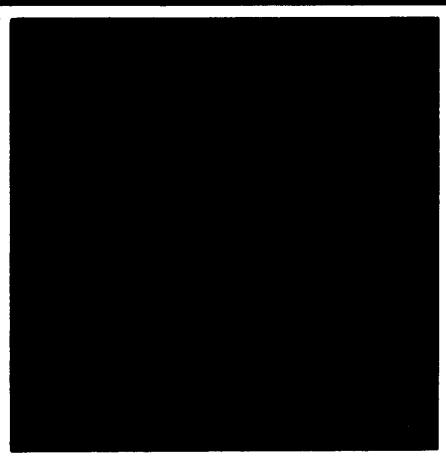
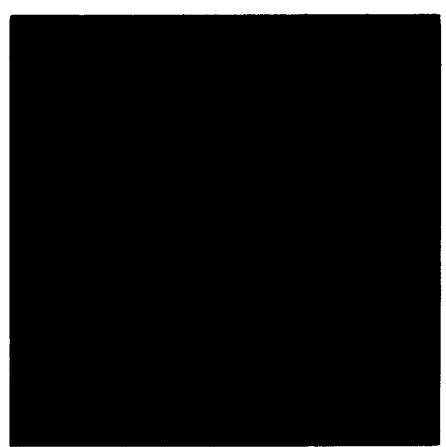
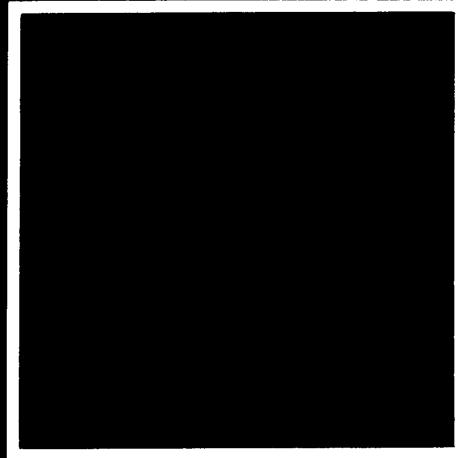
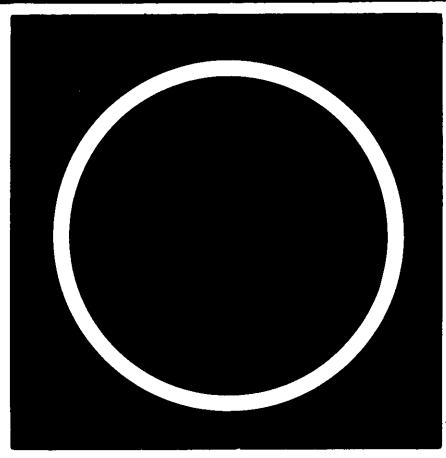
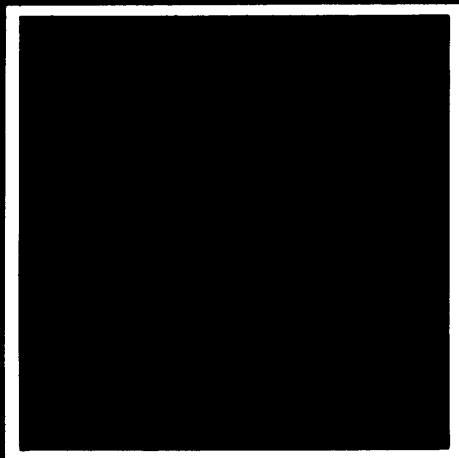


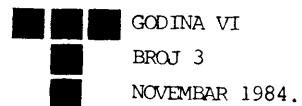
tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA VI
NOVEMBAR '84.

3



Nauka i tehnologija o prenosu i rasipanju masa i energije u mehaničkim sistemima



tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

UVODNIK INTRODUCTION ПЕРЕДВОДИЛ	B. IVKOVIĆ: Tribološka istraživanja na inženjerskim školama u SAD u 1984. godini - Tribology researches at the university school of engineering in U.S.A. in 1984. year - Трибологические исследования в инженерных школах С.Ш.А. в 1984. году - - - - -	63
ISTRAŽIVANJA RESEARCH ИССЛЕДОВАНИЯ	S. TANASLJEVIĆ, F. PAVLOVIĆ, E. KAZAZIĆ: Uticaj tehnološkog nasledja na tribološke procese i vek trajanja cilindričnih zupčanika - The influence of technological inheritance on tribological processes and life of cylindrical gears - Влияние технологической наследственности на трибологические процессы и долговечность цилиндрических зубчатых колес - - - - -	65
	B. JEREMIĆ: Uticaj dinamičkog opterećenja i vibracija na uslove ostvarivanja kontakta - The influence of dynamic loading and vibrations on the conditions of contact establishment - Влияние динамических нагрузок и колебаний на условия контактирования - - - - -	69
	W. RAPP: Izbor sredstava za hladjenje i podmazivanje - The selection of cutting fluids - Выбор смазочно - охлаждающих средств - - - - -	74
KNJIGE I ČASOPISI BOOKS AND JOURNALS КНИГИ И ЖУРНАЛЫ	- - - - -	82
NAUČNI SKUPOVI SCIENTIFIC MEETINGS НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ	- - - - -	85
REZIMEA ABSTRACTS РЕЗЮМЕ	- - - - -	87

Tribološka istraživanja na inženjerskim školama u SAD 1984. godine

Tribologija kao reč još uvek nije odmaćena u SAD čak ni u univerzitetskim sredinama. Moglo se u prošloj godini naići na veći broj univerzitetskih nastavnika iz oblasti mašinstva, npr., kojima je ovaj pojam bio nepoznat. Razlog ovome, čini se, treba tražiti u činjenici da se tribološki prilaz tehničkim problemima sporo prihvatao u američkim prostorima zbog toga što je on, u osnovi, interdisciplinarnog karaktera a profesionalna udruženja američkih inženjera su po pravilu organizovana po oblastima i veoma su jaka i uticajna. Tako npr. časopis "Lubrification Engineering" koji izlazi pod pokroviteljstvom američkog društva inženjera za programiranje (ALSE) još uvek retko upotrebljava tribologiju kao izraz osim u radovima pojedinih autora. Nasuprot ovom časopisu odgovarajući engleski časopis "Industrial Lubrication and Tribology" već u svom naslovu sadrži reč tribologija.

Već ove godine, međutim, situacija se promenila i to veoma mnogo kako se to u Americi obično i dešava. Krajem prošle godine izašla je iz štampe knjiga "Tribologija u proizvodnji" koja na oko 700 stranica sadrži osnovne informacije o tribološkim procesima na sredstvima rada svih vrsta i u svim vrstama procesa prerade metala. Istraživački programi sa tribološkom problematikom odnosno sa tribologijom u naslovu projekata pojavljuju se u istraživačkim programima većeg broja univerzitetskih institucija dok su brojni naučno-istraživački instituti ovoj problematici posvetili ogromnu pažnju i uvrstili tribologiju u svoj standardni program istraživanja. Interesantno je, na primer, da je i Laboratorija za proizvodnju i produktivnost (Laboratory for Manufacturing and Productivity) poznatog Instituta M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) uvrstila u program u 1984. god. tribološka istraživanja povezujući proizvodne probleme, produktivnost i tribologiju.

Medju 218 američkih univerziteta na kojima se stiče visoka spremna, magisterijum i doktorat u oblasti inženjerstva na tzv. inženjerskim školama (School of Engine -

ring) i to samo u konstruktorskom smjeru na 14 univerziteta razvijena su istraživanja koja u naslovu projekata sadrže reč tribologiju što ukazuje na prihvatanje tribološkog pristupa problemima trenja i habanja u ovim institucijama. U daljem tekstu navode se sve ove institucije sa brojem projekata u oblasti tribologije u 1984. godini koji se posebno finansiraju.

Ukupan broj istraživačkih projekata sa tribološkim temama koji se realizuju na pomenutim univerzitetima u 1984. godini iznosi 37. Kako je prosečna vrednost projekata univerzitetskog karaktera oko 40.000 \$ godišnje to se može prepostaviti da tribološka istraživanja na ovih 14 univerziteta samo vredi u 1984. godini oko 1,500.000 \$ ili preko 25 milijardi starih dinara. Kada se govori o univerzitetskim istraživanjima u Americi treba takođe imati na umu još i činjenicu da su ova istraživanja, uglavnom, namenjena podizanju nivoa nastave na posdiplomskim i doktorskim studijama što ima uticaja i na nivo nastave za sticanje visoke spreme.

U jednom od prethodnih brojeva časopisa "Tribologija u industriji" pomenut je na stranicama predviđenim za uvodnik i podatak da je predmet "Tribologija" uveden u nastavni program za sticanje visoke spreme na četiri mašinska fakulteta u Jugoslaviji i to: Fakulteta za strojništvo u Ljubljani, Strojno-brodogradjevnnog fakulteta u Zagrebu, Mašinskog fakulteta u Beogradu i Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

Na ovim fakultetima organizovana je i nastava iz tribologije na poslediplomskim studijama koja je, uglavnom, mentorskog karaktera zbog relativno malog broja kandidata.

Kada se govori o tribologiji na jugoslovenskim univerzitetima treba pomenuti i Laboratoriju za tribologiju koja je poslednjih godina formirana na Mašinskom fakultetu u Mostaru i koja će, nadamo se, svojom delatnošću u narednim godinama verovatno doprineti uvodjenju i predmetu tribologije u nastavne programe ovog Fakulteta.

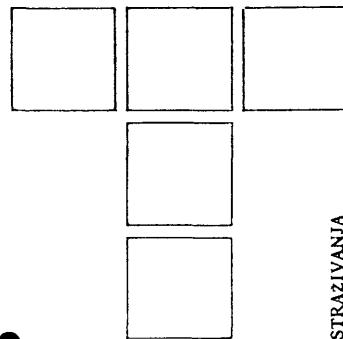
1. Cleveland State University Femn College of Enginering Cleveland, Ohio	2 proj.
2. Georgia Institute of Technology College of Enginering, Ablanta, Georgia	6 proj.
3. Illinois Institute of Technology Armour College of Enginering Chicago, Illinois	2 proj.
4. Konsas State University College of Enginering Manhattan, Kansas	1 proj.
5. Louisiana Technology University College of Enginering Ruston, Louisiana	1 proj.
6. The University of New Mexico College of Enginering Albuguerque, New Mexico	4 proj.
7. University of Notre Dame College of Enginering Notre Dame, Indiana	3 proj.
8. University of Rhode Islande College of Enginering Kingston, Rhode Island	2 proj.
9. Texas a & Muniversity College of Enginering Texas	3 proj.
10.The Ohio State University Shool of Enginering Columbus, Ohio	2 proj.
11.Nort Carolina State University at Rolligh School of Lnginering	4 proj.
12.Vanderbilt University School of Lnginering Nashville, Tennessee	3 proj.
13.Virginia Polytechnick Institute and State University College of Enginering Blacksburg, Virginia	2 proj.
14.The University of Virginia School of Enginering and applied Science Virginia	2 proj.

Tribološka problematika na poslediplomskim i doktorskim studijama zastupljena je i na drugim univerzitetima u Americi na kojima se stišu odgovarajuća znanja iz oblasti mašinstva ali drugih usmerenja kao što su: proizvodno mašinstvo, održavanje, industrijska tehnologija, itd. ali autor ovog napisa u ovom trenutku, ne raspolaže sa dovoljno tačnim podacima ove vrste da bi mogao da ih i u ovom napisu komentariše. Isto tako za sada se ne raspolaže i sa dovoljno podataka o istraživačkim projektima iz oblasti tribologije koji se realizuju na naučno-istraživačkim institucijama koje se isključivo bave istraživanjem i razvojem. U jednom od narednih brojeva, međutim, biće izneti i ovi podaci tako da će biti moguće sagledavanje ukupne istraživačke problematike iz oblasti tribologije na univerzitetima u Americi i odgovarajućoj naučnoj instituciji.

