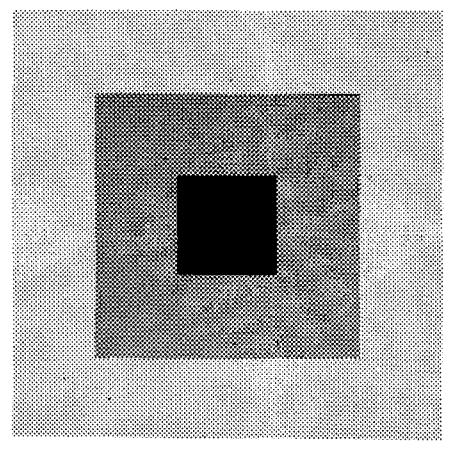
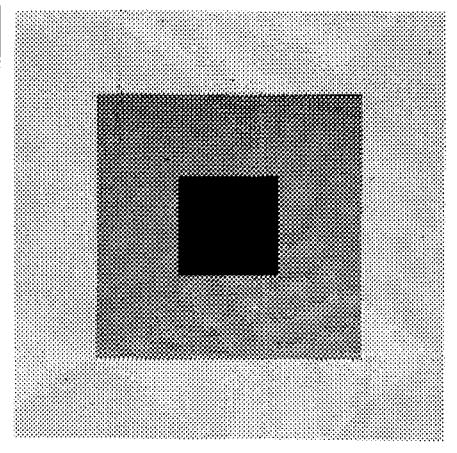
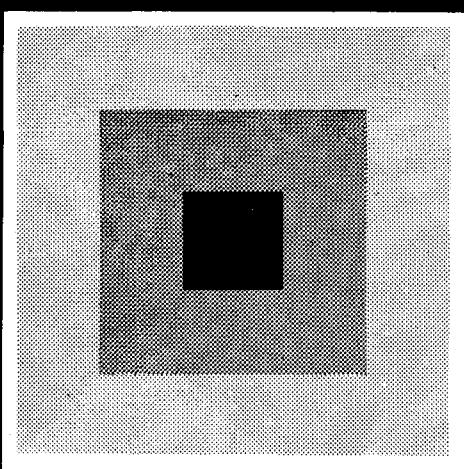
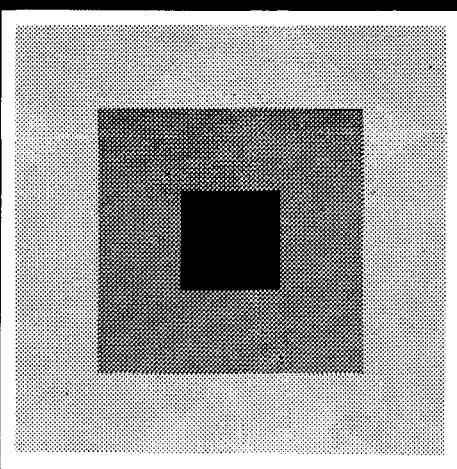
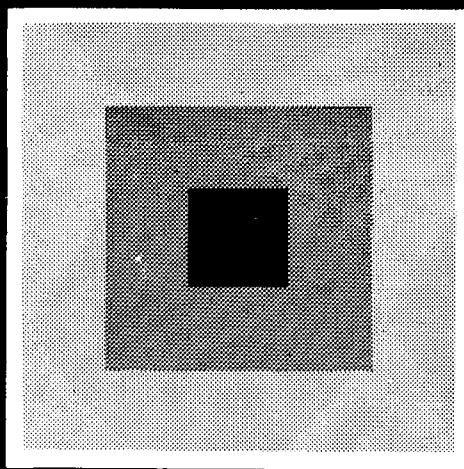


tribologija u industriji

YU ISSN 0351 1642
GODINA II
maj 1980.

1





GODINA II
BROJ 1
MAJ 1980.

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK
INTRODUCTION
ПЕРЕДОВИЦА

ISTRAŽIVANJA
RESEARCH
ИССЛЕДОВАНИЯ

NOVOSTI
NEWS
ИЗВЕСТИЯ

KNJIGE I CASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

NAUČNI SKUPOVIS
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

REZIMEA
ABSTRAKTS
РЕЗЮМЕ

M. NEDELJKOVIC: Neki aktuelni problemi tribologije — Some of the Current Tribology Problems — Некоторые актуальные вопросы трибологии

3

S. ST. SEKULIĆ: Rad trenja pri ortogonalnom rezanju — odnosi radova trenja na kontaktnim površinama alata i strugotine i obradene površine — Frictional Work in Orthogonal Cutting — Relations of Frictional Work on the Contact Surfaces Between Tool and Chips and Machined Surface Работа трения при ортогональном резании — взаимоотношение работ трения на контактных поверхностях режущего инструмента стружки и обработанной поверхности

5

B. VASILJEVIC: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji vrste i kvaliteta savremenih tvrdih metala — Productivity and Economy in Function of Modern Hard Metal Tool Type and Quality — Производительность и экономичность в функции вида и качества современных твердых сплавов

10

S. TANASIJEVIC: Topografija i izmena topografije aktivnih površina zuba zupčanika kao funkcija razvoja procesa habanja — Topography and Topography Chang of the Active Gear Tooth Surface as a Function of Wear Progressing — Топография и изменение топографии рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес как функция развития процесса износа

15

R. PANTIC: Tribološke karakteristike više vrsta alata od tvrdog metala u obradi struganjem — Tribology Features of Several Hard Metal Tools in the Process of Turning — Трибологические характеристики различных инструментов из твердого металла при точении

20

27

28

30

31

Neki aktuelni problemi tribologije

U uvodnim člancima prethodnih brojeva ovog časopisa dokumentovano je obrazložen ekonomski aspekt triboloških procesa praćenih gubicima uložene energije i trošenjem tarih površina kinematskih parova sa postepenim pojavama neispravnosti funkcija elemenata, podsistema i složenih tehničkih sistema. Tribološki procesi su spori, nepovratni stohastički procesi, za čije je opisivanje neophodna teorija verovatnoće i matematička statistika. Ovi procesi su prisutni u svim proizvodnim procesima materijalnih dobara, u industriji, građevinarstvu, rudarstvu i transportu sa mnogim zajedničkim i užim specifičnim naučnim i praktičnim problemima.

Pošto je izučavanje triboloških procesa predmet tribologije kao savremene naučne i tehnološke discipline, to je neminovna paralelna primena metoda naučnoistraživačkog rada i teorije planiranja eksperimenta radi stvaranja novih naučnih saznanja u oblasti teorije trenja i podmazivanja i metoda projektovanja, konstruisanja i optimizacije novih proizvoda, materijala tarih površina, oblika radnih površina prilagođenih minimizaciji gubitaka, novih ili poboljšanih mehanizama transformacije kretanja i prenosa mase i energije sa stvaranjem složenih tehničkih sistema zadate pouzdanošt i trajnosti za izvršavanje radne funkcije svih nivoa složenog sistema.

Komplementarnost razvoja naučnog potencijala i tehnološkog razvoja u datoj oblasti je primaran uslov samostalnosti razvoja opštег privrednog potencijala zemlje, te je to osnovni i zajednički cilj naučne i razvojne komponente istraživačkog

rada u oblasti tribologije. Ako generalni cilj nije sporan, ostaje otvoreno pitanje programiranje ciljeva u komponentalnim oblastima sa strukturama na nižim nivoima.

Pod pretpostavkom usaglašenih ciljeva, efikasnost istraživačkog napora zahteva planiranje i utvrđivanje pravca istraživanja sa razvojem odgovarajućih metoda i sredstava istraživanja, planiranje i obezbeđivanje materijalnih sredstava i sposobnih kadrova.

Multidisciplinarni karakter tribologije kao nauke i tehnologije usložnjava koordinaciju istraživačko-razvojnih potencijala u oblasti nauke o materijalima, fizike, hemije, termodinamike, mehanike fluida, nauke o konstruisanju, nauke o obradi materijala i terotehnologiji. Upravljanje procesom razvoja i primene tribologije u nacionalnim okvirima je bitna pretpostavka efikasnosti ove naučne oblasti u realizaciji minimizacije svih gubitaka u tribološkim procesima u sredstvima rada. **Iz ovih razloga se čini opravdanim razrada integralnog koncepta nacionalnog makroprekta, ukomponovanog u petogodišnji plan privrednog razvoja SFRJ i istovremeno povezanog sa savremenim trendovima razvoja ove naučne i tehnološke discipline.**

Tribologija se u nas postepeno afirmiše u obrazovnom procesu sticanjem naučnih stepena na poslediplomskim studijama, postepeno osvaja prostore u istraživačkim i razvojnim laboratorijama na fakultetima, institutima, u organizacijama udruženog rada materijalne proizvodnje i stručnim udruženjima. Pozitivni rezultati saradnje fakulteta i

instituta sa organizacijama udruženog rada, veći broj domaćih naučnih i stručnih skupova, privlače pažnju stručne javnosti, zatim učešće naših stručnjaka na svetskim i evropskim skupovima i u organima Svetske federacije, pojava stručnih časopisa i održavanje nivoa stručnih saopštenja — dokazi su mogućnosti kreativnog napora svih subjekata u ovoj naučnoj oblasti.

Svestranija i dokumentovana analiza dosadašnjih rezultata poznatim metodama ocene efikasnosti naučno-istraživačkog i razvojnog rada dala bi presek stanja ove naučne oblasti u nas i ukazala bi meritorno na pravce daljeg rada.

Ne čini se potrebnim dokazivati da je povećanje pouzdanosti, trajnosti i terotehnologičnosti svih sredstava rada u procesima rada osnovni problem kvaliteta i efikasnosti ovih složenih mašinskih sistema. Navedeni parametri kvaliteta se projektuju, testiraju u razvoju, realizuju u fabrikaciji i verifikuju u eksploraciji. U razvijenim zemljama postoje i razvijaju se metode prognoziranja pouzdanosti i trajnosti mašinskih sistema u fazi njihovog konstruisanja, ali se ove metode u nas nedovoljno primenjuju i dopunjaju na konkretnim proizvodima domaće mašinogradnje.

Pošto je pouzdanost, trajnost i terotehnologičnost složenog mašinskog sistema rezultat pouzdanosti, trajnosti i terotehnologičnosti njegovih podsistema i elemenata, neophodno je rasčlaniti generalnu funkciju mašinskog sistema na funkcije nižeg nivoa do elementarne funkcije kinematskog para i tada svestrano analizirati ulazno-izlazne veličine friкционog kontakta i dejstvovati na one uticajne faktore koji snižavaju pomenute parametre kvaliteta mašinskog sistema.

Frikcioni proces se najopštije može predstaviti blok dijagramom sa skupom ulaznih promenljivih, skupom izlaznih promenljivih i skupom promenljivih stanja.

Ulazne promenljive

svojstva tarnih površina →
opterećenje →
brzina →
temperatura →
medijum →

Promenljive stanja

promena mikroreljefa
promena strukture površina
promena mehaničkih osobina
materijala
generiranje topote
akumulacija oštećenja
u površinskim slojevima

Izlazne promenljive

→ sila trenja
→ intenzitet trošenja
→ oblik razaranja

Pošto su ulazne i izlazne veličine merljive, to je moguće eksperimentalno dokazivati pretpostavljenu funkcionalnu teorijsku pretpostavku zavisnosti $I_F = R_F(U_F)$, gde su U_F funkcionalno relevantne ulazne promenljive, I_F — funkcionalno relevantne izlazne veličine, a R_F — operator transformacije.

Ulazne veličine imaju karakter slučajnih veličina sa odgovarajućim zakonima raspodele, promenljive stanja su takođe slučajne veličine, te su i izlazne veličine slučajne. Na ovaj način se ukazuje na pravac razvoja i primenu verovatnostno-statističkih metoda proračuna i prognoziranja pouzdanosti i trajnosti frikcionih parova.

Međutim, potrebno je naglasiti da se friкцион kontakt ostvaruje po zakonima trenja metala, elastomera i nemetala sa karakterističnim specifičnostima svojstava tarnih površina, a pored toga i u uslovima režima graničnog, hidrodinamičkog i elasto-

hidrodinamičkog podmazivanja, te se time definišu specifičnosti proračuna otpornosti na habanje u fazi projektovanja i konstruisanja mašinskih sistema predviđene pouzdanosti i trajnosti.

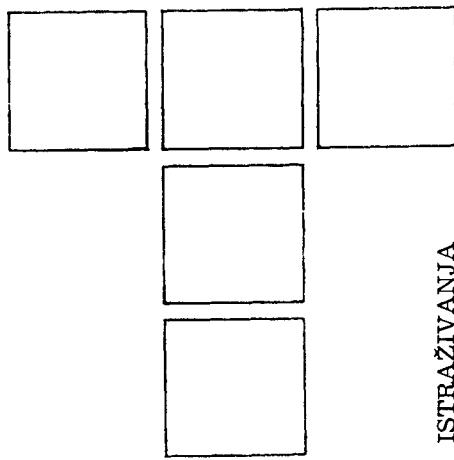
Poznata je praksa da konstruktor proračunava izdržljivost odgovornih strukturalnih delova i sklopova mašinskih sistema, ali je retka praksa da se proračunom proverava otpornost kinematskih parova na habanje. Pored toga ističe se problem utvrđivanja kritičnog stanja istrošenja radnih površina iz uslova dozvoljenih odstupanja funkcije elementa, sklopa ili podsistema.

Oslanjanjem na savremenu opštu teoriju molekularno-mehaničkog trenja, friкционog zamora, trenja u oblasti elastičnog i elastično-plastičnog kontakta, neophodno je sistematizovati inženjerske metode proračuna otpornosti na habanje, primenjivati razvijene programe za primenu računara, uneti ih u programe nastav-

ve i time neposredno uticati na povećanje kvaliteta proizvoda domaće mašinogradnje.

Osnovno je istovremeno ukazati na nedovoljno poklonjenu pažnju problemima terotehnologije, počev od programa obrazovanja kadrova do podređenog statusa ove proizvodne funkcije u materijalnoj proizvodnji. Nedovoljno su stekle pravo egzistencije metode dijagnosticiranja stanja radne ispravnosti tehničke opreme kao preventivnog sredstva za sprečavanje neočekivanih poremećaja u proizvodnim ciklusima.

U ovom članku se ne pretenduje na iscrpnom i svestranom prikazu aktuelnih i dugoročnih problema tribologije u nas, ali se prepostavlja da povremeno ukazivanje na prostore intervencije može da doprinese daljoj afirmaciji ove naučne i tehničke discipline. Svakako ovo je jedan od zadataka časopisa „Tribologija u industriji«.



Rad trenja pri ortogonalnom rezanju — odnosi radova trenja na kontaktnim površinama alata i strugotine i obrađene površine

UVOD

Ukupni mehanički rad koji se ulaže u proces rezanja može se u prvom približenju predstaviti zbirom [12]

$$A = A_p + A_e + A_t + A_d \quad (1)$$

gde je A_p rad potreban za plastičnu deformaciju, A_e rad potreban za elastičnu deformaciju, A_t rad koji se troši na trenje i A_d rad koji je potreban za dispergovanje.

Pri obradi plastičnih materijala rad za dispergovanje i elastične deformacije se može zanemariti u odnosu na rad potreban za plastičnu deformaciju i rad trenja, pa ćemo ih u ovoj našoj približnoj analizi izostaviti, tako da ćemo smatrati da je ukupni rad ravan

$$A = A_p + A_t; A_e = 0; A_d = 0 \quad (2)$$

Da bismo odredili veličinu pojedinih sabiraka u (2) počićemo od ukupnog potrebnog rada za rezanje i rada trenja.

$$A_t = A'_t + A''_t \quad (3)$$

Rad trenja predstavićemo zbirom gde je A'_t rad trenja između grudne površine i strugotine i A''_t rad trenja između ledne i obrađene površine.

Rad trenja između grudne površine i strugotine

U prvom približavanju zanemarimo trenje između ledne i obrađene površine, pa će rad trenja biti ravan radu trenja koji se javlja na grudnoj površini, tj.

$$A_t = A'_t; A''_t = 0 \quad (4)$$

Prema slici 1. sledi da je [6, 7, 8, 12, 13]

$$F'_1 = F_R' \cos (\rho - \gamma) \quad (5)$$

i

$$F'_N = F_R' \cos \rho \quad (6)$$

pa se normalna komponenta F'_N u funkciji glavne sile rezanja F'_1 dobija eliminacijom rezultujuće sile rezanja F_R' iz (5) i (6).

