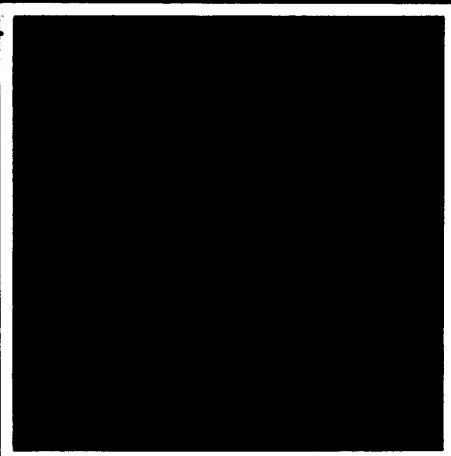
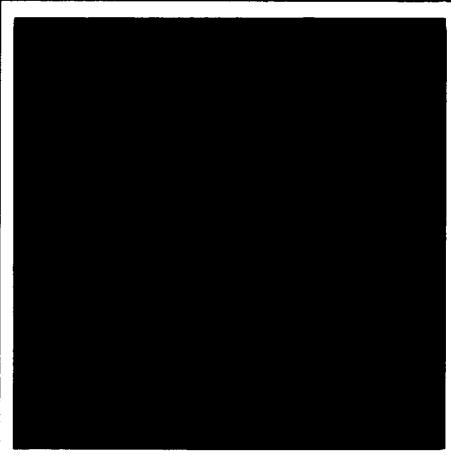
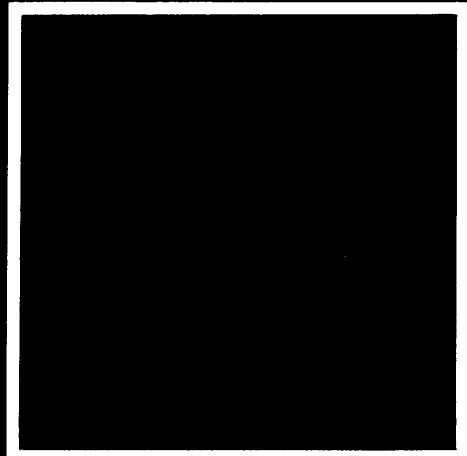
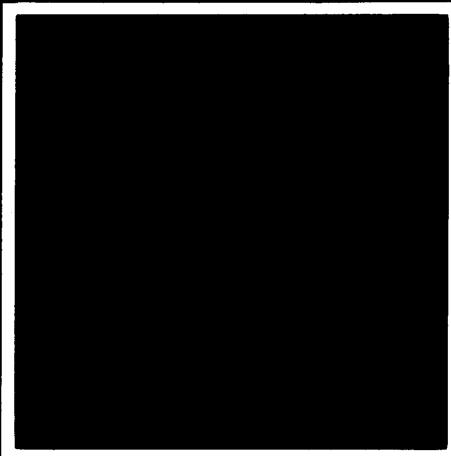
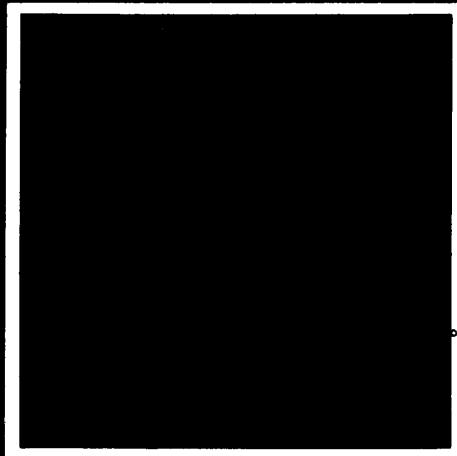


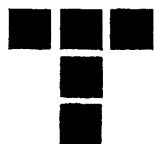
tribologija u industriji

YU ISSN 0351-1642
GODINA III
DECEMBAR 1981.

4



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



**GODINA III
BROJ 4
DECEMBAR 1981.**

tribologija u industriji

sadržaj contents содержание

P. NIKŠIĆ: Identifikacija tribomehaničkih sistema kod jednovretenih i viševretenih automata — Identification of Tribomechanical systems in Single - and Multiple- spindle Automatic Machine Tools — Идентификация трибо-механических систем в одношпиндельных автоматах 103

M. BABIĆ: Uticaj SHP na topotno opterećenje predmeta obrade i hrapavost površine u obradi metala ravnim brušenjem — The influence of Cutting Fluids on Thermal Loading of the Workpiece and Surface Fineness in Plane Grinding of metals — Влияние СОЖ на тепловую нагрузку заготовки и шершавость поверхности при обработке металла плоским шлифованием —

**ZA NEPOSREDNU PRAKSU
FOR DIRECT PRACTICE
ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ
ПРАКТИКУ**

KNJIGE I CASOPISI
BOOKS AND JOURNALS
КНИГИ И ЖУРНАЛЫ

NAUCNI SKUPOVI
SCIENTIFIC MEETINGS
НАУЧНЫЕ СОБРАНИЯ

Značaj i zadaci tehničke dijagnostike

Pouzdanost, trajnost i stepen vremenskog iskorišćenja sredstava za rad su bitni faktori za povećanje produktivnosti rada i ekonomičnosti proizvodnih procesa. Stepen vremenskog iskorišćenja sredstava za rad zavisi od njihove radne sposobnosti za izvršavanje zadate funkcije za određeno vreme i pod određenim radnim uslovima. Radna sposobnost sredstava za rad, mačinskih sistema je promenljiva u vremenu, čije promene su rezultat slučajno promenljivih ulaznih veličina, promenljivih stanja sistema i promenljivih procesa transformacije u samim sistemima. Vremenska slika stanja mačinskih sistema može se pratiti verovatnoćom pojave osnovnih stanja: stanjem u radu i stanjem u otkazu. Mačinski sistemi su najčešće regenerativni sistemi, jer se merama intervencije sistem prevodi iz stanja otkaza u stanje u radu, odnosno vrši se regeneriranje radne sposobnosti sistema za izvršavanje funkcije u granicama dozvoljenih odstupanja za date radne uslove. Iznenadni otkazi mačinskih sistema su uslovjeni karakterom promene parametara sistema kao posledica slučajnog procesa i nemonotonog karaktera. Takvi otkazi izazivaju najveći i najduži poremećaj tehničkih procesa, najveće zastoje u proizvodnji i bitno utiču na stepen iskorišćenja proizvodnih kapaciteta.

Ako se želi da se racionalnim sredstvima otkloni verovatnoća pojave iznenadnih otkaza, neophodno je dijagnosticirati stanje sistema u radu. U tu svrhu se počela da razvija i postepeno primenjuje **tehnička dijagnostika** kao savremena stručna disciplina. Tehnička dijagnostika se razvija na osnovu dostignuća fundamentalnih nauka, teorije pouzdanosti sistema, metrologije i tribologije, i postepeno u primeni zauzima svoje mesto u organizaciji i ekonomici proizvodnje.

Zdravstvena zaštita zaposlenih u privredi radi utvrđivanja njihove

zdravstvene sposobnosti koristi savremenog opremljene dijagnostičke centre ili laboratorije. Nameće se komparativno pitanje da li proizvodne sa-moupravne organizacije, koje upravljaju sredstvima za rad, tim ogromnim društvenim bogatstvom, preduzimaju organizovane mere za dijagnosticiranje radne sposobnosti ovih sredstava u cilju preventive i zaštite od nepredviđenih otkaza.

Savremena sredstva za rad karakteriše veći stepen složenosti strukture tih sistema sa mehaničkim, hidrauličkim, pneumatskim, električnim i elektronским komponentama, te je problem utvrđivanja uzroka iznenadnog otkaza i otklanjanje uzroka zamenom, ili opravkom komponenata, složeniji, sporiji i skuplji. Ovaj aspekt ima poseban značaj za uvoznu opremu s obzirom na teškoće uvoza rezervnih delova.

Visoko razvijene industrijske zemlje primenjuju različite metode i sredstva tehničke dijagnostike za ocenu stanja radne sposobnosti sredstava za rad i transport, za prognoziranje gotovosti ove opreme za dalju eksploataciju, za procenu optimalnih troškova primene tehničke dijagnostike u proizvodnji, za postavljanje projektno - konstrukcijskih zahteva u fazi razvoja industrijske opreme pogodne za bezdemontažno funkcionalno dijagnosticiranje u stanju rada. Industrijski razvoj naše zemlje neosporno zahteva, a zahtevaće još oštiri u budućnosti, primenu takvih savremenih tehničkih disciplina čiji su efekti merljivi porastom dohodka, sniženjem troškova proizvodnje i porastom fizičkog obima proizvodnje.

Osnovni zadatak tehničke dijagnostike je identifikovanje stanja mačinskih sistema u uslovima ograničene informacije. Stanje sistema se opisuje skupom funkcionalno relevantnih parametara. Opisivanje sistema je moguće pomoću diskretnih ili konti-

nualnih veličina što zavisi od obima raspoložive informacije. Informacija se prikuplja na osnovu dijagnostičkih signala (vibracije, buka, temperatura, pritisak, sila, istrošenja, deforacija i dr.). Da bi se identifikovalo neko stanje sistema postoje više teorijskih metoda: metod Bajesa, metod statističkih rešenja, metrički metod i dr. Svaki priznak stanja sistema može imati dva ili više dijagnostičkih intervala, ali je neophodno da se pozna zakon raspodele bar većine kontrolisanih parametara za dato stanje sistema. Ukoliko dijagnostički signali tačnije odražavaju stanje sistema, utoliko će biti tačnija dijagnoza i ocena stanja radne sposobnosti sistema i manja verovatnoća pojave iznenadnog otkaza.

Za razvoj konkretne metode i sredstava tehničke dijagnostike (strujne mašine, mašine za obradu metala, transportne mašine, energetske mašine, vozila i dr.) neophodno je razmotriti u najopštijem obliku strukturu i sadržinu dijagnostičkih signala posmatrajući sistem u kome je X vektor ulaznih uslova dijagnosticiranja, Z vektor stanja sistema, a Y vektor dijagnostičkih signala

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{pmatrix} = f \left[\begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_k \end{pmatrix}; \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{pmatrix}; \epsilon \right]$$

Ovakav opis pokazuje da je svaki dijagnostički signal rezultat interdejstva više parametara stanja z_s i različitih uslova dijagnosticiranja x_k uz istovremeno dejstvo poremećajnih faktora ϵ u samom procesu transformacije u sistemu.

Za razvoj novog postupka za dijagnosticiranje mačinskih sistema postoje tri mogućnosti s obzirom na vektor X

- kontrola funkcionalnosti i stanja sistema pri normalnim radnim uslovima i utvrđivanje parametara stanja,
- kontrola funkcionalnosti i stanja u specijalnim uslovima dijagnosticiranja,
- stvaranjem veštačkih uslova dijagnosticiranja stanja sistema.

Pošto se odrede uslovi dijagnosticiranja, formira struktura i karakter informacije dijagnostičkog signala, definije merni pribor i utvrde kritične vrednosti parametara stanja može se

postaviti tehnologija tehničke dijagnostike bilo kao kontinualna, bilo kao periodična, zavisno od namene mašinskog sistema.

Efikasnost mera tehničke dijagnostike određuje se upoređenjem troškova investicije i primene i troškova izazvanih iznenadnim otkazima pre i posle uvođenja ove prateće tehnologije, porasta dohotka zbog povećanja vremenskog stepena iskorišćenja proizvodne opreme, povećanja fizičkog obima proizvodnje po ovoj osnovi i drugim pokazateljima poslovanja.

Geometrijsku i kinematsku tačnost alatnih mašina definiše skup parame-

tara (tačnost oblika i položaja, tačnost kretanja, uravnjenost površina itd.). U radnom režimu radnu sposobnost određuju topotne dilatacije, vibracije, buka i proizvodnost, te se ovi kompleksni parametri stanja mogu koristiti za dijagnosticiranje i za procenu i prognoziranje radne sposobnosti. Primjenjujući tehničku dijagnostiku može se vršiti zamena strukturnih delova sistema prema stanju delova, čime se omogućuje potpuno iskorišćenje trajnosti delova, nasuprot zameni delova po krutom sistemu remonta proizvodne opreme.

Za razvoj i primenu tehničke dijag-

nostike u nas ima dovoljno prostora i potrebe da se njome bavi i nauka i obrazovanje i industrija, jer taj proces zahteva primenu naučnih saznanja, specijalizovan profil stručnjaka za proizvodnju sredstava i razvoj metoda za dijagnosticiranje i industrije za proizvodnju ovih sredstava i za njihovu primenu za proveru stanja radne ispravnosti, pouzdanosti i sigurnosti.

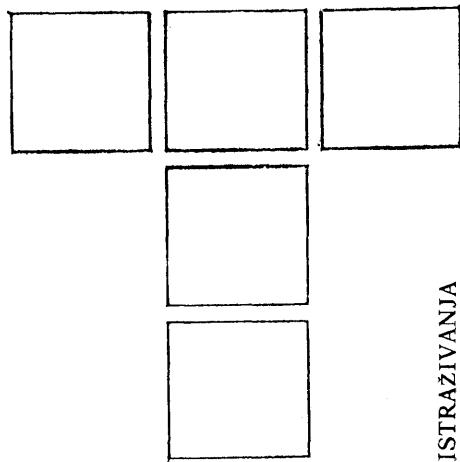
Čini se opravdanim i napor časopisa »Tribologija u industriji« da svestrano ukazuje na pravce komplementarnog dejstva nauke, obrazovanja i industrije radi efikasnijeg tehničko-tehnološkog progresa u nas.

Svim svojim pretplatnicima
i čitaocima
redakcija časopisa
„Tribologija u industriji“
češtita i želi uspešnu
1982. godinu

K. BOUZAKIS

Faze stvaranja strugotine i njihov uticaj na habanje alata u obradi odvalnim rendisanjem cilindričnih zupčanika

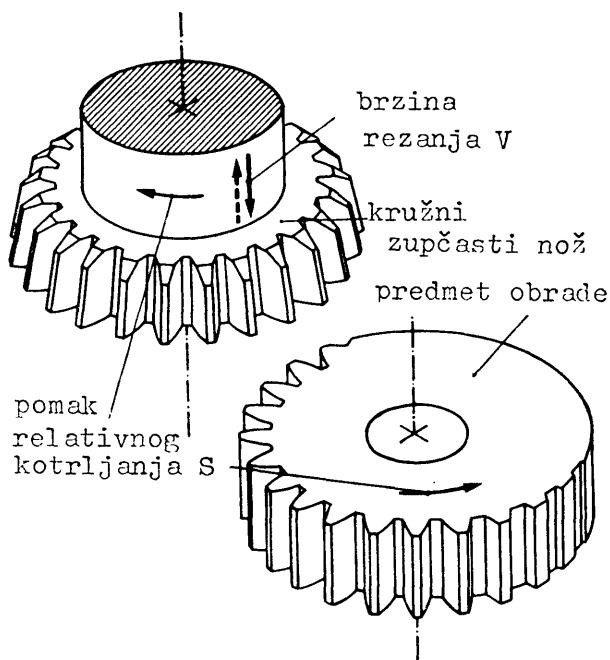
S nemačkog preveo: Dr Ratko Mitrović



ISTRAGIVANJA

UVOD

Odvalno rendisanje pri obradi cilindričnih zupčanika predstavlja jedan od dosta produktivnih proizvodnih postupaka. Istovremeno, isto, je simuliranje uparivanja dva cilindrična zupčanika od kojih jedan igra ulogu kružnog zupčastog noža, a drugi predmet obrade (slika 1).



