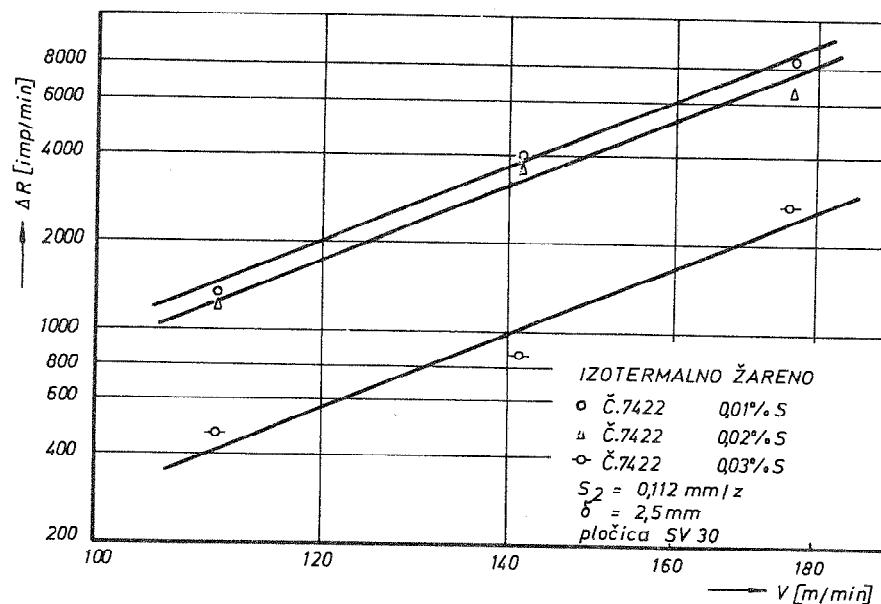


Sl. 8: Eksperimentalna zavisnost pada radioaktivnosti ploče od T.M. i brzine rezanja

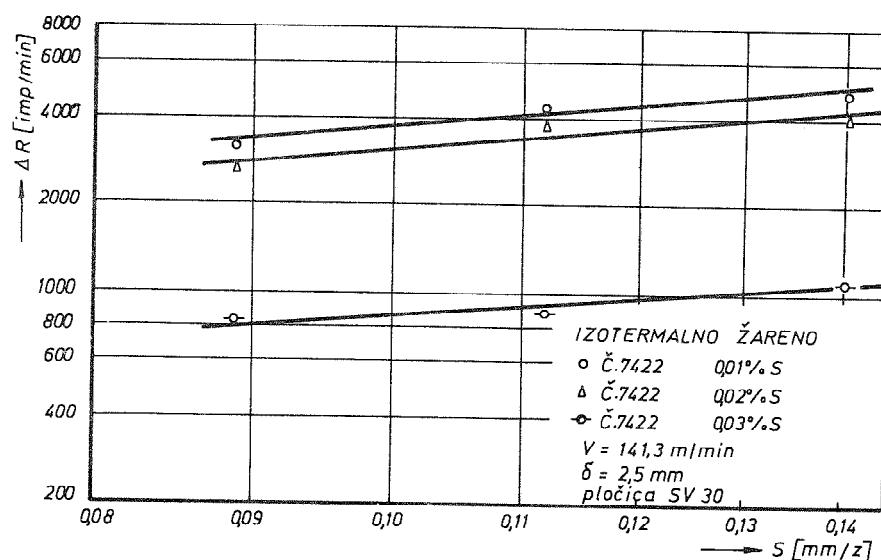
Može se uočiti da režim izotermalnog žarenja ima uticaja na intenzitet habanja alata. Pokazalo se da je najnepovoljnije stanje čelika Č.7422 za obradu ono koje je dobijeno izotermalnim žarenjem sa režimom 3.

Kod ispitivanja uticaja sadržaja sumpora na obradivost čelika Č.7422 može se izvući zaključak (sl. 9, sl. 10) da intenzitet habanja alata opada sa povećanjem procenta sumpora u ispitivanom čeliku. Razlog za ovo je izražajnija pojava sulfida koji smanjuju koeficijent trenja na kontaknu izmedju ledjne površine alata i obradjuваног materijala. Pri sagledavanju uticaja brzine rezanja i koraka na obradivost čelika Č.7422 pri različitom

sadržaju sumpora srednji pojas habanja se proširio sa $h_{sr} = 0,7$ (mm) na $h_{sr} = 0,9$ (mm).

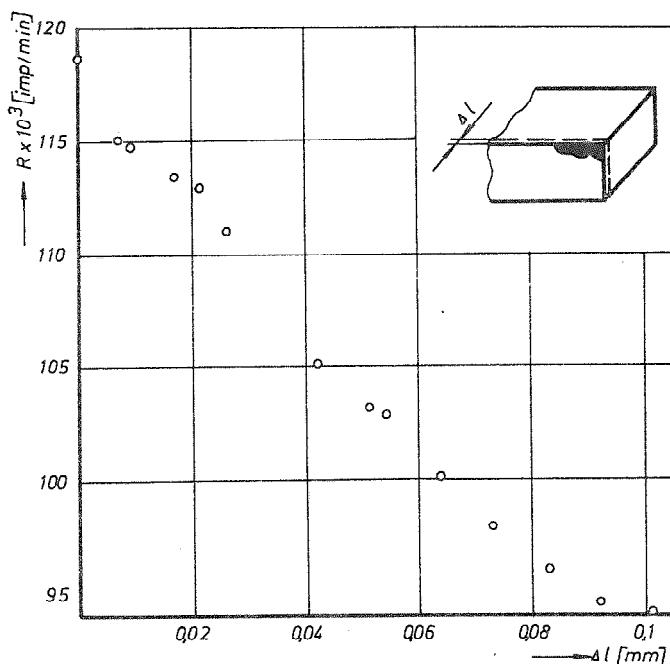


Sl. 9: Eksperimentalna zavisnost pada radioaktivnosti pločice od T. M. i brzine rezanja



Sl. 10: Eksperimentalna zavisnost pada radioaktivnosti pločice od T. M. i koraka

Uporedjivanjem eksperimentalnih rezultata prikazanih na slici 9. i sl. 10. uočava se da je veći uticaj brzine rezanja na habanje alata nego uticaj koraka, što potvrđuju i rezultati dobijeni pri klasičnim metodama ispitivanja obradivosti.



Sl. 11. Preoštrevanje ozračene pločice

Po završetku eksperimenta sa ozračenom pločicom pristupilo se preoštrevanju iste. Za ovo je primjenjen specijalni zaštitni boks u kome se nalazi dijamantska brusna pločica. Pločica stegnuta u pomoći pribor prislanjala se po habanom ledjnom površinom na dijamantsku brusnu ploču koja se obratila. Posle svakog oštrenja upoređeno su mereni radioaktivnost i debљina skinutog sloja Δl .

Na osnovu izmerenih vrednosti pri preoštrevanju formirana je eksperimentalna zavisnost $R = f(\Delta l)$, - sl. 11.

4. Zaključak

Na osnovu izloženih rezultata ispitivanja moguće je izvesti zaključke koji bi se ukratko sastoјali u sledećem:

1. Promena režima izotermalnog žarenja ima značajan uticaj na pad radioaktivnosti ozračene pločice. Pokazalo se da najveći uticaj na intenzitet habanja alata ima režim 3.
2. Sa smanjenjem sadržaja sumpora u čeliku Č.7422 povećava se pad radioaktivnosti pločice od T. M. a samim tim i intenzitet habanja.
3. Određivanjem uticaja brzine rezanja i koraka na pad radioaktivnosti pločice došlo se do zaključka kao kod klasične metode da veći uticaj ima brzina rezanja.

Reference

- [1] Ivković, B. Definisanje obradivosti konstrukcijskih materijala u radioničkim uslovima pomoću radioaktivnih izotopa. Zbornik saopštenja - VII savetovanje proizvodnog ministarstva. Novi Sad 1971.
- [2] Grupa autora: Eksploatacijske karakteristike čeonih glodala sa pločicama od tvrdog metala domaće proizvodnje. Elaborat br. 93/68 IAM.

B. Jeremić

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT ON STEEL MACHINABILITY AT FACE MILLING

Within the research project "Development of radioactive methods for tribological researches on elements of tools and machines" the machinability of isothermally annealed steel Č.7422 with various sulphur contents has been studied. The experiments were carried out at face milling with carbide blade which was irradiated on the clearance surface.

The conclusion is drawn that both various isothermal annealings and sulphur percentage greatly influence the machinability of the steel tested.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9-10. oktobra 1975. godine

D. Banjac*/

OBRADA POLIGONALNIH OTVORA BUŠENJEM - REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA**/

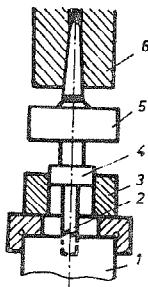
1. Uvod

U procesima izrade mašinskih delova i alata često se javlja potreba za obradom različitih poligonalnih otvora, najviše kvadratnih i šestougaonih. U pogonima metalopreradjivačke industrije obrada takvih površina izvodi se pomoću različitih metoda mašinske obrade, zavisno od konkretnih proizvodnih uslova [1]. Provalačenje i rendisanje, kao najčešće primenjivane metode, imaju ekonomski opravданu primenu samo u odredjenim proizvodnim uslovima. Zbog toga je potrebno ostale, retko korišćene, metode obrade približiti uslovima ekonomične eksploatacije i odrediti im oblast racionalne primene. Jedna od tih metoda je i obrada bušenjem na bušilici.

Obrada poligonalnih otvora na bušilici vrši se pomoću specijalnog pribora i alata (sl. 1). Na radnom predmetu 1 obradjuje se poligonalni otvor sa n strana pomoću alata za bušenje 2, takođe poligonalnog profila, ali sa $z=n-1$ strana i sa stranama čiji je presek u obliku kružnog luka. Alat se postavlja u vreteno mašine 6 putem plivajućeg stezača 5. Pri obradi vodjenje alata obezbeđuje njegov vodeći deo 4 i vodjica 3, koja ima identičan profil sa otvorom koji treba obraditi. Na radnom predmetu prethodno je izbušen otvor prečnika koji je jednak, ili nešto veći, prečniku upisanog kruga u poligonu koji se obradjuje ($d_o \geq s$).

*/ Dragan P. Banjac, dipl.inž., predavač Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, ul. Narodnog fronta br. 20;

**/ Radjeno u Mašinskom institutu Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu kao deo projekta ISTRAŽIVANJE KARAKTERISTIKA OBRADE POLIGONALNIH OTVORA BUŠENJEM u čijem finansiranju učestvuje Pokrajinska zajednica obrazovanja.



Slika 1. Šema uređaja za bušenje

Za obradu kvadratnih otvora ($n=4$) alat će biti profila trougla ($z=3$) sa stranama u obliku kružnog luka ($R=s$, sl. 2). U toku obrade proširivanja kružnog u kvadratni profil otvora, alat vrši glavno kružno i pravolinijsko pomoćno kretanje. Pored toga, alat vrši i dodatno poprečno kretanje, odredjeno relativnim kretanjem profila alata po profilu vodjice. Osa alata ne miruje pri obrtnom kretanju već vrši kretanje po trajektoriji koju obuhvataju radijusi $\rho_{\min} = 0,155 s/2$ i $\rho_{\max} = 0,164 s/2$. Trajektorija perifernih tačaka sečiva alata poklapa se sa profilom površine koji se u obradi dobija.

Brzina rezanja pojedinih tačaka sečiva alata, pri konstantnom broju obrtaja, menja se i po pravcu i po intenzitetu u toku jednog obrtaja [3]. Ta promena je periodična, tako da se u toku jednog obrtaja izvrše četiri identične promene, pri opisivanju putanje izmedju tačaka A, B, C i D (sl. 2). Najugroženije periferne tačke sečiva imaju promenu brzine kao na prikazanom dijagramu (sl. 3), dakle kretanje ima oscilatorni karakter. Jasno je da se ove promene moraju uzeti u obzir prilikom definisanja geometrije alata i pri izboru režima rezanja.

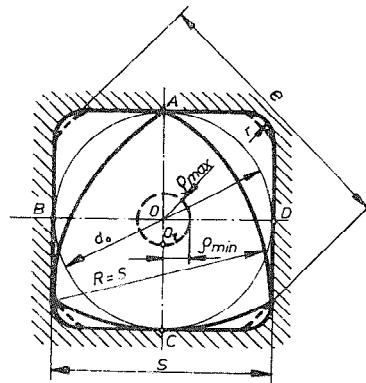
Karakteristično za ovaj metod obrade je da obradjeni kvadratni otvori na uglovima imaju relativno velike prelazne radijuse (sl. 2)

$$r = S(1 - \cos \frac{\pi}{6}) = 0,134 S,$$

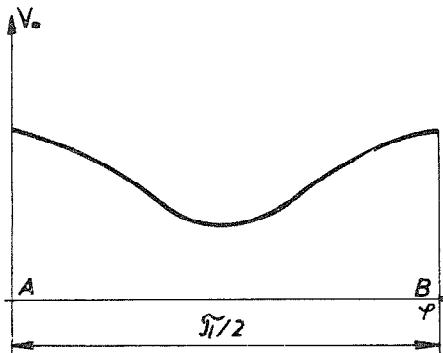
što ograničava prečnike četvrtki drški navvrednost

$$e \leq \sqrt{S^2 + (S-2r)^2} = 1,24 S.$$

Očigledno je da se ova metoda obrade poligonalnih otvora može realizovati sa relativno prostim i jeftinim priborom i alatom



Slika 2. - Odnos profila alata i vodjice



Slika 3. - Dijagram promene periferne brzine rezanja

U ovom radu se iznose delimični rezultati istraživanja za slučaj obrade kvadratnih otvora relativno malih dimenzija na uzorcima od sivog liva, sa prikazom rešenja pribora i alata.

U ovom radu se iznose delimični rezultati istraživanja za slučaj obrade kvadratnih otvora relativno malih dimenzija na uzorcima od sivog liva, sa prikazom rešenja pribora i alata.

2. Rešenje pribora i alata

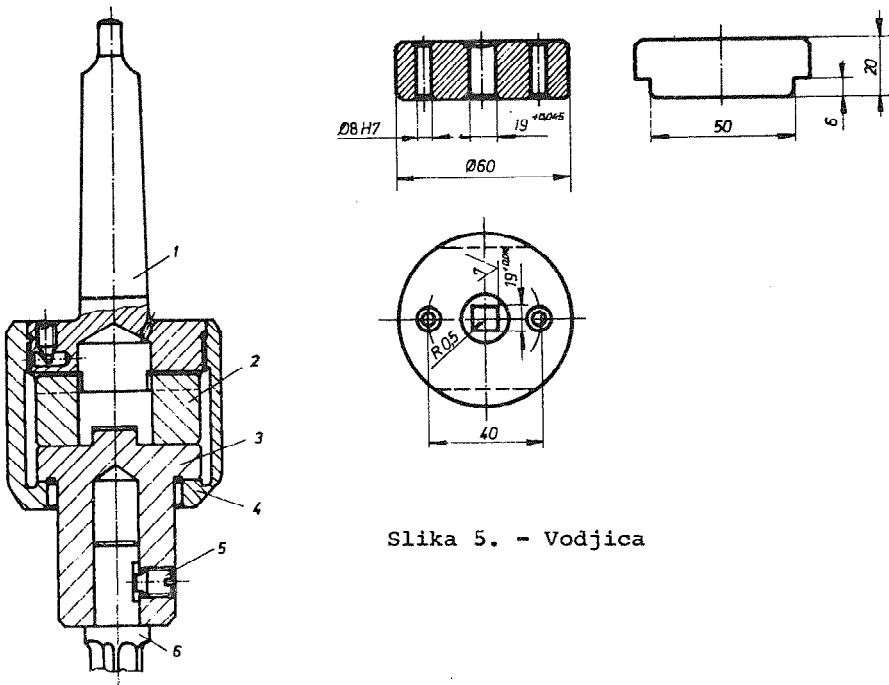
Projektovani i izradjeni pribor za potrebe istraživanja sastoји se od plivajućeg stezača i vodjice.

Plivajući stezač (sl. 4) je unificirane konstrukcije, sa potrebnim prilagodjavanjima mogućnostima efikasne izrade i mogućnošću prihvatanja alata više dimenzija. Ranije izloženi zahtev za poprečnim kretanjem ose alata ostvaren je kliznim sklopom, sa neznačnim otporima trenja.

Vodjica alata (sl. 5) izradjena je od čelika za cementaciju i prilagodjena mogućnosti lakog postavljanja na mašini u odnosu na radni predmet.

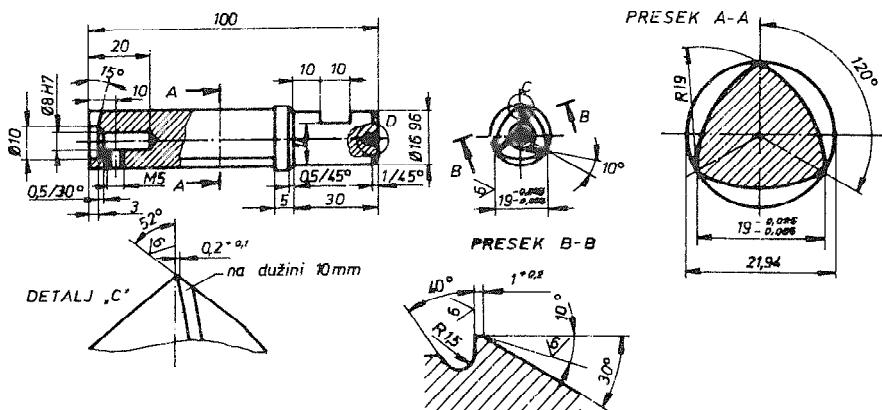
Alat (sl. 6) je izradjen u obliku upuštača, sa cilindričnom drškom i telom ranije definisanog profila. Izradjen je od brzoreznog čelika Č 7680 sa tvrdoćom 64 HRC. Za obradu SL16 usvojena je sledeća geometrija sečiva: grudni ugao $\gamma=0^\circ$, ledjni ugao $\alpha=10^\circ$, ugao nagiba sečiva $\lambda_1=-10^\circ$, ugao vrha $\phi=180^\circ$.

na svim standardnim bušilicama. S druge strane, za praktičnu primenu obrade bušenjem, pri obradi poligonalnih otvora, u literaturi nema dovoljno potrebnih informacija [2]. Zbog toga je u Mašinskom institutu FTN u Novom Sadu u toku realizacija projekta istraživanja obrade poligonalnih otvora bušenjem. U prvoj fazi projekta istražuju se karakteristike tačnosti obrade i režimi rezanja, pri obradi standardnih kvadratnih otvora (četvrtki za ručice, ručne točkove i alate) u laboratorijskim uslovima, na uzorcima od preporučenih konstrukcionih čelika i sivog liva.



Slika 5. - Vodjica

Slika 4.- Plivajući stezač
alata



Slika 6. - Alat

OR.9.4

3. Plan, uslovi i rezultati ispitivanja

U cilju utvrđivanja zavisnosti postojanosti alata i kvaliteta obradjene površine od režima rezanja eksperimenti su vršeni na bazi statističkog metoda planiranja eksperimenata [4].

Ispitivanja su vršena na radikalnoj bušilici SASS-Torino, Ø60 mm. Uzorci su bili od SL16 i na njima su obradjivani kvadratni otvori, strane S=19 mm i dužine 35 mm, sa prethodno izbušenim otvorima $d_o = 19$ mm. Obrada je vršena bez hladjenja.

Plan eksperimenta obuhvatio je 9 ispitivanja, kao kombinaciju po tri ekstremna nivoa brzine rezanja i pomaka:

$$\bar{V}_{\max} = 13,63 \text{ [m/min]} \quad (n=217 \text{ o/min}), \quad s_{\max} = 0,30 \text{ [mm/o]};$$

$$\bar{V}_{sr} = 10,36 \text{ [m/min]} \quad (n=165 \text{ o/min}), \quad s_{sr} = 0,20 \text{ [mm/o]};$$

$$\bar{V}_{\min} = 7,85 \text{ [m/min]} \quad (n=125 \text{ o/min}), \quad s_{\min} = 0,13 \text{ [mm/o]}.$$

U toku eksperimentalnog rada, pored habanja alata, vršena su merenja i tačnosti mera otvora i kvaliteta obradjene površine.

Za merenje pojasa habanja korišćen je univerzalni mikroskop.

Merenje hrapavosti površine vršeno je profilometrom-profilografom PERTH-O-METER, pri čemu su na uzorcima utvrđivane vrednosti parametara R_a - srednjeg odstupanja profila i R_{\max} - najveće visine neravnina.

Plan eksperimenata kao i dobijeni rezultati dati su u tab. 1. Pored utvrđene postojanosti alata, za pojedine eksperimente, date su vrednosti srednjeg odstupanja profila R_a i odstupanja mere otvora ključa ΔS . Za svaki eksperiment dat je broj merenja (n), srednja vrednost (\bar{R}_a , $\bar{\Delta S}$), standardno odstupanje (σ) i greška srednje vrednosti (E), kao osnovni statistički parametri posmatranih uzoraka.

Pošlo se od poznatih matematičkih modela zavisnosti postojanosti alata T i kvaliteta obradjene površine (posmatranog preko parametra R_a) od brzine rezanja (V) i pomaka (s) oblika

$$T = C_V V^{a_1} s^{a_2}, \quad (1)$$

$$R_a = C_R V^{b_1} s^{b_2}. \quad (2)$$

Odredjivanje konstanti C_v i C_R i eksponenata a_1 , a_2 , b_1 i b_2 izvršeno je korišćenjem metode najmanjih kvadrata i matrične algebre, dok je statistička ocena tačnosti dobijenih jednačina vršena preko testa Fishera.

TABLICA 1. REZULTATI EKSPERIMENTA

BROJ EKSPERIMENTA	PLAN EKSPERIMENTA						REZULTATI MERENJA									
	n o/min.	v m/min	s mm/o	KODOVI			POSTOJANO kom.	Ra [μm]				ΔS [μm]				
				x_0	x_1	x_2		$min.$	n_R	\bar{R}_a	δ_{R_a}	E_{R_a}	n_S	$\bar{\Delta S}$	δ_S	E_S
1	125	7,85	0,13	+1	-1	-1	41	88	25	1,74	0,47	0,09	28	32	14,7	2,8
2	165	10,36	0,13	+1	0	-1	32	52	14	2,0	0,5	0,1	28	55	11,4	2,2
3	217	13,63	0,13	+1	+1	-1	18	22	14	1,54	0,44	0,12	14	53	7	2
4	125	7,85	0,20	+1	-1	0	96	134	43	1,14	0,44	0,07	56	50	15	2
5	165	10,36	0,20	+1	0	0	14	15	14	1,51	0,35	0,09	14	51	8	2
6	217	13,63	0,20	+1	+1	0	37	30	22	1,63	0,38	0,08	37	21	9	2
7	125	7,85	0,30	+1	-1	+1	10	9,3	10	1,3	0,57	0,18	11	80	19	6
8	165	10,36	0,30	+1	0	+1	58	41	32	0,9	0,35	0,06	36	80	8	2
9	217	13,63	0,30	+1	+1	+1	72	38,7	32	1,75	0,43	0,08	31	57	9	2

Logaritmovanjem jednačina (1) i (2) dobijaju se linearne veze oblika

$$Y_T = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2, \quad (3)$$

$$Y_R = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (4)$$

gde su, zbog jednostavnijeg rada sa matričnim jednačinama, uvedene kodirane vrednosti promenljivih (za date nivoe brzina i pomaka vrednosti su datu u tabeli 1) prema izrazima

$$x_1 = \frac{2(\ln V - \ln V_{\max})}{\ln V_{\max} - \ln V_{\min}} + 1, \quad (5)$$

$$x_2 = \frac{2(\ln s - \ln s_{\max})}{\ln s_{\max} - \ln s_{\min}} + 1. \quad (6)$$

Koeficijenti linearnih jednačina (3) i (4) određeni su navedenim postupkom i dobijene su korelacione jednačine u logari-

tamskim koordinatama

$$Y_T = 4,38523 - 0,880689 x_1 - 0,765629 x_2 \quad (7)$$

$$Y_R = 0,99465 + 0,32224 x_1 - 0,38482 x_2. \quad (8)$$

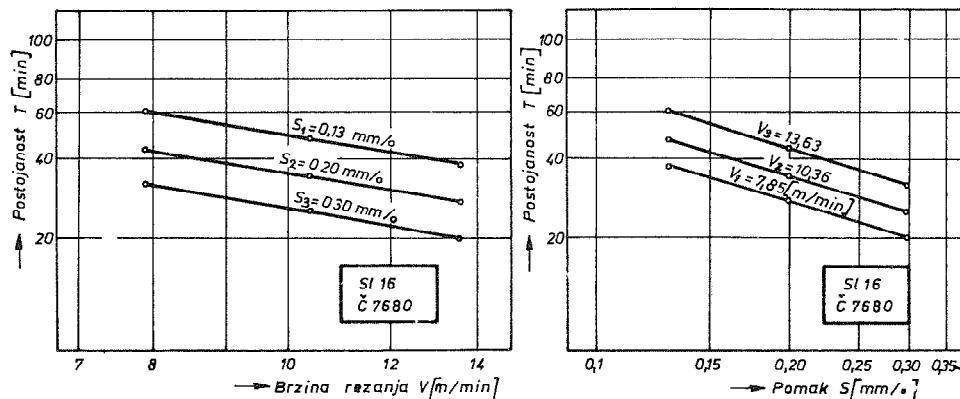
Zamenom i potrebnim uprošćenjima zavisnost postojanosti i srednjeg odstupanja profila od režima rezanja definiše se sledećim jednačinama:

$$T = \frac{80,26}{V^{0,881} S^{0,766}} \quad (9)$$

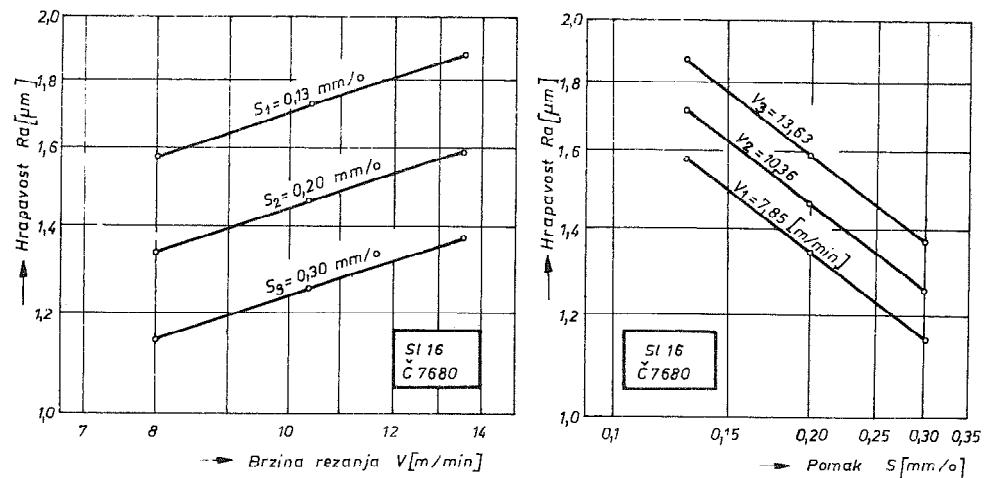
$$R_a = \frac{0,37 V^{0,322}}{S^{0,385}} \quad (10)$$

Utvrđeno je, određivanjem koeficijenata korelacije i primenom testa Fishera, da su, za praktičnu primenu, ove korelace veze značajne jačine i pouzdanosti.

Grafička interpretacija dobijenih rezultata prikazan je dijagramima na sl. 7 i sl. 8.



Slika 7. - Zavisnost postojanosti alata T od režima rezanja



Slika 8. - Zavisnost hrapavosti površine R_a od režima rezanja

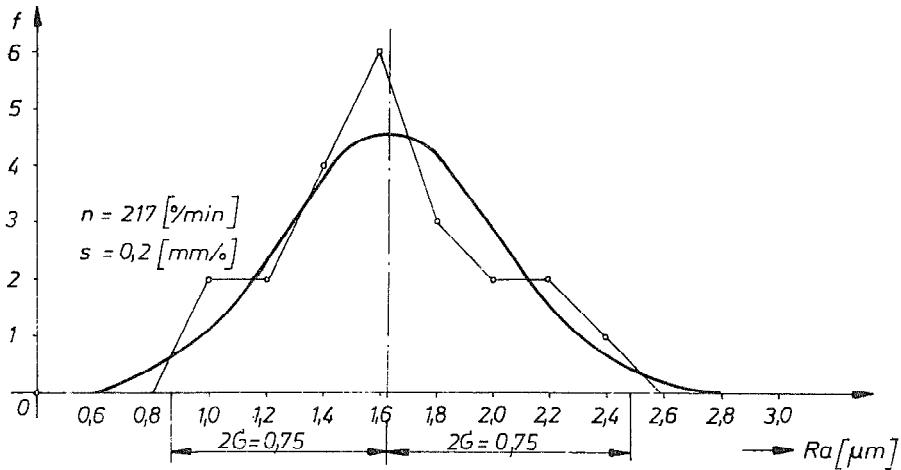
4. Analiza dobijenih rezultata

Za posmatrani interval brzina rezanja i pomaka očigledan je relativno visok nivo postojanosti sečiva alata. Međutim, pokazalo se da uobičajeni kriterijum postojanosti, širina pojasa habanja na ledjnoj površini sečiva, u slučaju ovakve obrade, sa izvesnim oscilatornim kretanjem alata, može dati povoljne rezultate samo u slučaju obrade mekših materijala, kao što je ovde slučaj. U drugim slučajevima neophodno bi bilo izmeniti geometriju alata, usvojiti odgovarajući manji ugao vrha alata ($\varphi < 180^\circ$), a za kriterijum habanja usvojiti tehnološki kriterijum (npr. lom vrha sečiva).

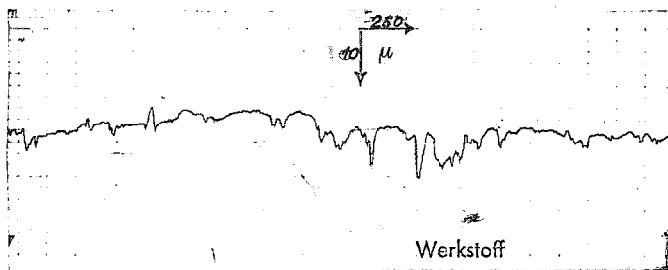
Isto tako, značajnije povećanje brzine rezanja i pomaka ograničeno je pojavom vibracija.

Visoki kvalitet obradjene površine, u odnosu na zahteve standarda, dobijen u ovim ispitivanjima i definisan pouzdanom jednačinom (10), govori u prilog mogućnosti efikasne primene ovog metoda pri obradi poligonalnih otvora. Provereni interval poverenja jednačine (10) garantuje mogućnost postizanja kvaliteta površine u klasi 9, što se takodje može videti i iz dijagrama raspodele R_a , npr. za eksperiment br. 6 (tab. 1) prikazanog na sl. 9.

Opadanje hrapavosti sa povećanjem pomaka (sl. 7) i relativno visoko rasipanje (za 0,95 verovatnoće oko 1,5 μm , sl. 9) može se objasniti naknadnim zaravnavanjem neravnina površine klijanjem profila tela alata po obradjenoj površini, što pokazuje i snimak profila površina na sl. 10.



Slika 9. - Rasipanje srednjeg otstupanja profila R_a za eksperiment br. 6



Slika 10. - Profil obradjene površine

Dobijena tačnost dimenzija obradjene površine nekoliko puta je veća od zahtevane po standardima. Dok se za četvrtke mašinskih delova i alata otvor ključa S zahteva u toleranciji IT12-IT13, dobijene vrednosti grešaka su mnogo manje, ispod 0,08 mm (tab. 1).

5. Zaključak

U vezi sa iznetim mogu se izvući sledeći zaključci:

1. Dobijeni rezultati ispitivanja tačnosti obrade, kvaliteta obradjene površine i režima rezanja garantuje mogućnost efikasne primene obrade poligonalnih otvora bušenjem.

2. Utvrđeni i predloženi izrazi za zavisnost postojanoosti alata i kvaliteta obradjene površine od režima rezanja omogućavaju izbor merodavnih i pouzdanih režima rezanja.

3. Metodi statističkog planiranja i obrade eksperimenta omogućiće da se u daljim istraživanjima obrade poligonalnih otvora bušenjem brzo dodje do pouzdanih rezultata.

Reference

- [1] Banjac, D., Metode obrade kvadratnih otvora, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, 10 (1975)
- [2] Spravočnik metalista, Tom 5, Moskva (1959)
- [3] Zlokolica, M., Kinematika alata za bušenje poligonalnih otvora, Mašinstvo 6, (1975)
- [4] Kocev, P.G., Statističeskie metodi issledovania režuščego instrumenta, Mašinostroenie, Moskva (1968)

Д. Баняац

ОБРАБОТКА ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ОТВЕРСТИЙ СВЕРЛЕНИЕМ – РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе изложены кинематические характеристики обработки полигональных отверстий сверлением и результаты экспериментального исследования возможности достижения точности обработки, качества обработанной поверхности и стойкости инструмента при различных режимах резания. В случае обработки квадратных отверстий на обрасцах из серього чугуна, на основе статистической обработки экспериментальных данных утверждена зависимость стойкости и качества обработанной поверхности от режимов резания и указано на возможность выбора найвыгоднейшего режима разрезания и рационального применения метода обработки.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

S. Sekulić*/

PRIMENA DIMENZIONE ANALIZE NA ODREDJIVANJE ZAVISNOSTI
IZMEDU GLAVNOG OTPORA REZANJA I PRIMARNIH UTICAJNIH
FAKTORA**/

1. Uvod

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

Pri obradi rezanjem, krajem prošlog veka pa do današnjih dana, vršeni su pokušaji da se sile pri rezanju odrede teorijskim putem polazeći od osnovnih prepostavki klasične mehanike. Međutim, može se dati opšti zaključak da su vrednosti dobivenih veličina za sile rezanja, primenom izvedenih obrazaca, vrlo različite. Navedimo najznačajnije istraživače: I.A. Time (1870), Treska (1873), Afanasjev (1883), Gausner (1892), Zvorikin (1893), Briks (1896), i noviji, Merchant (1942), Huks (1951), Loladze (1952), Kronenberg (1957).