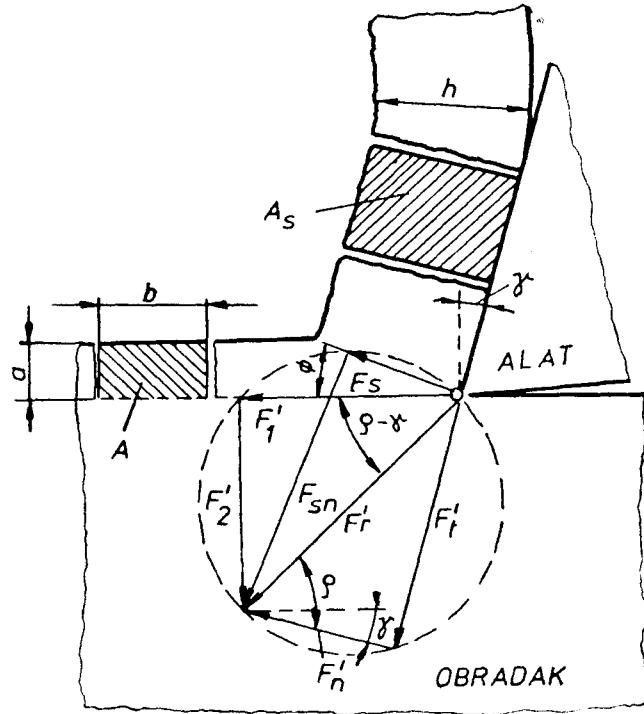
$$F'_N = F'_1 \frac{\cos \rho}{\cos (\rho - \gamma)} \quad (7)$$

Rad trenja na grudnoj površini iznosi [2, 6, 7, 8]

$$A'_t = \mu F'_N v_{st} \quad (8)$$

pa kako se faktor sabijanja strugotine može izraziti odnosom

$$\lambda = \frac{v}{v_{st}} \quad (9)$$



Slika 1.

to zamenom (7) i (9) za rad trenja dobijamo

$$A'_t = \mu F'_1 \frac{\cos \rho}{\cos (\rho - \gamma)} \frac{v}{\lambda} \quad (10)$$

Veličinu koeficijenta trenja μ možemo odrediti iz Kroeneker-gove dinamičke jednačine [3, 4, 13]

$$\lambda = \exp \mu \left(\frac{\pi}{2} - \gamma \right) \quad (11)$$

odnosno

$$\tan \rho = \mu = \frac{\ln \lambda}{\frac{\pi}{2} - \gamma} \quad (12)$$

* Biografija autora objavljena u časopisu »Tribologija u industriji« 1 (1979).

pa je

$$\rho = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\ln \lambda}{\frac{\pi}{2} - \gamma} \quad (13)$$

Kako je rad potreban za obrazovanje strugotine

$$A' = F_1' \cdot v \quad (14)$$

to uzimajući u obzir jednačine (10), (12) i (14), nakon sređivanja, dobijamo odnos rada trenja između grudne površine i strugotine prema radu potrebnom za obrazovanje strugotine u obliku

$$\frac{A'_t}{A'} = \frac{\mu}{\lambda} \frac{\cos \varrho}{\cos (\varrho - \gamma)} = f(\lambda, \gamma) \quad (15)$$

Prema tome, za određene vrednosti faktora sabijanja strugotine λ i grudnog ugla γ može se odrediti odnos A'_t / A' iz kojeg sledi da je rad trenja između grudne površine i strugotine izražen u procentima u odnosu na rad potreban za nastajanje strugotine

$$A'_t = \frac{A'_t}{A'} \cdot 100 \quad [\%] \quad (16)$$

Vrednosti funkcije $f(\lambda, \gamma)$, za realne vrednosti faktora sabijanja strugotine i grudnog ugla date su u tabeli 1.

λ	-10	-5	0	5	10	15	20
1,01	0,00574	0,00597	0,00627	0,00666	0,00716	0,00773	0,00856
1,25	0,10625	0,10936	0,11365	0,11922	0,12627	0,13502	0,14580
1,50	0,16398	0,16723	0,17208	0,17863	0,18701	0,19740	0,21008
2,00	0,21682	0,21779	0,22064	0,22530	0,23176	0,24004	0,25021
2,50	0,23499	0,23317	0,23333	0,23529	0,23890	0,24409	0,25079
3,00	0,23966	0,23535	0,23313	0,23271	0,23387	0,23645	0,24032
3,50	0,23842	0,23204	0,22787	0,22553	0,22475	0,22531	0,22704
4,00	0,23447	0,22638	0,22064	0,21678	0,21449	0,21351	0,21365
5,00	0,22364	0,21296	0,20492	0,19892	0,19455	0,19149	0,18951
6,00	0,21214	0,19967	0,19011	0,18275	0,17710	0,17280	0,16959

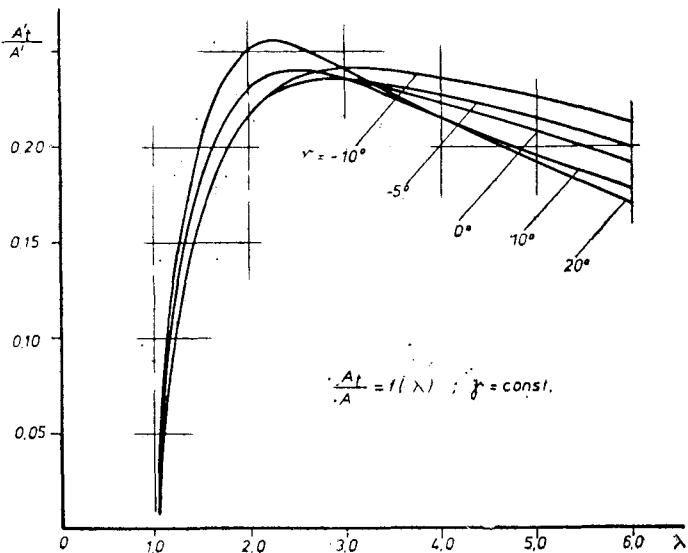
Da bismo lakše analizirali zavisnost (15) nacrtani su grafici

$$\frac{A'_t}{A'} = F_1(\lambda) ; \gamma_i = \text{const}$$

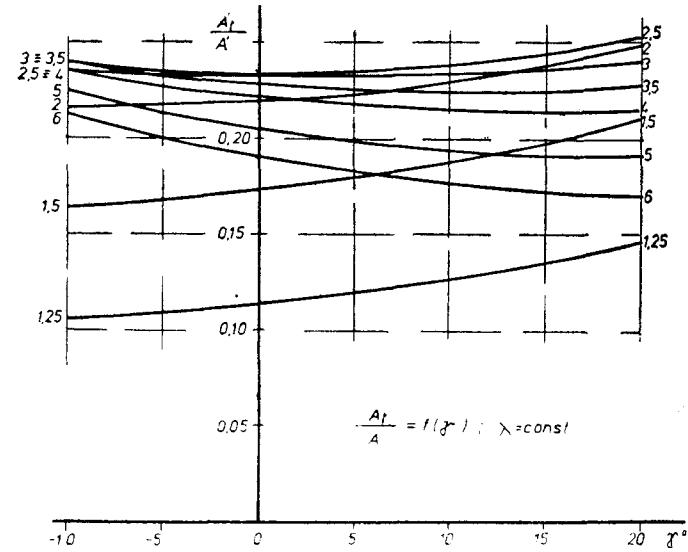
i

$$\frac{A'_t}{A'} = F_2(\gamma) ; \lambda_i = \text{const}$$

prikazani na sl. 2. i sl. 3.



Slika 2.



Slika 3.

Na osnovu izraza (15), i još očiglednije na bazi grafika sl. 2 i sl. 3, može se zaključiti da veličina faktora sabijanja strugotine λ i grudnog ugla γ znatno utiče na odnos rada trenja između grudne površine i strugotine i rada potrebnog za obrazovanje strugotine.

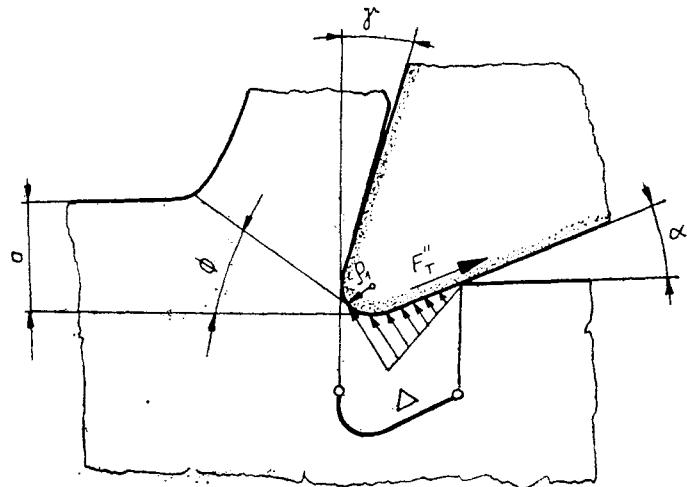
Rad trenja između leđne i obradene površine

Sila trenja između leđne i obradene površine određuje se po obrascu [9, 10, 11, 14]

$$F_t'' = \tau_{sr} b \Delta \quad (17)$$

gde je τ_{sr} srednji tangencijalni napon na kontaktnoj površini između leđne i obrađene površine, b aktivna dužina sečiva i Δ dužina kontakta po leđnoj površini.

Kako se, na osnovu istraživanja raspodele tangencijalnih napona na površini kontakta leđne i obrađene površine



Slika 4.

može dovoljno tačno predstaviti trouglastim rasporedom (sl. 4) u obliku [9, 11]

$$\tau = \tau_p \left(1 - \frac{x}{\Delta} \right) \quad (18)$$

to srednja vrednost tangencijalnog napona na kontaktnoj površini između leđne i obrađene površine iznosi

$$\tau_{sr} = 0,5 \tau_p \quad (19)$$

gde je τ_p otpornost materijala obratka plastičnom smicanju. Dužinu kontakta po leđnoj površini možemo odrediti po obrascu [11]

$$\Delta \cong 1,25 \rho_1 \sqrt{\frac{1}{\cotg \Phi \sin \alpha}} \quad (20)$$

gde je ρ_1 poluprečnik zaobljenja sečiva i α leđni ugao alata.

Zamenom (18), (19) i (20) u (17) za silu trenja između leđne i obrađene površine dobijamo

$$F_t'' \cong 0,625 \tau_p \rho_1 b \sqrt{\frac{1}{\cotg \Phi \sin \alpha}} \quad (21)$$

Rad trenja između leđne i obrađene površine iznosi

$$A_t'' = F_t'' \cos \alpha v \quad (22)$$

odnosno uzimanjem u obzir jednačine (21)

$$A_t'' = 0,625 \tau_p \rho_1 b \sqrt{\frac{1}{\cotg \Phi \sin \alpha}} \cos \alpha v \quad (23)$$

Odnos rada trenja između leđne i obrađene površine i rada trenja na grudnoj površini možemo predstaviti u obliku

$$\frac{A_t''}{A_t'} = \frac{A_t''}{(A_t'/A') A'} \quad (24)$$

odnosno posle zamene (22) i (15) u (24) dobijamo

$$\frac{A_t''}{A_t'} = \frac{0,625 \tau_p \rho_1 b \sqrt{1/\cotg \Phi \sin \alpha \cdot \cos \alpha}}{\mu \cdot \frac{\cos \rho}{\lambda} \cdot \frac{\cos (\rho - \gamma)}{\cos \Phi} F_t'} \quad (25)$$

Kako je prema slici 1

$$F_t' = F_R' \cos (\Phi + \rho - \gamma) \quad (26)$$

i

$$F_t' = F_R' \cos (\rho - \gamma) \quad (27)$$

to eliminacijom F_R' iz (26) i (27) dobijamo da je

$$F_t' = F_s \frac{\cos (\rho - \gamma)}{\cos (\Phi + \rho - \gamma)} \quad (28)$$

S obzirom da je

$$F_s = \tau_p A_s \quad (29)$$

a površina smicanja

$$A_s = \frac{ab}{\sin \Phi} \quad (30)$$

to uzimajući u obzir izraz (29) i (30) dobijamo

$$F_t' = ab \frac{\tau_p}{\sin \Phi} \frac{\cos (\rho + \gamma)}{\cos (\Phi + \rho - \gamma)} \quad (31)$$

Zamenom jednačine (31) u izraz (24) dobijamo za odnos rada trenja na leđnoj i grudnoj površini

$$\frac{A_t''}{A_t'} = \frac{0,625 \rho_1 \cos \alpha \sin \Phi \cos (\Phi + \rho - \gamma) \lambda}{a \mu \cos \rho \sqrt{\cotg \Phi \sin \alpha}} \quad (32)$$

Veličinu ugla smicanja Φ odredićemo iz izraza za faktor sabijanja strugotine [4, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14]

$$\lambda = \frac{\cos (\Phi - \gamma)}{\sin \Phi} \quad (33)$$

iz kojeg nakon razvijanja $\cos (\Phi - \gamma)$ dobijamo da je ugao smicanja

$$\Phi = \text{arc cotg} \frac{\lambda - \sin \gamma}{\cos \gamma} \quad (34)$$

a veličina ugla trenja određuje se po obrascu (13).

Uzimanjem u obzir izraza (13) i (34) sledi da je odnos rada trenja između leđne i obrađene površine i rada trenja po grudnoj površini

$$\frac{A_t''}{A_t'} = \varphi (\gamma, \alpha, \rho_1, \mu, \lambda) \quad (35)$$

λ	$\varphi(\lambda, \gamma) = \frac{\sin \Phi \cos (\Phi + \rho - \gamma) \lambda}{\mu \cos \rho \sqrt{\cotg \Phi}}$	γ^0
-10		
-5		
0		
5		
10		
15		
20		
1,01	66,31420	72,71804
1,05	13,46382	14,75934
1,10	6,85248	7,50957
1,20	3,53925	3,87729
1,25	2,87389	3,14816
1,50	1,53198	1,67890
2,00	0,84094	0,92431
2,50	0,59919	0,66128
3,00	0,47288	0,52417
3,50	0,39408	0,43876
4,00	0,33973	0,37988
5,00	0,26889	0,30315
6,00	0,22425	0,25475

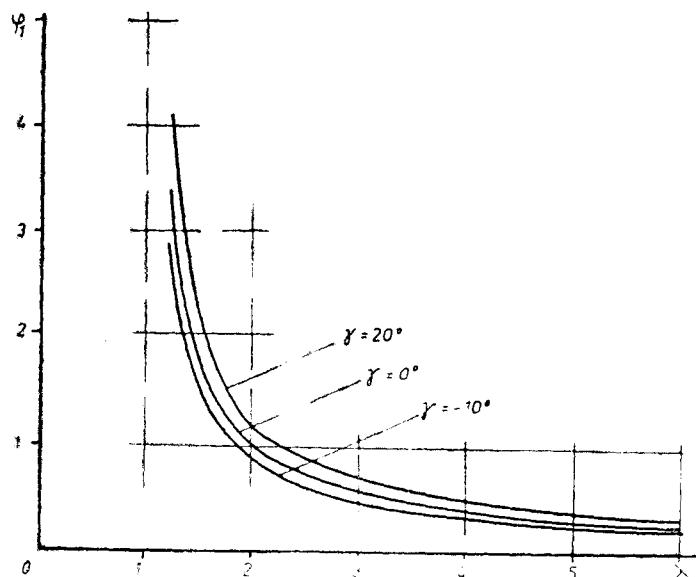
TABELA 2.

Za unapred usvojene vrednosti leđnog ugla α , poluprečnika zaobljenja sečiva ρ_1 i dubine rezanja a , pogodno je elemente izraza (32) grupisati u tri člana

$$\frac{A_t''}{A_t'} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\sin \Phi \cos(\Phi + \rho - \gamma) \lambda}{\mu \cos \rho \sqrt{\cotg \Phi}} \cdot \frac{0,625 \rho_1 \cos \alpha}{\sqrt{\sin \alpha}} \quad (36)$$

TABELA 3.