Pokušaji koji se čine već duže vremena kod nas da se tribološkoj problematici da odgovarajući značaj za razvoj istraživačkih programa nisu dovela do značajnijeg porasta istraživanja ove vrste. Čak se čini da je poslednjih dve do tri godine došlo do izvesnog pada eksperimentalnih istraživanja u ovoj oblasti što se zaključuje na osnovu radova koji se iz ove oblasti objavljaju kod nas i u svetu a nikli su u jugoslovenskoj sredini. Sve više se primećuje da se u radovima tretiraju problemi učeni ranijih godina i osvetljeni ranijim eksperimentalnim istraživanjem a sada se samo ovim problemima prilazi na nešto drugačiji način i osvetljavaju se sa drugih strana.

Uporedo sa izlaskom iz ekonomske krize koja nas je zahvatila (a možda i nešto brže) trebalo bi očekivati i intenziviranje razvoja triboloških istraživanja i to ne samo na univerzitetima već i u privredi, jer ona, kao što je poznato, doprinose smanjenju troškova proizvodnje i ostvarivanju većeg dohotka što nam je u osnovi cilj. U narednim brojevima ovog časopisa biće učinjen pokušaj prikaza naslova i sadržaja naučno-istraživačkih projekata iz oblasti tribologije koji se realizuju u tekućem srednjoročnom periodu kod nas uz istovremeno navodjenje podataka o naučno-istraživačkim projektima ove vrste koji se realizuju u drugim industrijski razvijenim zemljama Evrope.

S. TANASIJEVIĆ, F. PAVLOVIĆ, E. KAZAZIĆ



ISTRAZIVANJA

Uticaj tehnološkog nasleđa na tribološke procese i vek trajanja cilindričnih zupčanika

1. UVOD

Danas se pod pojmom tehnološkog nasledja podrazumevaju fizičko-mehaničke karakteristike obradjenih površina mašinskih elemenata, nastale kao rezultat prethodnih i završnih tehnoloških operacija.

Poslednjih godina, savremeno mašinstvo pokazuje sve veće interesovanje za ispitivanje tehnološkog nasleđa i njihovu vezu sa eksploracionim svojstvima mašinskih elemenata, a posebno cilindričnih zupčanika.

Osnovni parametri cilindričnih zupčanika, nasledjenih u toku tehnološkog procesa vezani su za materijal i mikro- i makrogeometrijske pokazatelje obradjenih površina.

Osnovni uzrok ograničenog veka trajanja i pouzdanoći savremenih zupčanika je habanje radnih površina zuba, na čiji razvoj utiče veliki broj faktora.

Analizom poznatih informacija moguće je zaključiti da od velikog broja različitih uticaja, najmanje je ispitani uticaj završne obrade na razvoj procesa habanja i vek zupčanika. Završna obrada ima nesumljivo velikog uticaja na formiranje fizičko-mehaničkih svojstava i strukture površinskog sloja, pa zato u znatnoj meri određuje i tehnološko nasleđje obradjenih zupčanika. Njome se u mnogome definišu parametri nasleđa kako vezani za materijal, tako i za mikro- i makrogeometriju obradjenih zuba.

Uticaj nasleđa je suština ovog rada u kome se razmatra efekat režima brušenja kao završne obrade na nasleđne osobine, a samim tim i na tribološke procese i vek trajanja cilindričnih zupčanika.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Brojna eksperimentalna ispitivanja, čiji su neki od rezultata dati u ovom radu, vršena su na zupčanicima ma-

šina alatki. Geometrijske mere i osnovne karakteristike termičke obrade, date su u tabeli 1.

TABELA 1.

Broj zuba	19	Termička obrada	Cementacija
Modul	2,5	Materijal	Č.4321
Prečnik pod.kruga	47,5	Tvrdoća	HV 10=642

Kako je osnovni cilj ovog rada razmatranje uticaja završne obrade brušenja, koja u znatnoj meri određuje tehnološko nasleđje aktivnih površina zuba, na razvoj procesa habanja i vek zupčanika, posebna pažnja je posvećena izboru režima završne obrade zuba.

Prva grupa zupčanika brušena je režimima koje preporučuje proizvodjač brusilice. Druga grupa je brušena znatno nižim i znatno višim brzinama od preporučenih, sa istom dubinom brušenja. Treća grupa je brušena različitim dubinama brušenja pri jednom prolazu, zadržavajući preporučene brzine pomoćnog kretanja.

Eksperimentalna ispitivanja su vršena na uredjaju za ispitivanje zupčanika koji radi po principu "zatvorenog kruga" snage.

Habanje ispitivanih zupčanika u eksploraciji mereno je jednom novom metodom zasnovanom na osobini pribora za merenje hrapavosti (profilometra). Merenje linijskog habanja vršeno je registracijom izmena mikroneravnina u glavi (1), polu (2), početku korena (3) i završetku korena zupčanika (4).

Praćenje promene topografije radnih površina zuba, vršeno je autokorelacionim funkcijama čije je izračunavanje vršeno na elektronskom računaru.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

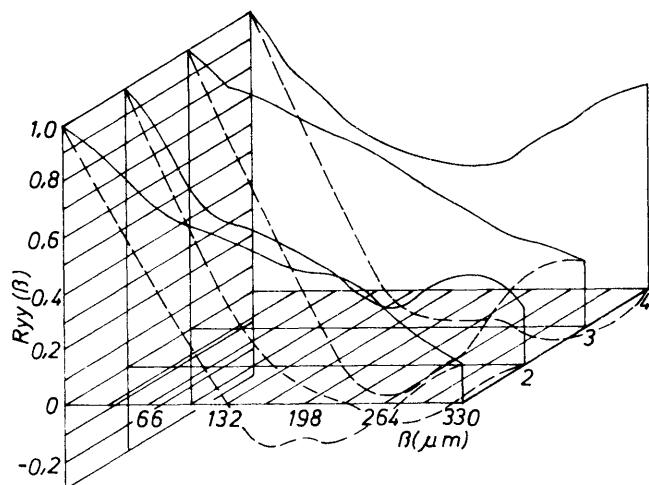
U toku celog eksperimenta, praćena je topografija i promena topografije aktivnih površina zuba, kao i haba-

nje i razvoj procesa habanja. Neki od rezultata ispitivanja, dati su na slikama 1, 2 i 3.

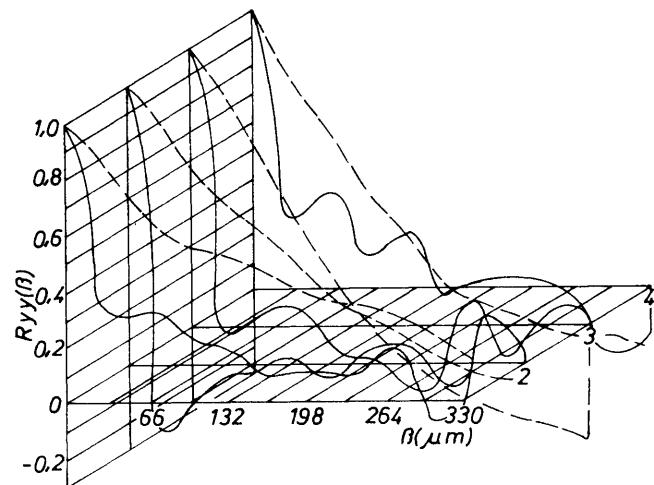
Sa smanjenjem brzine pomoćnog kretanja kako kod grube tako i kod fine obrade, profili površina pre početka rada su sa širokim dijapazonima slučajnih parametara (sl. 1a). Između njih postoji korelaciona veza koja se može aproksimirati eksponencijalnom funkcijom. U periodu uhdavanja, površine zadržavaju isti oblik autokorelacione funkcije, sa znatno kraćom korelacionom dužinom i

većim eksponentom, što ukazuje da su profili neujednačeniji. U periodu normalnog habanja površina zuba se može okarakterisati autokorelacionom funkcijom normalizovanog oblika koja je sastavljena od slučajne komponente i jedne ili više definisanih funkcija (najčešće sinusoida).

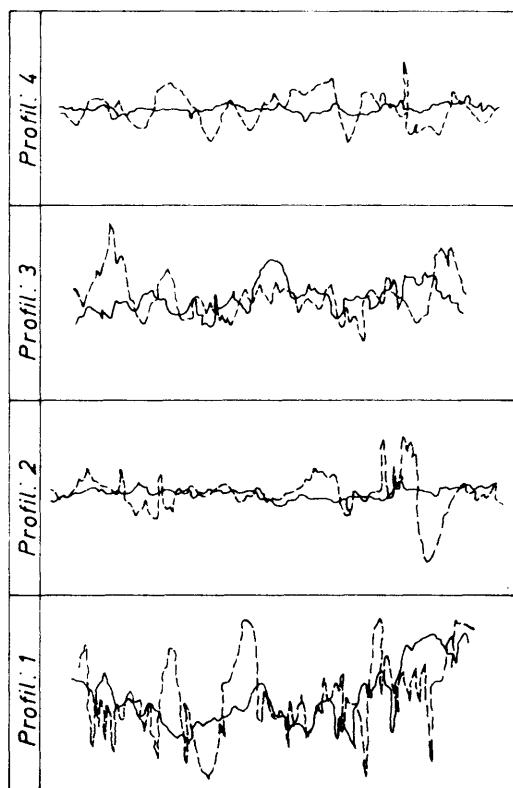
Povećanjem brzine pomoćnog kretanja, znatno iznad preporučene brzine uočava se da je najčešće aktivna površina zuba skup profila koji se mogu aproksimirati eksponencijalnom funkcijom i funkcijom normalizovanog oblika



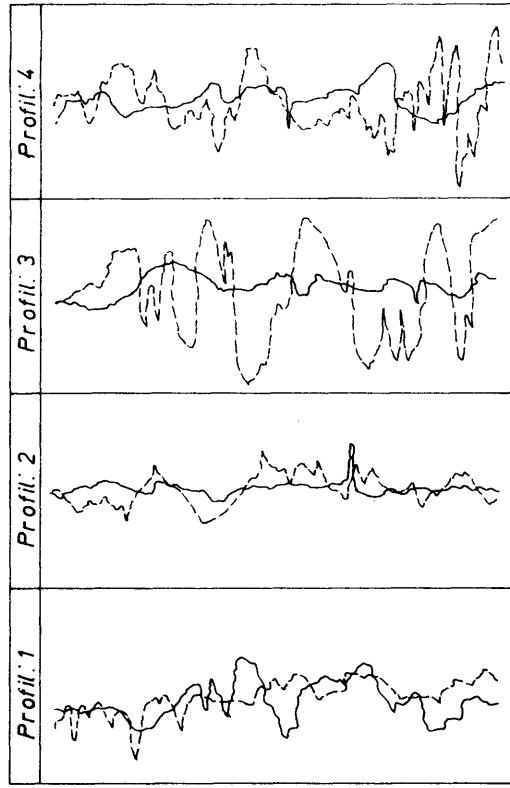
Sl. 1-a. - Autokorelacione funkcije: - vreme habanja: 0;
-- vreme habanja: $1,533 \times 10^8$



Sl. 2-a. - Autokorelacione funkcije: - vreme habanja 0; -- vreme habanja: 1.533×10^8



Sl. 1-b. - Strukturalne promene površinskih profila: -vreme habanja 0; -- vreme habanja: 1.533×10^8

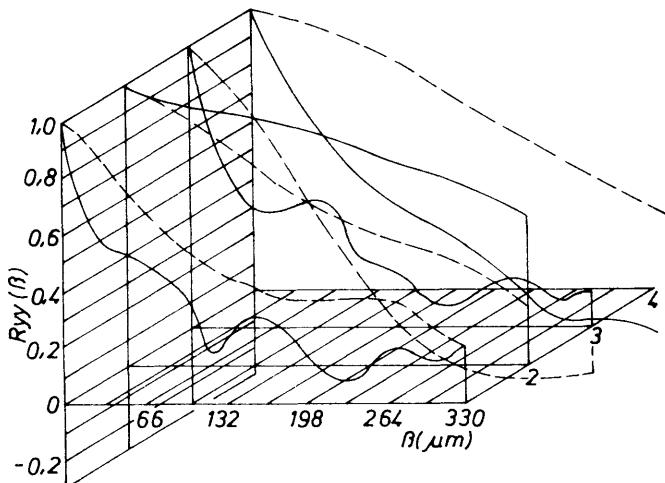


Sl. 2-b. - Strukturalne promene površinskih profila: -vreme habanja 0; -- vreme habanja: 1.533×10^8

(sl. 2a). Periodična komponenta je mnogo kraće talasne dužine. Korelaciona dužina slučajne komponente je duža.