Sredinom prve polovine ovog veka pa do današnjih dana razvijen je vrlo veliki broj dinamometara za merenje otpora rezanja zasnovanih na raznim principima (mehanički, hidraulični, pneumatski, induktivni, sa mernim trakama, piezoelektrični).

Danas se sile pri rezanju najčešće određuju iz obrazaca dobivenih grafoanalitičkom obradom podataka dobivenih merenjem pomoću dinamometara, a brojčane vrednosti dobivene pomoću njih, u većini slučajeva mogu da posluže za dovoljno tačnu procenu veličine otpora rezanja.

*/ Sava Sekulić, dipl. inž., vanredni profesor Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, Akademska 3.

**/ Radjeno u Mašinskom institutu Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu kao deo teme pod istim nazivom u čijem je finansiranju učestvovala Pokrajinska zajednica za naučni rad u Novom Sadu.

Obično se koristi Kronenberg-ov izraz za glavni otpor rezanja pri obradi na strugu u zavisnosti od preseka strugotine $A = \delta \cdot s$ u obliku

$$F_1 = k_s \cdot A = \frac{C_k}{\sqrt{\epsilon_k A}} A = C_k \cdot A^{1 - \frac{1}{\epsilon_k}}$$

U novije vreme glavni otpor rezanja se određuje iz proširennog obrasca

$$F_1 = C_{k_1} \cdot \delta^{x_1} \cdot s^{y_1}$$

gde vrednosti C_k i C_{k_1} zavise od materijala radnog predmeta i grudnog ugla noža γ , a ϵ_k , x_1 i y_1 od materijala radnog predmeta.

U drugoj četvrtini ovog veka činjeni su pokušaji da se glavni otpor rezanja odredi na osnovu plastičnih osobina materijala radnog predmeta. Međutim, i ovde se mora zaključiti, da je opisivanje pojave rezanja nedovoljno pa su vrednosti dobivene po ovim obrascima redovno niže od izmerenih vrednosti. Iz ove oblasti poznati su radovi: Rejtō-a (1927), Kuznjecova (1941), Krivouhova (1944).

U nastavku ćemo ukratko prikazati primenu politropskog zakona, koji važi u plastičnoj oblasti, na određivanje veličine napona sabijanja u strugotini, a koji se odnosi na sabijanje cilindričnih i prizmatičnih uzoraka (kvadratnog i pravougaonog poprečnog preseka), razne vitkosti (odnosa visine h_o i d_o uzorka pre opterećenja).

Jednačina politrope glasi

$$F_o \cdot h_o^m = F \cdot h_o^m = C = \text{const.}$$

gde je F_o sila na početku plastičnog sabijanja, koja odgovara početnoj visini uzorka h_o i F sila plastičnog sabijanja kojoj odgovara visina uzorka $h < h_o$ i eksponent politrope $m = f(h_o/d_o)$.

Prema Kuznjecovu otporu rezanja se može odrediti direktno iz politropskog zakona sabijanja. Rešavanjem jednačine politrope po F dobijamo za силу u toku plastičnog sabijanja

$$F = F_o \left(\frac{h}{h_o} \right)^m$$

pri čemu se sila na početku plastičnog sabijanja može izraziti kao

$$F_o = \sigma_o \cdot A_o$$

gde je σ_0 napon na početku plastičnog tečenja i $A_0 = a \cdot b$ početni poprečni presek uzorka.

Zamenom F_0 u jednačinu za F dobijamo

$$F = \sigma_0 \cdot A_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^m$$

Identificujući proces sabijanja uzorka, u plastičnoj oblasti sa procesom sabijanja u strugotini, pri čemu se izjednačuje poprečni presek uzorka A_0 sa presekom strugotine $a \cdot b$ (gde je a debljina a b širina strugotine) i odnos h/h_0 sa faktorom sabijanja strugotine $\lambda = h_0/h$ za glavni otpor pri rezanju se dobija sledeći obrazac

$$F_1 = \sigma_0 \cdot a \cdot b \cdot \lambda^m$$

Primenjujući politropski zakon pri sabijanju na obradu na strugu Krivouhov dobija složeniju formulu za glavni otpor rezanja pri struganju u obliku

$$F_1 = \frac{\sigma_0 \cdot s \cdot \lambda^m \cdot R}{(\lambda-1)(m-1)} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\frac{\delta(\lambda-1)}{R} + 1 \right]^{m-1}} \right\}$$

gde je $R = D/2$ spoljašnji radius radnog predmeta i δ dubina rezanja za $R = \infty$ tj. pri obradi ravnih površina poslednja jednačina se javlja u prividno neodredjenom obliku ~ 0 . Primenom lopitalovog pravila iz nje se dobija prethodna jednačina kao specijalni slučaj. U slučaju da se žele tačnije vrednosti veličine otpora rezanja mora se primeniti dinamometarska metoda, odn. mora se izvršiti mereњe.

Da bi se dao prilog odredjivanju otpora pri rezanju prišlo se primeni dimenzione analize na odredjivanje glavnog otpora rezanja u zavisnosti od primarnih uticajnih faktora, dok su ostali uticaji sadržani u koeficijentu čija se zavisnost pri konkretnim uslovima obrade određuje eksperimentalno.

Napomenimo da je na probleme rezanja dimenzione analize do sada primenjena u dva slučaja: 1° na odredjivanje temperature alata i 2° zavisnosti postojanost - brzina rezanja.

2. Primena dimenzione analize na glavni otpor pri rezanju

Na osnovu dosadašnjih ispitivanja istaknimo da glavni otpor rezanja zavisi od: napona plastičnog sabijanja u strugotini σ , i elemenata preseka strugotine $A = \delta \cdot s$ dubine rezanja δ i pomaka s , tj.

$$F_1 = f(\sigma, \delta, s) \quad (1)$$

Razvijanjem gornje funkcije u red oblika

$$F_1 = \sum A_i \sigma^x \cdot \delta^y \cdot s^z \quad (1')$$

mora biti zadovoljen uslov

$$\text{Dim}[F_1] \equiv \text{Dim}[\sigma^x \delta^y s^z] \quad (1'')$$

Osnovne, opšte, veličine potrebne za primenu dimenzionalne analize pri određivanju zavisnosti glavnog otpora rezanja su:

[L] - dužina

[M] - masa

[S] - vreme

Izvedene, posebne, veličine (iz opštih) imaju sledeće dimenzije

[F] = [LMS⁻²] - sila

[σ] = [L⁻¹MS⁻²] - napon

[δ] = [L] - dubina rezanja

[s] = [L] - pomak

Zamenom izvedenih (posebnih) veličina u dimenzionalni identitet

(1') dobijamo

$$[LMS^{-2}] \equiv [L^{-1}MS^{-2}]^x [L]^y [L]^z \quad (1''')$$

Izjednačavanjem eksponenata istih osnova sa leve i desne strane identiteta dobijamo sledeći sistem linearnih jednačina

$$1 = -x + y + z$$

$$1 = x$$

$$-2 = -2x$$

čija su rešenja

$$x = 1$$

$$z = 2 - y$$

Zamenom u (1'') se dobija za glavni otpor rezanja

$$F_1 = \sum A_i \sigma \delta^y s^{(2-y)} \quad (1'')$$

tj.

$$F_1 = \sum A_i \cdot \sigma \cdot \left(\frac{\delta}{s}\right)^y \cdot s^2 \quad (1'')$$

Ako uvedemo koeficijent vitkosti strugotine $g = \delta/s$ to za glavni otpor rezanja dobijamo

$$F_1 = \sum A_i \sigma \cdot s^2 g^y \quad (1'')$$

iz čega sledi da je $\sum A_i \cdot g^Y = f(g)$. Označimo li $f(g) = B$ izraz za glavni otpor rezanja dobija vid

$$F_1 = B\sigma s^2; \quad B = f(g) \quad (2)$$

Posmatrajući poslednji obrazac možemo zaključiti da veličina glavnog otpora rezanja zavisi od plastičnih osobina materijala radnog predmeta, odn. od napona sabijanja u strugotini i elemenata preseka strugotine.

Da bismo odredili glavni otpor rezanja iz (2) $F_1 = B\sigma s^2; B=f(g)$ moramo poznavati napon sabijanja σ u strugotini i zavisnost $B=f(g)$ u analitičkom ili grafičkom obliku, koji odgovaraju uslovima rezanja, a koja se dobija eksperimentalno.

Vrednost veličine napona sabijanja u strugotini, kao što je ranije izneto, može se odrediti iz politropskog zakona, koji će biti primenjen na dve varijante izvodjenja obrasca za glavni otpor rezanja pri obradi na strugu.

2.1 Prva varijanta izvodjenja obrasca za glavni otpor rezanja

Uslov jednakosti zapremine pre i posle sabijanja u plastičnoj oblasti

$$V_o = A_o \cdot h_o = V = A \cdot h \quad (3)$$

daje

$$\frac{A}{A_o} = \frac{h_o}{h} = \lambda \quad (3')$$

faktor sabijanja λ kao odnos površina poprečnog preseka posle i pre sabijanja, odn. kao odnos visine uzorka pre i posle sabijanja.

Kako je iz jednačine politrope

$$\frac{F}{F_o} = \left(\frac{h_o}{h} \right)^m = \lambda^m \quad (4)$$

to množenjem leve strane dva puta sa jedinicom dobijamo

$$\frac{F}{F_o} \left(\frac{A_o}{A_o} \frac{A}{A} \right) = \frac{\sigma}{\sigma_o} \frac{A}{A_o} = \frac{\sigma}{\sigma_o} \lambda \quad (4')$$

Iz jednačavanjem desnih strana iz (4) i (4') dobijamo za napon sabijanja u plastičnoj oblasti

$$\sigma = \sigma_o \cdot \lambda^{m-1} \quad (4'')$$

Identificujući napon pri plastičnom sabijanju sa naponom u strugotini, možemo zameniti (4'') u (2) pa dobijamo

$$F_1 = B \cdot \sigma_o \cdot \lambda^{m-1} \cdot s^2 \quad (5)$$

Iz gornje jednačine je

$$B = \frac{F_1}{\sigma_o \cdot \lambda^{m-1} \cdot s^2} = f(g) \quad (5')$$

koju zavisnost treba odrediti eksperimentalno rezanjem. Kada je poznata zavisnost $B = f(g)$ to za odredjenu vrstu materijala radnog predmeta je poznata vrednost $\sigma_{o,2} = \sigma_o = k_o$. Pri odredjenom režimu obrade rezanjem, izvršimo kratki opit i odredimo faktor sabijanja strugotine λ , npr. iz obrasca

$$\lambda = \frac{G_s}{\delta \cdot s \cdot \gamma \cdot l_s}$$

gde je G_s težina dela (komada), i l_s dužina istog dela strugotine i γ specifična težina strugotine.

Ako, pored toga, usvojimo za čelične materijale eksponent politrope $m = 1,25$, koju pri rezanju preporučuje Kuznjecov, to imamo sve potrebne podatke neophodne za proračun glavnog otpora pri rezanju čeličnih materijala.

Valja napomenuti da $B = f(g)$ odgovara odredjenim uslovima obrade, koji se prvenstveno odnose na geometriju alata i primenu sredstva za podmazivanje i hladjenje.

2.2 Druga varijanta izvodjenja obrasca

Jednačina politrope $F.h^m = C$ posle deobe sa površinom poprečnog preseka, koja odgovara visini uzorka nakon opterećenja h daje

$$\frac{F}{A} h^m = \sigma \cdot h^m = \frac{C}{A} \quad (4'')$$

Kako je zapremina uzorka posle sabijanja $V = A \cdot h$ to je $A = V/h$.

Zamenom gornje vrednosti u (4'') i rešavanjem ove po σ dobijamo za napon sabijanja

$$\sigma = C_1 \cdot h^{1-m} \quad (4''')$$

gde je

$$C_1 = \frac{C}{V} = \text{const.}$$

Kako je, npr., pri uzdužnoj obradi na strugu dužina elementa strugotine, pri određenoj dubini rezanja δ i napadnom uglu noža κ , proporcionalna pomaku tj. $h = C_2 \cdot s$; $C_2 = \text{const.}$ to će se za napon sabijanja u strugotini dobiti

$$\sigma = B_1 \cdot s^{1-m} \quad (4''')$$

gde je $B_1 = C_1 \cdot C_2^{1-m} = \text{const.}$ Zamenom (4'') u (2) dobijamo

$$F_1 = B_2 \cdot s^{3-m} \quad (6)$$

pri čemu je $B_1 = B_2 = f(g)$ jer je $B = f(g)$ i $B_1 = \text{const.}$

OR.10.6

Iz (6) sledi da je

$$B_2 = \frac{F_1}{s^{3-m}} = f(g) \quad (6')$$

Stavimo li da je B_2 proporcionalno sa koeficijentom vitkosti strugotine g tj. $B_2 = B_0 \cdot g$ pri čemu je $B_0 = \text{const.}$ dobija se za glavni otpor rezanja

$$F_1 = B_0 \cdot g \cdot s^{3-m} \quad (7)$$

Zamenom koeficijenta vitkosti odnosom $g = \delta/s$ u poslednji izraz, dobijamo za glavni otpor rezanja

$$F_1 = B_0 \cdot \delta \cdot s^{2-m} \quad (7')$$

Ako i ovde, kao i u predhodnoj varijanti, usvojimo preporučenu vrednost eksponenta politrope $m = 1,25$, koja odgovara pri rezanju čeličnih materijala, to se konačno dobija za glavni otpor rezanja pri obradi na strugu

$$F_1 = B_0 \cdot \delta \cdot s^{0,75} \quad (7'')$$

Uporedjujući izraz (7'') sa proširenim obrascem sa proširenim obrascem za glavni otpor rezanja dobiven grafoanalitičkom obradom podataka merenih pomoću dinamometra, gde eksponenti $x_1 = 1$ i $y_1 = 0,75$ predstavljaju prosečne vrednosti za čelične materijale, uočavamo da su u pitanju identični obrasci, čak sa istim brojčanim vrednostima eksponenata, pri čemu je konstanta B_0 ekvivalentna specifičnom otporu rezanja C_{k_1} .

3. Zaključak

Iz obrasca prve varijante sledi da se za određivanje glavnog otpora rezanja, pri obradi na strugu, mora poznavati karakteristika materijala - napon na početku plastičnog tečenja pri sabijanju $\sigma_0 = \sigma_{0,2}$, koja se dobija mehaničkim ispitivanjem materijala, zatim, faktor sabijanja strugotine λ , kao merilo plastične deformacije, koji se određuje kratkim opitom rezanja, i na kraju, zavisnost koeficijenta B od vitkosti strugotine g , koja se određuje eksperimentalno. Valja napomenuti da λ i $B = f(g)$ odgovaraju stvarnim uslovima rezanja, režimu obrade, geometriji alata i dr.

Poredjenjem obrasca za glavni otpor rezanja po prvoj varijanti (5)

$$F_1 = B \cdot \sigma_0 \cdot \lambda^{m-1} \cdot s^2; \quad B = f(g)$$

i po Kuznjecovu

$$F_1 = \sigma_0 \cdot a \cdot b \cdot \lambda^m$$

vidimo da se oni bitno razlikuju iako za osnovu imaju politropski zakon sabijanja koji važi u plastičnoj oblasti, međutim, neosporno da je prvi, dobiven na osnovu dimenzione analize, kompletniji, jer u sebi sadrži još i funkciju $B = f(g)$ koja obuhvata stvarne uslove pri rezanju.

Druga varijanta izvodjenja izraza za glavni otpor rezanja, koja je dovela do poznatog proširenog obrasca potvrđuje ispravnost primene politropskog zakona na probleme rezanja. Ustvari polazne postavke u obe varijante su iste i obzirom da je prošireni obrazac za određivanje glavnog otpora rezanja dobiven grafoanalitičkom obradom mernih podataka pomoću dinamometra, to druga varijanta izvodjenja potvrđuje ispravnost obrasca po prvoj varijanti, što je i bio razlog njenog uvođenja, inače bi eksperimentalna potvrda bila neophodna.

Na kraju treba napomenuti da opšti obrazac za glavni otpor rezanja dobiven dimenzionom analizom (2)

$$F_1 = B \cdot \sigma \cdot s^2; \quad B = f(g)$$

pruža šire mogućnosti za analizu. Tako se umesto napona sabijanja u strugotini σ može zameniti neka druga naponska veličina, koja utiče na veličinu glavnog otpora rezanja, pa se sličnom procedurom mogu dobiti pogodni obrasci za određivanje veličine glavnog otpora rezanja.

Reference

- [1] Stanković, P.: Mašinska obrada, I knjiga, III izdanje, Građevinska knjiga, Beograd, 1967.
- [2] Reznikov, N.I.,: Učenie o rezanii metallov, Mašgiz, Moskva, 1947.
- [3] Granovskij, G.I. i dr.: Rezanie metallov, Mašgiz, Moskva, 1954.
- [4] Krivouhov, V.A.: Obrabotka metallov rezaniem, Oborongizdat, Moskva, 1958.
- [5] Zdenković, R.: Obrada Metala skidanjem, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1965.
- [6] Kronenberg, M.: Grundzüge der Zerspanungslehre, Erster Band, Springer Verlag, Berlin, 1954.
- [7] Kronenberg, M.: Machining Science & Application, Pergamon Press, Oxford, 1966.
- [8] Zorev, N.N.: Rasčet projekcij sili rezanja, Mašgiz, Moskva, 1958.
OR.10.8

S.S. Sekulić

APPLICATION OF DIMENSIONAL ANALYSIS ON DETERMINATION OF DEPENDENCE
BETWEEN THE TANGENTIAL FORCE AND PRIMARY EFFECTIVE FACTORS

In this work we present application of the Dimensional Analysis on the determination of tangential tool force as a function of the primary efective factors (stresses in the chip, depth of cut and feed). Also we explore few possibilities which offer our basic result. For example if one replace stress in the chip equations with some other stress quantity (shear stress in the plane of shear) one gets interesting relations suitable for analysis.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

R. Kovačević *

UPOREĐIVANJE REZNIH KARAKTERISTIKA KONUSNO I RAVNO NAOŠTRENIH
BURGIJA **

1. Uvod

Za oštrenje burgija danas se primjenjuje čitav niz metoda, koje se razlikuju međusobno po geometrijskom obliku ledne površine, prema kome su i dobile naziv: konusno, cilindrično, ravno i zavojno oštrenje, kao i niz posebnih načina izvođenja i korekcije geometrije vrha burgije.

Na geometriju burgije, a preko nje i na njene eksploracijske karakteristike, može se uticati oblikom ledne površine koja se formuluje pri oštrenju.

Ovaj rad ima za cilj da se eksperimentalnim putem uporede rezne karakteristike konusno naoštrenih burgija sa ravno naoštrenim i da se na osnovu analize dobijenih rezultata dadu odgovarajuće preporuke.

2. Kratka analiza metoda oštrenja /konusno i ravno/ burgija sa karakteristikama ostvarene geometrije

Ukratko će se učiniti osvrt na konusno i ravno oštrenje butgija, pri čemu će se analizirati karakteristike pri tom ostvarene geometrije vrha burgije - veličina i karakter promjene elemenata geometrije, detaljnije informacije mogu se naći u radu [3].

2.1. Konusno oštrenje

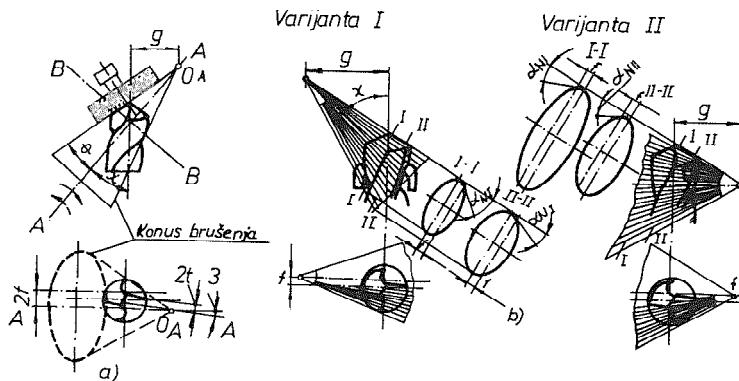
Konusno oštrenje burgija i pored toga, što kao metoda oštrenja daje geometriju vrha burgije sa nizom nedostataka, nalaže je široku primjenu u praksi.

* Mr. Radovan B. Kovačević, dipl. ing., predavač Tehničkog fakulteta Univerziteta u Titogradu, Đ. Salaja 23

** Rađeno u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu.

Pri ovoj metodi oštrenja, ledjna površina je dio površine konusa brušenja, koja nastaje oštrenjem burgije oko ose A - A, koja predstavlja osu konusa brušenja sa vrhom u tačko O_A i uglom vrha 2α , brušenje se vrši čeonom površinom tocila.

Parametri koji definišu relativni položaj burgije i konusa brušenja su: ugao izmedju osa burgije i konusa brušenja χ , rastojanje ose burgije od vrha konusa g i normalno rastojanje osa burgije i konusa brušenja f. Glavno sječivo se poklapa sa izvodnicom konusa brušenja i u drugoj projekciji zaklapa ugao ω sa projekcijom ose konusa brušenja, /Sl.1/.



Slika 1.

Najvažniji nedostaci geometrije vrha burgije, ostvareni konusnim oštrenjem su: nepovoljan karakter promjene grudnog i ledjnog ugla duž glavnih sječiva, i nepodesan oblik i nepovoljna geometrija poprečnog sječiva.

Grudni ugao χ ima najveću vrijednost na periferiji /čošku/, dok u oblasti poprečnog sječiva ima negativnu vrijednost /premanekim informacijama iz literature na mjestu ose burgije dostiže vrijednost od oko -55° . Ledjni ugao ω se takođe mijenja duž sječiva, a karakter promjene zavisi od varijante oštrenja. Na sl.2 dat je dijagram promjene uglova χ i ω po dužini glavnog sječiva kod burgija prečnika D = 8 mm, pri uglu vrha $2\alpha = 118^\circ$ i uglu zavojnice zavojnog žljeba $\beta = 25^\circ$ /pri oštrenju po metodi Whashborne-a/ 2 .

Pri konusnom oštrenju ostvaruje se približno pravolinijske sječive - projekcija u ravni normalnoj na osu, dok je u ravni keja

prolazi kroz ovo sječivo i osu burgije zakrivljeno sa razlikom koordinate z za tačke M i N od oko 0,005D [2].

Ovakav karakter promjene i veličina grudnog ugla, kao i oblik poprečnog sječiva ne-povoljno se odražavaju na reznu sposobnost burgija, a najvažniji razlozi su:

1. Na periferiji /ćoškovima/ glavnih sječiva, gdje je najveća brzina rezanja, razvija se najveća količina topline, što uslovjava da su ove tačke najjače termički opterećene. Međutim, na mjestu ćoškova, zbog velikog grudnog ugla ugao kline je najmanji te je i odvodjenje topline iz zone rezanja najslabije. Ovi uslovi u oblasti ćoškova još su više pogoršani intezivnim trenjem rubeva e površinu obradjenog otvora.

2. Negativna vrijednost grudnog ugla na poprečnom sječivu uslovjava vrlo nepovoljne uslove rezanja, tako da je efekat rezanja poprečnog sječiva neznatan a uslijed toga se jako povećava otpor pomoćnog kretanja - oko 50 - 60 % njegove vrijednosti otpada na poprečno sječivo. Nepovoljan oblik poprečnog sječiva u velikoj mjeri doprinosi nepovoljnim uslovima rezanja u oblasti vrha burgije i u oblasti ćoškova.

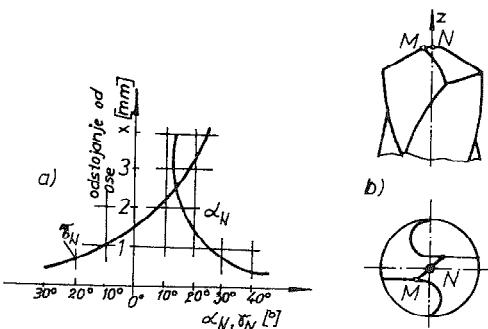
Pomenuti nedostaci kod konusno naoštrenih burgija mogu se u izvjesnoj mjeri smanjiti izvodenjem korekcije geometrije vrha burgije poslije konusnog oštrenja.

2.2. Ravno oštrenje

Za razliku od prethodne metode oštrenja, gdje je ledjna površina bila dio konusne površine, kod ove metode oštrenja ledjna površina je dio ravni. Položaj burgije prema tocilu treba da bude takav da ledjna površina bude paralelna ravnoj površini istog.

Poznate su dvije metode ravnog oštrenja, što zavisi od broja ravni, i to: sa jednom i sa dvije ravni oštrenja.

Kod metode oštrenja burgija sa jednom ravni nemoguće je



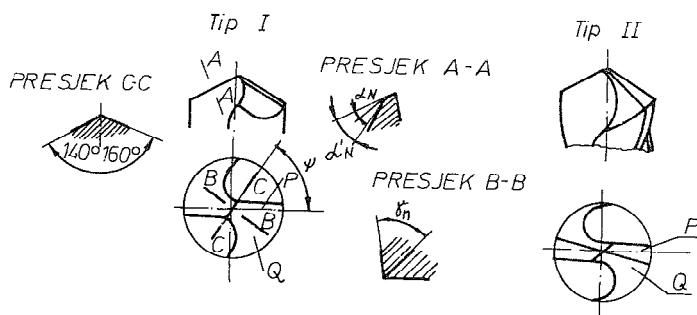
Sl. 2.

postići optimalni ledjni ugao, jer ovaj mora imati veću vrijednost od optimalne, tj. mora biti veći od 30 do 32° [3], da ne bi dolazio do zadiranja ledjne površine o površinu rezanja. Poprečno sječevo kod ove metode oštrenja burgija je prava linija, jer se dobija u presjeku dvije ravni, a prema već rečenom, ovakvo sječevo je nepodesno za samovodjenje burgije, što izaziva povećano opterećenje čoškova i rubova. Nedostaci ove metode oštrenja burgija mogu se otkloniti primjenom ravnog oštrenja po dvije ravni, /Sl.3/. Kod ove metode prva ravan /P/ obezbijedjuje dobijanje ledjne površine pod željenim uglom α_N , dok druga ravan /Q/ daje veći ledjni ugao α'_N sa čime se postiže isključivanje mogućnosti zadiranja ledjne površine o površinu rezanja. Zavisno od oblika ravni /P/ razlikujemo dva tipa ovog oštrenja, i to: tip I - površina /P/ je u obliku pravougaonika i tip II - površina /P/ je u obliku trapeza.

Rezultati ispitivanja pokazuju da se za drugim tipom ravnog oštrenja postiže veća jačina sječiva na mjestu čoškova [3].

Oblik poprečnog sječiva je povoljniji pri oštrenju burgija po dvije ravni u odnosu na burgije naoštrene po jednoj ravni. Poprečno sječevo čine dvije linije pod uglom od 140 do 160° , /Sl.3/. Povoljniji oblik poprečnog sječiva daje bolje samovodjenje burgije, a sa tim manje opterećenje i habanje čoškova.

Veličina grudnog ugla na mjestu ose, pri lednjom uglu ravni /Q/ od $\alpha_N = 45^\circ$ iznosi -40° , što je dosta manje u odnosu na konusno naoštrene burgije. Manja apsolutna vrijednost grudnog ugla poprečnog sječiva obezbijedjuje manju osnu silu i utiče na povećanje postojanosti ravno naoštrenih burgija.



Slika 3.

3. Uticaj načina oštrenja na eksploracijske karakteristike burgija

Ovdje se prikazuju neki rezultati ispitivanja koji se odnose na uticaj načina oštrenja na postojanost burgija, mehaniku procesa rezanja i tačnost obrade.

3.1. Uslovi izvodjenja eksperimenta

Ispitivanja su vršena sa burgijama prečnika 8 mm, proizvođenje IAT, pri obradi čelika Č.3230. Bušenje je vršeno bez primjene srodstva za hladjenje, pri dubini rezanja $L = 30$.

Pri izvodjenju oštrenja težilo se da osnovni parametri geometrije vrha budu približno iste veličine kod oba načina oštrenja. U tablici T1 date su vrijednosti parametara geometrije vrha za posljednje načine oštrenja.

Ravno oštrenje burgija po dvije ravni, tip I, bilo je izvedeno na konstruisanom uredjaju u Institutu za alatne mašine i alate [3]. Izgled uredjaja prikazan je na sl.4.

Tablica T1

Red. broj	Način oštrenja	Parametri geometrije vrha burg.				
		α_0	α	ψ	$2t$	l
1	Normalno konusno	12°	59°	50°	1,4	1,6
2	Ravno sa dvije ravni - tip I	12°	59°	48°	1,4	1,6

Proračun uglavnih parametara za dovođenje uredjaja, odnosno burgije u njemu, u određeni radni položaj prema tocilu na alatnoj brusilici, vršen je prema obrascima datim u tablici T2 [4].

TABLICA -2

Varija posto	Oštrenje burgija po ravni P	Oštrenje burgija po ravni Q
1	$\theta_a = 0 ; \quad \operatorname{tg} \theta_b = \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg} \xi ;$ $\operatorname{tg} \theta_A = \operatorname{tg} \xi \cos \theta_b$	$\theta_B = 0 ;$ $\operatorname{tg} \theta_b = \operatorname{tg} \xi (2 \operatorname{cotg} \psi - \operatorname{tg} \theta) ;$ $\operatorname{tg} \theta_A = \operatorname{tg} \xi \cos \theta_b$

I	$\theta_0 = 0 ; \quad \theta_b = -\theta ;$ $\tan \theta_A = \frac{\tan \epsilon}{\cos \theta_b}$	$\theta_0 = 0 ;$ $\tan \theta_b = \tan \theta - 2 \cot \psi ;$ $\tan \theta_A = \frac{\tan \epsilon}{\cos \theta_b}$
III	$\theta_A = 0 ; \quad \tan \theta_b = \cot \theta ;$ $\tan \theta_b = \frac{\tan \theta \tan \epsilon}{\cos \theta_b} ;$	$\theta_A = 0 ;$ $\cot \theta_b = 2 \cot \psi - \tan \theta ;$ $\tan \theta_b = \frac{\tan \epsilon (2 \cot \psi - \tan \theta)}{\cos \theta_b}$

U datim obrascima je:

$$\tan \theta = \frac{\tan \epsilon \cdot \tan \psi - \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

gdje je:

d_0 - ledjni ugao na periferiji

2ψ - ugao vrha burgije

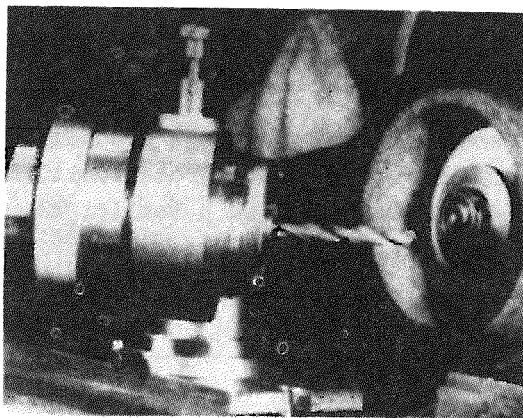
$2t$ - prečnik jezgra

D - prečnik burgije

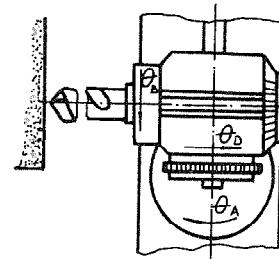
$\sin \alpha = 2t/d$

$\epsilon = 90^\circ - \psi$.

Pravci zaokretanja uređaja prema izračunatim uglovnim parametrima za postavljanje burgije u odnosu na tocilo dati su na Sl.5.



Slika 4.



Slika 5.

Izračunavanje parametara postavljanja burgije u odnosu na tocilo vršeno je na elektronskom računaru, pri tom je variran prečnik

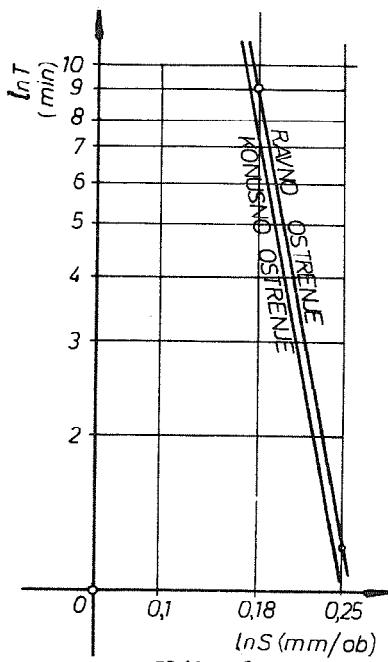
OR.11.6

burgije od 8 do 16 mm, ledjni ugao $\alpha_s = 6 - 15^\circ$, napadni ugao $\chi = 49 - 69^\circ$, kao i prečnik jezgra $2t = aD$, gdje je a parametar koji je variran od 0,12 do 0,18.

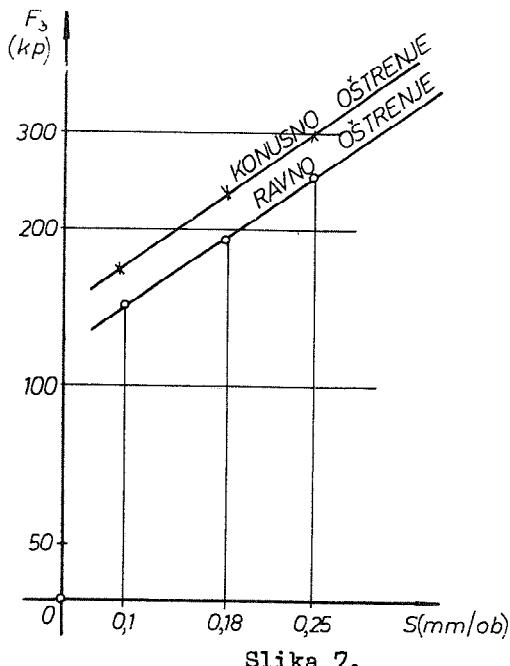
3.2. Uticaj načina oštrenja na postojanost burgije

Praćenje uticaja načina oštrenja na postojanost burgija vršeno je mjeranjem primarnog parametra habanja h_a . Pri izvedenim eksperimentima brzina rezanja je bila nepromijenjena, $v = 21 \text{ m/min}$ a korak se mijenjao od 0,18 do 0,25 mm/o. Za svaki režim broj burgija u epitnoj seriji je iznosio od 2 - 3 da bi se odstranio uticaj slučajnih poremećaja. Izmjerene vrijednosti parametara habanja unijete su u tablice kao i vrijeme trajanja obrade, broj burgija, elementi režima obrade i zapažanja. Na osnovu izmjerenih parametara date su eksperimentalne krive habanja u funkciji od vremena obrade $h_a = f/T$.