$\varphi_2 (\varrho_1, \alpha)$	$0,625 \rho_1 \cos \alpha$				
	α^0	$\sqrt{\sin \alpha}$	$\varphi_2 (\varrho_1, \alpha)$	α^0	$\sqrt{\sin \alpha}$
ϱ_1	2	6	10	14	18
0,005	0,01671	0,00967	0,00750	0,00635	0,00562
0,010	0,03346	0,01933	0,01500	0,01271	0,01124
0,020	0,06691	0,03866	0,03000	0,02541	0,02249
0,030	0,10037	0,05799	0,04500	0,03812	0,03373
0,040	0,13382	0,07733	0,05999	0,05083	0,04497



Slika 5.

pa je

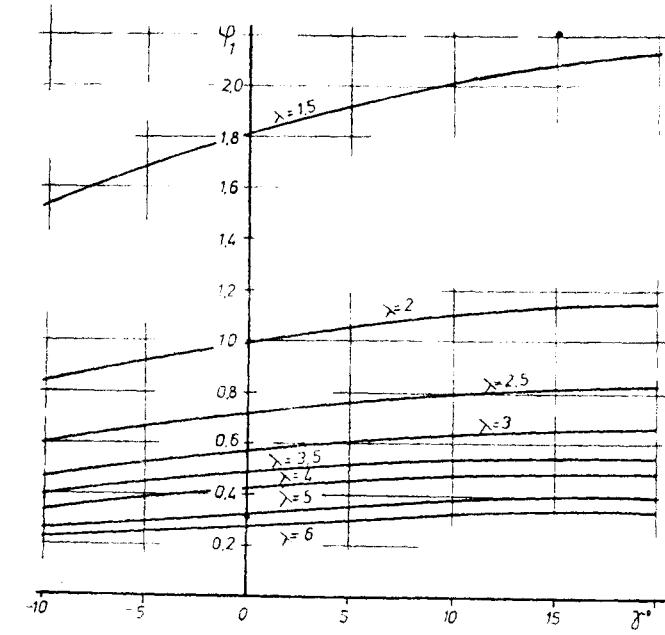
$$\frac{A_t''}{A_t'} = \frac{1}{a} \cdot \varphi_1(\gamma, \lambda) \cdot \varphi_2(\rho_1, \alpha) \quad (37)$$

Vrednosti funkcija $\varphi_1(\gamma, \lambda)$ i $\varphi_2(\rho_1, \alpha)$ za realne vrednosti grudnog ugla, faktora sabijanja strugotine, poluprečnika zaobljenja sečiva i leđnog ugla date su u tabelama 1. i 2. U cilju lakše analize izraza (37) konstruisani su grafici

$$[\varphi_1(\gamma, \lambda)] = \psi_1(\lambda) ; \gamma_i = \text{const}$$

i

$$[\varphi_2(\rho_1, \alpha)] = \psi_2(\rho_1) ; \alpha_i = \text{const}$$



Slika 7.

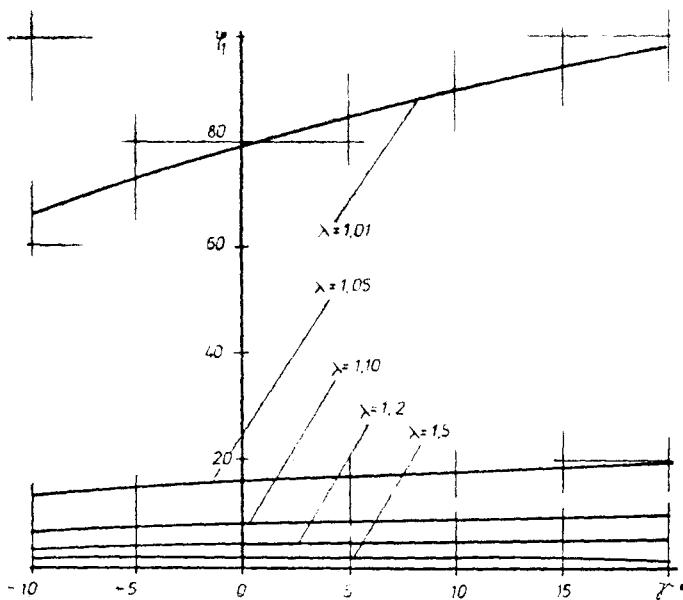
i predstavljeni na slikama 5., 6. i 7., kao i dijagrami

$$[\varphi_2(\rho_1, \alpha)] = \psi_3(\rho_1) ; \alpha_i = \text{const}$$

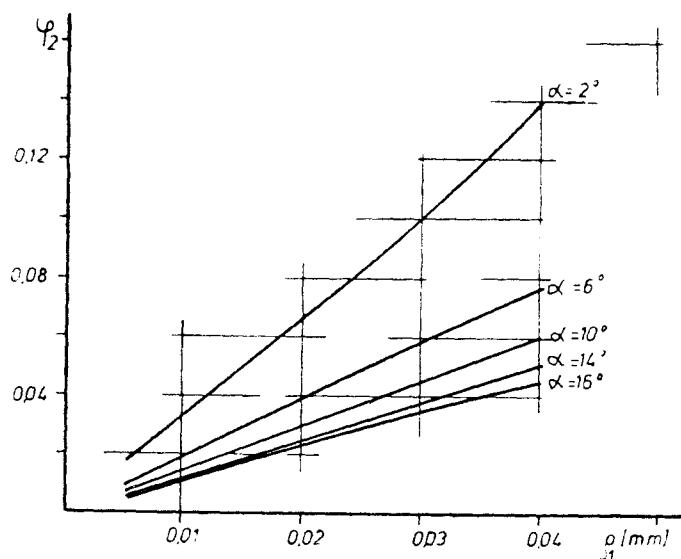
i

$$[\varphi_2(\rho_1, \alpha)] = \psi_4(\alpha) ; \rho_{1i} = \text{const}$$

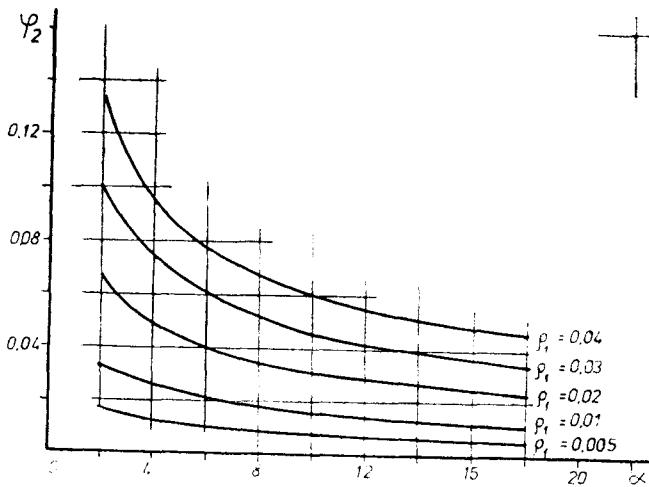
na slikama sl. 8 i sl. 9.



Slika 6.



Slika 8.



Slika 9.

Prema tome odnos rada trenja između leđne i obradene površine i rada trenja po grudnoj površini, na osnovu izraza (37), za zadate vrednosti, može se odrediti na osnovu podataka iz odgovarajućih tabela ili dijagrama.

Rad trenja po grudnoj i leđnoj površini

Rad trenja na kontaktima površinama po grudnoj i leđnoj površini može se bez teškoća odrediti na osnovu izloženog u predhodnim poglavljima, kao zbir dat jednačinom

$$A_t = A'_t + A''_t \quad (3)$$

Ako gornju jednačinu podelimo sa radom potrebnim za obrazovanje strugotine A' dobijemo

$$\frac{A_t}{A'} = \frac{A'_t}{A'} + \frac{A''_t}{A'}$$

Posle množenja drugog člana desne strane u gornjoj jednačini sa $A'_t/A'_t = 1$ sledi da je

$$\frac{A_t}{A'} = \frac{A'_t}{A'} + \frac{A''_t}{A'} \cdot \frac{A'_t}{A'_t}$$

pa je

$$\frac{A_t}{A'} = \frac{A'_t}{A'} \left(1 + \frac{A''_t}{A'_t} \right) \quad (38)$$

Član u zagradi, desne strane jednačine (38), govori za koliko se uvećava odnos rada trenja po grudnoj površini u odnosu na rad potreban za obrazovanje strugotine usled prisustva trenja na površini kontakta između leđne i obradene površine.

Primer: za dubinu rezanja $a = 0,5$ mm i alat sa grudnim uglom $\gamma = 5^\circ$, leđnim uglom $\alpha = 6^\circ$ i poluprečnikom zaobljenja sečiva $\rho_1 = 0,020$ mm i za faktor sabijanja strugotine $\lambda = 2,5$ imamo

$$\frac{A'_t}{A'} = 0,23529$$

$$\varphi_1(\lambda, \gamma) = 0,76327$$

$$\varphi_2(\rho_1, \alpha) = 0,03866$$

Zamenom gornjih numeričkih vrednosti u jednačinu (37) dobijamo

$$\frac{A''_t}{A'_t} = \frac{1}{0,5} \cdot 0,76327 \cdot 0,03866 = 0,059016$$

i izraz (38) daje

$$\frac{A_t}{A'} = 0,23529 (1 + 0,059016) = 0,249176$$

pa zaključujemo da u gornjem primeru rad trenja po leđnoj površini iznosi 5,9% od rada trenja po grudnoj površini i da rad trenja na površinama kontakta po grudnoj i leđnoj površini iznosi 24,9% od rada potrebnog za obrazovanje strugotine.

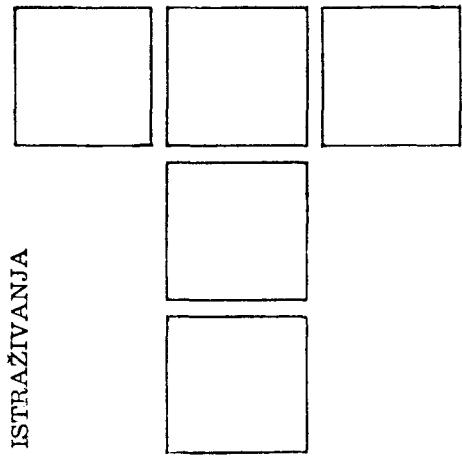
ZAKLJUĆCI

Na osnovu napred izloženog mogu se doneti sledeći zaključci:

- iz izložene metodologije mogu se odrediti odnosi radova trenja na površinama kontakta na leđnoj i grudnoj površini i odnos rada trenja po grudnoj i leđnoj površini u odnosu na rad potreban za obrazovanje strugotine,
- rad trenja na površini kontakta između leđne i obrađene površine je znatan u odnosu na rad trenja između grudne površine i strugotine i ne može se zanemariti,
- rad trenja na površinama kontakta po grudnoj i leđnoj površini u odnosu na rad potreban za obrazovanje strugotine ukazuje na vrlo značajan ideo trenja u ukupnom bilansu utroška energije u procesu rezanja i
- ideo rada trenja na leđnoj površini u odnosu na rad trenja po grudnoj površini opada sa povećanjem dubine rezanja.

LITERATURA

1. ИСАЕВ А. И.: Процес образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием, Машгиз, Москва, 1950.
2. КРАГЕЛЬСКИЙ И. В.: Трение и износ, Машиностроение, Москва, 1969.
3. KRÖNENBERG M.: Über eine neue Beziehung in der Theoretischen Zerspanungslehre, Werkstatt und Betrieb, 1957, 10.
4. KRÖNENBERG M.: Machining science and application, Pergamon press, Oxford, London, 1966.
5. МАКАРОВ А. Д.: Оптимизация процессов резания, Машиностроение, Москва, 1976.
6. MERCHANT M. E.: Mechanics of the Metal Cutting Process, I, J. of Applied Physics, Vol. 16, No. 5, 1945.
7. MERCHANT M. E.: ZLATIN, N.: New Methods of Analysis of Machining Processes, Experimental stress analysis, Vol. III, No. 2, Addison-Wesley Press Inc., Cambridge, 1946.
8. MERCHANT M. E., ZLATIN, N.: Basic Reasons for Good Machinability of "Free Machining" Steels, A paper presented at the Thirthieth Annual Convention of the American Society for metals, Philadelphia, Oct., 1948.
9. ПОЛЕТИКА М. Ф.: Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента, Машиностроение, Москва, 1969.
10. РЕЗНИКОВ А. Н.: Теплофизика резания, Машиностроение, Москва, 1969.
11. СИЛИН С. С.: Метод подобия при резании материалов, Машиностроение, Москва, 1979.
12. STANKOVIĆ R.: Mašinska obrada, I knjiga, peto izdanie, Građevinska knjiga, 1974.
13. ZDENKOVIĆ R.: Obrada metala skidanjem, Sveučilište u Zagrebu, 1965.
14. ЗОРЕВ Н. Н.: Вопросы механики процесса резания металлов, Машгиз, Москва, 1956.



B. VASILJEVIĆ

Produktivnost i ekonomičnost u funkciji vrste i kvaliteta savremenih tvrdih metala

Povećanje produktivnosti i ekonomičnosti je jedan od osnovnih zadataka postavljenih pred svaku radnu organizaciju. Kako svako povećanje godišnjeg obima proizvodnje sa istom proizvodnom opremom, pored pozitivnog efekta smanjenja učešća bruto ličnih dohodaka proizvodnih radnika u verdnosti ostvarene proizvodnje, povlači za sobom i intenzivnije trošenje alata i proizvodne opreme, to je neophodno analizirati i ekonomski aspekt svakog planiranog povećanja produktivnosti.

Jedan od mogućih puteva u optimizaciji procesa rezanja je i primena savremenih alatnih materijala. Time se postiže smanjenje utroška alata, odnosno povećanje postojanosti alata, za posmatranu proizvodnu operaciju ili povećanje brzine rezanja za izabranu ekonomičnu postojanost. Na području novih alatnih materijala, veliki napredak je postignut u primeni višeštečnih pločica od tvrdog metala, prevučenih pločica tvrdog metala, kubnog nitrida bora (elbor) i keramičkih alatnih materijala.

Može se očekivati da će tvrdi metal zbog svojih odličnih triboloških karakteristika i niske cene preuzeti vodeću ulogu u obradi metala rezanjem. Ostali alatni materijali (prirodni i sintetički dijamanti, heksagonalni i kubni nitrid bora, keramika) poznati su od kada i tvrdi metal (sa izuzetkom BN), ali njihov udeo je ograničen zbog sklonosti ka hemijskim reakcijama, difuziji, kao i neotpornosti prema dinamičkim naprezanjima. Međutim, u pojedinim vrstama obrade ovi alatni materijali su superiorni, elbor u obradi kaljenih čelika, oksidna i oksikarbidična keramika u obradi sivog liva, prirodni i sintetički dijamant pri obradi lakih metala, tvrdog metala i keramike.

Sastav tvrdih metala se ustalio na WC-TiC-NbC-Co, a dalja istraživanja teku u pravcu iznalaženja novih prevlaka i postupaka prevlačenja tvrdih metala. Fundamentalna istraživanja strukturalnih osobina kobalta i karbidnih komponenta ukazuju na dalje poboljšanje veze žilavosti-tvrdoca u okviru korekcija samog procesa sinterovanja, kao i uvođenja submikronskih karbida u strukturu tvrdih metala.

Tehnologija prevlačenja tvrdih metala mikronskim slojevima super tvrdih materijala vidno je proširila područje primene tvrdih metala. Ove prevlake su najčešće od TiC ili TiN, a primenjuje se još i Al₂O₃ (Coromant) i sloj polukristalnog dijamanta debljine oko 0,5 mm.

Proizvođači tvrdog metala obično ne preporučuju upotrebu SHP, jer je i bez njihove primene moguća obrada visokim brzinama rezanja, ali ispitivanja izvršena u Laboratoriji za obradu metala i tribologiju Mašinskog fakulteta u Kragujevcu pokazuju da se primenom SHP mogu postići veće postojanosti alata, a time i znatne uštede.

Obimna ispitivanja triboloških karakteristika svih vrsta savremenih tvrdih metala u različitim vrstama obrade, izvršena u LOMT-u Mašinskog fakulteta u Kragujevcu omogućuju kvantificiranje uticaja vrste i kvaliteta alata od tvrdog metala na produktivnost i ekonomičnost obrade.