U periodu uhoodavanja, profili intezivno menjaju svoj oblik kao i oblik autokorelace funkcije, što ukazuje na veoma intenzivni period habanja. U periodu razornog habanja, profili su sastavljeni od slučajnih parametara širokog dijapazona.

Autokoreaciona dužina kao mera slučajnosti, u periodu razornog habanja je kraća, što pokazuje da su pr



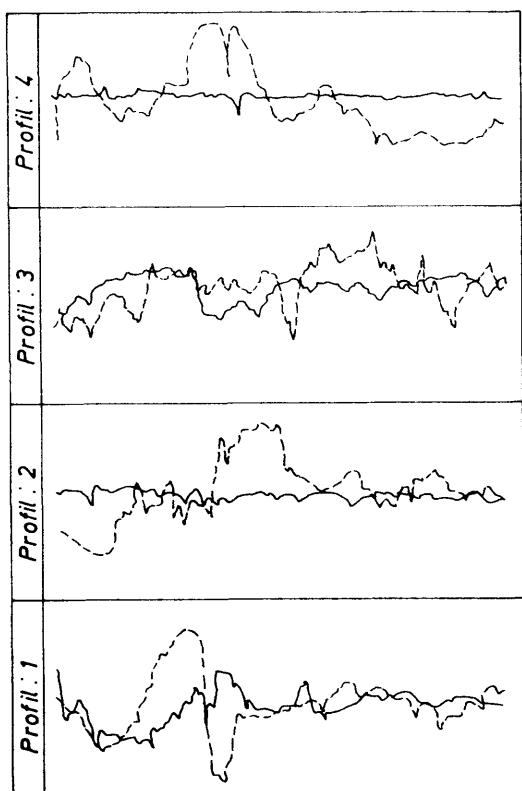
Sl. 3-a. - Autokorelace funkcije: - vreme habanja:0;
-- vreme habanja: $1,533 \times 10^8$



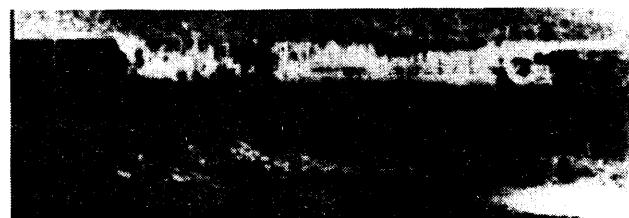
Sl. 1-c. - Aktivna površina zuba posle $1,533 \times 10^8$ ciklusa



Sl. 2-c. - Aktivna površina zuba posle $1,533 \times 10^8$ ciklusa



Sl. 3-b. - Strukturalne promene površinskih profila:-vreme habanja:0;--vreme habanja: $1,533 \times 10^8$



Sl. 3-c. - Aktivna površina zuba posle $1,533 \times 10^8$ ciklusa

filii postali neujednačeniji. Ravnometnost profila opada, idući od glave ka nozi zupčanika.

Sa povećanjem dubine rezanja u završnoj obradi zuba (sl. 3a), ne menja se ništa bitno u početnoj topografiji, kao ni u promeni topografije u eksploataciji. Aktivna površina zuba sastoje se iz čitavog niza posebnih profila koji se u eksploataciji mogu ponašati sasvim različito. Veliki broj različitih, često i neodredjenih faktora mogu usloviti da pojedine oblasti na zubu imaju i sasvim dijametralno suprotna ponašanja u eksploataciji.

Zupčanici su ispitivani veoma dugo, $1,533 \times 10^8$ ciklusa, posle čega je vršena njihova detaljna analiza.

Analiza zupčanika prve grupe (sl. 1c) pokazuje da se njihova aktivna površina nalazi u fazi pojave inicijalnih jamica. Pored toga, klinasta oblast kao jonica je već dobila drugu boju.

Posle $1,533 \times 10^8$ ciklusa, na zubima druge grupe zupčanika su jasno uočljive jamice, raspoređene u obliku kline pod nešto kosim uglom u odnosu na aktivnu površinu. Dubina jonica je znatno veća od dubine jonica prve grupe zupčanika.

Na zupčanicima treće grupe, jasno se uočava pojava krupnih jonica izvan već formirane klinaste razorenje površine. Dimenzije novoformiranih jonica su veličine oko 0,5 mm i šire se u pravcu položaja kinematskog pojas-a. Aktivne površine zuba nalaze se u razornom periodu habanja, sa još veoma malim preostalim vekom eksploata-cije.

3. ZAKLJUČAK

Uporedna analiza ispitivanih zupčanika jasno pokazuje uticaj tehnološkog nasledja na tribološke procese i vek trajanja cilindričnih zupčanika.

Analiza autokoreograma pokazuje da se promenom režima brušenja menja i topografija površina zuba zupčanika. Različite početne fizičke karakteristike reljefa

površina, različito se menjaju u različitim periodima habanja. Poznavanje zakonitosti ovih promena može svakako pomoći razvijanju novih metoda završne obrade koje će omogućiti smanjenje habanja i produžavanje veka zupčanika.

Analiza radnih sposobnosti ispitivanih zupčanika pokazuje da se pravilnim izborom režima brušenja može znatno poboljšati kontaktna čvrstoća zupčanika, a njihov vek produžiti skoro dva puta.

Najveći uticaj na formiranje naslednih osobina pokazuju brzina pomoćnog kretanja i dubina brušenja, pri čemu je uticaj dubine brušenja veći.

LITERATURA

- [1] BENDAT J., PIERSOL A.: Random Data (Analysis and measurement procedures), John Wiley and Sons, New-York, 1971.
- [2] PEKLENIK J.: Investigation of the surface topology, C.I.R.P., Annalen XV, 1967.
- [3] PATIR N.: A numerical procedure for random generation, Wear, 47, (1978)
- [4] TANASIJEVIĆ S.: Wear and exploitable topography of spur gears, 3rd tribology conference, Budapest, june 1983.

CENTAR ZA PRODUKTIVNOST RADA
Mašinskog fakulteta u Kragujevcu

izdaje

Priručnik za metalce

u četiri knjige

Vašu narudžbenicu pošaljite
na adresu:

Mašinski fakultet — Kragujevac 34000 Kragujevac
ul. S. Janjić br. 6.

prva

METALOSTRUGARI

druga

METALOGLODAČI

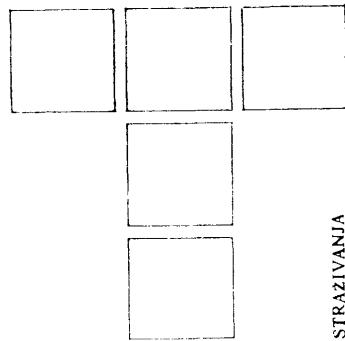
treća

METALOBRUSAČI

četvrta

BRAVARI - ALATNIČARI

B. JEREMIĆ



ISTRAŽIVANJA

Uticaj dinamičkog opterećenja i vibracija na uslove ostvarivanja kontakta

1. UVOD

Kontakt kod svih realnih parova trenja ostvaruje se uz prisustvo vibracija i dinamičkih sila. Ove sile su prouzrokovane neizjednačenim silama inercije od režima eksploracije i silama prinude. Poznato je da se vek mašina i samim tim i njihovih elemenata bitno smanjuje ako rade uz prisustvo visokog nivoa vibracija. Ovo je posebno izraženo kod svih elemenata mašina alatki za obradu metala rezanjem, gde proces stvaranja strugotine prouzrokuje pojavu dinamičkih sila. Pri analizi opterećenja i uslova ostvarivanja kontakta na kliznim vodjicama alatnih mašina, dolazi se do zaključka da se prisutne dinamičke sile često menjaju po intenzitetu i učestanosti. Navedene promene su povezane sa neustaljenim otporima rezanja.

Iz gore navedenog se vidi da se kontaktni par kliznih vodjica alatnih mašina nalazi u takoreći stalnom prelaznom režimu ka uspostavljanju tribološke ravnoteže. Ova ravnoteža je definisana ustaljenom vrednošću intenziteta habanja a samim tim i topografijom površine. Za razjašnjenje odvijanja triboloških procesa na pokretnim kontaktним površinama neophodno je uz pomoć savremenih metoda definisati promenu topografije. To znači da potpuno definisani topografija i spoljne delovanje (dinamičke sile tj. njihov intenzitet i učestanost i brzina pokretnih elemenata) jedino mogu razjasniti odredjene pojave vezane za elastične i plastične deformacije u zoni kontakta, zamor, prenos masa, itd.

Značaj kvalitativnog definisanja topografije je utoliko veći ukoliko se zna da intenzitet habanja značajno zavisi od topografije površine. U ovom radu se daju preliminarni rezultati istraživanja na kliznim vodjicama sa osnovnim ciljem da se dodje do pouzdanog kvalitativnog pokazatelja promene uslova ostvarivanja kontakta primenom analize slučajnih procesa.

2. TEORIJSKA RAZMATRANJA

Kao što je ranije rečeno, klizne vodjice alatnih mašina se nalaze u stalnom režimu uspostavljanja tribološke ravnoteže na kontaktним površinama. Pri tome neprekidno se odvija proces uparivanja kontaktnih površina elemenata ovog tribomehaničkog para. Tako se ovaj proces uparivanja može posmatrati na nivou sistema sa pozicijom automatske regulacije.

Kvalitativne ulazne veličine sistema su statističke karakteristike topografije površine kao i kinematske i dinamičke veličine uslova ostvarivanja kontakta. Navedene veličine formiraju topografiju površine u procesu uparivanja. Izlazne veličine iz sistema vezane za topografiju su makro i mikro reljef formirane površine.

U procesu uparivanja profil se može menjati u većoj ili manjoj meri u zavisnosti od uslova ostvarivanja kontakta i karakteristika materijala elemenata kontaktног para. Pri tome se može smatrati da parametri samog sistema ne menjaju svoj smisao (značenje) tj. sistem je stacionaran.

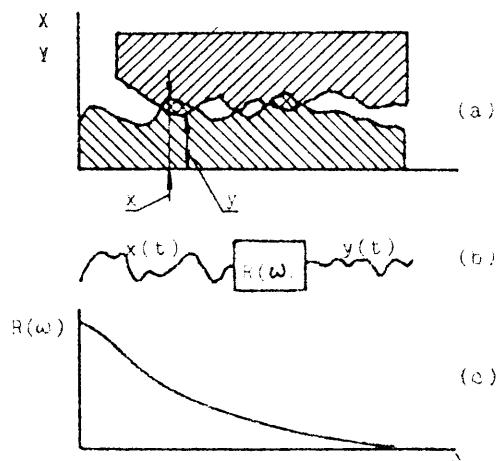
U sistemu deluje negativna povratna sprega po ostanju geometrijskog oblika površine, samo ukoliko ovačko odstupanje izaziva lokalnu promenu intenziteta habanja. To znači da je povratna sprega usmerena samo na eliminisanje lokalne promene intenziteta habanja.