Unesemo li na eksperimentalno utvrđjene blokove krivih habanja preporučenu vrijednost za $h_a = f/T$ [3], dobicemo sistem elemenata obrade $/T_i, s_i, v \text{ i } D/$. Za dobijene brojne vrijednosti ovih sistema, za dati materijal, date su odgovarajuće Tejlorove krive na sl.6.



Slika 6.



Slika 7.

OR.11.7

Analizirajući položaj Tejlorovih krivih za ova dva načina oštrenja, zaključujemo sljedeće: Tejlorova kriva za ravno oštrene burgije je iznad Tejlorove krive za burgije konusno naoštrene, što potvrđuje ranije iznesenu tvrdnju da je postojanost prvih veća u odnosu na druge za oko 15%. Razlog ovoj razlici je nepovoljan oblik poprečnog sječiva i velika vrijednost grudnog ugla poprečnog sječiva kod burgija konusno naoštrenih. Prilikom izvodjenja eksperimenta primijećeno je da je kod burgija konusno naoštrenih pojas habanja uz glavno sječivo paraboličan, što je vrlo nepovoljno, te i pri manjoj pohabenosti u zoni oko glavnih sječiva inicira zatupljenost burgije. Kod burgija ravno naoštrenih pojas habanja na ledjnoj površini je najčešće klinastog oblika, što ujedno i objašnjava otkud veća postojanost burgija oštrenih na ovaj način. Slični rezultati su iznijeti u radu [1].

3.3. Zavisnost otpora rezanja i obrtnog momenta od načina oštrenja

Otpor rezanja /aksijalni otpor/ F_3 i obrtni moment M mjereni su pomoću dinamometra BF-1 firme FISCHER GMBH AND CO.

Na sl.7. prikazana je promjena otpora rezanja F_3 u zavisnosti od koraka s i načina oštrenja. Sa dijagrama se uočava da je otpor rezanja kod burgija konusno naoštrenih u prosjeku za oko 15 % veći od otpora rezanja kod burgija ravno naoštrenih. Pri izvodjenju eksperimenta kod burgija konusno naoštrenih zapaža se:

1. pojačano habanje na čoškovima burgije, kao i prelivanje strugotine preko poprečnog sječiva - povećavajući mu dužinu i pogoršavajući mu i onako nepovoljnu geometriju,

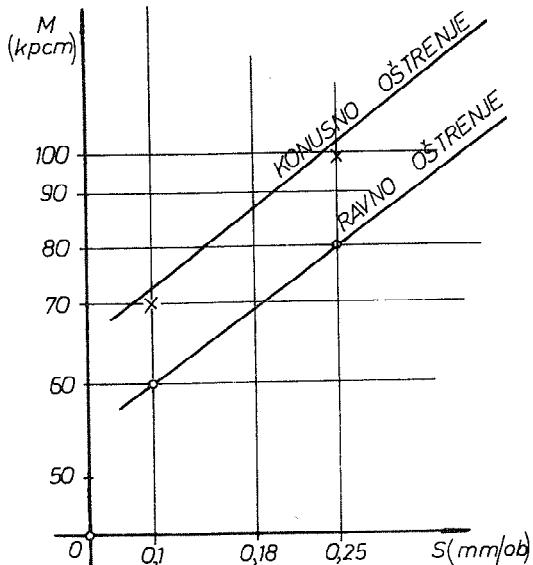
2. lijepljenje strugotine uz glavno sječivo i prelivanje strugotine preko vlakana, čime se objašnjava nastala razlika u vrijednostima otpora rezanja za ova dva načina oštrenja. Slični rezultati su dati i u radovima [1] i [2].

Na sl.8 prikazana je promjena obrtnog momenta M u zavisnosti od koraka s i načina oštrenja. Vidi se da je obrtni moment veći za oko 20 % kod burgija konusno naoštrenih u odnosu na burgije ravno naoštrene.

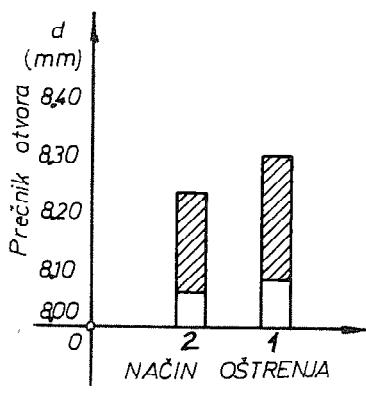
3.4. Uticaj načina oštrenja na tačnost obrade

Kao parametar tačnosti obrade usvojeno je povećanje prečnika otvora u odnosu na nazivni prečnik burgije. Prečnik otvora je

mjereno pomoću instrumenta "Subito", opseg mjeranja 7 - 13 mm pri čemu je mjerena maksimalna vrijednost prečnika. Na sl.9 data je zavisnost prečnika otvora od načina oštrenja - šrafirana oblast predstavlja polje rasturanja prečnika otvora za sve tri vrijednosti koraka. Uočava se da je polje rasturanja nazivnog prečnika otvora veće kod burgija konusno naoštrenih nego kod burgija ravno naoštrenih.



Slika 8.



Slika 9.

Tačnost obrade pri bušenju zavisi od niza faktora, međutim, pošto je u ovom slučaju većina tih uticajnih faktora imala približno istu vrijednost, relativno veliki uticaj načina oštrenja burgija može se objasniti uticajem oblika i načina odvodjenja strugotine. Pri radu burgija konusno naoštrenih zapaža se veće prelivanje strugotine preko vlakana, povećano lijepljenje strugotine uz glavno sjećivo, kao i pojačano gušenje sturgotine u žljebovima, nego što je to slučaj kod rada burgija ravno naoštrenih.

4. Zaključak

Izvršena analiza podataka, dobijenih eksperimentom, nedvosmisleno ukazuje na to da ravno naoštrene burgije imaju bolje rezne sposobnosti u odnosu na burgije konusno naoštrene. Uvezvi u obzir da su uredjaji za ravno oštrenje burgija jednostavniji u odnosu na

uredjaje za konusno oštrenje istih, nameće se preporuka da se što više koristi ravno oštrenje burgija, kao metoda oštrenja koja obezbjedjuje burgijama veću postojanost a i tačniju obradu nego što je to slučaj kod metode za konusno oštrenje burgija.

Reference

- [1] T.E. Solncev, Analiza savremenih metodov zatočki sverl, Vestnik mašinostroenija, 6/1959, strana 55
- [2] M.Jovičić, J.Stanić, Uticaj načina oštrenja na raznu sposobnost burgija, Saopštenje IAMA, 5/1967
- [3] R. Kovačević, Analiza metoda i geometrije oštrenja zavojnih burgija i konstrukcija uredjaja za konusno i ravno oštrenje burgija, Elaborat 150/72 IAMA, Beograd
- [4] P.R. Rodin, Proektirovanie i proizvodstvo režuščevu instrumenta, MASGIZ, Moskva, 1962
- [5] J.Stanić, Kritične granice parametara položaja i oblika konusa brušenja pri konusnom oštrenju burgija, Saopštenje IAMA, 3/1966

R. Kovačević

VERGLEICHUNG VERSCHIEDENER CHARAKTERISTIKEN VON KEGEL - UND PLANGESCHLIFTFENEN BOHRSTANGEN

Zum Schleifen von Spiralbohrer wird heute eine ganze Reihe von Methoden, die sich untereinander nach geometrischer Form der Freifläche unterscheiden, nach welcher sie genannt wurden:
Kegel-, Zylinder-, Plan- und Spiralschleifen, sowie eine Reihe von besonderen Weisen der Ausführung und der Korrektion der Spiralbohrer spitzengeometrie, verwendet.

Die Spiralbohrer geometrie und dadurch ihre Eigenschaften können durch Form der Freifläche, welche beim Schleiffen gestaltet wird, beeinflusst werden.

Diese Arbeit hat zum Ziele, die verschiedenen Eigenschaften von kegelgeschliffenen mit den der plangeschliffenen Spiralbohrer durch die Versuche zu vergleichen und auf Grund der Analysen der erhaltenen Befunde entsprechende Empfehlungen zu geben.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

A. Perić⁺⁾

PRILOG ISTRAŽIVANJU TEMPERATURA PRI PERIODIČNOM REZANJU⁺⁺⁾

1. Uvod

U saopštenju se izlažu neka istraživanja temperatura pri periodičnom rezanju, koji problem je, inače detaljnije razmotren u posebnom istraživanju [1] u Zavodu za alatne mašine u Sarajevu i radu [2].

Periodično rezanje, uslovljeno naizmjeničnom promjenom radnog komada na mašini, karakteristično je po ponavljanju radnog t_r i neradnog t_n do zastupljenja alata, kada je suma radnih hodova alata t_r jednaka nekoj postojanosti alata T . Takav način rezanja često se pojavljuje kod operacija struganja i obrade otvora koje su najčešće zastupljene u proizvodnoj praksi. Pošto, općenito uvezvi, temperatura ima najbitniji uticaj na postojanost alata, istraživanje temperatura pri periodičnom rezanju nametnulo se kao jedan od važnih problema koji je potrebno razmotriti.

Istraživanje temperatura pri periodičnom rezanju djelomično je izloženo i u radu [3], u kojem se teoretski i eksperimentalno razmatra koblebanje temperatura pri periodičnom rezanju i definiše stepen učestalosti rezanja kao faktor koji ima bitan uticaj na koblebanja temperatura.

U ovome saopštenju teoretski se razmatra mjerodavna temperatura pri periodičnom rezanju i daju neka eksperimentalna istraživanja koja na određeni način potkrepljuju teoretska izlaganja.

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

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

2. Mjerodavna temperatura pri periodičnom rezanju

Na osnovu teoretskih proračuna izloženih u radovima [1 + 4] konstatovano je, da se tok kolebanja temperatura pri periodičnom rezanju ustaljuje nakon nekoliko kolebanja temperatura tj. rezanja (sl. 1), da tok kolebanja temperatura zavisi od dužine radnog hoda alata t_r i dužine hladjenja alata $t_{hl} \leq t_{ne}$, te da se periodizacijom rezanja može smanjiti temperatura na alatu.

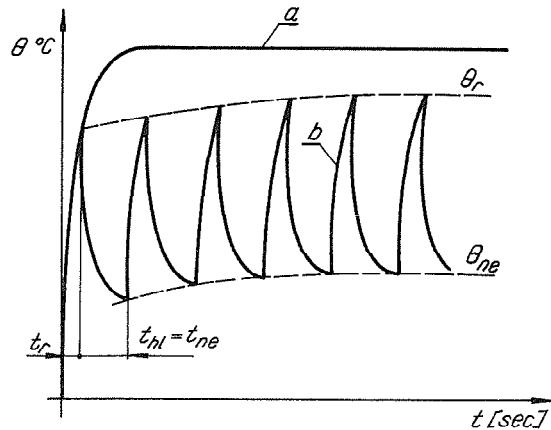
Uticaj dužine radnog i neradnog hoda alata odnosno periodizacije rezanja pogodno se može izraziti stepenom učestalosti rezanja:

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

definisanom u intervalu $0 < I \leq 1$, a uz uslov $t_{hl} \leq t_{ne}$, gdje je t_{hl} - vrijeme hladjenja alata do temperature okoline. Smanjenjem stepena učestalosti rezanja smanjuju se temperature i obratno, pa je pri graničnom slučaju $I = 1$ temperatura najveća i jednaka temperaturi pri neprekidnom rezanju.

Pri neprekidnom rezanju temperatura nakon kratkog nestacionarnog perioda biva približno konstantna i ostaje takva sve do momenta zatupljenja alata (sl. 1). Ta temperatura naziva se temperatura rezanja i ona je mjerodavna za proces habanja alata pri neprekidnom rezanju [4].

Pri periodičnom rezanju (sl. 1) sa istim režimom rezanja kao i kod neprekidnog rezanja, kolebanje temperature koje se praktično ustaljuje nakon nekoliko rezanja, zavisi od stepena učestalosti rezanja. Ustaljene temperaturе θ_r i θ_{ne} na kraju radnog i neradnog hoda alata zavisne su od oba ho-



Slika 1. - Šematski prikaz toka temperaturama pri neprekidnom (a) i periodičnom rezanju (b)

dizacije rezanja.

da alata odnosno od stepena učestalosti rezanja. Tačka u blizini oštice biće u radnom hodu alata pod uticajem toka temperatura zagrijavanja. Može se uzeti da će neka temperatura tačke u blizini oštice biti mjerodavna u ovom slučaju rezanja za nastupajući proces habanja alata. Na veličinu te temperature

bitno utiče samo tok temperatura u hodu zagrijavanja koji zavisi od stepena učestalosti rezanja.

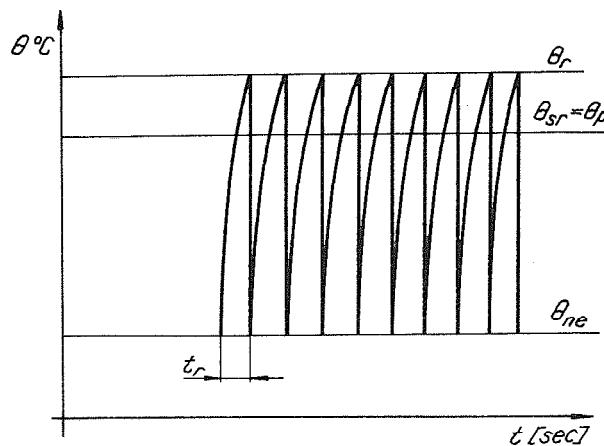
Ako se tok temperatura hladjenja na slici 1 zamjeni momentalnim padom temperature od tačke θ_r do θ_{ne} , onda se iz dijagrama kolebanja temperature (sl. 1) dobija odgovarajući testerasti dijagram temperaturu (sl. 2). Tako svakom periodičnom rezanju sa određenim stepenom učestalosti rezanja odgovara određeni testerasti dijagram temperaturu.

Srednje odstupanje temperaturu θ_{sr} od apscise t (sl. 2) može se uzeti kao dobar pokazatelj topotnog opterećenja oštice alata u procesu periodičnog rezanja. U opštem slučaju mjerodavna temperatura rezanja pri periodičnom rezanju jednaka je:

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

gdje je: $T = \sum t_r$ - neka postojanost alata pri periodičnom rezanju,
 $\theta(t)$ - temperaturna funkcija toka temperaturu u testerastom dijagrame.

Pošto je proces rezanja periodičan i ima jednaku dužinu perioda rezanja t_r , to se srednja vrijednost podintegralne funkcije $\theta(t)$ može odredi-



Slika 2. - Testerasti dijagram i mjerodavna temperatura rezanja pri periodičnom rezanju (Šematski prikaz)

ti na dijelu jednog radnog hoda alata t_r .

Prema tome, mjerodavna temperatura pri periodičnom rezanju θ_p može se definisati kao srednja vrijednost podintegralne funkcije toka temperature zagrijavanja tačke blizu oštrice na dijelu jednog radnog hoda alata, i u opštem slučaju, konačno je jednaka:

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

gdje je: t_r - radni hod alata odnosno hod zagrijavanja alata,

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

Izvedeni izraz za mjerodavnu temperaturu rezanja važi za sve slučajeve periodičnog rezanja, pa i za granični slučaj kada je $I = 1$, tj. pri neprekidnom rezanju. Pri neprekidnom rezanju radni hod alata jednak je postojanosti alata, a podintegralna funkcija uz zanemarenje relativno kratkog nestacionarnog toka temperatura u početku rezanja, može se uzeti jednaka temperaturi rezanja pri neprekidnom rezanju, pa je tada $t_r = T$ a $\theta(t)$ se može zamjeniti sa $\theta = \text{konst}$, te se konačno dobija:

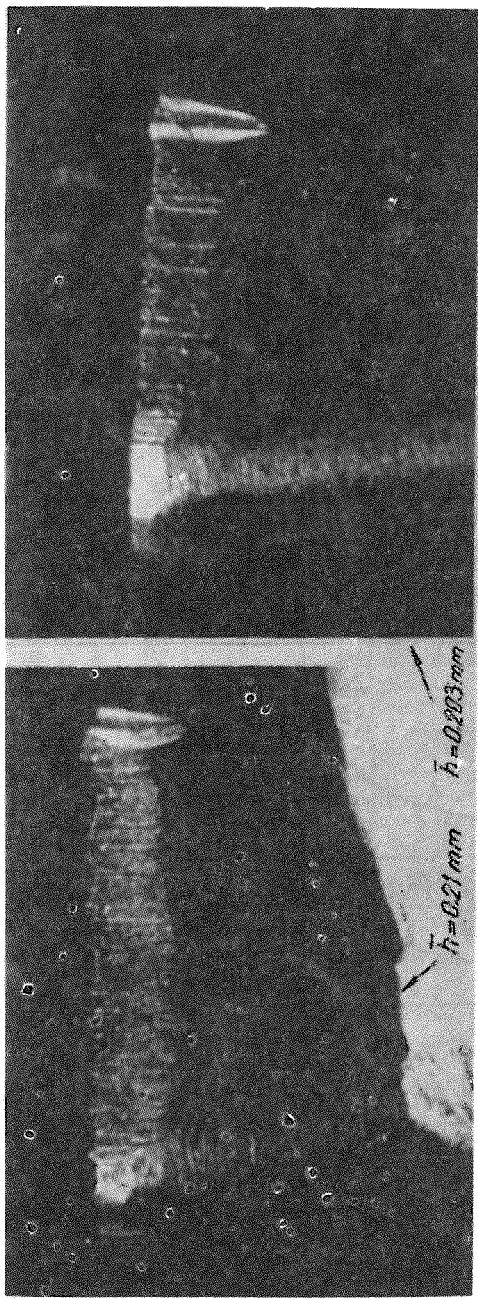
$$\theta_{p,I=1} = \frac{1}{T} \int_0^T \theta dt = \frac{1}{T} \theta \int_0^T dt = \theta$$

Posljednji izvod potpuno je u saglasnosti sa već ranije poznatom činjenicom da je tzv. temperatura rezanja upravo mjerodavna temperatura za proces habanja alata pri neprekidnom rezanju.

Potvrda valjanosti i tačnosti navedenih izvoda za mjerodavnu temperaturu može se dobiti i rješavanjem datih integrala na osnovu numeričkih vrijednosti podintegralne funkcije, odredjenih posebnim teoretskim proračunima [4] uz upotrebu odredjene metode [1] [2].

3. Eksperimentalna istraživanja

Izložene teoretske postavke provjerene su na nizu eksperimentalnih istraživanja [1] [2]. U opitima je vršena obrada materijala Č.0545 i Č.4146 alatom od tvrdog metal-a sa raznim stepenima učestalosti rezanja. Ekspe-

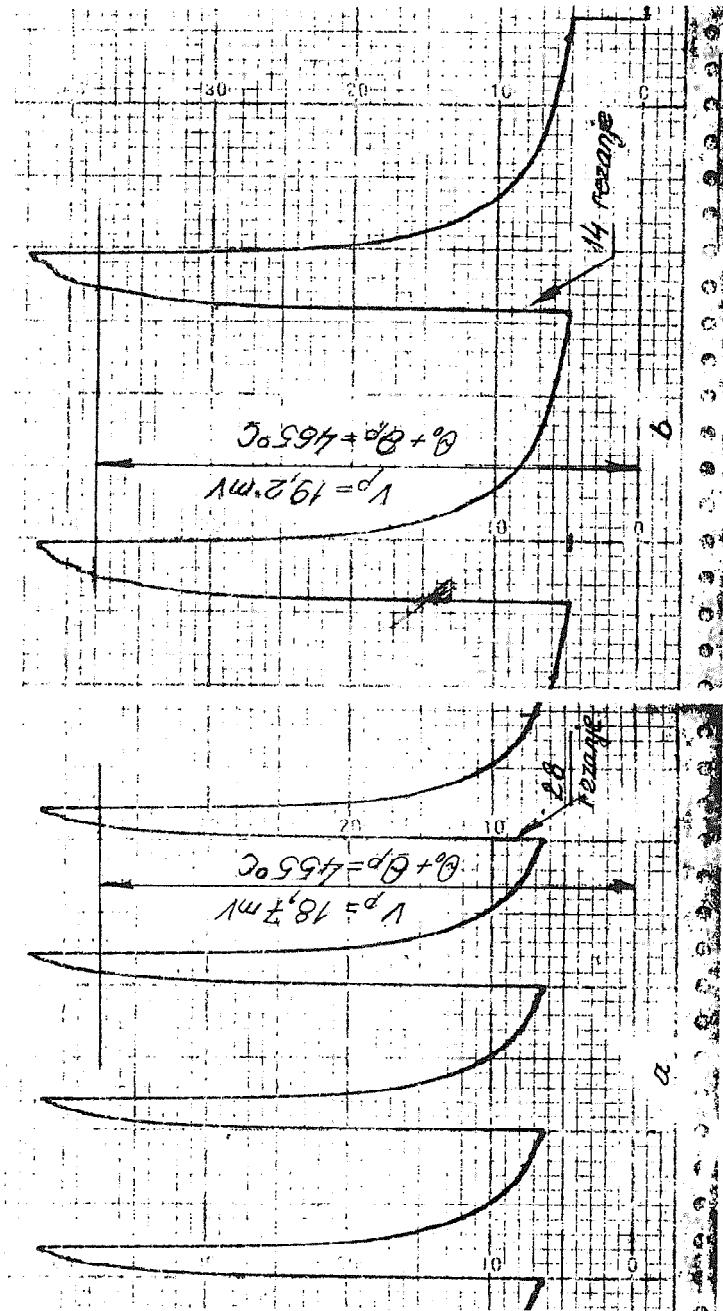


b

a

Slika 3. - Snimci habanja alata po ledinoj površini alata nakon 4,70 min rezanja. Povećanje 50x,
izradak Č.0545, alat TMSV20, $v = 150 \text{ m/min}$, $s = 0,31 \text{ mm/o}$, $\delta = 1,5 \text{ mm}$, $I = 0,2^\circ$
($a - t_r = 10 \text{ sec}$, $t_{hl} = 40 \text{ sec}$, $b - t_r \approx 60$, $b - t_{hl} = 20 \text{ sec}$, $t_{hl} = 80 \text{ sec}$, $\varphi_{rad} = 70^\circ$)

OR.12.5



OR.12.6

Slika 4. - Kolebanja temperaturu pri periodičnom struganju čelika Č.0545 novim alatom od tvrdog metala SV20, nakon 4,70 min. rezanja. Opseg mjerenja 0-50 mV, $v = l/20$ cm/sec, $v = 150$ m/min., $s = 0,31$ mm/o, $d = 1,5$ mm, $I = 0,2$ (a - t), $t_p = 10$ sec, $t_{hl} = 40$ sec, $\mathcal{K}_{rad} \approx 60$, $b - t_R \approx 60$, $b - t_{hl} = 20$ sec, $t_{hl} = 80$ sec, $\mathcal{K}_{rad} = 70\delta$

rimentalni rad obuhvatao je mjerjenje sila rezanja, dužine kontakta i koeficijenta sabijanja strugotine, zatim mjerjenja temperatura pri neprekidnom i periodičnom rezanju, te uporedno mjerjenje habanja alata i temperatura pri periodičnom rezanju.

Od niza izvedenih opita ovdje se navode samo opiti uporednog mjerjenja habanja alata i temperatura pri periodičnom rezanju, jer upravo ovakvi opiti pružaju mogućnost istovremene provjere tačnosti i pouzdanosti niza ranije izloženih teoretskih tvrdnji i zaključaka.

Opiti su vršeni sa ciljem da se utvrди, da li izabrana mjerodavna temperatura, data prethodno izvedenim izrazom, predstavlja najuticajniji faktor na habanje alata odnosno postojanost alata pri periodičnom rezanju. Da bi se ova tvrdnja eksperimentalno dokazala treba da je, pri različitim hodovima alata a za isti stepen učestalosti rezanja, nakon jednakog perioda rezanja alata jednako i prosječno habanje dva nova alata i mjerodavna temperatura rezanja.

Rezultati mjerjenja prosječnog habanja alata na ledjnoj površini alata (sl. 3), dobijeni upotrebom posebnog načina mjerjenja [6], pokazuju da je u oba opita prosječno habanje alata približno jednak. Odstupanja iznose na 4%. Rezultati mjerjenja temperature (sl. 4) pokazuju da se, na osnovu dijagrama kolebanja temperature upotrebom metode planimetriranja, dobija opitnim putem u oba slučaja približno jednak mjerodavna temperatura rezanja. Odstupanja ovih temperatura iznose cca 3%.

4. Zaključak

Na osnovu rezultata uporedno izvedenih opita može se konstatovati da je pretpostavka o bitnom uticaju mjerodavne temperature iskazane ranije izvedenim izrazom, na postojanost alata valjana i prihvatljiva.

Osim toga, iz opitnih rezultata datih na slici 4 vidi se da je tok temperatura već potpuno ustaljen, te da tok kolebanja temperatura praktično zavisi od dužine radnog i neradnog hoda alata, mada je pri tome stepen učestalosti rezanja bio isti. Ovim se potvrđuje tačnost ranije izloženih tvrdnji koje su bile izvedene na osnovu teoretskih proračuna [2] [4].

Reference

- [1] Perić A., Uticaj različitog topotnog režima na alatu na fizičke veličine u procesu rezanja, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo (1974)
- [2] Perić A., Istraživanje postojanosti alata pri radioničkim uslovima intermitirajućeg rada uslovljenog promjenama izradka u proizvodnji, Disertacija (1974)
- [3] Perić A., Istraživanje kolebanja temperaturna pri periodičnom rezanju, Zbornik radova Zavoda za alatne mašine u Sarajevu (1973)
- [4] Reznikov A.N., Teplofizika rezanja, Mašinostroenie (1969)
- [5] Klušin M.I., Rezanie metallova, Mašgiz (1957)
- [6] Perić A., Uporedno istraživanje postojanosti strugarskog noža mjerenjem habanja na radnim površinama noža i kontrolom tačnosti obrade, Zavod za alatne mašine u Sarajevu, Sarajevo (1972)

A. Perić

A CONTRIBUTION TO RESEARCH OF TEMPERATURE AT PERIODICAL CUTTING

This paper contains some approach to define the temperature of cutting 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 intermittence which influence on the temperature. The temperature of cutting at periodical cutting is given like a mean value of underintegral function of the flow of warming temperature. This equation is valuable also in the case of continual cutting. Experimental data verified this conclusions.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

P. Leskovar, D. Ferlan⁺)

INTEGRITETA POVRŠINE KOT KRITERIJ OBDELovalnosti IN OBDELOVALNEGA
PROCESA⁺⁺)

1. Uvod

Stanje površine in sloja neposredno pod površino je lahko dovolj zanesljiv kriterij obdelovalnosti določenega materiala. To pa je možno le, če znamo opisati površino dovolj natančno. Ko opišemo določen konstrukcijski element, mu predpišemo navadno le obliko in material. Pri tem pa predpostavimo, da so lastnosti materiala po celiem prerezu enake. Raziskave zadnjih nekaj let so pokazale, da se lahko lastnosti materiala po obdelavi močno spremenijo in da je sprememba odvisna v znatni meri od postopka in režima obdelave. Če pri tem upoštevamo še dejstvo, da je pri dinamično obremenjenih delih oblika površine in stanje materiala neposredno pod površino odločilnega pomena za njegovo obratovalno dobo, postane jasno kako nujne so poglobljene in razširjene raziskave integritete površine, kakor imenujemo te vrste raziskav.

2. Integriteta površine in vplivi na njo

2.1. Vplivi na integriteto površine

Integriteta površine predstavlja skupen naziv za skupen ocen in značilnosti površine ter materiala na površini in neposredno pod njo. V izrazu integriteta površine je zajeta ocena obdelovalnosti določenega materiala in prav tako obdelovalnega postopka oziroma režima obdelave.

Na stanje površine in material neposredno pod površino vplivajo med obdelavo različni činitelji. Naštejmo nekaj najbolj značilnih:

⁺) Dr. mag. Polde Leskovar, dipl. ing., izredni profesor fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2;
Dimo Ferlan, dipl. ing., asistent fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Murnikova 2.

⁺⁺) Raziskave opravljene v okviru projekta Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika na fakulteti za strojništvo v Ljubljani.

OR.13.1

- vplivi temperature,
- vplivi plastične in elastične deformacije in
- kemični vplivi.

Pri obdelovalnem procesu, kar velja še posebno pri odrezavanju in pri ostrejših režimih obdelave se ustvarjajo v transformacijski coni visoke temperature. Temperature se spremenljajo s časom in z ozirom na prostor - oddaljenost površine in slojev pod njo. Temperaturne spremembe v odvisnosti od časa povzročajo metalurške spremembe v materialu, kakor so zakaljene in popuščane plasti, fazne transformacije ipd. Temperaturne spremembe z ozirom na prostor pa povzročajo različne plasti, ki se med seboj lahko zelo razlikujejo po strukturi materiala. Tako so te metalurške spremembe omejene le na določene plasti, ki so neposredno pod površino.

Med obdelavo se material ko se generira površina tudi močno deformira elastično in plastično. Te deformacije so glavni povzročitelji za nastajanje utrjenih plasti materiala, zaostalih napetosti v materialu, razlik v velikosti kristalnih zrn, nastajanje razpok na površini in neposredno pod njo ter še drugih površinskih defektov.

Na material vplivajo med obdelavo v površinskih plasteh tudi kemični elementi in spojine iz okolice. Pri tem lahko difundirajo v material obdelovanca ali pa se pod vplivom temperature izločajo iz osnovnega materiala v okolico. Med samim procesom obdelave nastajajo mikro razpoke. Zaradi kemičnih sprememb na ploskvah nateganja se take razpoke ne zavarijo več in ostanejo. Tako nastanejo površinski sloji, ki povzročajo pri kasnejših dinamičnih obremenitvah trajnostne zlome [1].

Same postopke obdelave delimo danes na konvencionalne kamor sodi struženje, frezanje, brušenje, vrtanje, honanje, lepanje in poliranje in nekonvencionalne kamor prištevamo elektrokemično in elektroerozijsko obdelavo, obdelavo z laserjem, plazmo, ultrazvokom ipd.

2.2. Pomen integritete površine

Pomen integritete površine danes ni več samo v izboljšanju mehanskih lastnosti in podaljševanju obratovalne dobe strojnega elementa, ampak sega tudi globoko v področje ekonomije, energetike, surovin in ne nazadnje ekologije. Površina prizvedenega strojnega dela je lahko med uporabo prosta ali pa je v dotiku s kakšno drugo trdno površino. V prvem primeru bo odločala o uporabnosti statična in dinamična trdnost, korozionska odpornost in odpornost proti napetostni koroziji ter elasti-

čnost in temperaturno raztezanje. V drugem primeru pa še mazanje, trenje in obraba.

Iz tega sledi, da proizvajamo danes mnogo delov, katerih uporabnost je odvisna od integritete površine (drsnih in kotalnih ležajih, regulacijska pnevmatika, menjalnik ipd). Pri tem se vedno znova pojavlja zahteva po doseganju optimalne površine; torej ne najboljše. Najprej so bili vzroki teh zahtev konstrukcijskega značaja, npr. stena valja batnega eksplozijskega motorja ne sme biti hrapava, da omogočimo dobro tesnjenje med batom z batnimi obročki in cilindrom pri čim manjšem trenju, vendar pa obenem tudi ne sme biti preveč gladka, ker bi v tem primeru one-mogočili mazanje. Zaradi tega so vzroki da zahtevamo optimalne površine vedno bolj upravičeni.

Že pri konstrukciji strojnega dela predvidimo njegovo življensko oziroma obratovalno dobo. Ker pa je obratovalna doba v največji meri odvisna ravno od integritete površine, predpišemo torej s tem tudi integriteto površine za ta strojni del.

Vsaka kvalitetnejša površina od predpisane predstavlja izgubo. Prav tako tudi slabša površina, saj povzroči predhodno porušitev strojnega dela. Ker pa ne moremo niti predpisati niti izdelati izdelka s povsem natančno integriteto površine, predpisujemo navadno nekoliko boljše kvalitete površin. Izgube nas v današnji dobi ne pretresajo le po ekonomski strani, temveč prav tako s stališča pomanjkanja surovin, energije in vedno večjega onesnaženja življenskega prostora. Prav zaradi tega je obvladanje integritete površin tako v projektiranju, kakor tudi v proizvodnji za ves industrializiran svet nujnejše iz dneva v dan.

2.3. Uporabnost integritete površin v industriji

Že v prejšnjem poglavju smo omenili mnoge prednosti, ki jih prinašajo raziskave integritete površine s primeri uporabe v praksi. Poudariti je potrebno tudi, da se posamezni kriteriji ocenjevanja integritete površine v industriji uporabljamajo že dolgo časa. Precejšen del kriterijev pa je sicer znan, vendar jih v industriji ne uporabljam, del kriterijev ocenjevanja integritete površine pa je še neznan. To dejstvo je zaskrbljujoče in ni v pohvalo industriji in to ne le pri nas, ampak tudi drugot po svetu [2]. Težave, ki se pojavljajo v industriji v zvezi z integriteto površine lahko strnemo v naslednje:

- Konstrukterji pri predpisovanju kvalitete površine ne upoštevajo odvisnosti mehanskih

lastnosti od integritete površine. Rezultat tega je, da ima mnogo strojnih delov preveč kvalitetno površino.