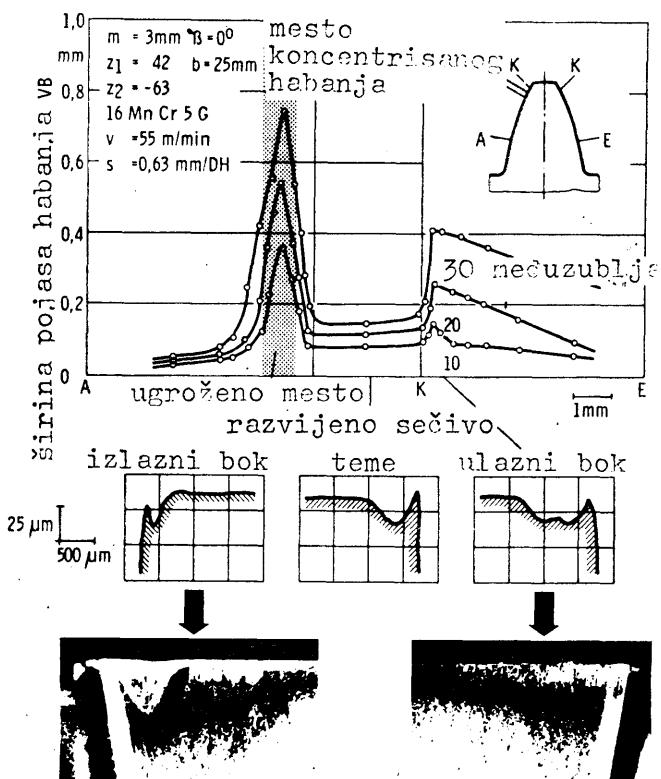
Sl. 1. — Kinematika rezanja pri odvalnom rendisanju

Nastanak strugotine se odvija uz aksijalno glavno kretanje kružnog zupčastog noža i pomoćno koje nastaje kroz međusobno relativno kružno kretanje alata i predmeta obrade. U početku procesa ozubljenja predmet obrade izvodi radikalno pomoćno kretanje do zauzimanja pune dubine rezanja, posle čega počinje proces relativnog kotrljanja.

PROCES HABANJA ALATA

Uvid u tipični razvoj procesa habanja zuba kružnog zupčastog noža ilustruje slika 2. U gornjem delu slike predstavljena je širina pojasa habanja duž razvijenog pro-

fila sečiva zuba u tri različita stadijuma pohabanosti. Jasno je uočljiva maksimalna širina pojasa habanja na prelaznom radijusu od temenog prema izlaznom bočnom sečivu zuba. Duž ulaznog bočnog sečiva zuba širina pojasa habanja je manje izražena od prethodne i približno se linearno povećava prema ulaznoj prelaznom radijusu.



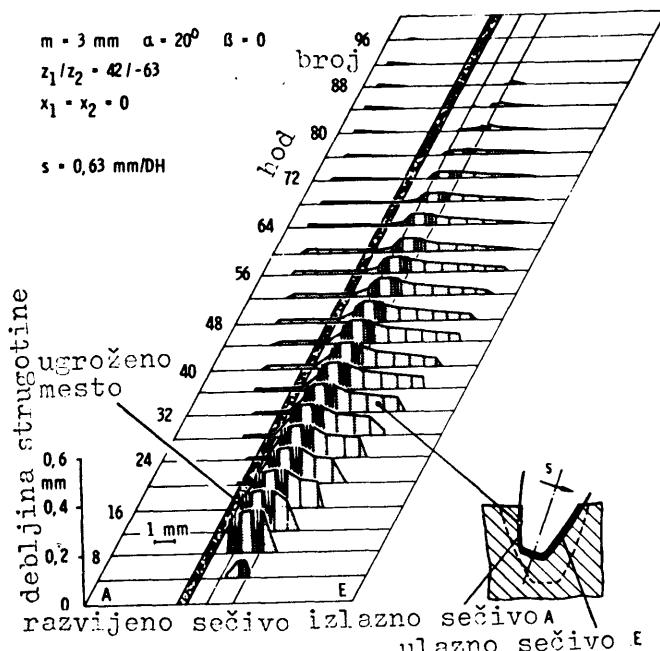
Sl. 2. — Oblik habanja zuba zupčastog noža

U donjem delu slike prikazan je izgled kratera po grudnoj površini i fotografija pojasa habanja po leđnoj površini zuba kružnog zupčastog noža u momentu njegovog potpunog zatupljenja. Dubina kratera je na sva tri označena mesta približno ista dok se u okolini prelaznog radijusa od temenog ka izlaznom bočnom sečivu uočava najmanja udaljenost sredine kratera od sečiva, a samim tim i slabljenje sečiva, što utiče na povećanje širine pojasa habanja po leđnoj površini zuba alata.

Da bi se ovaj tipičan razvoj pojasa habanja mogao razjasniti i doći do kriterijuma za optimalnu reznu geometriju ove vrste alata, u predstojećem radu je dat prilog o uticaju procesa formiranja strugotine i njenog odvođenja na habanje reznih elemenata kružnih zupčastih noževa.

PROCES FORMIRANJA STRUGOTINE I NJENO ODVOĐENJE

Na osnovu kinematike rezanja i rezultujućeg relativnog kretanja između alata i predmeta obrade vrši se skidanje materijala iz odgovarajućih međuzublja predmeta obrade. Zbog različitih uslova prodiranja pojedinih zuba alata kroz međuzublje predmeta obrade javljaju se i različite debljine i oblici strugotine. Za slučaj ozubljenja cilindričnih zupčanika sa pravim zupcima, svaki zub alata skida odgovarajući konstantni presek strugotine koji nastaje duž boka zuba obrađivanog zupčanika, kao što to ilustruje slika 3 [1 do 5].



Sli. 3. — Poprečni preseci strugotine jednog međuzublja kod odvalnog rendisanja

Na ovoj slici može se uočiti da zubi alata označeni brojevima 15 do 75 režu sa tako zvanim »U« oblikom sečiva, jer su temena i oba bočna sečiva u zahvatu. Kod ostalih zuba u zahvatu je temeno i ulazno bočno sečivo i posebno izlazno bočno sečivo, čime se formiraju kontakti u obliku slova »L« i »I« [3,6 do 10].

Na slici je, dalje, moguće zapaziti da su skinute U-strugotine različitih debljina. Na prelaznom radijusu od temenog prema izlaznom bočnom sečivu u više hodova se javljaju mali poprečni preseci strugotine, dok temena sečiva skidaju uvek relativno veće poprečne preseke. Iz tih razloga javlja se otežano odvođenje strugotine i pojačano habanje kako grudne tako i ledne površine reznih elemenata alata.

Pre nego se pride analizi procesa habanja, neophodno je razmotriti geometrijske specifičnosti kod U-oblika stru-

gotine (slika 4). U gornjem delu slike prikazane su šeme poprečnih preseka strugotina kao i smerovi njihovih tokova na temenom i bočnim sečivima. Fotografije u donjem delu slike pokazuju odgovarajuće oblike nastalih strugotina.

Strugotina na izlaznom bočnom sečivu kod poprečnog preseka označenog sa 1 (S1) je vrlo male debljine u odnosu na strugotinu temenog ulaznog bočnog sečiva, što prouzrokuje nastanak oblika strugotine datog na fotografiji ispod posmatranog slučaja.

Strugotina na izlaznom bočnom sečivu kod slučaja 2 (S2) je nešto veće debljine nego u prethodnom slučaju (S1) ali je i ona još uvek male debljine u poređenju sa strugotinom nastalom na ostala dva sečiva. Stoga strugotina temenog sečiva najvećim delom vrši pritisak na grudnu površinu, čime se otežava odvođenje ove strugotine.

Otežano odvođenje strugotine javlja se i kod poprečnog preseka slučaja 3 (S3) jer se na izlaznom bočnom sečivu javlja veća debljina strugotine. Zbog većih debljina strugotine na bočnim sečivima strugotina temenog sečiva je sprečena da jače pritska na grudnu površinu što omogućava lakše odvođenje kompletne strugotine.

Najzad kod slučaja poprečnog preseka strugotine 4 (S4) postiže se ravnomeran odvod strugotine. Strugotine nastale na temenom i bočnom sečivu su jednakih debljina i po grudnoj površini klizaju cepajući se na tri dela. Ovakvi uslovi kontakta grudne površine sa strugotinom dovode do termičkih opterećenja, ali sa ravnomernom raspodelom.

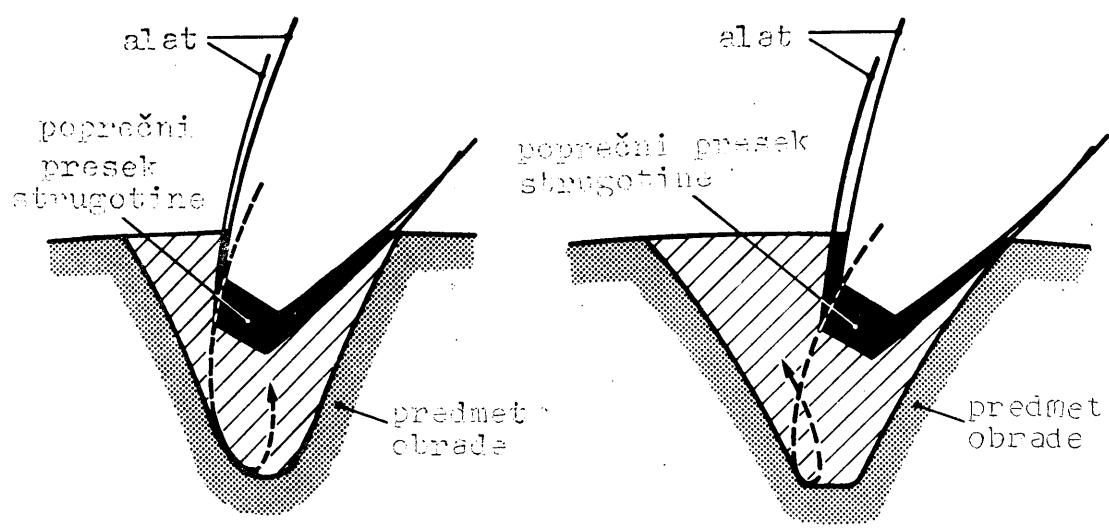
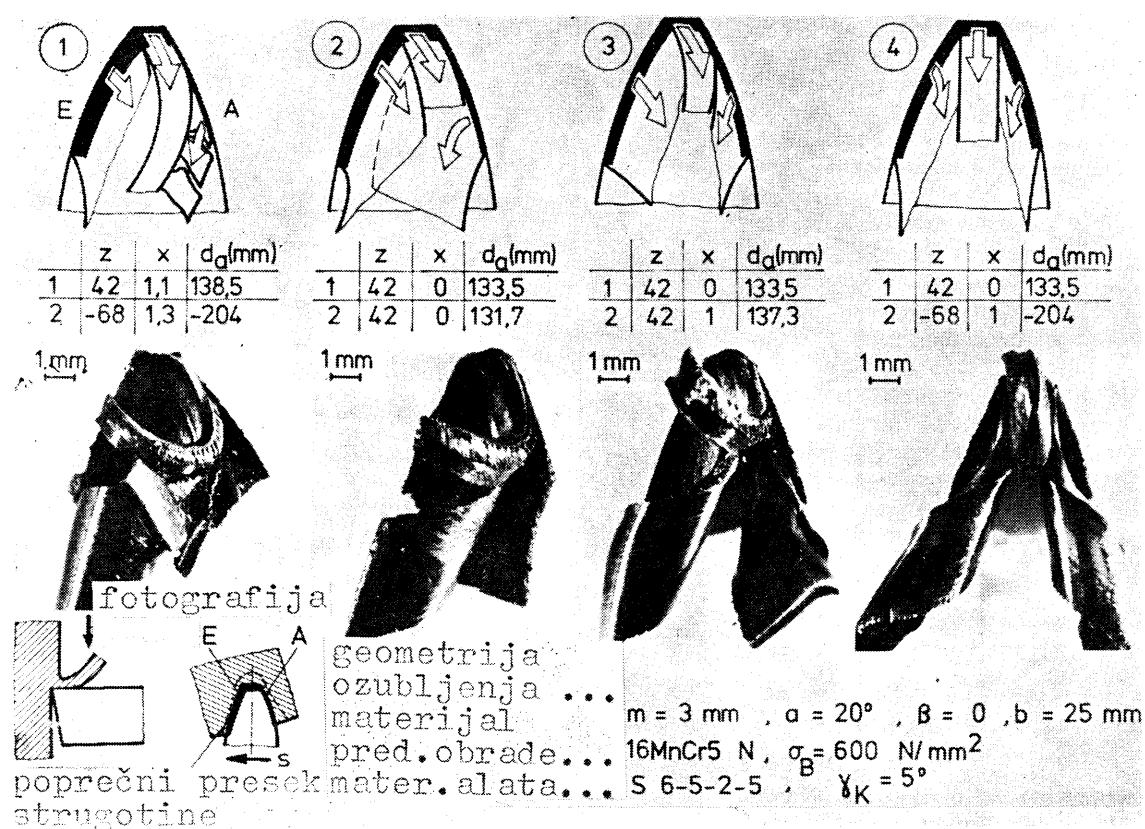
Dakle, geometrija poprečnih preseka strugotine zavisi od načina i uslova prodiranja zuba kružnog zupčastog noža u međuzublje obrađivanog zupčanika, odnosno predmeta obrade. Ovo objašnjenje uočljivo je na slici 5, na kojoj su prikazane epicikloidne putanje tačke na prelaznom radijusu od temenog prema bočnom sečivu zuba alata u slučajevima obrade međuzublja sa nepomerenim i pomerenim profilom predmeta obrade, to jest za $X_2 = 0$ i $X_2 = 0,9$ mm.

Promene ulazne putanje kod većih pomeranja profila predmeta obrade utiču na povećanje debljine strugotine na izlaznom bočnom sečivu, a time i na promenu toka strugotine. Geometrija cikloidne ulazne putanje proizvoljne tačke temenog sečiva zuba alata zavisi od odnosa osnovnih radijusa alata i predmeta obrade, to jest $SK = r_{Al}/r_{Wl}$, čije su veličine date na slici 6 [3, 4].

Ako je odnos SK manji, jednak ili veći od 1, može da nastane neka od označenih cikloida, koje pokazuju i stvaranje određenog poprečnog preseka strugotine. U tabeli donjeg dela slike 6, prikazane su veličine SK za različite slučajeve U-oblika poprečnih preseka strugotine. Pri proračunu poprečnih preseka strugotina ugrađene su ove vrednosti SK tako da je proračun primenjiv za širi diapazon slučajeva ozubljenja [1, 2].

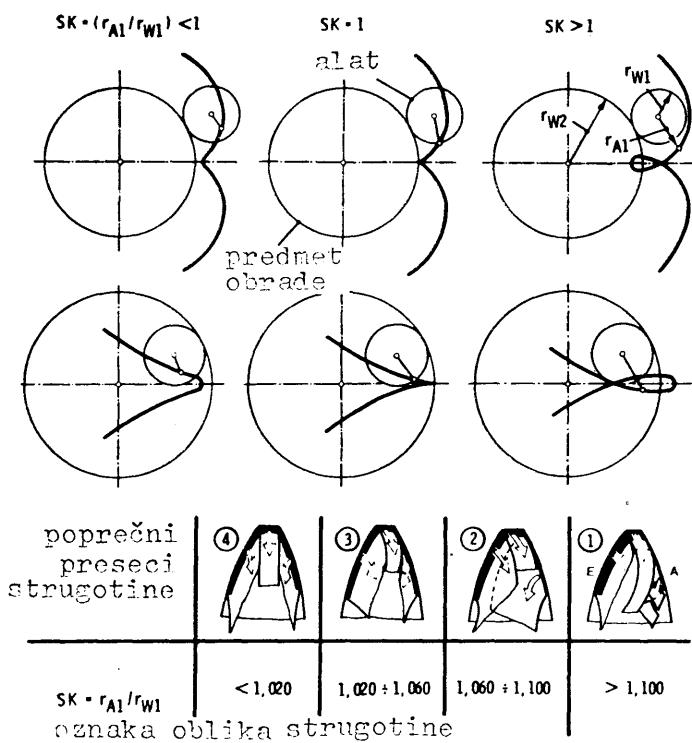
Sa uzimanjem u obzir ograničenja i kroz proračun stvarnih vrednosti SK pomoću parametara ozubljenja, postiže se mnogo u kvalitativnom smislu proračuna poprečnih preseka strugotine. Poznavanjem tačnih poprečnih preseka strugotine mogu se tačno utvrditi uslovi pod kojima se vrši odvođenje strugotine. Za slučaj kosog ozubljenja poprečni preseci strugotine od početka do završetka kontakta alata i predmeta obrade nisu konstantni, ali se i za te slučajevne može u dobroj meri nazreti očekivani tip strugotine.