Postoje dve izlazne veličine (vezane za topografiju) iz sistema pri uparivanju površina, a to su promene izlaznog geometrijskog oblika i formiranje, odnosno promena hrapavosti. Navedeni procesi se odvijaju paralelno, ali na različitim nivoima neuporedivim po brojčanoj karakterizaciji dimenzija. Zbog navedenog neophodno je posebnu pažnju обратити на начин praćenja promene topografije.

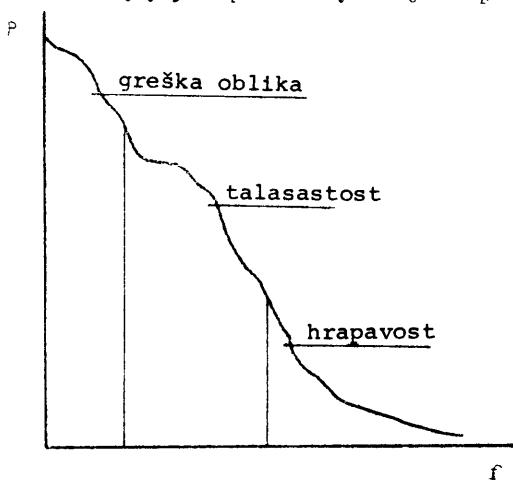
Ovo iz razloga da se izbegnu greške ako se koristi neki od klasičnih načina snimanja profila površine odnosno merenja parametara hrapavosti. Poznato je da suštins-

ski različite topografije površina mogu dati pri merenju ista srednja aritmetička odstupanja profila od srednje linije (R_a) ili srednje kvadratno odstupanje (R_g).

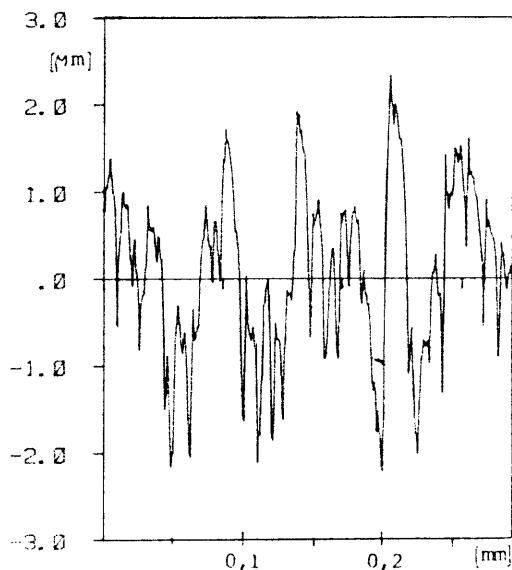
U početnom stadijumu uparivanja površina međusobno dejstvo se odvija samo na pojedinim kontaktima. Tako kod razmatranja tribomehaničkog sistema kontaktni pritisak ima ulogu regulišućeg dejstva. Povećani pritisak na mes-



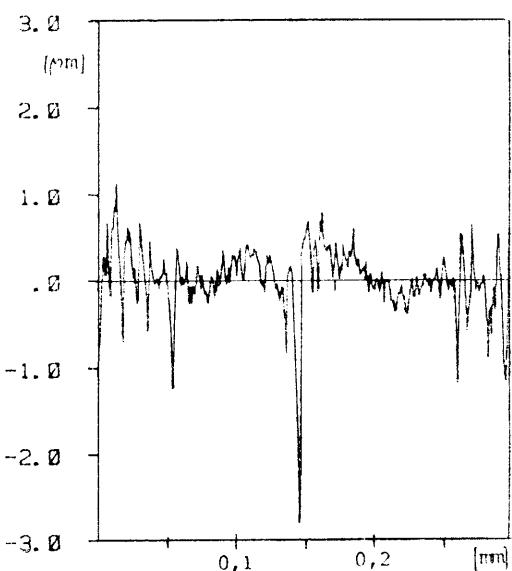
Sl. 1. - Formiranje topografije površine
a) ostvarivanje kontakta, b) formiranje mikroreljefa, c) prenosna funkcija hrapavosti



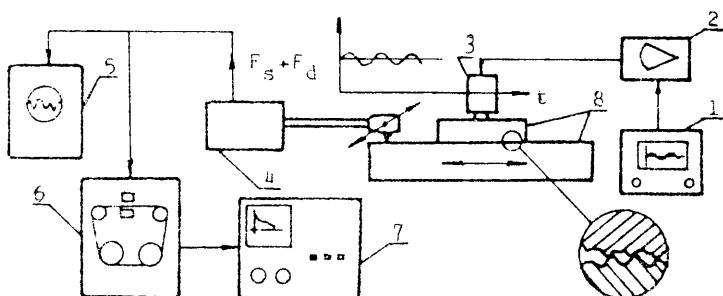
Sl. 2. - Spektar snage profila površine



Sl. 4. - Deo profila nepohabane površine



Sl. 5. - Deo profila pohabane površine



Sl. 3. - Šema uredjaja i opreme za ispitivanje (1-generator funkcije, 2-pojačavač, 3-generator sile, 4-uredjaj za snimanje profila, 5-osciloskop, 6-magnetofon, 7-Fourierov analizator, 8-kontaktni par)

tim odstupanja oblika profila dovodi do intenziviranja triboloških procesa koji se odvijaju kroz zamor, prenos masa, itd. Odnosno, krajnji efekat je odvajanje i izdvajanje čestica materijala kontaktne zone iz kontaktne zone.

Mikroprofilni kontaktnih površina kliznih vodjica po geometrijskoj strukturi blizak je realizacijama normalnih stacionarnih slučajnih procesa. Ako se ovo zna onda su jasne i teškoće oko definisanja uslova ostvarivanja kontakta, jer još uvek generalno nije moguće deterministički opisati topografiju površine. Za pouzdano

razmatranje topografije mogu se primeniti metode analize slučajnih procesa, što uslovjava veoma skupu opremu.

Formiranje topografije profila u fazi uparivanja može se predstaviti kao na sl. 1.

Slučajna funkcija $Y(x)$ predstavlja polazni profil koji se zbog odvijanja triboloških procesa na kontaktnim površinama transformiše u

Saglasno teoriji slučajnih procesa veoma korisna informacija o geometrijskoj strukturi slučajnih profila $X(t)$ ili $Y(t)$ može se dobiti iz njihovih spektara snage P_x ili P_y . To znači da je pouzdan pokazatelj promene topografije promena spektra snage, što je i potvrđeno kroz rezultate prikazane u radu.

Takođe se pouzdano može reći da između spektra snage i kvalitativnih pokazatelja topografije površine postoji funkcionalna zavisnost tj.:

$$P = (Rq, a, \omega)$$

gde je:

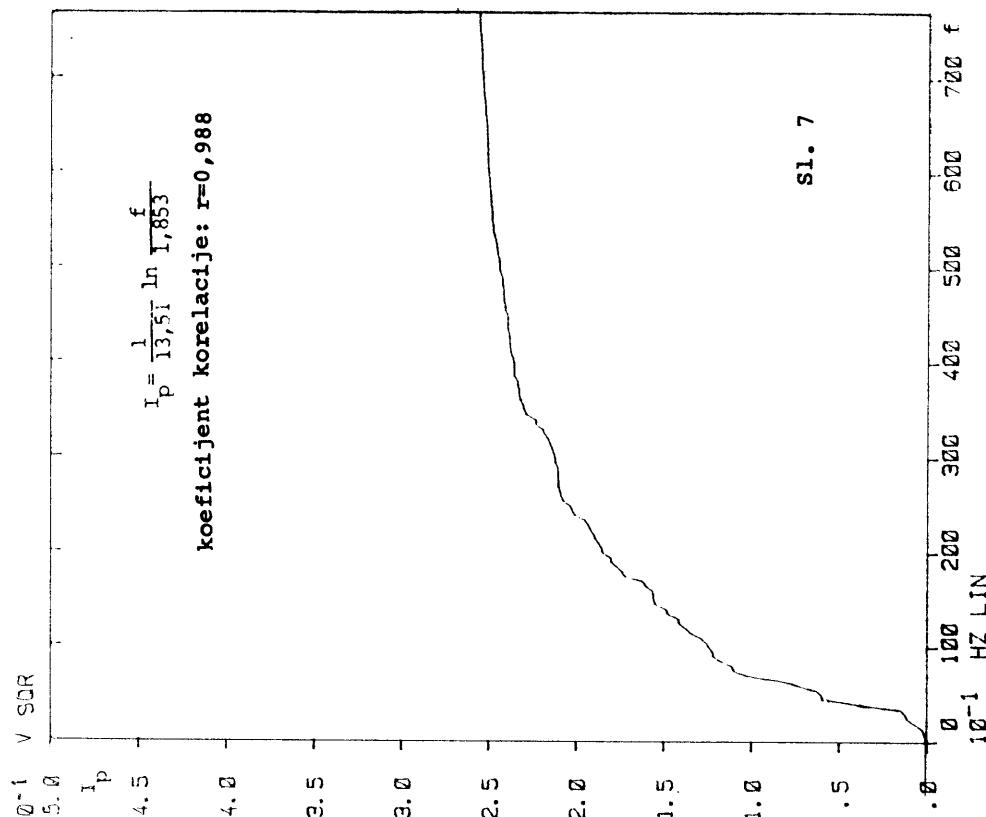
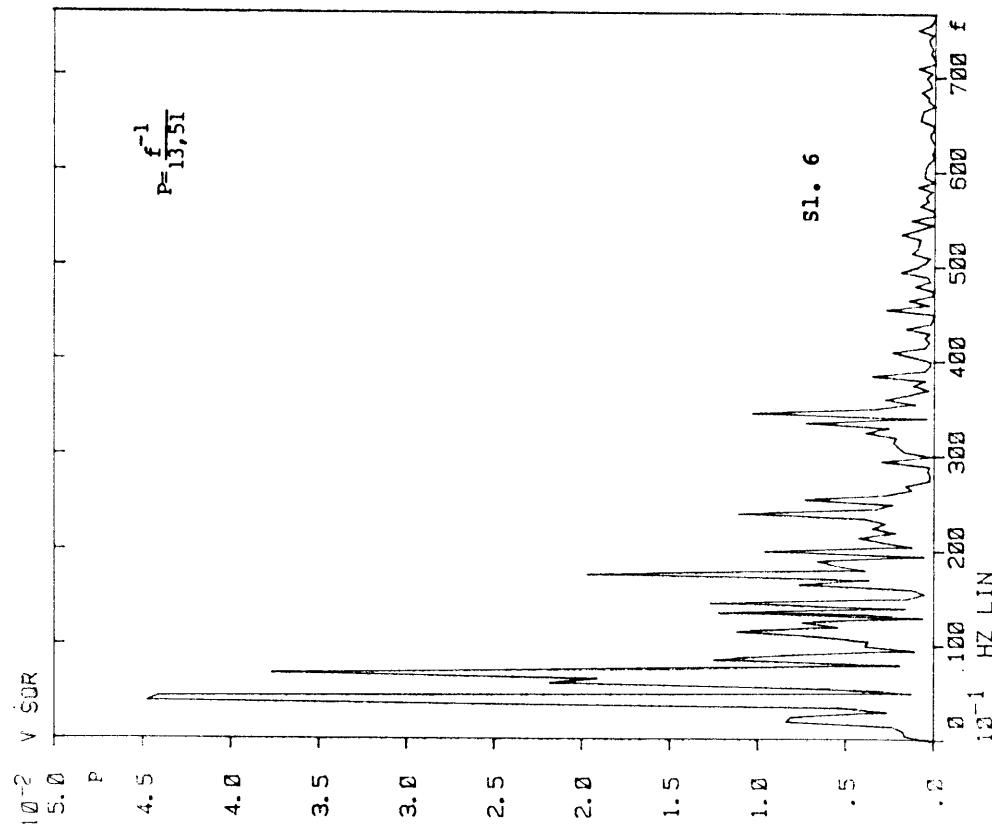
Rq - srednja kvadratna hrapavost,

a - konstanta slabljenja (opadanja) autokorelace ione funkcije,

ω - ugaona frekvencija.