- Zaradi enakega vzroka se dogaja tudi, da so zahtevane kvalitete površin različne za enak strojni del pri različnih proizvajalcih.
- Konstrukterji nimajo zadostnih podatkov o kvaliteti površin ozioroma realnih napotkov za določanje obrabe in pogojev za mazanje strojnih delov.
- Mnogi sestavni deli, proizvedeni z zahtevami po določeni hrapavosti niso nikoli kontrolirani na vhodni kontroli.
- Večina konstrukterjev in tehnologov ni pozorna na možne poškodbe površin, povzročene med različnimi postopki strojne obdelave in njih vpliva na mehanske lastnosti in obratovalno dobo izdelka.
- Celo za najkritičnejše obremenjene strojne dele imajo le maloštevilna podjetja izdelane zahteve do integritete površin.
- Mnogim odrezovalnim in brusilnim operacijam sledi ena ali več sekundarnih obdelav kakor so honanje, lepanje itd. Zato bi bili potrebni podatki za vpliv primarne in sekundarne obdelave na integriteto površine (tipe metalurških sprememb, globine plastično deformiranih plasti, zaostalih napetosti itd.).

Že samo našteti primeri kažejo, kakšno delo še stoji pred raziskovalci, da bi dobili kriterije, ki bodo jasneje definirali zahteve do površine in napake letih.

3. Raziskave integritete površine pri struženju

3.1. Zasnova preizkusov

Za oblikovanje površine in s tem za integriteto površine so pri struženju važni naslednji činitelji:

- material obdelovanca, kjer igra važno vlogo sestava, struktura in mehanske lastnosti kakor sta natezna trdnost in trdota.
- geometrija orodja, to je predvsem cepilni in prosti kot ter kot nagiba.
- rezalni pogoji, kar pomeni globino rezanja, podajanje in hitrost rezanja kar da velikost rezalnih sil in temperaturo v transformacijski coni.
- stanje na rezальнem robu - nastavek, obraba in
- material orodja.

Z ozirom na izkušnje iz prejšnjih večletnih raziskav /3, 4/ smo zbrali naslednje činitelje:

- material obdelovanca: Al-zlitina D50
- material orodja: karbidna trdina P10 Sandvick-Coromand. Rezalna ploščica je bila mehansko pritrjena na držalo orodja.
- geometrija orodja:

α	γ	λ	$\Delta\ell$	Σ	r
50	60	0°	75°	90°	0,4 mm

- rezalni pogoji:

hitrost rezanja: $v_1 = 100 \text{ m/min}$
 $v_2 = 200 \text{ m/min}$
 $v_3 = 400 \text{ m/min}$
 $v_4 = 800 \text{ m/min}$

podajanje: $s_1 = 0,044 \text{ mm/vrt}$
 $s_2 = 0,388 \text{ mm/vrt}$

globina rezanja: $a = 3 \text{ mm}$

- stanje na rezalnem robu: uporabljali smo ostri neobrabljeni rezalni rob.

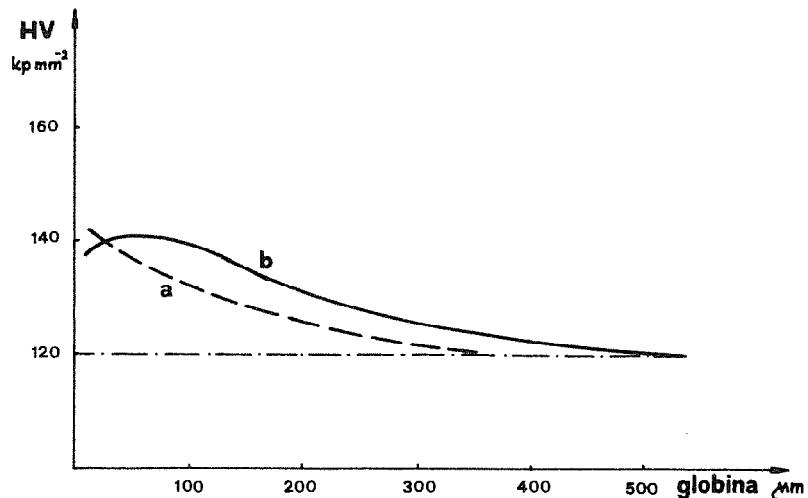
3.2. Rezultati raziskav

Pri raziskavah smo zasledovali naslednje činitelje:

- kvaliteto površinc
- mikrotrdoto vrhnjih plasti
- površinske efekte
- raziskave mikrorazpok

Rezultati raziskav kvalitete površine se ne razlikujejo od rezultatov, ki smo jih dobili pri prejšnjih raziskavah in so bili delno tudi že objavljeni [3]. Iz teh raziskav lahko posnamemo, da ima na kvaliteto površine največji vpliv podajanje, sledi hitrost rezanja in geometrija orodja (predvsem cepilni kot), medtem ko je vpliv globine rezanja majhen, tako da ga večasih lahko celo zanemarimo.

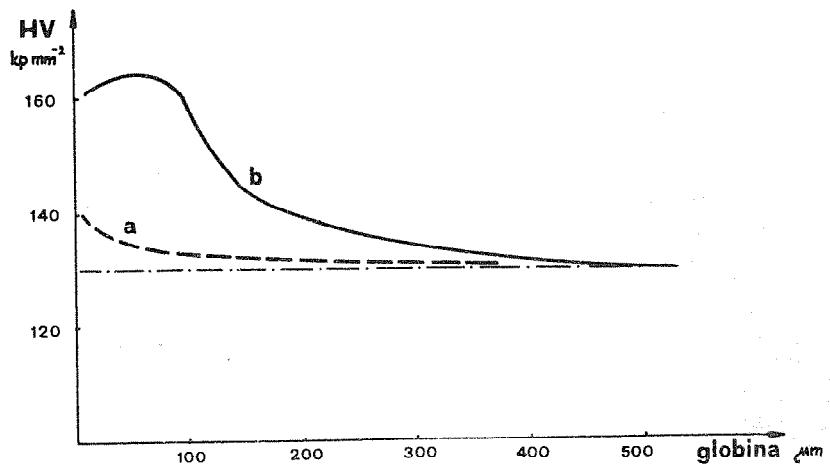
Mikrotrdota vrhnjih plasti predstavlja pomemben, če ravno ne povsem zanesljiv pokazatelj kaj se dogaja v plasteh neposredno pod površino obdelovanca. Slika 1 prikazuje rezultate merjenja mikrotrdote v plasteh od generirane površine proti jedru preizkušanca pri hitrosti rezanja $v = 400 \text{ m/min}$ in globini rezanja $a = 3 \text{ mm}$. Ako analiziramo krivulji a ($s = 0,044 \text{ mm/vrt}$) in b ($s = 0,388 \text{ mm/vrt}$) vidimo, da se z večjim podajanjem znatno poveča tudi mikrotrdota. To se popolnoma ujema s



Sl.1 Potek mikrotrdote v plasteh neposredno pod površino v odvisnosti od podajanja pri hitrosti rezanja $v = 400$ m/min.

prejšnjimi raziskavami, ko smo ugotovili, da s povečanjem podajanja močno naraščajo sile rezanja [4]. S povečanjem sil rezanja se povečajo tudi deformacije, kar povzroča utrjanje plasti neposredno pod površino. Pri tem pa ne gre toliko za najvišjo odčitano vrednost mikrotrdote, kolikor bolj za večjo globino, kjer nastopa povečana mikrotrdota - torej za porazdelitev mikrotrdote v večje globine plasti pod površino. Tudi slika 2-a,b prikazuje potek mikrotrdote pri hitrosti rezanja $v = 800$ m/min in globini rezanja $a = 3$ mm. Na tej sliki predstavlja krivulja a tudi mikrotrdoto za podajanje $s = 0,044$ mm/vrt in krivulja b mikrotrdoto za podajanje $s = 0,388$ mm/vrt. Iz poteka obeh krivulj lahko samo ponovimo, kar smo že zapisali pri analizi mikrotrdote pri hitrosti rezanja 400 m/min. Razlika v mikrotrdoti je še bolj očitna in v določenih mejah mikrotrdota že nevarno narašča. Iz posameznih krivulj pa je razvidno tudi, da ima na potek mikrotrdote vpliv tudi hitrost rezanja, kar je prav gotovo v zvezi s trenjem med orodjem in odtekanjem odrezka oziroma obdelovancem.

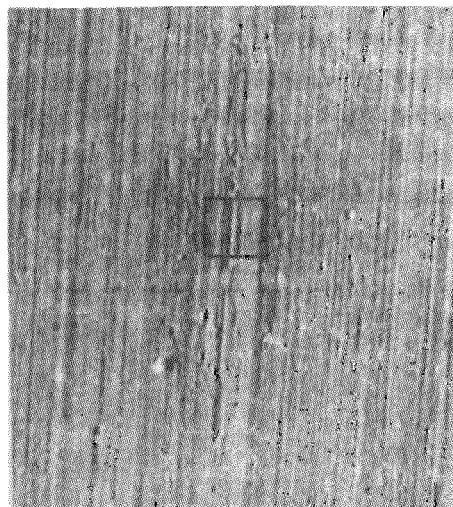
Površinske efekte v odvisnosti od obdelovalnih postopkov in režimov obdelave zasledujemo najpogosteje po vrhunskih posnetkih površine, ki jih dobimo s pomočjo rasterskega elektronskega mikroskopa. Slika 3 predstavlja površino preizkušanca pri hitrostih rezanja $v = 100$ m/min, podajanju $s = 0,044$ mm/vrt in globini rezanja



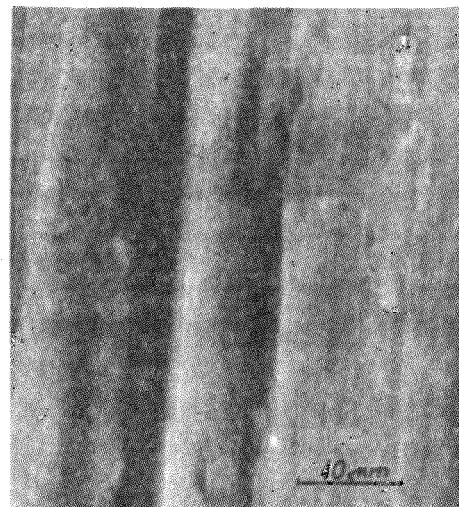
Sl.2 Potek mikrotrdote v plasteh neposredno pod površino v odvisnosti od podajanja pri hitrosti rezanja $v = 800 \text{ m/min}$.

$a = 3 \text{ mm}$. Pri tem predstavlja slika a 180 kratno in slika b 1800 kratno povečavo.

Slika 4 pa predstavlja površino preizkušanca pri hitrosti rezanja $v = 800 \text{ m/min}$ pri



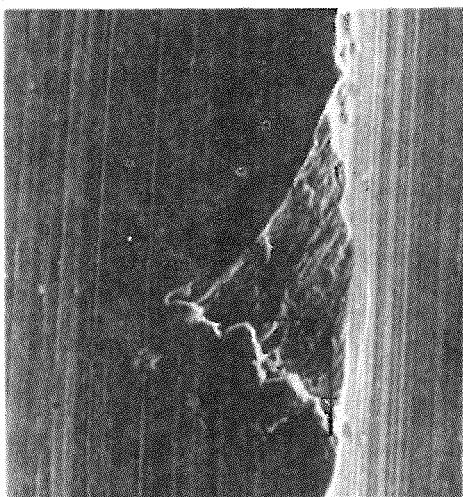
180 : 1
a



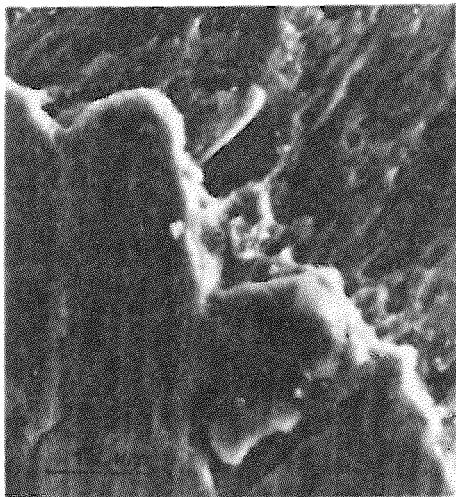
1800 : 1
b

Sl.3: Posnetek površine pri hitrosti rezanja $v = 100 \text{ m/min}$ in podajanju $s = 0,044 \text{ mm/vrt}$.

podajanju $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$ in globini rezanja $a = 3 \text{ mm}$.



180 : 1
a



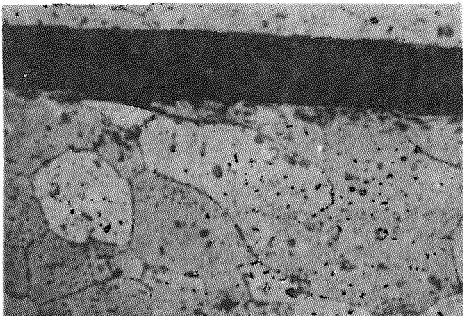
1800 : 1
b

Sl. 4: Posnetek površine pri hitrosti rezanja $v = 800 \text{ m/min}$ in podajanju $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$

Iz prikazanih posnetkov je lepo razvidno, kako natančno lahko zasledujemo spremembe na generirani površini. Iz posnetkov lahko razberemo vplive, ki jih povzročajo spremenjeni režimi obdelave. Pri hitrosti rezanja 800 m/min in podajanju $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$ opazimo pri majhnih povečavah izrazito spremembo z ozirom na sliko 3a le valovitost površine, ki je posledica močno povečanega podajanja (sl. 4a). Šele največja povečava 1800 : 1, ki jo kaže posnetek na sliki 4b pokaže kako globoko in kako grobo je lahko načeta pri takem režimu obdelava površina.

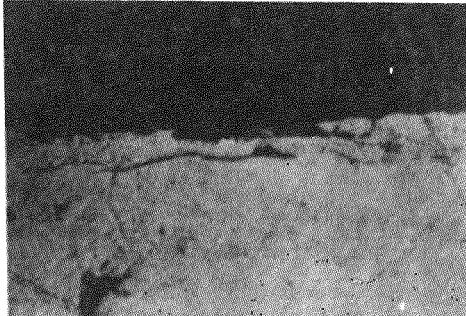
Še bolj očitne napake, ki jih povzročajo različni režimi obdelave, lahko zasledujemo z metalografskimi posnetki, ki gredo prečno od površine proti jedru preizkušanca, torej v smeri, kakor so potekale meritve mikrotrdote (glej sl. 1 in 2). Slike 5 in 6 prikazujeta obdelavo pri hitrosti rezanja $v = 100 \text{ m/min}$, podajanju $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$ in globini rezanja $a = 3 \text{ mm}$. Iz slike 5 izhaja zelo nazorno, da lahko preostri pogoji rezanja povzročijo na površini okvare, ki gredo po mejah kristalnih zrn tudi v notranjost preizkušanca oziroma strojnega dela. To je razvidno še celo pri sliki 6, ko je povečava večja, preizkušanec pa pripravljen tako, da ga je mogoče uporabiti za iskanje mikrorazpok. Slika 6 potrjuje našo trditev popolnoma saj so na

njej lepo vidne razpoke, ki jih je povzročil grob režim obdelave.



300 : 1

Sl.5: Metalografski posnetki plasti pod površino $v = 100 \text{ m/min}$ in $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$



660 : 1

Sl.6: Metalografski posnetki plasti pod površino - nejedkan $v = 100 \text{ m/min}$ in $s = 0,388 \text{ mm/vrt}$

4. Sklepi

Iz povedanega lahko sklenemo naslednje:

- raziskave integritete površine postajajo pri vedno večjih zahtevah do strojnih delov posebno tistih, ki so obremenjeni dinamično nujne.
- optimalni pogoji obdelave niso vselej tudi garant za najbolj ugodne površine, ki brez dvoma vplivajo v znatni meri na obratovalno dobo določenega strojnega elementa.
- rezultati raziskav integritete površine morajo biti sestavni del tehnološke banke podatkov.
- za globjo analizo vpliva posameznih činiteljev na površino in plasti pod njo je potrebno izdelati definirane kriterije, ki se bodo dali primerjati med seboj in vrednotiti.

Reference

- [1] Field, M., Koster, P.W., Kahls, B.J.: Machining of High Strength Steels with Emphasis on Surface Integrity, Metcut Research Associates, INC.Cincinnati, Ohio-USA.
- [2] Proceedings of the International Conference on Surface Technology in Pittsburgh 1973, Dearborn, Michigan, USA.
- [3] Leskovar, P.: Nekaj značilnosti pri preiskavah odrezovalnosti aluminijevih zlitin z orodji iz hitroreznega jekla, Strojniški vestnik 1969/4-5, stran 116-122.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

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

P.Leskovar, D.Ferlan

SURFACE INTEGRITY AS A CRITERION OF MACHINABILITY AND OF MACHINING PROCESS

The state of the surface and the layer directly under it is of vital importance in the machining of metal materials. Characterizing a certain structural element, we normally describe only its geometrical form and material. Material properties are assumed to be the same over the entire cross-section. Detailed investigations have proved that on the surface and directly under it material can acquire essentially different properties which depend greatly on the procedure as well as machining conditions. In the course of machining, material is subject to the influences of changed temperature, plastic deformations or cutting forces, respectively, and chemical reactions.

The purpose of the present investigations is to solve the problem of what is actually happening during certain machining procedures on the surface and directly under it. The analysis of failure has proved the fatigue failures to result from material fatigue of the surface, the underlying layer, respectively. This means that a great deal of permanent fatigue failures are caused by inappropriate machining, i.e. inadequate state of the surface and the layer directly under it. In our investigations of machinability, we have focused our attention on machining procedures and optimal cutting conditions, while surface integrity has been neglected.

Our contribution may be divided into two parts. The first part deals with fundamental notions regarding surface integrity and the importance of such investigations for machining procedures with material removal. In the second part, the authors concentrated upon the results of surface integrity investigations, obtained in the turning of aluminium alloys. The investigation results clearly indicate that in order to evaluate a certain machining procedure as well as the accompanying conditions, the state of the surface and the directly underlying layer has to be considered. It is therefore clear that the investigations of surface integrity represent an integral part of the research of machinability by means of chip removal, and as such, they are indispensable to the formation of technological - data bank.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

F. Roethel⁺

PRISPEVEK K OPISU SPREMENB POVRŠIN PRI PROCESU NOTRANJEGA BRUŠENJA⁺⁺

1. Uvod

V okviru raziskav za nalogo "Identifikacija površin v brusilnem procesu" smo razvili metodo za identifikacijo brusilnega procesa s pomočjo analiz vhodnih in izhodnih stohastičnih funkcij za profile brusov in generirane površine obdelovancev. Pri tem smo določili nekatere potrebne parametre za vodenje brusilnega procesa /1/. Za opis površine naostrenega in obrabljenega brusa ter brušenega obdelovanca smo določili potek velikosti parametrov. Rezultati obsežnih raziskav so pokazali /2/, da lahko z varianco in avtokorelacijsko funkcijo opišemo stanje površine brusa in obdelovanca. Potek raztrosa korelacijskih funkcij smo določili z upoštevanjem distribucije serije korelacijskih funkcij. Raztros nastopi zaradi različnih oblik površine na raznih merilnih mestih. Srednja vrednost normaliziranih avtokorelacijskih funkcij je definirala povprečno stanje oblike površine pod določenimi obdelovalnimi pogoji.

V raziskavah smo skušali definirati parametre brusilnega procesa, na katere bi se lahko oprli pri avtomatiziranju brusilnega procesa z adaptivnim krmiljenjem. Osnova za vodenje procesa s takim krmiljenjem je modelna funkcija. Za programiranje modelne funkcije smo izbrali kot primeren parameter modul povečanja in njegove lastnosti. Zasledovali smo vpliv časa trajanja procesa na površino brusa in obdelovanca in vpliv različnih primičnih sil pri konstantnem času brušenja. Rezultati teh raziskav so pokazali /1/, da so spremembe na površini obdelovanca močno odvisne od sprememb na brusu.

⁺ Dr. mag. Franc Roethel, dipl. ing., docent na Fakulteti za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Murnikova 2

⁺⁺ Raziskano na Fakulteti za strojništvo s sofinanciranjem Sklada Borisa Kidriča v Ljubljani.

Raziskave smo osnovali na konceptu brušenja s krmiljeno konstantno silo, ki ga je raziskoval prof. Hahn /3/. V naši raziskavi smo uporabili idejo J. Peklenika /4/ za opis odrezovalnih procesov s stohastičnimi funkcijami za vhode in izhode.

2. Karakterizacija brusilnega procesa

Brusilni proces lahko obravnavamo kot transformacijski tehnični sistem. V prvi aproksimaciji lahko smatramo proces kot linearen. Na vhodu in na izhodu procesa smo vrednotili površine brusa in obdelovanca s korelacijskimi funkcijami in spektri moči /1/. Vse meritve smo izvedli on-line, to se pravi s sprotnim merjenjem in vrednotenjem na računalniku /6/, /7/.

Vstopna površina obdelovanca se neprestano prilagaja spremembam oblike rezalnega profila brusa in jo zato ne smatramo kot stalen samostojen vhod. Povezavo med vhodom in izhodom sistema dajejo enačbe za frekvenčno-odzivno funkcijo transformacije brusa in obdelovanca med procesom brušenja. Frekvenčno-odzivna funkcija vsebuje faktor povečanja in faktor faze. Za obravnavo in opis procesa zadošča poznavanje faktorja povečanja $H(f)$ oz. modula povečanja $|H(f)|^2$. Faktor faze namreč ne da fizikalnega parametra, ki bi bil za vodenje procesa pomemben. V prejšnjih raziskavah smo že izmerili in vrednotili modula povečanja $|H_b(f)|^2$ in $|H_{nbo}(f)|^2$ v odvisnosti od časa trajanja procesa in od sile, ki med procesom deluje v brusilnem prostoru /1/. Indeks "b" pomeni modul povečanja za naostren brus proti obrabljenemu brusu, indeks "nbo" pa razmerje naostrenega brusa proti obdelovancu. Ta dva modula povečanja opisujeta spremembe vseh površin, ki nastopajo v samem procesu z ozirom na začetno naostritev brusa. Iz teorije vrednotenja naključnih procesov je znano, da lahko izračunani sprektri moči odstopajo od dejanskih vrednosti zaradi lastnosti Fourierjeve transformacije, ki je bila opravljena v digitalni obliki. Zato smo se odločili, da bomo izračunali module povečanja zglajenih spektrov po Hanningu. Obenem pa nismo zanemarili direktno izračunanih spektrov, ker bi lahko glajenje slučajno zabrisalo kakšno bistveno karakteristiko procesa. Modul povečanja direktnih spektrov moči smo označevali z indeksom "1", modul povečanja zglajenih spektrov pa z indeksom "2".

Modul povečanja med obrabljeno in naostreno površino brusa smo dobili po enačbi /1/:

$$\Psi_b(t) = \left| H_b^t(f, t) \right|^2 \quad \text{za } F_y = \text{konst} \quad (1)$$

Enačba velja za proces pri definirani stalni sili po različnih časih obdelave. Modul povečanja med naostreno površino brusa in površino obdelanega obdelovanca pod istimi pogoji smo označili /1/:

$$\Psi_{nbo}(t) = \left| H_{nbo}^t(f, t) \right|^2 \quad \text{za } F_y = \text{konst} \quad (2)$$

V okviru raziskav smo tudi izmerili in določili module povečanja po enakem času brušenja pri različni primični - vendar konstantni sili. Pri tem smo označili module povečanja brusa s /1/:

$$\Psi_b(F_y) = \left| H_b^F(f, F_y) \right|^2 \quad \text{za } t = \text{konst} \quad (3)$$

in module povečanja z ozirom na naostren brus in obdelovanec s /1/:

$$\Psi_{nbo}(F_y) = \left| H_{nbo}^F(f, F_y) \right|^2 \quad \text{za } t = \text{konst} \quad (4)$$

Za natančnejše poznavanje procesa smo v zadnjem času izračunali še modula povečanja med spektri moči za površino obdelovanca in obrabljenega brusa pri konstantni primični sili in pri različnih časih brušenja. Vrednost modula da enačba (5).

$$\Psi_{obo}(t) = \left| H_{obo}^t(f, t) \right|^2 \quad \text{za } F_y = \text{konst} \quad (5)$$

Ravno tako smo računsko določili tudi modul povečanja za obrabljen brus napram obdelovancu pri konstantnem obdelovalnem času in različnih primičnih silah. Za ta primer dobimo izraz po enačbi (6):

$$\Psi_{obo}(F_y) = \left| H_{obo}^F(f, F_y) \right|^2 \quad \text{za } t = \text{konst} \quad (6)$$

V tem prispevku želimo prikazati predvsem rezultate po enačbah (5) in (6).

3. Izvajanje preskusov in merilni stavek

Za merjenje površin smo uporabljali merilnik TalySurf, ki je bil direktno vezan na procesni računalnik IBM S/7, ta pa naprej na računalnik IBM 1130, kjer smo obdelovali zbrane podatke. Material obdelovancev je bil VCMo 230 v izmeri Ø 160 x 100 x 13, brusov pa B80K6V v izmeri Ø 80 x 32. Rezalna hitrost je znašala $v_r = 57 \text{ m/s}$, hitrost obdelovanca $v_w = 126 \text{ vrt/min}$, in vzdolžna podajalna hitrost $s = 1,1 \text{ m/min}$.

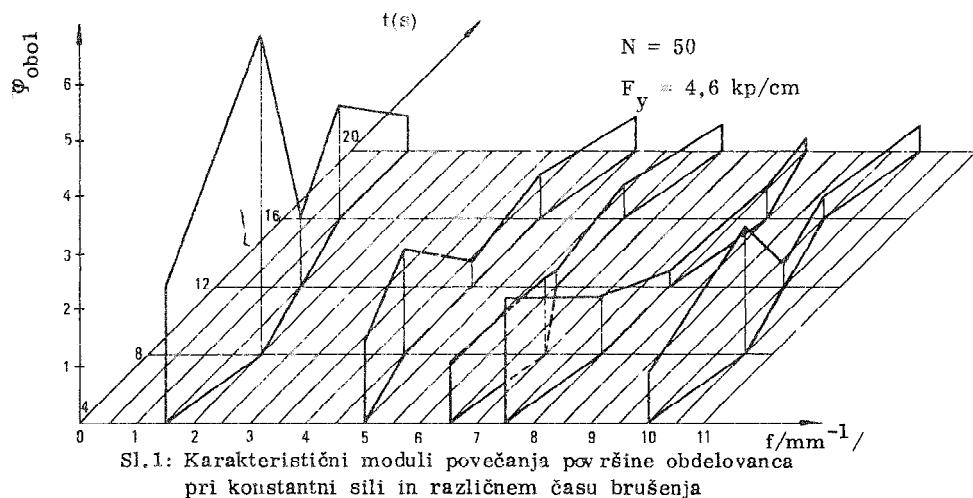
Za krmiljenje brusilnega obdelovalnega sistema smo razvili nov elektrohidraulični krmilni sistem /5/ na stroju Bryant. Z njim smo omogočili notranje brušenje

pri krmiljeni konstantni sili. Pri podani referenci ima krmilni sistem posebno zanko, ki preprečuje spremembo sile pod vplivom naključnih odstopkov med procesom.

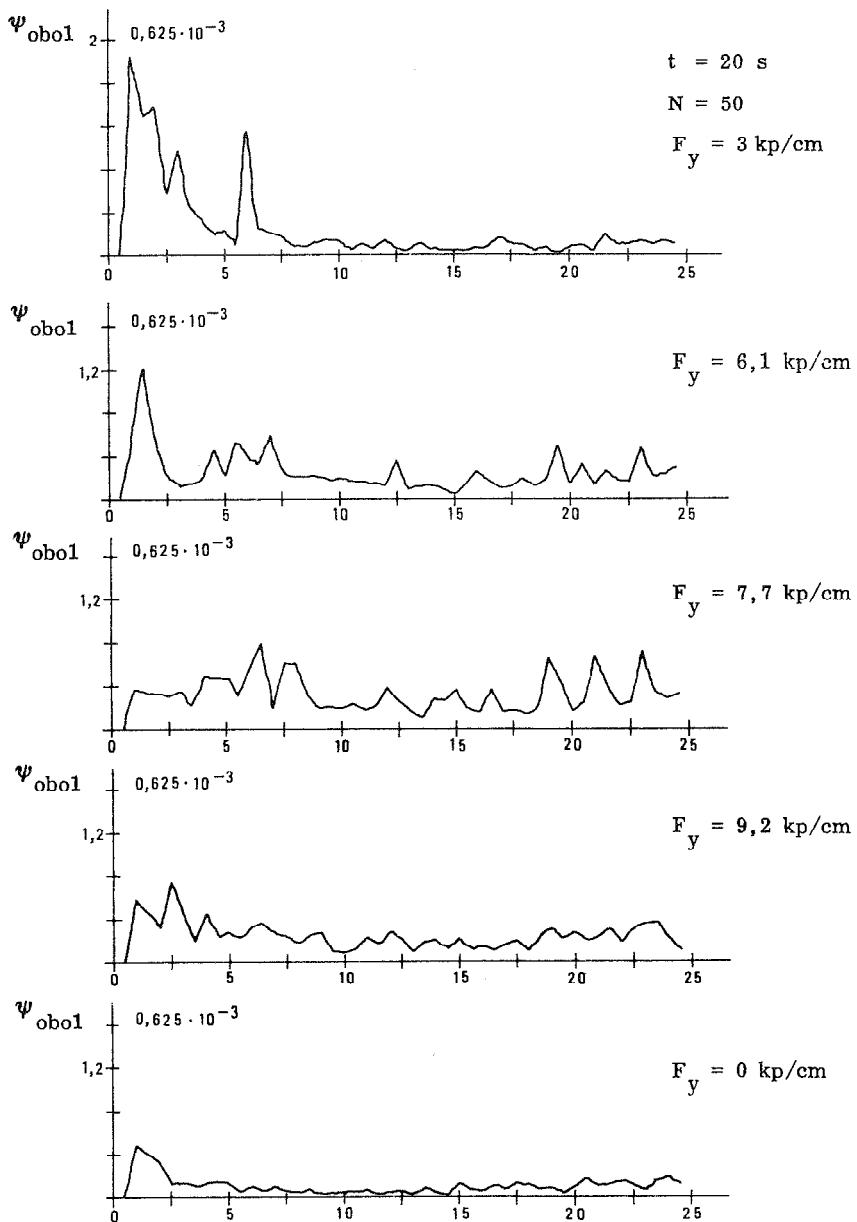
Regulator vzdržuje konstantno velikost sile ustreznno obdelovancu in brusu, ki prihajata v proces. Brusilni proces pri raziskavah je bil opisan z obrabo brusa, generiranjem površine obdelovanca in njegovo neokroglostjo. Izbrane primične sile za meritve so bile $F_y = 3; 4,6; 6,1; 7,7;$ in $9,2 \text{ kp/cm}$. Pri sili $F_y = 4,6 \text{ kp/cm}$ smo jemali vzorce po času 4; 8; 12; 16; in 20 sekund.

4. Rezultati meritev in izračunov

V prvi seriji izračunov smo izračunali modul povečanja med spektri moči za površino obdelovanca in obrabljenega brusa pri konstantni primični sili $F_y = 4,6 \text{ kp/cm}$ in različnih časih brušenja. Pri izračunu vsakega modula smo upoštevali 50 točk do frekvence 25 min^{-1} . Filtrirali smo karakterističen del, ker so spektri pri višjih frekvencah neizraziti in imajo majhne moči. Ocenjevanje modulov smo si olajšali s tem, da smo izbrali najbolj značilne frekvence in skušali najti povezavo med spremembami vseh testov v eni seriji meritev. Izbrane frekvence za prvi izračun so prikazane na sliki 1. Iz slike je razvidno, da se tu vrhovi pri nobeni od frekvenc ne ustalijo, ampak se poveča po frekvenci s časom brušenja pomikajo. Vrhovi se pojavljajo blizu značilnih frekvenc, ki smo jih že pri preteklih raziskavah ugotovili /1/.



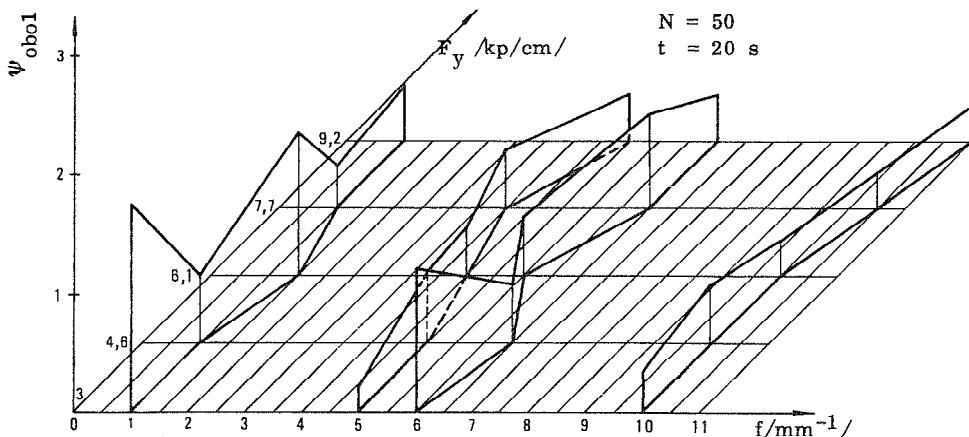
Vrednosti modulov pri izbranih frekvencah prihajajo v poštev za opis modelne funkcije, ki se pojavlja med procesom enkratnega brušenja, ta pa žal z današnjimi OR.14.4



Sl. 2: Moduli povečanja površine obdelovanca pri konstantnem času brušenja in različnih primičnih silah

tehnični pripomočki ne moremo direktno meriti.

V drugi seriji izračunov smo izračunali module povečanja med spektri moči za površino obdelovanca in obrabljenega brusa pri stalnem času brušenja 20 sek in pri različnih primičnih silah. Rezultati so vidni na sliki 2. Tudi tu smo upoštevali za izračun vsakega modula po 50 točk do frekvence 25 mm^{-1} . Podobno kot v prejšnjih izračunih opažamo, da se posamezni vrhovi pojavljajo v območju istih frekvenc in se pomikajo s spremenjanjem sile. Karakteristične module vidimo na sliki 3.