Sl. 4. — Uticaj poprečnog preseka strugotine na odnošenje strugotine kod odvalnog rendisanja

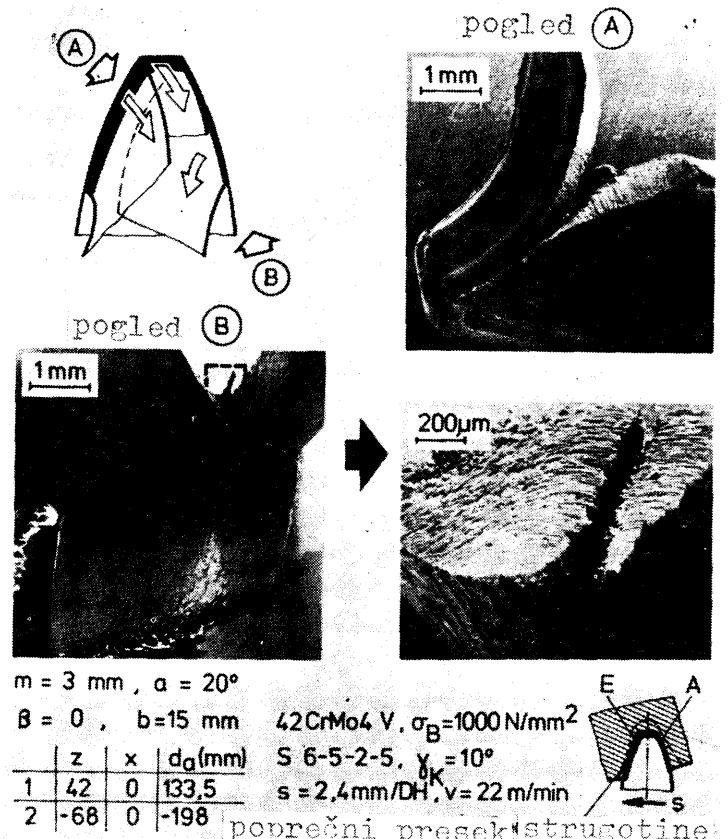


Sl. 5. — Poprečni preseci strugotine pri razlicitim uslovima prodiranja zuba alata u materijal

$$\alpha = 20^\circ \quad \beta = 0 \quad z_1/z_2 = 42/42 \quad x_1 = 0 \quad y_1 = 1,25$$



Sl. 6. — Uticaj oblika strugotine na oblik putanje zuba alata i poprečni presek strugotine



Sl. 7. — Uticaj poprečnog preseka strugotine S2 na tok strugotine

UTICAJ PROCESA HABANJA NA KLIZANJE STRUGOTINE DUŽ GRUDNE POVRŠINE

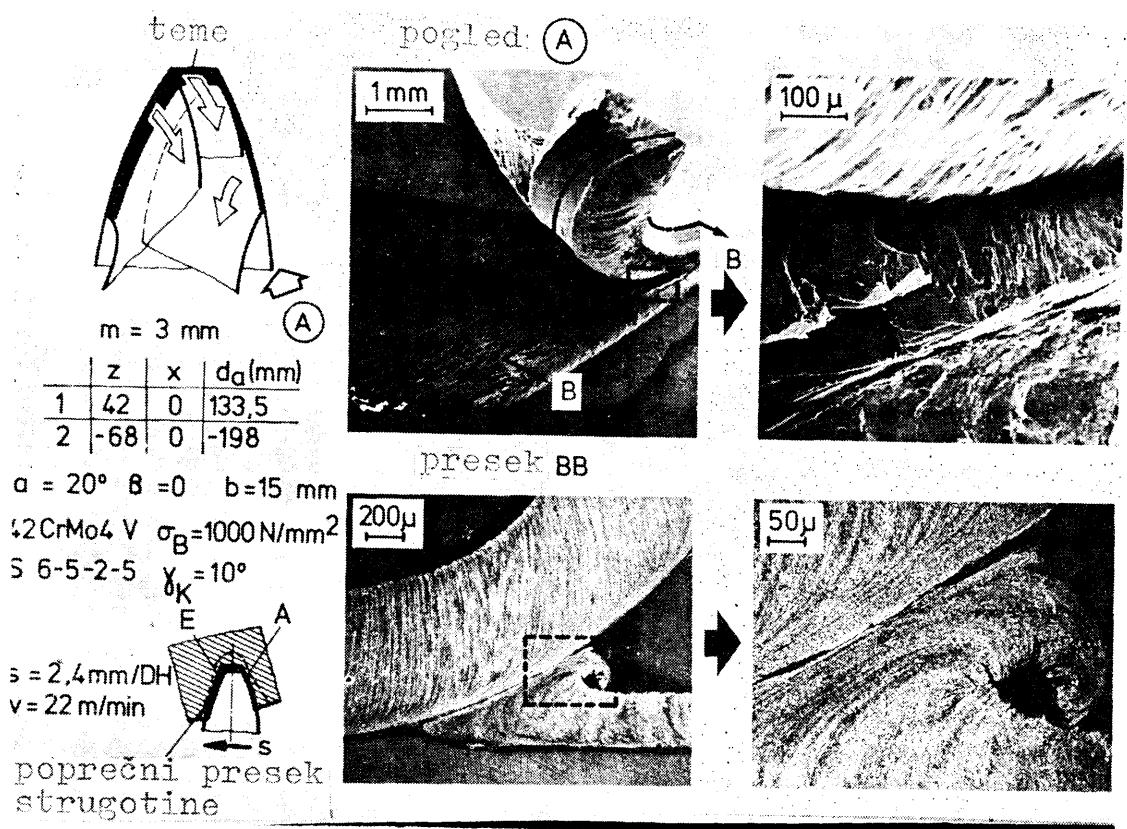
Strugotina U — oblika slučaja S2

Najpre će se razmotriti uticaj habanja na odvođenje strugotine za slučajeve strugotina U-oblika, koje odgovaraju ranije pomenutim presecima strugotine S2. Ovo iz razloga što se ovaj tip strugotine najčešće i javlja. Pri tome su istraživanja izvedena za slučajeve brzina rezanja kod kojih se ne javlja naslaga na sečivu.

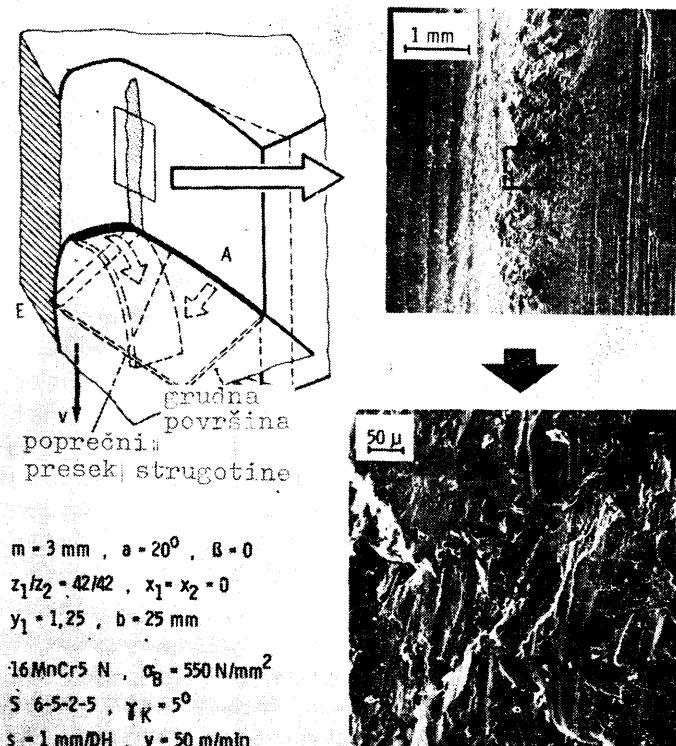
Ovako ometanje odvođenja strugotine nastale ne temenom sečivu od strane manjih debljina strugotina nastalih na ulaznom bočnom sečivu ilustruje slika 8. Na levoj gornjoj fotografiji vidit ćemo pogled strugotine S2 sa strane izlaznog bočnog sečiva. Ova strugotina je izbrušena u ravni BB i posmatrana na mikroskopu. Donja leva fotografija pokazuje jaku plastičnu deformisanost tankih strugotina nastalih na izlaznom bočnom sečivu od strane strugotine nastale na temenom sečivu, koja ima znatno veću debljinu. Zbog pojave ovakvog deformisanja tankih strugotina ometano je odvođenje strugotine, a samim tim nastaju povećana termička opterećenja, koja su maksimalna na delu grudne površine u blizini prelaznog radijusa od temenog prema izlaznom bočnom sečivu. Iz tih razloga na tom mestu nastaje dubliji krater po grudnoj površini (slika 2). Veća dubina kratera čija je osa bliža sečivu alata dovodi do slabljenja reznog klina, što znatno povećava i opasnost od krzanja sečiva na tom delu.

Daljim uvećanjem fotografije gnječenja tankih strugotina, donji desni deo fotografije, uočava se da se zbog prisustva jakog plastičnog deformisanja tankih strugotina prekoračuje granica tečenja materijala i materijal strugotine počinje da teče u smjeru najmanjeg otpora. Sa mesta nastanka strugotina teče prema boku zuba obradivog zupčanika, što se jasno vidi na gornjoj desnoj fotografiji. Ovaj jako deformisani materijal strugotine pod pritiskom deblje strugotine nastale na temenom sečivu prodire u zazor između leđne površine i obrađene površine i širi se dalje po obrađenoj i leđnoj površini. Ovaj efekat je maksimalan na prelaznom radijusu od temenog ka izlaznom bočnom sečivu (slika 9).

Sl. 8. — Deformisanje strugotine na izlaznom bočnom sečivu od strane strugotine temenog sečiva



Na fotografiji, koja je snimljena na označenom mestu boku zuba obradivanog zupčanika (gornji desni deo slike), jasno se uočavaju tragovi nalepljenog materijala strugotine. Povećani, uramljeni, deo ove fotografije dat je u donjem delu slike sa koje se stiče utisak plastično deformisanog materijala strugotine uz prisustvo intenzivnog trenja.



Sl. 9. — Tragovi delova strugotine na boku zuba zupčanika (predmeta obrade)

Ovaj efekat je posebno izražen pri izvođenju radnog hoda alata, pri čemu se na pomenutom kritičnom mestu izlaznog bočnog sečiva alata provlače strugotine malih debljina (uočljivo na hodovima alata 64 do 72 na slici 3).

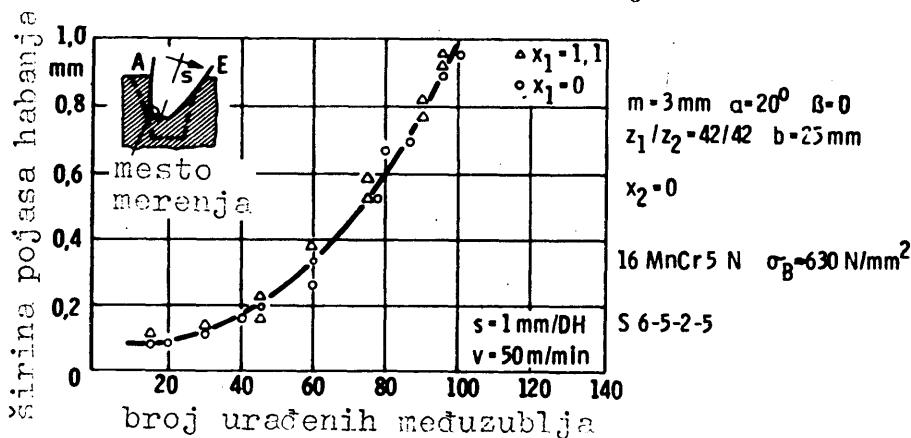
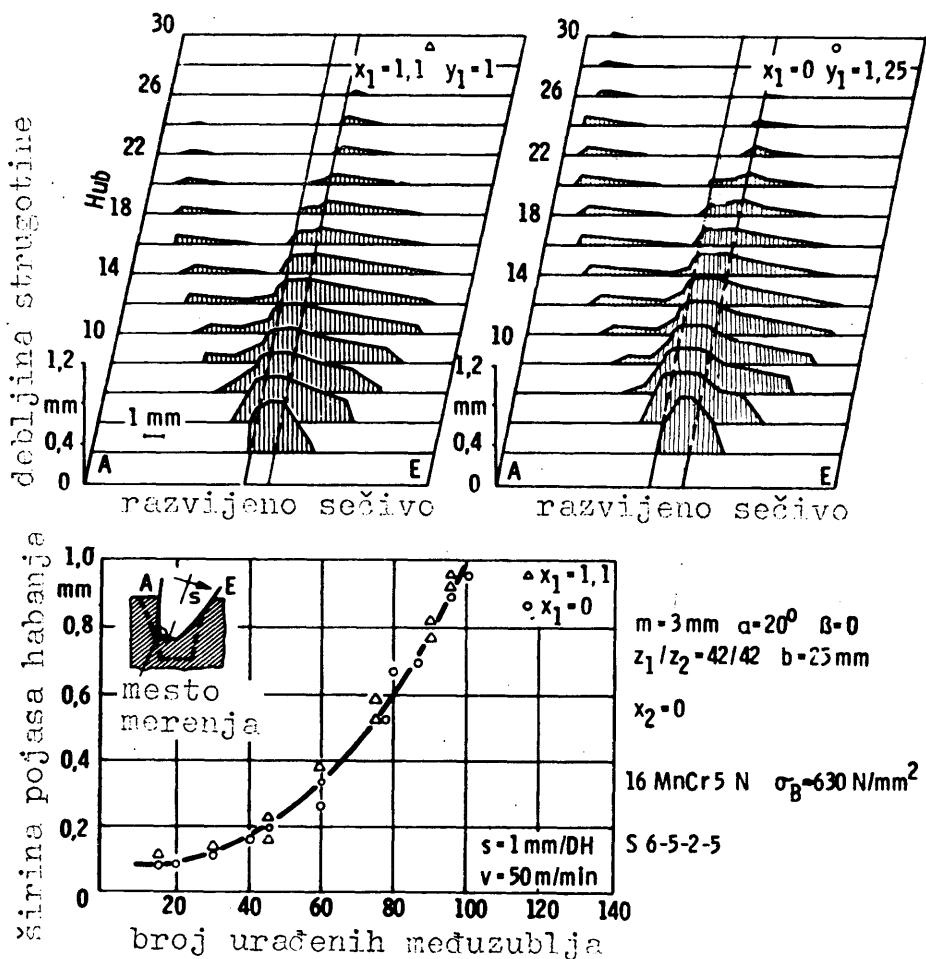
Usled trenja jako deformisanih i očvrslih delova strugotine na boku zuba predmeta obrade, pri odnosenju strugotine S2, dolazi do nepovoljnih uticaja na razvoj procesa habanja alata, kao i na kvalitet obrade. Ovo je karakteristična pojava koja nastaje samo na prelaznom radijusu od temenog ka izlaznom bočnom sečivu. Na osnovu toga javljaju se dopunska mehanička i toplotna opterećenja koja znatno povećavaju intenzitet habanja ovog kritičnog mesta zuba alata.

Geometrija ozubljenja kružnog zupčastog noža nema nekog posebnog uticaja na postojanost alata kod slučajeva skidanja strugotine S2, što se uočava i sa slike 10. Razvoj procesa habanja na označenom mestu je za oba slučaja ozubljenja približno isti, mada se preseci strugotine na temenom sečivu dosta razlikuju.

Stvaranje U — oblika strugotine slučaja S1

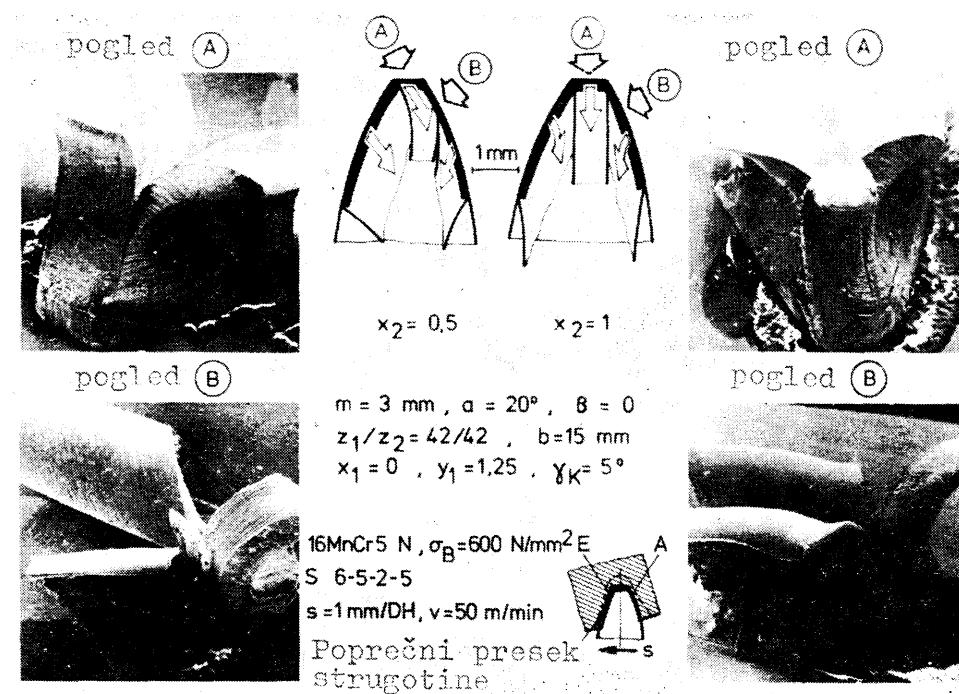
Pri odnosenju strugotine S1 dolazi do slepljivanja tanjih strugotina po grudnoj površini na delu prelaznog radiusa od temenog ka izlaznom bočnom sečivu. Pri tome ove strugotine ne klize kao kod skidanja strugotine preseka S2, već se zbog svoje male debljine gumeće i lepe za deblje strugotine nastale na temenom sečivu. Iz tih razloga plastična deformisanost strugotina malih poprečnih preseka prouzrokuje povećanje termičkog opterećenja, a time i habanja pomenutog dela grudne površine, što za strugotine preseka S2 nije karakteristično. Pri daljem odnosenju strugotine ista se kreće paralelno izlaznom bočnom sečivu i negativno utiče na pohabanost leđne površine izlaznog bočnog sečiva.