Spektar snage tehničkih površina obradjenih klasičnim metodama rezanja izgleda kao na sl. 2. To znači da je svaki profil sastavljen od greške oblika, talasnosti i hrapavosti.

Iz navedenog proizilazi da se posebna pažnja mora posvetiti snimanju profila, tj. treba voditi računa o gabaritima površine koja se analizira. Kod snimanja profila, tj. praćenja promene topografije na maloj dužini greške su neizbežne ako je na profilu prisutna greška oblika i talasost.



Sl. 6. - Spektar snage nepohabane površine

Sl. 7. - Integral spektralna snaga nepohabane površine

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prvenstveno u cilju sagledavanja osetljivosti metode analize spektra snage profila kao bitnog pokazatelja procesa uparivanja kontaktnih elemenata, ispitivanja su vršena pri statičkom opterećenju. Preliminarni rezultati izučavanja uticaja dinamičkog opterećenja na promenu topografije prikazani su na jednom primeru.

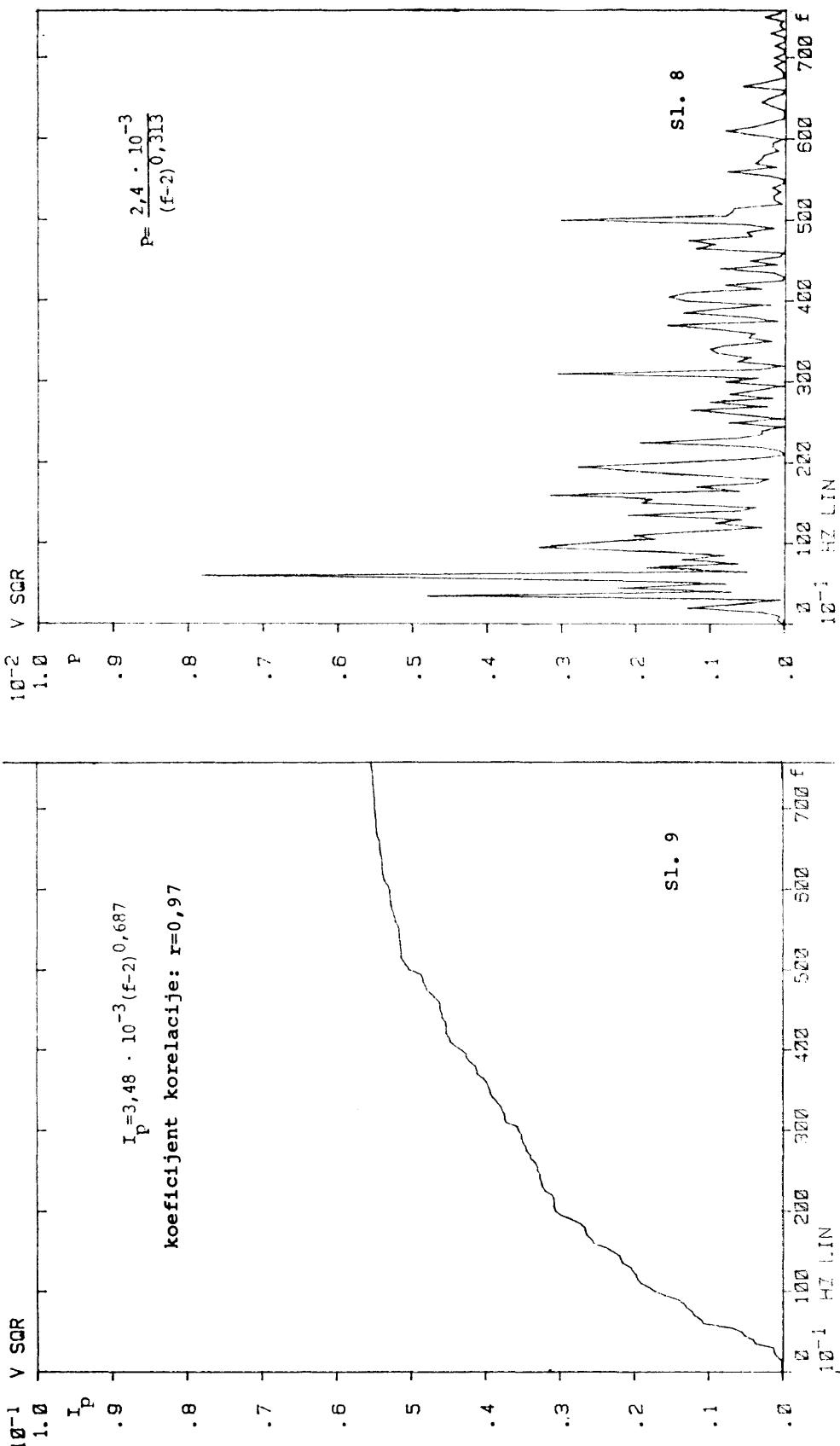
Istraživanja su obavljena na kontaktnom paru (sl. 3-pozičija 8): ugljenični čelik sa tuširanom površinom/cementirani legirani čelik sa brušenom površinom.

Na površini kontaktnog para prvo se ostvaruje statičko opterećenje F_s kome se pridaje dinamička komponenta F_d .

Istraživanja su obavljena pri brzini klizanja $v = 85$ mm/min, statičkom pritisku $P_s = 1,5$ daN/cm² i $P_d = \pm 0,2$ daN/cm². Frekvencija dinamičke komponente je bila $f_d = 25$ Hz. Podmazivanje je izvodjeno automatski posle svakih 100 ciklusa translacije. Profil je analiziran samo na brušenoj površini na dužini 0,86 mm (jer je brzina glave sa dijamantskom iglom pri snimanju bila $V_g = 0,43$ mm/sec a vreme unošenja signala u Fourierov analizator $t = 2$ sec).

Kod istraživanja pri statičkom opterećenju, deo profila nepohabane površine prikazan je na sl. 4, spektar snage P na sl. 6, a integral spektra snage I_p na sl. 7.

Za pohabanu površinu posle puta klizanja od 750 m profil površine prikazan je na sl. 5, spektar snage na sl. 8 i integral spektra snage na sl. 9.



Sl. 8. - Spektar snage pohabane površine

Sl. 9. - Integral spektra snage pohabane površine

Prelazak iz frekventnog u talasno dužinsko područje za sve prikazane rezultate vrši se preko odnosa $\lambda = 0,43/f$ i pri tome je u milimetrima. U jednačinama prikazanim na sl. 6 i 8 vidi se da je eksponent frekvence različit, a to znači da se radi o različitim oblicima topografije profila. Odnos integrala spektra snage za nepohabanu i pohabanu površinu do $f = 60$ Hz je 4,53, što znači da se preko ove promene može veoma osjetljivo pratiti intenzitet uparivanja površina kontaktog para. Pri dinamičkom opterećenju (uslovima ranije navedenim) dobijeno je da se odnos integrala spektra snage (nepohabana/pohabana površinu) od približno 4,5 dobija pri putu klizanja manjem za 18% u poređenju sa putem klizanja, pri statičkom opterećenju. Time je delimično kvantificiran uticaj opterećenja na promenu topografije. Dalja istraživanja u cilju kvantificiranja uticaj dina-

mičkog opterećenja na formiranje topografije površine treba proširiti sa autokorelacionom funkcijom i prvim izvodom profila i njegovom analizom kao slučajnog procesa.

LITERATURA

- [1] H. KAN, M. ASHIDA, Y. TERAUCHI and T. YASUNGA: Effect of vibrational amplitude on characteristics of friction and wear (In Japanese) J. Japan Soc. Lubr. Engr. Vol. 25, No 4 (1980), 240-244.
- [2] H.S. NAGARAJ, D.M. SANBORN, W.O. WINER: Asperity Interactions In EHD Contacts. Transactions of the ASME. Journal of Lubrication Technology, Paper No 77-Lub 19, 1-7.
- [3] T.R. THOMAS, R.S. SAYLES: Stiffness of Machine Tool Joints: A. Random-Process Approach Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Industry. February 1977, 250-256.

Preporučujemo Vam
posebno izdanje časopisa
TRIBOLOGIJA U INDUSTRILJI
pod naslovom

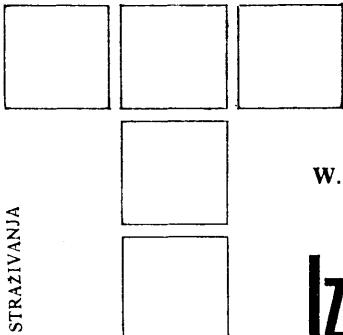
PRODUKTIVNOST I EKONOMIČNOST U INDUSTRILJI PRERADE METALA

sadržaj:

- B. IVKOVIĆ, Mogući prolaz merenju produktivnosti rada u industriji prerade metala.
 M. LAZIĆ, Problemi optimizacije procesa rezanja sa aspektima produktivnosti i ekonomičnosti prerade metala.
 V. ČORIĆ, Kriterijumi za ocenu ekonomičnosti poslovanja proizvodnih sistema u industriji prerade metala.

R. MITROVIĆ, B. PAVLOVIĆ, Produktivnost i ekonomičnost u funkciji poslovanja sa reznim alatima
 S. ZAHAR, Ž. PROKIĆ, Ekonomski aspekti iskorišćenja i održavanja proizvodne opreme
 S. ARSOVSKI, Struktura troškova obrade i lični dohodak radnika na proizvodnim mašinama sa NC upravljanjem u domaćim proizvodnim sistemima
 B. JEREMIĆ, Z. PALINČIĆ, M. MILOŠEVIĆ, Produktivnost i ekonomičnost u funkciji primene sredstava za hladjenje i podmazivanje
 S. SEKULIĆ, Problemi optimizacije procesa rezanja na automatskim linijama sa aspekta produktivnosti i ekonomičnosti prerade metala
 Knjigu možete nabaviti narudžbenicom polsatom na adresu:

Mašinski fakultet
 34000 Kragujevac
 ul. S. Janjić br. 6



W. RAPP

Izbor sredstava za hlađenje i podmazivanje*

(S nemačkog preveo: Mr Slavko Arsovski)

Izbor sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP) u obradi rezanjem je komplikovan i zahteva mnogo iskustva. Svaki slučaj primene je povezan sa velikim brojem individualnih, a delom opštih i ponavljajućih zahteva u pogledu SHP. Pri izboru SHP mora se stoga u opštem slučaju praviti kompromis, pri čemu se često nudi više rešenja. Definitivna odluka o primenljivosti izabranog SHP može se dati tek nakon kritičnog razmatranja pri praktičnoj primeni.

Za izbor jednog SHP merodavni su povećanje proizvodnosti ili smanjenje troškova usled njegove primene. Pri tome nisu značajni samo vrsta i kvalitet izabranog SHP, već i iskustva i mogućnosti servisiranja od strane isporučioca. U odnosu na to cena SHP ima sasvim mali uticaj na troškove proizvodnje. Stoga ona ne bi trebalo da bude jedino merilo pri izboru SHP.