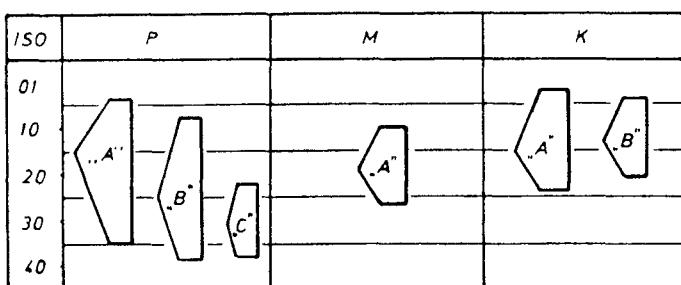
U ovom radu prikazane su tribološke karakteristike najčešće upotrebljavanih pločica od tvrdog metala sa analizom produktivnosti i ekonomičnosti obrade.

VRSTE I TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE SAVREMENIH TVRDIH METALA

Na jugoslovenskom tržištu, pored dva domaća proizvođača (»Sintal« i »Prvi partizan«), prisutni su i gotovo svi veći svetski proizvođači tvrdih metala. Radne organizacije obično koriste one vrste tvrdog metala koje preporučuje isporučilac opreme. Ovakav način izbora ponekad dovodi do nepotrebne kupovine alata od desetak različitih proizvođača. Nepoznavanje triboloških karakteristika alata od tvrdog metala i inertnost u unificiranju nosača alata tako znatno povećavaju troškove poslovanja.

Svi proizvođači tvrdog metala koriste sličnu tehnologiju i komponente; razlika je jedino u vrstama i broju prevlaka. Kako bi analiza svih vrsta tvrdih metala koji se kod nas koriste oduzela dosta prostora zbog različitih trgovачkih naziva za iste, ili slične kvalitete, u ovom radu zadržaćemo se na nekim najčešće upotrebljavnim alatima. Izabrane su pločice različitih kvaliteta. Oznaka »A« odnosi se na dvostruko prevučenu, »B« na jednostruko prevučenu, a »C« je standardna pločica od tvrdog metala. U tabeli 1. prikazane su preporučene oblasti primene izabranih obrtnih pločica od tvrdog metala.

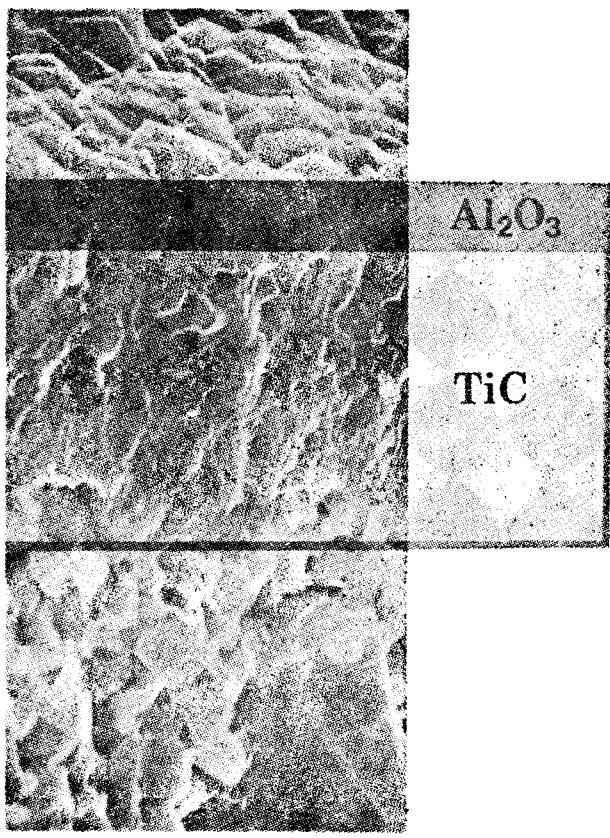
TABELA 1.



Cena obrtnih pločica od tvrdog metala je funkcija oblika, dimenzija i kvaliteta. U tabeli 2. su prikazane proizvođačke cene za različite kvalitete, a za izabran oblik i dimenzije. Sva ispitivanja triboloških karakteristika savremenih tvrdih metala, prezentirana u ovom radu, kao i analiza produktivnosti i ekonomičnosti, izvršena su pločicom SPUN 12 03 12.

TABELA 2.

Vrsta	"A"	"B"	"C"
Cena (din)	69,90	61,70	47,96



Sl. 1. — Presek dvostruko prevučene pločice »A«

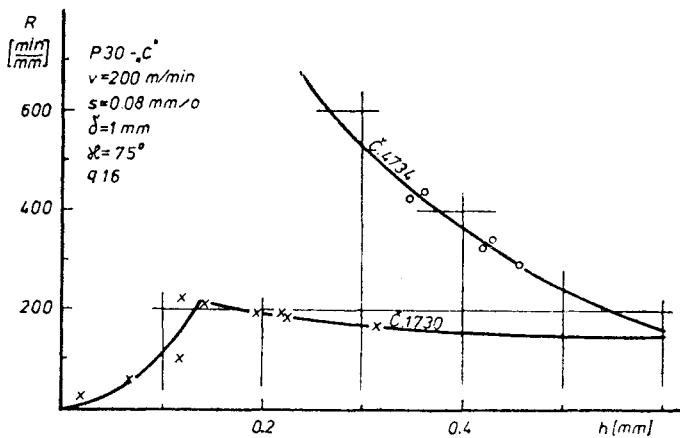
Na preseku dvostruko prevučene pločice »A« (Sl. 1) mogu se videti obadve prevlakе. Prvi sloj debljine 0,005 mm je od TiC, a preko njega je specijalnim postupkom nanešena tanka prevlaka aluminijumtrioksida (Al_2O_3) debljine 0,001 mm.

Proizvođač za pretpostavljenu ekonomičnu postojanost alata $T_e=15$ min, a različite materijale i korake, preporučuje sledeće brzine rezanja (tabela 3).

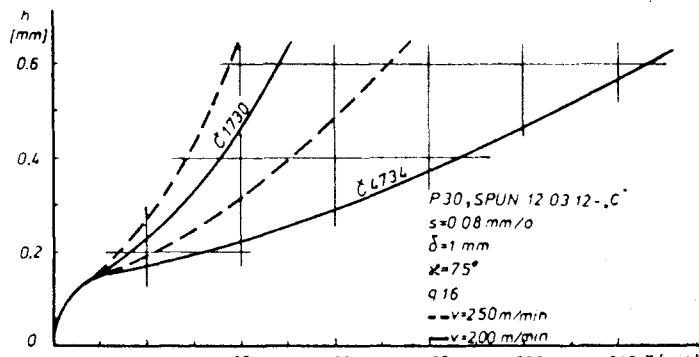
U LOMT-u Mašinskog fakulteta u Kragujevcu izvršena su obimna ispitivanja triboloških karakteristika savremenih alata od tvrdog metala. Jedan deo ovih ispitivanja, koja se

odnose na posmatrane pločice SPUN 12 03 12 kvaliteta »A«, »B« i »C«, prikazan je u ovom radu. Obrada je vršena uz korišćenje SHP, a pre izvođenja eksperimenata kora je skidana posebnim alatom.

Na slikama 2, 3 i 4 prikazane su tribološke karakteristike pločice od tvrdog metala označene sa »C« (ISO P30). Ispitivanja su izvršena na C.4734 u meko žarenom stanju i Č.1730 u poboljšanom stanju termične obrade. Obrada je vršena na proizvodnju univerzalnom strugu PUS—200 proizvodnje LTŽ — Kikinda.



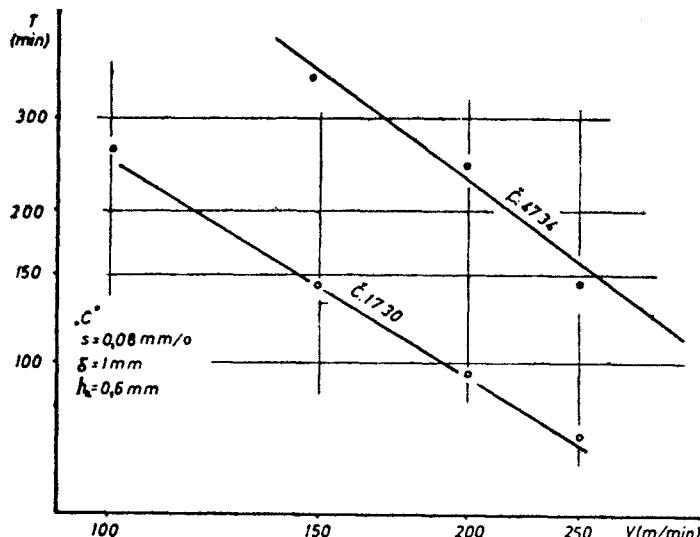
Sl. 2. — Otponost na habanja pri obradi Č.1730 i Č.4734



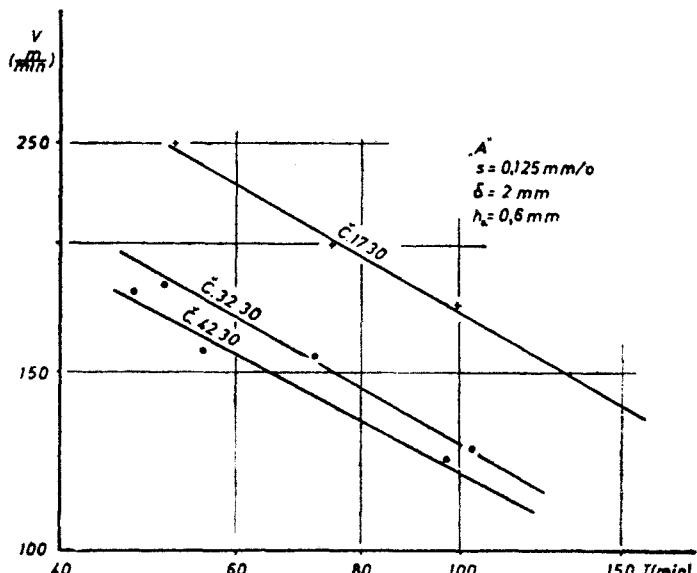
Sl. 3. — Krive habanja pri obradi Č.1730 i Č.4734

TABELA 3.

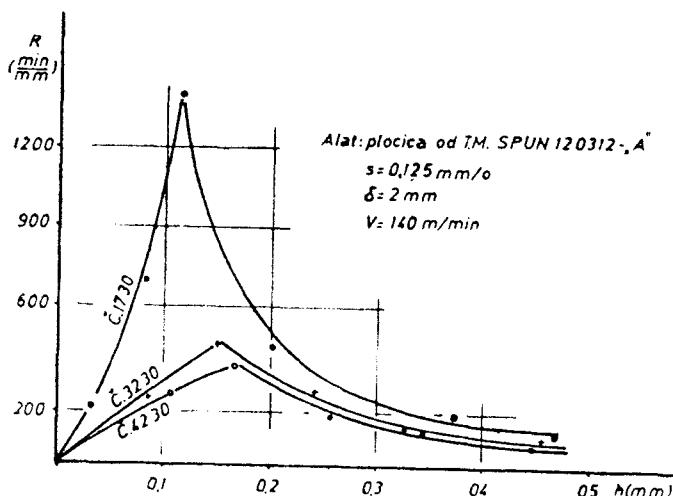
MATERIJAL	TVRDOĆA (HB)	V R S T A P L O C I C E		
		»C«	»B«	»A«
		KORAK (mm/o)		
		2 — 0,4 — 0,2	1,2 — 0,4 — 0,2	1,2 — 0,4 — 0,2
Nelegirani ugljenični čelik				
0,15% C	125	80 — 190 — 250	150 — 280 — 370	180 — 310 — 385
0,35% C	150	65 — 150 — 200	130 — 230 — 310	165 — 285 — 350
0,7 % C	250	45 — 115 — 160	100 — 175 — 240	130 — 245 — 300
Legirani čelik				
žaren	150 — 200	50 — 120 — 160	100 — 175 — 240	150 — 250 — 310
	200 — 275	40 — 95 — 125	80 — 145 — 195	110 — 195 — 265
poboljšan	275 — 325	30 — 75 — 100	65 — 115 — 160	90 — 155 — 210
	325 — 450	25 — 60 — 80	50 — 80 — 125	70 — 125 — 170



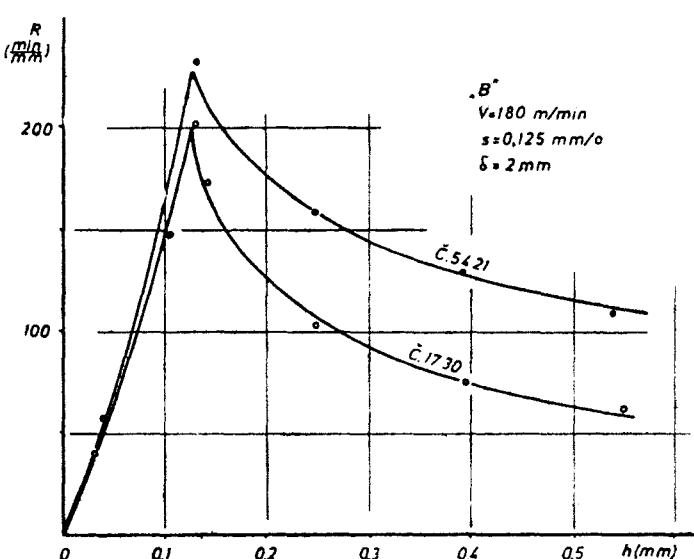
Sl. 4. — Tejlorove krive pri obradi C.1730 i C.4734



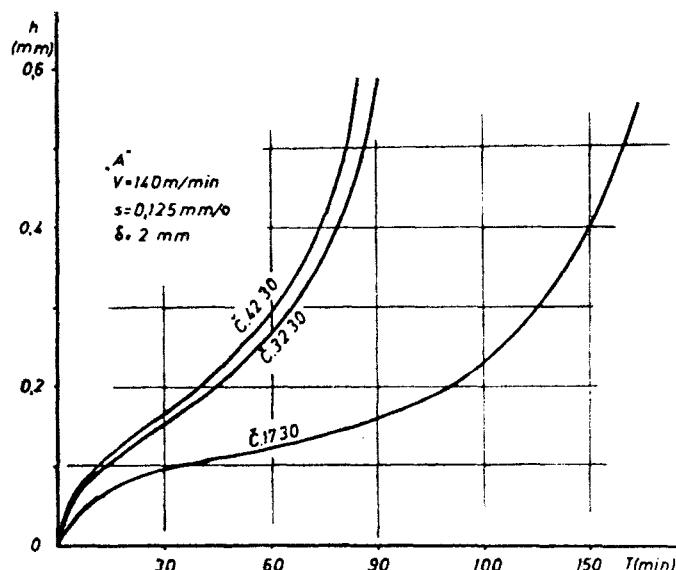
Sl. 7. — Zavisnost između brzine rezanja i postojanosti alata
pri obradi C.3230, C.4230 i C.1730



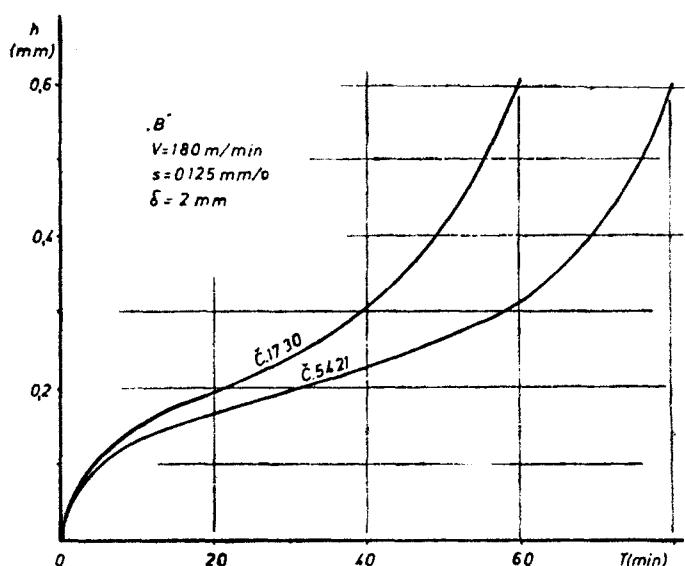
Sl. 5. — Otpornost na habanje pri obradi C.4230 i C.3230
i C.1730



Sl. 8. — Dijagram otpornosti na habanje pri obradi C.5421
i C.1730



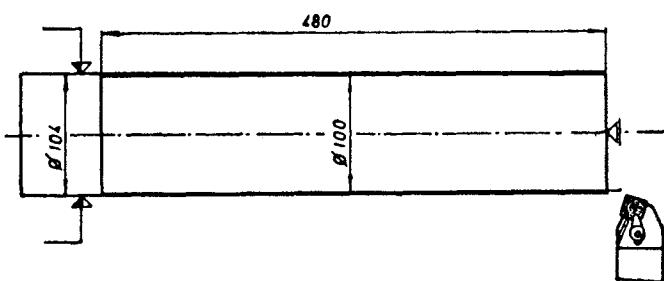
Sl. 6. — Krive habanja pri obradi C.4230, C.3230 i C.1730



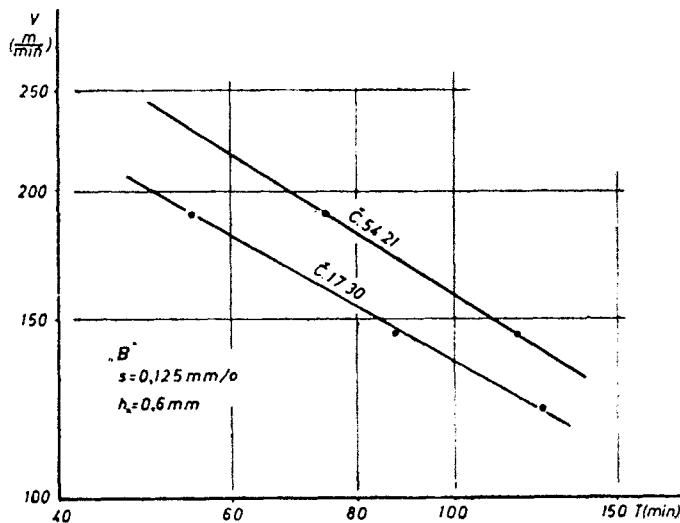
Sl. 9. — Krive habanja pri obradi C.1730 i C.5421

Tribološke karakteristike pločice »A« prikazane su na slikama 5, 6 i 7. Obradivani su teško obradivi Č.4230 poboljšan na 335 HB i Č.3230 poboljšan na 320 HB, kao i srednje obradiv Č.1730 poboljšan na 270 HB. Korišćen je univerzalni strug VDF snage 10 KW.