Sl.3: Karakteristični moduli povečanja površine obdelovanca pri konstantnem času brušenja in različni primični sili

Iz navedenih izračunov je vidno, da bi lahko nastavili modelno funkcijo tudi med samim procesom in ne samo na začetku; seveda pod pogojem, da bi lahko razvili primerno meritno metodo, ki bi ugotavljala spremembo površin na brusu med enim samim brušenjem. V tem primeru bi morali izbrati določen ozkopasovni filter in primerjati vrednosti modula povečanja za posamezne merjene vrednosti in tako z eksperimentom določiti vrednosti za modelne funkcije.

5. Prilagojene krivulje za površine

Za popolnejše vrednotenje srednjih vrednosti normaliziranih avtokorelacijskih funkcij, s katerimi smo opisovali površine obrabljenih brusov in obdelovancev, smo izračunali koeficiente prilagojene krivulje za več predpostavljenih funkcij. Izkazalo se je, da je najprimernejša funkcija za popis površine naostrenega in obrabljenih brusov kosinusno-eksponencialna funkcija. Z metodo najmanjših kvadratov za prilagojeno

krivuljo - smo izračunali na osnovi poteka avtokorelacijskih funkcij obrabljenih brusov po različnih časih obdelave koeficiente v enačbah 7 do 11. Izkazalo se je, da dobimo cosinusni člen samo v zelo kratkih časih. Kasneje se ta člen izgubi in dobimo čiste eksponencialne funkcije.

$$t = 4 \text{ /s} / ryy_b = e^{-0,205|\tau|} \cos(2\pi \cdot 0,013\tau) \quad (7)$$

$$t = 8 \text{ /s} / ryy_b = e^{-0,202|\tau|} \cos(2\pi \cdot 0,0142\tau) \quad (8)$$

$$t = 12 \text{ /s} / ryy_b = e^{-0,102|\tau|} \cos(2\pi \cdot 0,0147\tau) \quad (9)$$

$$t = 16 \text{ /s} / ryy_b = e^{-0,174|\tau|} \quad (10)$$

$$t = 20 \text{ /s} / ryy_b = e^{-0,191|\tau|} \quad (11)$$

Prilagojene krivulje za srednje vrednosti normaliziranih avtokorelacijskih funkcij za površine obdelovancev po različnih časih smo vrednotili po istem sistemu in dobili enačbe od 12 do 16.

$$t = 4 \text{ /s} / ryy_o = e^{-0,303|\tau|} \quad (12)$$

$$t = 8 \text{ /s} / ryy_o = e^{-0,337|\tau|} \quad (13)$$

$$t = 12 \text{ /s} / ryy_o = e^{-0,167|\tau|} \quad (14)$$

$$t = 16 \text{ /s} / ryy_o = e^{-0,239|\tau|} \quad (15)$$

$$t = 20 \text{ /s} / ryy_o = e^{-0,267|\tau|} \quad (16)$$

Izkaže se, da so vsi koeficienti funkcij močno odvisni od modula povečanja, to pomeni od transformacije v procesu in nimajo nekega lepega determinističnega matematičnega poteka. Pri površinah obdelovancev je cosinusni del te funkcije tudi popolnoma odpadel. Pri sili 4,6 kp/cm dobimo najlepše površine. Pri različnih večjih silah se koeficienti v eksponencialnih funkcijah razlikujejo za en velikostni red. Ugotovili smo, da so vsi koeficienti zelo slučajnostne narave. V površini obdelovanca ni dovolj zakonitega nihanja in zato se na te koeficiente pri eventualnem krmiljenju ne moremo popolnoma zanesti. Da bi dobili kolikor toliko pravilno velikost koeficientov smo meritve večkrat ponovili. Ugotovili smo, da je pri vnaprej predpisani površini z ozirom na Ra ravno pri bolj gladkih površinah naključnost oblik prilagojenih krivulj prevelika. Laže bi se zanesli na meritev, ki bi jo lahko opravili med samim procesom in takrat vrednotili srednjo vrednost avtokorelacijskih funkcij, vendar to zanekrat ni mogoče izvesti.

Tudi pri optični oceni lastnosti površine iz korelacijskih funkcij je bilo vidno, da imajo površine z enako hrapavostjo lahko različne normalizirane avtokorelačiske funkcije in to žal predvsem pri manjših hrapavostih. Zato bo bolje, da se bomo vnaprej naslanjali predvsem na module povečanja z ozirom na želeno hrapavost Ra obdelovanca, ki jih lahko primerno filtriramo oziroma dobimo direktno s hitro Fourierovo transformacijo.

6. Sklep

Iz prikazanih rezultatov, ki so z ozirom na prostor samo ilustrativni, lahko ugotovimo, da se dabusilni proces in njegov efekt lepo popisati z moduli povečanja. Pretekle raziskave so pokazale, da lahko na njihovi osnovi adaptivno krmilimo brusilni proces z ozirom na vhodne pogoje. Današnje vrednotenje kaže možnost spremeljanja brušenja tudi med rezanjem z enakimi matematičnimi prijemi. Žal pa še ni razvit merilni sistem, ki bi lahko meril površine tudi med obdelavo. Res je, da za krmiljenje zadoščajo moduli povečanja z ozirom na vhodne podatke, vendar bi bili rezultati obdelave boljši in natanko v kolikor bi lahko površino spremljali tudi med obdelavo. To pa kažejo današnji rezultati.

Reference

- /1/ Roethel, F.: Contribution to Force Controlled Internal Grinding Process Using Random Process Techniques. Proceedings of the CIRP Seminars on Manufacturing Systems, št. 4, 1974, str. 275-284.
- /2/ Roethel, F., Justin, B., Leskovar, P., Seljak, Z.: Nove identifikacijske metode obdelovalnega procesa; VIII. posvetovanje proizvodnjega strojništva, Ljubljana, 1973, str. GT 3.1-3.27.
- /3/ Hahn, S.R.: Controlled-Force Grinding - A New Technique for Precision Internal Grinding, Journal of Eng. for Industry, p. 287-293, 1964.
- /4/ Peklenik, J.: Contribution to the Correlation Theory for the Grinding Process, Trans. ASME, Vol. 86, p. 97, 1964.
- /5/ Roethel, F., Peklenik, J., Grabec, I.: Razvoj krmilnega sistemá za odstranjevanje, Strojniški vestnik 1974, št. 4, str. 121-126. Članek izšel tudi v angleškem jeziku.
- /6/ Roethel, F.: Direkte Messung der Technologischen Daten mit EDV-Anlage, Referat na mednarodnem posvetovanju COMPCONTROL'74, Szeged, 1974, (Madžarska), Vorträge, Sektion III, IV, str. 341-355.
- /7/ Roethel, F.: Sprotno merjenje in vrednotenje parametrov v obdelovalnih procesih, Strojniški vestnik, 1974, št. 3, str. 87-93.

F.Roethel

CONTRIBUTION TO THE DESCRIPTION OF SURFACE CHANGES APPEARING IN
THE INTERNAL GRINDING PROCESS

The present article deals with the new theoretical as well as practical possibilities of characterizing the grinding process with regard to the surface of the grinding wheel and that of the workpiece. Input and output surfaces and their transformations are described by gain modulus as a part of frequency-response function. Measurements were carried out on an internal grinding machine with specially adapted control and on-line measuring set-up.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

Z. Seljak⁺)

TEHNOLOŠKE INFORMACIJE O TRDI VALJČNI LITINI⁺⁺)

1. Uvod

Stalno naraščanje obdelovalnih stroškov zahteva povečano produktivnost in večjo izkoriščenost obdelovalnih sredstev. Pri tehnološkem planiranju so velike potrebe po najnovejših podatkih o obdelovalnosti materialov, ki so prilagojeni razpoložljivim obdelovalnim sredstvom. Z uvajanjem novih obdelovalnih materialov in novih orodnih materialov nastopajo informacijske praznine. Do mesta uporabe in v oddelke tehnološkega planiranja prihajajo informacije o najprimernejših obdelovalnih pogojih z zamudo /1/.

Hitro posredovanje tehnoloških informacij od proizvajalca orodij ali obdelovalnega materiala do uporabnika nam lahko omogoči le dobro organiziran informacijski sistem za obdelovalne podatke. Pri tem je potrebna pomoč računalnika za analizo in vrednotenje, kakor tudi za pomoč pri posredovanju obdelovalnih pogojev industrijskim partnerjem.

Pri obdelavi trdih litih valjev s hitroreznimi jekli so bile v uporabi hitrosti rezanja 1 m/min. Z uvedbo karbidnih trdin je bilo možno hitrosti povečati na 5 do 10 m/min in kasneje na 15 do 20 m/min s karbidnimi trdinami, ki so posebno odporne proti obrabi.

Rezalna keramika je bila zadnja leta zaradi svoje velike obrabne odpornosti vedno v ospredju poskusov odrezovanja. V začetku so bile velike omejitve zaradi krhkosti keramičnih rezalnih materialov. Sodobna tehnologija je v znatni meri premagala tudi to oviro. Dandanes lahko obdelujemo z oksidno keramiko mehkejše vrste

⁺) Dr. Zoran Seljak, dipl.ing. stroj., docent na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Murnikova 2.

⁺⁺) Raziskava je bila opravljena na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, financirala sta jo Železarna Štore in Raziskovalna skupnost Slovenije.

litin v jedru in na površini, uporabna pa je v znatni meri tudi pri kontinuiranem odrezovanju trde litine. Najtrše vrste trde litine lahko uspešno obdelujemo s keramiko, ki ima dodatek titanovega karbida – z mešano keramiko.

V našem delu si bomo ogledali obdelavo trde litine z najnovejšimi vrstami rezalnih materialov. Rezultati naj pripomorejo k izboljšanju obdelovalne tehnologije v naših obratih. Količine obdelanih valjev so znatne in vsako izboljšanje obdelovalnih pogojev predstavlja znaten prihranek v proizvodnji.

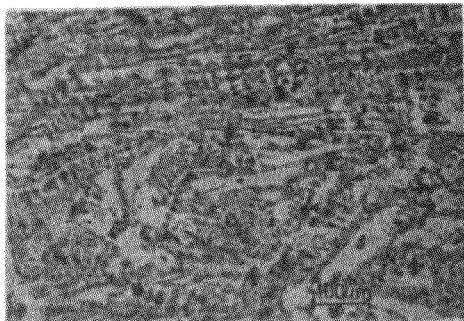
2. Obdelovalni material

V letošnjem letu slavi Železarna Štore pomemben ljubilej 25. obletnice začetka proizvodnje valjev in dosežene količine 5.000 ton valjev letno. Količina in kvaliteta valjev sta stalno naraščali, s tem pa tudi zahteva po večji kvaliteti in optimizaciji obdelave. Največji delež valjev je namenjen valjarnam v črni metalurgiji, nekoliko manjše so potrebe v barvni metalurgiji, kjer je tudi zahtevnost po obrabni odpornosti znatno manjša. Razen teh izdelujejo tudi valje za papirno, gumarsko in drugo industrijo. Valji so včasih za nekatere vrste tehnologij valjanja nekoliko manj zahtevni glede trdote in obrabne odpornosti, je pa njihova izdelava dosti zahtevnejša, ker imamo opravka z votlimi valji /2/.

V proizvodnem programu so samo litoželezni valji z najmanj 2,8 % C. Litina je v osnovi razdeljena na tako z lamelarnim grafitom in litino z okroglim grafitom v osnovni strukturi. Litina z okroglim grafitom ima izboljšane mehanske lastnosti približujejo se mehanskim lastnostim jeklene litine, vendar je tehnika litja znatno bolj zahtevna. Nadalje še delimo na trde in poltrde valje. Naši poskusi se nanašajo samo na trdo litino.

Trdo litino dobimo z ulivanjem na golo kokilo. Del, ki se dotika kokile je strjen belo, sredina valja pa je siva. Tako dobimo trdo delovno plast s perlit-cementitno strukturo in mehkejše jedro s perlit-grafitno strukturo. Za povečano žilavnost valjev uporabljam poseben način ulivanja. Način, ki je uporabljen pri nas, bi lahko imenovali poldvoslojno ulivanje. Najprej ulijemo v kokilo talino, ki se strdi belo, po določenem zadržku dolijemo z FeSi modificirano talino. Modificirano jedro je bolj žilavo in s tem so bistveno zmanjšani lomi valjev med obratovanjem.

Pri naših poskusih smo obdelovali trde valje 475 HB. Struktura vrhnje delovne plasti ima 70 do 75 % cementita, ostalo je perlit in ledeburit (slika 1).



Slika 1: Struktura trde plasti
valja

3. Orodni material in orodje

Kolikor večja je trdota obdelovalnega materiala toliko večjo trdoto, trdnost in odpornost proti obrabi mora imeti rezalni material. Za obdelavo trde litine bi lahko bile upoštevane le karbidne trdine vrste K. Hitrosti rezanja so zelo nizke, nekako med 8 in 16 m/min. Za občutnejše povečanje hitrosti rezanja lahko uporabimo v novejšem času oksidno ali karbidno keramiko /3/.

Keramični rezalni materiali so v praktični uporabi približno od leta 1957. Kvaliteta se je stalno izboljševala in dosegla zelo visoko stopnjo, predvsem zaradi velike topotne trdote, velike obrabne odpornosti in kemične obstojnosti. Povečanje trdnosti rezalne keramike se nanaša predvsem na stalno zmanjševanje srednje velikosti zrn. Izboljšave je bilo mogoče doseči le z intenzivnim razvojnimi in raziskovalnimi delom, kakor tudi z najnovejšo proizvodno tehnologijo in konstantnimi metodami. Kontrolo strukture ne moremo dandanes opravljati z istimi sredstvi, kakor smo jih uporabljali v petdesetih ali šestdesetih letih. Pri srednji velikosti zrn 2 do 3 μm za mešano ali oksidno keramiko je tudi za industrijsko strukturno analizo potrebna uporaba rasterskega elektronskega mikroskopa /4/.

V preteklih letih je bila za izboljšanje kvalitete oksidne in karbidne keramike koncipiran naslednji razvoj:

- zmanjšanje obrabe na prosti ploskvi pri struženju;
- zmanjšanje krhanja rezalnih robov pri struženju;
- uporabnost rezalne keramike pri struženju z uporabo hladilne tekočine;
- izboljšanje obstojnosti pri struženju s prekinjenim rezom;
- dobra obdelovalnost litine in jekel za poboljšanje
- povečana ponovljivost poteka obrabe ploščic pri struženju.

Da bi izpolnili vse te zahteve, morajo biti izpolnjeni nekateri fizikalno-ke-mični in tehnološki kriteriji. Odločilna je izbira in sestava materiala orodja, gostota in poroznost, velikost in razdelitev zrn sintranega materiala, tlačna trdnost, elastični modul in žilavnost, trdota, odpornost proti obrabi, obstojnost na spremembo temperatu-re. Vse naštete lastnosti morajo biti v določenem razmerju, da dobimo optimalno razmerje.

Za raznolike primere uporabe ni mogoče izdelati rezalne ploščice, ki bi imela v vseh ozirih optimalne lastnosti. Potrebna je diferenciacija. Zaradi tega sta danes na tržišču znani dve vrsti keramičnih rezalnih materialov. Čista oksidna kerami-ka ($\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$) in kombinacija oksidne keramike (Al_2O_3) in titanovega karbida (TiC), takoimenovana mešana keramika. Fizikalne lastnosti so prikazane v razpredelnici.

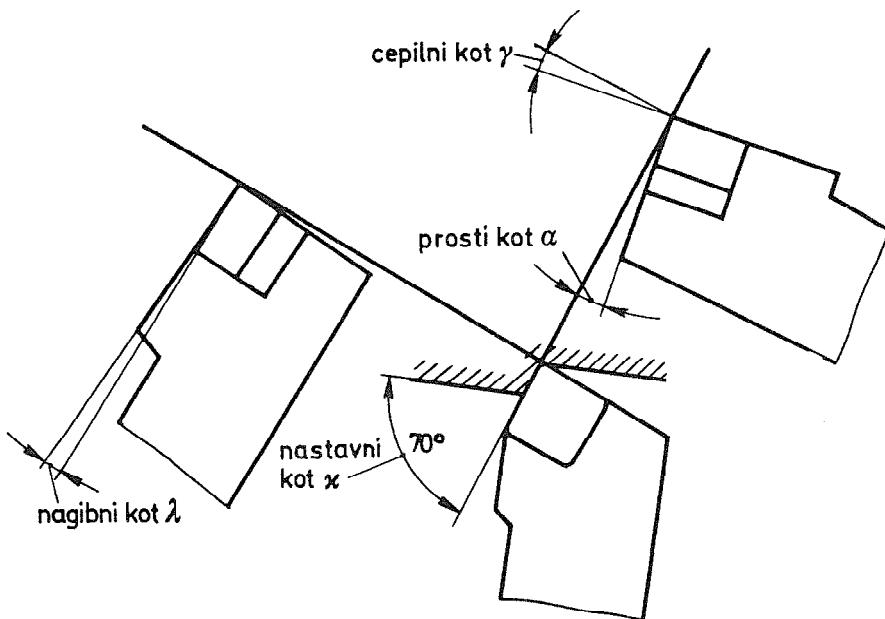
Razpredelnica 1 : Fizikalne lastnosti rezalne keramike

lastnosti	enota	oksidna keramika	mešana keramika
gostota	g/cm^3	3,90 ... 3,92	4,25 ... 4,30
poroznost	vol. %	2,0 ... 2,0	1,5 ... 2,5
velikost zrn	μm	2,5 ... 3,0	1,5 ... 2,0
upogibna trdnost	N/mm^2	500 ... 600	600 ... 700
elastični modul	N/mm^2	$4,1 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^5$
tlačna trdnost	N/mm^2	4000	4500
trdota po Vickersu	N/mm^2	24000	30000
prevodnost topote	$\text{W}/\text{m.K}$	21	38
obstojnost na termo šok	$^\circ\text{C}$	200	500

Pri stružnih poskusih so bila uporabljena držala s prerezom 32 x 25 mm in obliko 710.04.015.05 (slika 2) ter ploščice z obliko SNGN 12 08 08.

4. Poskusi in rezultati

Pri poskusih smo zasledovali več parametrov. Za obdelovalni material je bila podana kemična analiza, metalografska struktura, fizikalne lastnosti itn. Merili smo rezalne sile glede na podajanje in obrabo orodja, obrabo na prosti ploskvi in hrapavost površine.



S1.2: Geometrija rezalnega orodja pri poskusih

Potek poskusov je vsklajen s priporočili informacijskega centra za tehnološke podatke. Vrednotenje rezultatov je opravljeno po računalniških programih, ki smo jih razvili za te potrebe in izpise prilagodili izpisom INFOS-Arbeitskreisa (informacijskega centra za obdelovalne podatke v Aachenu, ZRN).

a) Rezalne sile

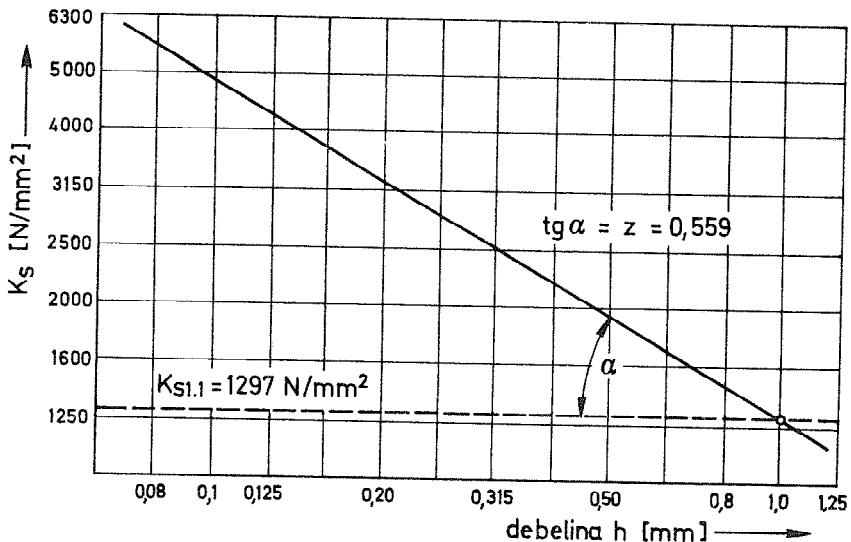
Za merjenje rezalnih sil je bil uporabljen piezo-električni merilnik sil KISTLER 9259. Izmerjene vrednosti smo računalniško izvrednotili tako, da smo dobili specifično rezalno silo (slika 3).

Razen specifične rezalne sile v odvisnosti od podajanja smo zasledovali tudi povečanje sil pri povečani obrabi orodja. Pri ploščicah iz karbidne keramike (mešane) smo dobili pri obrabi $VB = 0,20 \text{ mm}$ naslednje povečanje:

glavna rezalna sila F_S za 16 do 28 %

podajalna sila F_V za 37 do 63 %

odrivna sila F_R za 38 do 67 %



Sl.3: Specifična rezalna sila za različna podajanja pri struženju trde valjčne litine TTL 475 s keramičnimi ploščicami SHT1

Pri ploščicah iz oksidne keramike je bilo povečanje nekoliko manjše in bilo pri $VB = 0,20 \text{ mm}$ naslednje:

glavna rezalna sila F_S za 13 do 19 %

podajalna sila F_V za 32 do 48 %

odrivna sila F_R za 37 do 45 %

Te vrednosti je pri določanju obdelovalnih pogojev nujno upoštevati za omejitve zmogljivosti obdelovalnega stroja.

b) Obraba orodja

Pri poskusih smo zasledovali obrabo na prosti ploskvi. Rezultati so bili evidentirani na standardnih evidenčnih formularjih tako, da jih neposredno prenesemo na računalniške formularje in luknjane kartice. Na sliki 4 je prikazan del računalniškega izpisa s plotterskim izrisom izračunanega rezultata. Kakor je razvidno iz izpisa, dobimo matriko korelacijskih koeficientov z vsemi parametri multiple regresije. Tako smo celoten postopek statističnega vrednotenja eksperimentalnih rezultatov obrabe izvedli računalniško.

Na prej opisan način dobljene rezultate imamo prikazane na skupnem diagramu - slika 5. Iz diagrama so razvidne bistvene razlike v obstojnosti rezalnih

L A K O S	INFORMACIJSKI CENTER ZA OBDELovanje	PODGETJE	FAKULTETA ZA STUJNISTVO
FAKULTETA ZA STUJNISTVO	PODATKE	STEVILO PODGETJA	2
UNIVERZA VLJUBLJANI	STRUZENJE	DATUM	25.06.1975
MATERIAL OBDELOVANCA	MATERIAL URODJA	URUJE	
PROIZVJAJALEC ZFLEZARNA STORE STEVILO PROIZVJAJALCA 103 OZNAKA TL450 STEVILO TALINE 3410	PROIZVJAJALEC STEVILO PROIZVJAJALCA 103 OZNAKA PROIZVJAJALCA SN4N 120808	FELDMULJE SHT 1	PROIZVJAJALEC STEVILO PROIZVJAJALCA 103 OZNAKA PROIZVJAJALCA 710+04+015+0
STOJNA PREDELAVE NACIN PREDELAVANJA TOPLOTA ORDELAVA	REZALNI MATERIAL KVALITETA UPLASTENJE	VETALKERJAVA SHT 1	CAPILNI KUT GAMMA PROSTI KOT ALFA NAUJINI KOT LANGUA NASTAVNI KOT KAPA UPLASTENI KOT HORA HADIJ KONICE
			-6 -6 -6 75 14 0ab

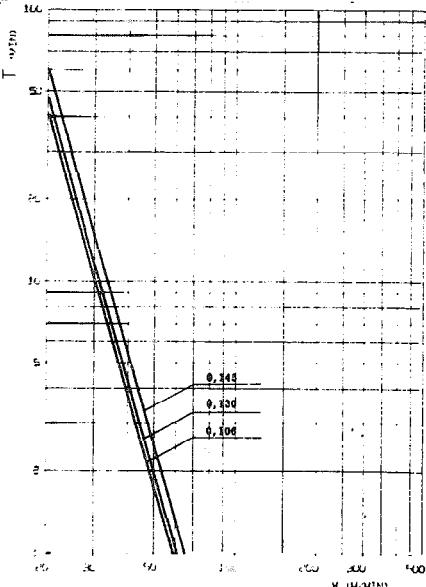
R E Z U L T A T I
KRITERIJ OBSTOJNOSTI URODJA = VB = 0,25 MM

Matrika korelačijskih koeficientov				
SPREMLJIVKA	V	S	T	VB
V	1,000	0,210	-0,286	0,324
S	0,210	1,000	-0,049	0,281
T	-0,286	-0,049	1,000	0,251
VB	0,324	0,281	0,251	1,000

Izracun parametrov multiple regresije za model regresijske enacbe $V = KONSTANTA + S \cdot V_F + T \cdot V_T + V_B$

SPREMLJIVKA	S	T	VB	KONSTANTA
REGRESIJSKI PARAMETRI	0,084	-0,054	0,320	118,015
STD. POGRESEK OCENE R-KOEF	0,110	0,015	0,089	
T-TEST	0,762	-3,595	3,582	
TAKO ENACBA REZALNE HITROSTI GLASI	V = 118,015 + S * 0,084 - T * -0,054 + VB * 0,320			

L A K O S	INFORMACIJSKI CENTER ZA OBDELovanje	PODGETJE	FAKULTETA ZA STUJNISTVO
FAKULTETA ZA STUJNISTVO	PODATKE	STEVILO PODGETJA	2
UNIVERZA VLJUBLJANI	STRUZENJE	DATUM	25.06.1975

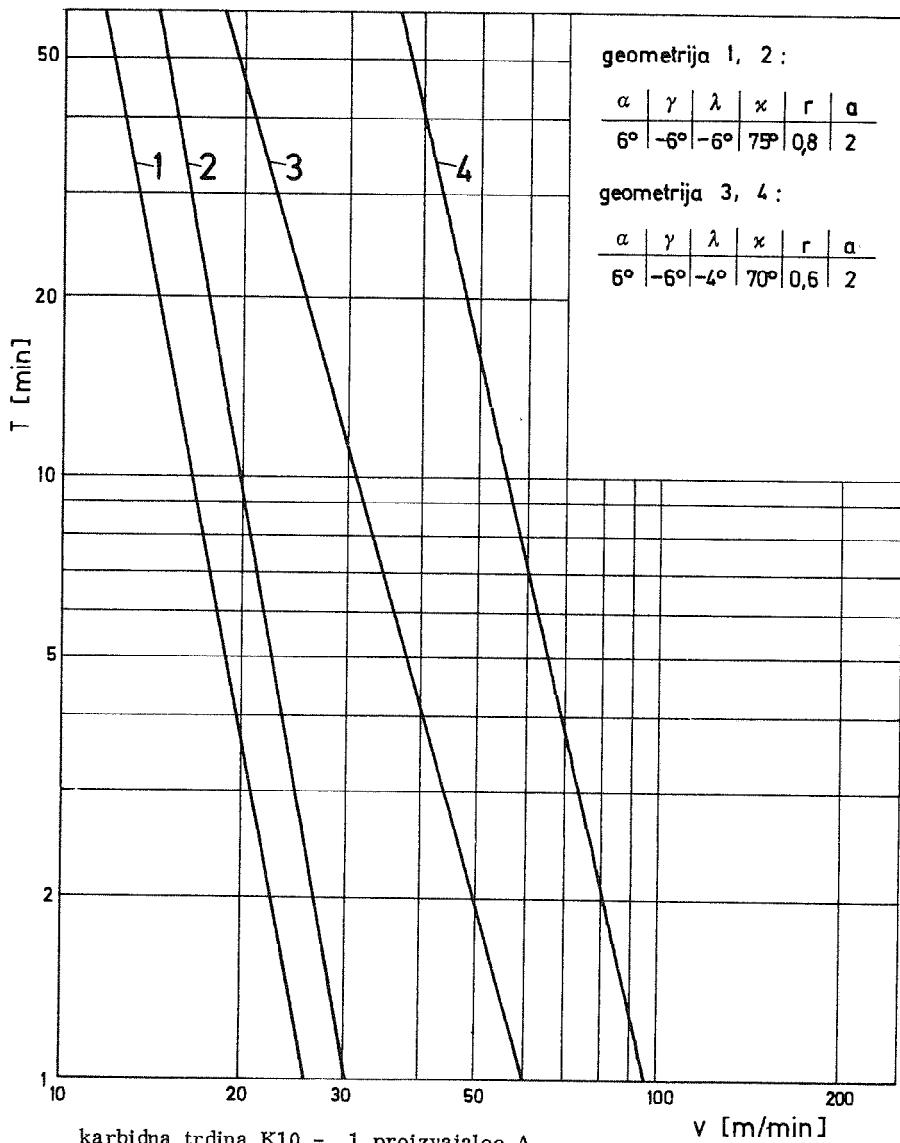


OBSTOJNOST URODJA V UZVISNOSTI OD REZALNE HITROSTI

MATERIAL OBDELOVANCA TL450
ODRJJE FELDMULJE
KVALITETA SHT 1
KRITERIJ OBRABE VB = 0,25 MM

LEGENDA
 *--> S=0,106 MM/VRT
 *--> S=0,130 MM/VRT
 *--> S=0,145 MM/VRT

OR.15.7



karbidna trdina K10 - 1 proizvajalec A
 2 proizvajalec B
 rezalna keramika 3 oksidna keramika
 4 mešana keramika

obrabni kriterij: VB = 0,25 mm

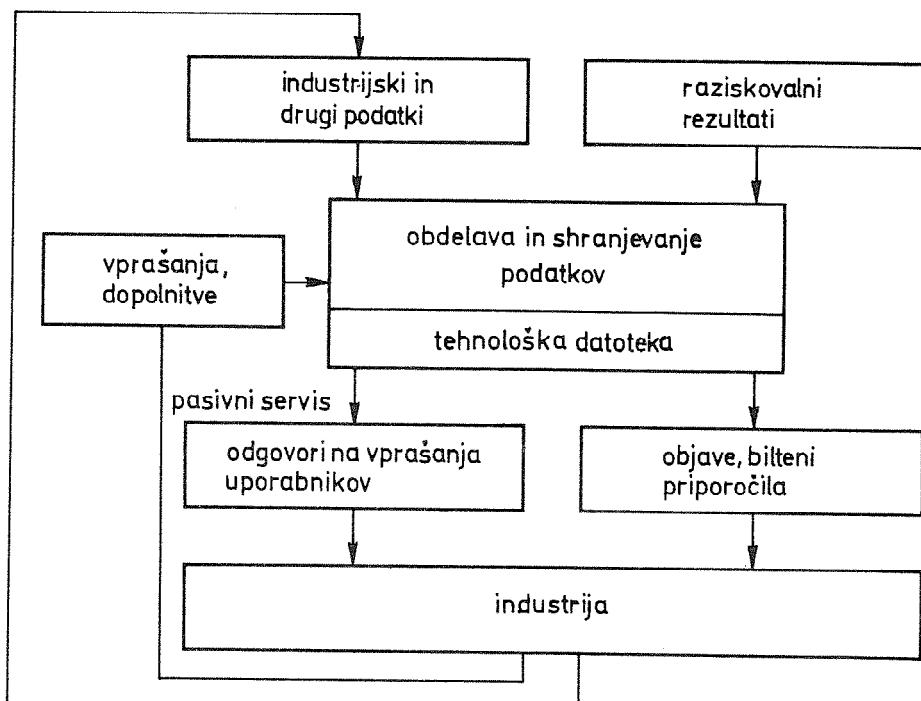
podajalna hitrost: s = 0,13 mm/vrt

Sl. 5: Obstojnost rezalnega robu pri struženju trde litine TL.475 HB s karbidno trdino in keramiko

orodij. Obstojnost karbidne trdine z isto kvalitetno označbo K10 po ISO vendar od različnih proizvajalcev, je lahko za 100 % različna.

S keramičnimi rezalnimi ploščicami lahko obdelujemo z dva do trikrat večjo rezalno hitrostjo, kakor s karbidnimi trdinami. Taka razlika v obdelovalnih hitrostih pa gotovo predstavlja vrednosti, ki znatno vplivajo na znižanje stroškov obdelave.

Rezultate laboratorijskih raziskav redno posredujemo industrijskim partnerjem v uporabo. Bistveno pri tem je, da so podatki avtentični, ugotovljeni z lastnimi raziskavami. Pri tem skušamo doseči posredovanje tehnoloških informacij tehnologom in operaterjem ob obdelovalnih strojih po čim krajši poti (slika 6).



Slika 6: Organizacija pretoka tehnoloških informacij

Razen podatkov o obrabi rezalnega robu pri obdelavi določene litine moramo tudi priporočati vrsto vpenjal za rezalne ploščice. V konkretnem primeru obdelave valjev iz trde litine bo prehod zahteval tudi opustitev brušenja obrabljenih rezalnih ploščic in uvedbo posebnih vpenjal za keramične rezalne ploščice.

Obdelava valjev iz trde litine je posebno zahtevna in specifična za proizvajalca teh valjev, s tehnologijo obdelave pa se ukvarjajo tudi uporabniki izdelkov iz trde litine. Zaradi tega je pomembno, da ima širši krog uporabnikov na voljo obdelovalne podatke glede na najnovejše vrste orodij.

Drugi del naloge v organizaciji informacijskega sistema za tehnološke podatke predstavlja zbiranje v industriji preizkušenih podatkov. Neposredno iz proizvodnih obratov moramo dobiti vrednosti za obstojnost orodij, kvaliteto obdelave in druge vrednosti, ki jih pojmujemo pod obdelovalnostjo. Za to morajo biti primerno usposobljeni sodelavci v tovarnah in povezava med raziskovalno institucijo in industrijskimi obrati mora biti zelo tesna.

Reference

- 1 Seljak, Z.: Dosežki na področju obdelave z odrezovanjem in obdelovalnosti, Jurema - Zbornik radova BIAM 1973, str.1-14, Zagreb, 1973.
- 2 Gorišek, C.: Kvalitetni razvoj proizvodnje valjev v Štorah. III.Kongres livaca Jugoslavije, Sarajevo, 8.-13.maja 1966.
- 3 Klicpera,U.: Anwendung von Schneidkeramik beim Zerspanen von Hartguss HGF-Bericht 132, Industrieblatt, Nr.15, 20.2.1974, str.357-358.
- 4 Dworak, U.: Herstellung und Eigenschaften der Schneidkeramik, Sonderdruck aus "Werkzeugmaschine international", August, 1972.