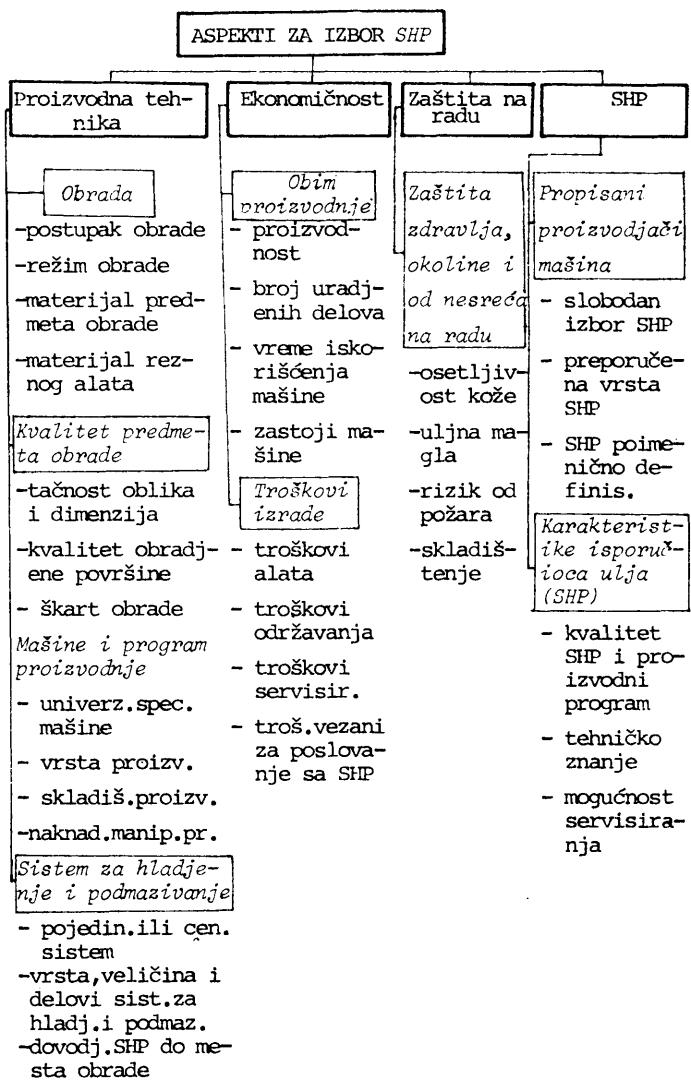
Terminologija vezana za SHP data je u DIN51385 normi. Dalje specifičnosti vezane za podele i označavanje SHP, kao i razmatranje aspekata vezanih za izbor sadrže dve brošure [2], na kojima je bazirano dalje izlaganje.

1. KRITERIJUMI IZBORA

Zadatak obrade metala rezanjem je da omogući dobitjanje predmeta zahtevane tačnosti dimenzija i kvaliteta obradjene površine što je moguće brže i uz što manje troškove. Mnoga preduzeća teže da rade sa što je moguće manjim troškovima (tzv. proizvodnja sa optimalnim troškovima). U drugim preduzećima se pak teži smanjenju vremena izrade i što je moguće većem iskorišćenju opreme (proizvodnja za optimizacijom vremena).

Pored ovih, u svakom slučaju primene javljaju se mnogi drugi ciljevi i faktori koji utiču na izbor SHP. Ovo se pre svega odnosi na uslove obrade, proizvodne machine, program proizvodnje i zahteve u pogledu zaštite

personalja, postrojenja i okoline. Na sl. 1 dat je pregled osnovnih aspekata o kojima treba voditi računa pri izboru SHP. Prema ovoj slici su sačinjena sledeća poglavlja.



*) Auswahl von Kuhlsehmierstoffen VDI-Z Bd.126 (1984.), Nr.7-April (1). Sl.1.-Kriterijumi izbora SHP

Često se pri izboru SHP uzimaju u obzir samo postupak obrade, materijal predmeta obrade, materijal reznog dela alata i parametri režima obrade. Imajući u vidu povećane zahteve u pogledu kvaliteta proizvoda i kao posledicu pojačane napore u cilju racionalizacije dobijaju na značaju i drugi proizvodno-tehnički aspekti izbora. To su tačnost dimenzija i kvalitet obradjene površine, fleksibilnost i raspoloživost alatnih mašina, veličina se-rije i posebni zahtevi vezani za program proizvodnje, kao i postojeći ili planirani centralni sistem za hladjenje i podmazivanje.

1.1. PROIZVODNO-TEHNIČKI ASPEKTI

1.1.1. Postupci obrade

Sredstva za hladjenje i podmazivanje treba da ispunе vrlo različite zahteve pri određenim postupcima obrade metala rezanjem. Ovo se odnosi na razlike u pogledu materijala i oblika predmeta obrade, vrste alata, sile rezanja, brzine rezanja i dovodjenja SHP. Pored toga, često se za pojedine postupke obrade postavljaju tipični zahtevi u pogledu kvaliteta izradjenih delova. Kao opšte pravilo važi da postupci obrade sa većim opterećenjem alata i pri nižim brzinama rezanja zahtevaju posebno dobro podmazivanje, a da postupci obrade sa višim vrednostima brzine rezanja (intenzivnije generisanje toplote) zahtevaju posebno dobro hladjenje. Prema ovom pravilu sačinjena je gruba klasifikacija postupaka obrade kod kojih je definisana geometrija reznog dela alata (sl.2).

Vrsta postupak obrade	Stepen težine obrade rezanjem	Brzina rezanja
- provlačenje	visok	niska
- rezanje navoja		
- odvalno rendisanje		
- duboko bušenje		
- usecanje		
- struganje na automatu		
- bušenje		
- odvalno glodanje		
- glodanje		
- struganje		
- sečenje	nizak	visoka

Sl. 2.-Stepen težine vrste obrade rezanjem pri obradi istog materijala

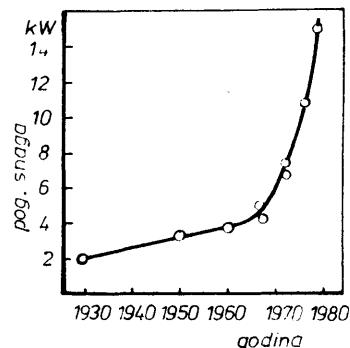
Prema tome, za čelike približno važe sledeće:

- pri visokim opterećenjima reznog dela alata preporučuju se SHP sa većom količinom (adi-

- tiva (SHP nerastvoriva u vodi),
- za lakše postupke obrade primeniti prvenstveno SHP rastvoriva u vodi,
- u slučaju rada sa srednjim opterećenjem reznog dela mogu se primenjivati alternativno SHP nerastvoriva u vodi ili EP-emulzije.

1.1.2. Režim rezanja

Režim rezanja (brzina rezanja, korak, dubina rezanja) utiče na veličinu opterećenja reznog dela alata. Najuticajnija je brzina rezanja. Ona se u opštem slučaju bira tako da se ostvaruje neprekidna obrada odgovarajućeg materijala, veća otpornost na habanje alata i bolje hladjenje i podmazivanje u zoni rezanja. Granične vrednosti brzine rezanja i ostalih parametara režima obrade dobijaju se iz uslova stvorene količine toplote, postojanosti alata, konstruktivnih i eksploatacijskih karakteristika alatnih mašina (npr. vibracije), kao i probleme vezane za primenu mašina (npr. stvaranje uljne magle).



Sl. 3. - Povećanje snage glodalica za rezanje navoja

Pri radu sa velikim brzinama rezanja zbog postojanja jakog toplotnog izvora zahteva se dobro hladjenje. Kod nižih brzina rezanja povećavaju se zahtevi u pogledu podmazivanja (prvenstveno primena SHP nerastvorivih u vodi). Postoji opšta tendencija povećanja brzine i dubine rezanja (sl. 3.). Ovo ima kao posledicu veće zahteve u pogledu SHP (kvalitet SHP, dovodjenje SHP).

1.1.3. Material predmeta obrade

Drugi element koji utiče na proces obrade je materijal predmeta obrade, a delimični uticaj ima i oblik, veličina, stanje površine pre obrade i krutost predmeta obrade.

Obradivost metala zavisi od njihovog hemijskog sastava i stvorene strukture, a ova od načina dobijanja

materijala (livenje, obrada na toplo ili hladno), kao i primenjene naknadne termičke obrade (npr. kaljenje, žarenje). Važna svojstva materijala vezana za obradivost su zatezna čvrstoća, tvrdoća i veličina istezanja. Kao dobro obradivi materijali kod vrsta obrade sa definisanim geometrijom reznog dela pri obradi metala rezanjem tretiraju se oni kod kojih:

- nastaju manji otpori rezanja i manja potrošnja pogonske energije,
- ostvaruju se velike brzine i dubine rezanja pri visokim postojanostima alata,
- ostvaruje se visok kvalitet obradjene površine (niska hravavost, odgovarajuća svojstva površinskog sloja),
- nastaje strugotina željenog oblika i veličine.

Pri istoj čvrstoći i tvrdoći materijala predmeta obrade sa grubljom strukturu su lakše obradivi od istih sa finom strukturom. Povećana tvrdoća i čvrstoća prouzrokuju otežano rezanje usled povećanog pritiska između predmeta obrade, alata i strugotine. Materijali sa manjim istezanjem (krti materijali) pri obradi imaju kratku strugotinu i stoga se često lako obradjuju. Sa povećanjem istezanja raste plastičnost materijala. U tom slučaju stvara se duža strugotina i povećava se sklenost ka stvaranju naslage.

Paušalna ocena obradivosti u SAD daje se preko indeksa obradivosti. On se proračunava pomoću izraza:

$$\text{indeks obradiv. } I = \frac{\text{brzina rezanja isp.mater.}}{\text{brzina rezanja ref.mater.}} \times 100\%$$

Kao referentni materijal predmeta obrade služi američki čelik za automate (B1112). Brzine rezanja se upoređuju pri istim ostalim uslovima ispitivanja i pri istoj ostvarenoj postojanosti alata. Vrednosti indeksa obradivosti tipičnih vrsta materijala date su na sl. 4. Prema tome, ako je za ispitivani materijal dobijena vrednost manja ili veća od 100, tada je i njegova obradiv-

ost manja ili veća od obradivosti referentnog materijala. Kod obojenih metala obradivost je u granicama 100 do 600, a kod laktih metala u oblasti 300 do 2000.

1.1.4. Material reznog dela alata

Ekonomičnost obrade metala rezanjem zavisi uglavnom od otpornosti alata na habanje. SHP može doprineti da se poveća postojanost alata, dubina rezanja i radni učinak.

Alati sa definisanim geometrijom reznog dela vrše odvajanje strugotine pomoću reznog klini koji je geometrijski određen uglom, sečivom i grudnom i lednjom površinom (npr. alati za struganje i bušenje). Važna svojstva materijala alata su tvrdoća, čvrstoća na pritisak i savijanje, žilavost, otpornost na habanje, toplotna otpornost i reakcije pri visokim temperaturama. Pored materijala alata, na proces rezanja utiču i vrsta, geometrija, dimenzije, završna obrada alata, način pričvršćiva-nja rezne pločice i krutost alata.

U alate sa ne definisanim geometrijom reznog dela mogu se ubrojiti npr. brusne ploče ili alati za honovanje, jer oni nemaju određeni geometrijski oblik reznog dela. Kao brusni materijali primenjuju se prirodni i veštački materijali visoke tvrdoće (npr. korund, karbidi, bornitrid, dijamant). Veličina zrna brusnog materijala određuje se prema nameni. Za vezivanje zrna brusnog materijala primenjuju se veziva organskog ili neorganskog porekla (keramičko vezivo, veštačke smole), koja se razlikuju u pogledu elastičnosti. Brusne ploče se razlikuju u pogledu strukture i tvrdoće. U opštem slučaju, za obradu lako obradivih materijala primenjuju se brusne ploče sa tvrdim vezivom i obrnuto. Održavanje reznih sposobnosti brusne ploče vrši se preoštrevanjem. Pri obradi alatima sa ne definisanim geometrijom reznog dela postavljaju se posebni zahtevi u pogledu hladjenja predmeta obrade, kao i poroznosti brusne ploče. U zavisnosti od opterećenja alata primenjuju se SHP nerastvoriva u vodi ili emulzije.