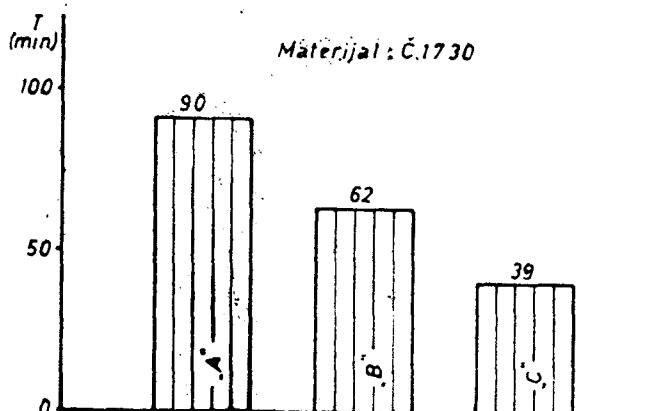
Tribološke karakteristike pločice »B« u obradi lako obradivog Č.5421 izotermalno žarenog na 200 HB i srednje obradivog Č.1730 poboljšanog do 270 HB, prikazane su na slikama 8, 9 i 10. Na osnovu izloženih rezultata laboratorijskih ispitivanja pločice od tvrdog metala SPUN 12 03 12 kvaliteta »A«, »B« i »C« moguće je uporediti dobijene postojanosti za izabrani materijal i režim obrade.



Sl. 12. — Skica operacije



Sl. 10. — Tejlorove krive pri obradi Č.1730 i Č.5421

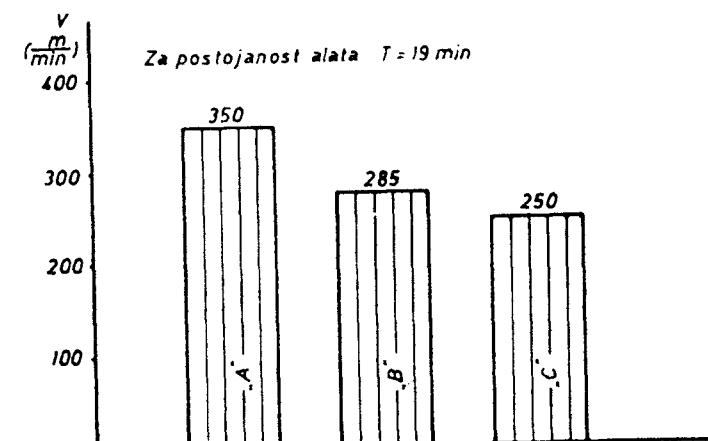


Sl. 11. — Postojanosti alata za $v=180$ m/min i $s=0,125$ mm/o

Sa histograma (sl. 11) očigledna je razlika u ostvarenim postojanstima alata za izabrani materijal Č.1730 u poboljšanom stanju termičke obrade (270 HB), brzinu $v=180$ m/min i korak $s=0,125$ min/o.

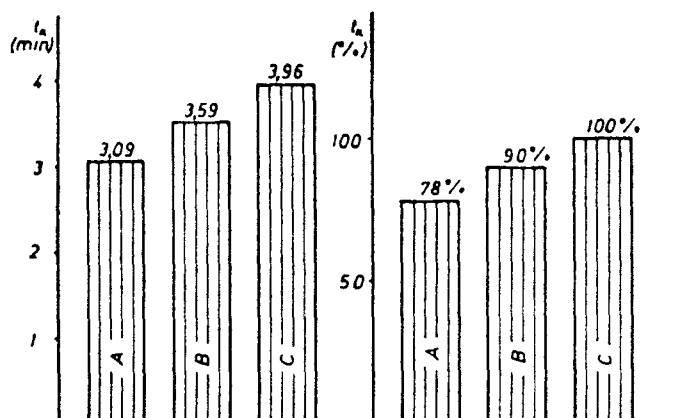
PRODUKTIVNOST OBRADE PRI STRUGANJU SA SAVREMENIM TVRDIM METALOM

Na osnovu priloženih triboloških karakteristika izabranih pločica od tvrdog metala različitih kvaliteta (»A«, »B« i »C«) možemo posredstvom jednog karakterističnog primera strugarske obrade kvantificirati uticaj vrste i kvaliteta alata na produktivnost obrade.



Sl. 13. — Ekonomične brzine rezanja

Vreme trajanja proizvodne operacije u funkciji vrste primjenjene pločice, za izračunatu prosečnu ekonomičnu postojanost upoređivanih alata $T_e=19$ min, prikazano je na sl. 14.



Sl. 14. — Vreme trajanja proizvodne operacije

Histogram na sl. 14. pokazuje da pravilan izbor alata od tvrdog metala obezbeđuje značajno povećanje produktivnosti obrade. Ovo povećanje produktivnosti nije uslovljeno intenzivnjim trošenjem alata, već je rezultat primene odgovarajućih savremenih pločica od tvrdog metala.

EKONOMSKI ASPEKT PRIMENE SAVREMENIH TVRDIH METALA

Primena savremenih tvrdih metala omogućuje obradu sa većim brzinama rezanja za određenu postojanost, odnosno smanjuje vreme trajanja proizvodnje operacije. Ovo povećanje brzine rezanja zahteva upotrebu skupljih alata, pa je neophodno izvršiti ekonomsku analizu opravdanosti njihove primene i utvrditi nivo eventualnih ušteda. Vrednost obrade, izabrane proizvodne operacije (sl. 12), definisana je izrazom:

$$V = R + M + A + V_{SHP}$$

Gde su:

Vrednost rada:

$$R = n K_1 t_k$$

Troškovi mašine:

$$M = \frac{C_m \cdot p}{F} t_k$$

Troškovi alata:

$$A = (n K_1 t_k + \frac{C_a}{i+1}) \frac{t_g}{T}$$

Troškovi sredstva za hlađenje i podmazivanje:

$$V_{SHP} = \frac{C_u \cdot K \cdot Q}{100 \cdot 60} t_k$$

U izrazima za vrednost obrade korišćeni su sledeći parametri:

n — faktor koji uzima u obzir uticaj bruto ličnog dohotka stručnog radnika na troškove proizvodne operacije

K_1 — bruto lični dohodak proizvodnog radnika u din/min.

t_k — vreme trajanja proizvodne operacije (komadno vreme) u min.

C_m — vrednost mašine u din.

p — procentna amortizaciona stopa

F — ukupno vreme rada proizvodne mašine u toku godine u min.

C_a — vrednost alata u din.

$i+1$ — broj upotrebljenih oštrica pločice od tvrdog metala

t_g — efektivno vreme rezanja u min.

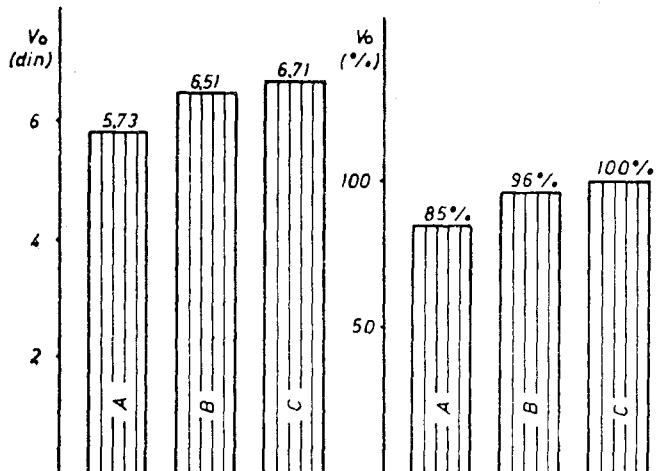
T — postojanost alata u min.

C_u — vrednost jednog litra emulgirajućeg ulja u din.

Q — potrošnja sredstva za hlađenje i podmazivanje, u lit/h

k — koncentracija sredstva za hlađenje i podmazivanje u %

Za postojanost alata $T = 19$ min i odgovarajuća vrednost trajanja proizvodne operacije (sl. 14) izračunate su vrednosti obrade. Na histogramu (sl. 15) prikazan je nivo vrednosti obrade u funkciji vrste primenjene pločice od tvrdog metala.



Sl. 15. — Vrednost obrade

Rezultati izvršene ekonomске analize ukazuju na jedan od mogućih puteva u optimizaciji procesa rezanja. Uštede koje se mogu postići pravilnim izborom alata od tvrdog metala nisu male i zaslužuju određenu pažnju.

ZAKLJUČAK

Ispitivani savremeni alati od tvrdog metala imaju veoma dobre tribološke karakteristike, a posebno se izdvaja dvostruko prevučena pločica označena sa »A«.

Ekonomična postojanost ovih alata je niska zbog relativno male cene tako da je neophodno primeniti visoke brzine rezanja, svuda gde je to moguće, ako želimo ostvariti minimum vrednosti obrade.

Rezultati izvršene analize uticaja savremenih tvrdih metala na produktivnost i ekonomičnost obrade ukazuju na veliki značaj pravilnog izbora alata.

NAPOMENA:

Prikazani rezultati su deo naučnoistraživačkog projekta »Optimizacija proizvodnih uslova u metaloprerađivačkoj industriji sa aspektom minimizacije troškova obrade« u čijem finansiranju učestvuju Republička zajednica nauke SR Srbije i FAM iz Kruševca.

LITERATURA

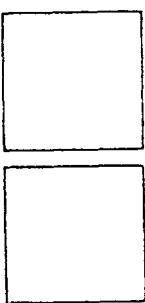
- IVKOVIĆ B. Struktura troškova proizvodnje u obradi metala, Mašinski fakultet, Kragujevac 1974.
- IVKOVIĆ B. Tribologija rezanja — sredstva za hlađenje i podmazivanje, Gradjevinska knjiga, 1979.
- DUŽEVIĆ D. Domaći tvrdi metal, Obrada metala i tribologija, br. 5, Kragujevac 1977.
- VUKELJA D., ARSOVSKI, S. Neki rezultati ispitivanja prevučenih tvrdih metala preduzeća »Sintal«, Zbornik radova MMA 76, Novi Sad 1976.
- BABIĆ M. Tribološke karakteristike sredstava za hlađenje i podmazivanje u obradi struganjem alatima od tvrdog metala, Tribologija u industriji 4, (1979), Kragujevac.

BOGDAN VASILJEVIĆ, dipl. inž.
asistent pripravnika Mašinskog fakulteta u Kragujevcu



Roden 1954. godine u Kragujevcu.
Diplomirao 1978. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.
Bavi se tribološkim istraživanjima u oblasti alata i sredstava za hlađenje i podmazivanje.

S. TANASIJEVIC



Topografija i izmena topografije aktivnih površina zuba zupčanika kao funkcija razvoja procesa habanja

UVOD

U savremenom mašinstvu, zupčanici predstavljaju veoma važne elemente mnogih mašina i mehanizama. Kao veoma odgovorni elementi zupčanici u mnogim konstrukcijama obezbeđuju: ravnomernost i bezšumnost kretanja, prenos željene snage, tačnost i kvalitet obrade, stepen korisnog dejstva.

Kao što je poznato, aktivna površina zuba zupčanika po završenoj obradi nikad nije apsolutno glatka. Brojne neravnine nastale kao rezultat završnih operacija, mogu imati različite geometrijske parametre, što ukazuje na činjenicu da su površinski profili po svajoj suštini slučajne funkcije, nastale kao posledica slučajnih procesa.

Pitanje strukturalnih promena površinskih profila, a sa njima i cele aktivne površine zuba zupčanika je veoma važno pitanje koje do danas nije najpodrobниje razmatrano. Izmena geometrijskih parametara aktivne površine zuba zupčanika u procesu habanja je do danas skoro neispitana oblast u tehničkoj nauci.

U ovom radu su prikazane mogućnosti korišćenja teorije slučajnih procesa u praćenju razvoja procesa habanja, čime se izučavanju habanja zupčanika daje jedna posve nova kvalitetna dimenzija.

STATISTIČKE KARAKTERISTIKE POVRŠINSKIH PROFILA

Geometrijski parametri aktivnih površina zuba zupčanika pod dejstvom plastičnih deformacija, u toku eksploracije zupčanika, korenito se menjaju. Početna topografija zuba zupčanika uslovljena tehnologijom i režimima obrade, menja se u različitim periodima habanja. Svaku etapu eksploracionog veka zupčanika prati i odgovarajuća topografija zuba zupčanika.

Korišćenjem teorije slučajnih procesa, može se izmeni topografije zuba zupčanika u različitim periodima eksploracije dati i matematičko-statistički opis, čime se konstruktorima i tehnologima otvaraju nove mogućnosti u pravilnom izboru konstrukcije zupčanika i tehnologije obrade.

Osnovni parametri klasifikacije hrapavosti, ma koliko ih bilo, ne daju potpunu sliku o prirodi površine i profila. Tako dva različita površinska profila mogu imati iste parametre hrapavosti ali i potpuno različitu funkcionalnu karakteristiku.

Poslednjih godina se došlo do zaključka da je za bolje upoređivanje površina i profila nužno proučavati i njihove statističke sličnosti. Površinski profili dobijeni kao zapis pribora za merenje hrapavosti, mogu se smatrati kao slučajni procesi, što u suštini i jesu, pa ih je zato i moguće predstaviti statističkim parametrima i funkcijama.

Analizom brojnih parametara i statističkih karakteristika hrapavosti površinskih profila, za praćenje promena aktivnih površina zuba u procesu eksploracije, odabrani su:

- srednje aritmetičko odstojanje profila od srednje linije, R_a
- srednje kvadratno odstupanje profila, R_q
- autokorelace funkcije, R_{yy}

Autokoreaciona funkcija je takva statistička karakteristika koja je za kvalitativnu analizu mnogo podesnija od drugih statističkih raspodela. Samo sa njom je moguće zadržati kontakt promenljivih po x osi ako profil sadrži periodične i slučajne komponente. Za kvalitativnu analizu prirode radnih površina je nezamenljiva, jer daje jasne predstave o suštinskoj karakteristici ispitivanih profila.