Z.Seljak

SOME MACHINING DATA FOR HARD CAST IRON

The present survey of machining chilled cast iron illustrates a considerable progress achieved in the machining technology by using oxide and carbide ceramics. It is highly important for the experimentally established results regarding tool life to be expediently communicated to production engineers and machine tool operators. This enables an information system for machining data.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

E.Kuljanić, E.Lemaher⁺⁾

METODA ZAKRETANJA ALATA - POVEĆANJE POSTOJANOSTI ALATA
ZA ODVALNO DUBLJENJE (FELLOWS)⁺⁺⁾

1. Uvod

Značajno mjesto među postupcima obrade zupčanika zauzima odvalno dubljenje. Ovaj postupak se primjenjuje za izradu zupčanika s vanjskim i unutarnjim ozubljenjem.

Međutim, ovo je jedini postupak s kojim se može izraditi unutarnje ozubljenje, te zupčanici kojima je konstrukciono ograničen prostor za izlaz alata za ozubljenje.

U okviru projekta "Povećanje produktivnosti i smanjenje troškova obrade kod izrade ozubljenja" [1] kojeg finansira Prvomajska - Tvornica zupčanika i reduktora izvršeno je istraživanje trošenja alata za odvalno dubljenje iz kojeg je proizašla metoda postojanosti ovog alata.

2. Uslovi izvođenja pokusa

Materijal obratka bio je čelik za cementaciju Č.5421, a pripremak (otkovak) u meko žarenom stanju s vlačnom čvrstoćom $\sigma_m = 80...90 \text{ kp/cm}^2$.

Geometrijske karakteristike obratka bile su:

- modul	$m_n = 4 \text{ mm}$
- zahvatni kut	$\alpha_o = 30^\circ$
- broj zubi	$z = 20$
- pomak osnovnog profila	$x \cdot m = +0,5$
- diobeni promjer	$d_o = 80 \text{ mm}$

⁺⁾ Dr Elso Kuljanić, dipl.inž., znanstveni suradnik Prvomajska - Institut za alatne strojeve, Zagreb, Žitnjak bb; Ernest Lemaher, dip.inž., viši stručni suradnik Prvomajska - Institut za alatne strojeve, Zagreb, Žitnjak bb

⁺⁺⁾ Rađeno u Prvomajska - Institut za alatne strojeve kao dio projekta POVEĆANJE PRODUKTIVNOSTI I SMANJENJE TROŠKOVA OBRADE KOD IZRADE OZUBLJENJA

Obrada ozubljenja je vršena u dva prolaza, tj. jedan prolaz za grubu i jedan prolaz za završnu obradu. Pokusi su vršeni na stroju Lorenz tip SN4 snage glavnog motora $P = 4,3 \text{ kW}$. Za obradu je primjenjen alat zvonastog oblika s 25 zubi izrađen iz visoko kvalitetnog brzoreznog čelika HSS.

Režimi obrade pokusa prikazani su u tabeli 1. Područje maksimalne brzine rezanja bilo je od 18,7 do 26,4 m/min i posmaka od 0,355 do 0,56 mm/duplom hodu.

TABELA 1: Režim obrade

Red. br.	Maksimalna brzina re- zanja, m/min		Broj duplih hodova DH/min		Posmak mm/DH
	gruba obrada	završna obrada	gruba obrada	završna obrada	
1	18,7	28,1	425	640	0,355
2	23,3	35,2	530	800	0,355
3	26,4	39,6	600	900	0,355
4	26,4	39,6	600	900	0,560 0,355*
5	23,3	35,2	530	800	0,45

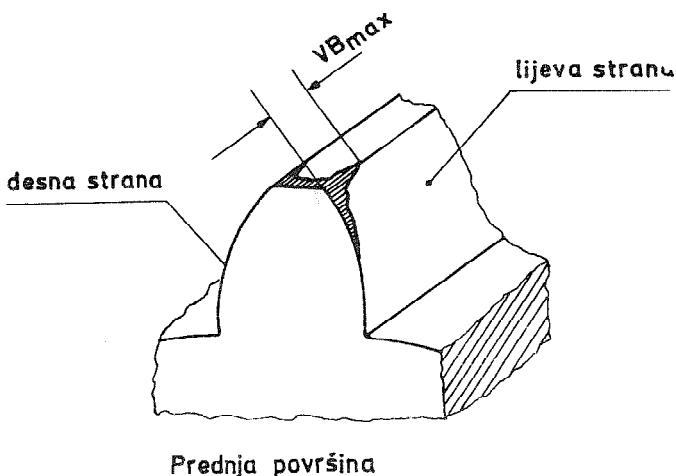
* Završna obrada

Za obilno hlađenje upotrebljeno je ulje "Rezanol 40A" -INA.

3. Trošenje alata

Karakteristično je za ovaj alat da dolazi do maksimalnog trošenja na mjestu spajanja stražnje površine stranice zuba i stražnje površine na vrhu zuba, vidi sliku 1. Veličine trošenja na ostalim mjestima su male prema veličini maksimalnih trošenja. Zbog toga se u praksi uzima za kriterij istrošenja maksimalno trošenje VB_{max} .

Trošenje alata je mjereno u vremenskim razmacima, što je omogućilo da se otkrije poseban fenomen trošenja alata za odvalno dubljenje. Naime primjećeno je da svi zubi na alatu imaju približno jednako maksimalno trošenje do približno 90 obrađenih obradaka. Nakon toga trošenje jednog zuba naglo se povećava, tako da postigne nedopustivo velike vrijednosti za relativno mali broj obrađenih obradaka iznad 90 obradaka. To je vidljivo na slici 2, gdje je jedno mjerjenje izvršeno nakon 91 obrađenog obratka, a drugo mjerene



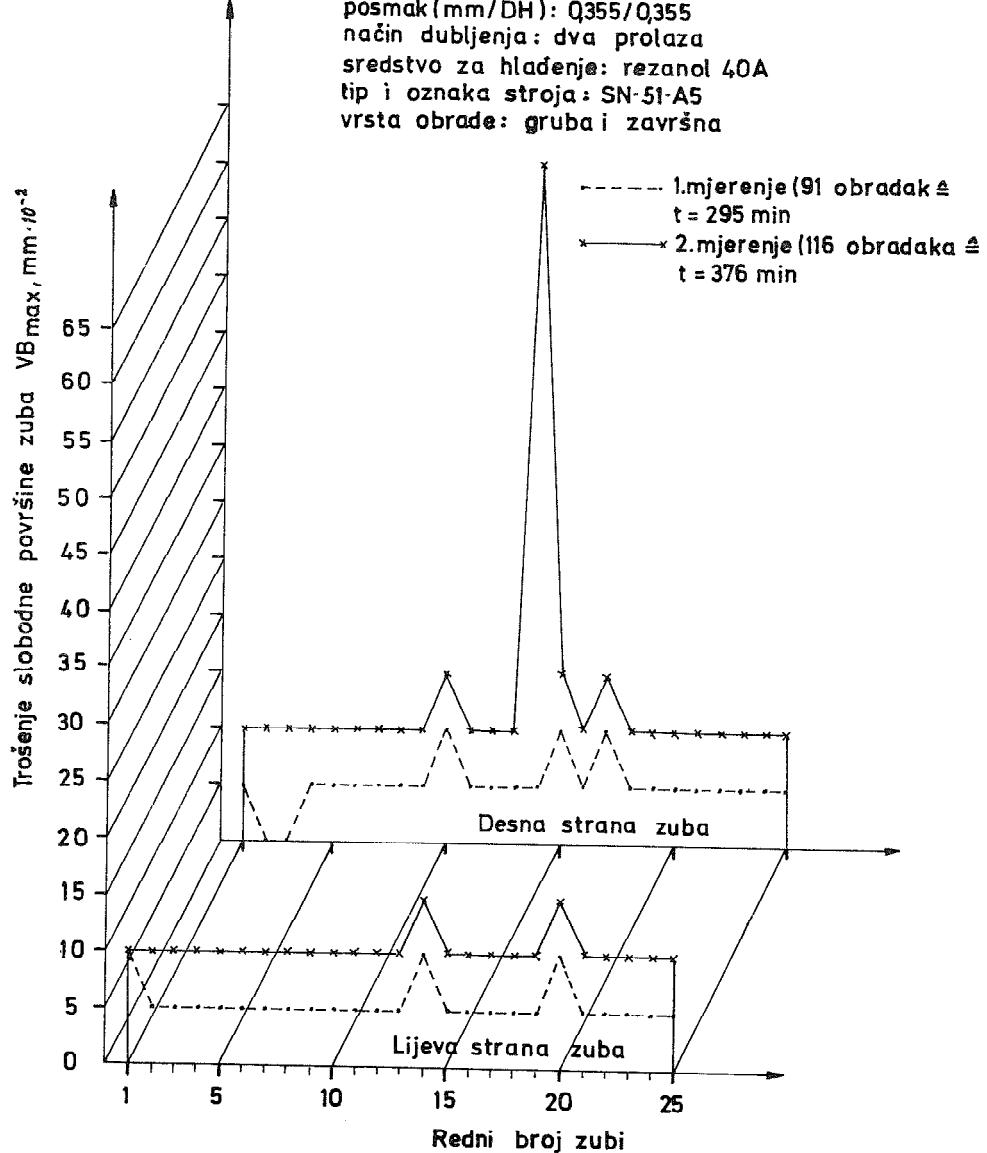
Slika 1 Trošenje zuba

nje nakon 116 obradaka. Pojava većeg trošenja jednog zuba alata uočena je i u radu [2]

Poznato je da kod ovog postupka postoji specifičan način radijalnog ulaza alata u obradak do tražene dubine na početku grube obrade svakog zupčanika. Frekvencija ulaza alata u obradak pojedinih zubi alata, u periodu između dva oštrenja, ovisi o odnosu broja zubi alata i obratka.

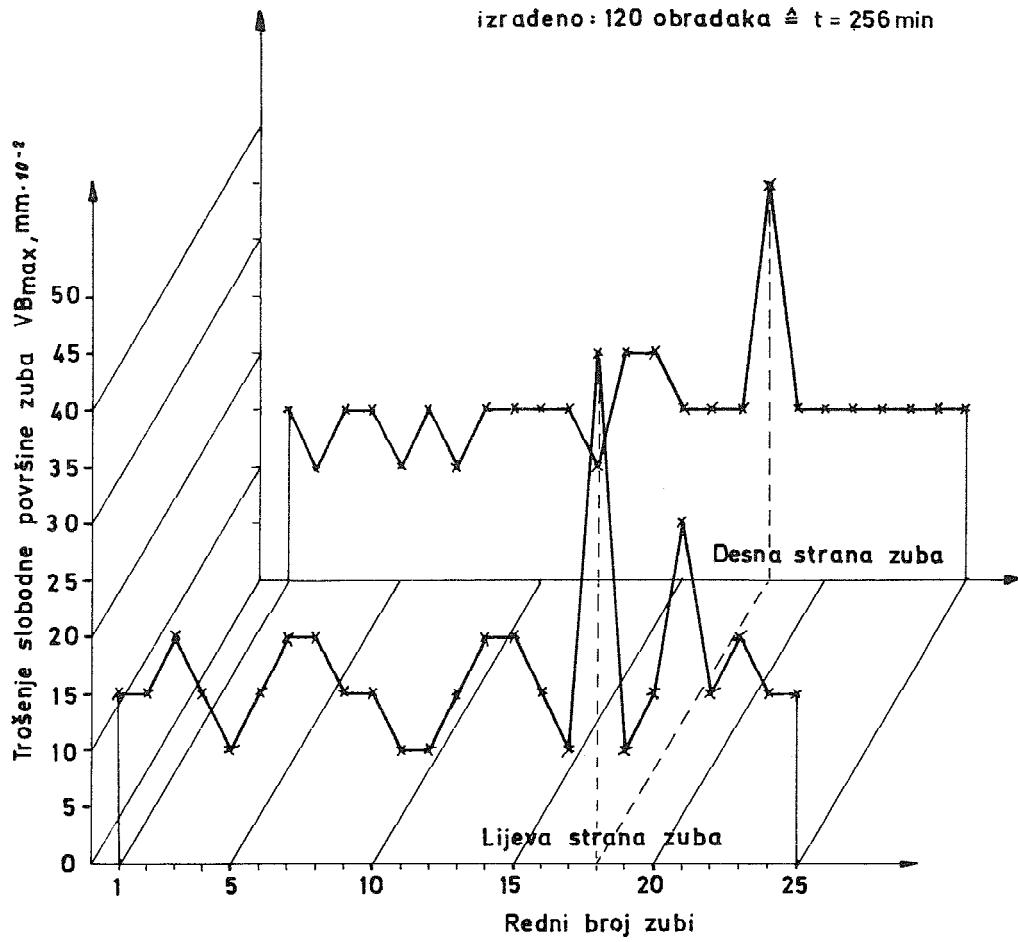
Budući da su zubi koji režu za vrijeme ulaza alata u obradak jače opterećeni od ostalih zubi, izvršena je simulacija obrade odvalnog dubljenja s jednim alatom. Svrha ove simulacije bila je da se odredi frekvencija ulaza pojedinih zubi nakon većeg broja obradenih obradaka. Ovom analizom je utvrđeno da se razlikuje frekvencija ulaza pojedinih zubi, iz čega proizlazi da nisu svi zubi alata jednoliko opterećeni. Ova konstatacija bila je važna za daljnji tok istraživanja. Za promatrani slučaj, broj zubi alata $z = 25$ i broj zubi zupčanika $z = 20$, dokazano je da su neki zubi učestvovali u ulazu alata u obradak i do 50% puta više od ostalih.

REŽIM OBRADE I OSTALI UVJETI:
 broj hodova alata (DH/min) 425/640
 brzina rezanja: m/min 187/281
 posmak (mm/DH): Q355/Q355
 način dubljenja: dva prolaza
 sredstvo za hlađenje: rezanol 40A
 tip i oznaka stroja: SN-51-A5
 vrsta obrade: gruba i završna



Slika 2 Trošenje alata bez zakretanja

REŽIM OBRADE I OSTALI UVJETI
 broj hodova alata, DH/min : 530/800
 brzina rezanja, m/min : 23/35
 posmak, mm DH: 0,45
 način dubljenja: dva prolaza
 sredstvo za hlađenje: rezanol 40A
 tip i oznaka stroja: SN4-51A5
 vrsta obrade: gruba i završna



Slika 3 Trošenje alata bez zakretanja

Na primjer najveću frekvenciju ulaza imao je zub označen s brojem 18, a zatim zub 17 i zub 19.

Na slici 3 prikazano je trošenje alata za odvalno dubljenje za slučaj kada je prvi zub odabran za mjerjenje trošenja, kao i kod simulacije obrade. Treba napomenuti da je na slici 2 prvi zub za mjerjenje trošenja odabran nasumice.

Na slici 3 se vidi da je imao zub broj 18 najveće trošenje, $VB_{max} = 45 \text{ mm} \times 10^{-2}$, dok su ostali zubi imali znatno manja trošenja. Ovakav način povećanog trošenja jednog zuba znatno smanjuje postojanost alata, odnosno broj obrađenih obradaka između jednog oštrenja.

Daljnjim istraživanjem došlo se do podesnog načina za povećanje postojanosti alata za odvalno dubljenje.

4. Metoda

Da bi se izbjeglo veće opterećenje, odnosno trošenje samo nekih zubi alata proizašla je ideja zakretanja alata nakon određenog broja obrađenih obradaka, a prije postignutog kriterija istrošenja alata.

Na slici 4 prikazano je trošenje alata nakon 120 obrađenih obradaka. U ovom slučaju alat je zakrenut za 180° u odnosu na obradak, nakon 60 obrađenih obradaka. Ovdje vidimo da maksimalno trošenje ima vrijednost $VB_{max} = 25 \text{ mm} \cdot 10^{-2}$, dok je bilo maksimalno trošenje alata $VB_{max} = 45 \text{ mm} \cdot 10^{-2}$ bez zakretanja nakon 120 obradaka, vidi sliku 3.

Iz ovih razmatranja proizlazi da se može povećati postojanost alata za odvalno dubljenje, ako se alat zakrene u odnosu na obradak za 180° . Međutim, alat se može zakrenuti za 120° , ili za neki drugi kut koji se pokaže podesan za određeni omjer broja zubi alata i broja zubi obratka.

5. Zaključci

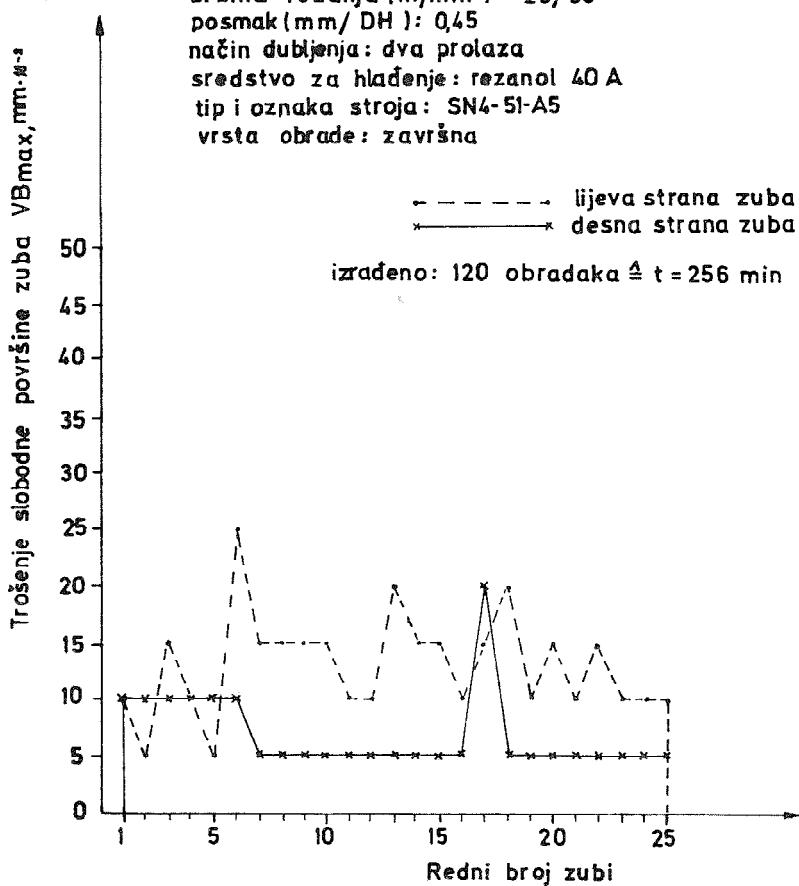
Na temelju iznesenoga dolazimo do slijedećih zaključaka:

1. Maksimalno trošenje stražnje površine je približno jednakod kod svih zubi alata do izvještanog broja obrađenih obradaka, odnosno do određenog vremena rezanja s jednim alatom.

2. Trošenje jednog zuba alata se naglo povećava u slučaju da se prijede to granično vrijeme rezanja s jednim alatom.

3. Nastavljanje obrade i nakon pojave većeg trošenja jed-

REŽIM OBRADE I OSTALI UVJETI:
 broj hodova alata (DH/min): 530/800
 brzina rezanja (m/min): 23/35
 posmak (mm/DH): 0,45
 način dubljenja: dva prolaza
 sredstvo za hlađenje: rezanol 40 A
 tip i oznaka stroja: SN4-51-A5
 vrsta obrade: završna



Slika 4 Trošenje alata sa zakretanjem nakon
60 obradaka

nog zuba prouzrokuje naglo trošenje još nekog susjednog zuba.

4. Zub na kojem se trošenje naglo povećava jače je opterećen od ostalih zubi zbog povećanog broja ulaza na početku obrade zupčanika.

5. Do fenomena naglog trošenja jednog zuba vjerojatno dolazi zbog većeg opterećenja zuba alata za vrijeme ulaza alata u obradak.

6. Zakretanjem alata u odnosu na obradak prije pojave povećanog trošenja izbjegava se jače trošenje jednog zuba i na taj način se povećava postojanost alata.

7. Metodom zakretanja alata smanjuju se troškovi alata, te se može povećati produktivnost odvalnog dubljenja.

Primjenom ove metode u praksi potvrđeni su gornji zaključci. Za primjenu metode zakretanja alata potrebno je pokusima utvrditi granični broj obrađenih obradaka, odnosno granično vrijeme, nakon kojeg dolazi do većeg trošenja jednog zuba. Na temelju tog podatka može se odrediti broj obrađenih obradaka, odnosno vrijeme rezanja, koje može biti polovica graničnog vremena rezanja, nakon kojeg se alat zakrene u odnosu na obradak. U dalnjem radu trebalo bi istražiti podesan kut zakretanja alata u zavisnosti o odnosu broja zubi alata i broja obratka.

Reference

- [1] E.Kuljanić, E.Lemaher i R.Kozlović, Istraživanje odvalnog dubljenja, Elaborat br. 523/3, Prvomajska - Institut za alatne strojeve, Zagreb, 1975
- [2] B.Pavlović, R.Milevanović, Analiza triboloških pojava na reznim elementima alata pri izradi cilindričnih zupčanika rendisanjem, Obrada metala i tribologija, br.1, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1974

E. Kuljanic, E. Lemaher

DIE METHODE DER SCHWENKUNG DES WERKZEUGS – STANDZEITVERLÄNGERUNG FÜR WÄLZSTOSSEN

In diesem Bericht ist die Erscheinung eines raschen Zahnverschleisses für das Wälzstossen dargestellt, aber erst nachdem eine gewisse Anzahl Werkstücke ausgearbeitet ist. Alle Zähne haben beläufig gleichförmigen Verschleiss. Durch Bearbeitungssimulation ist bewiesen worden, dass der Zahn welcher sich kräftiger abnutzt mehr Material abnahm, wegen der Kinematik dieses Prozesses d.h. grösserer Anzahl des Eingriffs in das Werkstück.

Ebenfalls ist die Methode der Schwenkung des Werkzeugs dargestellt, die durch diese Arbeit resultiert wurde, mit derer Anwendung man solche schädliche Erscheinung grösseres Zahnverschleisses ausweichen oder mildern kann. Durch die Anwendung genannter Methode wird die Standzeit verlängert und gleichzeitig die Kosten des Werkzeugs verminder, und damit kann man die Produktivität des Wälzstossens vergrössern.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

E. Kuljanić, E. Lemaher^{*)}

UTJECAJ BROJA POČETAKA ODVALNOG GLODALA NA HRAPAVOST
POVRŠINE I EKSCENTRIČNOST ZUPČANIKA⁺⁺⁾

1. Uvod

Od postojećih postupaka obrade čeonih zupčanika u većini slučajeva primjenjuje se odvalno glodanje. Poznato je da se s povećanjem broja početaka odvalnog glodala smanjuje vrijeme obrade odnosno povećava produktivnost. Međutim, u praksi se često izbjegava primjena dvovojsnih i trovojsnih glodalaca, ili glodala s još većim brojem početaka, najčešće zbog bojazni da se s njima neće moći postići hrapavost obradene površine i geometrijska točnost obratka koja se dobiva s jednovojnim glodalima. Razlog za takvo stanje je nedostatak podataka na ovom području.

Svrha ovog istraživanja bila je da se utvrdi utjecaj broja početaka odvalnog glodala na hrapavost obradene površine i na ekscentričnost zupčanika.

2. Uslovi izvođenja pokusa

Pokusi su vršeni na odvalnoj glodalici MODUL ZFWZ-500x8A slijedećih karakteristika: snaga glavnog motora $P = 7,5 \text{ kW}$ i besstepena promjena broja okretaja glavnog vretena $n = 40$ do $280 \text{ }^{\circ}/\text{min}$.

Pokusi su vršeni na dva vrlo slična obratka. Obrada s jednovojnim glodalom je vršena na obratku I i na obratku II. Zbog smanjenja utjecaja obratka, vršen je slučajni izbor obradaka.

^{*)} Dr Elso Kuljanić, dipl.inž., znanstveni surađnik Prvomajska - Institut za alatne strojeve, Zagreb, Žitnjak bb;
Ernest Lemaher, dipl.inž., viši stručni surađnik Prvomajska - Institut za alatne strojeve, Zagreb, Žitnjak bb

^{++/} Rađeno u Prvomajska - Institut za alatne strojeve kao dio projekta POVEĆANJE PRODUKTIVNOSTI I SMANJENJE TROŠKOVA OBRADE KOD IZRADA OZUBLJENJA

Zbog dva početka na dvovojnem odvalnom glodalju upotrebljen je obradak I za pokuse s ovim glodalom. Obrada s trovojnim glodalom vršena je na obratku II. Međutim, s obzirom na dobru napravu za stezanje obratka, razlika u polumjeru od približno 6 mm na relativno velikom promjeru, pretpostavlja se da nije imala značajniji utjecaj na dobivene rezultate. Obratci su imali oblik diska. Geometrijske karakteristike primjenjenih obradaka su slijedeće:

	Obradak I	Obradak II
normalni modul	$m_n = 4$	4 mm
broj zubi	$z = 37$	40
zahvatni kut	$\alpha_c = 20^\circ$	20°
nagib zubi	$\beta = 19^\circ$	19°
promjer diobene kružnice	$D_o = 156,53$	169,22 mm
stupanj točnosti	7 d	7 d

Materijal obratka bio je Č.5421. Otkivci su bili nakon kovanja meko žareni na srednju tvrdoću od 155 HB. Materijal alata bio je alatni čelik s dodatkom kobalta od 5%.

Karakteristike odvalnih glodala su slijedeće:

modul	$m_n = 4$ mm
zahvatni kut	$\alpha_o = 20^\circ$
vanski promjer glodala	$D_t = 90$ do 100 mm
duljina odvalnog glodala	$L = 150$ mm
smjer uspona zavojnice:	desni
broj utora	12 i 13
osnovni profil glodala: profil III x 4 DIN 3972	
profil zuba:	normalni profil A
broj početaka:	1,2 i 3
kvaliteta izrade:	klasa A, DIN 3968

Pokusi su izvršeni s režimima obrade prikazanim u tabeli 1.

Tabela 1. Režim obrade

Pokus	Jednovojno glodalo m/min	s mm/ok	Dvovojno glodalo s mm/ok	Trovojno glodalo s mm/ok
1	32	2	1,25	1,0
2	40	2	1,25	1,0
3	45	2	1,25	1,0
4	50	2	1,25	1,0

Svaki pokus je ponovljen. Za dvovojno i trovojno glodalo posmak je smanjen za 37,5% odnosno za 50% u odnosu na jednovojno glodalo, zbog većeg specifičnog opterećenja po zubu. Ovo su stvarna smanjenja zbog stepenastog posmaka na stroju. Međutim, prema [1] preporuča se smanjenje za približno 33% kod dvovojnih, u odnosu na aksijalni posmak kod jednovojnih, te smanjenje za približno 50% kod primjene trovojnih odvalnih glodala.

Upotrebljeno je rashladno sredstvo Rezanol 40A - INA. Mjerenje hraptavosti i ekscentričnosti vršeno je kad je bio alat očistar.

3. Hrapavost obrađene površine

Odvalno glodanje je postupak gdje zubi odvalnog glodala prodiru u međuzublje, te tako oblikuju bokove zuba koji se sastoje iz ravnih rezova. Tamo gdje se sastaju ti rezovi nastaje najveće teoretsko odstupanje od evolvente f_t . Izraz za računanje teoretskog odstupanja evolvente na tjemenom promjeru zupčanika je prema [2]:

$$f_t = 4,935 \frac{\pi}{i \cdot z} \sqrt{r_t^2 - r_g^2} \quad (1)$$

Teoretsko odstupanje evolvente je najveće na tjemenom promjeru zupčanika i u praksi se može primijeniti kriterij:

$$f_t \text{ doz.} = (0,3 \text{ do } 0,5) f_f \text{ doz.}$$

Veličina f_f doz. određuje se prema DIN-u 3962.

Kod odvalnog glodanja glodalo vrši aksijalno posmično gibanje u odnosu na obradak zbog čega nastaju neravnine obrađene površine u pravcu zuba. Na teoretsku visinu tih neravnina na podnožnom promjeru utječe promjer odvalnog glodala i aksijalni posmak

na slijedeći način:

$$f_p = R - \sqrt{R^2 - \frac{s_a^2}{4}} \quad (2)$$

Teoretska visina neravnina na boku zuba u pravcu zuba je

$$f_b = f_p \cdot \sin \alpha_{nc} \quad (3)$$

Osim ovih faktora na hrapavost obrađene površine veći utjecaj imaju slijedeći faktori [3]:

krutost sistema za obradu,
način postavljanja glodala i obratka,
vrsta materijala obratka,
kvaliteta oštrenja glodala,
vrsta i količina rezognog ulja.

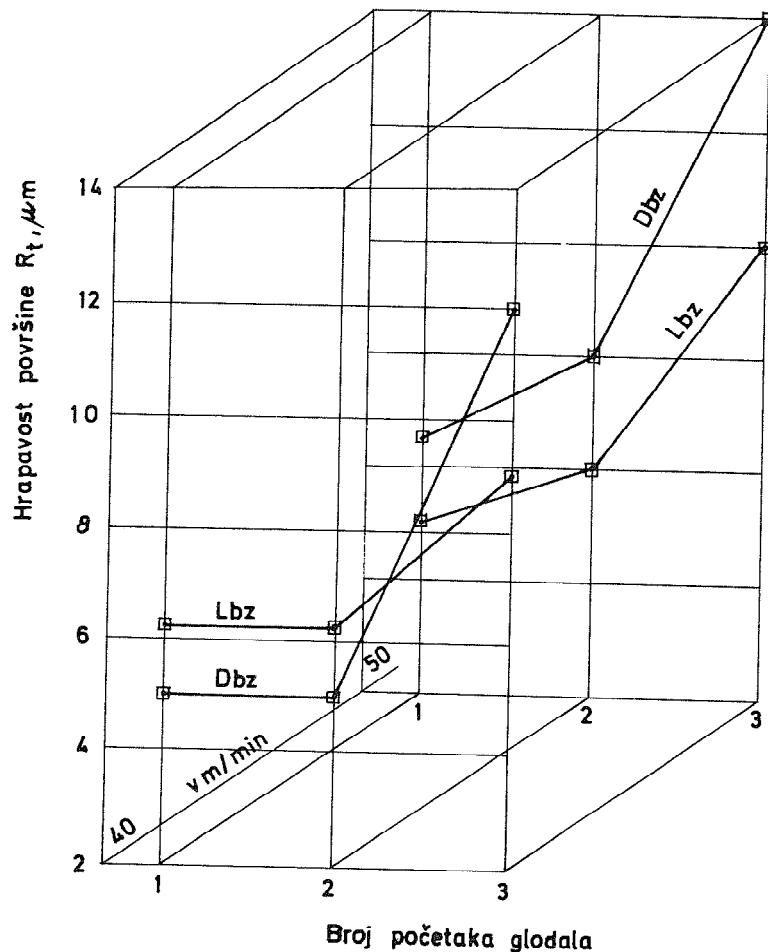
Budući da je nemoguće sve ove utjecajne faktore obuhvatići teoretskim izrazom, najpouzdaniji način je da se pokušima utvrdi stvarna hrapavost obrađene površine.

Vrijednosti hrapavosti dobivene pokušima prikazane su grafički. Na slici 1 prikazana je hrapavost površine mjerena na boku zuba i to u pravcu zuba, za brzine rezanja: $v = 40 \text{ m/min}$ i $v = 50 \text{ m/min}$, te za različiti broj početaka odvalnog glodala. Hrapavost površine izmjerena na boku zuba u pravcu evolvente ilustrirana je na slici 2. U oba slučaja mjerjenje je vršeno na lijevom i desnom boku zuba. Zub za mjerjenje izabran je slučajnim izborom.

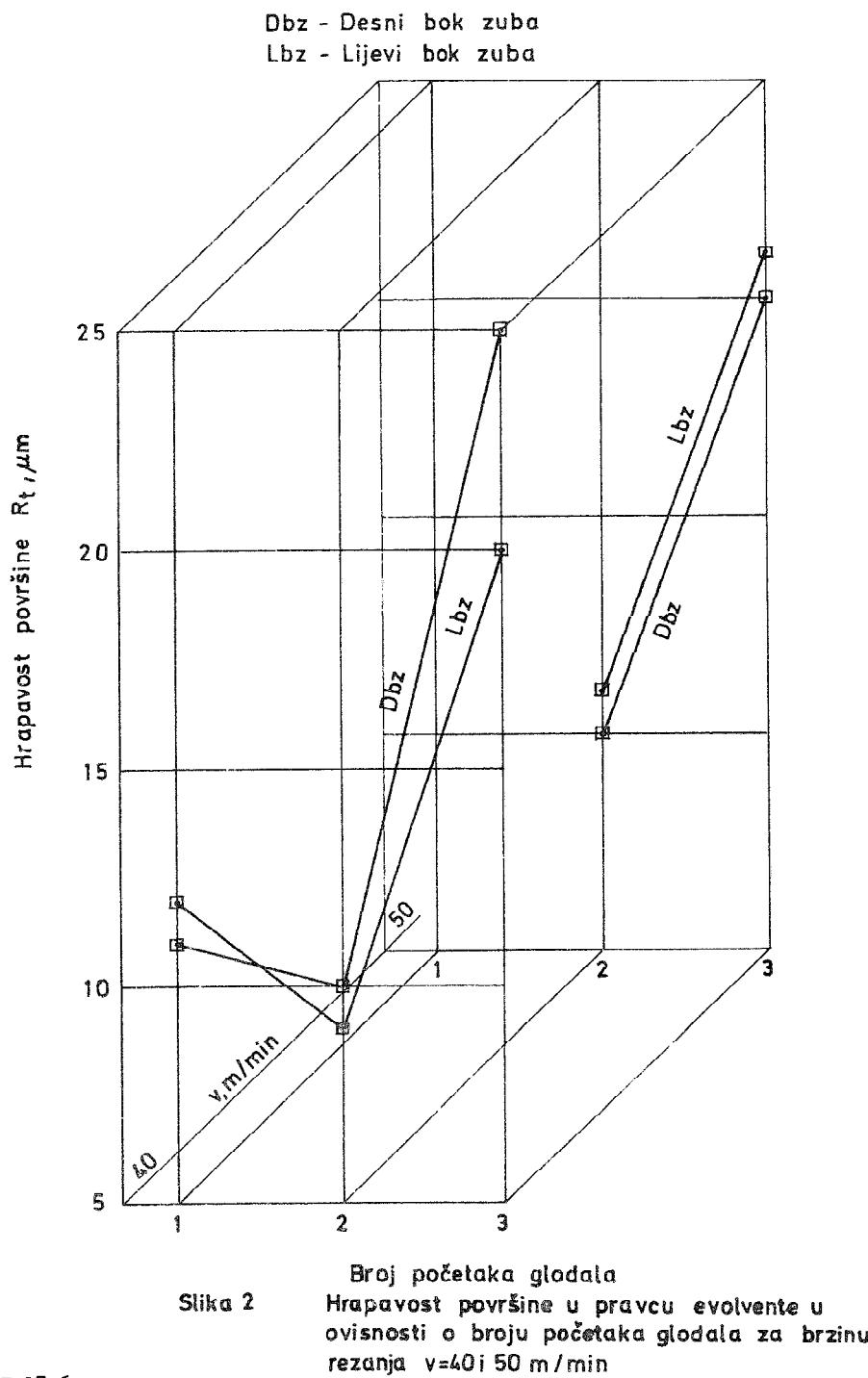
Iz ovog prikaza se vidi da s primjenom dvovojnog glodala hrapavost površine se nije povećala u odnosu na jednovojno glodalo, slika 1 i 2. Kod mjeranja hrapavosti u pravcu evolvente, hrapavost se neznatno smanjila za dvovojno glodalo. Međutim, kod obrade s trovojnim glodalom hrapavost je značajno veća u odnosu na obradu s jednovojnim i dvovojnim glodalom, i to: u pravcu zuba veća je za 87%, a u pravcu evolvente za približno 100%. Hrapavost površine u pravcu zuba za jednovojno i dvovojno kretala se oko vrijednosti $R_t = 6 \mu\text{m}$, dok je bila za trovojno oko $R_t = 11,3 \mu\text{m}$. Veća hrapavost površine dobivena je kod mjerjenja u pravcu evolvente, i to: za jednovojno i dvovojno bila je oko $R_t = 10,5 \mu\text{m}$, a za trovojno oko $R_t = 21,5 \mu\text{m}$. Ovo saznanje je važno za završne obrade zupčanika, koje slijede nakon glodanja.