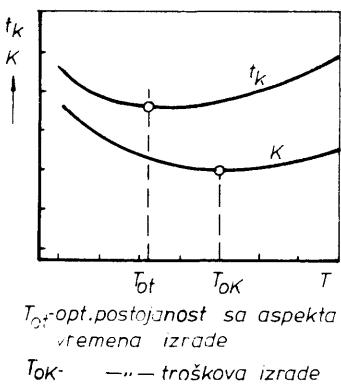
1.2. EKONOMSKI ASPEKTI

Ekonomičnost obrade metala rezanjem može se povećati usled povećanja proizvodnosti ili smanjenjem troškova pri istom obimu proizvodnje. Sl. 5 pokazuje da je postojanost alata pri proizvodnji sa minimalnim troškovima u opštem slučaju veća u odnosu na proizvodnju sa minimalnim vremenom izrade (veća brzina rezanja).

Izbor SHP se mora prilagoditi ovim odnosima. To znači da su pri izboru SHP obuhvaćeni i ocenjeni faktori povećanja proizvodnosti i smanjenja troškova po jedinici proizvoda.

Sl. 4. - Obradivost različitih materijala

Iskustveno se zna da troškovi SHP čine najviše 1% troškova izrade jedinice proizvoda. Moguće uštode pri

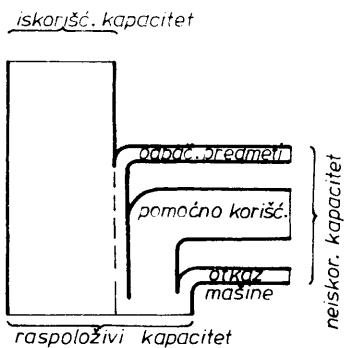


Sl. 5. - Postojanost alata

kupovini SHP iznose samo jedan deo ovog procenta. Nasuprot tome, vreme izrade i troškovi izrade jedinice proizvoda mogu se u velikoj meri smanjiti izborom odgovarajućih SHP.

1.2.1. Proizvodnost

Proizvodnost zavisi od faktora datih na sl. 6, na koji se može uticati izborom pogodnog SHP.



Sl. 6. - Iskorišćenje kapaciteta alatnih mašina

Stepen obrade može se u mnogim operacijama obrade metala rezanjem povećati izborom povoljnog režima obrade i odgovarajućeg SHP (manje vreme trajanja procesa proizvodnje), bez uticaja na postojanost alata i kvalitet obrade. Ovo ima za posledicu povećanu proizvodnost pri istovremeno nižim troškovima proizvodnje po jedinici proizvoda.

Pored vrste SHP utiče i kvalitet SHP, viskozitet, odnosno, koncentracija rastvora u vodi. Odredjeni uticaj imaju i količina dovedenog SHP, kao i način dovodjenja SHP do zone rezanja.

Često se samo istraživanjem može ustanoviti koje SHP u datim uslovima obrade omogućuje rad sa većim presečinama strugotine.

Neostvareni kvalitet proizvoda (škart) može biti prouzrokovani i usled primene neodgovarajućeg SHP, pri čemu dolazi do:

- netačnosti dimenzija i oblika obradjenog dela,
- nižeg kvaliteta obradjene površine (gruba površina, tragovi kidanja materijala, valovitost, krateri na obradjenoj površini),
- korozije i promene boje površine,
- termičkih pojava na obradjenoj površini (naknadno kaljenje, amešavanje, pregorevanje).

Otkrivanje uzroka koji dovode do pojave škarta usled primene neodgovarajućeg SHP zahteva odgovarajuća specijalistička znanja.

U obradi metala rezanjem pod mašinskim vremenom podrazumevaju se glavno vreme izrade (vreme rezanja) i pomocno vreme. Ovo poslednje odnosi se npr. na vreme pripreme, podešavanja alata, memorisanje programa kod NC alatnih mašina i čišćenje mašine. Izborom odgovarajućeg SHP utiče se na povećanje postojanosti alata, a time se smanjuje ukupno vreme potrebno za izmenu alata.

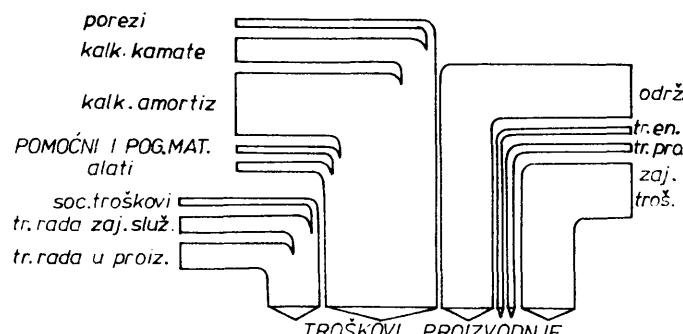
U pogledu zastoja mašina razlikuju se planirani zastoji (posle završetka smene, vreme potrebno za održavanje mašina) i neplanirani zastoji koji nastaju usled poremećaja procesa proizvodnje ili oštećenja elemenata opreme. Poslednji mogu nastati usled pogrešnog izbora i primene SHP. Najčešći uzroci zastoja su:

- habanje elemenata alatnih mašina (vodjice, ležišta, vretena) uključujući ispiranje uljno-filma usled dejstva SHP na bazi vodenih rastvora;
- korozija i zaribavanje u sistemu podmazivanja ili u hidrauličkom sistemu za pogon alatne mašine zbog ulaska SHP u iste (ovo se odnosi na vodene rastvore SHP i agresivna SHP),
- poremećaji ili kvarovi u sistemu dovođenja SHP, kao npr. lom cevi za dovod SHP, pojave mikroorganizama, itd.,
- krzanje ili lom alata, npr. keramičkih alata usled primene neodgovarajućeg SHP.

1.2.2. Troškovi proizvodnje

Na sl. 7 data je struktura troškova proizvodnje svedenih na radno mesto. U pomoćne materijale ubrajaju se SHP, ulje za podmazivanje, hidraulično ulje, sredstvo za čišćenje. Iz ove slike jasno se vidi da je mali udio troškova SHP u ukupnim troškovima proizvodnje, i prema [4] troškovi SHP iznose oko 1% troškova izrade jedinice

proizvoda. Mnogo važnije je da troškovi proizvodnje i troškovi izrade jedinice proizvoda u većoj meri opadaju



Sl. 7. - Komponente troškova proizvodnje pri struganju na NC-strugu

usled pravilnog izbora SHP. Kod mnogih operacija u obradi rezanjem može se podešavanjem režima obrade i izborom SHP povećati poprečni presek strugotine uz istu postojanost alata i kvalitet predmeta obrade. Usled toga se smanjuje vreme izrade, povećava proizvodnost pri istovremeno nižim troškovima proizvodnje.

Izborom SHP može se uticati pre svega na sledeće vrste troškova:

- troškovi alata

Povećanjem postojanosti alata smanjuju se troškovi alata i utrošak rada na zameni i oštecenju alata.

- troškovi održavanja

SHP nisu u opštem slučaju pogodna za podmazivanje alatnih mašina. Ovo posebno važi u slučaju primene vodenih rastvora SHP koja mogu zbog prodora u klizni par (npr. vodjice ili ležište) da izazovu troškove održavanja i iznad 10.000 DM. Zbog toga su povoljnija SHP koja se ne mešaju sa vodom.

- pomoći troškovi SHP

U ove troškove ubrajaju se troškovi manipulacije, nadgledanje, održavanje SHP i sistema za dovod SHP. U daljem tekstu ovi troškovi će biti detaljnije opisani.

Troškovi SHP sastoje se iz troškova nabavke i pomoćnih troškova. Na sl. 8 zajedno su predstavljeni troškovi različitih vrsta SHP. U ovom pregledu je navedeno da su vodeni rastvori SHP povoljniji u pogledu nabavne cene. SHP koja se ne rastvaraju u vodi imaju prednosti u pogledu manipulacije, nege i održavanja. Povećanje troškova vezanih za rad radnika na manipulaciji, nezi i održavanju SHP umanjuje ekonomičnost primene emulzija i ra-

stvara SHP u vodi. Već danas su troškovi održavanja SHP veći od troškova nabavke SHP.

Troškovi SHP	SHP koja se ne mešaju sa vodom	SHP koja se mešaju sa vodom	
		Rastvori	Emulzije
Troškovi nabavke godišnje	viši	niži	niži
Troškovi nadgledanja	niski	viši	viši
Troškovi održavanja	niski	viši	visoki
Troškovi otklanjanja ulja	visoki	ne postoje	niski
Troškovi za centralni sistem	niski	viši	viši
Troškovi održav.usled SHP, usled npr. habanja pumpi, vodjica, ležaja	niski	viši	viši

Sl. 8. - Troškovi SHP

1.3. ASPEKTI SIGURNOSTI NA RADU

Pri izboru SHP treba voditi računa i o mogućim rizicima na radu.

1.3.1. D e j s t v o n a r a d n o o s o b l j e

Pri visokim radnim brzinama kao npr. pri brušenju SHP koja nisu rastvorljiva u vodi su skloni stvaranju uljne magle. Ovaj problem se rešava primenom SHP koja nemaju sklonost ka stvaranju uljne magle ili zatvaranjem mašine i korišćenjem uređaja za ventilaciju.

Jak i neprijatan miris nastaje pri razlaganju emulzije usled dejstva mikroba. Primena emulzija koje se bolje održavaju može biti rešenje u nekim slučajevima.

Pri primeni SHP neophodno je postojanje odgovarajućih mera higijene. One obuhvataju brižljivo pranje kože od SHP, primena odgovarajućih zaštitnih krema za kožu, korišćenje maramica i sredstava za pranje ruku. Preporučuje se češća zamena zaprljane radne odeće.

1.3.2. S i g u r n o s t u r a d i o n i c i

SHP nisu po pravilu u klasi opasnih materija. Pri njihovom skladištenju ipak treba paziti na preporuke u vezi zaštite. Podovi koji su zaprljani uljem moraju se najpre očistiti odgovarajućim sredstvom zbog opasnosti od klizanja (npr. primena piljevine).

1.3.3. Zaštita okoline

SHP su materije koje zagadjuju vodu. Ona se infiltiraju pod zemlju ili uvode u kanalizaciju. SHP na bazi mineralnih ulja nagrizaju betonski pod pri dužem delovanju. U tom slučaju se vrši prevlačenje podova voskom.

1.4. FAKTORI IZBORA KOJI SE ODNOSE NA VISINU SHP

1.4.1. Propisi i preporuke proizvodjača mašina

Pri izboru SHP treba uzeti u obzir propise i preporuke proizvodjača alatnih mašina.

Kod većine alatnih mašina izbor SHP je prepusten korisniku. Sistemi za dovodenje SHP u zonu rezanja u opštem slučaju su primenljivi za sve vrste SHP.

Neki proizvodjači alatnih mašina propisuju vrstu SHP ili je preporučuju. Za precizne automate, koji proizvode delove za satove, optičke ili merne uređaj, proizvodjači alatnih mašina propisuju SHP koja se ne mešaju sa vodom. U slučaju korišćenja vodenih rastvora isti mogu prodreti u zazor između vodjica i tako uticati na preciznost mašine.

U nekim slučajevima otežane obrade (npr. odvalno rendisanje, duboko bušenje) proizvodjači mašina propisuju isprobano SHP sa oznakom isporučioca. Tada je opasno nepoštovanje propisa jer se gubi pravo na garanciju. Uvodjenje drugog SHP tada zahteva usaglašavanje sa proizvodjačem alatnih mašina.