Sl. 10. — Uticaj širine temena zuba kružnog zupčastog noža na habanje za slučaj preseka strugotine S2



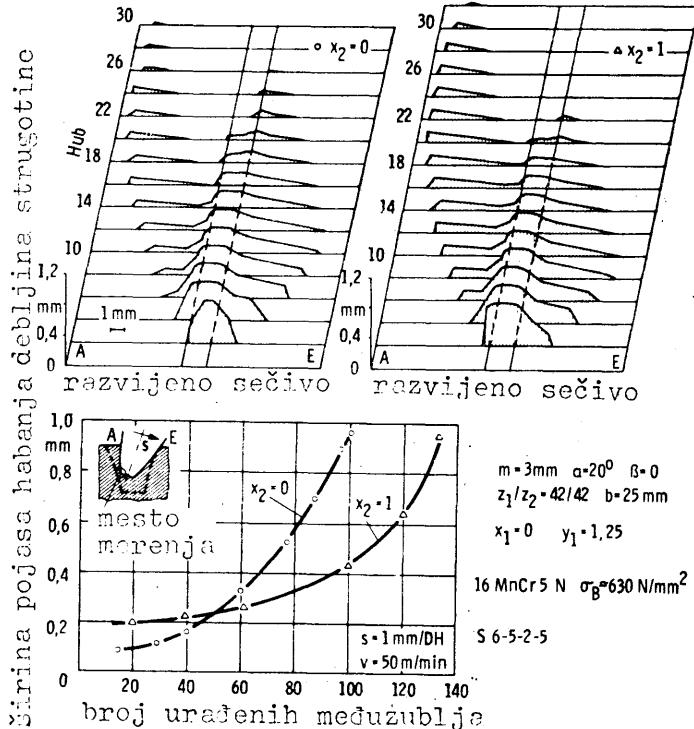
Stvaranje U — oblika strugotine slučaja S3 i S4

Ponašanje strugotine slučajeva S3 i S4 ilustruje slika 11. Na raster fotografijama (levi deo slike), snimljenim na elektronskom mikroskopu, kod strugotine slučaja S3, može se uočiti razdvajanje strugotine nastale na temenom sečivu od strugotina nastalih na ulaznom i izlaznom boč-



Sl. 11. — Uticaj poprečnog preseka strugotine na tok strugotine

nom sečivu. Pri tome se strugotina lakše kreće prema ulaznom nego prema izlaznom bočnom sečivu (presek A). Strugotinu nastala na izlaznom bočnom sečivu, sučeljena sa strugotinom temenog sečiva, se sudara i vrši relativno mali pritisak na grudnu površinu, čime se njen normalni tok sprečava (presek B). Iz tih razloga su termička opterećenja u blizini prelaznog radiusa od temenog prema izlaznom bočnom sečivu znatno manja, što prouzrokuje manji intenzitet habanja nego kod skidanja strugotine slučaja S2. Dakle, kod skidanja strugotine slučaja S3 postojanost alata za odvalno rendisanje je veća u odnosu na skidanje strugotine slučaja S2 (slika 12).

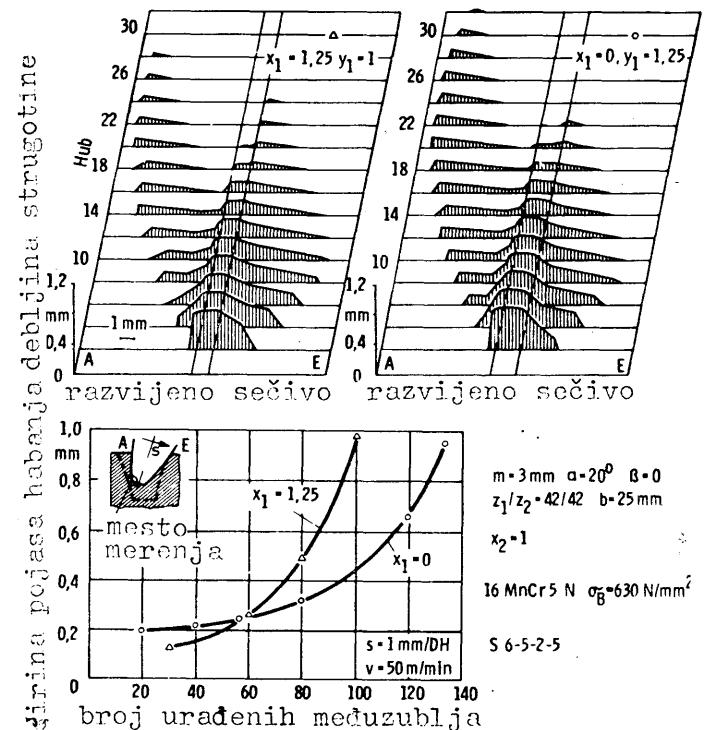


Sl. 12. — Razvoj procesa habanja na zuba alata pri nastanku slučajeva strugotine S2 i S3

Ukupno termičko opterećenje zuba alata je za slučaj strugotine S3 povećano zbog međusobnog sučeljavanja strugotina nastalih na temenom i bočnim sečivima zuba, ali nije koncentrisano na odgovarajuću tačku, što je sa gledišta habanja povoljnije.

Ovako bočno sabijanje strugotine temenog sečiva od strane strugotina nastalih na bočnim sečivima, kod U-oblike strugotine slučaja S4, je još intenzivnije. Deo temene strugotine (desni deo slike 11) je jako plastično deformisan. U ovom slučaju je tečenje sva tri dela strugotine ometano, što prouzrokuje nešto veća mehanička opterećenja u oblasti blizoj temenom sečivu.

Intenzivno termičko opterećenje u temenom delu zuba alata za slučajevе strugotine S3 i S4 ima izraženiji negativni uticaj na postojanost zuba alata za rendisanje, naročito kod zuba sa relativno manjom temenom širinom (slika 13). I pored istog formiranja strugotine slučaja S3 kod ovakvih zuba alata intenzitet habanja je nešto pojačan.

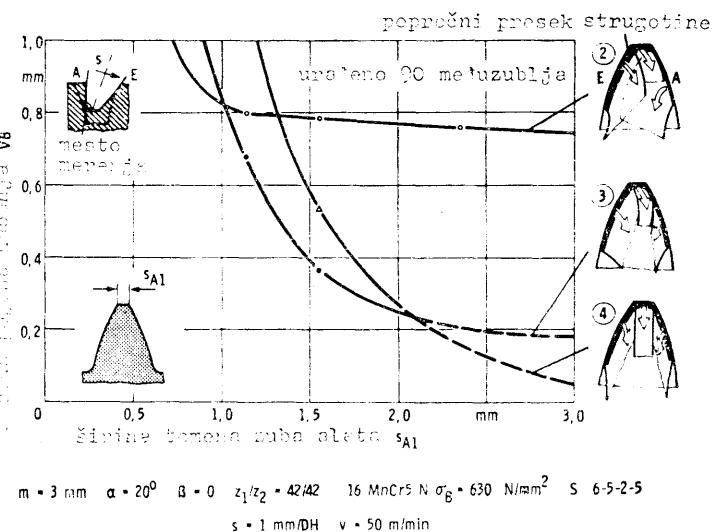


Sl. 13. — Uticaj širine temena zuba alata na habanje pri odnošenju strugotine slučaja S3

UTICAJ TEMENE ŠIRINE ZUBA ALATA NA PROCES HABANJA

Uvid uticaja stvaranja strugotine i temene širine zuba alata na razvoj procesa habanja dat je na slici 14. Na ordinatu je naneta širina pojasa habanja na temenoj površini zuba alata za različite slučajeve strugotine (S2, S3 i S4) nakon izrade 90 međuzublja. Strugotine slučaja S1 nisu uzete u obzir jer su, za praktičnu primenu, od manje važnosti.

Sa slike 14 uočava se, da se pri istim veličinama širine temena zuba alata s_{A1} , a za različite oblike strugotine,



Sl. 14. — Uticaj širine temena zuba alata i poprečnog preseka strugotine na habanje reznih elemenata alata

javljaju različite postojanosti alata. Za veličine $S_{AI} < 1$ mm najnepovoljniji slučaj strugotine je S2, u granicama $1 < S_{AI} < 2$ mm najnepovoljniji slučaj je slučaj strugotine S3, dok za $S_{AI} > 2$ mm minimalna postojanost alata se postiže kod slučaja strugotine S4.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog može se zaključiti da širina temena zuba alata za odvalno rendisanje, formiranje i odvođenje strugotine imaju različit uticaj na postojanost alata. Iz tih razloga kod proračuna optimalne rezne geometrije, ove vrste alata, svi ovi faktori moraju biti uzeti u obzir.

LITERATURA

1. SULZER G.: Leistungssteigerung bei der Zylinderrad herstellung durch genaue Erfassung der Zerspankinematik, Dissertation TH, Aachen, 1973.
2. OPITZ H., KÖNIG W., SULZER G., BOUZAKIS K.: Verschleissuntersuchungen beim Wälzstossen von Geradverzahnungen, Bericht des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2401, 1974.
3. BOUZAKIS K.: Erhöhung der Wirtschaftlichkeit beim Wälzstossen durch Optimierung des Zerspanprozesses und der Werkzeugauslegung, Dissertation TH, Aachen, 1976.
4. BOUZAKIS K.: Optimierung der Schneidradauslegung beim Wälzstossen unter Berücksichtigung der Spanbildung, Industrie — Anzeiger 99, 1977.
5. KÖNIG W., BOUZAKIS K.: Chip Formation in Gear Shaping, Annals of the CIRP Bd. 25 01. 1977, S. 17—20.
6. BOUZAKIS K.: Optimierung der Schnittbedingungen beim Wälzstossen, wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung 68, Nr. 11, 1978

7. BOUZAKIS K.: Schneidengeometrie beim Wälzstossen, Industrie — Anzeiger 100, Nr. 59, 1978.
8. BOUZAKIS K.: Konzept und technologische Grundlagen zur automatisierten Erstellung optimaler Bearbeitungsdaten beim Wälzfräsen, Habilitations-schrift TH, Aachen, 1980.
9. BOUZAKIS K.: Matematische Beschreibung des Verlaufes des Werkzeugverschleisses beim Wälzfräsen, Teil 1: Untersuchungsmethoden und Kenngrößen zur Erfassung des Werkzeugverschleisses in den einzelnen Wälzstellungen, VDI-Z, Nr. 20, 1980.
10. BOUZAKIS K.: Mathematische Beschreibung des Verlaufes des Werkzeugverschleisses beim Wälzfräsen, Teil 2: Berechnung der Verschleissentwicklung in den einzelnen Wälzstellungen und beim Shiften; Programmklasse »Wälzfräserverscheiss«, VDI-Z, Nr. 21, 1980.

Prof. Dr. habil. KONSTANTIN BOUZAKIS, profesor i šef katedre za prenosnike i dinamiku mašina na Aristotel Univerzitetu u Solunu (Grčka)



Rođen 1948. godine. Diplomirao na nacionalnoj tehničkoj visokoj školi u Atini 1971. godine. Doktorirao 1976. godine na TH-Aachen, na temu: Povećanje ekonomičnosti pri odvalnom rendisanju kroz optimizaciju procesa rezanja i konstrukcije alata. Radio je kao naučni saradnik na katedri za tehnologiju i proizvodno mašinstvo i u Laboratoriji za alatne mašine i organizaciju na RWTH Aachen.

Obaveštenje

Svim pretplatnicima

Posle dužeg razmatranja materijalne situacije časopisa i iznalaženja mogućnosti da se obezbedi njegovo dalje redovno izlaženje redakcija je utvrdila da je tokom 1981. godine znatno brže rastao odliv sredstava za obezbeđenje njegovog redovnog izlaženja, nego što je rastao priliv sredstava kako od preplate, tako i od Republičke i Regionalne zajednice nauke, koje učestvuju u njegovom finansiranju.

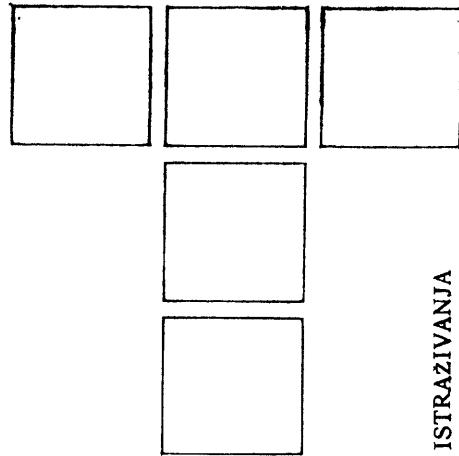
Tokom čitave 1981. godine nastojali smo da ne uvećamo cenu časopisa i u tome smo uspeli.

Međutim, uvećanje cene papira, štamparskih usluga, kao i ukupnih troškova koji prate izlaženje časopisa doveli su u pitanje dalju egzistenciju TRIBOLOGIJE U INDUSTRIJI, što je prisililo redakciju, da, mada teška srca, doneše odluku o povećanju cene za 1982. godinu.

Tako će godišnja pretplata u narednoj godini (za sve brojeve) iznositi 800 dinara za radne organizacije i 400 dinara za pojedince.

Molimo sve naše pretplatnike da shvate motive redakcije pri donošenju odluke za povećanje cene. Ističemo da je časopis TRIBOLOGIJA U INDUSTRIJI stekao potreban nivo u naučnoj i stručnoj javnosti, kako u zemlji tako i u inostranstvu što nas obavezuje da mu obezbedimo dalju egzistenciju. Nadamo se da će pretplatnici prihvati opravdanost razloga za donošenje ove mere.

Redakcija



Identifikacija tribomehaničkih sistema kod jednovretenih i viševretenih automata*

ISTRAGIVANJA

UVOD

U narednom srednjoročnom periodu bitan zadatak u metaloprerađivačkoj industriji je povećanje produktivnosti i ekonomičnosti poslovanja proizvodnih sistema, a time i smanjenje zastoja. Jedan od uzroka zastoja u proizvodnji su kvarovi na proizvodnoj opremi, bilo zbog nepropisnog rukovanja istom ili zbog pohabanosti nekih vitalnih delova — što je češći slučaj.

Analizirajući uzroke otkaza i kvara mašinskih elemenata i sklopova dolazi se do zaključka da uzrok njihovog otkaza u većini slučajeva nije lom ili naprsilna već pojava pohabanosti. Broj tribomehaničkih sistema kod bilo koje proizvodne maštine je veliki, a posledica razvoja triboloških procesa u toku rada je habanje elemenata u kontaktu. Dostizanje kritične veličine pohabanosti ključnih elemenata na mašini dovodi do prestanka njenog funkcionisanja. Može se smatrati da je glavni razlog ovom stanju činjenica da se svi postojeći proračuni mašinskih elemenata i sklopova zasnivaju na dinamičkoj izdržljivosti materijala, dok proračuni mašinskih elemenata koji će uzeti u obzir vek trajanja obzirom na dinamiku habanja, koliko je autoru poznato, ne postoje. Primer za to su: zupčanici, zavrtnji, kotrljavajuća i klizna ležišta, vođice, itd.

U cilju plansko-preventivnog održavanja proizvodnje opreme čiji je zadatak minimizacija zastoja i troškova održavanja, potrebno je da tehnologija sadrži identifikaciju kontaktnih parova na svakoj vrsti proizvodne opreme, uslove eksploatacije, identifikaciju razvoja procesa habanja u funkciji režima i vremena rada i postupak zamene pohabanih elemenata. Poznavanje navedenih podataka o svakoj vrsti proizvodne opreme omogućava: planiranje pravovremene nabavke, izrade i zamene delova opreme, kao i projektovanje optimalnog režima eksploatacije.