Autokorelace funkcije slučajnih veličina opisuju opštu zavisnost veličina dobijenih podataka u jednom vremenu, prema podacima pri nekom drugom vremenu. Primenjene na površinske profile, daju zavisnost ordinata jednog odsečka profila prema ordinatama drugog odsečka tog istog profila.

Ocena autokorelacije između veličina $y(x)$ na odsečku x i odsečka $(x+\beta)$ može se dobiti uzimajući proizvod ove dve veličine i nalaženjem njihove srednje vrednosti celom dužinom profila.

Matematički bi se to moglo izraziti kao:

$$R_{yy}(\beta) = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{1}{L} \int_0^L y(x) y(x + \beta) dx$$

Izračunavanje vrednosti autokoreacionih funkcija, vrše se na elektronskom računaru »PDP digital 11«, u FORTRANU — IV.

Izmena topografije ispitivanih zuba zupčanika u različitim periodima eksploracije, kao i njihov matematičko-statistički opis dat je u narednim tabelama:

ANALIZA REZULTATA

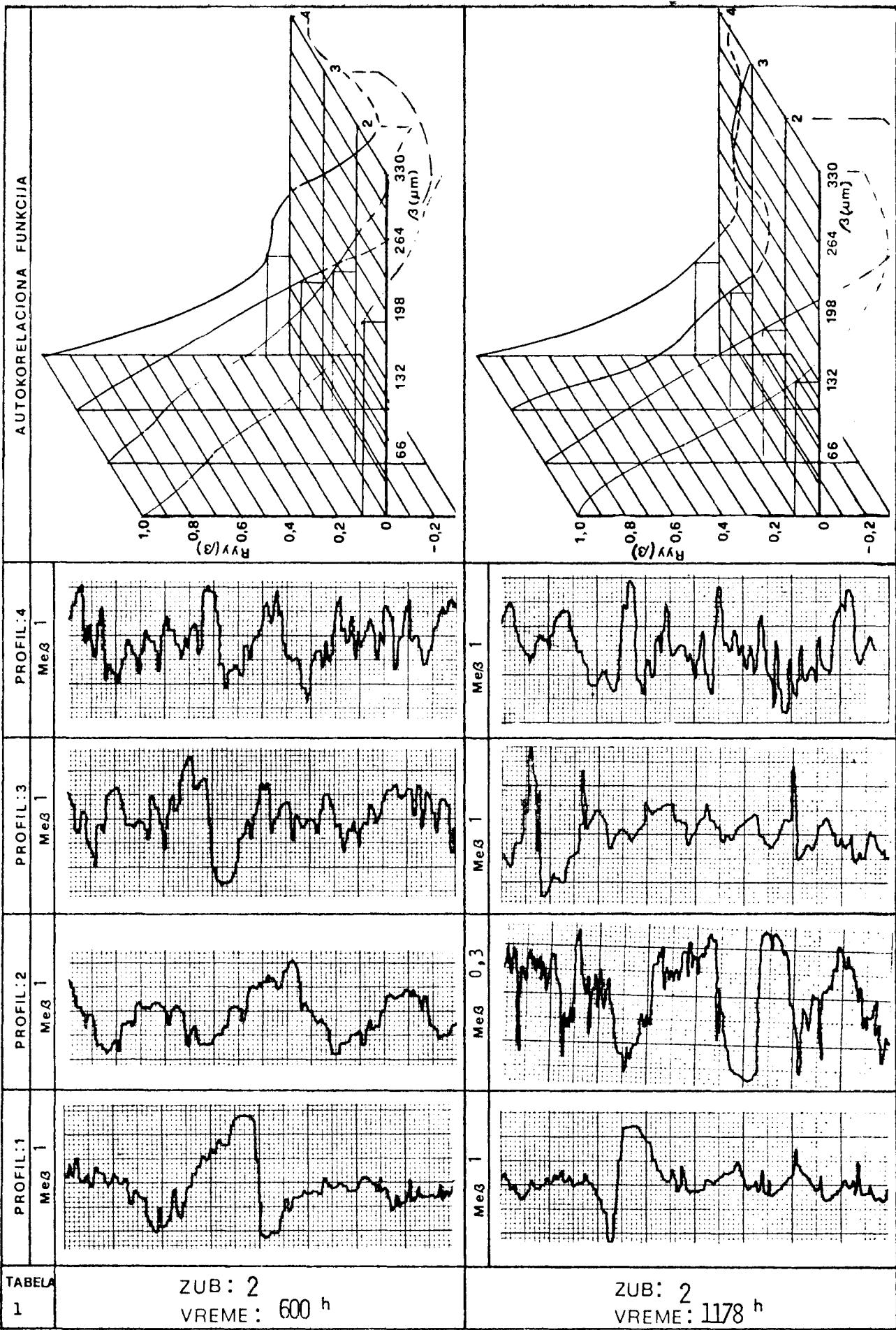
Analizom prethodnih autokorelograma i tabela, jasno se uočava da se topografija aktivnih površina zuba zupčanika različito menja u različitim periodima habanja.

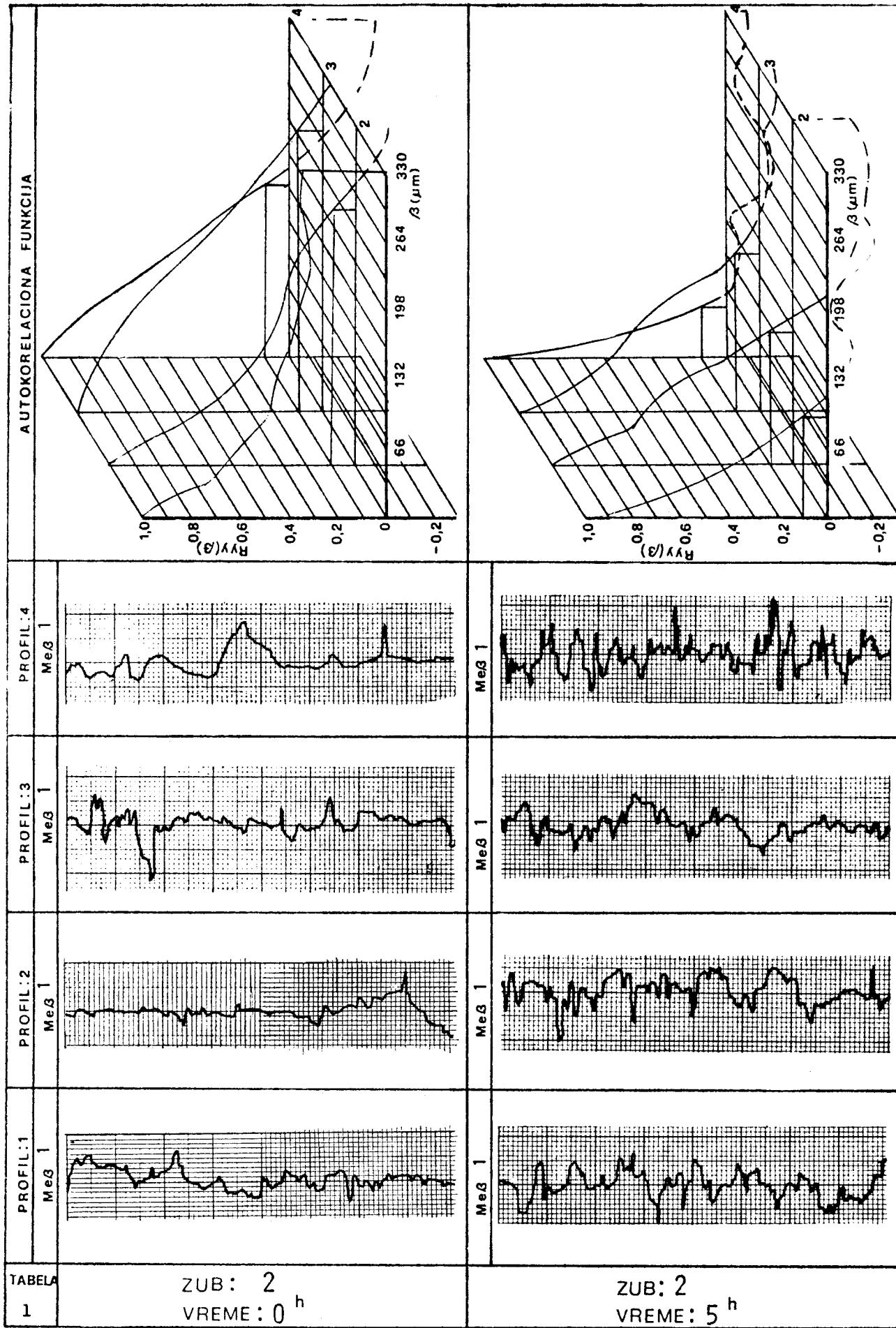
Ako se vreme rada zupčanika, od početka rada pa do njegove zamene, podeli u tri perioda: period uhodavanja, period normalnog habanja i period razornog habanja, svakom od ovih perioda odgovaraće i određena topografija površine zuba.

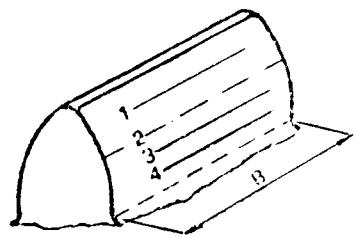
Površina zuba u jednom određenom periodu eksploracije prolazi kroz topografske izmene svojih površinskih profila čiji bi se oblik autokoreacionih funkcija mogao poredati na sledeći način:

- pre početka rada: $R_{yy}(\beta) = e^{-\alpha\beta}$
- period uhodavanja: $R_{yy}(\beta) = e^{-\alpha\beta}$
- period normalnog habanja: $R_{yy}(\beta) = e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^p \cos \Omega_n \beta$
- period razornog habanja: $R_{yy}(\beta) = e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^p \cos \Omega_n \beta$

Pre početka rada profili površina su sa širokim dijagonalnim slučajnih parametara (ordinata). Između njih postoji korelaciona veza koja se može aproksimirati eksponencijalnom funkcijom. Ordinate profila su korelativno vezane do određene dužine profila (β_0), posle čega su potpuno statistički nezavisne.







ZUB: 2

TABELA: 1

PROFIL	VREME h	BR.CIKLU.	R_{yy}	β_0	α	R_a	R_q^2	R_T	L_s
						μm	μm	μm	μm
1	0	0	$e^{-\alpha\beta}$	>> 330	α_{11}	0,2603	0,1052	1,337	448
	5	$4,32 \times 10^5$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	92	$\alpha_{21} > \alpha_{11}$	0,3305	0,1613	1,555	386
	600	$5,184 \times 10^7$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	181,5	$\alpha_{31} < \alpha_{21}$	0,5876	0,6102	3,695	396
	1178	$1,017 \times 10^8$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	130	$\alpha_{41} > \alpha_{31}$	0,3477	0,3224	3,162	379
2	0	0	$e^{-\alpha\beta}$	247	α_{12}	0,1496	0,0349	0,887	326
	5	$4,32 \times 10^5$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	125	$\alpha_{22} > \alpha_{12}$	0,5423	0,5476	3,666	320
	600	$5,184 \times 10^7$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	181	$\alpha_{32} > \alpha_{22}$	0,5485	0,4599	2,796	379
	1178	$1,017 \times 10^8$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	128	$\alpha_{42} > \alpha_{32}$	0,3437	0,1888	1,734	419
3	0	0	$e^{-\alpha\beta}$	270	α_{13}	0,3353	0,1577	1,502	660
	5	$4,32 \times 10^5$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	148	$\alpha_{23} > \alpha_{13}$	0,5216	0,4256	2,633	636
	600	$5,184 \times 10^7$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	122	$\alpha_{33} > \alpha_{23}$	0,4940	0,4940	3,802	303
	1178	$1,017 \times 10^8$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	112	$\alpha_{43} > \alpha_{33}$	0,5585	0,6163	4,445	268
4	0	0	$e^{-\alpha\beta}$	169	α_{14}	0,3457	0,1811	1,724	367
	5	$4,32 \times 10^5$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	56	$\alpha_{24} > \alpha_{14}$	0,3996	0,2978	3,198	297
	600	$5,184 \times 10^7$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	95	$\alpha_{34} < \alpha_{24}$	0,5194	0,4716	3,067	280
	1178	$1,017 \times 10^8$	$e^{-\alpha\beta} + \sum_{n=0}^P \cos \Omega_n \beta$	92	$\alpha_{44} \approx \alpha_{34}$	0,5741	0,5897	3,925	161

Prvi period je period uhodavanja radnih površina zuba, u kome dolazi do plastičnih deformacija i skidanja mikroneravnina. Ovo je veoma odgovorni period rada zupčanika.

U periodu uhodavanja, površine zadržavaju isti oblik autokorelacione funkcije, sa znatno kraćom korelacionom dužinom i većim eksponentom a , što ukazuje na činjenicu da su profili postali neujednačeniji sa većim brojem nejednakih vrhova.

Ovo ukazuje na činjenicu da je period uhodavanja »prelazni« period u kome profili traže svoje optimalne oblike. Glavna karakteristika ovog perioda je neujednačenost ordinata manjih korelacionih momenata što dovodi do strmijeg pada korelacione krive.

Po završenom periodu uhodavanja nastaje normalno habanje, pa se površina zuba može okarakterisati autokorelacionom funkcijom normalizovanog oblika koja je sastavljena od slučajne komponente i jedne ili više definisanih funkcija (najčešće sinusoida).

Funkcija pokazuje periodičnu promenu, sličnu promeni svog profila za koju je tražena. Na površini zuba javile su se geometrijske veličine (ordinate) koje se periodično ponavljaju po celoj širini zuba. Važno svojstvo površine sa ovakvim analitičkim izrazom je da njena korelaciona funkcija ne opada do nule.

Pre početka rada zupčanika, najujednačenije profile pokazuju glava zupčanika. Ujednačenost opada idući ka nozi zupčanika.

Svi profili pokazuju dugu talasnost svoje periodične komponente, što je u najvećoj meri prouzrokovano ravnomernim procesom habanja na površini zuba. Najveću dužinu talasa nalazimo u glavi zuba.

Treći period je period razornog habanja u kome dolazi do povreda, razaranja i izmene oblika površine zuba zupčanika. U ovom periodu dolazi do znatnog skraćivanja veka prenosnika i narušavanja ravnomernosti rada zupčanika.

Autokorelaciona dužina kao mera slučajnosti, u periodu razornog habanja je kraća, što pokazuje da su profili postali neujednačeniji.

Ostali statistički parametri (R_a , R_q , R_t) pokazuju da sa prolaskom zupčanika kroz određene periode habanja menjaju se i njihovi intenziteti.

U periodu uhodavanja oni naglo rastu, što je uslovljeno »traženjem« optimalnog oblika hrapavosti. Ovaj porast se uočava i u dobrom delu perioda normalnog habanja. Tek u »kasnom« (poznom) dobu normalnog habanja dolazi do delimičnog opadanja ovih statističkih parametara.

ZAKLJUČAK

Zahvaljujući naglom razvoju teorije slučajnih procesa, moguća je seriozna obrada rezultata i dobijanje znatnog broja kvalitetnijih podataka u praćenju razvoja procesa habanja.

Nažalost, to se mora reći, putevi dolaženja do konačnih rezultata su još uvek dugi i nerazvijeni.

Proširivanje saznanja u ovoj oblasti, verovatno će stvoriti nove mogućnosti u proizvodnjavu veka zupčanika. Poznavanje uzastopnih promena strukture površinskih profila u vremenu eksploatacije kao i uspostavljanje izvesnih zakonitosti tih promena, najverovatnije će pomoći razvijanju novih metoda završne obrade zupčanika. U ovom trenutku, moguće je govoriti o planiranju topografije zuba zupčanika, koja će omogućiti smanjenje habanja i proizvodnju veka zupčanika. Drugi pravac je svakako, modeliranje novih oblika radnih alata sa ciljem da se dobije željena topografija zuba.

Fiksiranjem vrednosti pojedinih argumenata slučajne funkcije i dobijanjem jednog njenog željenog preseka, omogućavaće realizaciju slučajne funkcije koja odgovara datim vrednostima argumenta.

LITERATURA

1. PATIR N.: A numerical procedure for random generation, Wear, 47 (1978.).
2. PEKLENIK J.: Investigation of the surface typology, C.I.R.P., Annalen XV, 1967.
3. BENDAT J., PIERSOL A.: Random DATA (Analysis and measurement procedures), John Wiley & Sons, New York, 1971.
4. JANES A., CALLAGHAN P., PROBERT S.: Predication of contract parameters from topographies of contacting surfaces, WEAR, 31 (1975.).
5. NARAYANASAMY K., RADMAKRISHNAN V.: Measurement of wear in small bores, Wear, 49 (1978.).