Nema značajnih razlika između hrapavosti izmjerениh na desnom boku zuba (Dbz) i na lijevom boku zuba (Lbz), te između

Dbz - Desni bok zuba
Lbz - Lijevi bok zuba



Slika 1 Hrapavost površine u pravcu zuba u ovisnosti o broju početaka glodala za $v=40$ i 50 m/min



OR.17.6

hrapavosti dobivene kod različitih brzina rezanja. Ovo vrijedi za mjerjenje hrapavosti površine u pravcu zuba i u pravcu evolvente.

Tabela 2: Teoretske visine neravnina obrađene površine i izmjerene hrapavosti

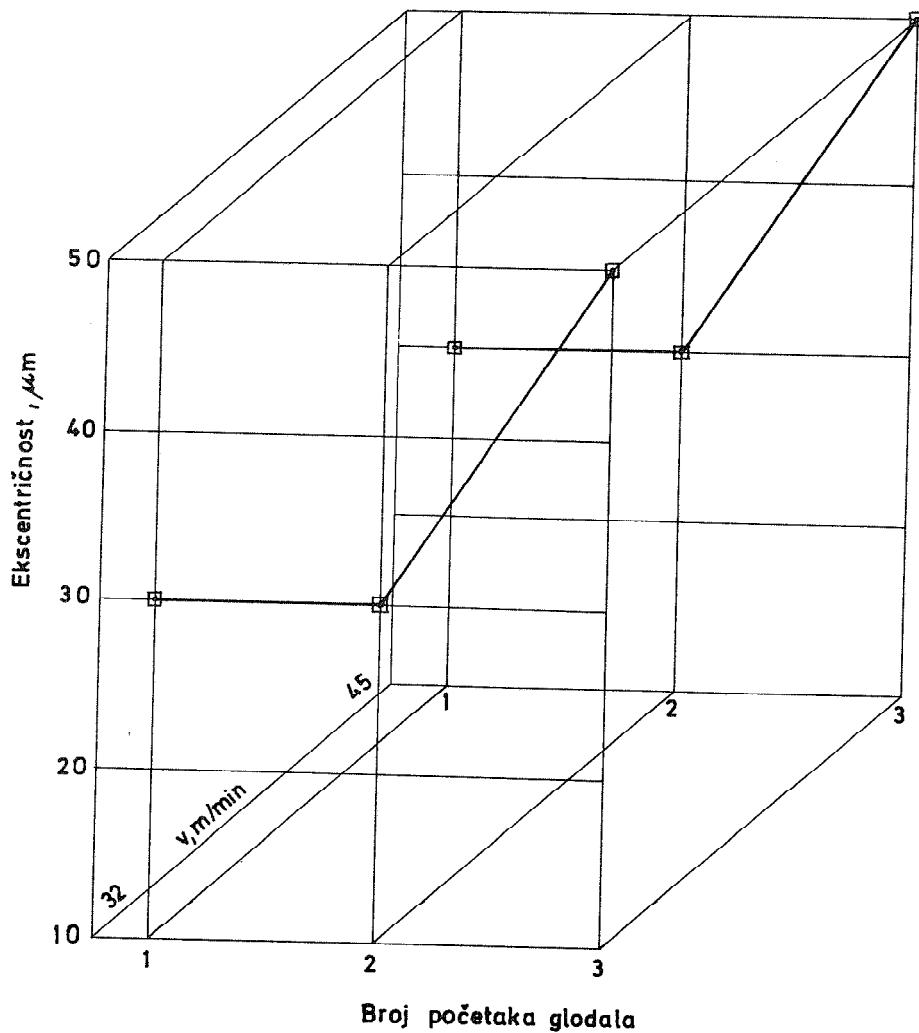
Broj početaka za strugotinu	Broj utora za strugotinu	$f_t(1)$	f_{td}	\bar{R}_{tt}	$f_p(2)$	$f_b(3)$	\bar{R}_{tp}
1	12	0,44	0,45	11,50	11,10	3,80	5,60
2	13	0,83	2,20	10,00	3,55	1,21	6,28
3	13	1,24	7,00	21,50	2,50	0,86	11,25

U tabeli 2 dana je usporedba teoretskih vrijednosti maksimalnih visina neravnina izračunatih prema izrazima (1), (2) i (3), te prema dijagramu f_{td} [1] sa stvarnim vrijednostima hrapavosti \bar{R}_{tt} i \bar{R}_{tp} . Ovdje vidimo da se razlikuju vrijednosti izračunate prema izrazu (1) i dobivene vrijednosti iz dijagrama f_{td} , te da su znatno manje od izmjerenih srednjih hrapavosti \bar{R}_{tt} . Također vidimo da teoretska visina neravnina obrađene površine u pravcu zuba pada s povećanjem broja početaka glodala, dok u stvarnosti hrapavost \bar{R}_{tp} raste s povećanjem broja početaka glodala. Iz ove analize proizlazi konstatacija, koja je već prije navedena, da je najpouzdaniji način da se pokusima utvrdi stvarna hrapavost obrađene površine.

4. Ekscentričnost zupčanika

Pored hrapavosti obrađene površine mjerena je i ekscentričnost diobenog promjera zupčanika. Na slici 3 prikazane su vrijednosti ekscentričnosti diobenog promjera za dvije različite brzine rezanja. Ovdje vidimo da nema razlike između ekscentričnosti dobivene jednovojnim i dvovojnjim glodalom koja iznosi $30 \mu\text{m}$ u oba slučaja. Međutim, kod obrade trovojnjim odvalnim glodalom ekscentričnost diobenog promjera bila je $50 \mu\text{m}$. Također iz ove slike proizlazi da brzina rezanja ne utječe na ekscentričnost diobenog promjera u području brzina rezanja od $v = 32 \text{ m/min}$ do $v=45 \text{ m/min}$.

Postignuta ekscentričnost s jednovojnjim i dvovojnjim odvalnim gladalima odgovara kvaliteti zupčanika 7 (DIN), dok dobivena ekscentričnost s trovojnjim gladalima odgovara kvaliteti zupčanika 8.



Slika 3 Ekscentričnost diobenog promjera zupčanika
kod brzine rezanja $v=32$ i 45 m/min

5. Zaključci

1. Hrapavost obrađene površine je veća od 87% do 100% kod obrade s trovojnim odvalnim glodalima u odnosu na jednovojna i dvovojna odvalna glodala.

2. Brzina rezanja kod odvalnog glodanja značajno ne utječe na hrapavost obrađene površine do $v = 50 \text{ m/min}$.

3. Nema znatne razlike hrapavosti na lijevom i na desnom boku zuba zupčanika.

4. Hrapavost u smjeru evolvente je veća od hrapavosti u pravcu zuba za aksialne posmake do $s_a = 2 \text{ mm/okretaju obratka}$.

5. Dvovojna odvalna glodala se mogu upotrebiti za predobradu brušenja i brijanja. Također, trovojna odvalna glodala su podesna za predobradu brušenja.

6. Ekscentričnost diobenog kruga kod obrade s jednovojnim i dvovojnim odvalnim glodalima odgovara kvaliteti zupčanika 7 (DIN), dok dobivena ekscentričnost s trovojnim glodalima odgovara kvaliteti zupčanika 8, bez obzira na brzinu rezanja.

U dalnjem radu trebalo bi utvrditi podesnost trovojnih glodalja i glodalja s još većim brojem početaka za predobradu brijanja zupčanika.

6. Oznake

f_b - teoretska visina neravnina na boku zuba u pravcu zuba, μm

f_f doz - dozvoljena greška oblika boka zuba po DIN 3962, μm

f_p - teoretska visina neravnina obrađene površine u pravcu zuba na podnožnom promjeru zupčanika, μm

f_{td} - teoretsko odstupanje evolvente na diobenom promjeru iz dijagrama [1], μm

f_t - teoretsko odstupanje evolvente na tjemenom promjeru zupčanika, μm

f_t doz - dozvoljeno teoretsko odstupanje evolvente, μm

g - broj početaka odvalnog glodala

i - broj uzdužnih utora glodala

R - tjemeni promjer odvalnog glodala, mm

\bar{R}_{tp} - srednja vrijednost izmjerjenih hrapavosti u procesu zuba, μm

\bar{R}_{tt} - srednja vrijednost izmjerjenih hrapavosti u pravcu evolvente, μm

r_g - osnovni polumjer obratka, mm
 r_t - tjemeni polumjer obratka, mm
 s_a - aksijalni posmak, mm/okretaju obratka
 α_{no} - zahvatni kut u normalnom presjeku, stupanj
 z - broj zubi obratka.

Literatura

- [1] G. Lichtenauer, O. Rogg, K. Kallhardt: Hurth - Zahnradschaben, München 1964
- [2] G. Lichtenauer: Werkstattblatt 399, München 1966
- [3] F. Opitz: Handbuch Verzahntechnik, VEB Verlag, Berlin 1971

E. Kuljanić, E. Lemaher

DER EINFLUSS DES WÄLZFRÄSERGANGZAHLES AUF DIE OBERFLÄCHENRAUHEIT UND DER RUNDLAUFFEHLER VON ZAHNRÄDER

In der Praxis wird oft die Verwendung von zweigängigen und dreigängigen Fräser oder grösserer Wälzfräsergangzahl vermeiden, meistens wegen Befürchtung, dass die Oberflächenrauheit und geometrische Werkstückgenauigkeit nicht erreicht wird, welche man mit den eingängigen Fräsern bekommt. Der Grund für solchen Zustand ist ein Datenmangel auf diesem Gebiet.

Bei genannter Forschung wurde festgestellt, dass die Oberflächenrauheit grösser als 87% bis 100% bei Bearbeitung mit dreigängigen Wälzfräsern ist, in Bezug auf die eingängige und zweigängige Fräser, wobei die Schnittgeschwindigkeit keinen besonderen Einfluss auf die Rauheit hat. Die Rauheit in der Evolentenrichtung ist grösser als die Rauheit in der Zahnrichtung des Axialvorschubs bis $s_a = 2 \text{ mm/Werkstückumdrehung}$.

Ebenfalls ist festgestellt, dass der Teilkreisrundlaufehler bei der Bearbeitung mit eingängigen und zweigängigen Wälzfräser der Zahnräderqualität 7 (DIN) entspricht, und der erhaltene Rundlaufehler durch dreigängigen Fräser der Zahnräderqualität 8 entspricht, ohne Hinsicht auf die Schnittgeschwindigkeit.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

Marijan Tomić[†]

EKONOMSKI ASPEKTI TRAČNOG PILJENJA⁺⁺

1. U V O D

Iako je suvremenost neke proizvodnje izražena kroz nivo na kojemu je riješena strojna obrada, problemi odrezivanja a time i strojevi koji to vrše su često zanemareni, odnosno stavljeni u drugu, treću, pa čak i u lo-tu kategoriju. — Stručna literatura kod nas malo obrađuje te probleme, a specijalno o tračnom piljenju metala ima tek osamljenih informacija. Teorija i praksa na području obrade metala skidanjem strugotine suviše mimoilazi probleme piljenja, dotičući ih se samo periferno. — Tu tvrdnju dokazuje i činjenica, da na području mehaničke tehnologije ima vrlo malo praktički upotrebljivih podataka sa područja piljenja, koji bi se mogli koristiti u današnje vrijeme stalne tehničke i tehnološke evolucije.

— Ovo je jedan od povoda za ovu temu, da ova studija da zaokružene tehničke i orijentacione odnose, bez mogućnosti u ovom trenutku da ih se do kraja egzaktno matematički definira.

— Fenomen, da u svijetu razvijene tehnologije i proizvodnje postoji ista brojčana zastupljenost instaliranih strojeva za piljenje prema strojevima za tokarenje je drugi razlog. (podaci S.A.D. iz 1974. g.). — A to znači da u pogonu dolazi na po jednu tokarilicu po jedna pila. — Postavlja se pitanje, da li je fenomen što u Jugoslaviji po industrijskom pogonu dolazi na 30 do 50 tokarilica tek po koja pila, ili razvijeni svijet

[†]Dipl.Ing. Marijan Tomić — VDI, rukovodioč proizvoda u razvoju TAS — Prvomajska

⁺⁺Saopćenje Razvoja i vodenje proizvoda TAS-a Prvomajske, kao 1. etapa studije o "EKONOMSKIM ASPEKTIMA UVODENJA STROJEVA ZA TRAČNO PILJENJE"

(brutto nac. dohotka - svedeno na metaloprerađivačku industriju više od 2.800 \$) iz nama neshvatljivih razloga primjenjuje i produžiono eksploatira toliki broj odrezilica. - Lako argumentiranu činjenicu o mogućim uštedama pomoću tračnih pila prvi su prihvatali menadžeri u S.A.D., te oni riješavaju ove za nas; "Sitnoplatorske" probleme, jer su izračunali da se pileći na jednoj tračnoj pili može uštedjeti iznos reda veličine 100-tinjak miliona dinara.

2. ANALIZA ODREZIVANJA

U jugoslavenskim industrijskim pogonima komiste se slijedeći postupci odrezivanja: Slika 1.

U praksi rezanja a time i odrezivanja najčešći je slučaj da:

- a) Proizvođač traži optimalno tehničko rješenje za predviđenu proizvodnju, odnosno
- b) Korisnik pokušava racionalizirati proizvodnju i za taj zadatak traži ekonomičan stroj.

Kako u ovom trenutku ne postoje niti orientacioni podaci, koji odgovaraju sadašnjem stanju razvoja tehnologije piljenja, već se potrebni podaci izvode na osnovu tehničke sličnosti postupaka: piljenja, - glodanja, - blanjanja, - provlačanja. To je razlog da će za slučajevе a) i b) biti nađena samo približna rješenja.

Svrha ovog referata je da nade i analizira mogućnosti sniženja troškova odrezivanja i to postupkom tračnog piljenja. Razmišljati ćemo o piljenju s gledišta, koja još nisu svakodnevna praksa, ali moraju to postati. Ako povežemo tu opravdanost onda smo i postigli cilj ovog izlaganja.

Analize tračnog piljenja i optimalizacije uvjeta rezanja zadiru od postupaka za odrezivanje preko izvedbe stroja sve do alata - trake za piljenje, tehničkih smjernica, mogućnosti primjene i diskusije važnih faktora.

I. Izvedbe stroja:

- Vertikalna izvedba (Slika 2.)
- Horizontalna izvedba (Slika 3.)

II. Alat - traka za piljenje

1. Tabelarni prikaz izbora alata za tračno piljenje dan je tabelom 1. (za traku dimenzija $0,9 \times 25 \times 3660$ mm)

- učin rezanja za konstr. čelik $G = 60 \text{ kp/mm}^2$ (250 Ø)
- Osvrt na tabelu 1.

Kvalitetnije trake imaju veći učin (cm^2/min) i postojanost zubi (cm^2) $\times 10^3$, te adekvatno višu cijenu.

Slika 4. - prikaz primjenjivosti pojed. kvaliteta traka u ovisnosti od reznog materijala.

- Na osnovu grupe a), b) i c) vidimo da je bimetalna traka univerzalna, - HSS samo uvjetno, - $2\frac{1}{3} \%$ W uopće ne za grupu a)
- Select Standard (% C - kvalitetam možemo piliti, rezati samo nisko ugljične čelike.

III. Tehnološke smjernice

Optimalne⁺ veličine pri rezanju tračnim pilama (brzine, broj zubi, rashladno sredstvo) dane su u tabeli 2.

Potrebni podaci za ostale vrste i čvrstoće materijala, odn. dimenzije dobiju se interpolacijom ili ekstrapolacijom u tabeli 2.

Tabela 2. i njezine vrijednosti mogu se koristiti i kod rezanja na V-pilama, uz pravilo da u zahvatu moraju biti minimalno 2,3 zuba, što znači:

$$S = 2,3 t \text{ (mm)} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

t = razmak zubi (mm)

S = debljina materijala (mm)

Kod piljenja HSS Bimetallnim trakama, treba veličinu posmaka povećati za cca 15-20 % da bi dobili odgovarajuću strugotinu odnosno max. rezni učin.

Slika 5. prikazuje tračnu pilu u zahvatu i fazu nastajanja strugotine. - Važnost formiranja pogodne strugotine, uz pravilno oda-

⁺ Iskustvene vrijednosti na osnovu eksploracionog ispitivanja u TAS - Prvomajska - Raša

brane vrijednosti; brzina, broj zubi, veličina posmaka, rashladno sredstvo moguće je diskutirati na osnovu slike 5. putem tabele 2. Pravilan izbor-zubi uskladuje; -kut rezanja, -razmak zubi, -formu zubi, prema tabeli 3, -razmetanje zubi, prema tabeli 4.

Uz sav broj navedenih podataka moramo još spomenuti, da je za jedno iznalaženje optimalnih uvjeta odrezivanja potrebno sagledavanja zadataka u više dimenzionalnom prostoru:

- a) - kakova je proizvodnja? (pojedinačna, serijska, veličina serija)
- b) - kakovu ciljnju funkciju imamo u proizvodnji?
 - a) max. broj rezova u jedinici vremena
 - b) max. postojanost oštice
 - c) kombinacija a) i b)
- orijentacioni odgovor po pitanju a) moguće je dobiti na osnovu dijagrama vremena rezanja kod različitih materijala rezanja i kvaliteta traka za piljenje u ovisnosti sa promjerom rezućeg materijala (Slika 6.)
- analizom dijagrama, slika 7 - odgovorit ćemo na pitanje b)
- trakom % C - kvalitete - ekonomično je odrezivati do broja rezova od 240 (kritična točka k1)
- materijal C-60 kp/mm² ne isplati se više rezati s trakom 2 % W kvalitetu, kod 1130 rezova, gdje eksplotacija Bimetal - HSS-traka postaje opravdana (druga kritična točka k2)
- upotreba Bimetal - HSS postaje ekonomična već kod cca 5% rezova o odnosu na traku % C - kvalitete (Treća kritična točka - k3)
- osim toga za donošenje odluka u slučajevima a), b) i c) treba kombinirati navedene podatke uz još niz parametara, koji ovajče nisu mogli uzeti u obzir kao: vrijeme izmjene alata, mogućnost naknadnog brušenja trake za piljenje i dr. Znači da donošenje jedne optimalne odluke potrebno se je detaljno pozabaviti i identificirati sa problemom.

IV. Mogućnosti primjene

Primjeri upotrebe V-pila prikazani su tabelom 5.
Rezne izvedbe H-pila u odnosu na: stupanj regulacije ^{automat}, stezanje i pomicanje materijala, opremljenost, odnosno brzine rezanja prikazane su na tabeli 6.
OR.18.4

Opravdanost upotrebe komplikirane izvedbe stroja, odnosno stezanje materijala u snopu preko odgovarajuće naprave, može se opravdati uz broj rezova, analogno troškovima na slici 7.

V. Diskusija važnih faktora

a) Pogonska snaga:

- kako je prema Dengeru, Spahebende Formung, rezna sila (*):

$$P_{\text{pilj.}} = b \cdot \frac{k_s l \cdot l}{s_z^{(m-1)}} \cdot f_{sb} \cdot K_{post} \cdot Z_{iz} / kp \dots \dots \dots (2)$$

evidentno je da će uz $b = b_{tr} < b_{okv} < b_{kruž}$ /mm/. (3)

biti i $N_{tr} < N_{kruž} < N_{okvir}$ /kW/ (4)

b) Širina reza

(*) Podaci za izraz (2)
prema tabeli: 9

Tabelarnim prikazom širine reza osnovnih postupaka piljenja prikazat ćemo gubitak na otpadu strugotine na 1 m² reza, odn. u 1 smjени, itd. (tabela:8)

- Kalkulacijom gubitka strugotine kod rezanja OCR 12 (kromov čelik), pomoću tračne pile u odnosu na kružnu pilu - nalazimo uštede od čak 900 miliona dinara (uz učin 50-80 % cm²/min);- i to pileyći u 3 smjene kroz godinu dana.

Rezimirajući podatke o piljenju s gledišta mogućih ušteda troškova dolazimo da slijedeće tabele: (tabela 10)

Ocjenjivanje ukupnosti jednog stroja (postupka), daje slijedeći rezultat:

HSS-Okvirna pila = 6-lo x skuplja od tračne

HSS-Kružna pila = 4 x skuplja od tračne

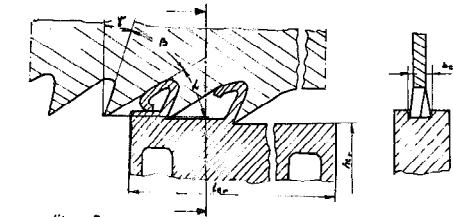
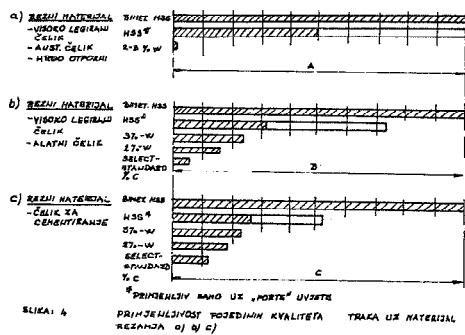
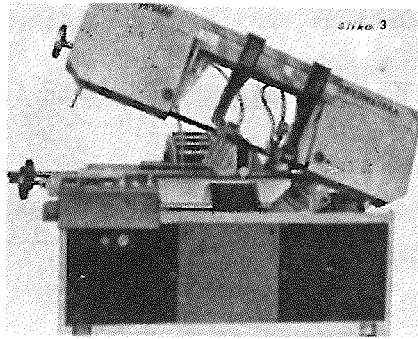
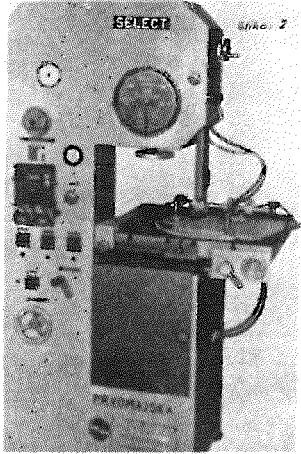
T.P. ~ Kružna pila = 2 x skuplja od tračne

Ova ocjena se dobro slaže sa podacima, najpoznatijih proizvođača kod - visoko legiranih čelika, odnosom s predavanjem o

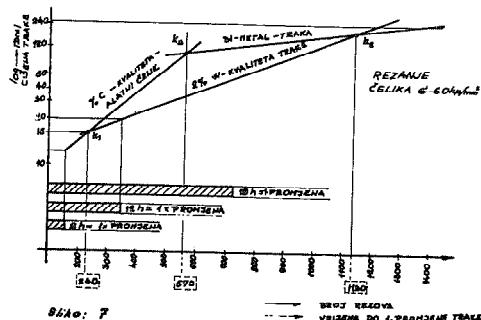
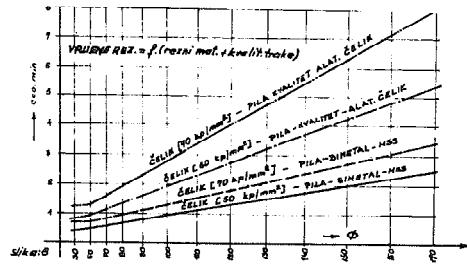
III. generacija tračnih pila (EMO - 1975.)

Kako se je na izložbi alatnih strojeva EMO-1975 mogao stvarno naslutiti dolazak III. generacije tračnih pila od učina coa 150 - 200 cm²/min (kod Č-50 kp/mm², 80 mm promjera) - jasno je da taj rapidni razvoj pruža enormne uštede u proizvodnji - koje

OR.18.5



slika: 5

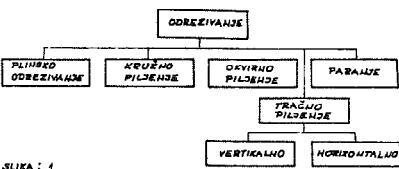


OR.18.6

ALAT - TRAKA KVALITET - LIVELINA	IZVODA ZUBI HRC	GRAD ZUBA ZUBA / GRAD	ROZBOJ ZUBA ZUBA / GRAD	CILJNA [DIN/J]
1 ZE-KVALITET-STANDARD	50	20 - 50	15 - 20	62
2 ZE-KVALITET-HARTEN	60	10 - 20	10 - 15	160
3 ZE-W-KVALITET	60	15 - 30	20 - 25	200
4 ZE-W-KVALITET	60	40 - 50	25 - 30	200
5 10% W-KVALITET	55	15 - 20	10 - 15	140
6 HRS - KVALITET	60-65	100 - 120	55 - 60	1000
7 BI-METAL-HRS	64	15 - 170	30 - 90	1500
8 BI-METAL-CLS	67-69	160	68 - 90	1500
9 BI-METAL-Co-Mo	67-69	10 - 120	10 - 100	1800
10 BI-METAL-EKSPRES	63-66	10 - 150	80 - 100	1800
11 TRAKA-W-TRAKA	68-65/68	8 - 90	100 - 150	70,5
12 DIZAMANTNE TRAKA	10700	8 - 90	55	25 K
13 TRAKA ZA POST. TOČ.	EDTOR	0 - 5000	300 - 700	450

je SPECIJALNA NAGENA
= PRIMJENA ZA FORTE HEZELJEVNI PRUĆIN
HRC - PO HRCOVOM SKALI
K - SPECIJALNO ZA REZANJA KAVINA
TOP - UZ OBOSINE PORTUPAKA TOPELAČA

TABELA: 1



SLIKA: 1

MATERIAL	DEBLJINA MATERIJALA																		
	30 δ mm	60 δ mm	140 δ mm	230 δ mm	30 δ mm	60 δ mm	140 δ mm	230 δ mm											
ZRINA mm/mm	ZUBI ZUBA/COLL	ZRINA mm/mm	ZUBI ZUBA/COLL	ZRINA mm/mm	ZUBI ZUBA/COLL	ZRINA mm/mm	ZUBI ZUBA/COLL	ZRINA mm/mm											
Č 34-60 (Aluminijski)	55	80	10	8	2	50	85	8	4	5	45	80	4	8	5	3	3	8	
Č TEECO ED (Aluminijski)	50	85	10	8	2	45	80	8	4	3	50	80	4	8	5	3	3	8	
X18 CrNi	35	44	10	8	2	18	51	8	6	6	15	66	6	4	3	6	26	4	8
Al Cr L	35	44	10	10	2	18	51	8	6	6	15	66	6	4	3	6	26	4	8
Čelični čevi	60	70	10	10	3	35	60	8	6	5	30	82	6	4	3	50	88	4	8
Si-Leev (In-Be)	60	90	10	12	2	35	60	8	10	6	30	88	6	12	2	30	88	4	8
TEMPAR čevi	60	70	10	10	2	35	60	8	8	8	30	88	6	8	3	30	88	4	8
HMS - BROŠA	50	100	10	8	2	80	110	8	6	8	90	100	6	4	3	60	95	4	8
BACAS - LEG.	50	120	10	8	2	80	100	6	4	5	90	120	4	3	3	70	100	3	8
MACHERIS-LEG.	50	160	10	8	2	90	160	6	4	5	90	160	4	3	3	80	160	3	8
ALUMINIJ	50	160	10	8	2	50	160	6	4	5	80	160	4	3	3	80	160	3	8
ALUMINIJ-LEG.	50	160	10	8	2	50	160	6	4	5	90	160	4	3	3	90	160	3	8
SPECIJALNI MATERIJAL:																			
HE : S-BORNA - EMULZIJA																			
S - ŠUME																			
V - VODA																			
STUPAC SA HRS - BIMETAL KVALITETE																			

ROT REZANJA	OBLIK I PODZELA ZUBA	NACIN I FUNKCIJA REZANJA	PRIMJENA - OBJEKAT
1 HEC 45°	- VELIKI ZUBI - GRUBA PODZELA B - 10 - 12 /"	- PROSjeci duboko u materijalu - velike rezulativne dobitiće za rezanje debele strukturi i loha zuba	- AL VIŠE ZEBE (PRETHODNO) CO ČELICA I LIHOV LJEVA - VELIKA STRUKTURA
2 65°	- SREDNJI ZUBI - SREDNJA RIM PODZELA 10 - 20 - 22 /"	- PROSjeci duboko u materijalu - velike rezulativne dobitiće za rezanje debele strukturi i loha zuba	- NEKI MATERIJAL - AL LACI, CU - UNIVERZALNO - VELIKE ZEBE - VELIKE DOBITIĆE - NEKI MATERIJAL - SREDNJE STRUKTURNE
3 D520 HEC	- MALI ZUBI - MALA PODZELA ED - SE - 22 /"	- NE PROSjeci duboko - MALI NIŠTA KA rezanje - SREDNJE ZAPREMI - LIHOV ZUBI	- TVRDI HE I ZE - TAJKU STVETI KOVACI, CIRKON, ZIRKON - VISOKI LEG. GRADČEL. - ŽELE, LIHOVI - ALATNI ČELIK
4 TOP HEC	- TOPLOST - VELIKI ZUBI - SREDNJA PODZELA B - 10 - 14 - 22 /"	- TOPLOST - VELIKI ZUBI - MATERIJAL - UZUSTVJE - PROTOK - TEZA PRI < 3000 < TEMPERATURA + < SAGOREVANJE	- TOPLOST - VELIKI ZUBI - MATERIJAL - UZUSTVJE - PROTOK - TEZA PRI < 3000 < TEMPERATURA + < SAGOREVANJE

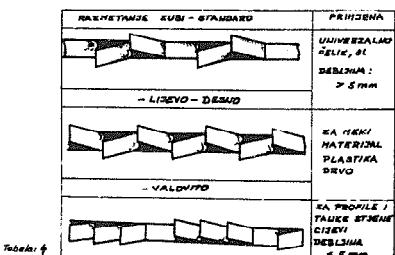
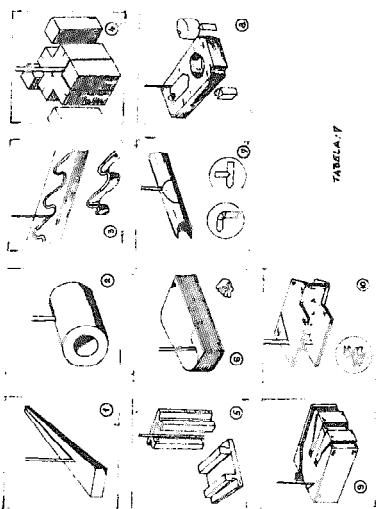


Tabela: 3

TEZI NIZETO PREDMET	VISITE GRADJE- RUMA	DETALJE I PREGLED	OBZET PREKAZ	PRED PREDMET
1. ALATNICI	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 150 1.000 - 4.500	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
2. LIZENCIJENCE	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 100 1.000 - 4.000	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
3. LEKARCI	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 80	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
4. LIMARCI	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 100 1.000 - 6.000	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
5. LIZENCIJENCE	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 100	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
6. LIZENCIJENCE	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 150 1.000 - 1.500	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA
7. LIZENCIJENCE	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	0 - 150 1.000 - 1.500	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA	PRIMARNI TIPARSKI DOKTORI SISTEMI ZDRAVSTVA

1932 1 Weierstrass's *Grundriss* 1932

Tobacco : 5



DATA: A

IZVEDBA	NOVINA NAZIV	STEREJUĆA POTRUDNICA MUDR. MUDR.	PREDMET NAT.	ZGUVLJAC MUDR.	BRZINA MINUTI
STANDARD	- 4-50	-	-	DA	NE
POLU-AUTOMATSKA	-	DA	DA	DA	NE
AUTOMATSKA	-	DA	DA	DA	NE
A. TROŠIT. SRED. PIS.	-	DA	DA	DA	NE 15-180
A. PRAVLJEN. REGULAC.	-	DA	DA	DA	NE 15-180

Tobacco. 5

TIP PILZENJA	SREDNJI PRIMJER	GUEVAK MATERIJALA TRU REZANOU	NA 1m ²	NA 1kg	NA BA						
			€/m ²	€/kg	€/kg	€/kg	€/kg	€/kg	€/kg	€/kg	€/kg
TRAČNO PILZENJE	14	[REZANOU]	9	5	22	40	56	80	96	112	128
OKREVNA PILZENJE	3	[REZANOU]	25	8	55	100	150	180	222	250	288
KRUŽNO PILZENJE	B4	[REZANOU]	80	80	192	380	560	640	768	896	1,024

* SREDNJA VRJEĐENOST (B-36-244)
TABELA 13

Tabela: 3

DEZU TODR B-100	DEZU H-200	DEZU H-200	DEZU H-200	DEZU H-200
PODOLSKA BAWA	3,35	kW	3,6	kW
VRZEŠČA	24	min	24	min
ZELENJA	24	min	3	min
POTOSTAVOVO	4×10^3	cm ²	10×10^3	cm ²
PRŠICE			6×10^3	cm ²
GUBITKA A	4	mm	8	mm
SRNA KRA			6	mm
			16	mm

Tobaco: 10

**• PROJEKNA - VLASTITA
• PROJEKNA PROJEVODAČ**

OR.18.8

je moguće ostvariti samo uz dosljedno poštivanje svih gledišta
tračnog piljenja.