ANALIZA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD VIŠEVRETENIH I JEDNOVRETENIH AUTOMATA

U ovom poglavlju data je identifikacija kontaktnih parova na po jednom predstavniku viševretenih i jednovretenih automata. Pri ovoj identifikaciji nastojalo se da se obuhvate svi oni kontaktni parovi koji mogu biti uzrok zastoja.

Kao predstavnik viševretenih automata uzet je šeststvoreni vertikalni automat »GYROMATIS SSA-40«, koji služi za obradu predmeta prečnika do 40 mm a dužine do 150 mm; a kao predstavnik jednovretenih automata uzet je automat »TORNOS M7«, koji služi za obradu predmeta (prečnika do 7 mm, dužine do 40 mm) izrađenih od različitih materijala.

Viševreteni i jednovreteni automati sastoje se od prenosnika za glavno i pomoćno kretanje i prenosnika ostalih mehanizama i dodatnih uređaja. Pri analizi kontaktnih parova kod viševretenih i jednovretenih automata dolazi se do zaključka da se oni mogu razvrstati po: vrstama materijala elemenata parova, vrstama kretanja elemenata parova, uslovima podmazivanja elemenata parova i slično.

U zavisnosti od vrste materijala elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

a) parove kod kojih su elementi napravljeni od istog materijala, kao što su:

- čelik po čeliku (pojedini zupčasti parovi, spojnice),
- sivi liv po sivom livu (suporti kod jednovretenog automata).

b) parove kod kojih su elementi napravljeni od različitih materijala, kao što su:

- čelik po čeliku (pojedini zupčasti parovi, par pipci-čaura, par stezna patrona-vreteno, par klin-poklopac doboša kod viševretenog automata),
- čelik po bronzi (pužni parovi, par klizni ležaj-vreteno kod jednovretenog automata),
- čelik po sivom livu (suporti kod viševretenog automata, parovi poluge-osovinice),

* Rad je deo projekta iz predmeta Optimizacija tehničkih procesa na poslediplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu

- čelik po tekstolitu (pojedini zupčasti parovi, par čaura-uložak kod viševretenog automata),
- čelik po impregniranoj gumi (parovi kaišnik-kaiš kod jednovretenog automata).

U zavisnosti od vrste kretanja elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

- a) parove kod kojih oba elementa vrše kružno kretanje (zupčasti parovi, parovi kaišnik-kaiš, spojnice),
- b) parove kod kojih jedan element vrše kružno a drugi pravolinijsko kretanje (pužni parovi, par pipci-čaura, par stezna patrona-vreteno, parovi zupčanik-zupčasta poluga),
- c) parove kod kojih jedan element vrše kružno kretanje a drugi je nepokretan (par vreteno-klizni ležaj, parovi poluge-osovinice),
- d) parove kod kojih jedan element vrše pravolinijsko kretanje a drugi je nepokretan (parovi suport-nosač suporta, parovi čaure-nosač alata kod viševretenog automata).

Analizirajući vrste kretanja elemenata kontaktnih parova može se zaključiti da se zavisno od vrste relativnog kretanja između elemenata kod kontaktnih parova javljaju različite vrste trenja, kao što su:

- trenje klizanja (parovi suport-nosač suporta, par vreteno-klizni ležaj, zavojni parovi, parovi poluge-osovinice, par čaura-uložak kod viševretenog automata),
- trenje kotrljanja (kotrljajući ležajevi, parovi krivulje-rolne) i
- trenje kotrljanja i klizanja (zupčasti parovi, pužni parovi, parovi kaišnik-kaiš, par stezna patrona-vreteno, par pipci-čaura).

U zavisnosti od uslova podmazivanja elemenata kontaktne parove možemo podeliti na:

- a) parove koji se neprekidno podmazuju uljima (zupčasti parovi, pužni parovi, parovi suport-nosač, parovi kotrljajući ležaj-vreteno kod jednovretenog automata, par klizni ležaj-vreteno kod jednovretenog automata),
- b) parove koji se povremeno podmazuju uljima (spojnice, par stezna patrona-vreteno, parovi čaure-nosač alata kod viševretenog automata),
- c) parove koji se podmazuju mastima (kotrljajući ležaji kod viševretenog automata, parovi poluge-osovinice),
- d) parove koji rade bez podmazivanja (par pipci-čaura, parovi kaišnik-kaiš, par klin-poklopac doboša kod viševretenog automata, par čaura-uložak kod viševretenog automata).

Broj analiziranih kontaktnih parova kod predstavnika viševretenih automata iznosi 334, kod predstavnika jednovretenih automata iznosi 195; a kod kojih se javljaju različiti procesi trenja i habanja i čiji je vek trajanja zavisno od uslova rada različit.

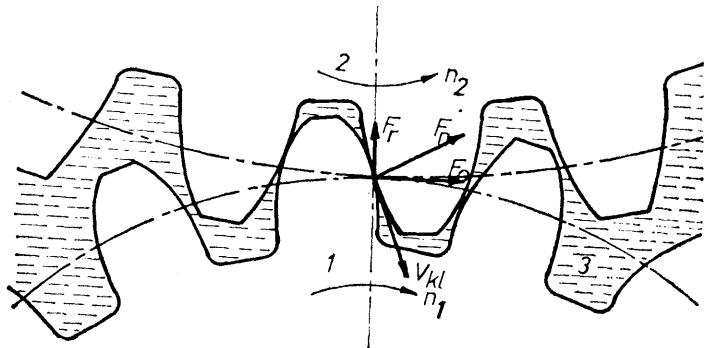
IDENTIFIKACIJA USLOVA RADA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD AUTOMATA

Ovo poglavje sadrži shematski prikaz karakterističnih kontaktnih parova i uslova pod kojima se kontakti ostvaruju (sile, pritisci, vreme trajanja kontakta, brzine relativnog kretanja, sredstva za hlađenje i podmazivanje, itd.), to jest one uslove koje je autor mogao da odredi.

Karakteristični kontaktni parovi se mogu sa dovoljnom tačnošću smatrati reprezentima odgovarajućih grupa tribomehaničkih sistema kod automata, pa se njihova analiza može primeniti i važiće za celu odgovarajuću grupu kontaktnih parova kod predstavnika viševretenih i jednovretenih automata.

a) **Kontaktni zupčasti par** kod pogona glavnog kretanja predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 1, gde su:

1 — pogonski zupčanik od Č.5426, (z = 32, m = 4, $\alpha = 20^\circ$)	3 — sredstvo za hlađenje »HIDRAOL« 70HD, viskoziteta 6,7E/50°C
2 — gonjeni zupčanik od	



Slika 1.

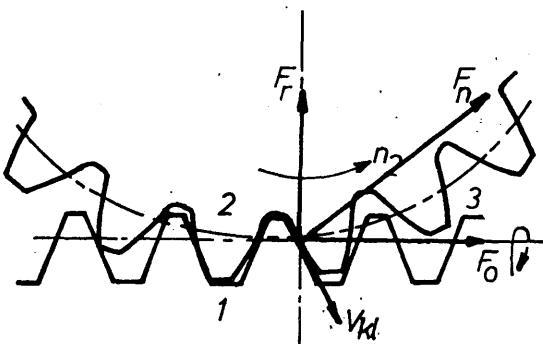
Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj obrta pogonskog zupčanika $n = 1940-1888$ o/min,
- broj stupnjeva promene obrta 2,
- zupčanici cementirani na 0,6—0,8 mm i kaljeni na 62—64 HRC,
- kvalitet obrade kontaktnih površina bušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,
- obimna sila $F_o = 18,43 — 18,414 \text{ kN}$,
- radikalna sila $F_r = 41,23 — 41,195 \text{ kN}$,
- normalna sila pritiska na zubac $F_n = 45,2 — 45,12 \text{ kN}$,
- brzina klizanja $V_{kl} = 4,39 — 4,36 \text{ mm/min}$.

b) **Kontaktni pužni par** kod pogona pomoćnog kretanja predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 2, gde su:

1 — puž od Č.5426, ($z = 5$,
 $m = 3,5$, $\alpha = 25^\circ$)
2 — pružni točak od

P.CuSn14 ($z = 36$)
3 — sredstvo za hlađenje »HIDRAOL«
70HD



Slika 2

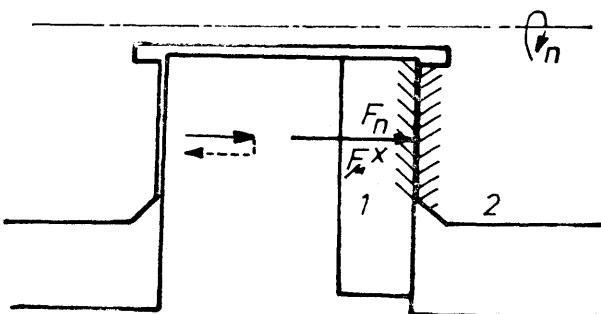
Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj obrta pogonskog puža $n_2 = 860 - 4320$ o/min,
- broj stupnjeva promena obrta 22,
- puž cementiran na 0,6 — 0,8 mm i kaljen na 62—64 HRC,
- kvalitet obrade okntaktne površine puža brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,
- kvalitet obrade kontaktne površine pužnog točka fino glodanje $R_a = 1,6 \mu\text{m}$,
- obimna sila $F_o = 1,23 - 6,19$ kN,
- radikalna sila $F_r = 3,16 - 15,78$ kN,
- normalna sila pritiska na zubac $F_n = 3,39 - 16,96$ kN,
- brzina klizanja $V_{kl} = 0,64 - 3,25$ mm/min.

c) **Kontaktni par čaura-uložak** u mehanizmu stezanja i odpuštanja materijala kod predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 3, gde su:

1 — uložak od tekstolita

2 — čaura od Č.4144 (kaljena na 60—62 HRC)



Slika 3

Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj obrta čaure $n = 194 - 1938$ o/min,
- broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 232 — 4822 kom,

vreme trajanja jednog kontakta iznosi $t = 1,6$ s,

dužina na kojoj se ostvaruje kontakt $l = 9$ mm,

kvalitet obrade kontaktne površine čaure brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,

kvalitet obrade kontaktne površine uloška fino glodanje $R_a = 1,6 \mu\text{m}$,

normalna sila dejstva uloška na čauru $F_n = 4,82$ kN,

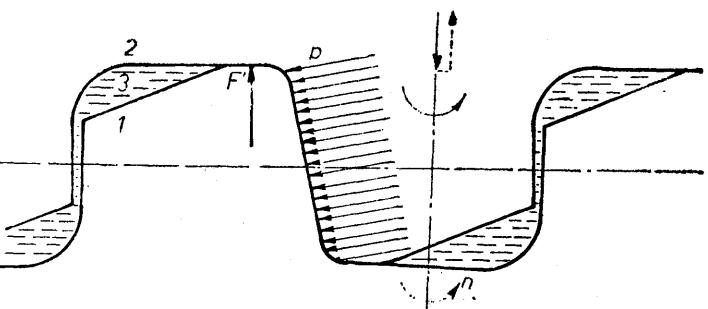
tangencijalna sila dejstva uloška na čauru $F = 1,46$ kN,

sredstvo za hlađenje i podmazivanje se ne koristi.

d) **Kontaktni par spojnica** u pogonu pomoćnog kretanja predstavnika jednovretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 4, gde su:

1 — pogonska spojница
2 — gonjena spojница

3 — sredstvo za hlađenje
»HIDRAOL« 70 HD



Slika 4

Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

broj obrta spojnica $n = 119 - 865$ o/min,

broj stupnjeva promena obrta 12,

materijal spojnica Č.4738 kaljen na 55 — 59 HRC,

kvalitet obrade kontaktne površine brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,

broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 2020 — 7020 kom,

vreme trajanja jednog kontakta iznosi $t = 3,84 - 13,37$ s,

broj zuba spojnica iznosi $z = 9$,

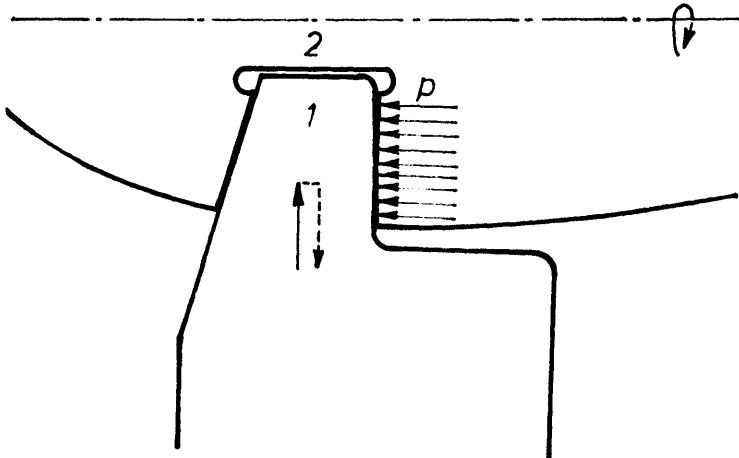
ugao nagiba zuba $\alpha = 12^\circ$, a dužina kontaktne površine $l = 11$ mm,

aksijalni pritisak na zube $F' = 0,37 - 2,08$ kN,

pritisak na bok uzdužnog klina $p = 0,08 - 0,27$ kN/cm².

e) **Kontaktni par klin-poklopac doboša** kod uređaja za okretanje doboša predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para data je na Sl. 5, gde su:

1 — klin od Č.1941 2 — poklopac doboša od
 Č.5426



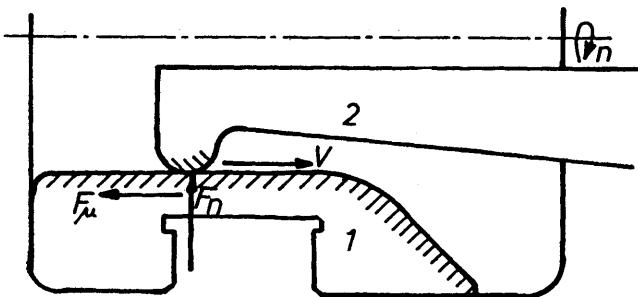
Slika 5.

Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 232 — 4822 kom,
- vreme trajanja jednog kontakta iznosi $t = 5,6 - 117,7$ s,
- materijal klina Č.1941 kaljen na 60 — 62 HRC,
- materijal poklopca doboša Č.5426 cementiran na 0,6 — 0,8 mm i kaljen na 62 — 64 HRC,
- kvalitet obrade kontaktnih površina brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,
- ugao nagiba klina $\alpha = 15^\circ$, a dužina na kojoj se ostvaruje kontakt $l = 18$ mm.

f) **Kontaktni par pipci-čaura** kod mehanizma stezanja i odpuštanja materijala predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 6, gde su:

1 — čaura od Č.4144 2 — pipak od Č.4230



Slika 6.

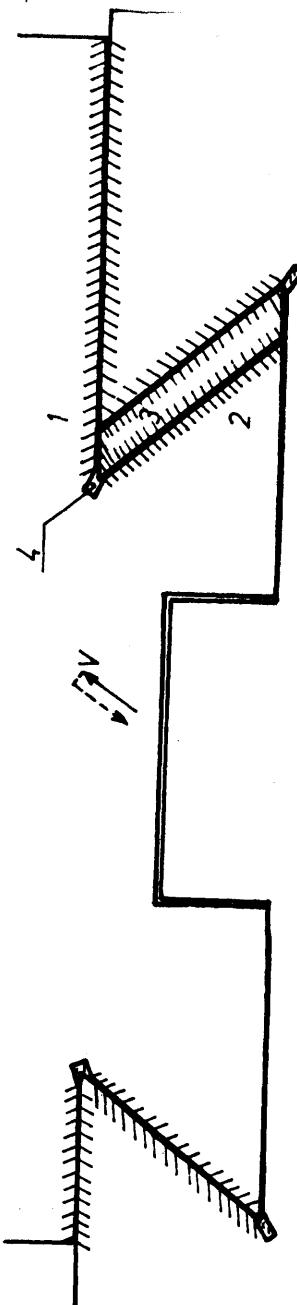
Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj obrta čaure $n = 194 - 1938$ o/min,
- broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 232 — 4822 kom,
- vreme trajanja jednog kontakta iznosi $t = 1,6$ s,
- dužina na kojoj se ostvaruje kontakt $l = 26$ mm,
- materijal čaure Č.4144 kaljen na 62 — 64 HRC,
- materijal pipka Č.4230 kaljen na 58 — 60 HRC,

- kvalitet obrade kontaktne površine čaure brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,
- kvalitet obrade kontaktne površine pipka poliranje $R_a = 0,2 \mu\text{m}$,
- brzina kretanja čaure $V = 135,42$ m/min,
- normalna sila pritiska na kontaktne površine $F_n = 0,043$ kN,
- tangencijalna sila na kontaktnoj površini $F = 0,0051$ kN.

g) **Kontaktni par suport-nosač suporta** kod pogona pomoćnog kretanja predstavnika jednovretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 7, gde su:

1 — suport od SL 26
2 — nosač suporta od SL 26
3 — elemenat za kompenzaciju zazora od Č.1228
4 — sredstvo za podmazivanje »HIDRAOL« 25HD, viskozitet-a $2,8^\circ\text{E}/50^\circ\text{C}$



Slika 7.