Mr SLOBODAN TANASIJEVIC, dipl. inž.
asistent Mašinskog fakulteta u Kragujevcu



Roden 24. 12. 1943. Mašinski fakultet završio 1968. god. Po završenom fakultetu radio kao konstruktor u fabrići »Filip Kljajić« do 1970. kada prelazi na Mašinski fakultet kao asistent na predmetu Mašinski elementi. Školske 1972/73 godine upisao poslediplomske studije i magistrirao 1976. Do sada objavio veći broj radova u zemljii i inostranstvu iz oblasti zupčanika

R. PANTIĆ

Tribološke karakteristike više vrsta alata od tvrdog metala u obradi struganjem

Intenzitet razvoja triboloških procesa na reznim elementima alata veoma je složena funkcija, uslovljena istovremenim i međusobnim dejstvom više faktora, pri čemu su među najuticajnijim količina topoteke koja se generiše u zoni rezanja i pritisci na kontaktним površinama alata, predmeta obrade i strugotine.

Kao posledica triboloških pojava dolazi do promene prvobitne geometrije reznog alata u procesu rezanja, porasta otpora rezanja usled otežanog prodiranja reznog klina u materijal predmeta obrade i povećanja neravnina na obrađenoj površini, tako da rezni alat posle određenog vremena rezanja postaje neupotrebljiv. Intenzitet deformacija reznog klina u funkciji je specifičnih naprezanja i nivoa temperature u zoni rezanja, pri čemu ovo naponsko stanje treba posmatrati kao nestacionarno. Najnovija proučavanja u ovoj oblasti ukazuju, pored ostalog, na mogućnost smanjenja naprezanja u ravni smicanja i deformacija reznog klina alata, primenom odgovarajućih sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) u procesu rezanja. Prisustvo visokih temperatura u zoni rezanja, osim negativnog uticaja na tvrdoku reznog klina alata dovodi do intenzivnog razvoja athenzionalih i difuzionih procesa između materijala alata i materijala predmeta obrade, usled čega se smanjuje postojanost alata i povećavaju troškovi obrade proizvodnih operacija.

Da bi ispunila svoju ulogu, sredstva za hlađenje i podmazivanje moraju da imaju veliku termičku provodljivost, veliku specifičnu topotu, dobra podmazujuća svojstva i osobine koje ne izazivaju neželjene efekte na učešnike i okolinu. Prirnenom SHP u procesu rezanja usporava se razvoj triboloških procesa na kontaktним površinama u zoni rezanja, što dovodi do povećanja postojanosti reznog alata. Parcijalno merenje uticaja osobina hladivosti i podmazujućih svojstava SHP na intenzitet razvoja triboloških procesa na reznom klinu alata znatno je otežano zbog fizičko hemijskih procesa na kontaktним površinama u zoni rezanja. Parametri, koji najbolje reprezentuju razvoj triboloških procesa, su postojanost alata (T) i otpornost na habanje (R).

Izloženi rezultati ispitivanja deo su magistarskog rada »Analiza optimalnih uslova primene alata od trdog metala sa aspekta minimalnih troškova proizvodnje«, koji je autor radio i odbranio na Mašinskom fakultetu, Odsek za proizvodno mašinstvo i organizaciju, u Kragujevcu.

PROGRAM I USLOVI ISPITIVANJA

Uporedna ispitivanja postojanosti više vrsta reznih alata od tvrdog metala vršena su pri obradi u proizvodnim uslovima serijske proizvodnje u IHP »Prva Petoletka«, Trstešnik, RO »Hidraulika«, pri neprekidnoj spoljašnjoj uzdužnoj strugarskoj obradi, na materijalu Č.4730 u poboljšanom stanju. Hemijske i mehaničke karakteristike obrađivanog ma-

terijala date su u tabeli 1, na osnovu laboratorijskih ispitivanja, obavljenih u Fizičkoj laboratoriji IHP »Prva petoletka«.

TABELA 1

Hemijski sastav				Mehaničke osobine		Termičko stanje
C	Mn	Cr	Mo	$\sigma_m \left(\frac{\text{da N}}{\text{mm}^2} \right)$	HB $\left(\frac{\text{da N}}{\text{mm}^2} \right)$	
0,22	0,54	0,94	0,18	80 \div 25	241	poboljšano

Eksperimentalno istraživanje izvršeno je prema uslovima obrade, prikazanim u tabeli 2.

TABELA 2

Rezni alat	$\delta=2 \text{ mm} : S=0,25 \text{ mm}$			Geometrija reznog alata
	SHP v [m/min]	bez v [m/min]	Vrsta prevlake	
A P(25)	100	100	bez	SPMR sa mehaničkim lomačem strugotine držač 189.3 T-max $\alpha=45^\circ$, $\alpha=11^\circ$ $r=1,2$, $\lambda=6^\circ$
	150	150		
	185	185		
B	100	100	jedno-strana TiN	Isto
	150	150		
	185	185		
C	100	100	jedno-strana TiC	CPMR, sa sinter. lom. držač 72 SN 2525 R $\alpha=45^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $r=1,2$, $\lambda=8^\circ$
	150	150		
	185	185		
D	100	100	dvo-strana TiC Al ₂ O ₃	Isto
	150	150		
	185	185		

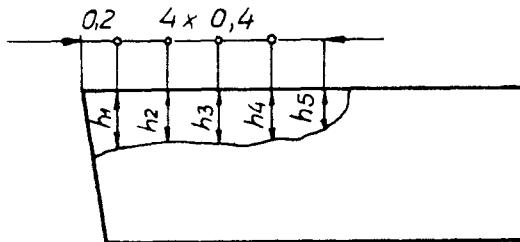
Za obradu je korišćen nov univerzalni strug PA-25, proizvođača »Potisje« iz Ade, snage P=25 kW i raspona brojeva obrtaja n = 70—2000 min⁻¹.

Kao sredstvo za hlađenje i podmazivanje primenjivano je polusintetičko vodotopljivo ulje, proizvedeno od rafiniranog mineralnog ulja, koncentracije $K = 6\%$.

Merenje parametara habanja vršeno je na alatnom mikroskopu. Na sl. 1. prikazan je raspored mernih mesta parametara habanja.

Na osnovu izmerenih vrednosti pojedinih parametara habanja h_i izračunavana je srednja vrednost parametara habanja h_s . Kao kriterijum zatupljenja usvojena je srednja vrednost parametara habanja $h_k = 0,6 \text{ mm}$.

Izgled pojasa pohabanosti na lednoj površini ispitivanih pločica od tvrdog metala prikazan je na sl. 2.



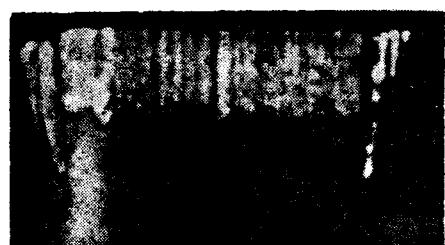
Sl. 1. — Raspored mernih mesta parametara habanja na lednoj površini pločice od tvrdog metala



A



B



C



D

Sl. 2. — Izgled pojasa pohabanosti na lednoj površini ispitivanih pločica od tvrdog metala

REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA

Definisanje zavisnosti $T = f(h)$ vršeno je klasičnom mikroskopskom metodom. Dobijeni rezultati prikazani su u obliku krivih datih na sl. 3., a, b, c, d, e i f.

Na sl. 4., a, b, c, d, e i f prikazane su funkcionalne zavisnosti otpornosti na habanje i širine pojasa pohabanosti ledne površine ispitivanih pločica od tvrdog metala. Ove zavisnosti dobijene su na osnovu definicije otpornosti na habanje oblika:

$$R = \frac{dT}{dh} \approx \frac{\Delta T}{\Delta h} \quad (1)$$

Zavisnost $T = f(h)$ može se aproksimirati dvema parabolama oblika:

Za definisanje prvog dela krive potrebno je nekom od numeričkih metoda, korišćenjem eksperimentalnih rezultata

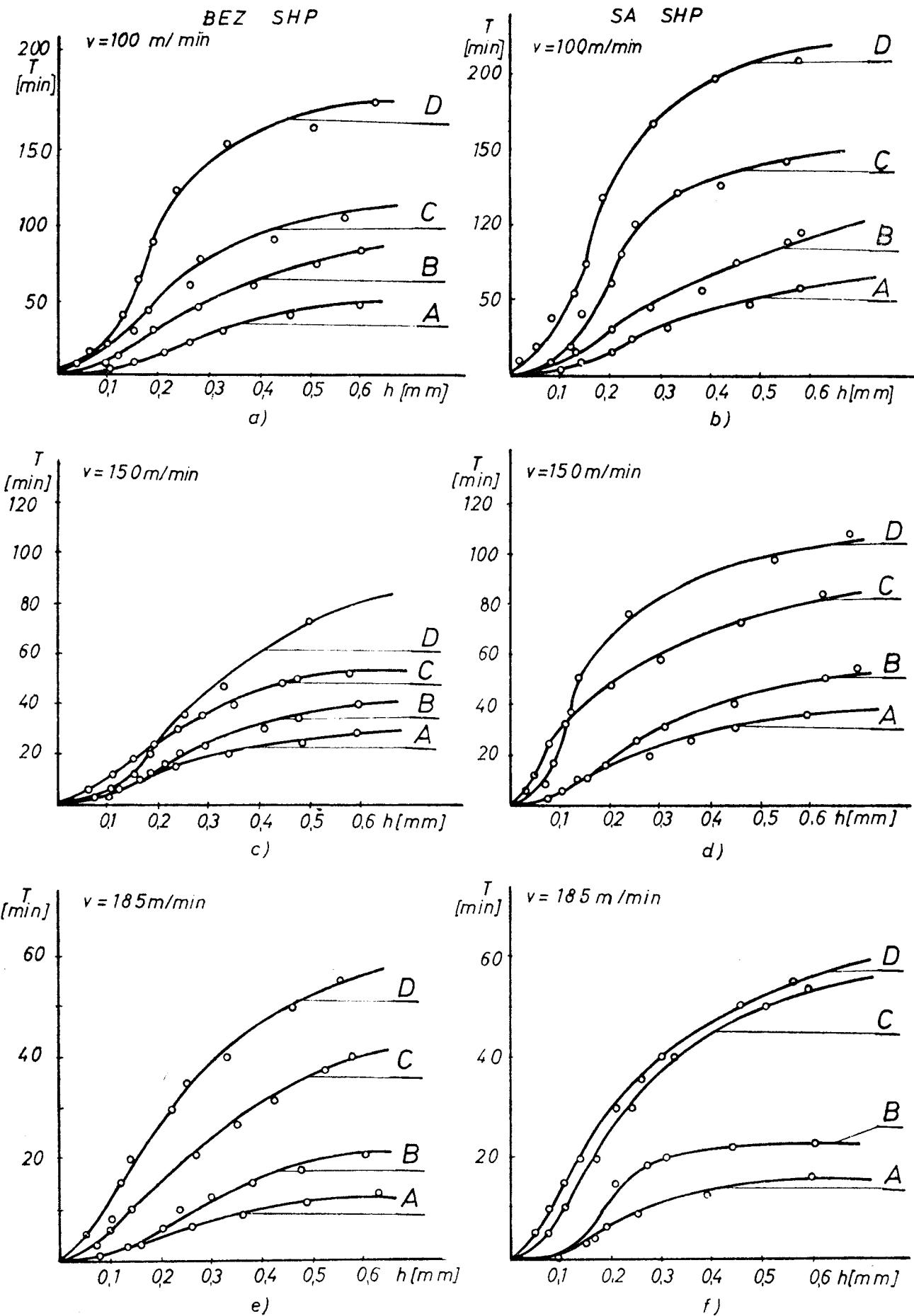
h_i i T_i , odrediti vrednost eksponenta r_1 i konstante K_1 . U ovom radu njihove vrednosti određene su primenom metode najmanjih kvadrata.

Drugi deo krive, u oblasti $h_0 < h \leq h_k$, definiše se korišćenjem dopunskih uslova o jednakosti funkcija i izvoda u tački (h_0, T_0) (sl. 5). Definisanje ovog dela krive moguće je primenom iterativnog postupka, pri unapred zadatoj tačnosti (ϵ). Navedeni postupak definisanja nemonotonih funkcija, zbog obimnosti i složenosti iterativnog metoda, zahteva upotrebu digitalnog računara.

Korišćenjem eksperimentalnih rezultata i uz primenu digitalnog računara PDP 11 Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, po izloženom postupku određene su analitičke zavisnosti krivih $T=f(h)$, $R=f(h)$ i Tejlorovih krivih $v=f(T)$. Dobijene vrednosti prikazane su u tabeli 3.

Na sl. 6. i 7. prikazane su Tejlorove zavisnosti za četiri ispitivane pločice od tvrdog metala i to pri upotrebi i bez upotrebe SHP.

Sl. 3. — Krive habanja



Sl. 4. — Otpornost na habanje

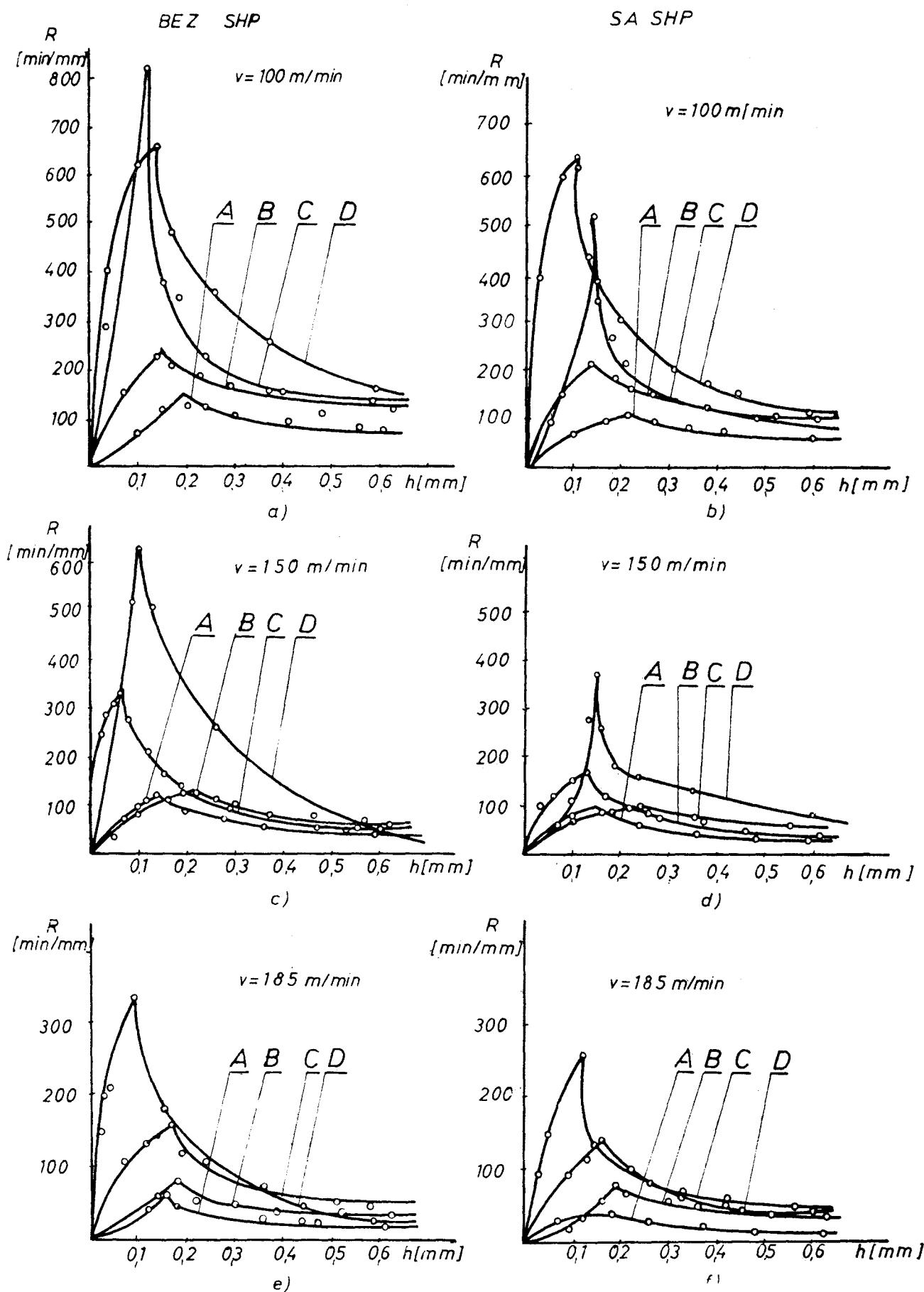
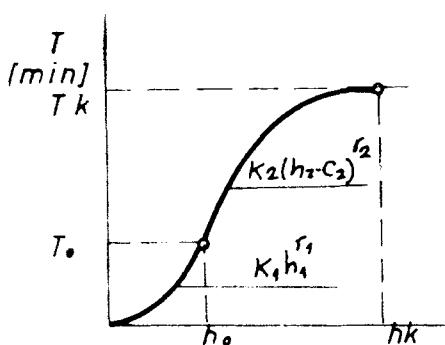