3.

ZAKLJUČNA MISAO

Bitna intencija ovog referata je bila najaviti započeto istraživanje o ekonomskim aspektima uvođenja strojeva za tračno piljenje. Istovremeno se je željelo sadašnjoj proizvodnoj strukturi u Jugoslaviji pružiti prve informacije kao i mogućnosti za bolje i optimalnije eksploatiranje strojeva za piljenje da bi se tako riješila kritična mjesto i uska grla u proizvodnji. Kao slijedeće željelo se ukazati na činjenicu da je korisnim izborom strojeva moguće uštedjeti na materijalu.

Na kraju mislim da ako želimo biti konkurentni u industrijskoj proizvodnji sa ostalim zemljama, moraćemo učiniti zнатне napore na optimalnom rješavanju problema odrezivanja.-Istraživanje koje smo mi zamislili nije moguće riješiti radom pojedinca. Suradnjom zainteresiranih institucija kao i proizvođača - korisnika mogu se stvoriti prihvatljivi podaci za naše pogonske uvjete i specifičnosti proizvodnje.

Ako sam ovim započetim dijelom studijom pobudio reakciju, i tako potvrdio tvrdnju da su pile dosada bile zanemarene, a ipak postoje mogućnosti korisnije eksploatacije, onda sam ostvario zamisao ove teme.

LITERATURA:

1. Nelson, R.E.: Bandsawing or Hacksawing
2. Joerg, K.G.: Höhere Schnittgenauigkeit beim Bandsägen
3.: Servo-Controlled Band Machining,
Tooling & Production 31/1965.
4. Ljubljanikov, A.S.; Semi-Automatic Bandsawing Machines for
Ferrous Metals, Stanki i Instrumenti, 40/1968
5. Bunge, G.; Kennwerte und Wirtschaftlichkeit des Schmelzband-
sägens; Der Maschinenbau 17/1968
6.; Hacksaws, Holle saws, Bandsaws, and Bandknives,
The L.S. Starrett Company U.S.A., Massachusetts 1968
OR.18.9

7. : Berechnung von Schnittzeit und Lebensdauer;
Amada, Düsseldorf

8. Degner, W.: Spanende Formung, Verlag Technik, Berlin

9. Krist, T.: Fräsen - Sägen, Technik + Tabellen - Verlag,
Darmstadt

Marijan Tomić

In jugoslawischen Betrieben werden verhältnismässig wenige Sägemaschinen eingesetzt, insbesondere gibt es wenig Bandsägen. - Anhand der Darstellung des Komplexes: Bandsäge - Verfahren - Maschine - Werkzeug - Technisch Datenanwendung - Wirtschaftlichkeit, versucht man einige orientierende Hinweise zu geben, um die Exploatation von Bandsägen zu optimalisieren. (Dazu die verschiedene Tabellen und Diagramme)

Es wird versucht mit diesem Thema die Fragenstellung: wo? wann? und warum? bezüglich der Bandsägeanwendung zu beantworten. - Man hat sich vorgenommen den ersten Schritt der Titel-Studie; "Oekonomische Aspekte der Einführung von Bandsägemaschinen" zu machen.

X SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA

Beograd, 9 - 10. oktobra 1975. godine

B. Ivković *)

RAZVOJ RADIOAKTIVNIH METODA ZA TRIBOLOŠKA ISTRAŽIVANJA U OBRADI METALA REZANJEM **)

1. Uvod

Problemi optimizacije uslova obrade na proizvodnim radnim mestima na kojima se proizvodnja ostvaruje obradom metala rezanjem odnose se, pre svega, na definisanje obradivosti konstrukcijskih materijala, eksploatacijskih karakteristika reznih alata i kvaliteta sredstava za hladjenje i podmazivanje. Da bi se ovi problemi rešavali neophodno je poznavati razvoj triboloških pojava na reznim elementima alata koje nastaju u svim uslovima obrade, kao i uticaj mnogobrojnih faktora obrade na oblik i intenzitet habanja.

Višegodišnji napor i stručnih institucija i pojedinaca usmereni na uspostavljanje veza između faktora obrade, mehaničkih i drugih karakteristika materijala predmeta obrade i alata, geometrije alata, fizičko hemijskih karakteristika sredstava za hladjenje i podmazivanje i razvoja procesa habanja na odgovarajućim površinama reznih elemenata dovela su do ogromnog broja informacija o mehanici i termodinamici procesa rezanja na osnovu kojih se mogu izvlačiti zaključci za projektovanje optimalnih uslova obrade. Međutim, tribološke pojave na reznim elementima alata pri rezanju nisu funkcija samo otpora i temperature rezanja već su po svojoj prirodi znatno složenije. Tribološki procesi na kontaktnim površinama između alata i predmeta obrade zavise u velikoj meri od fizičko hemijskih osobina oba materijala, od njihovog međusobnog dejstva i posebno od difuzione i atfuzione sklonosti.

Sve metode za definisanje obradivosti konstrukcijskih materijala, eksploatacijskih karakteristika alata ili kvaliteta sredstava za hladjenje i podmazivanje koje su zas-

*) Dr Branko Ivković, dipl. ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

**) Saopštenje je proizašlo iz rada na naučnoistraživačkom projektu "RAZVOJ RADIOAKTIVNIH METODA ZA TRIBOLOŠKA ISPITIVANJA NA ELEMENTIMA ALATA I MAŠINA" u čijem finansiranju učestvuje više OOUR-a iz metaloprerađivačke industrije, Republička zajednica nauke SR Srbije i Međunarodna agencija za atomsku energiju.

novanje na poznavanju mehaničke i termodinamike procesa rezanja uzimaju u obzir samo manji broj faktora koji utiče na razvoj procesa habanja.

Razvoj radioaktivnih metoda koji je počeo 1950. godine zasnovan je na proučavanju posledica koje se javljaju na reznim elementima alata pri rezanju pod različitim uslovima. Prednost radioaktivnih metoda nad ostalima je upravo u tome što se njima meri ukupno habanje alata i što one daju direktnu vezu između razvoja procesa habanja i uslova pod kojima se obrada vrši. Prva radioaktivna metoda koju je razvio Merchant kao i njene kasnije modifikacije (Colding, Nadeškača, Kazakov i dr.) zasnovana je na ozračivanju reznih elemenata alata u reaktoru bombardovanjem sa brzim neutronima i merenju radioaktivnosti strugotine na koju se, pri rezanju, lepe čestice alatnih materijala sa grudne i ledjne površine reznog klina. Mogućnost ozračivanja samo onog dela mase reznog alata koji učestvuje u tribološkim procesima pri rezanju su minimalni kako zbog velike prodornosti brzih neutrona tako i zbog geometrije reznih alata. Ovo je bio razlog zbog čega se prišlo praćenju procesa habanja merenjem radioaktivnosti strugotine i ograničenju primene metode samo u obradi struganjem u kojoj je moguće rezne elemente alata odvojiti od tela alata i napraviti ih da budu teški samo nekoliko grama. Međutim, ukupna radioaktivnost i ovako malih reznih elemenata bila je dovoljna da se primena metode i u laboratorijskim uslovima ograniči posebnim merama zaštite i propši specijalan postupak ispitivanja. Sa druge strane rezultati merenja radioaktivnosti strugotine pokazuju znatno rasturanje, tako da je sigurnost izvedenih zaključaka dovedena u pitanje. Ovo su osnovni razlozi zbog kojih su razvijene metode korишćene u relativno malo laboratorija i instituta i to vrlo kratko vreme.

U okviru višegodišnjeg naučnoistraživačkog projekta SISTEMATSKO ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI PRI OBRADI REZANjem DOMAĆIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA DOMAĆIM ALATIMA čiji je nosilac IAMA iz Beograda razvijen je u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu (u to vreme Odjeljenje Mašinskog fakulteta u Beogradu) radioaktivni postupak za definisanje obradivosti konstrukcijskih materijala pri obradi obimnim gledanjem koji se zasniva na merenju opadanja radioaktivnosti gledanja ozračenog elektrohemiskim deponovanjem radioaktivnog kobalta na ledjnu površinu reznog klina. Problemi koji su se javili u primeni ove metode odnosili su se na kvalitet deponovanog sloja radioaktivnog kobalta i na to da se na samom početku rezanja može da javi uticaj novog elementa (kobalt) na prirodu kontakta između alatnog materijala i materijala predmeta obrade. Metodom je bilo moguće vršiti radioaktivno ispitivanje u drugoj fazi razvoja procesa habanja.

Novi postupak ozračivanja, međutim, pruža mogućnost da se većina problema

koji su se javili u primeni do sada razvijenih radioaktivnih metoda reši mada i nova metoda ima svoje nedostatke koje u daljem radu treba otkloniti.

2. Osnovi nove radioaktivne metode

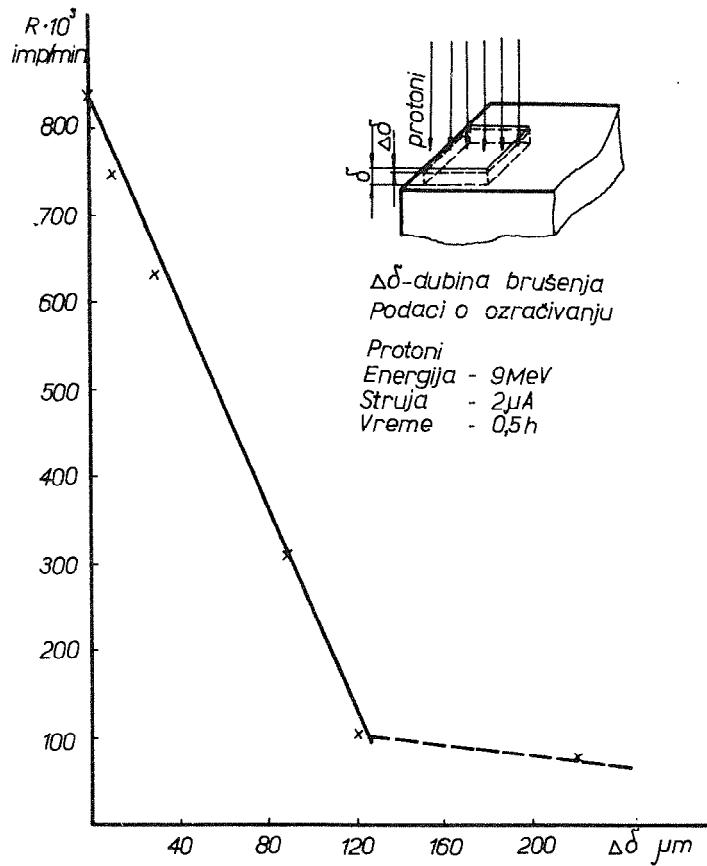
Pri rezanju konstrukcijskih materijala bilo kojom vrstom obrade metala proces habanja odigrava se na svemo jednom manjem delu mase reznog alata i to po površinama koje su u direktnom kontaktu sa materijalom predmeta obrade. Ozračivanjem ovog dela mase reznog alata stvara se mogućnost praćenja razvoja procesa habanja merenjem radioaktivnosti strugotine i obradjene površine na koju se lepe čestice alatnih materijala sa grudne i ledjne površine reznog klina i merejem opadanja radioaktivnosti alata do koje dolazi zbog odlaska radioaktivnog materijala sa njegovih površina.

Mogućnost ozračivanja samo onog dela mase raznog alata koja učestvuje u tribološkim procesima pri rezanju ostvaruje se bombardovanjem odgovarajućih površina alata sa teškim česticama (protoni, deuteroni i sl.) čija je prodorna moć relativno mala. Preliminarna istraživanja koja su u ovom pravcu vršena od strane autora na The University of Birmingham, Institutu "Boris Kidrič" i Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu pokazala su da izborom uslova ozračivanja (energija, jačina struje, vreme itd.) dubina prodiranja teških čestica u alatni materijal može da se ograniči od 0,01 do 0,8 mm pa i više. Međutim, specifična aktivnost po dubini ozračenog sloja nije uvek konstantna naročito kada se radi o slojevima veće debljine.

Na slici 1. prikazana je eksperimentalna kriva dobivena merenjem opadanja radioaktivnosti pločice tvrdog metala ozračene bombardovanjem protonima na ciklotronu pri smanjenju debljine ozračenog sloja. Pogodnim izborom uslova ozračivanja dobivena je konstantna specifična aktivnost do debljine od 120 mikrometara. Veličina radikalnog habanja kod pločica od tvrdog metala uobičajene geometrije kreće se oko 0,1 mm. Pravolinijska zavisnost između radioaktivnosti pločica i debljine ozračenog sloja govori o konstantnosti specifične aktivnosti do dubine od približno 120 mikrometara.

Izbor površine na reznom alatu koja treba da bude ozračena kao i potrebna dužina ozračenog sloja zavise od oblika habanja reznih elemenata. U većini slučajeva kriterijum zatupljenja alata vezuje se za habanje ledjne površine reznog klina tako da se ova površina najčešće i bombarduje teškim česticama. Na slici 2. prikazano je nekoliko primera oblika habanja reznih elemenata alata za bušenje, struganje, čeonog glodanje i odvalno glodanje. U svim ovim slučajevima interesantna površina za praćenje razvoja procesa habanja je ledjna površina reznog klina. Širina pojasa habanja koja se uzima kao kriterijum zatupljenjem alata kreće se, obično, od 0,4 do 0,8 mm, dok radikalno haba-

nje ne prelazi 0,1 mm. Aktivna dužina sečiva, međutim, može da bude veoma različita u zavisnosti od vrste alata i širine rezanja. Da bi se pratilo razvoj procesa habanja na reznom klinu dovoljno je posmatrati samo deo aktivne dužine sečiva i to onaj deo na kome je habanje najveće.



Sl.1

Masa alatnog materijala koja se haba u procesu rezanja je uvek relativno mala i zavisi najviše od aktivne dužine sečiva.

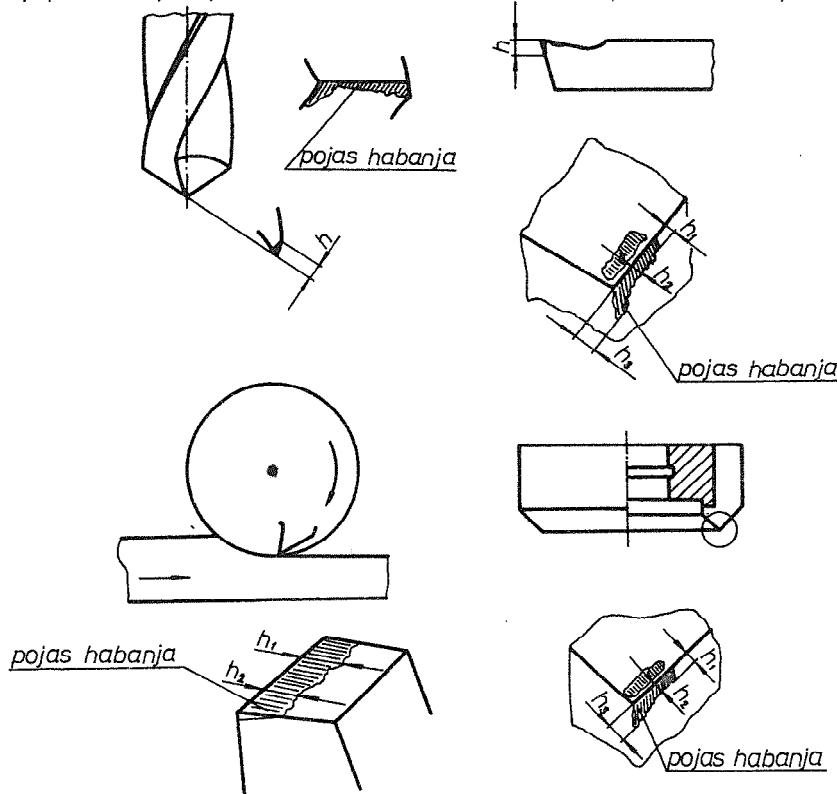
$$\Delta G = f \cdot l \cdot \frac{h \cdot h}{2} = \frac{\gamma \cdot l}{2} \cdot \frac{h^2 \cdot \operatorname{tg} \gamma}{1 - \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

Kako su sve veličine koje sadrži izraz za G konstantne za određeni slučaj obrade izuzev širine pojasa habanja h koja se menja to se može napisati da je

$$\Delta G = K \cdot h^2$$

odnosno može se reći da je masa pohabanog alatnog materijala proporcionalna kvadratu OR. 19.4

širine pojasa habanja koja se u klasičnim metodama koristi kao parametar habanja.



Sl.2

Opadanje radioaktivnosti alata proporcionalna je količini alatnog materijala koje sa reznog klina odlazi za vreme rezanja tako da se merenjem radioaktivnosti alata pre i posle rezanja u kratkim vremenskim intervalima može ustanoviti R odnosno otpornost alata na habanje. Opadanje radioaktivnosti alata treba da se odvija po zakonu

$$R = R_0 - K_r h^2$$

gde je:

R = radioaktivnost alata posle rezanja u imp/min.

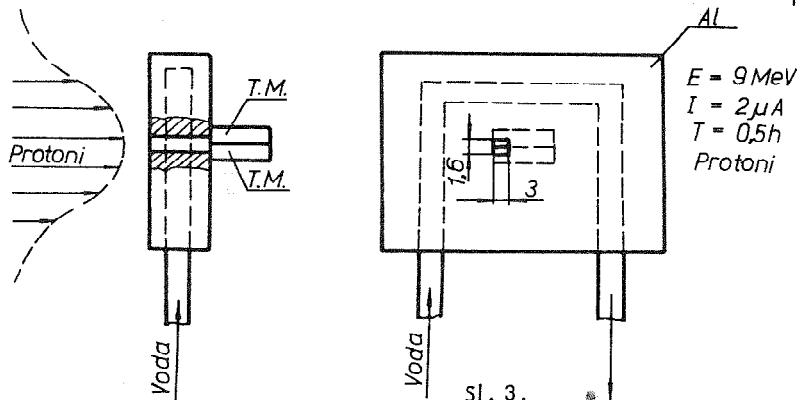
R_0 = radioaktivnost alata pre rezanja u imp/min.

h = širina pojasa habanja na određenom delu ledjne površine u mm.

K_r = konstanta zavisna od karakteristika ozračene mase alatnog materijala.

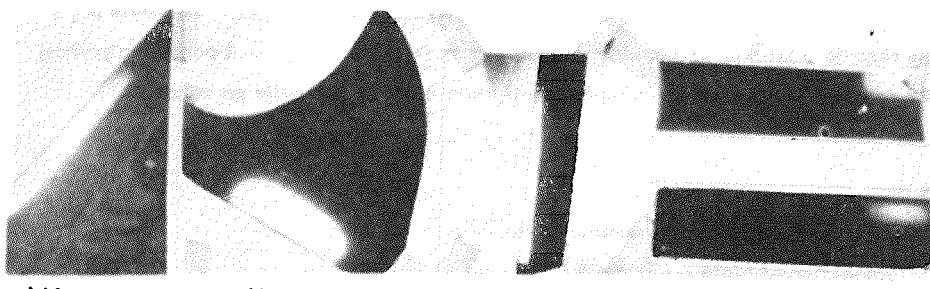
Postupak ozračivanja je relativno jednostavan. Međutim, neophodno je konstruisati posebne pribore za svaki alat. Konstrukcija pribora zavisi od vrste ciklotrona, mogućnosti

upravljanja snopom teških čestica i geometrije alata. Na slici 3. prikazan je, šematski, postupak ozračivanja pločica od tvrdog metala sa elementima uslova ozračivanja.



Posle bombardovanja određenih površina alata u ozračenom sloju javlja se više vrsta izotopa. Vrste izotopa zavise, uglavnom, od hemijskog sastava alatnog materijala i vrste čestica upotrebljenih pri ozračivanju. Pri ozračivanju alata od brzoreznog čelika javlja se veći broj izotopa sa različitim poluživotima ali su za tribološka istraživanja interesantni izotopi C^{56} i C^{58} . Pri ozračivanju alata od tvrdog metala kao interesantan izotop za ovu vrstu istraživanja javlja se Re^{184} .

Na slici 4. prikazano je nekoliko autoradiografskih snimaka ozračenih reznih alata za bušenje, pločica od tvrdog metala za struganje i čeono glodanje, valjkastog glodala i vretenastog glodala. Bele površine uz rezne ivice predstavljaju ozračene površine odnosno površine koje su bile izložene bombardovanju sa teškim česticama.



Sl. 4.

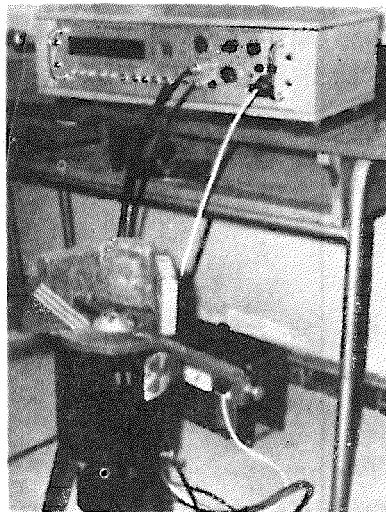
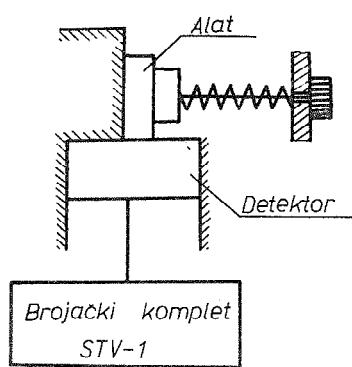
Na drugoj slici pločice od tvrdog metala pokazan je autoradioagrafske snimak pohabane leđne površine.

3. Metodologija ispitivanja radioaktivnom metodom

Metodologija ispitivanja novom radioaktivnom metodom je relativno jednostavna.

Neophodno je pre početka ispitivanja proveriti ispravnost instrumentacije i pripremiti odgovarajuće pribore za svaku vrstu alata posebno kojima se obezbeđuje tačnost geometrije merenja. Rezni alat mora pri svakom merenju da bude u istom položaju u odnosu na kristal cintilacionog detektoru. Na slici 5. prikazana je šema mjerne instrumentacije sa fotografijom radnog mesta na kome se vrši merenje radioaktivnosti pločica od tvrdog metalra.

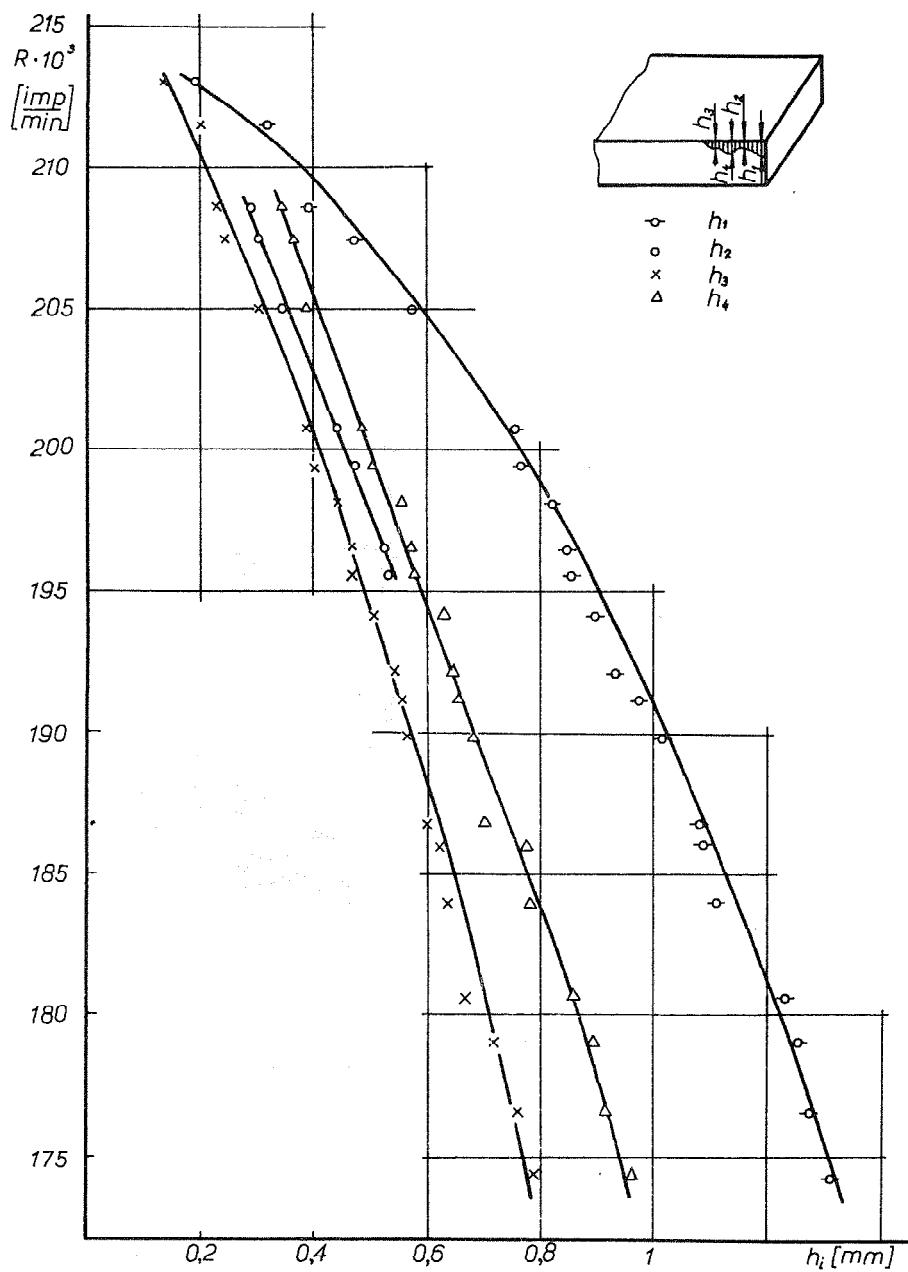
Greška pri merenju radioaktivnosti zavisi i od vremena merenja pošto je priroda radioaktivnosti statistička. Dosadašnja iskustva ukazuju na to da je vreme merenja od 10 min. optimalno i da greške koje se pri tomejavljaju ne ugrožavaju tačnost rezultata ispitivanja.



Sl.5. Merenje radioaktivnosti alata

U toku realizacije programa ispitivanja merenje radioaktivnosti alata vrši se posle rezanja u trajanju od 1 do 3 min. u zavisnosti od specifične aktivnosti ozračenog sloja. Rezultati ispitivanja unose se u tablicu 1 koja sadrži sve elemente potrebne za obradu rezultata i izvođenje krajnjih zaključaka.

U toku ispitivanja povremeno se prati razvoj procesa habanja na ledjnoj površini reznih tela na mikroskopu. S obzirom da na mikroskopu nije moguće primetiti, sa dovoljnom tačnošću, promenu širine pojasa habanja koja nastaje posle rezanja u trajanju od 1 do 3 min. to se, obično, merenje na mikroskopu vrše posle izvođenja u tri do četiri eksperimenta. Veza između pojedinih parametara habanja koji se odnose, na primer, na širinu pojasa habanja na ledjnoj površini reznog klina i radioaktivnosti alata je veoma važna za obradu rezultata ispitivanja i izvođenje krajnjih zaključaka. Na slici 6. prikazano je nekoliko funkcija OR.19.7



Sl. 6 Funkcije $R=f(h_i)$ dobivene pri
čeonom glodanju

OR. 19.8

Tablica 1.

No	Vreme merenja	Brzina rez [m/min]	Korak [mm/min]	Vreme re- zanja[min]		h_1 [mm]	h_2 [mm]
1	2.12.1974. 18 ²²	111,5	40	6,50	1	0,197	0,130
2	2.12.1974. 18 ²²	141,3	50	5,04	2	0,320	0,201

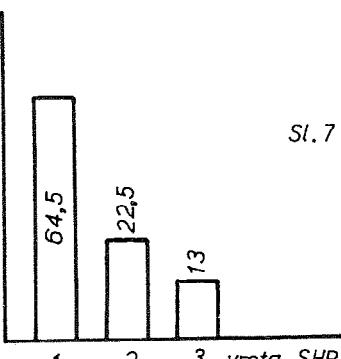
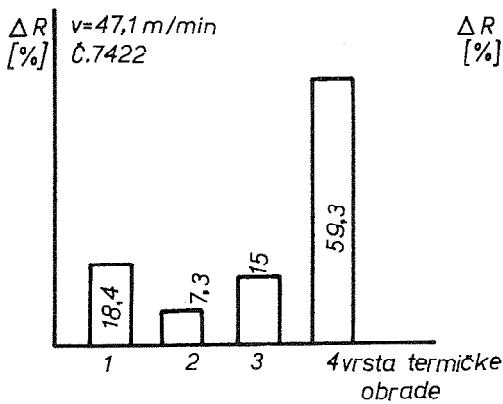
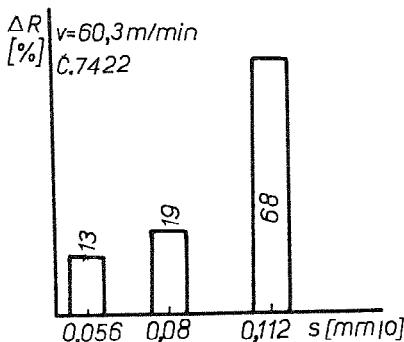
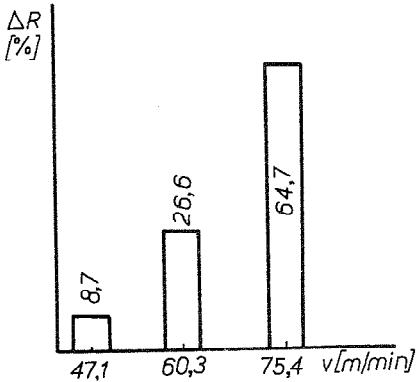
Nastavak tablice 1.

R_o [imp/min]	$\pm S_o$ [imp/min]	R_t [imp/min]	$\pm S_t$ [imp/min]	ΔR [imp/min]	$\pm S_{\Delta}$ [imp/min]	$\Delta R/t$ [imp/min]	$\pm S/t$ [imp/min]
214 895,1	146,6	212 852,4	145,9	2042,7	206,8	314,3	31,8
212 852,4	145,9	211 535,1	145,4	1317,3	206,0	261,4	40,9

$R = f(h)$ dobivenih eksperimentalnim putem pri obradi čeonim gledanjem sa tvrdim metalom.

Do analitičkog izraza ovih funkcija može se doći veoma lako prelaskom u duplogaritamski koordinatni sistem.

Analiza funkcija $R = f(h)$ prikazuje da postoji izvanredna veza između bilo kog parametra habanja vezanog za ledjnu površinu reznog klini i radioaktivnosti alata. Slične funkcije dobivene su i u drugim vrstama obrade pri rezanju, na primer, vretenastim gledalima, valjkastim gledalima, odvajnim gledalima i strugarskim noževima.



Sl. 7

OR.19.9

Poznavanje funkcije $R = f(h)$ omogućava proračun otpornosti na habanje u svim opitnim operacijama koje su pri realizaciji programa ispitivanja izvedena. Korišćenje ovako dobivenih rezultata ispitivanja za definisanje funkcije $T = f(v)$ pokazano je u radu (1).

4. Uticaj nekih faktora obrade na pad radioaktivnosti alata pri rezanju

Preliminarna ispitivanja koja su izvodjenja korишћenjem raznih vrsta obrade metala rezanjem pokazuju značajne mogućnosti uočavanja uticaja više faktora obrade na intenzitet habanja alata. Pre svega, ispitivan je uticaj brzine rezanja i koraka na pad radioaktivnosti alata, a zatim i uticaj vrste termičke obrade materijala predmeta obrade na njegovu obradivost. Jedna serija ispitivanja izvedena je da bi se uočio uticaj kvaliteta sredstava za hlađenje i podmazivanje na intenzitet habanja alata. Na slici 7. prikazane su, primera radi, rezultati ispitivanja dobiveni primenom radioaktivne metode koji je u određenoj meri verifikuju.

Poseban značaj, u ovom trenutku, imaju istraživanja koja se odnose na tribološke pojave na reznim elementima odvalnim glodanjem i kvantificiranje uticaja metalurških faktora na obradivost čelika.

Reference

1. Ivković, B., 1973., Tribology research in metal Cutting, Proceedings of the 2nd International Conference on Production Research, Copenhaben, August 1973.
2. Ivković, B., 1970. Definition of wear process of milling cutters by means of radioactive isotopes, Mechanical Engineering Faculty .
3. Ivković, B., 1975. A new laboratory method for Studying the machinability of steels by means of radioactive isotopes, International journal of Production Research, /in print/.

B. Ivković

DEVELOPMENT OF RADIOACTIVE METHODS FOR TRIBOLOGICAL RESEARCHES IN METAL CUTTING

Tribological researches in metal cutting with radioactive methods based upon the irradiation of contact surfaces by charged particle bombardment /deuterons and protons/ on the cyclotron already enable to perceive the influence of various on cutting tool wearing.

With new radioactive methods it is possible, under conventional production and laboratory conditions, to measure the tool wear resistance and to find experimentally the functional dependences between the chosen wear parameters and the cutting times. The results of these researches enable to forecast the optimal conditions of metal machining from the aspect of production cost minimization and to control the quality of forgings with regard to their machinability.

OR.19.10