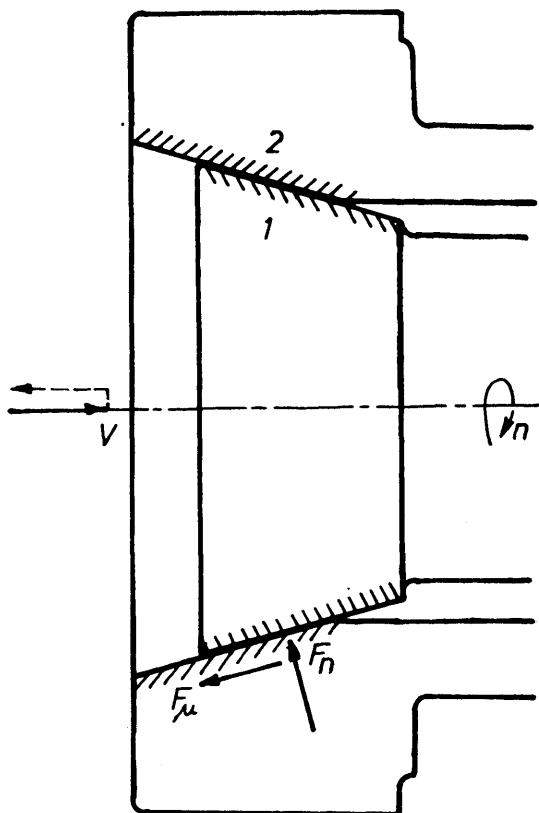
Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- brzina kretanja suporta $V = 13 - 67 \text{ mm/min}$,
- radni hod suporta $l = 20 \text{ mm}$,
- kvalitet obrade kontaktnih površina tuširanje $R_a = 0,4 \mu\text{m}$,
- pritisak podmazivanja $p = 1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$.

h) **Kontaktni par stezna patrona-vreteno** u mehanizmu stezanja i odpuštanja materijala predstavnika viševretenih automata. Shema ovog para prikazana je na Sl. 8, gde su:

1 — stezna patrona od Č.4230
(kaljena na 58 — 60
HRC)

2 — vreteno od Č.5432
(poboljšano na
85—90 dN/mm²)



Slika 8.

Radni uslovi pod kojima se ostvaruje kontakt su:

- broj obrta vretena $n = 194 - 1938 \text{ o/min}$,
- broj stupnjeva promena obrta 20,
- broj ostvarenih kontakata za 7,5 h rada iznosi 232 — 4822 kom,
- vreme trajanja jednog kontakta iznosi $t = 36 - 84 \text{ s}$,
- dužina na kojoj se ostvaruje kontakt $l = 25 \text{ mm}$,
- kvalitet obrade kontaktnih površina brušenje $R_a = 0,8 \mu\text{m}$,
- brzina kretanja stezne patrone $V = 135,42 \text{ m/min}$,

- normalna sila pritiska na kontaktnu površinu $F_n = 0,082 \text{ kN}$,
- tangencijalna sila na kontaktnoj površini $F_u = 0,0164 \text{ kN}$.

KRITERIJUMI POHABANOSTI I VEK TRAJANJA OSNOVNIH TRIBOMEHANIČKIH SISTEMA KOD AUTOMATA

Da bi se mogla izvršiti optimizacija uslova rada automata neophodno je pored uslova rada znati i kriterijume pohabanosti kontaktnih parova i njihov vek trajanja.

Za precizno određivanje kriterijuma pohabanosti i veka trajanja pojedinih kontaktnih parova, potrebno je ispitivati tribomehaničke pojave na istim varirajući uslove rada. Pored uslova rada čest je uticaj pojedinih stohastičkih pojava na vek trajanja, kao na primer: neispravna reglaža automata, upadanje opiljaka od obrade među kontaktne površine, lom, itd.; što sve utiče na kompleksnost i preciznost određivanja veka trajanja pojedinih kontaktnih parova.

Obzirom da autor nije imao mogućnost za precizno određivanje veka trajanja, u ovom poglavlju su dati kriterijumi pohabanosti i vek trajanja navedenih karakterističnih kontaktnih parova, određeni na osnovu reprezentujućih uslova rada i empirijskih podataka sa mašinskih karti održavanja predstavnika viševretenih i jednovretenih automata u periodu zadnjih 14 godina. Vek trajanja dat je u časovima rada automata.

Na osnovu navedenih podataka i empirijskih pokazatelia mogu se izvesti sledeći zaključci o kriterijumu pohabanosti i veku trajanja karakterističnih kontaktnih parova:

a) Veoma kratak vek trajanja tekstolitnih uložaka u mehanizmu stezanja i odpuštanja materijala kod predstavnika viševretenih automata, pri čemu je kriterijum pohabanosti smanjenje debljine uloška za oko 1 mm, a vek trajanja uloška iznosi 1035 — 1380 h.

b) Kod kontaktnih parova suport-nosač suporta kriterijum pohabanosti je stvaranje zazora između kontaktnih površina, koji zavisno od predmeta obrade kod predstavnika viševretenih automata iznosi 0,025 — 0,040 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,015 — 0,020 mm. Vek trajanja lajsne kod predstavnika viševretenih automata iznosi 1725 — 2760 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 1380 — 2070 h.

c) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnog para pipičaura je pohabanost vrha radijusa pipka, koja kod predstavnika viševretenih automata iznosi 0,4 — 0,6 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,15 — 0,3 mm. Vek trajanja pipaka kod predstavnika viševretenih automata iznosi 4140 — 6210 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 2760 — 4140 h.

d) Kod kontaktnog para stezna patrona-vreteno (ili ležište patronе kod jednovretenog automata) kriterijum pohabanosti je smanjenje izlaznog prečnika stezne patronе, kod predstavnika viševretenih automata za 0,08 — 0,2 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata za 0,03 — 0,08 mm. Vek trajanja stezne patronе kod predstavnika vi-

ševretenih automata iznosi 4140 — 6210 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 3450 — 4485 h.

e) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnog para klin-poklopac doboša, kod predstavnika viševretenih automata, je pohabanost vrha klina za 0,03 — 0,06 mm, a vek trajanja zupčastog klina iznosi 3450 — 6210 h.

f) Kod kontaktnih parova zupčastih prenosnika kriterijuma pohabanosti je povećanje zazora međuzublja, kod predstavnika viševretenih automata za 0,2 — 0,4 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata za 0,15 — 0,3 mm. Vek trajanja zupčastih parova kod predstavnika viševretenih automata iznosi 6210 — 10350 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 8400 — 12420 h, pri čemu se kraći vek odnosi na pužne parove a duži na cilindrične i konične zupčaste parove.

g) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnih parova spojnica je promena naležućeg ugla kandži za $\pm 1\text{--}3^\circ$, a vek trajanja spojnica iznosi 16560 — 20700 h.

h) Kod kontaktnih parova poluge-osovinice (zglobne veze) kriterijum pohabanosti je povećanje zazora u zglobu na 0,08 — 0,35 mm, a vek trajanja iznosi 6210 — 12420 h.

i) Kriterijum pohabanosti kod kontaktnog para vreteno-klizni ležaj kod predstavnika jednovretenih automata je povećanje radijalnog zazora za 0,015 — 0,02 mm, a vek trajanja kliznog ležaja iznosi 6210 — 8280 h.

j) Kod kontaktnih parova kotrljajućih ležajeva kriterijum pohabanosti je povećanje radijalnog zazora, koje kod predstavnika viševretnih automata iznosi 0,005 — 0,012 mm, a kod predstavnika jednovretenih automata 0,002 — 0,003 mm. Vek trajanja ležaja kod predstavnika viševretenih automata iznosi 8280 — 12420 h, a kod predstavnika jednovretenih automata 10350 — 16560 h, pri čemu se kraći vek odnosi na ležajeve na vretenima a duži na ležajeve osovina prenosnih mehanizama.

Navedeni kriterijumi pohabanosti i vek trajanja karakterističnih kontaktnih parova mogu se sa dovoljnom tačnošću primeniti na slične kontaktne parove kod automata (iste ili slične kontaktne parove koji rade sa približno istim uslovima rada), tako da se može izvršiti kompletan analiza svih kontaktnih parova kod automata, u smislu određivanja njihovog kriterijuma pohabanosti i veka trajanja.

ZAKLJUČAK

Rezultati dobijeni u predhodnim poglavljima mogu se sa dovoljnom tačnošću koristiti pri analizi mogućih pravaca optimizacije uslova rada automata, a i pri projektovanju tehnologije održavanja.

Broj uticajnih činilaca na vek trajanja kontaktnih parova je veliki, a najuticajniji su sledeći:

- materijal, vrsta termičke obrade i kvalitet obrađene površine kontaktnih parova;
- geometrija, tolerancija i veličina kontaktne površine;
- vrsta sredstva za hlađenje i podmazivanje i režim podmazivanja;
- režim obrade (broj obrta, korak, otpori rezanja, broj i vrsta alata);
- režim eksploatacije (pravilna reglaža, blagovremena regeneracija i zamena alata);
- tehnologija održavanja (pravovremena provera tačnosti i kontrola automata, blagovremena regeneracija ili zamena pojedinih elemenata, parova ili celih sklopova).

Sagledavajući uticaj navedenih činilaca, kao i rezultate predhodnih poglavlja mogući pravci optimizacije rada automata sa ciljem povećanja veka trajanja kontaktnih parova bili bi:

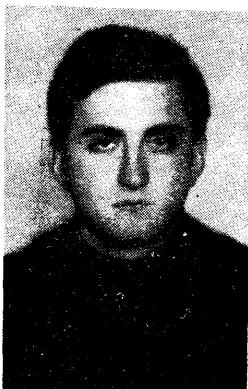
- a) Variranjem materijala, njegove termičke obrade i kvaliteta obrade kontaktnih površina, pri konstantnim ostalim uslovima, doći do: optimalnog materijala, njegove termičke obrade i kvaliteta obrade kontaktnih površina za pojedine vrste kontaktnih parova.
- b) Variranjem vrsta sredstava za hlađenje i podmazivanje i uslova podmazivanja, pri konstantnim ostalim uslovima, doći do: optimalnog sredstva za hlađenje i podmazivanje, optimalnog pritiska i režima podmazivanja za pojedine kontaktne parove.
- c) Pri izboru režima obrade, u okviru tehnološki preporučenih i proračunatih režima, birati režime koji daju minimalne otpore rezanja.
- d) Pri izboru alata posebno voditi računa o njegovoj postojanosti, a u toku rada ne dozvoliti rad sa zatupljenim alatima niti njihov lom na mašini (alat mora da se zameni ili regeneriše pre početka tzv. perioda katastrofalog habanja).
- e) Vršiti plansko-preventivno održavanje automata sa precizno definisanim rokovima, vrstama i radnjama za sve remontne intervencije, te na taj način izbeći smanjenje veka trajanja ostalih kontaktnih parova od strane onih koji nisu blagovremeno zamenjeni a koji su neposredno ili posredno uticajno povezani.

Svaki od navedenih pravaca će verovatno biti predmet daljih istraživanja, sa ciljem preciznog definisanja optimalnih konstrukcionih, tehnoloških, eksploracionih i terotehnoloških rešenja za kontaktne parove kod automata.

LITERATURA

1. B. IVKOVIĆ, Tribologija, Skripta sa predavanja iz predmeta tribologija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1981.
2. P. STANKOVIĆ, Maštne alatke — knjiga II, »Građevinska knjiga«, Beograd, 1977.
3. N. I. KOLČIN, Mehanika mašin — tom II, »Mašinostrojenje«, Lenjingrad, 1972.
4. Prospektivni materijal proizvođača automata »GYROMATIC« i »TORNOS«.
5. Jugoslovenski standardi: JUS M.GO.171 Ispitivanje tačnosti viševretenih stružnih automata, JUS M.GO.170 Ispitivanje tačnosti jednovretenih stružnih automata.
6. Mašinske karte održavanja automata »GYROMATIC SSA-40« i »TORNOS M7«.

NIKŠIĆ PETAR, dipl. maš. inž. tehn. rukovodilac mašinskog održavanja u RO Održavanje i energetika SOUR »SLOBODA« Čačak



Rođen 1954. Diplomirao 1978. godine na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu. Zaposlen u SOUR »SLOBODA« kao tehnički rukovodilac mašinskog održavanja u RO Održavanje i energetika. Vanredan student na poslediplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu, bavi se problematikom tribologije kontaktnih parova metal-nemetal kod mašina alatki.

Preporučujemo vam

POSEBNO IZDANJE ČASOPISA

tribologija u industriji

POD NASLOVOM

Produktivnost i ekonomičnost u industriji prerade metala

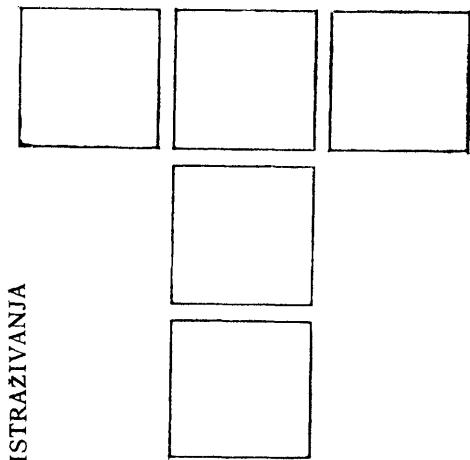
SADRŽAJ PUBLIKACIJE:

- B. IVKOVIĆ: Mogući prilaz merenju produktivnosti rada u industriji prerade metala
- M. LAZIĆ: Problemi optimizacije procesa rezanja sa aspekta produktivnosti i ekonomičnosti prerade metala
- V. OTAŠEVIĆ, B. ĆORIĆ: Kriterijumi za ocenu ekonomičnosti poslovanja proizvodnih sistema u industriji prerade metala
- R. MITROVIĆ, B. PAVLOVIĆ: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji poslovanja sa reznim alatima

Cena publikacije 600 dinara.

Uplate slati na adresu: Mašinski Fakultet u Kragujevcu, žiro račun: 61700-603-495 SDK Kragujevac.

- 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. PALUNČIĆ, M. MILOŠEVIĆ: Produktivnost i ekonomičnost u funkciji primene sredstava za hlađenje i podmazivanje
- S. SEKULIĆ: Problemi optimizacije procesa rezanja na automatskim linijama sa aspekta produktivnosti i ekonomičnosti prerade metala



Uticaj SHP na topotno opterećenje predmeta obrade i hrapavost površine u obradi metala ravnim brušenjem

UVOD

Završna obrada brušenjem u velikoj meri uslovjava osobine površinskih slojeva i stvara određenu mikrogeometriju površina elemenata mašina. Na taj način se opredeljuje i njihovo ponašanje u uslovima eksploracije.

Kvalitet brušene površine se karakteriše tvrdoćom površinskog sloja, strukturnim promenama, zaostalim naprezanjima i otsustvom pregorelih mesta i mikronaprslina. Površinski defekti su, u osnovi, posledica visokih temperatura, koje se razvijaju na mestu kontakta tocila i predmeta obrade.

Hrapavost obrađene površine, uzeta kao izolovan pokazatelj ne može potpuno karakterisati stanje površinskih slojeva. Naime, određena hrapavost brušene površine može, saglasno sa uslovima obrade, odgovarati različitim fizičko-hemijskim svojstvima površinskih slojeva. Sigurno je da je mala hrapavost, takođe, obavezan uslov za obezbeđenje zadovoljavajućih eksploracijskih osobina brušenih površina.

Ispitivanja pokazuju da se na poboljšanje topotnog režima obrade brušenjem i smanjenje hrapavosti površina elemenata može znatno delovati primenom adekvatne vrste i koncentracije sredstava za hlađenje i podmazivanje (SHP).