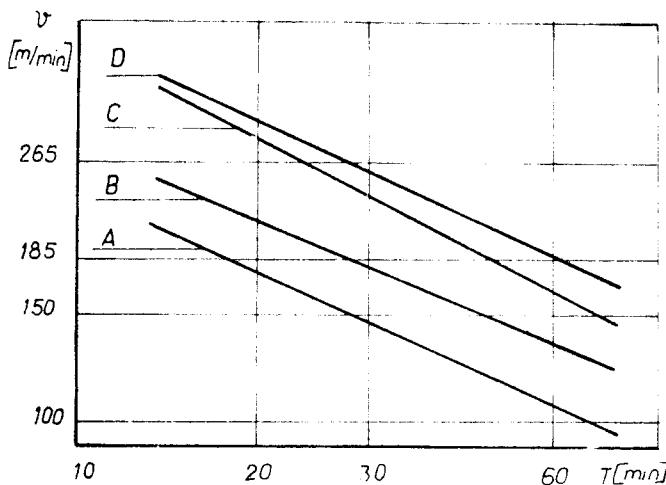
TABELA 3

Alat	$\frac{v}{m}$ min	OBRADA BEZ UPOTREBE S H P		OBRADA SA UPOTREBOM S H P			
		T=f(h)	R=f(h)	v=f(T)	T=f(h)	R=f(h)	v=f(T)
A	100	$326 h^{1,070}$ $161,4 h^{0,218} - 97,1$	$642,22 h^{0,970}$ $35,185 h^{-0,782}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$ $v = \frac{572,3}{T^{0,436}}$	$436,9 h^{2,050}$ $114,7 h^{0,537} - 29,1$	$899,577 h^{1,059}$ $61,593 h^{-0,463}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$
	150	$134 h^{1,445}$ $59,7 h^{0,349} - 21,2$	$193,63 h^{0,445}$ $20,8353 h^{-0,651}$		$291,3 h^{1,734}$ $60,5 h^{0,672} - 5,6$	$505,114 h^{0,734}$ $40,656 h^{-0,286}$	$v = \frac{688,2}{T^{0,445}}$
	185	$65,4 h^{1,578}$ $23,2 h^{0,439} - 6,4$	$103,2 h^{0,578}$ $10,184 h^{-0,581}$		$254 h^{2,184}$ $43,9 h^{0,244} - 22,6$	$554,73 h^{1,184}$ $10,7116 h^{-0,756}$	
B	100	$665,7 h^{1,855}$ $155,8 h^{0,530} - 34,2$	$1216,32 h^{0,855}$ $82,8856 h^{-0,468}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$ $v = \frac{729,9}{T^{0,443}}$	$470,9 h^{1,627}$ $292,5 h^{0,356} - 1248$	$764,69 h^{0,627}$ $104,13 h^{-0,373}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$
	150	$108,5 h^{1,843}$ $128,1 h^{0,23} - 73,0$	$145,9325 h^{0,345}$ $29,463 h^{-0,77}$		$225,1 h^{1,662}$ $115,4 h^{0,435} - 43,0$	$374,1162 h^{-0,66}$ $50,199 h^{-0,506}$	$v = \frac{752,3}{T^{0,419}}$
	185	$422,9 h^{2,653}$ $62,6 h^{0,264} - 3,37$	$1121,9537 h^{1,653}$ $16,5264 h^{-0,736}$		$715,5 h^{2,854}$ $64,5 h^{0,411} - 25,3$	$2042,037 h^{1,85}$ $26,5095 h^{0,589}$	
C	100	$4965,8 h^{2,274}$ $363,6 h^{0,159} - 224,8$	$13526,8 h^{1,724}$ $57,8124 h^{0,841}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$ $v = \frac{1516,7}{T^{0,575}}$	$35425 h^{3,445}$ $533,7 h^{0,129} - 353,8$	$122039 h^{2,445}$ $69,1 h^{0,571}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$
	150	$228,6 h^{1,317}$ $123,3 h^{0,283} - 52,6$	$301,0662 h^{0,317}$ $34,89 h^{0,717}$		$750,7 h^{1,662}$ $224,8 h^{0,154} - 1268$	$1037,4 h^{0,332}$ $54,6 h^{0,845}$	$v = \frac{1530}{T^{0,536}}$
	185	$296,6 h^{1,674}$ $75,6 h^{0,56} - 15,2$	$451,3 h^{0,674}$ $42,33 h^{-0,44}$		$268,6 h^{1,504}$ $126,9 h^{0,257} - 57,5$	$403,97 h^{0,5}$ $32,61 h^{-0,743}$	
D	100	$2502,1 h^{1,807}$ $597,3 h^{0,118} - 379,3$	$4521,114 h^{0,807}$ $70,48 h^{-0,882}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$ $v = \frac{1127,7}{T^{0,461}}$	$912,2 h^{1,288}$ $600,4 h^{0,2} - 315,1$	$11,74,91 h^{0,288}$ $120 h^{0,8}$	$h_k = 0,6 \text{ mm}$
	150	$2853 h^{2,878}$ $141,8 h^{0,684} - 19,7$	$8196,67 h^{1,873}$ $96,9912 h^{0,816}$		$6962,9 h^{2,43}$ $353,4 h^{0,137} - 222,4$	$16919,84 h^{1,4}$ $48,41 h^{-0,862}$	$v = \frac{1298}{T^{0,47}}$
	185	$37 h^{1,003}$ $53,9 h^{0,337} - 23,6$	$37,111 h^{0,003}$ $18,164 h^{0,663}$		$639,9 h^{2,031}$ $106,2 h^{0,112} - 72,5$	$1299,63 h^{1,031}$	



Slika 5.

$$T = \begin{cases} K_1 h_1^{r_1} & 0 < h \leq h_0 \\ K_2 (h_2 - C_2)^{r_2} & h_0 < h \leq h_k \end{cases} \quad (2)$$



Sl. 6. — Tejlorove krive ispitivanih reznih alata pri obradi struganjem sa upotrebom SHP

VREDNOST OBRADE PRI KORIŠĆENJU VIŠE VRSTA ALATA OD TVRDOG METALA

Ukupna vrednost obrade V_0 proizvodnih operacija pri obradi rezanjem koje se izvode u serijskoj proizvodnji [2], data je izrazom:

$$V_0 = nk_1 t_k + \left(nk_1 t_i + \frac{C_a}{1+m} \right) \frac{t_g}{T} + \frac{C_m \cdot p}{F \cdot \eta \cdot 100.00} t_k \quad (3)$$

gde je:

n — faktor koji uzima u obzir uticaj dohotka stručnog radnika na troškove proizvodne radne snage;

t_i — vreme trajanja zamene istrošenog alata (min);

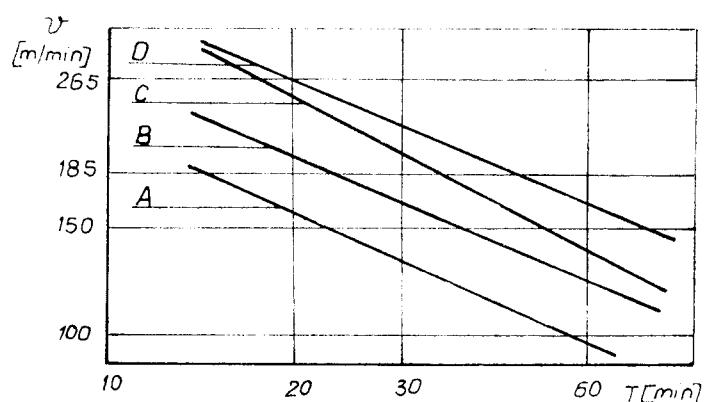
t_k — vreme trajanja proizvodne operacije (min);

C_a — vrednost reznog alata (din);

i — broj reznih elemenata na reznom alatu;

t_g — glavno mašinsko vreme u operaciji obrade rezanjem (min);

T — ukupna postojanost reznog alata (reznog elementa) (min);



Sl. 7. — Tejlorove krive ispitivanih reznih alata pri obradi struganjem bez upotrebe SHP

C_m — vrednost mašine sa priborom na kojoj se obrada izvodi (min);

p — procenatna amortizaciona stopa (%);

F — raspoloživi godišnji fond časova (h/god);

η — vremenski stepen iskorišćenja proizvodne mašine.

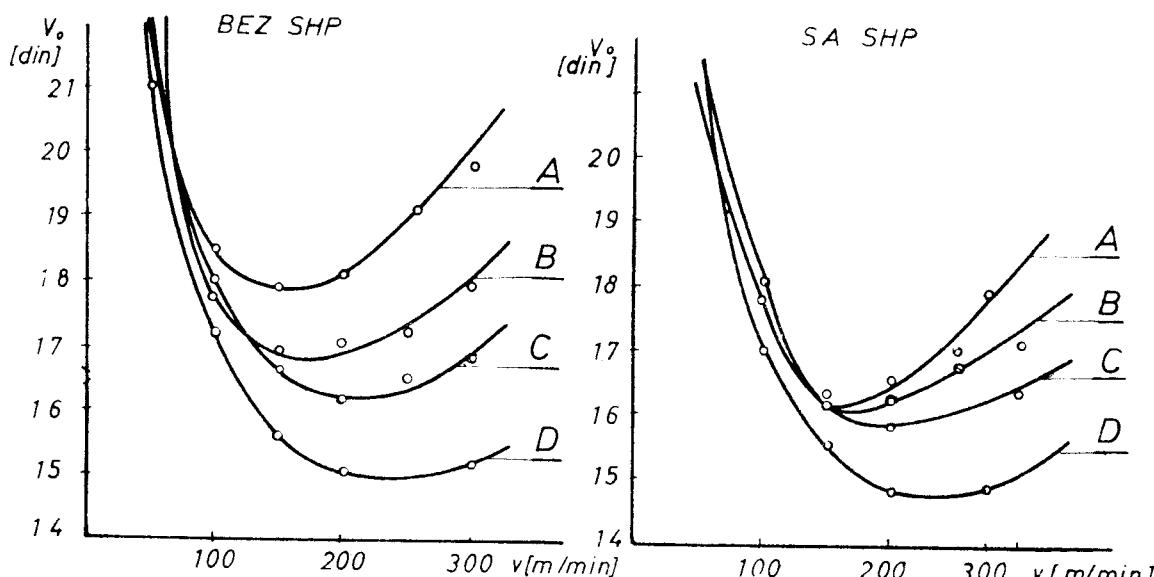
Zamenom izraza za vreme trajanja proizvodne operacije t_k , izraza za glavno vreme t_g pri uzdužnoj obradi struganjem, broja obrtaja i veze oblika $v=f(T)$ (Taylor) u izraz (3), dobija se izraz za vrednost obrade V_0 ispitivane proizvodne operacije:

$$V_0(v) = B_0 + B_1 v^{\frac{1-m}{m}} + B_2 v^{-1} \quad (4)$$

Na osnovu praćenja potrošnje SHP u proizvodnim uslovima (1) i preporuka (4) za specifičnu potrošnju SHP, određen je, po izloženom postupku, izraz za vrednost obrade $V_0(v)$, u uslovima obrade sa upotrebom SHP:

$$V_0(v) = B'_0 + B'_1 v^{\frac{1-m}{m}} + B'_2 v^{-1} \quad (5)$$

Vrednosti koeficijenata u (4) razlikuju se od odgovarajućih koeficijenata u (5) zbog uticaja koji nastaju upotrebom SHP pri obradi u proizvodnim operacijama.



Sl. 8. — Vrednost obrade

Isloženim postupkom za definisanje vrednosti obrade V_0 proizvodnih operacija za date proizvodne uslove (1), određeni su odgovarajući analitički oblici funkcija vrednosti obrade V_0 , koje su dijagramski prikazane u obliku uporednih krivih za ispitivane alate, a u sistemu $V_0=f(v)$, (sl. 8) i za maksimalni vremenski stepen iskorišćenja proizvodnog radnog mesta η_{\max} .

ZAKLJUČAK

Ispitivanje pločica od tvrdog metala izvršeno je u proizvodnim uslovima IHP »Prva petoletka« iz Trstenika. Praćenje razvoja procesa habanja na lednim površinama pločica, kao i definisanje zavisnosti $T=f(h)$ vršeno je klasičnom mikroskopskom metodom, a analitički izrazi za ove zavisnosti dobijeni su korišćenjem računara.

Ispitivane su četiri vrste pločica od tvrdog metala različitog kvaliteta i to u uslovima obrade kada je bilo primenjivano sredstvo za hlađenje i podmazivanje, kao i bez njega.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se primenom SHP u obradi rezanjem sa pločicama od tvrdog metala, postojanost povećava za 20—40%, što govori o opravdanosti primene SHP u ovakvima uslovima obrade.

Iz ekomske analize uočava se da je primena SHP opravdana u slučajevima obrade sa svakom od ispitivanih pločica od tvrdog metala, uprkos činjenici da postoje izdaci za SHP, a razlog je povećana postojanost alata. Primena presvučenih pločica od tvrdog metala smanjuje vrednost obrade V_0 u odnosu na vrednost obrade pri rezanju nepre-

svučenim pločicama. Razlike u vrednostima obrade, dobijene pri rezanju ispitivanim pločicama povećavaju se sa povećanjem brzine rezanja (preko 150 m/min).

LITERATURA

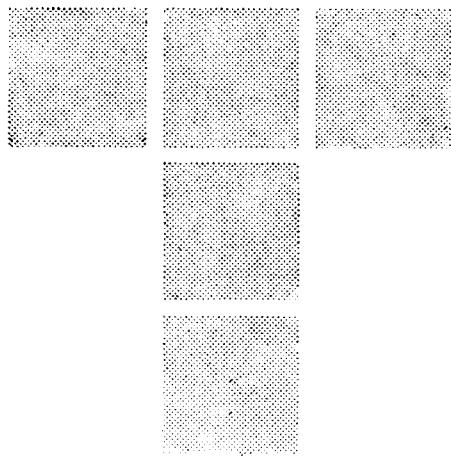
1. R. PANTIĆ: Magistarski rad »Analiza optimalnih uslova primene alata od tvrdog metala sa aspekta minimalnih troškova obrade«, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1978. god.
2. B. IVKOVIĆ: Obrada metala rezanjem, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1975. god.
3. B. COLDING: Karakteristike habanja prevučenih karbida, Machine moderne, jul, 1970. god.
4. B. IVKOVIĆ: Analiza razvoja proizvodnje i primene sredstava za hlađenje i podmazivanje pri obradi metala rezanjem, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 1975. god.

**Mr RADOŠ PANTIĆ, dipl. inž.
»Prva Petolečka« — Trstenik, RO Hidraulika**



Roden 1947. godine. Zaposlen u IHP »Prva petolečka«, Trstenik. Magistrirao je na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, 1978. godine. Bavi se problematikom obrade rezanja sa aspekta optimalnih uslova obrade, primenom savremenih reznih alata.

LOMT



nauka i istraživanje u službi privrede

* minimizacija
troškova

* optimizacija
proizvodnje

Za uspostavljanje saradnje
i sve informacije обратите
nam se dopisom ili telefonom.

Laboratorija za obradu metala i tribologiju
Mašinskog fakulteta u Kragujevcu,
34 000 Kragujevac
Ul. Sestre Janjić br. 6