1.4.2. Uticaj isporučioča u lja

SHP renomiranih proizvodjača ulja zasnovana su na praćenju razvoja obrade metala rezanjem i materijala za SHP. Pre plasiranja na tržište SHP se ispituju u pogonskim uslovima više od godinu dana, jer u laboratorijskim uslovima se može ustanoviti kvalitet SHP samo delimično, a mnogo više pri praktičnoj proveri u pogonu.

Servisne usluge i specijalistička znanja isporučioča ulja mogu uticati na smanjenje troškova alata, troškova zastoja mašine, troškova održavanja i troškova nadgledanja SHP.

2. KLJUČ ZA IZBOR SHP

Izbor SHP obuhvata predizbor i završni izbor. Pri prethodnom izboru mora se utvrditi da li zahteve u pogledu ostvarivanja procesa rezanja ispunjavaju korišćenje SHP ili obrada bez upotrebe SHP, primena SHP rastvorivih u vodi ili nerastvorivih u vodi, primena emulgirajućih

SHP ili vodenih rastvora SHP.

Završni izbor se vrši na osnovu preglednih i lako razumljivih tabela. U ovim tabelama treba da budu obuhvaćeni postupci obrade, najčešće korišćene vrste materijala predmeta obrade i različite vrste SHP.

2.1. PRETHODNI IZBOR

2.1.1. Obrada sa ili bez korišćenja SHP

Tipične oblasti primene obrade sa ili bez korišćenja SHP date su na sl. 9. Većina operacija u oblasti metala rezanjem izvodi se korišćenjem SHP. Prednosti koje

Obrada bez korišćenja SHP	Obrada sa korišćenjem SHP
<ul style="list-style-type: none">• lako obradivi materijali (npr. SL, obojeni i laki metali) pri obradi sa nizim opterećenjem alata• delimično pri korišćenju alata od tvrdog metala• pretežno pri korišćenju keramičkih alata	<ul style="list-style-type: none">• čelici i drugi normalno i teže obradivi materijali• postupci obrade sa većim opterećenjem alata• obrada na automatima• obrada brušenjem• obrada u većim serijama

Sl. 9. - Oblast primene obrade sa i bez korišćenja SHP

se ostvaruju na ovaj način su veća postojanost alata, bolji kvalitet obradjene površine i bolje odvodjenje strugotine. Prednost obrade bez upotrebe SHP je pre svega u operacijama sa lakšim uslovima obrade, jer tada ne postoje troškovi SHP, uključujući i pomoćne troškove za negu, pripremu, održavanje, pripremu i transport SHP do mašine. Specijalno kod obrade sivog liva obrada bez korišćenja SHP je povoljnija za personal jer se usled kvašenja stvara talog.

U uslovima povećanih brzina rezanja i obradom sa većim poprečnim presekom strugotine, kao i primene skupih alata obrada rezanjem uz primenu SHP sve više se primenjuje i istiskuje čak i ranije tipične slučajeve obrade bez korišćenja SHP.

2.1.2. Material predmeta obrade

Lako obradivi materijali se delimično obradjuju na suvo (bez korišćenja SHP), posebno ako se koriste u operacijama gde je manje opterećenje alata. Ovoj grupi pripadaju lako obradivi sivi i temper liv, kao i mnogi laki i obojeni metali. Sa povećanjem opterećenja alata i lako obradivi materijali se delimično ili isključivo obradjuju

uz prisustvo SHP.

Kod sivog ili temper liva pri upotrebi SHP dolazi do povećanih troškova za regeneraciju jer grafit iz strugotine ima sklonost ka grudvanju (nagomilavanju) i usled toga može doći do zatvaranja filtera. Kod obojenih metala mora se računati i sa bojenjem površine. Rezanje uz korišćenje SHP dolazi u obzir samo ako se primenom istog ostvaruju manji troškovi alata. Ovo važi uopšte za sve nelegirane i legirane čelike, kao i čelični liv i mnoge specijalne materijale.

2.1.3. Material alata

Alatni čelici se zbog niže otpornosti na povišenim temperaturama koriste pri obradi lako obradivih materijala uz prisustvo SHP. Obrada bez korišćenja SHP u opštem slučaju vrši se pri struganju sivog liva, a često i pri obradi bez posebnih zahteva, npr. pri upuštanju, bušenju otvora malih dubina itd. Tvrdi metali se pretežno koriste sa SHP. Keramički materijali se ne prepominjuju sa SHP, jer se mора voditi računa o pojavi krzanja zbog dejstva zakaljivanja.

2.1.4. Postupak obrade

Kod postupaka sa manjim zahtevima u pogledu rezanja (manje brzine rezanja, dobro odvodjenje strugotine) često se primenjuje obrada bez SHP, pre svega kod rendisanja, ali i kod struganja. Povećanje brzine rezanja, kao i uvodenje skupljih alata dovodi do upotrebe SHP čak i u operacijama koje su se ranije vršile bez SHP (sečenje, glodanje). Pri brušenju i ostalim postupcima obrade sa geometrijski nedefinisanim reznim delom alata obrada se u opštem slučaju vrši uz prisustvo SHP.

2.1.5. SHP koja se mešaju ili ne mešaju sa vodom

Na osnovu sl. 10 i sl. 11 vrši se prethodni izbor. Iz pregleda se vidi da se u mnogim slučajevima mogu alternativno primeniti obe vrste SHP. Odlučivanje za jednu od njih nije uvek jednostavno zbog razlike u načinu delovanja i ceni nabavke.

2.2. ZAVRŠNI IZBOR

Prema iskustvu u mnogim proizvodnim organizacijama dovoljne su 4 vrste SHP da se prekriju sve operacije u obradi rezanjem.

Postupci obrade (sa geom. definisanim reznim delom alata)	Vrsta SHP	
	Rezno ulje	Emulzije i vodenii rastvorii
Provlačenje	++	+
Rezanje navoja	++	+
Fina obrada ozubljenja	++	
Odvalno rendisanje	++	
Duboko bušenje	++	+
Usecanje	++	+
Glodanje, odvalno glod.	++	++
Struganje, bušenje, rad na automatu	++	++

Značenje: ++ pretežno u upotrebi
+ delimično u upotrebi

Sl. 10. - Prethodni izbor vrste SHP pri rezanju sa geometrijski definisanim reznim delom alata

Postupci obrade (sa geom. nedefinisanim reznim delom alata)	Vrsta SHP	
	Rezno ulje	Emulzije i rastvorii
Honovanje, superfiniš	++	+
Brušenje žlebova	++	
Brušenje navoja	++	+
Brušenje alata	++	++
Brušenje zuba zupčanika	++	+
Okruglo brušenje	+	++
Brušenje bez šiljaka	+	++
Ravno brušenje	+	++

Sl. 11. - Prethodni izbor vrste SHP pri rezanju sa geometrijski nedefinisanim reznim delom alata

Tabele za izbor koje daju proizvodjači SHP mogućuju samo ograničen izbor SHP. Takođe, u tabeli treba da bude ograničen broj lako, srednje i teško obradivih materijala koji se obradjuju u najčešće primenjivim operacijama obrade. Preporuke koje su date u tabeli služe za optimalni izbor SHP (primarne preporuke). Sekunarne preporuke treba da moguće izbor jednog produkta za različite postupke obrade u cilju smanjenja različitih SHP. Tabela treba da da pregled SHP koja su bezopasna po okolini i višenamenskih ulja (za obradu, podmazivanje, hidrauliku), što se vidi na sl. 12.

Kod SHP koja se ne rastvaraju u vodi treba izabrati ono sa nižom viskoznosću pri ostalim nepromjenjenim karakteristikama. Viskoznost ovih produkata je u oblasti 2-40 mm²/s(cSt) pri temperaturi 40°C. Donja granica viskoziteata je definisana u odnosu na temperaturu paljenja i sklonost ka stvaranju magle.

Uporedne karakteristike	Vrsta SHP	
	Rezno ulje	Emulzije i vodeni rastvori
Snaga rezanja	Pretežno za srednje do teške obrade	Pretežno za laku i srednju obradu
Brzina rezanja	Pretežno kod nižih i srednjih brzina rezanja	Pretežno kod visokih brzina rezanja ili pom.kretanja
Postojanost alata	U opštem slučaju viša	U opštem slučaju niža
Kvalitet obradjene površine	U opštem slučaju bolji	U opštem slučaju lošiji
Delovanje na materijal predmeta obrade	Promena boje obojenih metala (bakar)	Ne preporučuje se kod magnezijuma
Delovanje na materijal alata	Pogodno za sve vrste materijala alata	Pogodno za TM, a samo u posebnim slučajima za keramičke materijale
Delovanje na mašinu	Nema uticaja	Često nastaju problemi
Problemi reagovanja sa mašinom	Nema reakcije	Manje dobro rešenje
Uticaj na personal	Bolja podnošljivost kože	Sklona stvaranju mikroorganizma
Zagadjenje okoline	Zaprlijanost podova i hale	Malo
Oblast primene	Za sve materijale i postup. obrade	Ne prekriva sve materijale i obič. primene
Vek trajanja	Viši	Niži
Rezistentnost na bakterije	Dobra	Manje dobra
Zaštita od korozije predm. obrade i mašine	Dobra	Manje dobra
Potrošnja SHP	Viša	Niža
Zapaljivost	Zapaljiva	Nezapaljiva
Troškovi nabavke SHP	Viši	Niži
Pomoćni troškovi SHP	Niski	Visoki
Troškovi za central.sistem SHP	Niži	Viši

Sl. 12. - Uporedne karakteristike različitih vrsta SHP

Završni izbor različitih vrsta SHP vrši se na osnovu operacija u kojima se SHP primenjuje, materijala pre-

dmeta obrade, brzine rezanja, kvalitet obradjene površine, mogućnost korozije.

Kod težih operacija obrade, kao npr. provlačenja ili rezanja navoja, ili teško obradivih materijala primenjuju se emulzije sa visokim udelom EP-aditiva. Ove emulzije se koriste u relativno visokim koncentracijama (do 20%).

Pri obradi sivog liva pred SHP se postavljaju visoki zahtevi u pogledu zaštite od pregrevanja. Pri obradi ovih materijala uz primenu emulzija ove treba da budu fino dispergovane, jer grubo dispergovane emulzije utiču na pojavu korozije, te je potrebna veća količina koncentrata.

U ovom slučaju rešenje je u tome da pri većim brzinama treba povećati koncentraciju SHP. Pri brušenju sa većim obimnim brzinama moraju se primeniti fino dispergovane emulzije ili takva rešenja kojima se izbegavaju termičke deformacije predmeta obrade. Koncentracija iznosi u opštem slučaju 2-3%.

Da bi se izgubilo stvaranje mikroorganizama preporučuju se polusintetičke emulzije "lake za održavanje". One sadrže izvesnu količinu mineralnog ulja (oko 20%) i omogućuju visoku postojanost alata. Ovaj tip emulzija koristi se pretežno sa malim koncentracijama.

Za svaku radnu organizaciju je stoga veoma važno da izabere pravilno vrstu SHP da bi se povećala proizvodnja ili smanjili troškovi ili oboje istovremeno.

LITERATURA

- [1] DIN 51385: Kühlschmierstoffe; Begriffe (November 1981), Berlin: Beuth Verlag 1981.
- [2] Kühlschmierstoffe für die Metallbearbeitung. Teil 1: Arten, Auswahl, Grundlagen, Teil 2: Probleme, Anwendung, Umlaufsysteme. Hrsg. Mobil Oil AG, Hamburg 1981/82.
- [3] VDI 3321, Blatt 1: Optimierung des Spanens; Grundlagen (März 1976), Düsseldorf: VDI-Verlag, 1976.
- [4] KLICPERA, U.: Schnittdatenwahl - Optimierungsstrategien und Herstellkosten, VDI-Z Bd.120 (1978).Nr 18, S.831/36.