TOPOTNE POJAVE U PROCESU BRUŠENJA

Rad svakog abrazivnog zrna u kontaktu sa radnim predmetom, utrošen na elastično-plastične deformacije i sile trenja kontaktnih površina, skoro u potpunosti, se pretvara u topotnu energiju. Na taj način, u zoni kontakta svakog abrazivnog zrna sa metalom nastaje izvor topote. Izvor topote zauzima malu površinu koja se kreće po površini predmeta obrade brzinom okretanja tocila. Mnoštvo topotnih impulsa međusobnim superponiranjem definiše određeni topotni fluks.

Izvor topote i temperatura u svakoj tački tela određeni su snagom topotnog izvora q , topotnim karakteristikama tela α , vremenom delovanja na ispitivanu tačku t i koordinatama te tačke x, y, z , tj.

$$\theta = F(q, \alpha, t, x, y, z) \quad (1)$$

Zagrevanje materijala može da ima za posledicu pojavu specifične termičke obrade i stvaranje pregorevanja materijala. Brze promene temperature dovode do naglog

narušavanja jednorodnosti strukture u površinskom sloju, što uzrokuje pojavu zaostalih naprezanja. Takođe, brzo zagrevanje i hlađenje i veliki pad temperatura po dubini predmeta obrade izaziva zaostale napone, koji se sabiraju sa zaostalim naponima strukturnih promena i mogu dovesti do pojava naprsline i katastrofalnog pogoršavanja eksploracijskih svojstava.

HRAPAVOST BRUŠENE POVRSINE

Hrapavost brušene površine predstavlja rezultat ujamnog delovanja abrazivnog alata i obrađivanog materijala. Na njeno formiranje utiče veliki broj parametara uslova obrade. U prvom redu tu treba svrstati statističke karakteristike reljefa radne površine tocila, kinematiku i dinamiku procesa brušenja i plastična svojstva obrađivog materijala. Često je bitno delovanje i nekih drugih tehničkih faktora (na primer, vrsta, koncentracija i način primene sredstava za hlađenje i podmazivanje).

Kinematski odnosi, karakteristični za proces brušenja, opredeljuju određenu usmerenost mikroreljefa brušene površine duž vektora brzine rezanja. Zato je uzdužna hrapavost manja od poprečne te se poprečna hrapavost meri i uzima kao merodavna.

MEHANIZAM DELOVANJA SHP U PROCESU BRUŠENJA

U formiranju karakteristika površina elemenata u procesu brušenja značajnu ulogu ima primena SHP. U opštem slučaju delovanje SHP se ispoljava u nekoliko vidova.

Osnovno delovanje sredstava za hlađenje i podmazivanje ogleda se u odvođenju topote iz zone rezanja.

Sredstvo za hlađenje i podmazivanje smanjuje rad trenja, tako što se između kontaktnih površina stvara adsorbovani sloj molekula površinski aktivnih sastojaka SHP, koji umanjuje koeficijent trenja. Adsorbovani sloj molekula, koji se javlja na površini strugotine, predmeta obrade i aktivnih abrazivnih zrna, onemogućava neposredan kontakt površina.

Na površini obrade u zoni predrezanja postoji veliki broj mikropukotina, koje predhode plastičnoj deformaciji. Ukoliko molekuli površinski aktivnog SHP dospe-

vaju u njih, zahvaljujući hidrodinamičkom delovanju, ostvaruju pritisak na zidove, čime se olakšava proces rezanja.

U zoni deformisanja metala molekuli površinski aktivnih sastojaka SHP se razlažu na atome H, O, N. Ovi atomi ulaze u najdeformisane kristalne rešetke metala. To uslovljava smanjenje granične vrednosti plastične deformacije pre rezanja, odnosno, specifičnog rada rezanja.

Sredstvo za hlađenje i podmazivanje snižava temperaturu tocila pre ulaska u kontakt i time stvara uslove za njegovu veću toplotnu aktivnost.

Najočigledniji vid delovanja SHP u procesu brušenja ispoljava se odnošenjem produkata obrade.

Obrada brušenjem se obavlja velikim brzinama rezanja, tako da nema uslova za ostvarivanje hidrodinamičkog delovanja SHP. Zato, pri brušenju SHP ispunjava uglavnom funkciju odvođenja toplote, smanjenja sile trenja, odnošenja strugotine i čišćenja pora tocila od abrazivnih i metalnih odpadaka.

Danas postoje neusaglašena mišljenja o mogućnosti dospevanja SHP u samu zonu rezanja. U literaturi se sreću konstatacije da SHP ne dopire do zone rezanja i ne utiče na temperaturu u kontaktu (kontaktnu temperaturu), već samo snižava srednju temperaturu predmeta obrade. Neka novija ispitivanja, međutim, pokazuju da SHP dolazi veoma blizu mestu neposrednog rezanja mikrokanalima, koje obrazuju uzdužno usmerena hrapavost radnog predmeta i hrapavost tocila. Nekim kanalima tečnost se kreće slobodno, a nekim delovanjem kapilarnih sila. Ovu pojavu olakšavaju samopobudne ultrazvučne vibracije u zoni rezanja.

Na smanjenje temperature rezanja i hrapavost obrađene površine naročito povoljno deluje dovođenje SHP u raspršenom stanju.

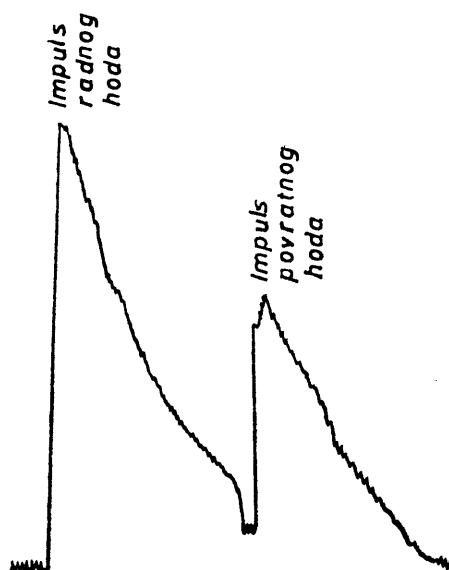
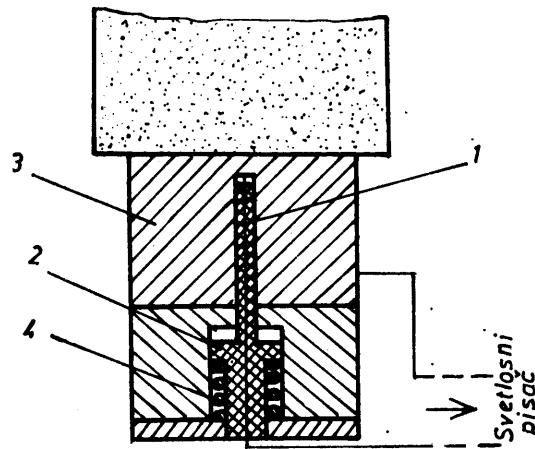
METODOLOGIJA I USLOVI EKSPERIMENTALNOG ISPITIVANJA

Ispitivanje je imalo za cilj da definiše uticaj SHP na toplotno opterećenje predmeta obrade (poznato je da najveći deo toplote iz zone rezanja odlazi u predmet obrade) i hrapavost površine u obradi metala ravnim brušenjem.

Najpogodniji način za merenje temperaturne po dubini predmeta obrade je primena poluprirodnog termopora, pri čemu moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi:

- Termopar mora imati minimalnu inertnost, što se obezbeđuje malom površinom toplog spoja;
- Metod merenja mora uzimati u obzir inertnost mehanizma provođenja toplote;
- Neophodno je obezbediti pouzdan kontakt termopara i predmeta obrade;
- Masa predmeta obrade mora biti dovoljno velika, kako njena promena u toku eksperimentalnih operacija obrade ne bi uticala na program toplotnog stanja;
- Sopstvena frekvencija instrumenta za registrovanje temponapona mora biti veća od frekvencije procesa brušenja;
- Potrebno je eliminisati mogućnost prodiranja sredstava za hlađenje i podmazivanje na mesto toplog i hladnog spoja, u cilju obezbeđenja od parazitnih tokova struje.

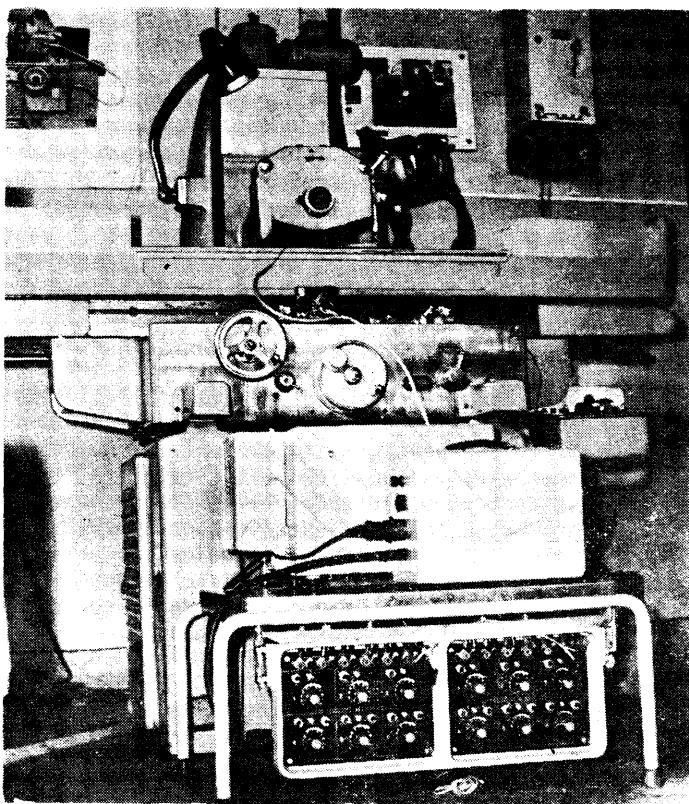
Šema merenja temperature prikazana je na Sl. 1. Poluprirodni termopar sačinjavaju materijal predmeta obrade (Č.5421) i konstantan. Žica konstantana (1) debljine 0,4 mm, fino zaoštrena na vrhu (u cilju smanjenja površine kontakta), je izolovana čvrstom i dovoljno termootpornom izolacijom (2). Pouzdan spoj provodnika od konstantana i predmeta obrade (3) obezbeđen je oprugom (4).



Sl. 1. — Šema merenja temperature (a) i oblik zapisa signala temperature (b)

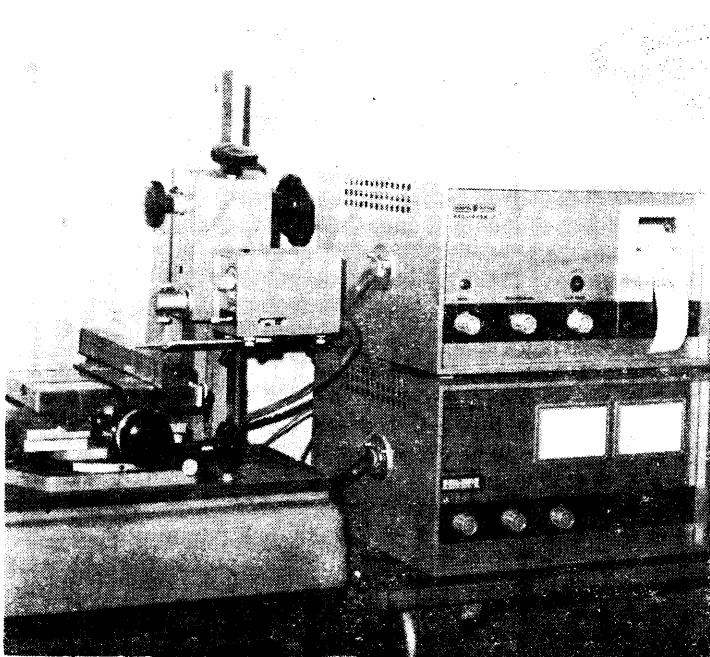
Za zapisivanje signala temperature korišćen je svetlosni osciloskop H II 5 sovjetske proizvodnje, sa osjetljivim galvanometrima, bez predhodnog pojačanja.

Debljina sloja materijala iznad termopara (t) i dubina obrade određuju mogući broj prolaza tocila. Svakim prolazom, koji se izvodi uz primenu određenog, ispitivanog, sredstva za hlađenje i podmazivanje, prilazi se bliže termoparu. To izaziva postepeno povećanje registrirane temperature. Na taj način se definije raspored temperature po dubini obrađivanog materijala u funkciji sredstva za hlađenje i podmazivanje.



Sl. 2. — Snimak istraživačkog mesta — instrumentacija i mašina

Snimanje profila obrađene površine i merenje srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a obavljeno je na profilografu Recorder-p i profilometru Tester-p tipa Homel Werke (Sl. 3).



Sl. 3. — Snimak profilografa i profilometra

Opitne operacije su obavljene na brusilici za ravno brušenje sovjetske proizvodnje, snage pogonskog elektromotora od 2,2 kW. Korišćena je brusna ploča od elektro-

korunda sa keramičkim vezivom, normalnog kvaliteta, dimenzija $220 \times 25 \times 76$ mm, proizvodnje »Swati« — Maribor.

Brzina brušenja $v = 28$ m/s i brzina uzdužnog kretanja stola $v_r = 0,15$ m/s nisu menjane u toku eksperimenta. Takođe, konstantan je bio i protok SHP, $Q = 8$ l/min. Ostali parametri uslova obrade navedeni su u okviru prikaza rezultata ispitivanja.

REZULTATI ISPITIVANJA

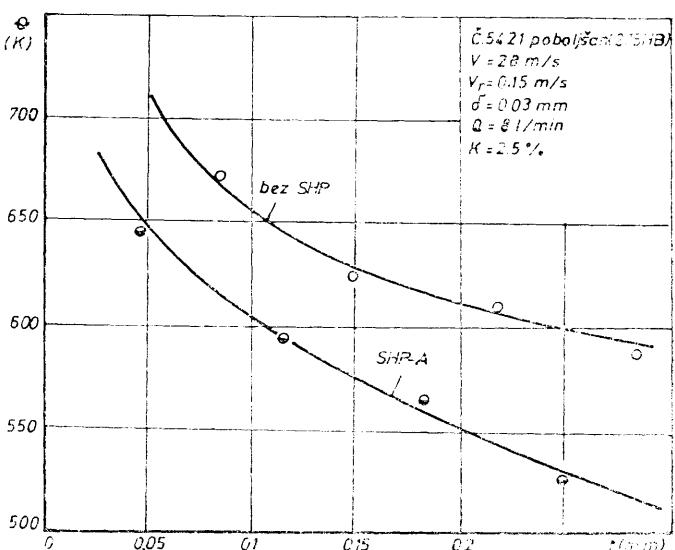
Uticaj SHP na raspored temperatura u površinskom sloju predmeta obrade

Raspored temperatura po dubini površinskog sloja taproksimiran je, sa velikim stepenom korelacije, zavisnošću

\theta = C t^z \quad (2)

gde konstanta C i eksponent z zavise od uslova obrade (varirana su samo sredstva za hlađenje i podmazivanje).

Rezultati merenja temperature pri brušenju uz upotrebu polusintetičkog emulgirajućeg ulja A i bez upotrebe SHP prikazani su na Sl. 4.

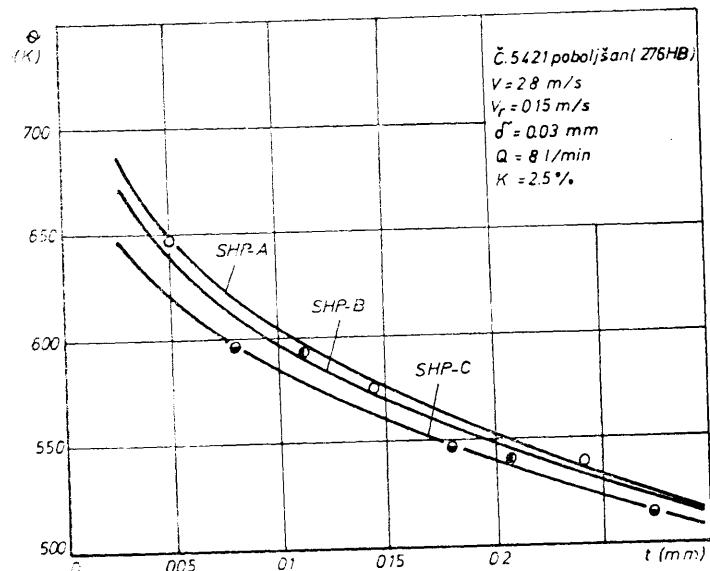


Sl. 4. — Promena temperature po dubini predmeta obrade pri brušenju sa i bez upotrebe SHP

Položaj krivih na slici jasno ukazuje na povoljniji toplotni režim obrade brušenjem pri upotrebi sredstva za hlađenje i podmazivanje.

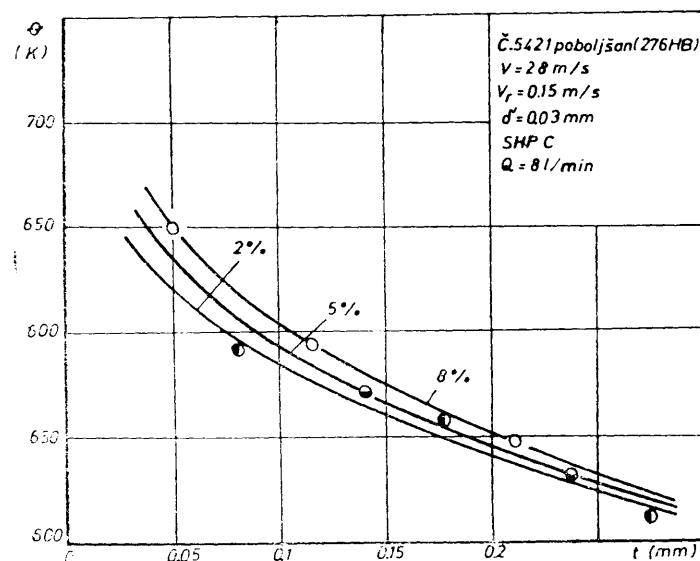
Uporednim ispitivanjem tri sredstva za hlađenje i podmazivanje (emulzije polusintetičkih ulja A i B i rastvor sintetičkog koncentrata C) dobijene su odgovarajuće zavisnosti temperature od dubine površinskog sloja predmeta obrade (Sl. 5).

Ispitivanje je obuhvatalo i utvrđivanje uticaja koncentracije (u emulziji i rastvoru) na hladiva svojstva SHP u procesu obrade metala ravnim brušenjem. Rezultati na



Sl. 5. — Promena temperature po dubini predmeta obrade za tri vrste SHP

Sl. 6. se odnose na tri koncentracije SHP—C. Kriva najnižih temperatura u predmetu obrade odgovara obradi uz korišćenje SHP—C u koncentraciji od 2%.



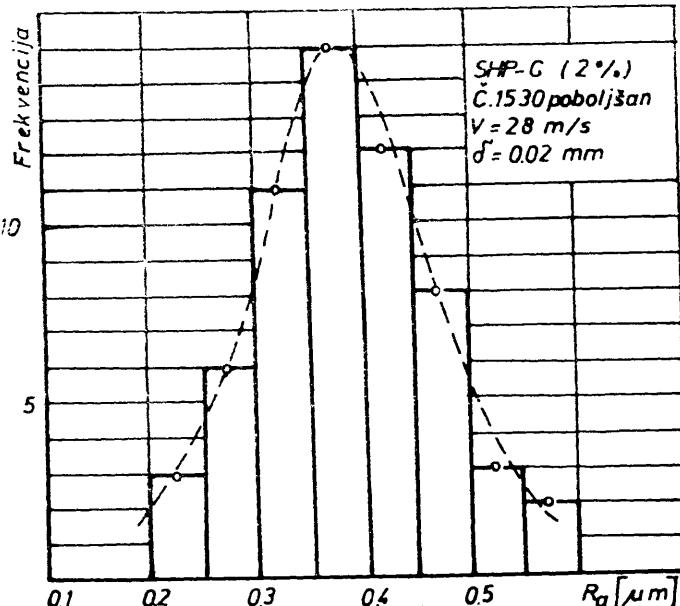
Sl. 6. — Raspored temperatura po dubini predmeta obrade za tri koncentracije SHP—C

Uticaj SHP na hrapavost brušene površine

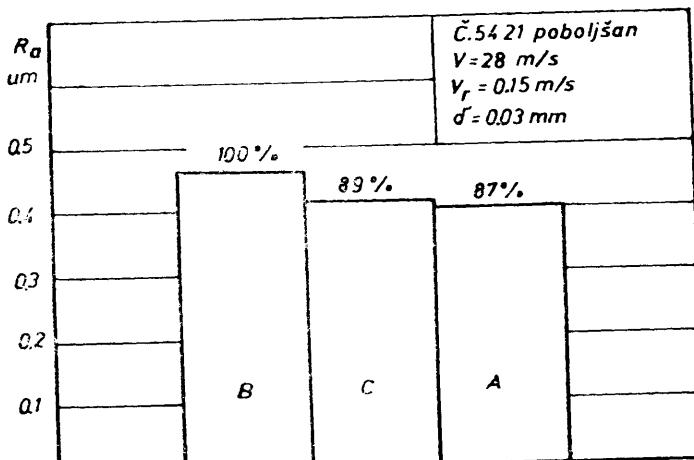
Kao parametar hrapavosti brušene površine merena je vrednost srednjeg aritmetičkog odstupanja profila R_a . Na histogramima prikazane vrednosti R_a predstavljaju srednje aritmetičke vrednosti rezultata velikog broja merenja na obrađenoj površini. Rezultati merenja parametra R_a imaju normalnu raspodelu oko srednje aritmetičke vrednosti, što je prikazano na primeru obrade uz korišćenje SHP—C pri koncentraciji rastvora od 2% (Sl. 7). Iz-

merene vrednosti srednjeg aritmetičkog odstupanja profila podeljene su po klasama sa korakom od $0.05 \mu\text{m}$.

Upoređivanjem ostvarene hrapavosti brušene površine za tri sredstva za hlađenje i podmazivanje, pri nepromjenjenim ostalim uslovima obrade, dobijeni su rezultati — histogramski prikazani na Sl. 8. Kao osnov za upoređivanje uzeta je najveća vrednost R_a , koja odgovara obradi brušenjem uz upotrebu SHP—B.



Sl. 7. — Raspodela frekvencija javljanja izmerenih vrednosti R_a

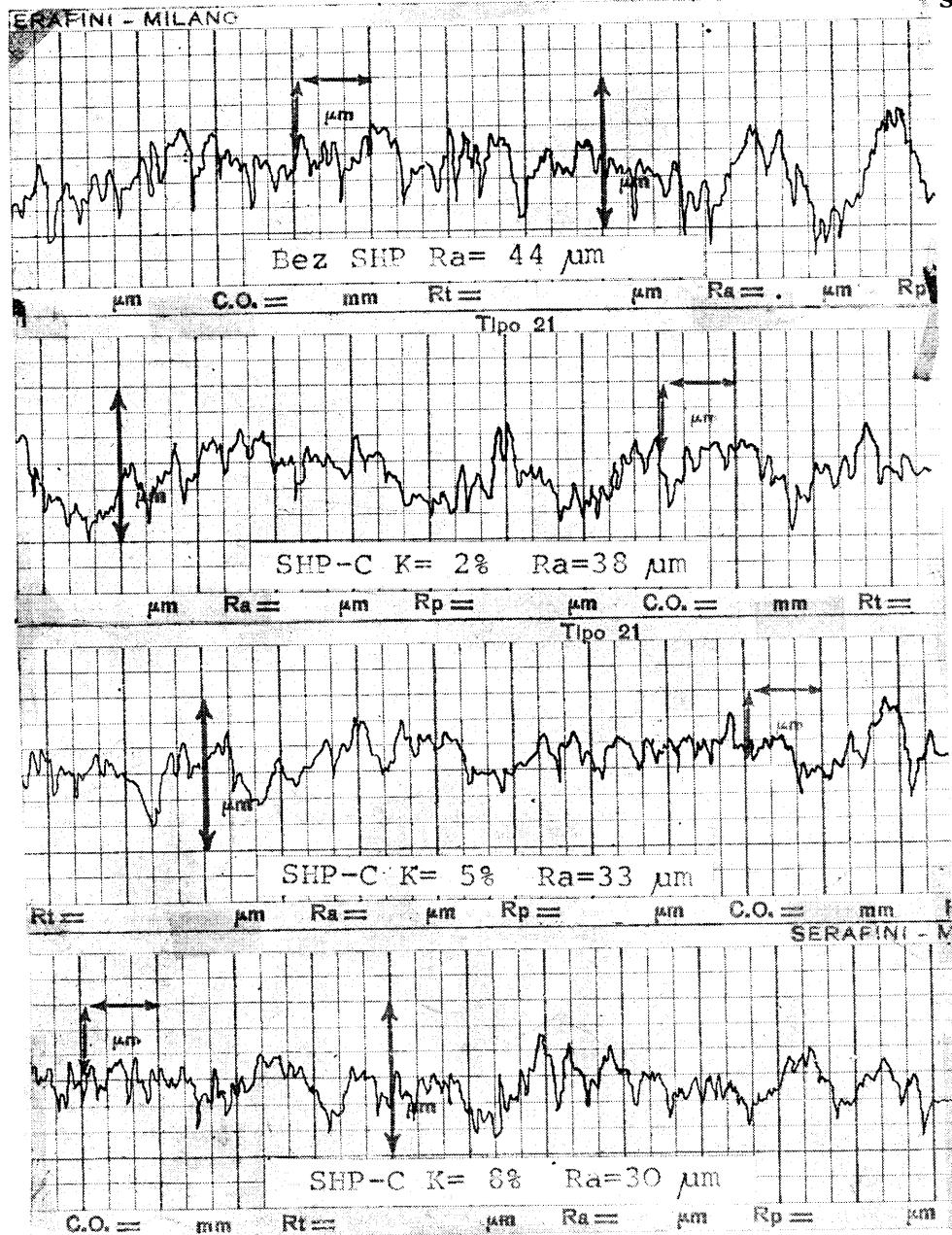


Sl. 8. — Uticaj vrste SHP na hrapavost brušene površine

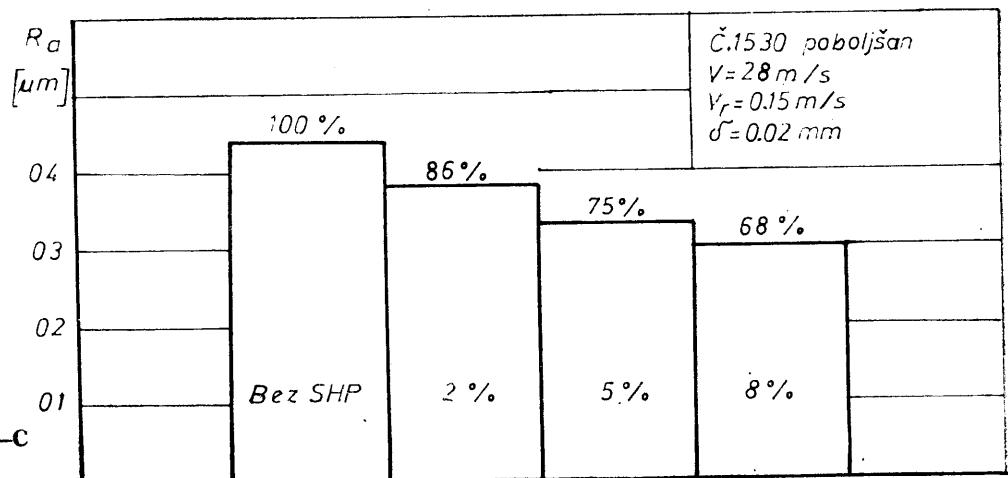
Na Sl. 9. su dati zapisi reljefa površina dobijenih obradom brušenjem bez upotrebe SHP i pri upotrebi tri koncentracije rastvora u vodi sintetičkog vodotopivog koncentrata C.

Vizuelno uočljive razlike u hrapavosti upoređivanih površina, prikazanih na predhodnoj slici, izražene su i preko odgovarajućih vrednosti srednjeg aritmetičkog od-

Sl. 9. — Zapis profila brušene površine

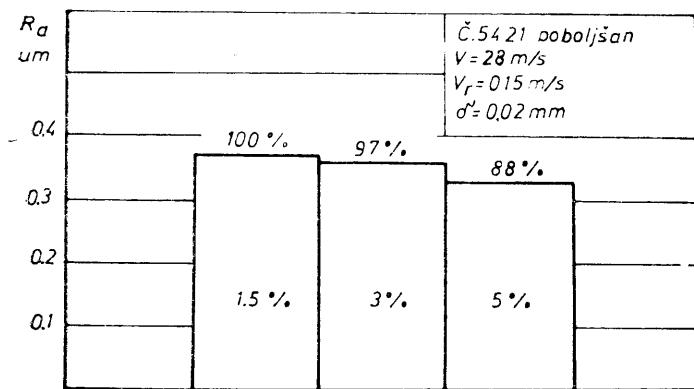


Sl. 10. — Uticaj koncentracije SHP-C na hrapavost obrađene površine



stupanja profila (Sl. 10). Porastu koncentracije rastvora odgovara smanjenje veličine parametra Ra. Rezultati ukazuju da obrada brušenjem bez upotrebe sredstava za hlađenje i podmazivanje ima za posledicu znatno pogoršanje hrapavosti površine predmeta obrade.

Uporedno ispitivanje tri koncentracije polusintetičkog ulja A u emulziji potvrđilo je povoljan uticaj povećanja koncentracije na kvalitet obrađene površine.



Sl. 11. — Uticaj koncentracije SHP—A na hrapavost obrađene površine

ZAKLJUČCI

□ Eksperimentalno dobijeni oblik promene temperature po dubini predmeta obrade u potpunosti odgovara stvarnoj prirodi procesa.

□ Primenjeni metod merenja pokazao je dovoljnu osetljivost u registrovanju uticaja promena uslova hlađenja i podmazivanja na toplotno opterećenje predmeta obrade.

□ Ranije je već napomenuto da presudnu ulogu u formiranju osobina površinskih slojeva brušenih clementa ima njegovo toplotno opterećenje u toku procesa rezanja. Rezultati prikazani na Sl. 4. ukazuju na veliki značaj primene SHP u cilju smanjenja nivoa temperature po preseku predmeta obrade. Na dubini od 0,05 mm razlika odgovarajućih temperatura (izraženih u °C) pri obradi sa i bez primene SHP iznosi 18%.

□ U eksperimentalnim uslovima, pri čemu je ostvaren relativno nizak nivo temperatura, razlike u temperaturama predmeta obrade za različite vrste i koncentracije SHP su dosta male. Uočljivo je da manje temperature odgovaraju manjim koncentracijama SHP.

□ Uticaj vrste SHP korišćenog u procesu obrade brušenjem na hrapavost obrađene površine veoma je izražen. Polusintetičko emulgirajuće ulje A pokazalo je bolje osobine (sa stanovišta hrapavosti obrađene površine) u odnosu na sintetičke vodotopive koncentrate D i C.

□ Povećanje koncentracije ispitivanih SHP uslovjava smanjenje parametra hrapavosti Ra: povećanju koncentracije polusintetičkog ulja u emulziji od 1,5% do 5% odgovara smanjenje vrednosti Ra za 11%, a odnos veličina Ra, koje odgovaraju obradi uz upotrebu SHP—C u koncentracijama 2% i 8%, iznosi 21%.

Dakle, iz rezultata ispitivanja može se uočiti postojanje dve suprotne tendencije: smanjenja koncentracije SHP u cilju povećanja hladivih svojstava i povećanja koncentracija u cilju smanjenja hrapavosti površine. Za konkretnе proizvodne uslove potrebno je vršiti određenu optimizaciju u izboru adekvatnog SHP. Pri tome treba imati u vidu da promena vrste i koncentracije SHP ostvaruje veći uticaj na hrapavost obrađene površine.

LITERATURA

1. ЯЩЕРИЦИН П. И., ЦОКУР А. К., ЕРЕМЕНКО М. Л.: Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей, Минск, „Наука и техника”, 1973.
2. СИПАЙЛОВ В. А.: Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности, Машиностроение, Москва, 1978.
3. ХУДОБИН Л. В.: Смазочно-охлаждающие средства применение при шлифовании, Машиностроение, Москва, 1971.
4. ЛИУРОЕ Г. В.: Шлифование металлов, Машиностроение, Москва, 1969.
5. B. IVKOVIĆ: Tribologija rezanja, sredstva za hlađenje i podmazivanje, Beogradski izdavačko-grafički zavod, Beograd, 1979.
6. K. KITAJIMA, Y. TANAKA: Temperature Distribution and Affected Layer of Ground Surface in Belt Grinding, Bullten of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 14, № 2, June 1980, Tokyo.